



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Fin de Grado

**PROPUESTA, DISEÑO Y ADAPTACIÓN DE UN  
SISTEMA DE INTERAMBIO DE CABINAS PARA UN  
SIMULADOR DE HELICÓPTERO EC 145 T2**

Autor: Christopher Rodríguez Segoviano

Tutor: Marco Álvarez

Leganés, 2014

Título: PROPUESTA, DISEÑO Y ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CABINAS PARA UN SIMULADOR DE HELICÓPTERO EC 145 T2.

Autor: CHRISTOPHER RODRÍGUEZ SEGOVIANO

Tutor: MARCO ALVAREZ

## **EL TRIBUNAL**

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto de fin de Carrera el día XX de XX de XX en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

# Resumen

En este proyecto se plantea una propuesta de un sistema de intercambio de cabina para un simulador de vuelo de helicóptero civil.

Se trata de una parte del proyecto “Simulador de Vuelo de Helicóptero EC 145 T2 D” que engloba todos los sistemas que conforman el simulador.

Para una mejor comprensión de los términos empleados a lo largo del proyecto se comenzará dando una visión general de lo que es un simulador de vuelo, dando a conocer sus antecedentes históricos, el aspecto actual y los sistemas que lo conforman.

Después se presentan las distintas propuestas a modo de ante-proyecto o etapa previa al cálculo, para llevar a cabo el movimiento cinético-mecánico de intercambio de cabina junto con los elementos necesarios para cada propuesta y se explicará la elección del sistema de adecuado.

Se explicarán los cambios que se deberán llevar a cabo en el simulador con respecto a simuladores anteriores, para adaptar el sistema de intercambio de cabina al simulador.

Finalmente se resume el proceso acompañado de imágenes reales del sistema ya fabricado.

# ÍNDICE

1.	Introducción .....	13
1.1	Ámbito y justificación.....	13
1.2	Objetivos .....	13
1.3	Estructura del documento.....	15
2.	Estado de Arte .....	17
2.1	Antecedentes .....	17
2.2	Aspectos generales de la aeronave y partes del simulador .....	27
2.3	Normas y requisitos del sistema .....	45
3.	Propuestas de Diseño y Elección.....	47
3.1	Propuestas de diseño .....	47
3.2	Propuestas Estructura y Sistema de Guiado .....	47
3.2.1	Primera Propuesta.....	47
3.2.2	Segunda Propuesta .....	48
3.2.3	Tercera Propuesta .....	49
3.2.4	Cuarta Propuesta.....	50
3.2.5	Quinta Propuesta .....	51
3.3	Propuestas Sistema de Elevación/Bajada .....	52
3.3.1	Primera Propuesta.....	52
3.3.2	Segunda Propuesta .....	53
3.4	Elección .....	56
3.4.1	Elección Estructura y Sistema de Guiado .....	56
3.4.2	Elección Sistema de Elevación/Bajada .....	57
4.	Diseño y Adaptación.....	59
4.1	Diseño de Estructura y Sistema de Guiado .....	59
4.1.1	Criterio Cálculo Diseño Carro .....	59
4.1.2	Criterio Cálculo Diseño Sistema Guiado.....	73
4.2	Diseño de Sistema de Elevación/Bajada .....	108
4.3	Adaptación .....	126
4.4	Sistema Neumático .....	166
4.5	Sistema Eléctrico y Electrónico .....	175
4.6	Sistema de Control .....	192

5. Proceso completo.....	197
6. Conclusiones y cambios .....	198
6.1 Conclusiones.....	198
6.2 Cambios.....	198
7. Bibliografía .....	200

## **INDICE DE FIGURAS:**

Figura 1-Entrenador Barril Antoinette [3].....	18
Figura 2-Orientador Ruggles [4].....	20
Figura 3-Simuladores de Lender y Heidelberg [5].....	21
Figura 4-Movimientos Aeronave.....	22
Figura 5-Simulador Rougerie. L [6].....	23
Figura 6-Link Trainers [3].....	24
Figura 7-Simulador Gunairstructor [7].....	25
Figura 8-Simulador Siglo XXI.....	26
Figura 9-Dimensiones Helicóptero EC 145 T2.....	29
Figura 10-Helicóptero real EC 145T2.....	30
Figura 11-3D Simulador Vuelo EC 145 T2.....	31
Figura 12-Cockpit 3d.....	32
Figura 13-Sala de Entrenamiento.....	33
Figura 14-Sala Entrenamiento vista aérea.....	34
Figura 15-Baseframe.....	35
Figura 16-Spacer.....	36
Figura 17-Visio Rack Embarcado.....	37
Figura 18-Plataforma Movimiento.....	38
Figura 19-Domo.....	39
Figura 20-Puente acceso simulador.....	40
Figura 21-Sistema Visual.....	41
Figura 22-Actuadores Sistema Movimiento.....	42
Figura 23-Plataforma Vibración.....	43
Figura 24-Sistema Comunicación y Audio.....	44
Figura 25-Sistema Guiado Propuesta1.....	48
Figura 26-Sistema Guiado Propuesta2.....	49
Figura 27-Sistema Guiado Propuesta3.....	50
Figura 28-Sistema Guiado Propuesta4.....	50
Figura 29-Sistema Guiado Propuesta 4.1.....	51
Figura 30-Sistema Guiado Propuesta5.....	52
Figura 31-Sistema Elevación/Bajada Propuesta1.....	53
Figura 32-Sistema Elevación/Bajada Propuesta2 [17].....	54
Figura 33-Sistema Elevación/Bajada Propuesta 2.1 [17].....	56
Figura 34-Estructura Carro y Dimensiones. Cotas en mm.....	60
Figura 35-Punto Anclaje Plat. Movimiento.....	61
Figura 36-Carro, Posición Puntos de Anclaje. Cotas en mm.....	62
Figura 37-Carro. Perfiles interiores.....	62
Figura 38-Carro, soportes tornillería.....	63
Figura 39-Funcionamiento Sistema de sujeción punto cero k40, IncaMetal.....	65
Figura 40-Sistema de Fijación Punto Cero K40.....	66
Figura 41-Dimensiones K40.....	67
Figura 42-Émbolo k40.....	68

Figura 43-Boquilla Sujeción K40.....	69
Figura 44-Tornillo Boquilla Sujeción K40.....	70
Figura 45-Colocación machos k40.....	70
Figura 46-Refuerzos Diagonales Carro .....	71
Figura 47- Conjunto Chasis, chapa1 .....	72
Figura 48-Conjunto Chasis, chapa2 .....	72
Figura 49-Conjunto Chasis, chapa3 .....	72
Figura 50-Conjunto Chasis, chapa4 .....	73
Figura 51-Chasis con fuerzas y condiciones de contorno .....	73
Figura 52-Ruedas Winkel [19] .....	74
Figura 53-Planos ruedas RA y RAL [20] .....	75
Figura 54-Ruedas atornilladas.....	76
Figura 55-Sección Carriles Winkel [20].....	76
Figura 56-Estado de cargas Situación 1.....	77
Figura 57-Viga frontal chasis .....	78
Figura 58-Diagrama fuerzas verticales viga frontal.....	78
Figura 59-Diagrama de Momentos Flector Flectores Viga Frontal .....	79
Figura 60-Fuerzas Viga Frontal .....	81
Figura 61-Mallado Viga Frontal .....	82
Figura 62-Resultados Desplazamiento Viga Frontal.....	83
Figura 63-Resultados Tensión Viga Frontal .....	84
Figura 64-Resultados Desplazamientos' Viga Frontal .....	85
Figura 65-Resultados Tensión' Viga Frontal .....	86
Figura 66-Estado de fuerzas ideal en rodadura .....	87
Figura 67-Estado de fuerzas en superficies deformables .....	87
Figura 68-Motor Doga [22].....	90
Figura 69-Plano Motor Doga [22].....	92
Figura 70-Transmisión de Potencia mediante engranajes cónicos.....	93
Figura 71-Transmisión de Potencia mediante Correa.....	94
Figura 72-Sistema Manual de movimiento del carro .....	95
Figura 73-Plano acotado de poleas y correa .....	96
Figura 74-Selección tipo de Correa .....	98
Figura 75-Variables Perfil de Correa .....	98
Figura 76-Características correas Epidor (1) .....	99
Figura 77-Características correas Epidor (2) .....	100
Figura 78-Características correas Epidor (3) .....	100
Figura 79-Características correas Epidor (4) .....	101
Figura 80-Características correas Epidor (5) .....	102
Figura 81-Características correas Epidor (6) .....	102
Figura 82-Características correas Epidor (6) .....	103
Figura 83-Elementos eje.....	104
Figura 84-Resultados desplazamientos Eje Cardan .....	106
Figura 85-Resultados Tensión Eje Cardan .....	107
Figura 86-Soporte Eje Cardan .....	107

Figura 87-Rodillos.....	108
Figura 88-Dimensiones Plataforma de Tijera.....	110
Figura 89-Sistemas Plataforma Tijera.....	111
Figura 90-Plataforma tijera, carriles 1.....	114
Figura 91-Plataforma tijera, carriles 2.....	115
Figura 92-Zoom Plataforma Tijera, cáncamo.....	116
Figura 93-Elevación Plataforma Tijera.....	117
Figura 94-Plataforma Tijera, Montaje 1.....	118
Figura 95-Plataforma Tijera, montaje 2.....	119
Figura 96-Plataforma Tijera, montaje 3.....	120
Figura 97-Detalle colocación ruedas Plataforma Tijera.....	121
Figura 98-Plataforma Tijera, montaje 4.....	123
Figura 99-Plataforma Tijera System Ready.....	124
Figura 100-Plataforma Tijera, botonera.....	124
Figura 101-Plataforma tijera, llave posicionado.....	125
Figura 102-Plataforma tijera, botonera hombre presente.....	125
Figura 103-Plataforma de tijera, bloqueador de seguridad.....	126
Figura 104-Suelo Sala Entrenamiento.....	127
Figura 105-Distancia Bajada Suelo Sala Entrenamiento.....	128
Figura 106-Sistema Subida/Bajada suelo Sala Entrenamiento.....	130
Figura 107-Posición actuadores laterales Suelo Sala Entrenamiento.....	131
Figura 108-ctuador Lateral suelo Sala Entrenamiento.....	132
Figura 109-Suelo Sala Entrenamiento Abajo.....	133
Figura 110-Hueco Suelo Sala Entrenamiento.....	134
Figura 111-Pantalla frontal Suelo Sala Entrenamiento.....	135
Figura 112-Sistemas Subida/Bajada suelo.....	136
Figura 113-Weforma, Air Spring.....	137
Figura 114-Diagrama WBZ200 [25].....	138
Figura 115-Movimiento Air Springs.....	138
Figura 116-Guías Carriles Plataforma Vibración.....	139
Figura 117-Resultados Desplazamientos Carril Reforzado.....	141
Figura 118-Resultados Tensión Carril Reforzado.....	142
Figura 119-Chapa Plataforma Vibración.....	143
Figura 120-Chapa sobre Plataforma de Vibración.....	144
Figura 121-Resultados desplazamientos chapa sin refuerzos.....	146
Figura 122-Resultados Tensión Carril Reforzado.....	147
Figura 123-Chapa con refuerzos.....	148
Figura 124-Resultados desplazamiento chapa reforzada.....	149
Figura 125-Resultado tensión Chapa reforzada.....	150
Figura 126-Plataforma Vibración, superficie triangular.....	151
Figura 127-Voladizos chapa Plataforma Vibración.....	152
Figura 128-Conjunto Chapa.....	152
Figura 129-Sala Entrenamiento, espacio libre.....	153
Figura 130-Soporte tubo aire.....	155

Figura 131-Soporte Conector V.Panel.....	156
Figura 132-Arco Puesto Instructor y Audio .....	158
Figura 133-Altavoz y soporte .....	159
Figura 134-Puesto Instructor y soporte .....	160
Figura 135-Elementos en posición de vuelo .....	161
Figura 136-Elementos en posición retirada .....	161
Figura 137-Asientos posición vuelo.....	162
Figura 138-Asientos en posición retirada, vista aérea .....	163
Figura 139-puertas abiertas, vista frontal.....	164
Figura 140-Plataforma de acceso, extracción cabina.....	165
Figura 141-posiciones plataforma acceso.....	165
Figura 142-Cuadro Neumático, Puerta de acceso y posición.....	166
Figura 143-Esquema Sistemas Neumáticos .....	167
Figura 144-Unidad entrada sistema neumático.....	168
Figura 145-Festo, FRC-1/2-D-MIDI-KC-A .....	169
Figura 146-Válvula 5/2 vías biestable .....	170
Figura 147-Sistema neumático 1, racores.....	171
Figura 148-Amplificador de presión DPA-63-10.....	172
Figura 149-Diagrama intensificador de presión.....	172
Figura 150-Diagrama neumático k40 .....	173
Figura 151-Diagrama neumático Air Spring .....	173
Figura 152-Cuadro Neumático, Solid Edge.....	174
Figura 153-Posición PLC control Sistema Intercambio Cabinas .....	175
Figura 154-Sensor fotoeléctrico W12-2AS-i.....	176
Figura 155-Espejo reflector .....	177
Figura 156-Sensor Sick i110-RA123.....	178
Figura 157-Curva 33, motor Doga .....	179
Figura 158-Controladora Electromen.....	180
Figura 159-Diagrama controladora .....	181
Figura 160-Carro, elementos electrónicos.....	182
Figura 161-Fuente de alimentación RTW 13 KC.....	184
Figura 162-Enrollador de cable .....	184
Figura 163-Conector CombiTac [30] .....	185
Figura 164-Conector CombiTac fijo, pineado.....	186
Figura 165-Posición enrollador de cable.....	187
Figura 166-Sensor Proximidad Festo SME-8 .....	188
Figura 167-Sensores suelo Sala de Entrenamiento.....	189
Figura 168-Sensor inductivo Festo, SIED.....	190
Figura 169-Montaje sensores inductivos .....	191
Figura 170-Farnel, sensor magnético CTC 012.....	192
Figura 171-Panel#1 sistema intercambio de cabinas.....	193
Figura 172-Mando carro.....	194
Figura 173-Válvula Camozzi .....	199
Figura 174-cilindro con acople freno .....	200

Figura 175-Malla metálica suelo simulador .....	205
Figura 176-Accesos simulador.....	206
Figura 177-Dimensiones conjunto carro auxiliar .....	207
Figura 178-Dimensiones carro auxiliar' .....	208
Figura 179-Cableado Simulador .....	209
Figura 180-Envolvente Simulador .....	210
Figura 181-Planta envolvente .....	211
Figura 182-Sistema de elevación Serapid .....	212
Figura 183-Toma línea general.....	226
Figura 184-Apertura manual.....	227
Figura 185-Confirmar alimentación eléctrica.....	227
Figura 186-Regular presión a 8bar .....	228
Figura 187-Control electrico de presión.....	228
Figura 188-Conjunto electroválvulas VTUF Festo .....	229
Figura 189-Numeración electroválvulas .....	229
Figura 190-Booster .....	230
Figura 191-Esquema boost.....	231
Figura 192-Sistema purgado K-40 y válvula accionamiento neumático Camozzi para purga del sistema .....	232
Figura 193-Sistema para fijar con seguridad los gatillos del suelo elevadizo en Spacer.....	232
Figura 194-Localización K-40.....	234
Figura 195-Cilindros neumáticos weforma .....	235
Figura 196-Conexiones neumáticas .....	235
Figura 197-Conductos neumáticos.....	236
Figura 198-Conductos aire raíles.....	236
Figura 199-Sensores carriles .....	237
Figura 200-Cableado sensores k40 .....	237

## **INDICE DE TABLAS:**

Tabla 1-Características Helicóptero EC145T2 .....	28
Tabla 2-Módulos de Fijación Punto Cero .....	66
Tabla 3-Dimensiones K40 .....	67
Tabla 4-Tornillo para Boquilla K40 .....	70
Tabla 5-Pieza Viga Frontal .....	80
Tabla 6-Propiedades Viga Frontal .....	80
Tabla 7-Cargas Viga Frontal.....	80
Tabla 8-Mallado Viga Frontal .....	82
Tabla 9-Resultados Desplazamiento Viga Frontal.....	83
Tabla 10-Resultados Tensión Viga Frontal .....	84
Tabla 11-Resultados Desplazamientos' Viga Frontal .....	85
Tabla 12-Resultados Tensión' Viga Frontal .....	85
Tabla 13-Coeficientes de Rodadura Típicos .....	88
Tabla 14-Características Motor Doga.....	90
Tabla 15-Motores Doga Serie 162.....	91
Tabla 16-Factor de Seguridad, K .....	97
Tabla 17-Perfiles de Correa Normalizados.....	98
Tabla 18-Pieza Eje Cardan .....	104
Tabla 19-Propiedades Eje Cardan .....	105
Tabla 20-Cargas Eje Cardan.....	105
Tabla 21-Mallado Eje Cardan .....	105
Tabla 22-Desplazamientos Eje Cardan .....	105
Tabla 23-Resultados Tensión Eje Cardan .....	106
Tabla 24-Características Técnicas Sistema Elevación.....	113
Tabla 25-Pares de Torsión recomendados para tornillos .....	120
Tabla 26-Cilindro Doble Efecto Festo .....	128
Tabla 27-Actuador DNC 125 .....	129
Tabla 28-Weforma Air Springs Anexo C .....	137
Tabla 29-Pieza Carril Reforzado .....	139
Tabla 30-Propiedades Carril Reforzado.....	139
Tabla 31-Cargas Carril Reforzado .....	140
Tabla 32-Mallado Carril Reforzado.....	140
Tabla 33-Desplazamientos Carril Reforzado .....	140
Tabla 34-Resultados Tensión Carril Reforzado .....	141
Tabla 35-Pieza Chapa_sin_refuerzos .....	144
Tabla 36-Propiedades Chapa sin refuerzos.....	144
Tabla 37-Cargas Chapa sin refuerzos .....	145
Tabla 38-Mallado Chapa sin refuerzos.....	145
Tabla 39-Desplazamientos Chapa sin refuerzos.....	145
Tabla 40-Resultados Tensión Chapa sin refuerzos.....	146
Tabla 41-Estudio Chapa reforzada .....	148
Tabla 42-Resultados mallado chapa con refuerzos.....	148

Tabla 43-Desplazamientos Chapa con refuerzos .....	148
Tabla 44-Resultados Tensión Chapa con refuerzos .....	149
Tabla 45-FRC-1/2-D-MIDI-KC-A .....	169
Tabla 46-Válvula 5/2 biestable .....	170
Tabla 47-Características racor 78830613.....	171
Tabla 48-Intensificador de presión DPA-63-10 .....	172
Tabla 49- Sensor fotoeléctrico W12-2AS-i .....	177
Tabla 50-Sensor Sick i110-RA123 .....	178
Tabla 51-Equipos electrónicos carro .....	183
Tabla 52-Sensor inductivo Festo SIED .....	190
Tabla 53-Sensor magnetico CTC012.....	192
Tabla 54-Señales PLC.....	195
Tabla 55-Cilindro con Freno DNCKE .....	199

# 1. Introducción

## 1.1 Ámbito y justificación

La idea de desarrollo de este sistema surge en el marco del proyecto para el que se va a desarrollar dicho sistema, un “Simulador de Vuelo de Helicóptero de un EC 145 T2 D”.

Se trata de emplear un simulador de vuelo no solo para realizar horas de vuelo con un helicóptero únicamente durante toda la vida del simulador, sino que además poder utilizar dicho simulador para realizar horas de vuelo con otros helicópteros, cada vez, únicamente cambiando la cabina de un helicóptero por otra.

Al cambiar solamente la cabina del helicóptero se mantienen el resto de sistemas, por lo que se ahorra una cantidad sustancial de dinero pues se mantienen gran cantidad de sub-sistemas que se verán a continuación.

Además, al emplear un único simulador para varias cabinas de helicóptero, se ahorraría el espacio que ocupa un simulador relativo al número de cabinas que se empleen en el simulador, siempre teniendo en cuenta que habrá que disponer de una zona de estacionamiento para cabinas.

Los conocimientos necesarios para este proyecto abarcan desde el diseño mecánico y conceptos de mecánica básicos, sistemas neumáticos, sistemas eléctricos y electrónicos y una amplia búsqueda de mercado para que el producto final emplee el mayor número de elementos comerciales.

Mi implicación en este proyecto abarca las etapas de de propuestas, diseño, adaptación e instalación, quedando subcontratadas las labores de fabricación y montaje.

## 1.2 Objetivos

Los objetivos de este proyecto se reparten en objetivos para el cliente que recibe el simulador junto con el sistema de intercambio de cabina y objetivos internos de empresa para hacer un sistema competente y de coste reducido.

Los objetivos con el cliente vienen definidos en el documento “System Requirements”, que se encuentra en el [Anexo A](#), se resumen en los siguientes puntos traducidos del inglés al castellano:

1. El modulo de desplazamiento deberá permitir el movimiento de la cabina desde su posición en la sala de entrenamiento, hasta la plataforma de acceso al simulador.
2. El modulo de desplazamiento deberá permitir en anclaje de la cabina a la plataforma de vibración, en la sala de entrenamiento.

3. El anclaje entre modulo de desplazamiento y la parte inferior de la cabina será mediante tornillería.
4. El modulo de desplazamiento deberá soportar una carga de 900 kg.
5. Las dimensiones horizontales del modulo de desplazamiento deberán ser 2x1.8 m.
6. El modulo de desplazamiento deberá tener una altura máxima de 0.15 m.
7. El peso máximo del modulo de desplazamiento deberá ser de 170 kg.
8. El modulo de desplazamiento deberá incluir un sistema (por ejemplo raíles) que permita el desplazamiento de la cabina desde la parte superior de la plataforma de vibración hasta la plataforma de acceso al simulador.
9. El modulo de desplazamiento deberá incluir un sistema de rápido anclaje/des-anclaje.
10. El modulo de desplazamiento deberá permitir la transmisión de vibraciones desde la plataforma de vibración una vez que este anclado a ella.
11. El modulo de desplazamiento deberá poder soportar las cargas derivadas de la plataforma de vibración. Además, la carga máxima que deberá soportar estará derivada de un fallo en el sistema de movimiento, siendo la carga máxima en caso de tal fallo de 2.5g.
12. El modulo de desplazamiento no deberá permitir ruidos indeseados. (Por ejemplo los debidos a la vibración y el sistema de movimiento).
13. El modulo de desplazamiento deberá estar pintado en negro mate para evitar cualquier tipo de reflejo proveniente del sistema visual.

Los objetivos internos con la empresa para realizar el sistema de intercambio de cabina son:

1. Realizar distintas propuestas para dar solución a un sistema que permita el intercambio de las cabinas de un simulador manteniendo las partes de cada uno del resto de sistemas que conforman el propio simulador de vuelo.
2. Dichas propuestas deberán componerse del mayor número de elementos comerciales posibles a fin de obtener recambios para averías futuras, puesto que la empresa ofrece un servicio de mantenimiento posterior a la entrega del Simulador de Vuelo de Helicóptero EC 145T2 D.
3. Automatizar el sistema en la medida de lo posible.
4. Emplear las herramientas disponibles por parte de la empresa para realizar las distintas fases del proyecto:
  - a. Internet para documentar las propuestas.

b. Solid Edge ST4 v.SIEMENS como herramientas de diseño de planos, conjuntos, cableados y 3d.

c. Visio para planos eléctricos, ruteados de cable, diagramas y esquemas eléctricas.

d. Word para listas de cableados y materiales.

e. Orcad para planos de conjuntos de cajas eléctricas y PLC.

f. PcWorx para el control de PLC.

5. Realizar pruebas internas y con el cliente con cero fallos.

### 1.3 Estructura del documento

Este proyecto se divide en seis capítulos:

**1- Estado de Arte:** En este primer capítulo se introducirá el documento describiendo el marco en el que se sitúa. Se presentará la historia de los primeros Simuladores de Vuelo y el aspecto y partes de los Simuladores de Vuelo de ahora. Además se resumen los requisitos para el diseño del sistema.

**2- Propuestas de Diseño y Elección:** A modo de anteproyecto se presentarán las distintas propuestas realizadas para dar con un diseño definitivo. Se explicará el motivo de elección para el diseño final con respecto a las propuestas anteriores.

**3- Diseño y Adaptación:** Se llevará a cabo el diseño del sistema aportando capturas a los programas de diseño empleados. Además, en este capítulo se explicará los diversos cambios que en el simulador se deberán efectuar para poder emplearse el Sistema de Intercambio de Cabinas en el Simulador de Vuelo EC 145 T2 D.

**4- Proceso Completo:** En este capítulo se explicará el resultado final del proceso completo aportando una lista de comandos e instrucciones que el usuario final deberá realizar para poder realizar el intercambio de cabinas en el Simulador de Vuelo.

**5- Conclusiones y cambios:** Concluye el trabajo, presenta los objetivos iniciales y los resultados finales, comparándolos y por último comenta cambios a realizar notificados durante cada una de las fases del proyecto.

**6- Bibliografía:** Finalmente, en este capítulo se recogen los libros, documentos, revistas y catálogos empleados para obtener el producto final.

Además, a lo largo del proyecto se hace alusión a Anexos que facilitan tablas, cálculos, ecuaciones y demás documentos que hacen más fácil la comprensión del proyecto.



## 2. Estado de Arte

### 2.1 Antecedentes

#### Antepasados de los Simuladores de Vuelo

Un **simulador** es un aparato, por lo general informático, que permite la reproducción de un sistema. Los simuladores reproducen sensaciones y experiencias que en la realidad pueden llegar a suceder.

Las funciones de un simulador son:

- Reproducir sensaciones físicas: velocidad, aceleración, entorno y percepciones visuales.
- Reproducir equipos de la máquina que se pretende simular.

Para ello se recurre a complejos sistemas que utilizan tecnologías mecánicas, eléctricas, neumáticas, electrónicas que junto al software que utiliza complejos modelos matemáticos se da a lugar a sistemas capaces de simular prácticamente cualquier mecanismo real. Para reproducir el paisaje se recurre a bases de datos de terreno real o ficticio.

En la actualidad se pueden encontrar simuladores de cualquier tipo de sistema, entre los más demandados se encuentran: simuladores de conducción de automóviles, de carreras, de vuelo, de vida, de modelos de negocio, de guerra, trenes, medicina...

En concreto, un Simulador de Vuelo es un sistema que trata de replicar la experiencia y sensaciones de pilotar una aeronave de una forma precisa y real que garantice que el piloto puede entrenar en él.

En la vida real se encuentran Simuladores de Vuelo que van desde videojuegos hasta complejas cabinas a tamaño real montadas sobre actuadores que simulan el movimiento o sensación del piloto en la aeronave al pilotarla.

Los simuladores de vuelo se emplean fundamentalmente para el entrenamiento de pilotos tanto a nivel civil como militar y es por ello que en función al tipo de simulador y las sensaciones que simula se le asocia una certificación. Los simuladores que consiguen simular fuerzas en los seis ejes de fuerza, acompañado de una cabina con equipos reales y un campo visual real, junto con una base de datos de terreno real se denomina **Simulador de Vuelo Profesional**.

Los simuladores son evaluados por instituciones gubernamentales tales como la Administración Federal de Aviación de estados unidos (FAA) [1] y Direcciones de Aeronáutica Civil de diferentes países, las cuales clasifican, regulan y certifican estos dispositivos según su categoría en niveles A, B, C y D. La principal exigencia para la certificación de estos equipos consiste en demostrar que sus características de vuelo coinciden exactamente con las de la aeronave para la cual fue fabricado el simulador. Esta clase de requerimientos de prueba para los simuladores están detallados en guías denominadas ATG (Guías de Pruebas de Aprobación)

o QTG (Guías de Pruebas de Calificación) [2], que no son otra cosa que documentación donde se especifica cada una de las características técnicas del simulador y cómo se prueba y comprueba su correcto funcionamiento.

En España las principales empresas que realizan simuladores de vuelo son Indra y EADS. Por otro lado, la empresa española DiD (actualmente SimuMAK), es la responsable del desarrollo de la mayor parte de los simuladores de maquinaria existentes en el mercado internacional.

La 1ª Guerra Mundial acrecentó el desarrollo de una nueva disciplina en la psicología de la aviación debido a la necesidad incipiente de la formación de un gran número de nuevos pilotos.

El primer simulador de vuelo, por ese entonces llamado “entrenador de vuelo”, fue inventado en 1909, para poder entrenarse adecuadamente en el vuelo del “Antoinette”. Este entrenador de vuelo consistía de medio barril, como asiento del piloto y las ruedas. Otro personal asistía a los movimientos requeridos por el piloto bajo instrucción con largas varas de madera adjuntas al barril.

Este entrenador fue bautizado como “Entrenador barril Antoinette”. Un modelo de este entrenador se encuentra en la galería del Airbus Training Centre en Toulouse, Francia.



Figura 1-Entrenador Barril Antoinette [3]

Un gran número de entrenadores de vuelo fueron desarrollados durante la 1era Guerra Mundial. Para ayudar en la evaluación de la aptitud de potenciales aviadores, tuvo lugar un aumento importante en la creación de nuevos dispositivos de vuelo. Por ello en el año 1915, se presentó una nueva máquina consistente en un fuselaje ficticio y preparado para la medición del tiempo de reacción en la corrección de perturbaciones que además, estaba equipado con controles y un aparato de grabación acoplado al mismo. En él, la respuesta del alumno a la inclinación producida manualmente por el examinador, era grabada y posteriormente evaluada.

En 1917, surge un nuevo invento conocido como el “**Orientador Ruggles**” por el nombre de su creador, William Guy Ruggles. Este orientador consistía en un asiento montado dentro de un conjunto en un de anillo de suspensión que habilitaba la rotación completa del alumno en los tres ejes de movimiento y además también, proporcionaba movimiento en vertical. Todos los movimientos eran producidos por motores eléctricos controlables por los ejes simulados y barras de timón entre el estudiante y el examinador. El Orientador Ruggles se demostró muy útil para el “desarrollo y formación de las funciones de los canales semicirculares del oído interno, y para proporcionar una instrucción a los pilotos estudiantes para acostumbrarlos a cualquier posición que pudiera adoptar un avión en vuelo”. Además también permitía que el aviador pudiese ser privado de los sentidos visuales, de forma que el sentido de dirección aprendiese a sensibilizarse e instintivamente aprendiese a ser consciente de su posición a través de la niebla u oscuridad intensa. [3]

1,393,456.

W. G. RUGGLES.  
ORIENTATOR.  
APPLICATION FILED SEPT. 9, 1918.

Patented Oct. 11, 1921.

4 SHEETS—SHEET 1.

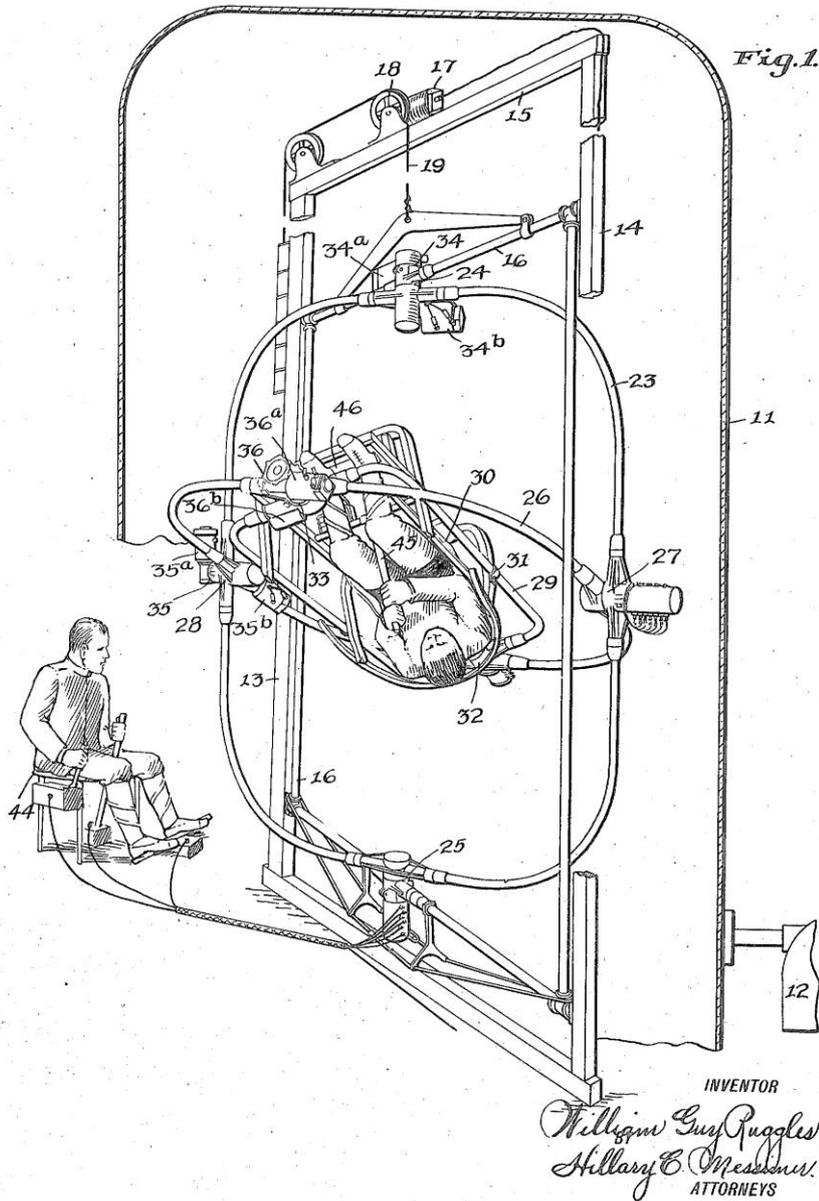


Figura 2-Orientador Ruggles [4]

El paso siguiente en la evolución del simulador de vuelo fue la sustitución de los dos auxiliares que generaban el movimiento en las máquinas por actuadores mecánicos o eléctricos, vinculados a los controles. El objetivo de estos dispositivos era girar el fuselaje del piloto de tal

forma que el piloto recibiese la respuesta dinámica de las fuerzas por acción de sus maniobras. Además el instructor de vuelo podría introducir perturbaciones y vibraciones debidas a fallos mecánicos o cambios climáticos que simulen casos reales en el pilotaje de una aeronave.

Ese mismo año 1917, se presentaban en Francia dos nuevos dispositivos de entrenamiento que fueron descritos por Maurice Lender y Paul Heidelberg. Estos dispositivos consistían en un fuselaje con movimientos en los 3 ejes de rotación producidos por motores de aire comprimido que por primera vez introducían variaciones de respuesta y sensaciones de velocidad simulada. También incluían el ruido del motor y una rudimentaria presentación visual.

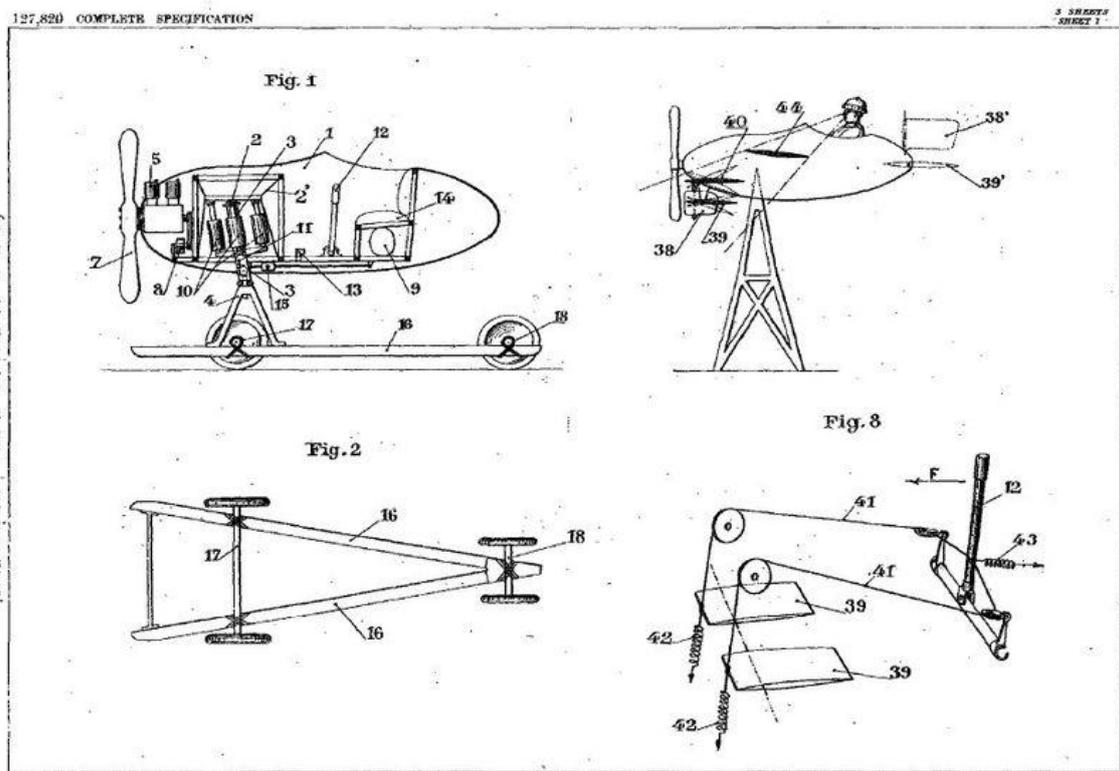


Figura 3-Simuladores de Lender y Heidelberg [5]

Para el año 1930, empiezan a describirse los primeros entrenadores de como “una ayuda eficiente a la formación aeronáutica y un dispositivo novedoso de entrenamiento rentable” y comenzaron a introducirse movimientos de cabeceo, balanceo y guiñada en los entrenadores de la misma manera que en sus predecesores, pero esta vez fueron utilizados fuelles neumáticos para el accionamiento de los ejes de movimiento por una bomba de succión eléctrica montada en la base fija, que alimentaba las diversas válvulas de control operadas por el eje y el timón, mientras que otro dispositivo producía una secuencia repetida de las perturbaciones de la actitud.

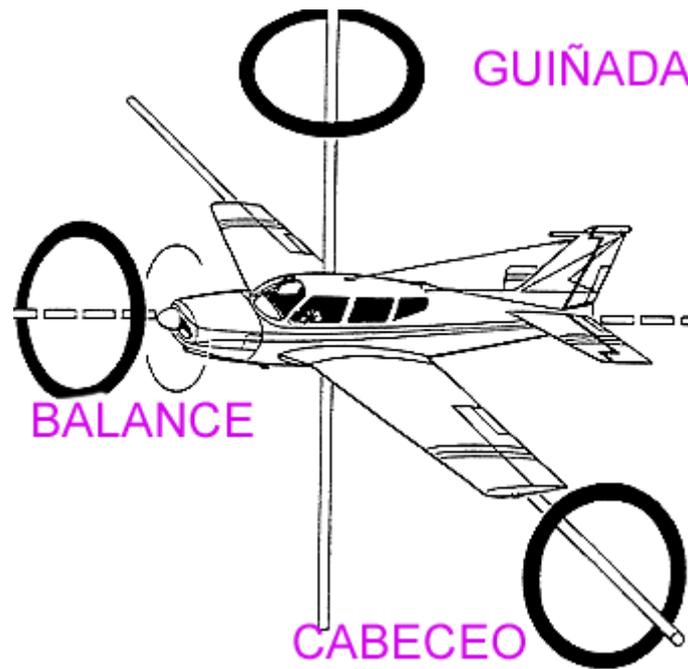


Figura 4-Movimientos Aeronave

El rendimiento de estos nuevos entrenadores de vuelo, fue ajustado por ensayo y error por el diseñador de cada modelo hasta que se obtuvo la sensación correcta deseada.

Por entonces, los efectos de los alerones, elevadores y timón simulados, eran independientes y no representan una verdadera reproducción del comportamiento coordinado de la aeronave.

Sin embargo, a pesar de todos estos avances y de llevar ya muchos años en desarrollo, la simulación del vuelo no fue vista como un sustituto del vuelo real por lo que la aceptación de vuelo simulado como ayuda útil al entrenamiento de vuelo tuvo que esperar nuevos acontecimientos en la ciencia del vuelo.

En 1929, Lucien Rougerie describe un simple entrenador, fijado al suelo, consistente en dos asientos frente a un panel de instrumentos y dos conjuntos de controles, uno para el estudiante y otro para el instructor. En este entrenador, los instrumentos de vuelo del estudiante estaban conectados directamente a los controles del instructor. El estudiante vuela el entrenador en respuesta a los comandos del instructor, quien a su vez modifica las indicaciones del instrumento de acuerdo con las acciones de los estudiantes. La precisión de la simulación dependía totalmente del Instructor.

En 1931, un instructor de la Central Flying School, Inglaterra, llamado W.E.P Johnson, desarrolla un entrenador mejor y se convierte de esta manera en uno de los pioneros del vuelo instrumental en Gran Bretaña.

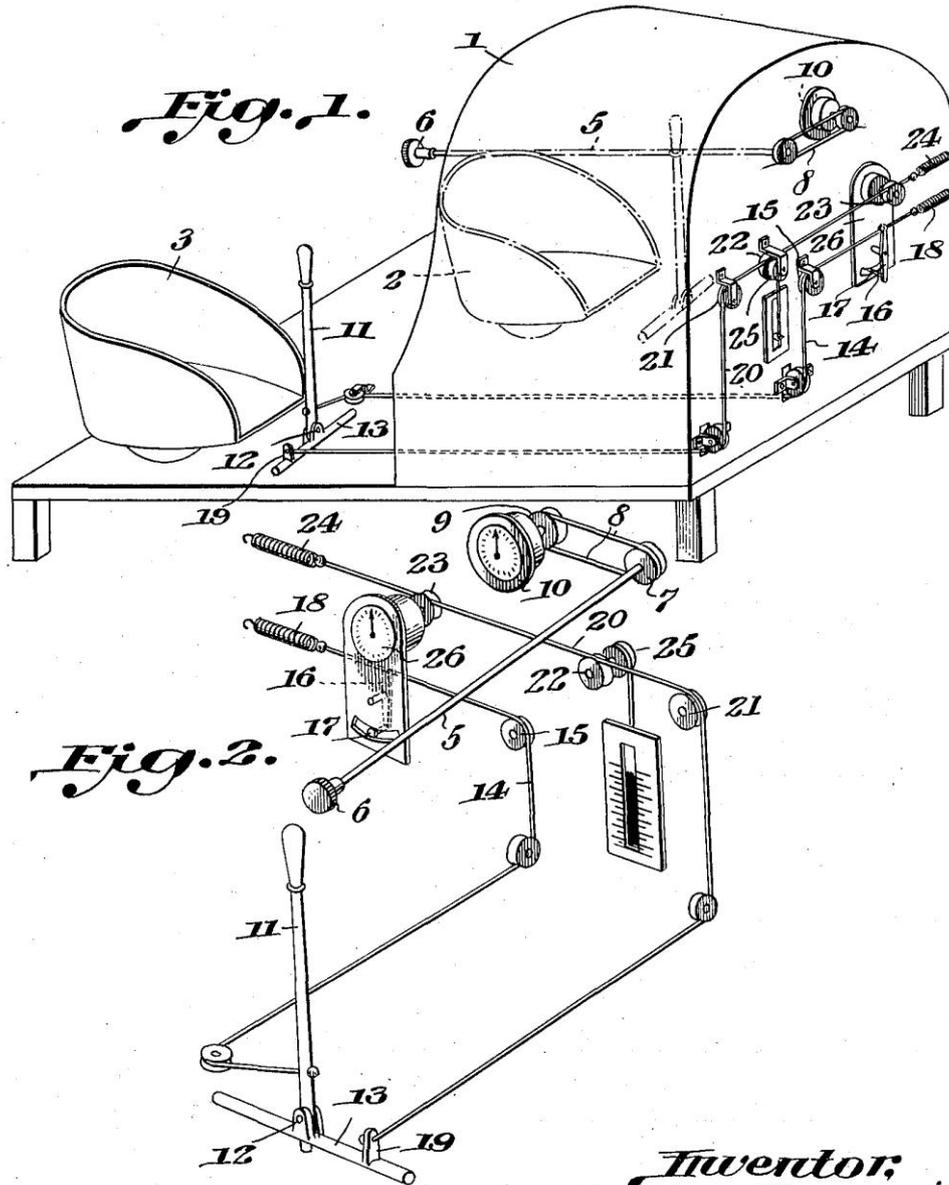
March 24, 1931.

L. ROUGÉRIE

1,797,794

TRAINING DEVICE FOR PILOTS

Filed April 29, 1929



*Inventor:*  
*Lucien Rougerie*

*By* *Emil Bönneke* *Att'y.*

Figura 5-Simulador Rougerie. L [6]

En 1932, se describe un aparato anclado al suelo que utiliza mecanismos similares a los de Johnson, anteriormente descritos, para vincular los instrumentos a los controles por Jenkins y Berlyn, de la Air Service Training Limited en Inglaterra. A raíz de estos mecanismos surgieron entrenadores capaces de rotar 360 °, se les llamaron simuladores Link, o “**Link Trainers**” en honor a su creador Ed Link. [3]



Figura 6-Link Trainers [3]

En la década de 1930, el dispositivo fue producido en varias versiones y fue vendido a muchos países, incluyendo Japón, la URSS, Francia y Alemania.

A comienzos de la Segunda Guerra Mundial, muchas de las principales fuerzas aéreas estaban haciendo su entrenamiento con los entrenadores Link, o con los dispositivos derivados de ellos.

Los Link Trainers continuaron siendo fabricados en la década de los años 50 y su principio de funcionamiento seguía siendo el mismo que en origen. [3]

El **Gunairstructor** fue un dispositivo consistente en un fuselaje ficticio de un avión de combate equipado con una cabina totalmente equipada con parabrisas, parte de las alas del avión, y con la particularidad de que la palanca de mando incorporaba un disparador que el estudiante utilizaba en sus maniobras, además de acelerador, pedales y punto de mira. Sentado en la cabina de mando, el estudiante veía un paisaje marino y en el frente le aparecía representado el cielo en una pantalla. En esta pantalla se proyectaba una silueta de un avión representando

un avión enemigo, sobre la cual el alumno debería maniobrar y seguir sirviéndose de sus controles de vuelo. [3]

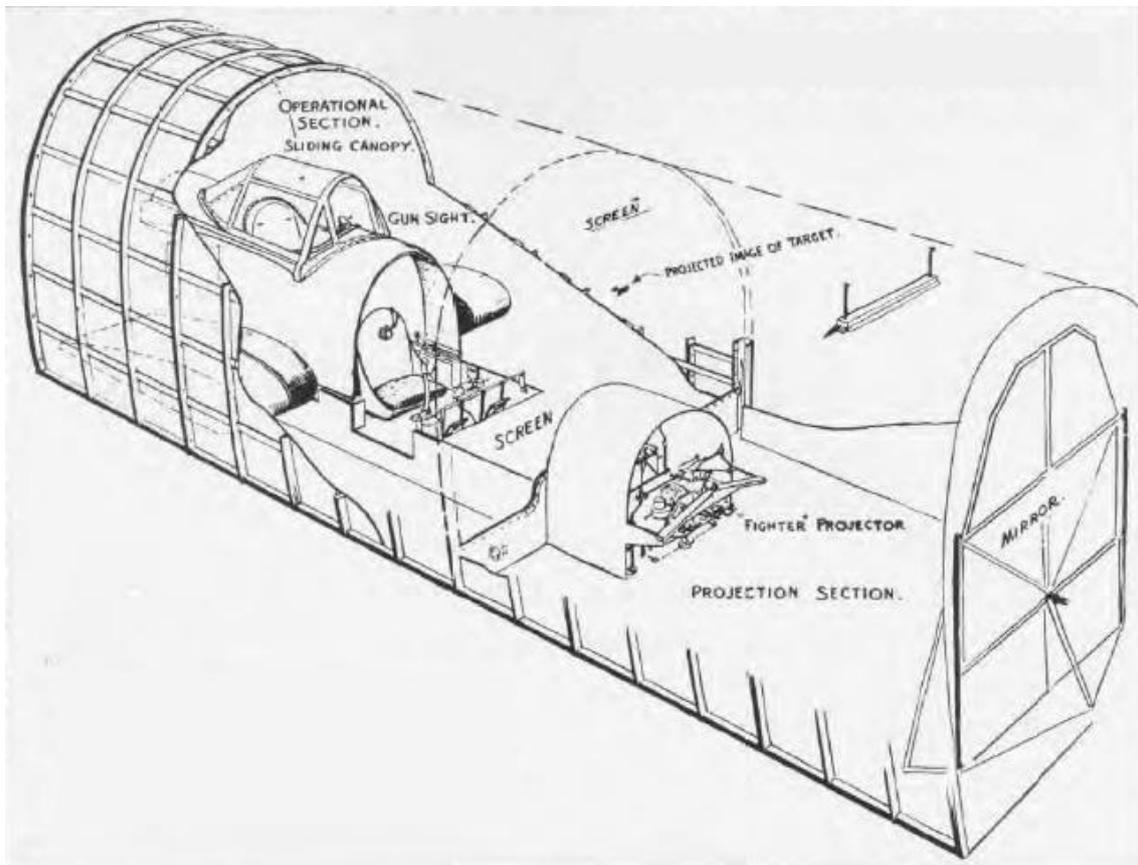


Figura 7-Simulador Gunairstructor [7]

El instructor se sentaba delante en configuración tándem en un puesto totalmente equipado para manejar la simulación.

La duración de la instrucción en este simulador solía durar alrededor de un mes y antes de acceder a este entrenamiento se debía acreditar un conocimiento del vuelo y haber pasado por la fase de los Link Trainers. [3]

### Actualidad de los Simuladores de Vuelo

En la actualidad se define Simulador de Vuelo como una técnica establecida usada en el área de sistemas hombre-máquina para entrenamiento, evaluación del rendimiento e investigación.

La principal tarea de la simulación de vuelo es la creación de una representación dinámica de un comportamiento del avión mientras se permite uno o más operadores humanos para interactuar con la simulación.

La simulación es una industria altamente especializada y hermética en gran medida. [8]

En el siglo XXI, las compañías aéreas recurren a los simuladores, ingenios en los que se reproducen fielmente los mandos y controles de las aeronaves, las situaciones por las que puede pasar un aparato en vuelo, las maniobras de despegue y aterrizaje en diversos aeropuertos, multitud de condiciones meteorológicas, etc., de esta manera las tripulaciones mantienen un elevado grado de entrenamiento en todo momento, siendo además obligatorias el pasar determinados exámenes de refresco de conocimientos y aptitudes en los mismos en tiempos establecidos.

El aspecto actual de los Simuladores de Vuelo se puede ver en la siguiente figura. En ella se observa el sistema de movimiento del simulador compuesto por actuadores y una Sala de Entrenamiento sobre ellos. En esa sala se encuentra la réplica de la cabina de la aeronave y sobre el interior de la superficie curva se proyectará la imagen vista por los pilotos.



Figura 8-Simulador Siglo XXI

Un simulador de movimiento completo, denominado **Full Motion Flight Simulator** (FSS), [9] replica todos los aspectos de una aeronave específica y de su entorno, incluyendo todos sus movimientos básicos. Este tipo de simuladores pueden generar movimientos de modo que los ocupantes sientan un nivel de realismo tal como sucedería en una aeronave real, engañando a las tripulaciones y haciéndoles creer que se encuentran volando. Para lograrlo, se combinan una serie de aspectos tecnológicos que estimulan el sistema visual y sensorial de los pilotos.

[9] *Completo simulador de vuelo (FSS) es un término utilizado por las autoridades nacionales (civiles) de la aviación (NAA) para un alto nivel técnico de simulador de vuelo. Estas autoridades incluyen la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos y la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA)*

Los primeros sistemas "full motion" [9] solían simular el terreno usando un modelo de terreno y haciendo elevar una cámara sobre él con la misma posición en la cual se supone que debía estar la aeronave. El resultado eran imágenes proyectadas en un televisor. Naturalmente el área simulada era muy pequeña y habitualmente se limitaba a los alrededores del aeropuerto. El uso de computadoras digitales para la simulación de vuelo empezó en los años 60.

Adicionalmente, muchos simuladores son equipados también con funcionalidades que son utilizadas por los instructores. Estas estaciones que se encuentran dentro del propio simulador, son conocidas como IOS (Instructor Operation Stations) [10], desde las cuales el instructor puede rápidamente crear cualquier situación anormal o de emergencia en la aeronave simulada o en su entorno exterior simulado, los que pueden ir desde:

- Fuego en los motores
- Mal funcionamiento en el tren de aterrizaje
- Fallas electrónicas
- Tormentas
- Rayos
- Riesgos de colisión con otras aeronaves
- Pistas de aterrizaje resbaladizas
- Fallas en los sistemas de navegación

Hasta otros inimaginables problemas con los que la tripulación deberá familiarizarse y, sobre todo, saber cómo actuar en cortos instantes de tiempo. La misión de los simuladores reales con movimiento completo, finalmente, es esencial para los pilotos, el entrenamiento de las tripulaciones y las empresas aéreas, ya que su objetivo final es ahorrar tiempo, dinero y obtener la mejor capacitación de los pilotos para salvar vidas en momentos críticos.

## 2.2 Aspectos generales de la aeronave y partes del simulador

Como el propio nombre indica, se trata de la fabricación de un sistema que debe simular el pilotaje de un helicóptero civil EC145 tipo T2, además la letra D indica el grado de certificación correspondiente a una hora de vuelo en el simulador, en este caso se considera simulación sellada como hora de vuelo real, pues el simulador no solo imita los equipos de la cabina del helicóptero, sino que además simula fuerzas y movimientos del mismo y el campo de visión de los pilotos es un territorio simulado que se corresponde con una zona terrestre real, a contratar.

*[10] Siglas que utiliza la empresa de aviación CAE para dar nombre a la zona desde la que el instructor de un simulador de vuelo monitoriza la actividad de los pilotos en un simulador.*

## Aspectos Generales de la Aeronave

El helicóptero EC 145 T2 es una aeronave diseñada por parte de la multinacional Airbus Helicopters, concretamente la división de Eurocopter Alemania.

Como características principales se pueden destacar las mostradas en la siguiente tabla: [11]

Tabla 1- Características Helicóptero EC145T2

<b>CAPACIDAD</b>	1 ó 2 pilotos + 9.10 personas
<b>PESO MAX.</b>	3550 kg
<b>CARGA ÚTIL</b>	1731 kg
<b>MOTOR</b>	2 motores Turbomeca Arriel 2E
<b>POTENCIA MAX.</b>	775 Kw
<b>VELOCIDAD MAX.</b>	248 Km/h
<b>ALCANCE MAX.</b>	680 Km

En la siguiente imagen se pueden apreciar las dimensiones del helicóptero.

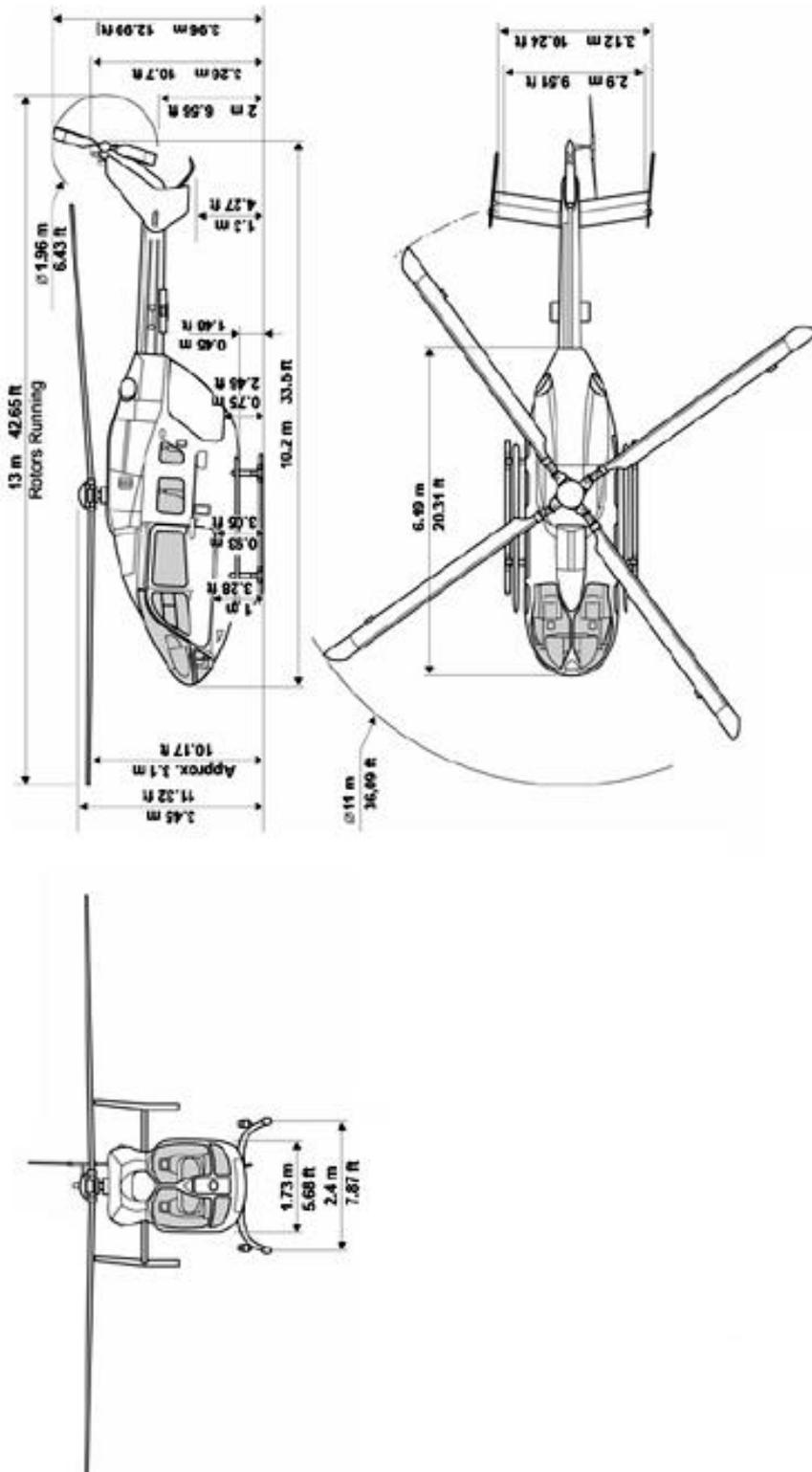


Figura 9-Dimensiones Helicóptero EC 145 T2

Una imagen real del helicóptero en vuelo:



Figura 10-Helicóptero real EC 145T2

### Partes del Simulador

Para poderse llevarse a cabo las propuestas de diseño y dar solución al apartado de “Adaptación” del punto 6 del proyecto es necesario dar a conocer las partes y sistemas que conforman este Simulador de Vuelo. Los distintos sistemas que conforman el simulador son:

- ✓ Sala de entrenamiento (Flight Compartment)
- ✓ Sistema Visual (Dome)
- ✓ Sistema de movimiento (Movement System)
- ✓ Sistema de Vibración (Vibration system)
- ✓ Sistema de comunicación y audio (Digital and Audio Systems)

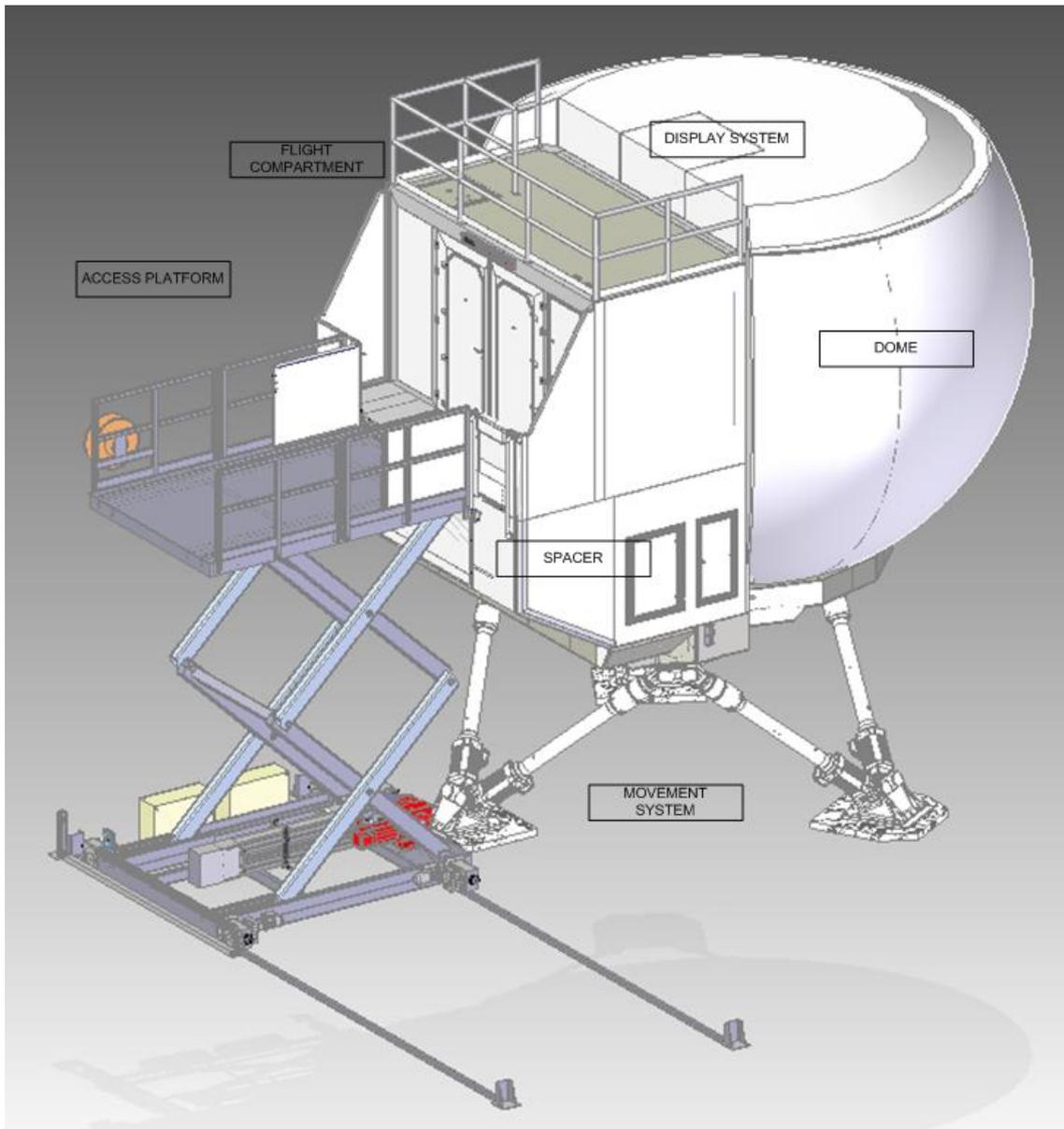


Figura 11-3d Simulador Vuelo EC 145 T2

### Sala de entrenamiento

Se trata de un habitáculo cerrado, perfectamente aislado del exterior y en el interior del simulador. Dicha sala engloba de los siguientes subsistemas:

1. Cabina o Cockpit.

Se trata de una réplica a escala real de la cabina del helicóptero. El chasis fabricado en fibra y teñido de negro contiene los equipos reales de los cuadros de mando de la cabina real. Las ventanas son idénticas a las del helicóptero real para así simular un campo de visión de los pilotos real. La siguiente imagen muestra un diseño de la cabina en 3d hecho utilizando el

programa de diseño Solid Edge ST4, versión SIEMENS. Dicho diseño ha sido aportado por el cliente pues el cliente se encarga de la fabricación de la misma en este proyecto en concreto.

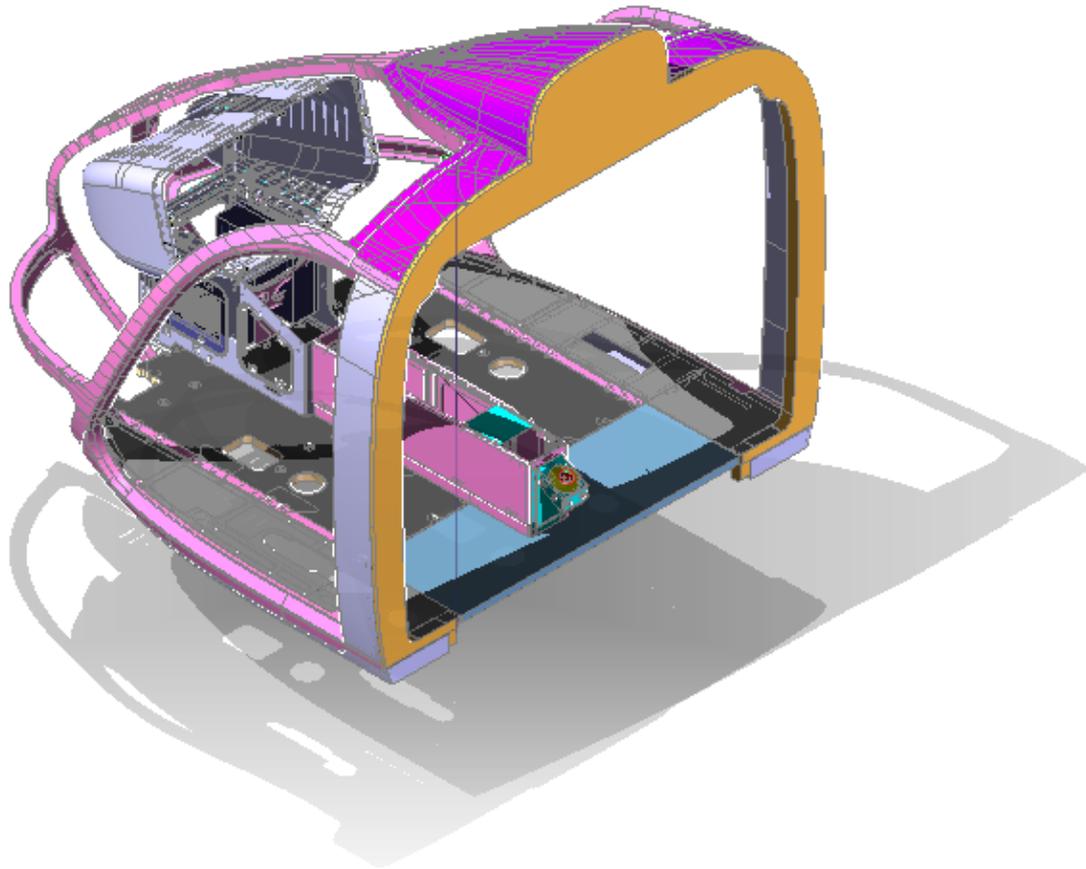


Figura 12-Cockpit 3d

## 2. Compartimento de vuelo o Flight Compartment.

Se trata de una sala perfectamente acondicionada y situada justo detrás de la cabina. Esta sala aloja dos asientos regulables para instructor y acompañante, dos monitores para lanzar misiones y una mesa.

El suelo de esta sala se corresponde con el techo de la Bodega.

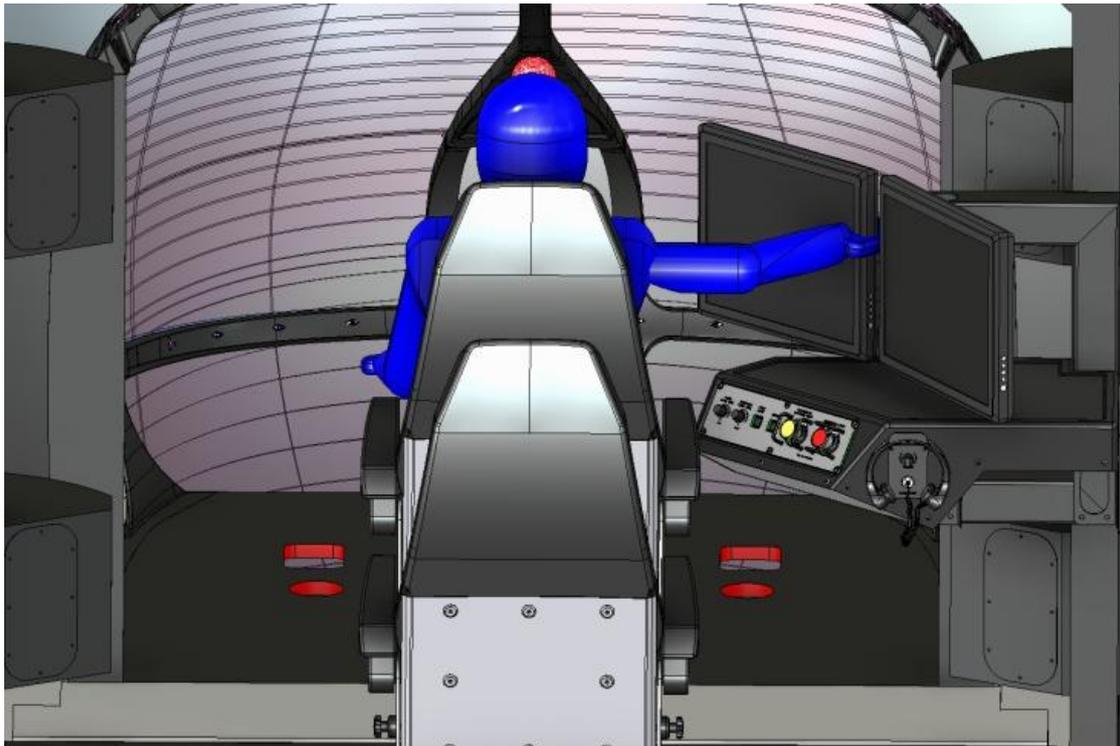


Figura 13-Sala de Entrenamiento

En la imagen anterior se observan las puertas, sala del rack embarcado, luces de emergencia y la posición que ocupan los asientos de instructor y acompañante. La imagen está tomada desde la zona del domo, quitando la cabina para poder la Sala de Entrenamiento.

Para una mejor comprensión de dicha sala la siguiente imagen muestra una vista aérea en la cual se ha realizado un corte al techo del simulador.

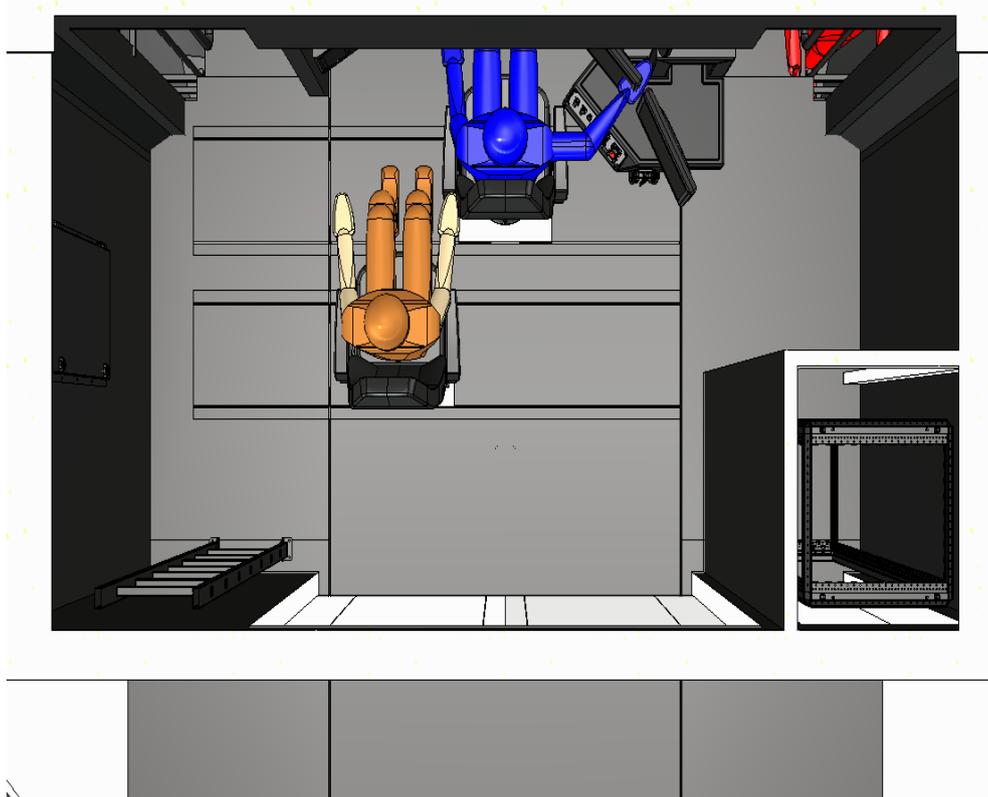


Figura 14- Sala Entrenamiento vista aérea

### 3. Estructura inferior o Baseframe.

Se trata de una estructura sobre la cual se monta el simulador y que aporta la rigidez necesaria para soportar los 1.5g que puede llegar a sufrir el simulador. Por la parte inferior de esta estructura va anclado el sistema de movimiento del simulador y por la superior la Bodega y el resto del simulador.

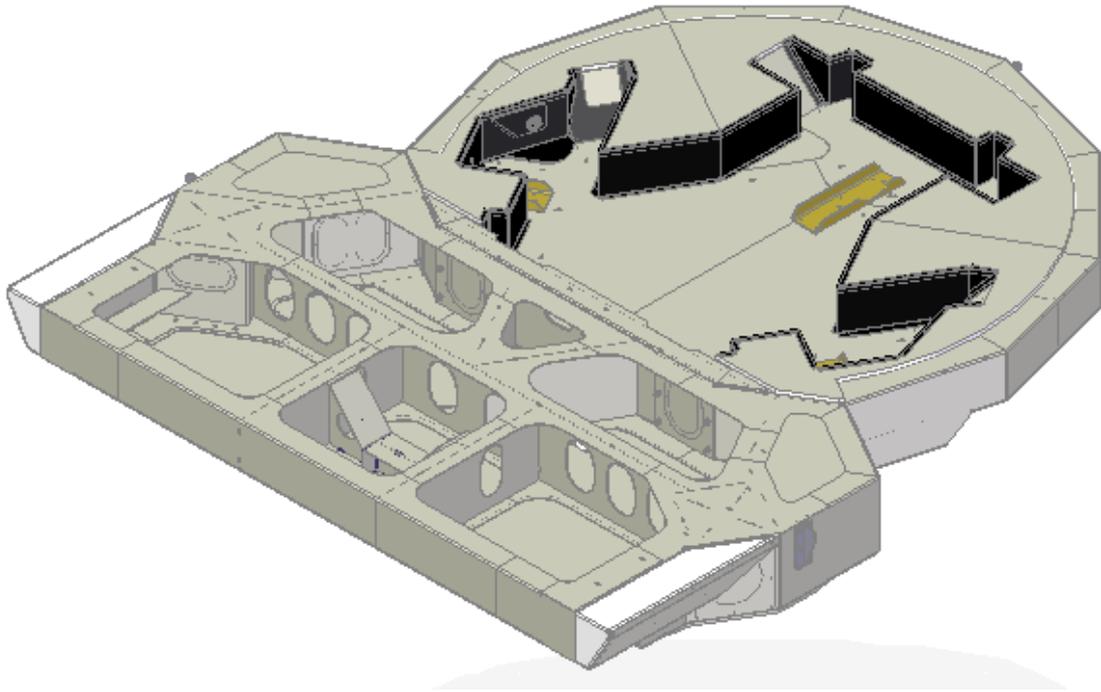


Figura 15- Baseframe

#### 4. Bodega o Spacer.

Habitáculo situado debajo del compartimento de vuelo. En él se encuentran los distintos equipos que ponen en funcionamiento el simulador, cuadros eléctricos, sistemas neumáticos y aire acondicionado. A él se accede por puertas laterales para llevar a cabo el mantenimiento de los equipos del spacer. Por encima de él se encuentra el compartimento de vuelo y por debajo los actuadores del sistema de movimiento.

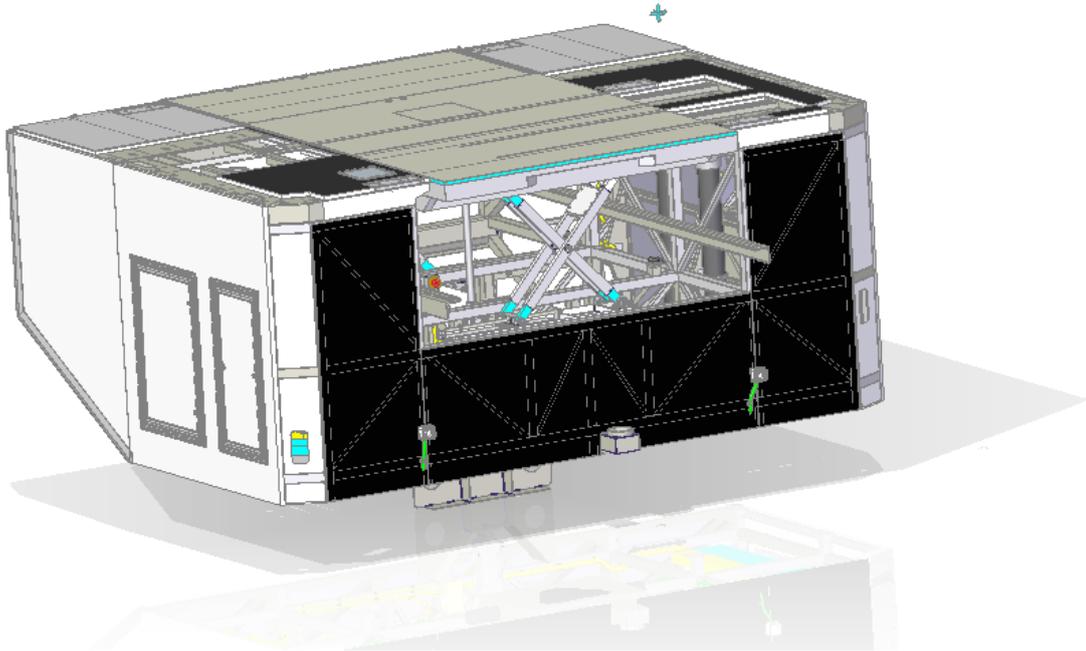
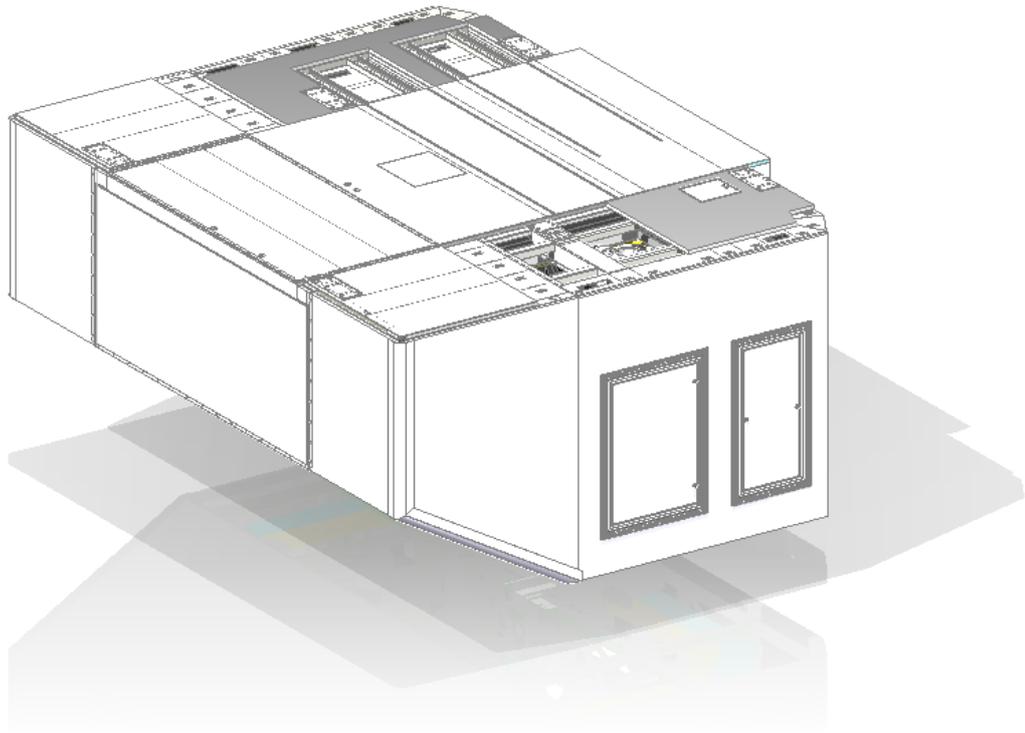


Figura 16- Spacer

5. Rack embarcado o Rack1.

Armario en el cual se encuentran las fuentes de alimentación del simulador, equipos que requieran acceso directo, ordenadores encargados de la plataforma de movimientos y distintos paneles de distribución que llevan alimentación y señales a todo el simulador.

Además se sitúan los Switches de red y sonido del simulador que se encargan de la comunicación con el exterior del simulador.



Figura 17-Visio Rack Embarcado

## 6. Plataforma de movimiento o Movement System.

Se trata de una estructura sobre la cual reside la cabina y que aloja 4 actuadores electromecánicos que simulan a la perfección las fuerzas que los mandos del helicóptero aportan a los pilotos. Puesto que los pilotos no pueden sufrir las fuerzas debidas a inercias, vibraciones o vientos que sentirían en el helicóptero real tanto sobre la aeronave como sobre los mandos, la Plataforma de Movimiento se encarga de que los mandos ofrezcan la resistencia necesaria a los pilotos en función al pilotaje de ese momento. Cada cabina necesita de su propia Plataforma de Movimiento, y es por ello que dicha plataforma se incluye en el conjunto a intercambiar junto con la cabina. Las conexiones a esta Plataforma de Vibración vienen desde uno de los huecos de la Bodega.

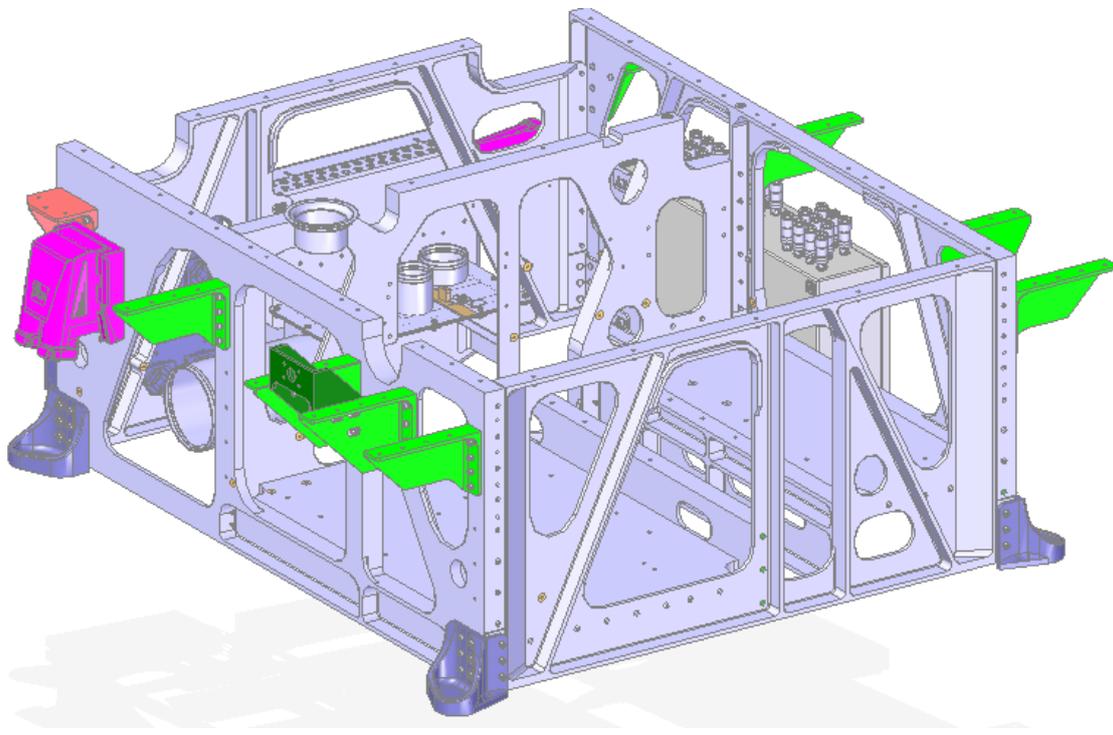


Figura 18-Plataforma Movimiento

La imagen anterior describe la estructura que soporta la cabina y en la cual entran los mandos de la cabina que conectan con unos actuadores que rigidizan o suavizan respectivamente los mandos de la aeronave.

## 7. Domo o Dome.

Se trata de un conjunto de gajos que aportan una forma esférica a una estructura sobre la cual se proyecta la imagen del paisaje en el que el simulador se encuentra. Las dimensiones de proyección del sistema visual sobre dicho domo son  $240^\circ$  en horizontal y  $90^\circ$  en vertical, que desde el punto cero del domo, u ojo piloto, se reparten en  $-60^\circ$  y  $+30^\circ$ . El Punto Ojo Piloto [8],

o POP, es el punto intermedio entre las dos cabezas de los pilotos, este punto se toma como referencia para la proyección de la imagen del paisaje.

[12] En el diseño de las interfaces hombre-máquina de usuario (HMI o IU), el Diseño Posición de los ojos (DEP) es la posición desde la que el usuario está destinado a ver la estación de trabajo para una visión óptima de la interfaz visual. El Diseño Posición de los ojos representa la ubicación ideal, pero nociónal de vista del operador y por lo general se expresa como un punto a mitad de camino monocular entre los alumnos del usuario medio. El DEP también puede permitir una estandarización de monocular y binocular "campo de visión" y puede ser integrado en el CAD / CAM sistema de diseño utilizado para definir la construcción de estación de trabajo.

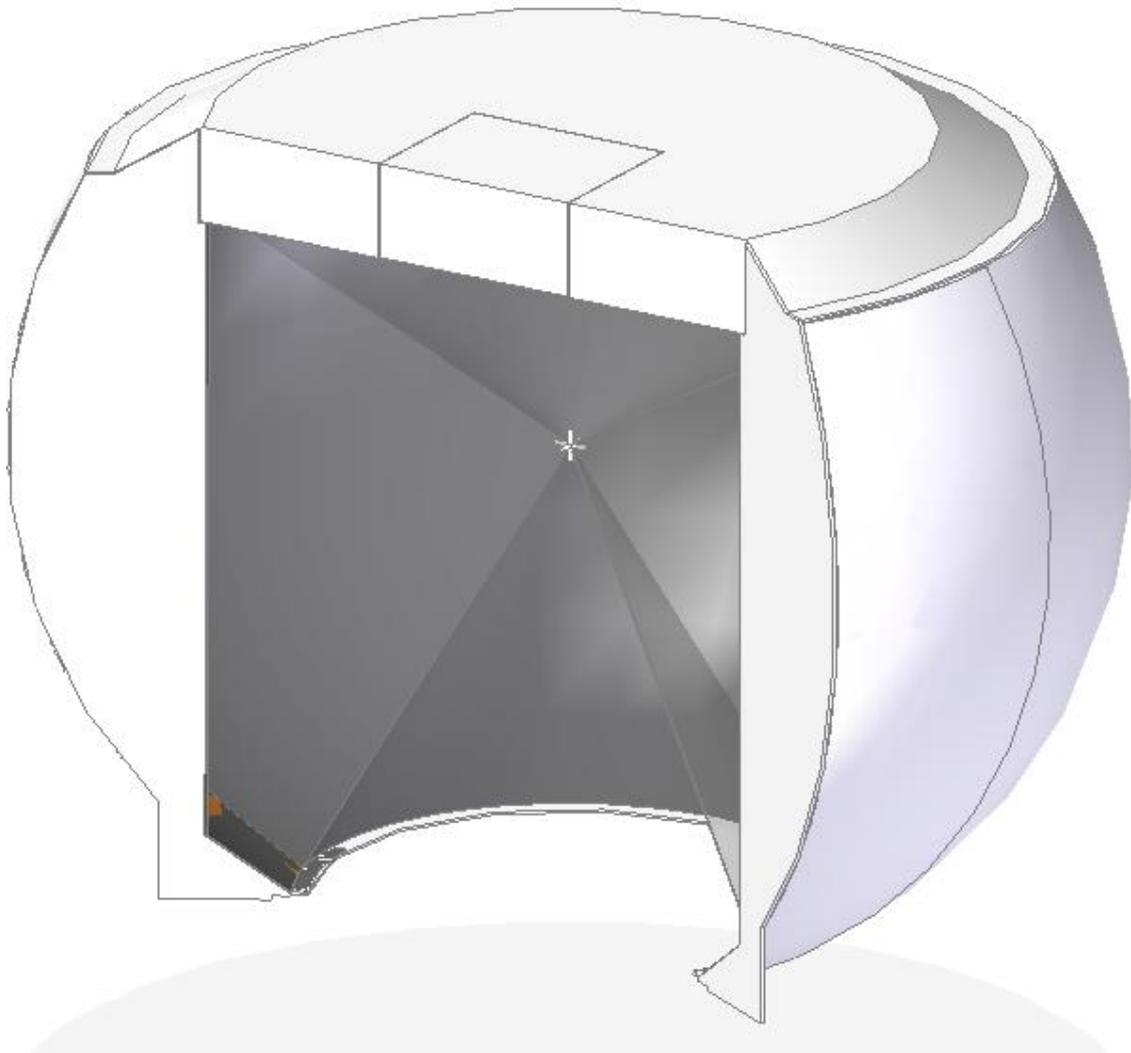


Figura 19-Domo

#### 8. Plataforma de acceso o Lifting/Access Platform.

Se trata de un sistema que permita a la tripulación entrar y salir de la zona de entrenamiento. Dicho sistema deberá poder ser retirado para que el simulador no choque contra él cuando se encuentre en modo vuelo una vez lanzada la misión.

Debido a que este simulador ha de poder intercambiar cabinas, el puente que habitualmente se utiliza para permitir el acceso de personas no podrá ser empleado, sino que se deberá instalar una plataforma que además permita la extracción de la cabina. En las distintas propuestas de diseño que se verán en el siguiente punto se habla de este punto con más detenimiento. Dicho puente se muestra a continuación.

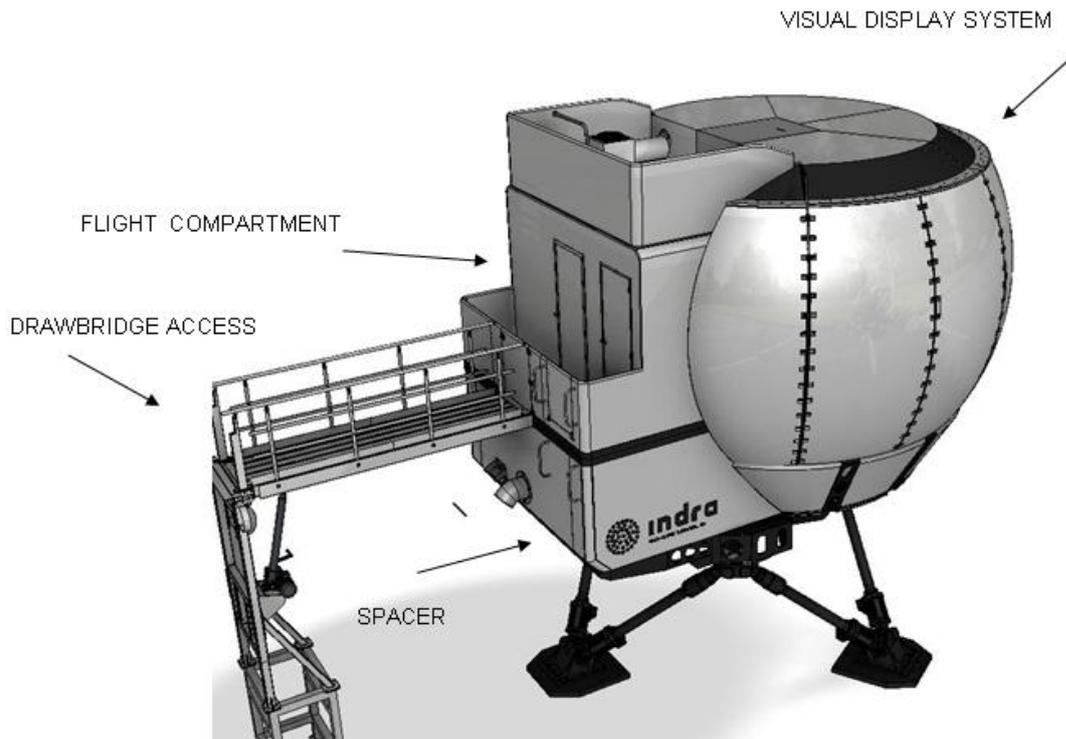


Figura 20-Puente acceso simulador

## 9. Balconadas.

En el simulador se instalan dos balconadas, ambas se ven en la Figura 20. Una primera balconada que separa la salida del Puente de Acceso y las puertas de entrada a la zona de entrenamiento. Esta primera balconada hace efecto de quitamiedos, en caso de parada de emergencia la tripulación sale a esta balconada y se queda fuera del simulador.

Una segunda balconada, en el techo del simulador, al cual se accede por una escalera anclada a la pared del interior de la sala de entrenamiento, sirve para llevar a cabo el mantenimiento de proyectores superiores.

## Sistema visual

Es el encargado de hacer que los pilotos tengan una sensación real de vuelo por medio del sistema de la vista. Está compuesto por un conjunto de proyectores que proyectan la imagen del paisaje sobre el domo. Dicho paisaje está controlado por una base de datos en la cual se almacena el territorio real que el cliente contrate. Para el caso de este proyecto, se necesitan quince proyectores en total, diez en la parte superior y cinco en la parte inferior.

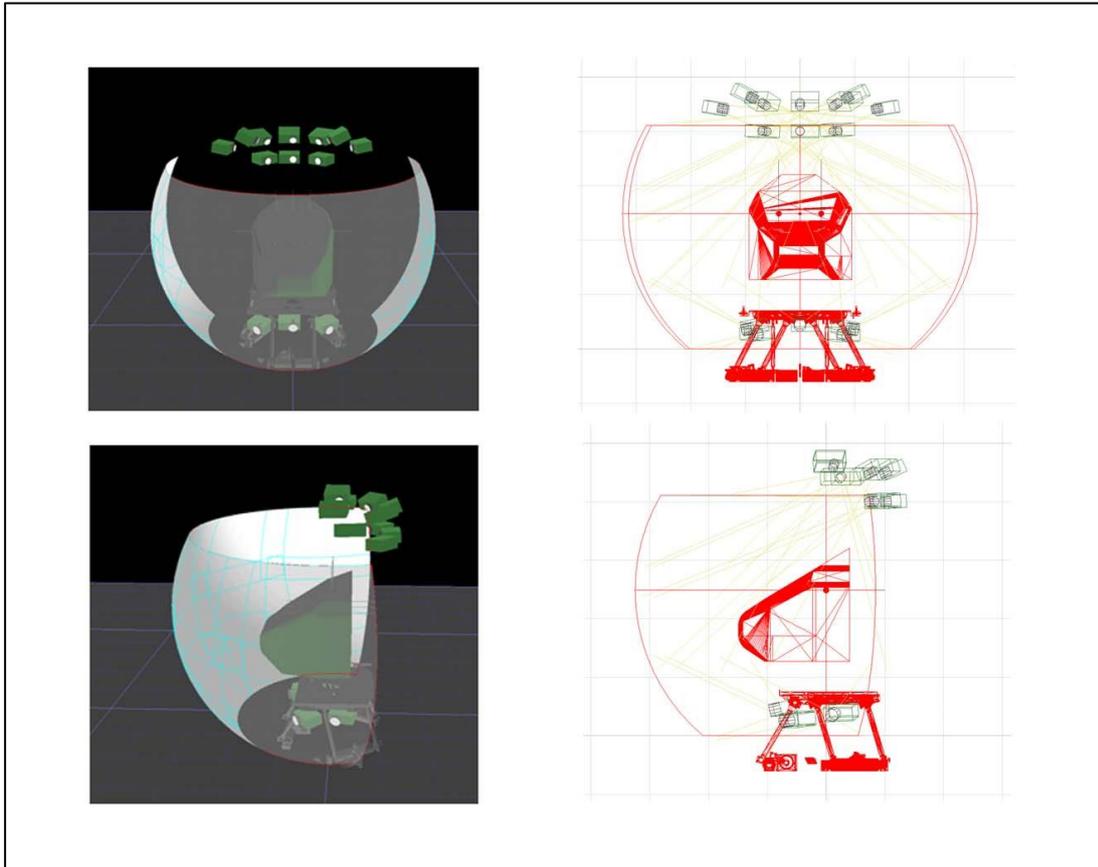


Figura 21-Sistema Visual

## Sistema de movimiento

Es un conjunto de seis actuadores electromecánicos que aportan el movimiento y las fuerzas de inercia en los seis ejes de movimiento al simulador, de tal forma que la sensación de los pilotos sea prácticamente real.

Dicho sistema se subcontrata a una empresa externa. Dado que el sistema es prácticamente estándar para todos los simuladores de Indra la siguiente imagen ha sido tomada de un EC 175.

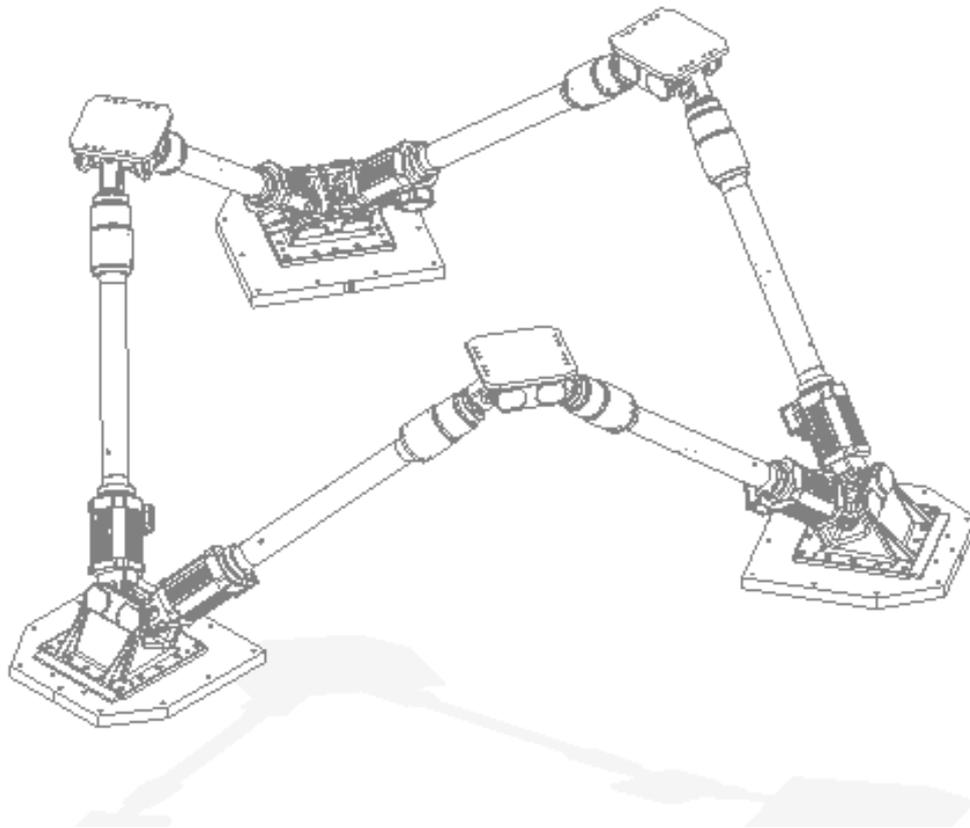


Figura 22-Actuadores Sistema Movimiento

### **Sistema de Vibración o Plataforma de Vibración**

Es una estructura compuesta por seis brazos, tres servomotores y tres tambores, que, aportan la vibración que los pilotos sufrirían en la vida real debido al movimiento de las hélices. Sobre dicha plataforma reside la cabina y la plataforma de movimiento.

Dicho sistema también se subcontrata a una empresa externa, la siguiente imagen ha sido tomada de un simulador militar fabricado en Indra, la plataforma se corresponde con la que irá montada en el simulador EC 145 T2.

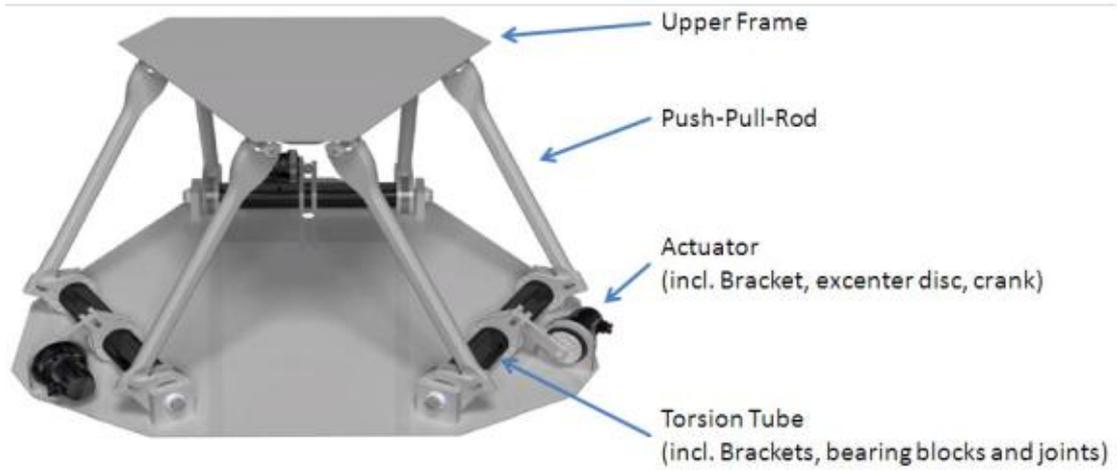


Figura 23-Plataforma Vibración

### Sistema de comunicación y audio

Es el encargado de emitir los sonidos debidos a los motores del helicóptero, y además se encarga de las comunicaciones entre pilotos, piloto-instructor y pilotos con el exterior. Todas estas redes pasan primero por el Rack embarcado y desde allí se distribuyen a todas las partes.

# EC-145T2

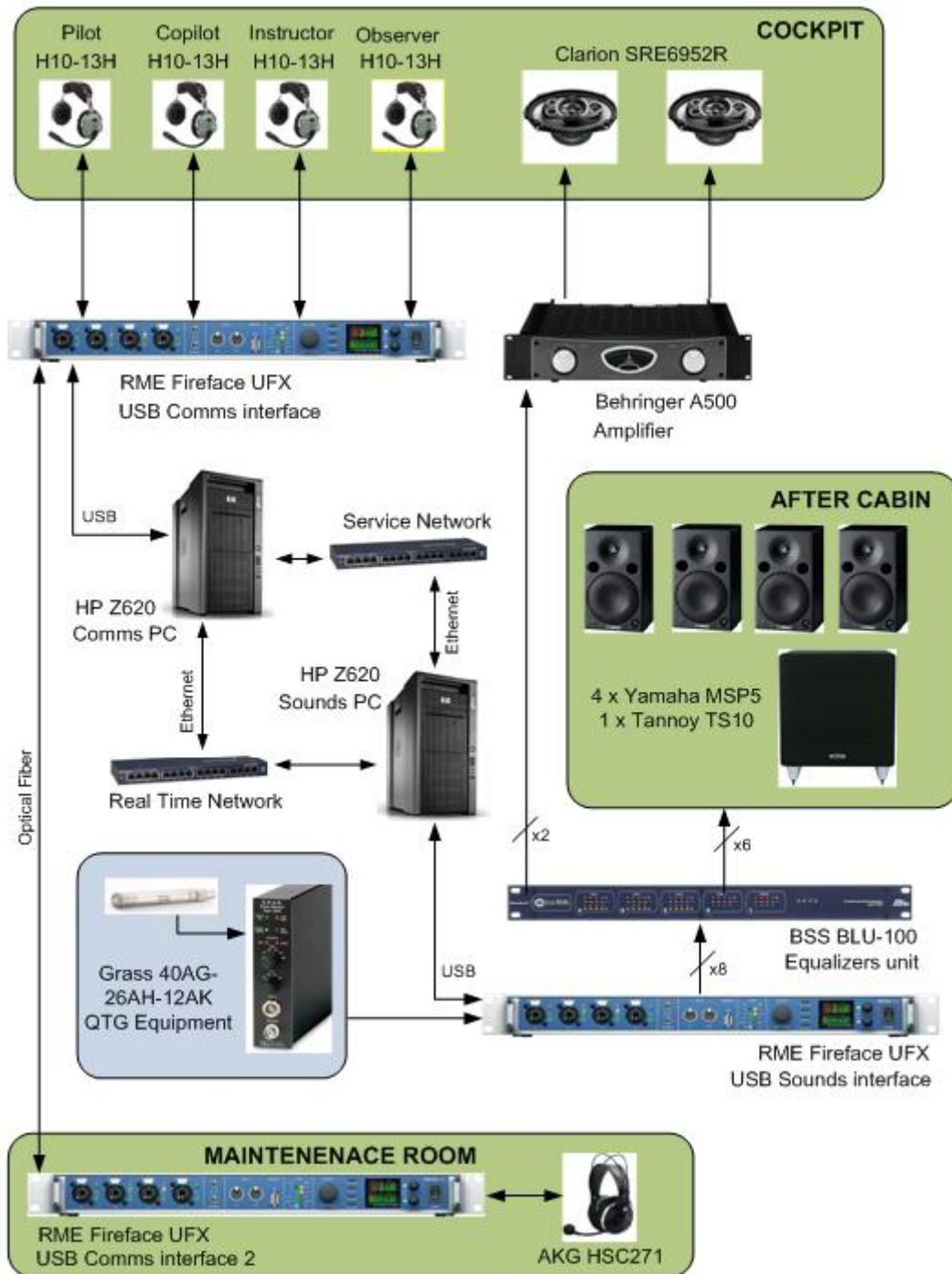


Figura 24-Sistema Comunicación y Audio

## 2.3 Normas y requisitos del sistema

Las normas y requisitos del sistema se encuentran recogidas en el documentos “RoRo System Requirements” que se encuentra en el Anexo A. Los puntos de interés resumidos que van a definir el sistema se muestran a continuación.

Se debe fabricar una estructura que soporte por su parte superior una cabina de helicóptero y una plataforma de movimiento por medio de tornillería, y que por su parte inferior, por medio de un sistema rápido se pueda anclar a la plataforma de vibración. Además deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Permitir el movimiento de fuera a dentro del simulador de vuelo y viceversa. Habrá que especificar cómo se producirá dicho movimiento.
- Se deberá anclar a la plataforma de vibración permitiendo la transferencia de vibraciones de uno a otro.
- Por su parte superior deberán atornillarse la Plataforma de Movimiento de la cabina.
- Cumplir con las siguientes dimensiones:
  - Mínimo 1380 mm de largo.
  - Mínimo 2000 mm de ancho.
  - Máximo 150 mm de alto.
- El peso del conjunto diseñado no deberá exceder de 170 kg.
- Soportar fuerzas debidas a:
  - Una fuerza vertical y con sentido negativo debida al peso de la cabina de 900 kg.
  - 2,5 g en cualquier dirección debido al fallo crítico de uno de los actuadores del sistema de movimiento.
  - Las fuerzas debidas a la vibración de la plataforma de vibración.

Al conjunto de requerimientos anteriores se debe añadir unos requisitos de espacio que vienen determinados por el edificio en el cual irá montado el Simulador de Vuelo. Este conjunto de requisitos del edificio se recogen en el documento “EC145T2 Building Requirements” cuyo extracto se encuentra en el Anexo A.



## 3. Propuestas de Diseño

### 3.1 Propuestas de diseño

Con los requisitos del punto anterior se puede comenzar a presentar los distintos diseños estudiados hasta llegar a un diseño final.

La propuesta para este proyecto consiste en plantear los siguientes sistemas:

1. Soporte/estructura para cabina y plataforma de movimiento
2. Sistema de guiado desde la posición de vuelo dentro del simulador hasta el exterior del mismo.
3. Mecanismo para posicionar el conjunto móvil sobre el suelo de la bahía del edificio.

El conjunto de propuestas que se expondrán a continuación está dividido en dos puntos. Un primer conjunto de propuestas abarcará tanto el soporte/estructura para cabina y plataforma de movimiento como el sistema de guiado hasta el exterior del simulador. Y un segundo conjunto de propuestas en el cual se presentan distintos mecanismo para posicionar el conjunto a mover desde el simulador hasta el suelo de la bahía.

### 3.2 Propuestas Estructura y Sistema de Guiado

Dado que el diseño de la estructura sobre la que apoye el conjunto a mover viene determinado por el sistema de guiado, en esta sección se van a proponer distintos sistemas de guiado que determinarán el diseño final de una estructura suficientemente rígida que debería incluir lo necesario para emplear uno de los sistemas de guiado seleccionados así como unirse a Plataforma de Movimiento y Cabina por su parte superior por medio de tornillería, de acuerdo a los requisitos y objetivos del proyecto.

#### 3.2.1 Primera Propuesta

A modo de patín, con cuatro sistemas de ruedas en cada una de las esquinas, tal y como se muestra en la Figura 25. Dicho sistema se compone de ruedas que deslizan tanto lateral como verticalmente. El conjunto formado por patín, cabina y plataforma de movimiento rodará sobre el suelo del simulador y las ruedas laterales servirán de guías rodando sobre un perfil lateral que se instalaría en el simulador. Dicho perfil sirve de guía de tal forma que el patín siga un recorrido sin salirse de él.

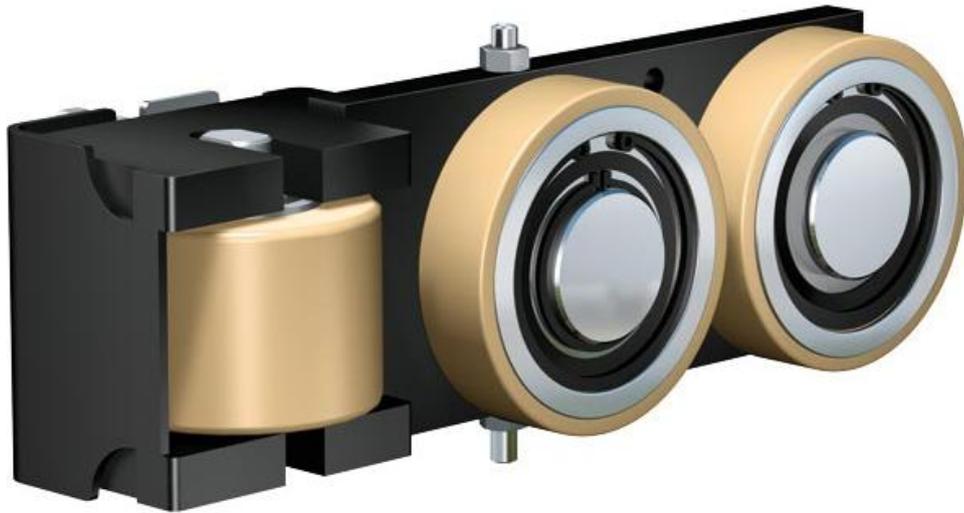


Figura 25-Sistema Guiado Propuesta1

### 3.2.2 Segunda Propuesta

Estructura soporte con sistema de guiado por carriles. La estructura con sistema de rodamiento en la parte inferior de la misma tracciona sobre raíles que van desde la posición de vuelo hasta el exterior del simulador.

Para garantizar un guiado perfecto, bien el raíl o la rueda del carro deben tener un perfil que garanticen un desplazamiento lateral nulo del conjunto a mover, de tal forma que el patín siga un recorrido definido por el carril sin peligro a descarrilamientos del mismo.

Un ejemplo de este sistema se puede ver en la Figura 26 [9].

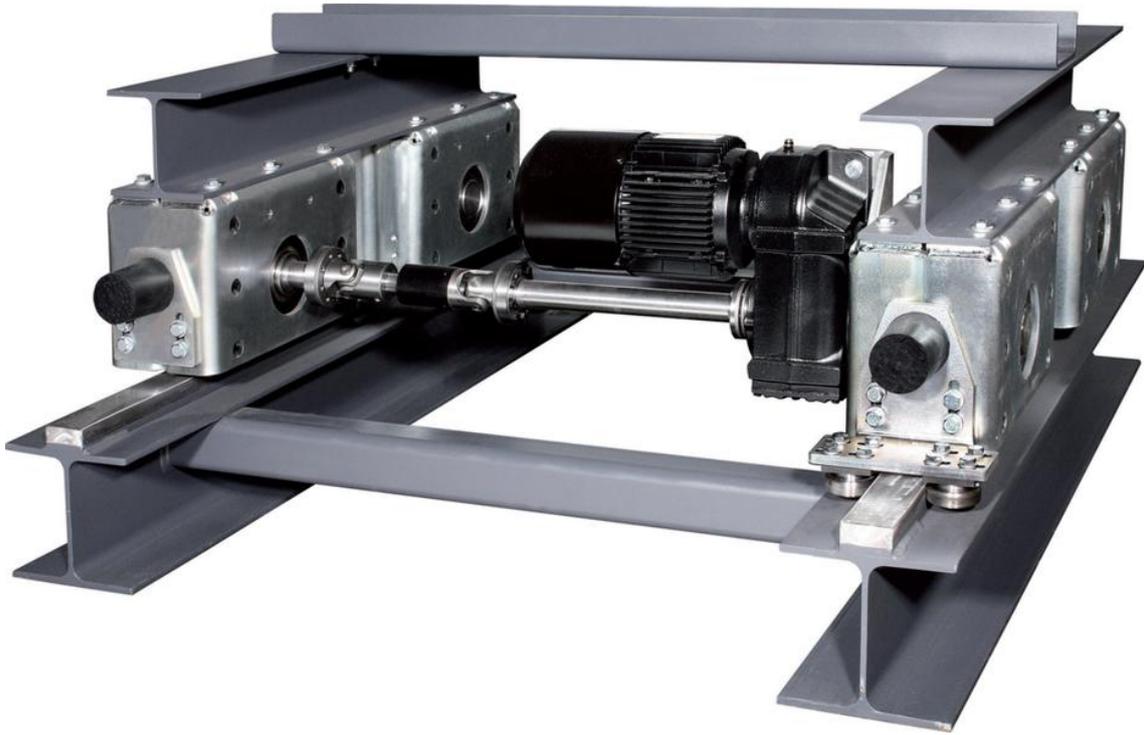


Figura 26-Sistema Guiado Propuesta2

### 3.2.3 Tercera Propuesta

Sistema de rodillos fijos en el suelo sobre el cual deslice el conjunto a mover. Se trata de un sistema de rodillos utilizado para el movimiento de cargas pesadas. La estructura, sin sistema de rodamiento, desliza por el suelo del simulador hasta el exterior del mismo. Al ser el suelo una zona de paso de personas, a modo de evitar deslizamientos innecesarios de la tripulación, se propone que los rodillos se encuentren en los laterales y no ocupando toda la superficie de paso del suelo.

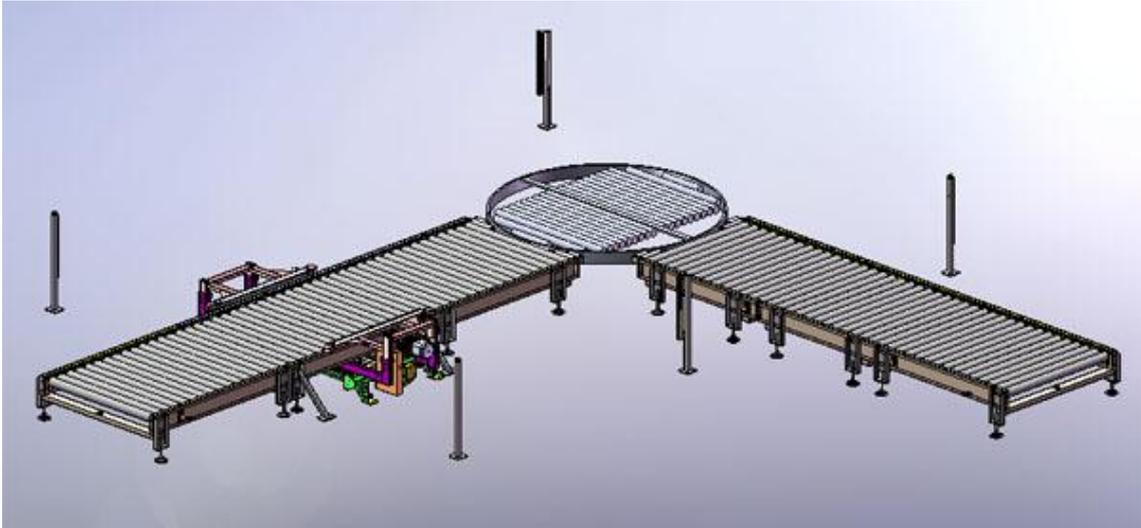


Figura 27-Sistema Guiado Propuesta3

### 3.2.4 Cuarta Propuesta

Rodillos neumáticos retráctiles. Como se ha mencionado anteriormente, el suelo del simulador es una zona de paso de personas, por tanto, de igual forma que se ha planteado anteriormente, el carro sin sistema de rodamiento deslizaría sobre unos rodillos que únicamente son visibles durante el proceso de intercambio de cabina, durante el cual no habrá tripulación en el interior del simulador. Estos rodillos son retráctiles gracias a un sistema neumático que los eleva cuando su uso es necesario. La Figura 28 muestra un ejemplo real de este sistema [13].



Figura 28-Sistema Guiado Propuesta4

Para una mejor comprensión del funcionamiento de estos sistemas se muestran a continuación dos imágenes que resumen visualmente el funcionamiento. Estas se pueden ver en la Figura 29 [14].

Las siguientes imágenes son capturas extraídas del video ROLLERBED.mpg, se puede ver en el siguiente enlace, [15].



Figura 29-Sistema Guiado Propuesta 4.1

En la Figura 29 se observa como por la acción de cierta presión neumática unas bolsas de aire elevan el rodillo por encima de la superficie de tal forma que se posible el deslizamiento.

### 3.2.5 Quinta Propuesta

Estructura guiada con patines desmontables. La estructura rígida utiliza un sistema de rodadura basado en patines desmontables. Estos patines van anclados a la parte inferior de la estructura que soporta tanto cabina como plataforma de movimiento. El kit de montaje incluye una palanca para que sea factible el movimiento por medio de un individuo tirando del conjunto.

Una imagen del Kit comercial que se puede encontrar en internet se muestra en la Figura 30 [20]

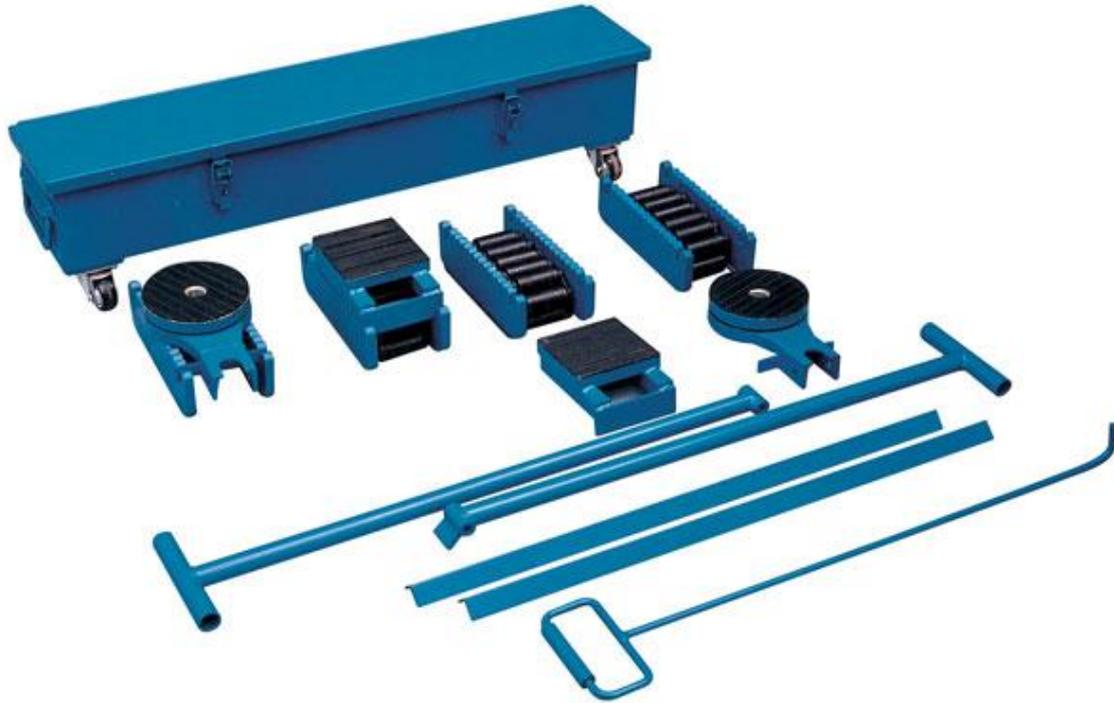


Figura 30-Sistema Guiado Propuesta5

### 3.3 Propuestas Sistema de Elevación/Bajada

Una vez el conjunto a mover ha sido desplazado hasta el exterior del Simulador de Vuelo ha de depositarse sobre el suelo del edificio en el que reside el Simulador para llevarlo hasta una zona de estacionamiento fijada y posteriormente introducir la nueva cabina junto con su Plataforma de Movimiento. Para ello es necesario un mecanismo que realice dicho movimiento. Las distintas propuestas para dicho mecanismo se resumen a continuación.

#### 3.3.1 Primera Propuesta

Puente Grúa. Una vez que el conjunto estuviera fuera, residiendo sobre el puente de acceso al simulador, un puente grúa se encargaría de elevar el conjunto por medio de amarres y eslingas para después depositarlo en su puesto de destino y posteriormente introducir el siguiente conjunto con la nueva cabina y su correspondiente Plataforma de Movimiento.



Figura 31-Sistema Elevación/Bajada Propuesta1

### 3.3.2 Segunda Propuesta

Plataforma de tijera. El conjunto formado por cabina, carro y plataforma de movimiento, una vez fuera del simulador residirá sobre una plataforma de tijera que permitirá descender el conjunto hasta el suelo del edificio y posteriormente descargar dicho conjunto sobre un carro para llevarlo hasta su posición de destino y proceder al intercambio de cabinas.

Dicha plataforma deberá tener un recorrido vertical suficiente para ascender hasta la altura del simulador.

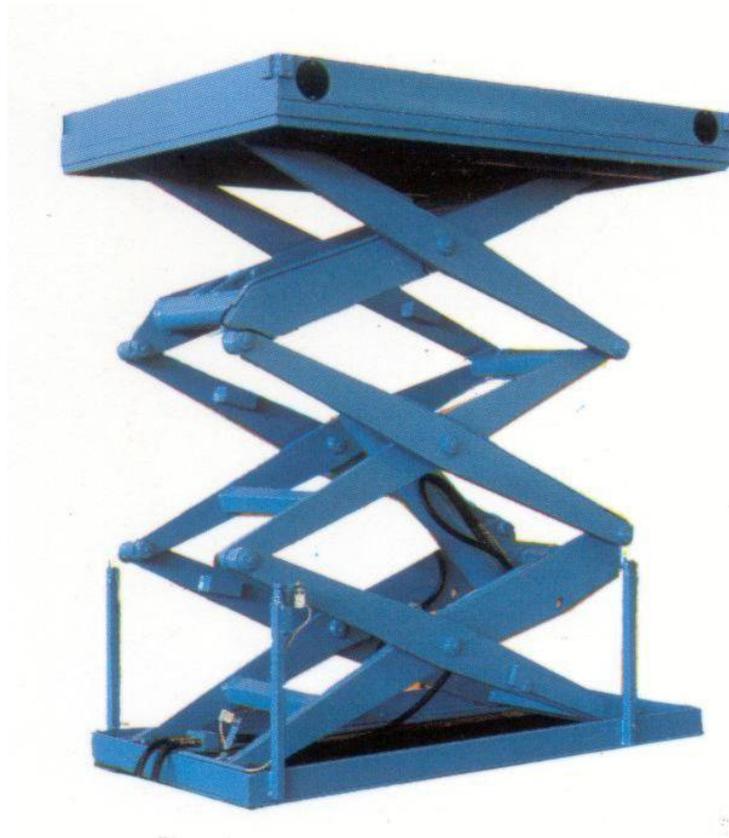
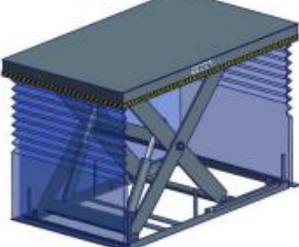
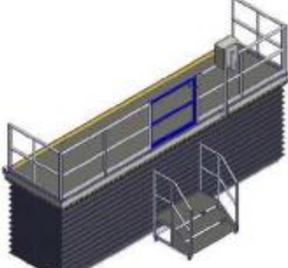
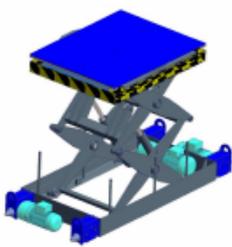


Figura 32-Sistema Elevación/Bajada Propuesta2 [17]

La Figura 32 [17], muestra un sistema de plataforma de doble tijera del fabricante de plataformas Vinca. En el catálogo de dicho fabricante [17] se encuentran distintas combinaciones posibles para plataformas de tijera que se muestran en la Figura 33.

Faldón abatible	Plataforma basculante	Cortina / Fuelle
 <p>Su función es permitir la continuidad entre la mesa elevadora y caja del camión. Puede ser manual o de accionamiento hidráulico. Este opcional se instala habitualmente en plataformas para muelles de carga.</p>	 <p>Disponible para una amplia gama de plataformas elevadoras, el accionamiento es hidráulico y permite situar la carga en una posición idónea para su manipulación.</p>	 <p>El fuelle perimetral protege la mesa elevadora de la humedad y de la suciedad en ambientes nocivos. También permite a la mesa elevadora resistir las condiciones desfavorables cuando va instalada al exterior.</p>
Protecciones laterales personales	Puerta de acceso	Barrera de contención
 <p>Barandillas de protección de 1100mm de altura con rodapiés de 120mm. Es un accesorio recomendado para proteger personas y cargas.</p>	 <p>Puertas de acceso a la plataforma en combinación con barandillas de protección. Pueden incorporar cerraduras con enclavamiento mecánico y/o eléctrico.</p>	 <p>Está concebida para evitar caídas accidentales de cargas o carretillas de carga/descarga cuando la máquina no está en su posición plegada.</p>
Plataforma con camino de rodillos	Desplazamiento sobre railes	Marco inferior con horquillas
 <p>Pueden ser libres o motorizados, son habitualmente instalados en plataformas elevadoras de tijeras destinadas a cadenas de producción automáticas o semiautomáticas.</p>	 <p>Permite utilizar la plataforma elevadora de tijeras para desplazar cargas sobre railes entre varias posiciones y a diferentes alturas de trabajo.</p>	 <p>Es un chasis de mantenimiento que facilita el traslado de la mesa elevadora mediante carretilla o transpaleta.</p>

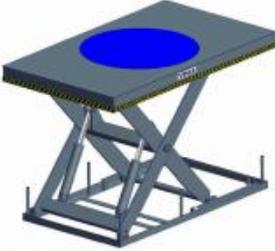
Plato giratorio circular / rectangular	Bloqueadores hidráulicos	Acabados
 <p data-bbox="240 508 619 689">Encastado en la plataforma superior o instalado en una plataforma adicional emplazada sobre la plataforma principal de la máquina. Se puede suministrar con accionamiento manual o automático.</p>	 <p data-bbox="639 508 1002 689">Su función es bloquear mecánicamente la máquina en el nivel superior permitiendo tránsito de cargas pesadas o realizar operaciones de carga/ descarga en máximas condiciones de seguridad.</p>	 <p data-bbox="1023 508 1361 689">Todos los modelos de plataformas elevadoras se pueden suministrar totalmente en acero inoxidable, galvanizadas en caliente, pintadas o con una combinación de los acabados anteriores.</p>
Plataforma superior en chapa lagrimada	Plataforma superior en chapa lagrimada inoxidable	Marco inferior con horquillas
 <p data-bbox="240 1032 619 1137">Plataforma elevadora con chapa lagrimada antideslizante, ideal para plataformas a instalar como muelle de carga.</p>	 <p data-bbox="639 1032 1002 1167">Acabado recomendado para plataformas elevadoras instaladas en el sector alimenticio o para máquinas emplazadas en ambientes corrosivos.</p>	 <p data-bbox="1023 1032 1361 1193">La característica principal de la chapa DAMERO es su relieve que, además de su atractiva estética, proporciona una superficie antideslizante y resistente al desgaste.</p>

Figura 33-Sistema Elevación/Bajada Propuesta 2.1 [17]

### 3.4 Elección

De igual modo que las propuestas de diseño se dividen en:

1. Estructura y Sistema de Guiado
2. Sistema de Elevación/Bajada

La elección entre las propuestas disponibles se dividirá en los mismos puntos:

#### 3.4.1 Elección Estructura y Sistema de Guiado

La normativa asociada a superficies de paso se puede encontrar en la norma *NTP 434: Superficies de trabajo seguras*.

Dicha norma dice que elementos rodantes y rodamientos podrán ser instalados siempre y cuando el personal que circule sobre dicha plataforma sea siempre personal cualificado o de mantenimiento.

Es por ello que las Propuestas tres y cuatro se desestiman. No obstante, se estudia la posibilidad de delimitar la zona de paso de la tripulación del simulador de tal forma que empleando elementos rodantes escamoteables por el exterior de la zona delimitada de paso. También se desestima por dos motivos:

1. Todo el suelo de la zona de la Sala de Entrenamiento es de paso
2. Los elementos rodantes implican introducir un sistema más. Se trataría de introducir un sistema neumático independiente que controle el escamoteado de los elementos rodantes en el suelo.

Pese a que la Quinta Propuesta sería la más adecuada en cuanto a coste y reducción de sistemas involucrados, se decide desestimar la propuesta por parte del cliente por dos motivos:

1. Se desea automatizar el sistema
2. Se prefiere que el carro vaya alimentado y no que una persona de mantenimiento tenga que tirar de él

La Primera Propuesta también es desestimada, pues la norma *NTP 434: Superficies de trabajo seguras*, además dice que no podrá haber obstáculos o escalones que puedan generar tropiezos. Colocar elementos tales como carriles laterales a modo de perfil en "L" de tal forma que las ruedas traccionen tanto vertical como horizontalmente podrían generar obstáculos en la superficie de trabajo. La Figura 25 de la primera propuesta aclara este criterio de elección.

Finalmente se decide hacer un diseño de acuerdo a la Segunda Propuesta. Se diseñará un carro que traccionará sobre carriles. Dicho carro irá alimentado. Dicho carro traccione con los carriles de forma vertical, no lateral. Se los carriles se colocarán a lo largo de todo el recorrido del carro, es decir, desde el interior del simulador sobre la Plataforma de Vibración, hasta el exterior del Simulador de Vuelo, sobre el Puente de Acceso al simulador.

### **3.4.2 Elección Sistema de Elevación/Bajada**

Se desestima la Primera Propuesta de acuerdo al documento *Building Requirements* del Anexo A. En dicho documento se especifica que no se instalará Puente Grúa en el edificio en el que se instale finalmente el Simulador de Vuelo.

No obstante, durante las fases de instalación y prueba en las instalaciones de la empresa sí se dispondrá de Puente Grúa.

Finalmente se decide instalar una Plataforma de Tijera, Segunda Propuesta, con dos funciones:

1. Paso de personas desde la planta de un edificio o desde una escalera dependiendo de si el Simulador se encuentra en las instalaciones de la empresa o del edificio destino.
2. Elevación/Bajada del conjunto formado por Cabina, Plataforma de Movimiento y Carro desde el simulador al suelo del edificio.

La normativa a seguir para Plataformas de Tijera se encuentra en el documento *NTP: 634 Plataformas elevadoras móviles de personal*.

Simplemente resaltar que puesto que la plataforma es una superficie de trabajo de paso de personas se adaptan también los aspectos de la norma *NTP 434: Superficies de trabajo seguras* del punto anterior.

Además, al estar la entrada al simulador a cierta altura, la plataforma deberá disponer de barandillas para evitar riesgos de caídas, de acuerdo a la norma *NTP: 634*.

## 4. Diseño y Adaptación

De igual forma que en el punto tres, Propuestas de Diseño y Elección, en este capítulo se divide el diseño del sistema en los puntos:

- Diseño de Estructura y Sistema de Guiado
- Diseño Sistema de Elevación/Bajada

Posteriormente se explican los diversos cambios en cuanto al diseño principal del Simulador de Vuelo EC 145 T2 que se deberán llevar a cabo.

### 4.1 Diseño de Estructura y Sistema de Guiado

Antes de comenzar a diseñar se debe recordar que la fabricación de los sistemas será subcontratada a una empresa externa, así como el cálculo estructural de dichos sistemas. No obstante, se realizarán sencillos cálculos estructurales que sean necesarios para dar con un diseño final, empleando la herramienta de “Simulación” del programa Solid Edge ST4 v.Siemens.

#### 4.1.1 Criterio Cálculo Diseño Carro

Los objetivos principales a la hora de diseñar una estructura son rigidez y ligereza. No obstante, para el diseño de la estructura/carro que sirva de apoyo al conjunto formado por Cabina y Plataforma de Movimiento han de añadirse nuevos objetivos recogidos en el documento “System Requirements” que se encuentra en el Anexo A.

Para comenzar con el diseño se recurre al punto de dicho documento en el cual se recogen las dimensiones que deberá tener el diseño final, estas son:

- 1380 mm de largo.
- Mínimo 2000 mm de ancho.
- Máximo 150 mm de alto.

Con estas dimensiones se da paso a diseñar el marco exterior principal que dé lugar a la estructura final tras afinar el diseño.

Se emplean cuatro perfiles en “L” de Aluminio para diseñar el marco. Los cuatro perfiles o vigas irán soldados entre sí. Dicho marco tiene la forma y dimensiones (en mm) que se muestran en la Figura 34:

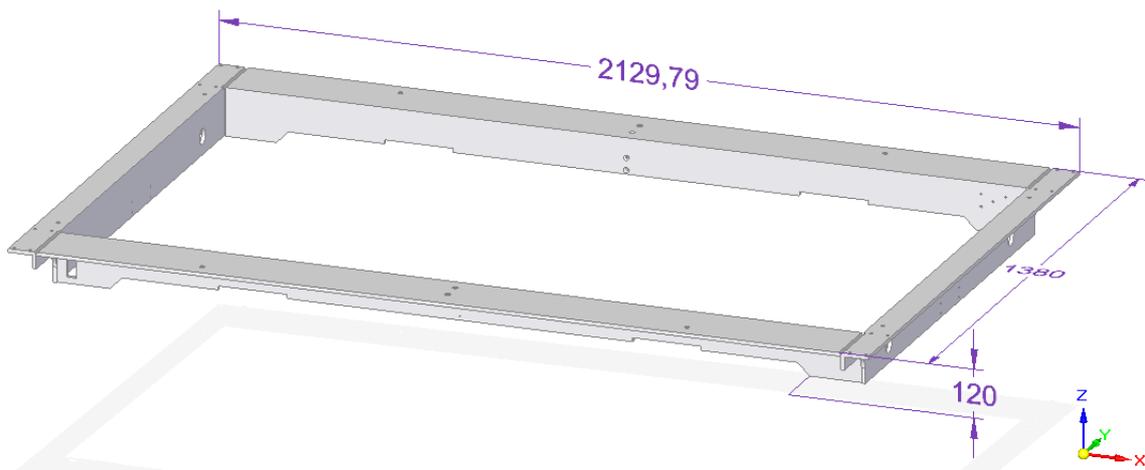


Figura 34-Estructura Carro y Dimensiones. Cotas en mm

Además el carro debe cumplir los siguientes objetivos:

- Por su parte superior deberán atornillarse la Plataforma de Movimiento de la cabina.

El cliente se encarga de la fabricación de Plataforma de Movimiento y la Cabina. Ambos se muestran en las Figuras 12 y 18.

La Plataforma de Movimiento dispone de cuatro puntos de anclaje para tornillería de M12. Dichos puntos de anclaje se muestran en la siguiente figura.

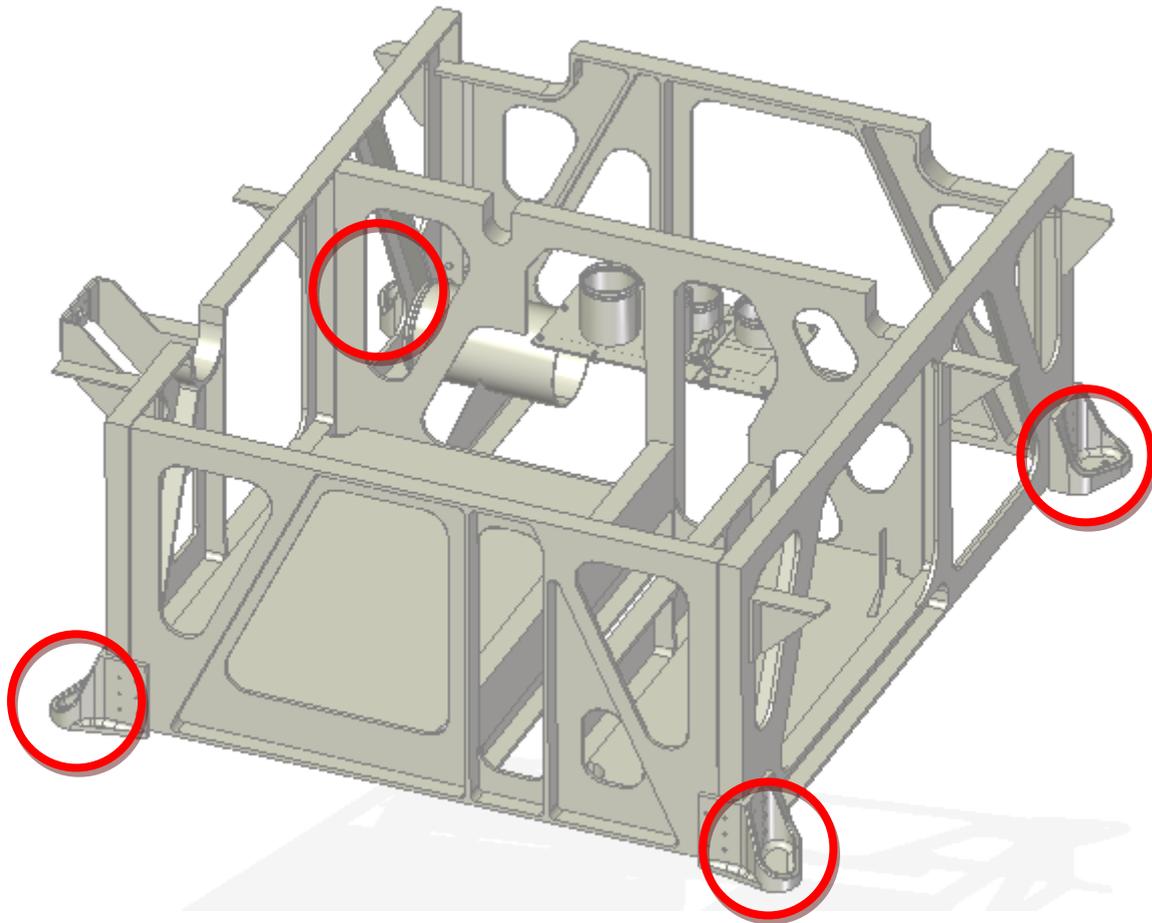


Figura 35-Punto Anclaje Plat. Movimiento

Se realizan cuatro taladros en la estructura/carro de diámetro 12.2 mm para poder realizar el anclaje por medio de tornillería. La posición de dichos taladros es la que muestra la siguiente Figura.

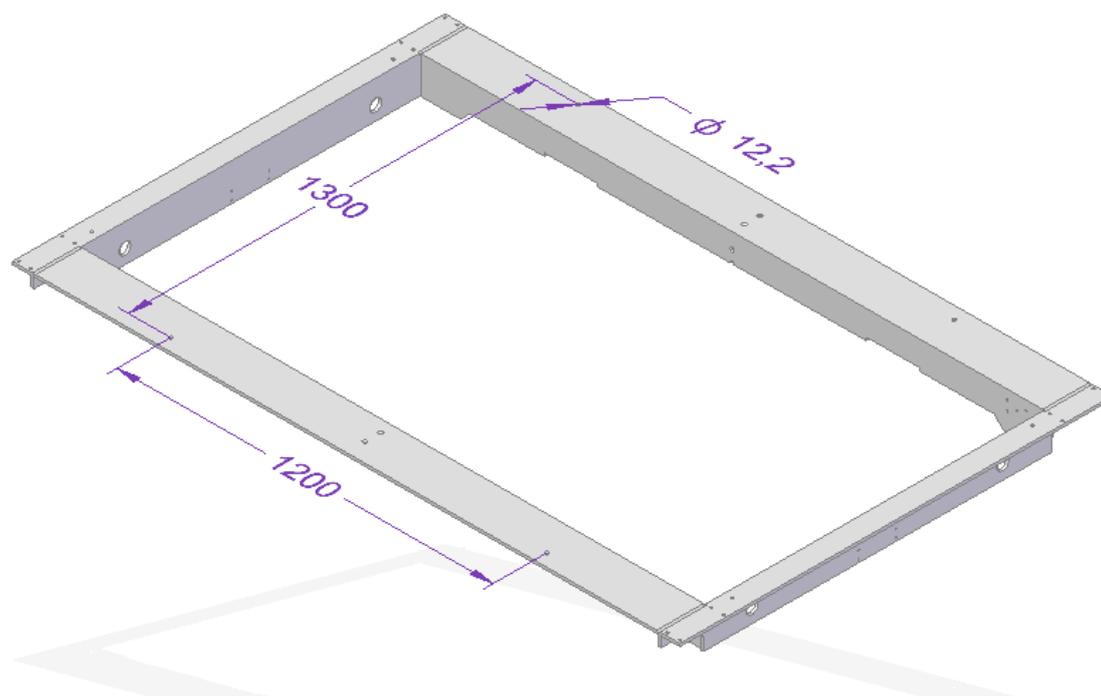


Figura 36-Carro, Posición Puntos de Anclaje. Cotas en mm

Para reforzar dichos puntos de anclaje se dispone de dos perfiles interiores en “L” soldados longitudinalmente que aportan rigidez a la estructura principal. (Figura 37)

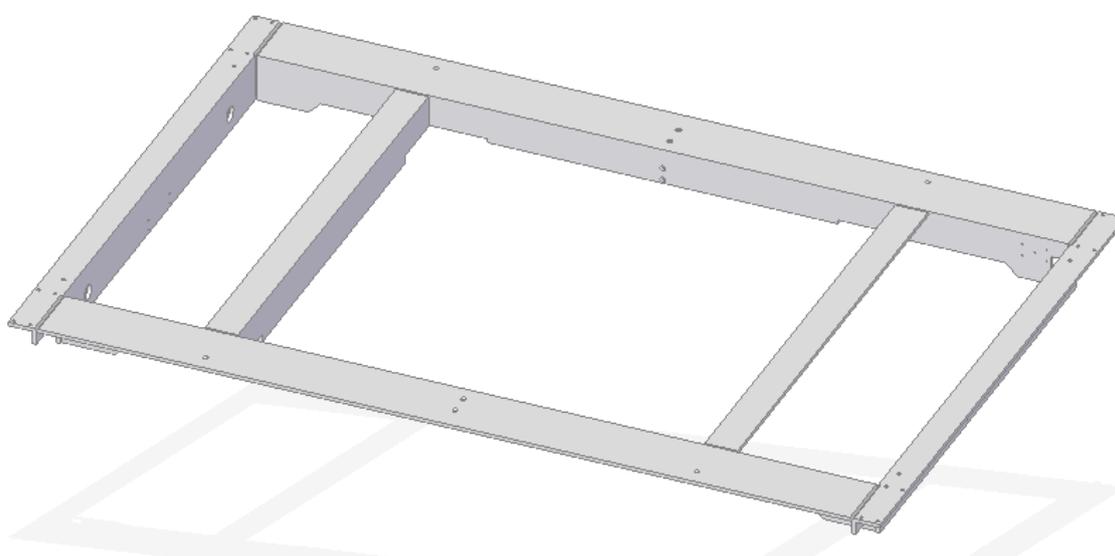


Figura 37-Carro. Perfiles interiores

A parte de estos perfiles interiores se añaden unos refuerzos por la parte inferior del chasis del carro para asegurar que los puntos de tornillería quedan perfectamente fijados y reforzados. Se pueden ver en la siguiente figura:

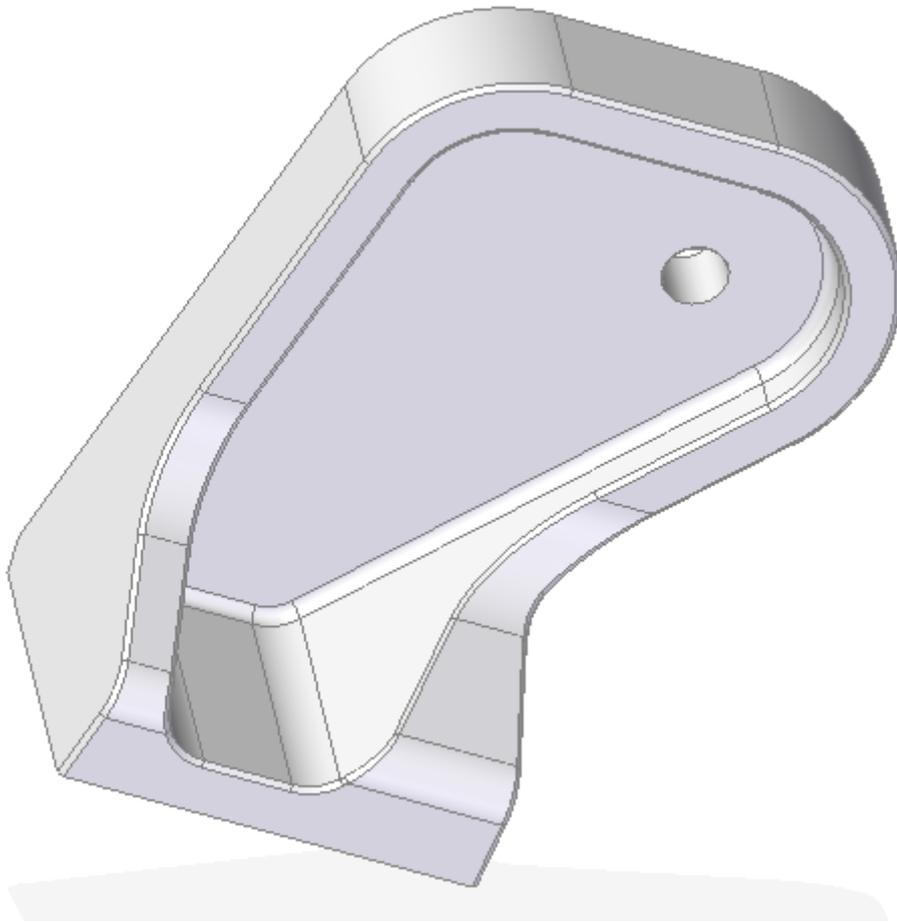
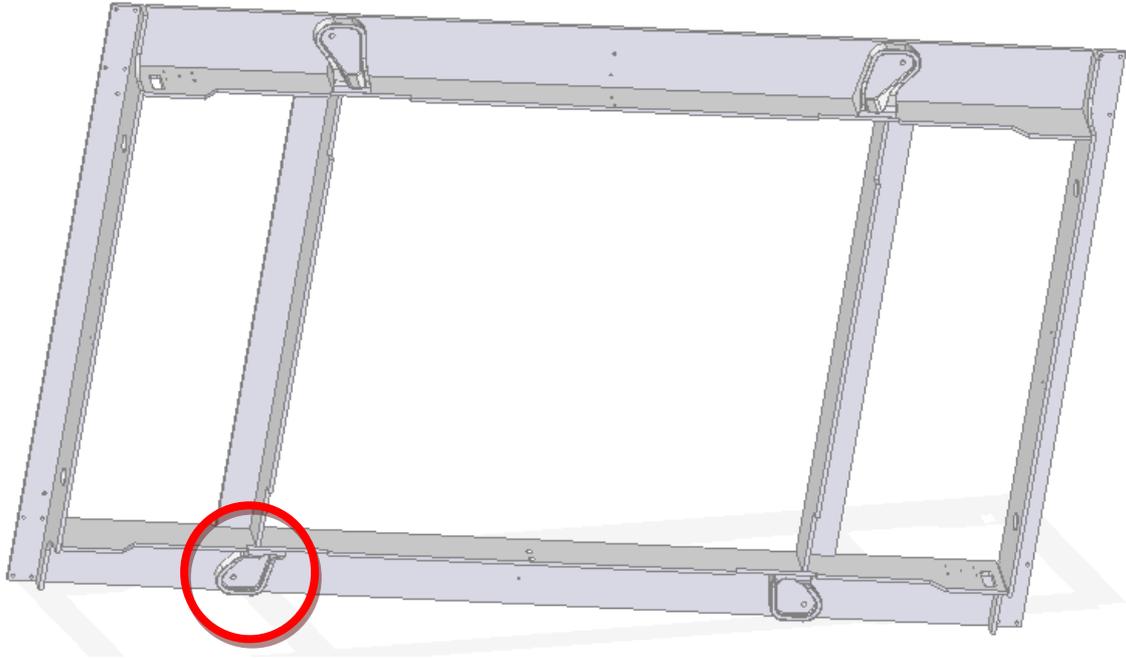


Figura 38-Carro, soportes tornillería

Otro de los objetivos que determina el diseño es:

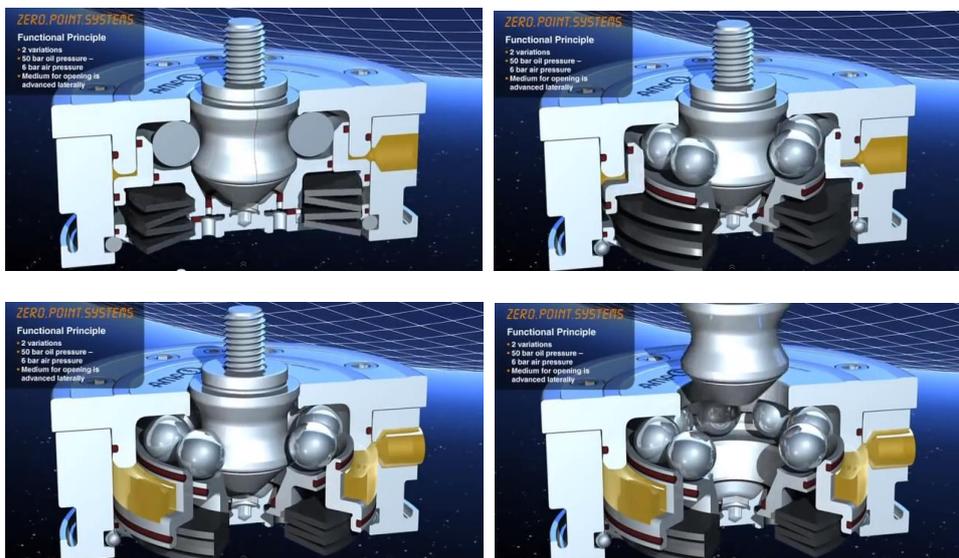
- Soportar fuerzas debidas a:
  - o Una fuerza vertical y con sentido negativo debida al peso de la cabina de 900 kg.
  - o 2,5 g en cualquier dirección debido al fallo crítico de uno de los actuadores del sistema de movimiento.
  - o Las fuerzas debidas a la vibración de la plataforma de vibración.

**Las fuerzas debidas a la vibración de la plataforma de vibración y 2,5 g en cualquier dirección debido al fallo crítico de uno de los actuadores del sistema de movimiento.**

Una vez el carro se sitúe sobre la Plataforma de Vibración, debe quedar perfectamente anclado a esta de tal forma que permita la transferencia de las vibraciones debidas a dicha Plataforma de Movimiento.

Además deberá soportar fuerzas debidas al Sistema de Movimiento del Simulador de Vuelo de 2,5g en cualquier dirección.

Para ello se recurre a un sistema de anclaje rápido y automático, con funcionamiento neumático. Dicho sistema está formado por un tetón o macho que entra en un soporte o hembra y queda perfectamente fijado por medio de un sistema de bolas de acero. La siguiente secuencia de imágenes muestra el funcionamiento de dicho sistema.



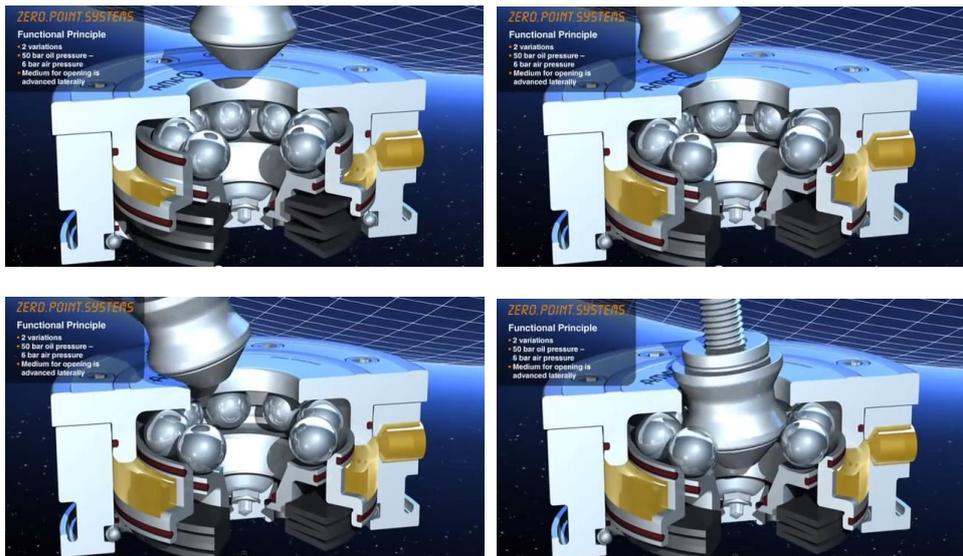


Figura 39-Funcionamiento Sistema de sujeción punto cero k40, IncaMetal

Como se observa en las imágenes, el soporte hembra se encuentra mecánicamente cerrado y se abre por medio de la acción neumática. Una vez abierto el soporte, el macho entra, se retira la fuerza neumática de apertura del sistema y el macho queda perfectamente fijo por medio de un sistema de bolas. Además en la imagen se puede observar que el sistema admite cierta holgura, las tres últimas imágenes muestran como el sistema admite que el macho entre en diagonal al tener un pequeño achaflanado en su punta.

Se trata de un sistema denominado “Sistema de sujeción punto cero K40”, de la empresa Inca Metal [18]. Las características técnicas de dicho sistema se muestran a continuación. Dichas características técnicas han sido extraídas del catálogo del fabricante [18].

Se elije el Módulo de Fijación Sensado, dado que será necesario sensor perfectamente la fijación de los machos para evitar mover el Simulador de Vuelo en caso que el sistema de fijación haya fallado.



Figura 40-Sistema de Fijación Punto Cero K40

Se trata de un módulo de fijación para instalación con detección de sensor y con cuerpo de construcción:

- Apertura neumática
- Presión de servicio de apertura 8-12 bar
- Presión de servicio de reajuste (turbo) 5-6 bar
- Tapa y émbolo templados
- Repetibilidad <math>< 0.005\text{mm}</math>

Se tienen distintos módulos en cuanto a tamaño y fuerza que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-Módulos de Fijación Punto Cero

Nº Pedido	Tamaño	Fuerza de cierre [KN]	Fuerza de sujeción [KN]	Peso [Kg]
424850	K10	8	25	2.4
424192	K20	17	55	6.4
424564	K40	30	105	11

Se elije el Módulo K40 para poder soportar los 2,5 g del simulador. Además se decide montar cuatro de estos módulos simétricamente en el carro de tal forma que el sistema quede sobredimensionado y no aparezcan problemas debidos a los movimientos del Sistema de Movimientos del Simulador de Vuelo y a la Plataforma de Vibración.

Las dimensiones de los módulos de fijación se muestran en la Tabla 3 de acuerdo a la siguiente figura:

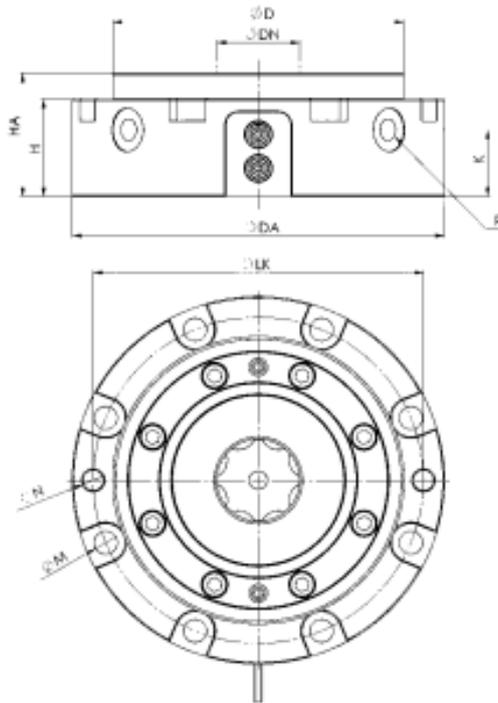


Figura 41-Dimensiones K40

Tabla 3-Dimensiones K40

Nº Pedido	Tamaño	$\text{ØDA}$ [mm]	$\text{ØD}$ [mm]	$\text{ØDN}$ [mm]	H [mm]	HA [mm]	K [mm]	$\text{ØLK}$ [mm]	$\text{ØM}$ [mm]	$\text{ØN}$ H7	R
424564	K40	188	148	40	47	62	32	168	11.0	10	G 1/4

Los émbolos o machos que se introducen en estos módulos tienen la siguiente forma:

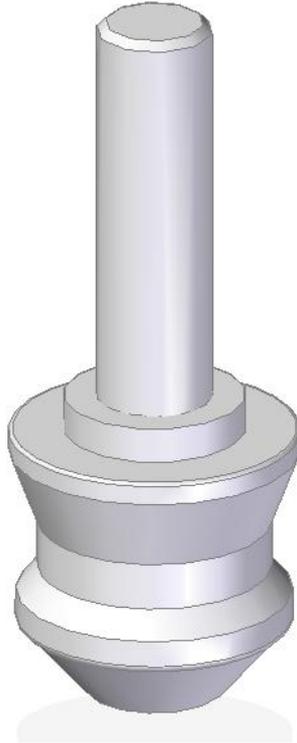


Figura 42-Émbolo k40

Dichos émbolos están formados por una Boquilla de Sujeción y un Tornillo Colector de Boquilla. Ambos se eligen a continuación del catálogo del fabricante [19].

La Boquilla de sujeción tiene la siguiente forma y dimensiones mostradas en la siguiente imagen y tabla:



Figura 43-Boquilla Sujeción K40

Nº Pedido	Tamaño [mm]	ØDN [mm]	ØD1 [mm]	ØD2 [mm]	H [mm]	H1 [mm]	M [mm]	T [mm]	Peso [g]
303180	K40	40	25	16	34	29	-	5	180

No obstante se elige el Número de Pedido 303206 que admite cierta tolerancia pues su **ØDN [mm]** son 39.8.

Para el Tornillo Colector de Boquilla se procede de la misma forma:



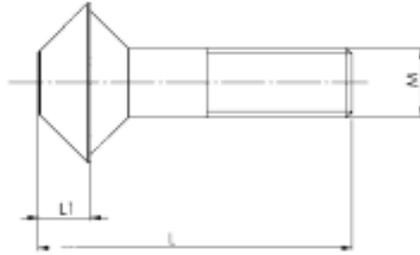


Figura 44-Tornillo Boquilla Sujeción K40

Tabla 4-Tornillo para Boquilla K40

Nº Pedido	Tamaño	M	L	L1	Peso [g]
303230	K40	M16	69	10	130

Por tanto, los cuatro machos van colocados en el carro mientras que sus correspondientes módulos o hembras irán colocados sobre la Plataforma de Vibración.

Para la colocación de los machos se sueldan cuatro chapas de espesor 15 mm al chasis del carro y a estas chapas se atornillan los machos. En la siguiente figura se muestran las chapas soldadas al carro junto con la boquilla y el tornillo.

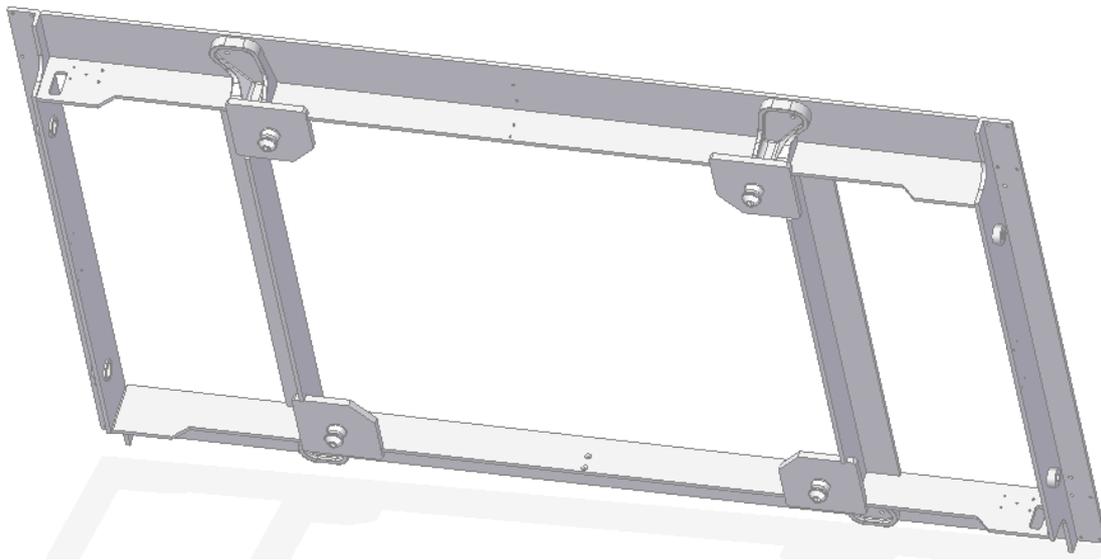


Figura 45-Colocación machos k40

Para reforzar estos cuatro puntos de amarre se colocan refuerzos diagonales que parten de cada uno de estos puntos de anclaje y se cruzan en el centro del chasis del carro. Estos refuerzos están formados por chapas plegadas, que no solo refuerzan los puntos de anclaje del

carro sino que además evita posibles fracturas por esfuerzos flectores y de torsión debidos al movimiento del Simulador una vez el carro está anclado.

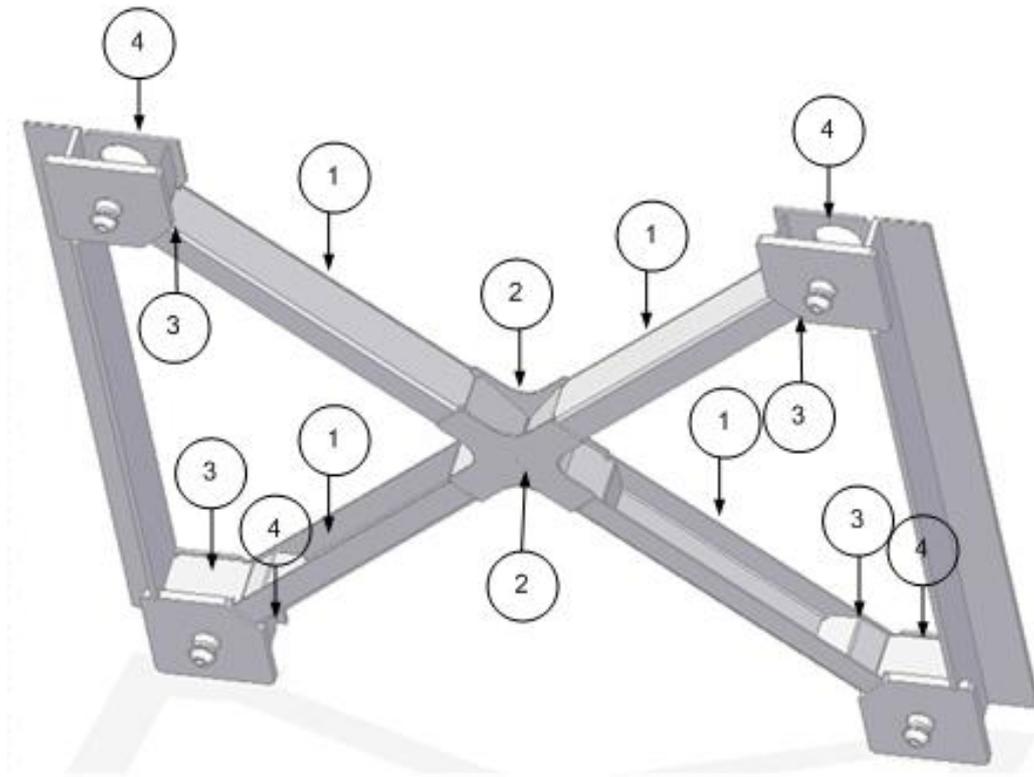


Figura 46-Refuerzos Diagonales Carro

Como se puede observar en la Figura 46, se trata de cuatro chapas plegadas en forma de "U" (número 1), que se cruzan en el centro. Dichas chapas se unen en centro por medio de otras dos chapas con forma de cruz soldadas, una arriba y otra abajo (número 2). Finalmente otras cuatro chapas plegadas (numero 3) unen los puntos de anclaje donde se sitúan los machos con las chapas plegadas en forma "U" y a cuatro chapas (numero 4) perforadas en la parte superior que permiten el acceso a los machos para futuro mantenimiento y montaje.

Las chapas con la identificación 3 se encuentran soldadas por el interior de las chapas plegadas con número 1 para reforzar la estructura del chasis a compresión, mientras que las chapas con la identificación 1 refuerzan el chasis a torsión en el plano sobre el que reside el carro.

Todas las chapas por separado se muestran en la siguiente secuencia de imágenes.

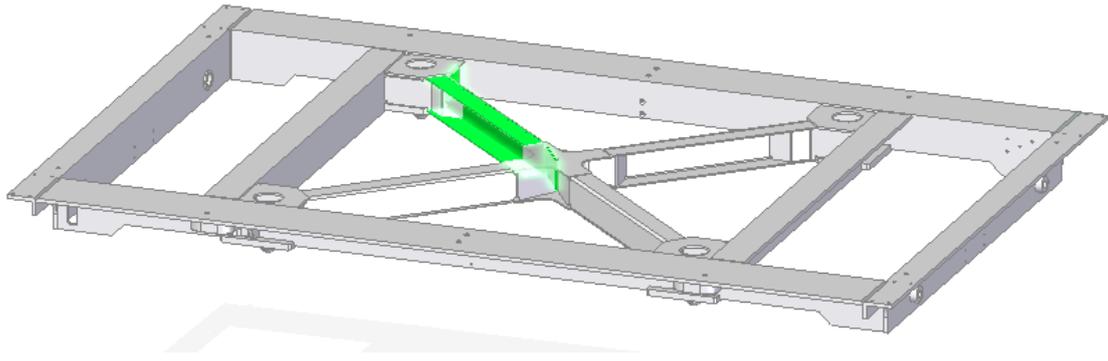


Figura 47- Conjunto Chasis, chapa1

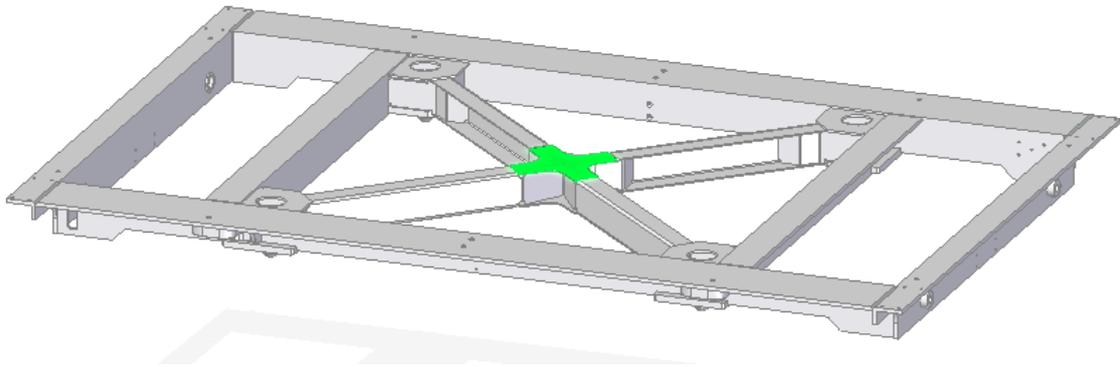


Figura 48-Conjunto Chasis, chapa2

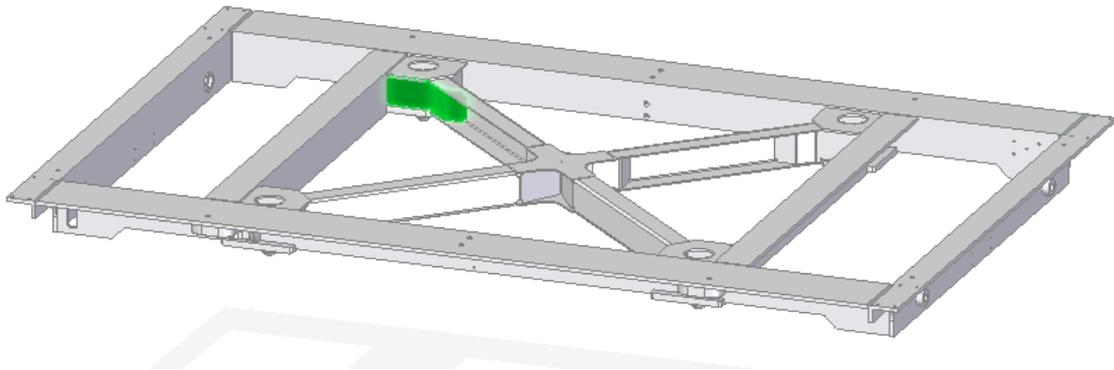


Figura 49-Conjunto Chasis, chapa3

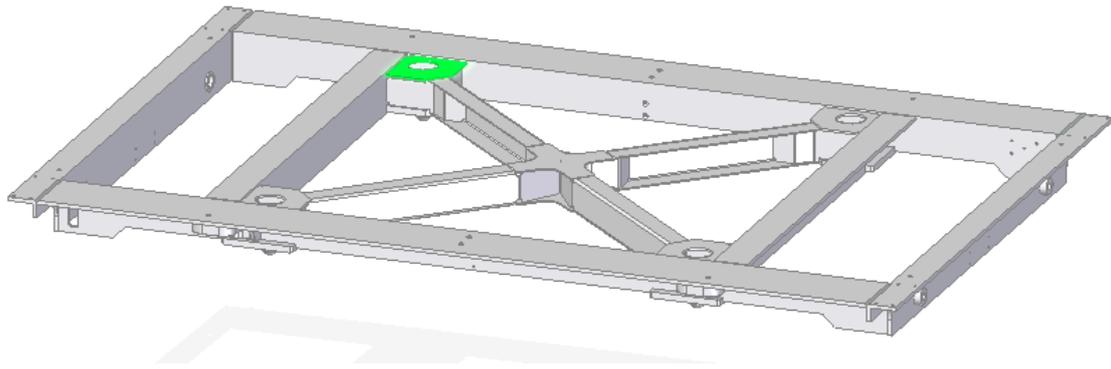


Figura 50-Conjunto Chasis, chapa4

Por lo tanto, finalmente la estructura del chasis junto con las fuerzas, esfuerzos y condiciones de contorno a los que está sometida indicando la dirección y sentidos de ambos se muestra en la figura 51.

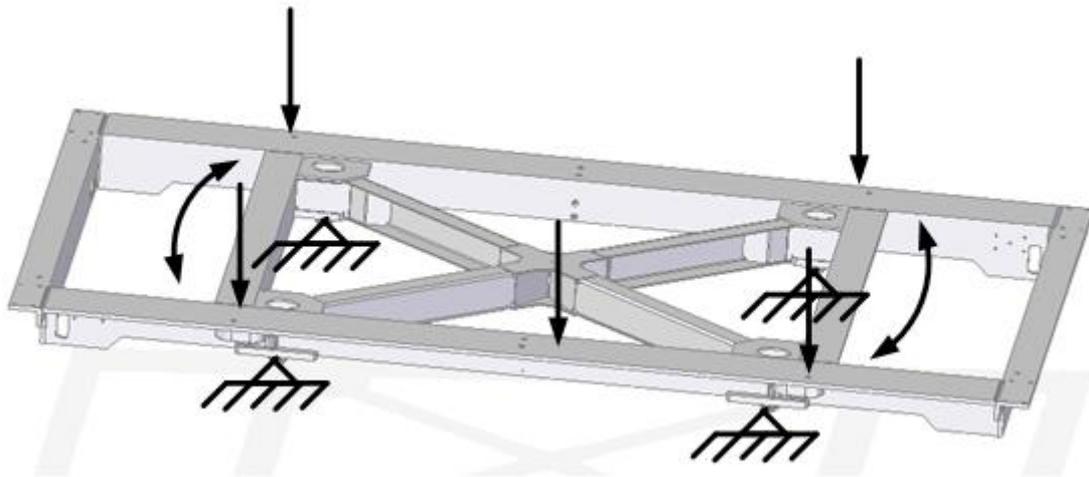


Figura 51-Chasis con fuerzas y condiciones de contorno

#### 4.1.2 Criterio Cálculo Diseño Sistema Guiado

De acuerdo a la elección final entre las propuestas de diseño, se decide que el chasis dispondrá de ruedas que traccionen sobre carriles.

Puesto que el conjunto a desplazar tiene un requisito de peso máximo de 900 Kg, se deben elegir cuatro ruedas que en conjunto permitan soportar un peso total de 900 Kg. Estas cuatro ruedas se unen dos a dos por medio de dos ejes. El movimiento de rotación de las ruedas será por medio de dos motores que actúan sobre los ejes motrices por medio de un sistema basado en correa-polea.

A continuación se muestra punto a punto los datos técnicos y motivos de elección de cada uno de los elementos que componen el sistema de tracción.

## RUEDAS Y CARRILES

La elección de ambos viene determinada por dos condiciones:

1. Soportar un masa máxima de 900 Kg
2. Evitar descarrilamiento del carro lateralmente.

Se recurre a la web del fabricante “Winkel” [20], y se puede observar los siguientes conjuntos de ruedas:

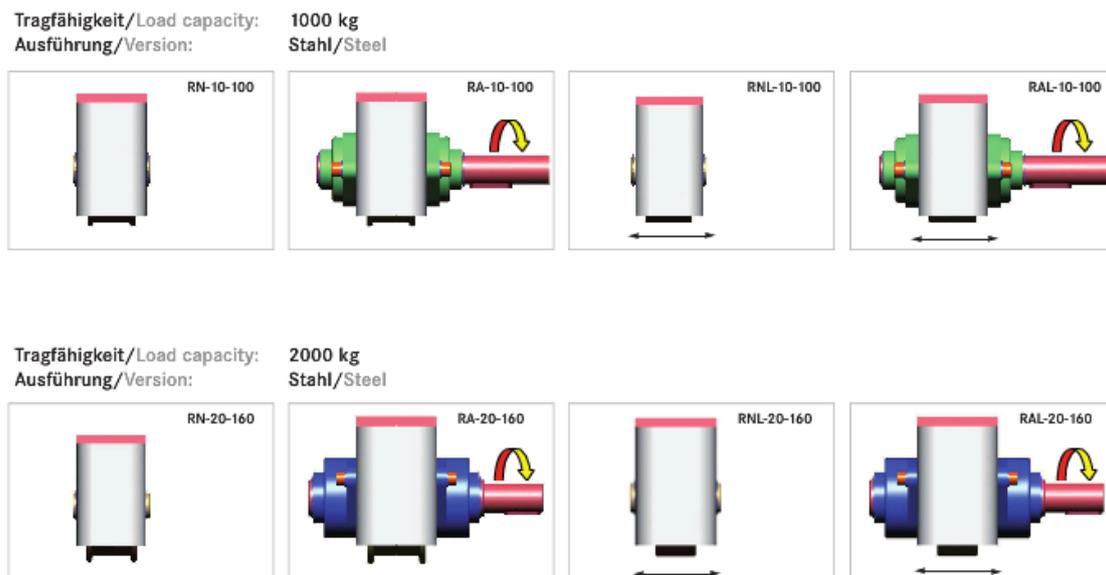


Figura 52-Ruedas Winkel [19]

Se elige el modelo “RA”, puesto que se trata de ruedas que permiten el alojamiento de un eje motriz en ellas. Más concretamente el modelo “RA-10-100” y el “RAL-10-100” por los siguientes motivos:

- Cada rueda soporta una masa de 1000 Kg, por lo que el diseño quedaría sobredimensionado y no habría problemas con respecto al peso del conjunto a mover.
- Las ruedas de un lado serán guiadas, es decir el modelo “RA-10-100”, a modo de evitar descarrilamientos.

- Las ruedas del otro lado serán planas “RAL-10-100”, de tal forma que se permita cierta holgura a la hora de rodar sobre los carriles, mientras que las ruedas del otro lado mantienen el carro sobre el carril sin peligro de descarrilamiento.
- Dichos conjuntos de ruedas disponen de carcasa para evitar suciedades en las ruedas.
- Las ruedas disponen de un acoplamiento para ejes.
- Su diámetro es suficiente para salvar los saltos de carril a lo largo del recorrido del carro.

Los planos acotados de las ruedas se muestran en el siguiente conjunto de imágenes.

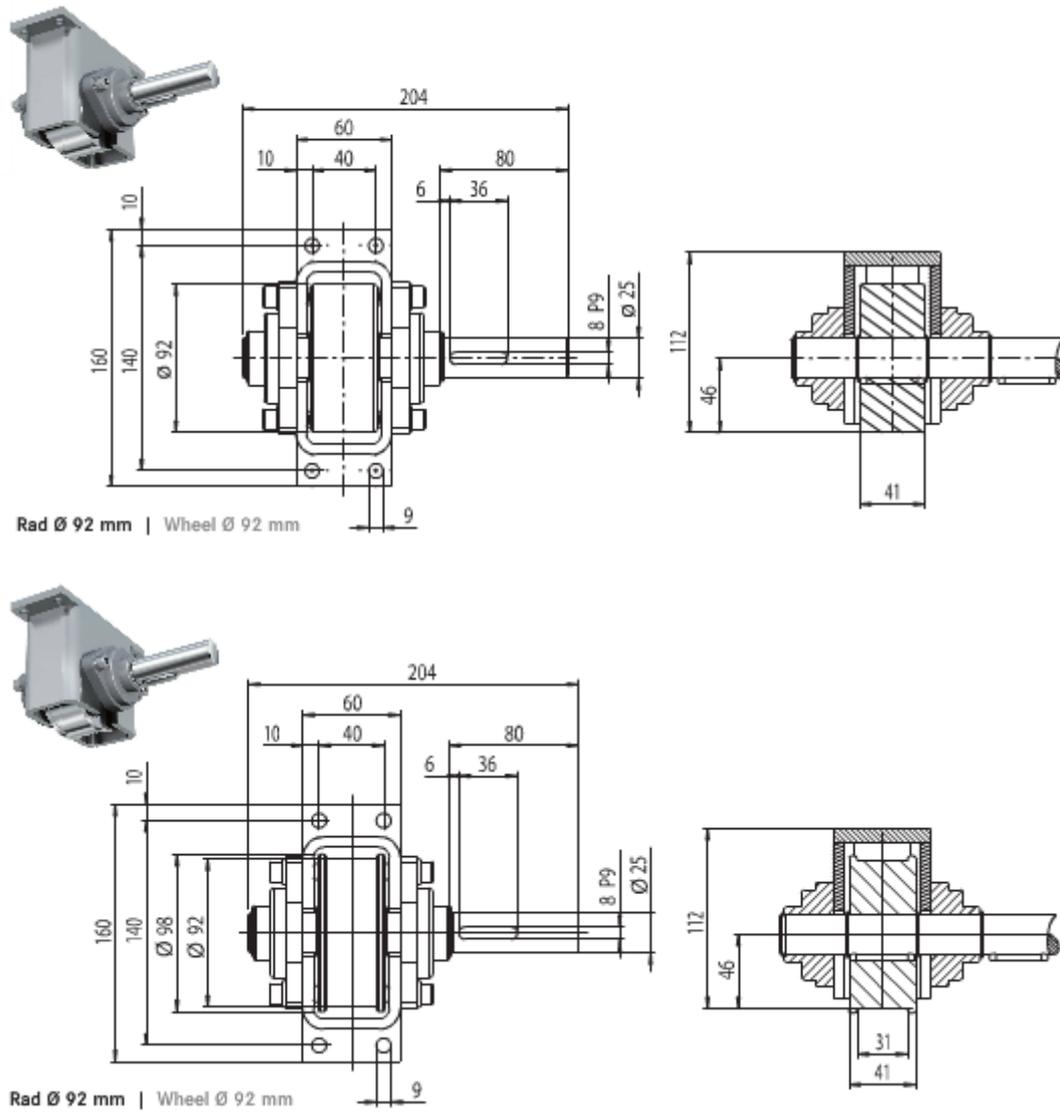


Figura 53-Planos ruedas RA y RAL [20]

Las cuatro ruedas irán atornilladas al chasis del carro por medio de tornillería M8 como se muestra en la figura:

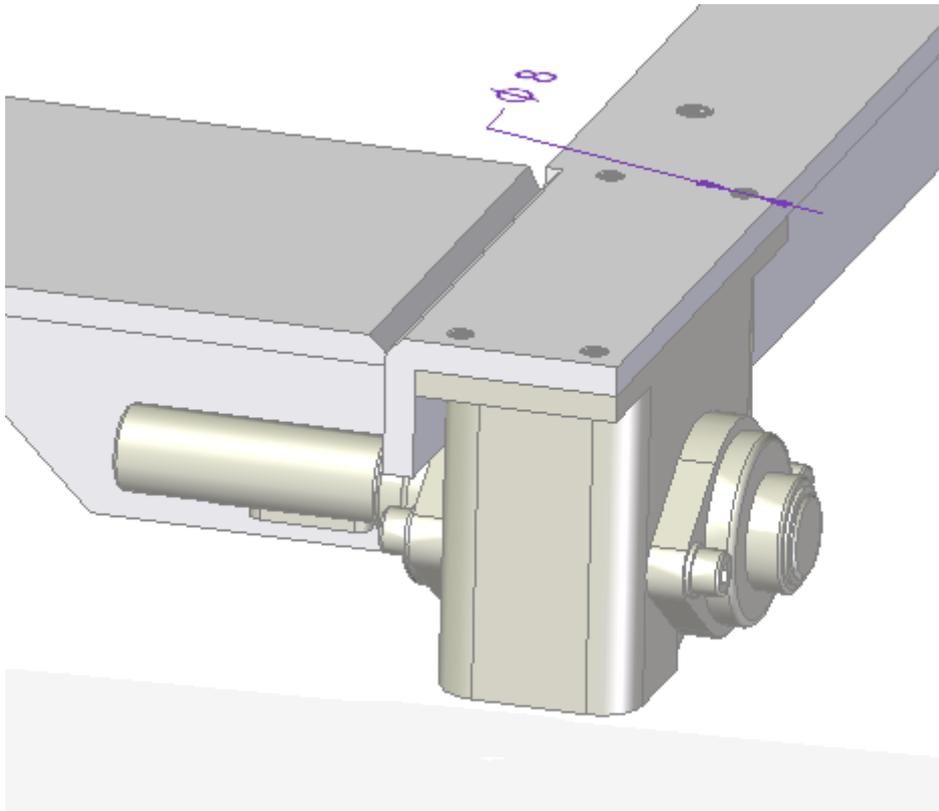


Figura 54-Ruedas atornilladas

Los carriles adecuados para estas ruedas según catálogo de fabricante serían los siguientes:

- L max: 6000 mm
- Q: 4,7 kg/m
- Material: S 355 J2G3
- Material:

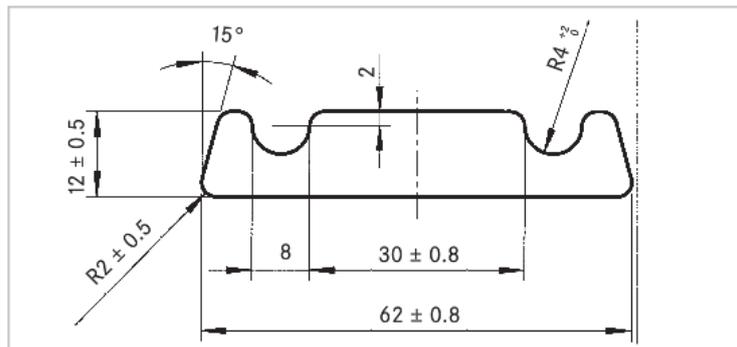


Figura 55-Sección Carriles Winkel [20]

Dicha figura se corresponde con la sección del carril. Se fabrican en acero S 355JG3 para una longitud máxima de 6 m, por lo que de emplear dichos carriles sería necesario comprar varios tramos.

No obstante se podría emplear pletinas de sección rectangular de lado 30 mm y ancho o altura del carril 12 mm, de tal forma que el perfil de la rueda del carro coincida con la sección del carril.

Se distinguen dos situaciones estáticas de cargas en el carro.

1. El carro apoyado sobre las cuatro ruedas motrices.
2. El carro apoyado en los cuatro puntos de anclaje a la Plataforma de Vibración.

Para comprobar que el diseño del chasis es correcto se realiza un estudio estático de cargas de ambas situaciones. Para ello se debe simplificar el chasis a las vigas afectadas por las cargas puntuales del mismo. Dicho estudio se realizará primero de forma numérica, posteriormente se realizan diagramas de momentos de fuerza y finalmente se comprueban los cálculos por medio de la herramienta "Simulación" de Solid Edge, en la cual se puede observar tanto el desplazamiento como la tensión máxima en cada uno de los pintos de interés del mallado de la pieza.

En la primera situación estática del carro, 900 Kg son repartidos dos a dos en los puntos sobre los que la Plataforma de Movimiento apoya en las vigas frontal y trasera del chasis del carro. Dichas vigas laterales son las que se muestran en las Figuras 34 y 36.

Por tanto el estado de fuerzas para la primera situación queda de la siguiente forma:

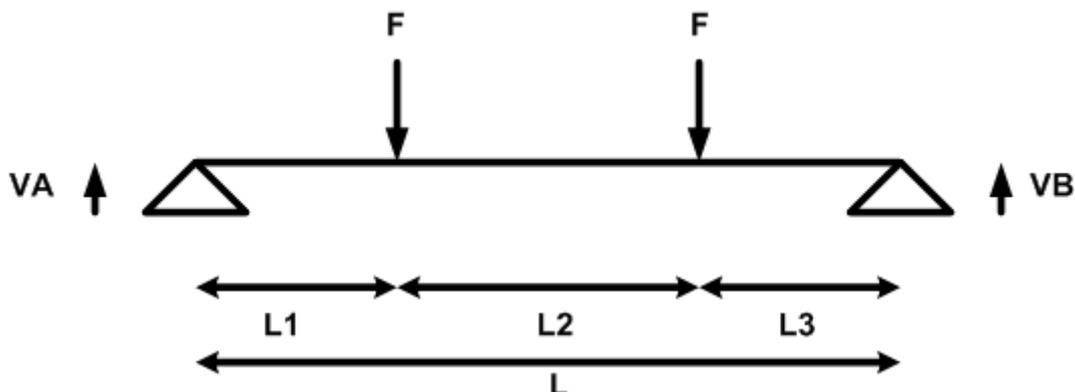


Figura 56-Estado de cargas Situación 1

En el estado de cargas estáticas mostrado en la figura anterior se diferencian las fuerzas verticales debidas al peso del conjunto Cabina y Plataforma de Movimiento, siendo estas de  $225 \cdot 9.8$  (KN). La longitud total de las vigas laterales "L" es de 1981,79 mm, mientras que la longitud entre los dos puntos de fuerza vertical "L2" es de 1200 mm. La siguiente figura muestra la viga con las longitudes en mm.

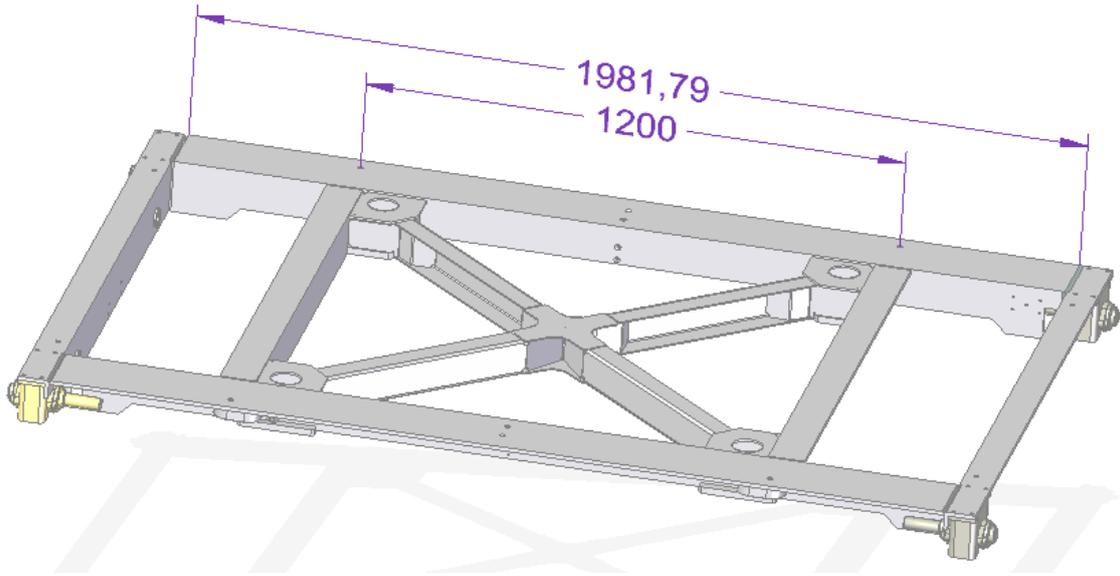


Figura 57-Viga frontal chasis

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas hasta llegar al cálculo de las reacciones en los apoyos de la viga.

- El sumatorio de momentos en un apoyo es nulo, por tanto:

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = F * L_1 + F * L_2 - V_B * L$$

$$V_B = V_A = 2205 (N)$$

Por lo tanto el diagrama de fuerzas verticales y momentos flectores queda de la siguiente forma:

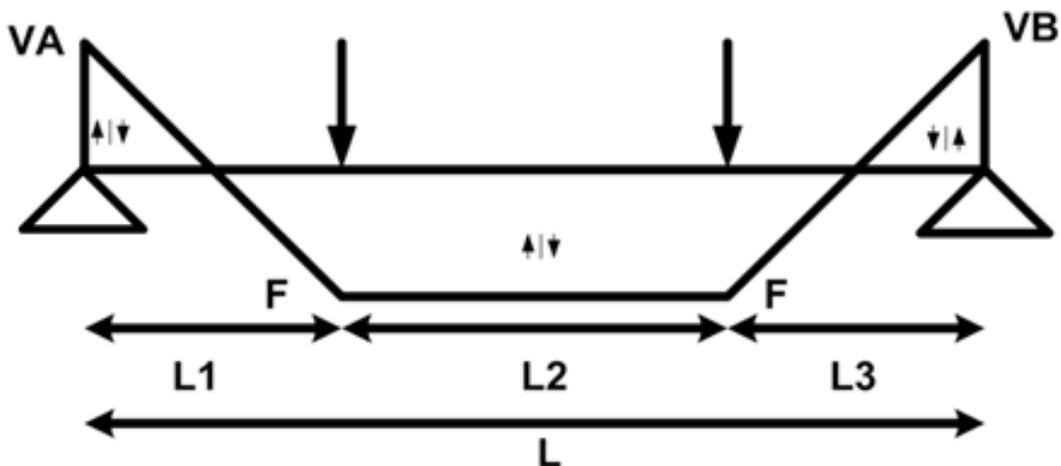


Figura 58-Diagrama fuerzas verticales viga frontal

- Para generar el diagrama de momentos flectores se recurre al siguiente formulario:

$$\sum M_{apoyo} = 0$$

$$\sum_x M_A = 0 = \sum_x M_B$$

Se realiza una ecuación lineal de acuerdo a dos variables y, x:

$$y = M_{punto} * x$$

Siendo  $x \in [A-B]$

Se realiza la ecuación a tramos entre los distintos puntos de acción de fuerzas a lo largo de la viga y teniendo en cuenta el sentido de los momentos flectores de acuerdo a la “Regla del Sacacorchos” o de la “Mano derecha”:

$x \in [0-L1]$

$$y = -2205 * x$$

$x \in [L1-L2]$

$$y = -2205 * x - 2205(x - L1)$$

Siendo finalmente,

$$M_{l1} = M_{l2} = 862,155 \text{ (Nm)}$$

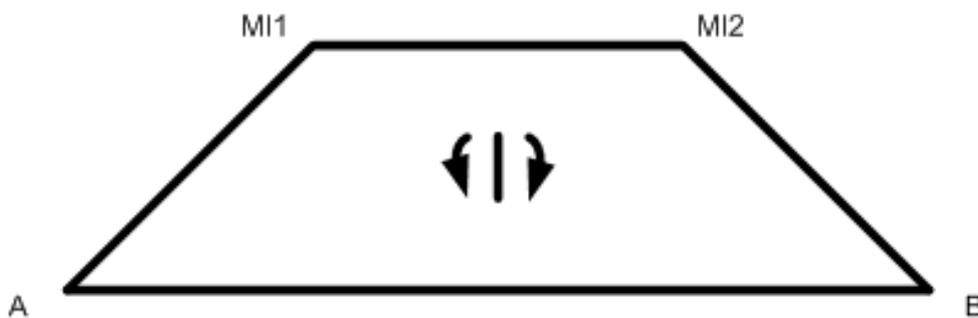


Figura 59-Diagrama de Momentos Flector Flectores Viga Frontal

La imagen anterior se corresponde con el Diagrama de Momentos flectores sobre la sección de corte de un punto de la viga a estudiar a lo largo de todo su recorrido. EL símbolo del interior indica que la viga estará sometida a compresión por su parte inferior del corte de la sección de acuerdo a la acción de un momento flector de -862.155 Nm.

Se recurre a la herramienta de Solid Edge “Simulación” para completar el cálculo de la viga de acuerdo a las fuerzas y restricciones del elemento del carro. Mediante dicha herramienta se calcularán los siguientes conceptos:

- Desplazamientos de todos los puntos
- Tensión en todos los puntos

Para ello lo primero será simplificar el conjunto carro a únicamente la viga de estudio y se introducen las características del material y las fuerzas a las que la viga está sometida:

**Tabla 5-Pieza Viga Frontal**

Nombre Pieza	Material
Ang_150x120_02_v3.par	Acero inoxidable, 416

**Tabla 6-Propiedades Viga Frontal**

Propiedad	Valor
Densidad	7750,000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,000010 /C
Conductividad térmica	0,025 kW/m-C
Calor específico	502,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	199947,953 MPa
Coefficiente de Poisson	0,290
Límite elástico	275,790 MPa
Tensión de rotura	517,107 MPa

**Tabla 7-Cargas Viga Frontal**

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Fuerza 1	Fuerza	2,21e+003 N	Por entidad	( 0,00, 0,00, -1,00 )	A lo largo del vector
Fuerza 2	Fuerza	2,21e+003 N	Por entidad	( 0,00, 0,00, -1,00 )	A lo largo del vector

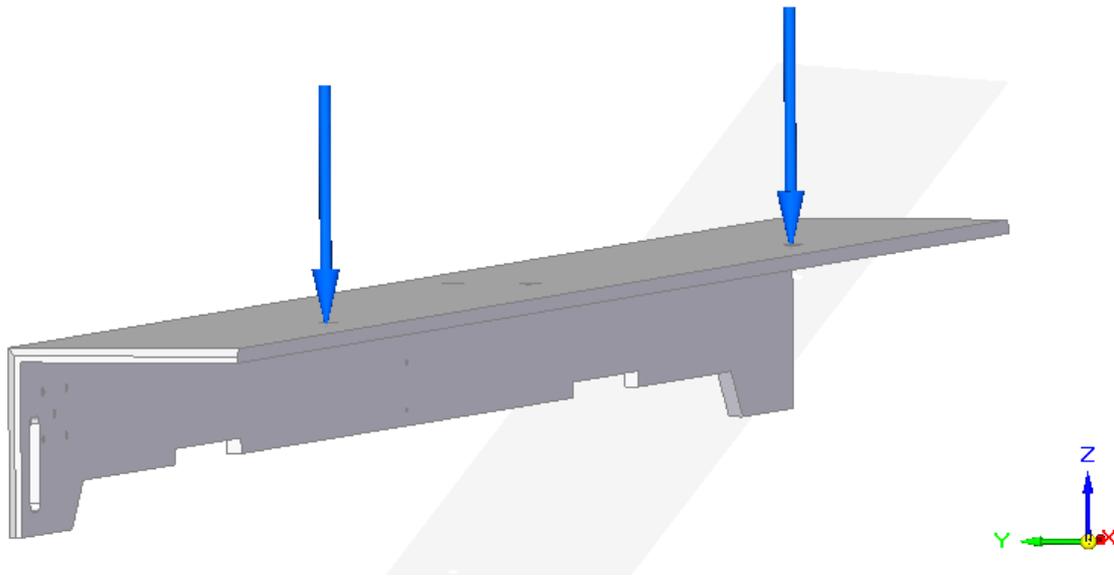


Figura 60-Fuerzas Viga Frontal

A continuación se colocan las restricciones en los extremos para cero grados de libertad, pues se encuentra soldada en sus extremos a las vigas transversales del chasis del carro que se muestran en la Figura 34 con longitud 1380 mm.

Una vez colocadas las fuerzas y las restricciones de la pieza se procede a realizar un mallado tetraédrico de la pieza para estudiar el mayor número de puntos individuales de la pieza.

Las dos imágenes siguientes de la Figura 61 se corresponden con la pieza mallada y un zoom de una zona de interés en la que se puede ver la forma del mallado y el número de puntos de estudio que se abarcan en una pequeña sección de la pieza.

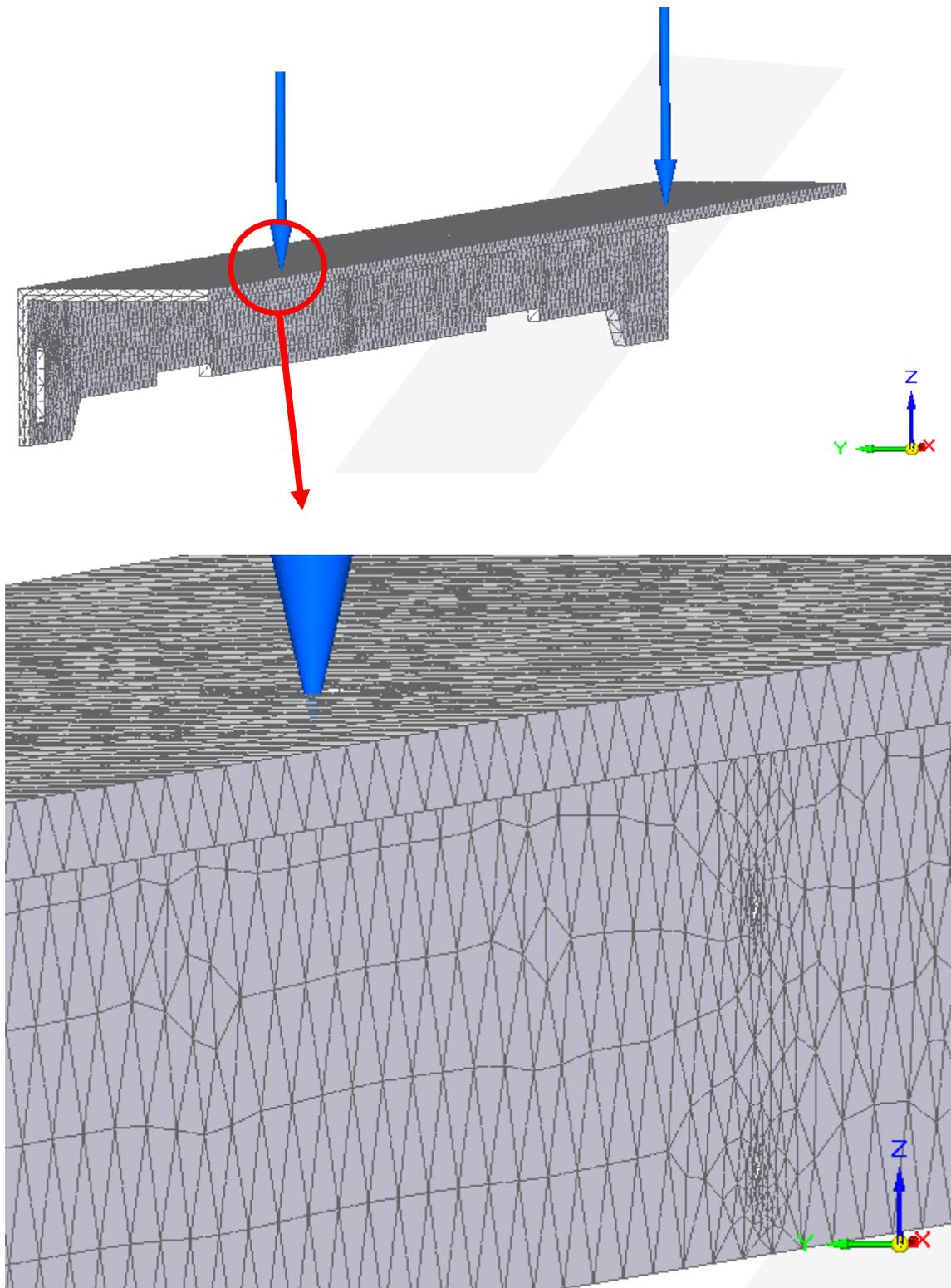


Figura 61-Mallado Viga Frontal

Tabla 8-Mallado Viga Frontal

<b>Tipo de mallado</b>	<b>Tetraédrico</b>
------------------------	--------------------

Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	20.393
Número total de nodos	40.904
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	3

Con la pieza mallada se puede proceder a calcular:

- **DESPLAZAMIENTOS**

Tabla 9-Resultados Desplazamiento Viga Frontal

Componente de resultados: Traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-995,894 mm	-550,000 mm	-31,750 mm
Máxima	2,88 mm	-56,623 mm	-690,000 mm	5,000 mm

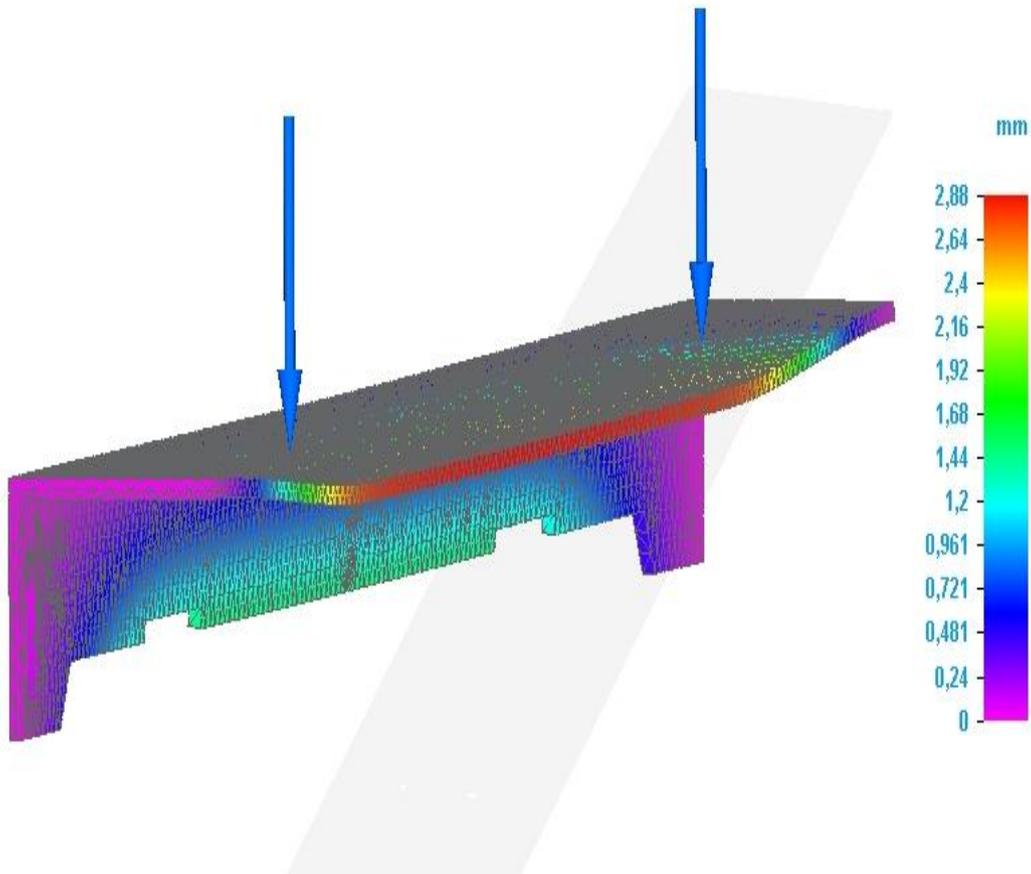


Figura 62-Resultados Desplazamiento Viga Frontal

- **TENSIÓN**

Tabla 10-Resultados Tensión Viga Frontal

Componente de resultados: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,0648 MPa	-87,827 mm	-541,000 mm	-33,288 mm
Máxima	224 MPa	-995,894 mm	-546,000 mm	-115,000 mm

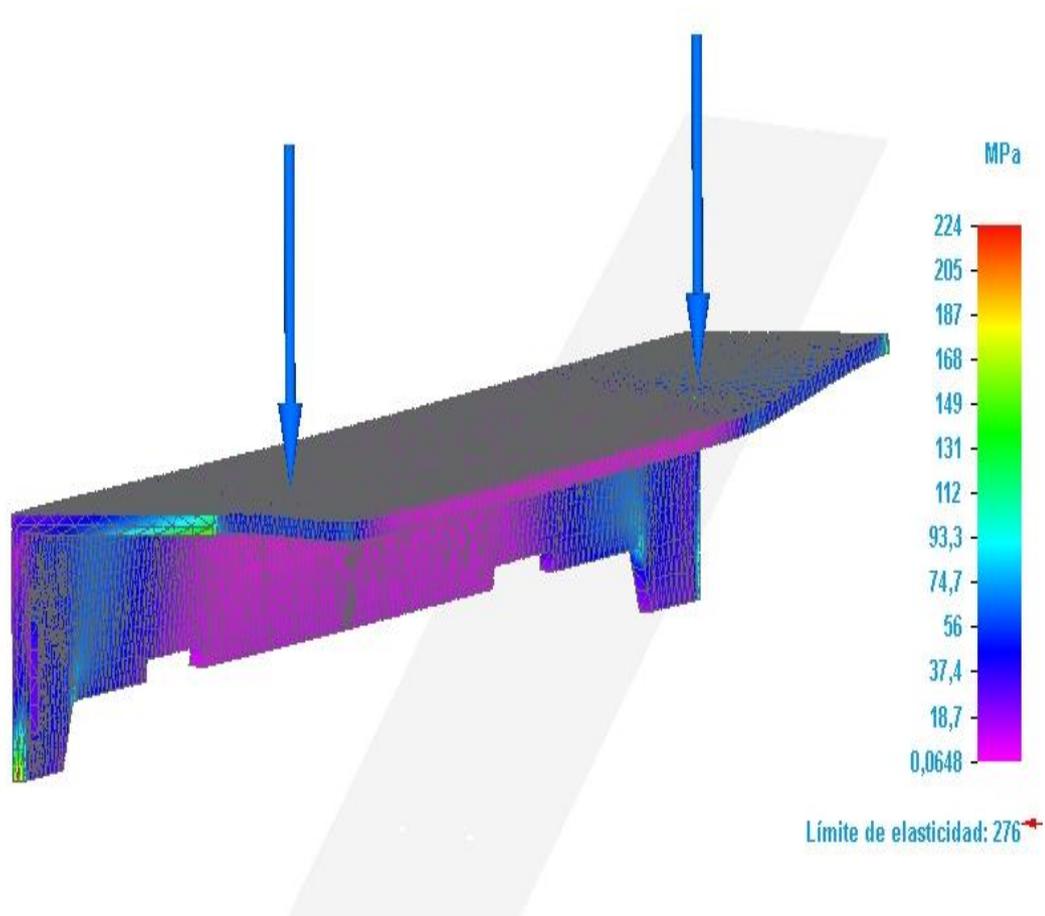


Figura 63-Resultados Tensión Viga Frontal

Como se puede observar en los resultados de los cálculos de tensión y desplazamiento, los puntos más afectados son aquellos en los que la fuerza vertical negativa debida al peso del conjunto Cabina y Plataforma de Movimientos ejercen en los dos puntos de la viga.

No obstante se ha de recordar que en dichos puntos se sitúan dos vigas transversales desde la viga frontal a la transversal, ambas iguales, que ejercen resistencia al efecto de dichas fuerzas verticales. Las vigas transversales mencionadas se muestran en la Figura 37.

Incluyendo las restricciones debidas a las vigas transversales los resultados se ven considerablemente mejorados.

- DESPLAZAMIENTOS ‘

Tabla 11-Resultados Desplazamientos' Viga Frontal

Componente de resultados: Traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-541,438 mm	-541,000 mm	-75,000 mm
Máxima	0,0199 mm	600,000 mm	-643,900 mm	0,500 mm

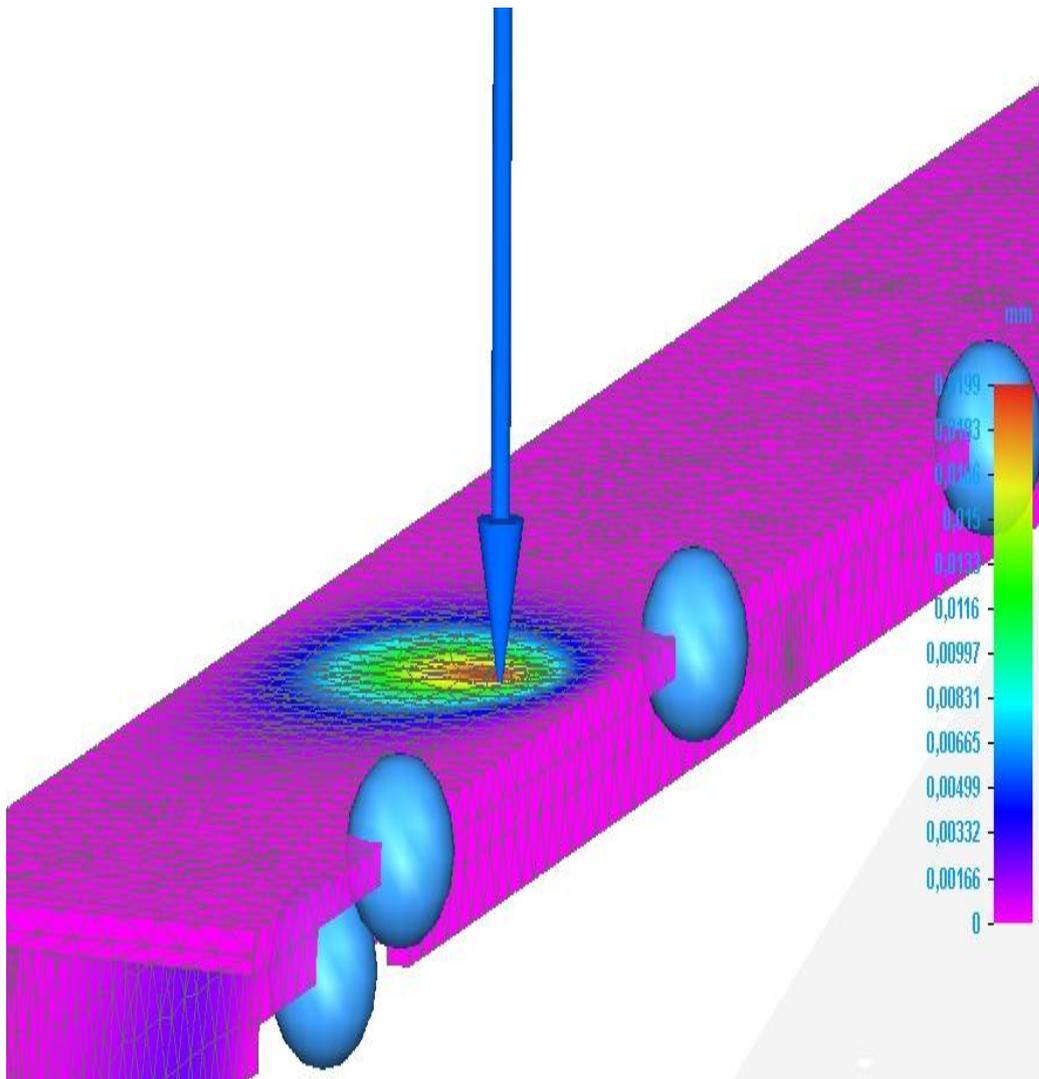


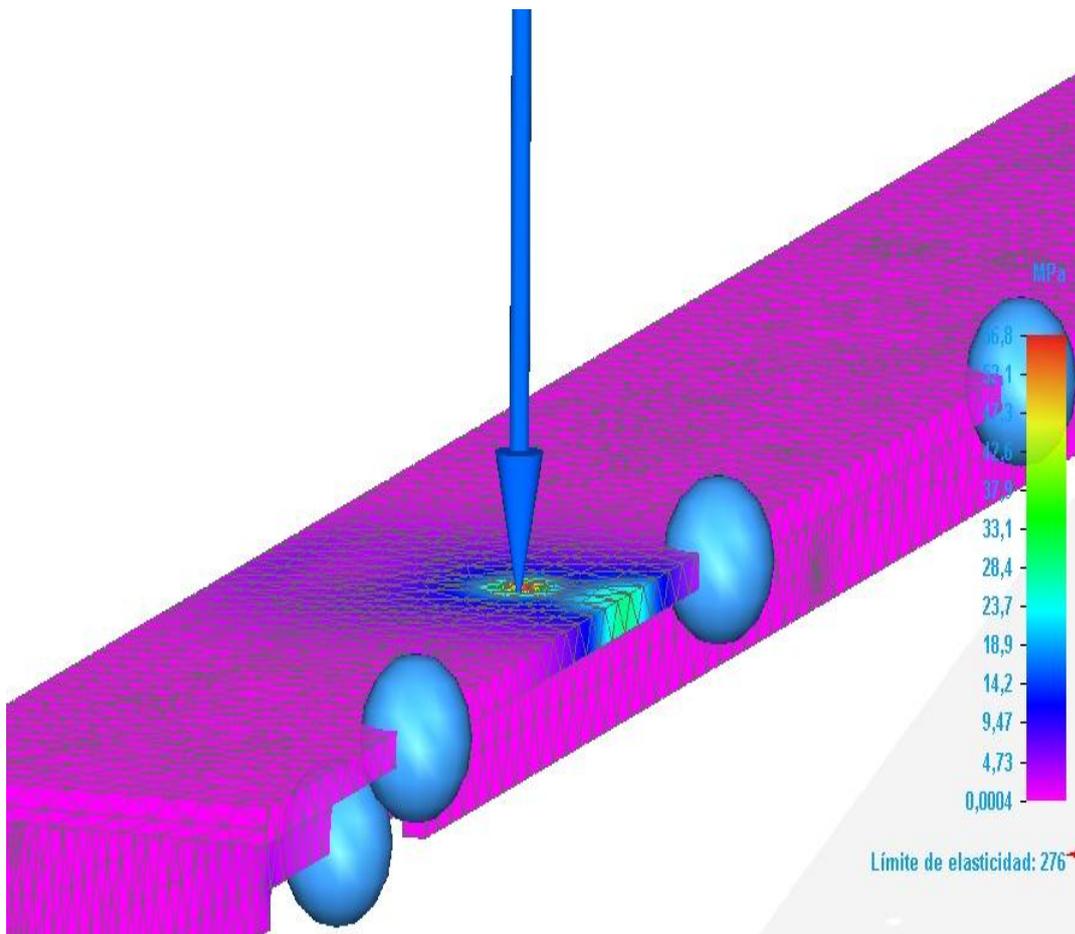
Figura 64-Resultados Desplazamientos' Viga Frontal

- TENSIÓN‘

Tabla 12-Resultados Tensión' Viga Frontal

Componente de resultados: Traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,0004 MPa	-7,000 mm	-541,000 mm	-45,000 mm

<b>Máxima</b>	56,8 MPa	-593,900 mm	-650,000 mm	5,000 mm
---------------	----------	-------------	-------------	----------



otra, mientras que en el coeficiente de rodadura no existe tal resbalamiento entre la rueda y la superficie sobre la que rueda, disminuyendo por regla general la resistencia al movimiento.

El caso ideal se trata de rodadura de un cilindro indeformable sobre un pavimento indeformable. El siguiente dibujo muestra las fuerzas que entran en juego para la situación mencionada:

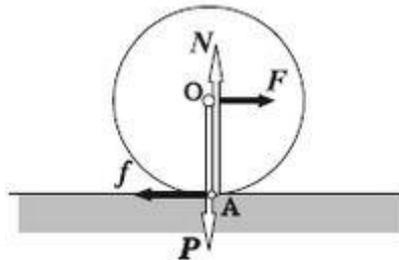


Figura 66-Estado de fuerzas ideal en rodadura

Por tanto, se debe calcular la fuerza F que hace posible comenzar el movimiento venciendo la fuerza de rozamiento f.

En situaciones reales en las que los cuerpos son deformables, por poco que sea se cumple el siguiente equilibrio de fuerzas:

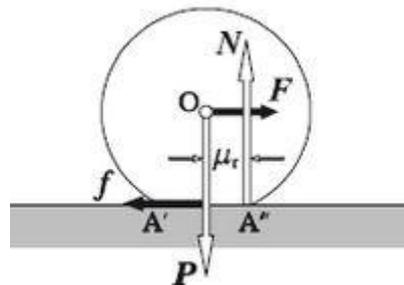


Figura 67-Estado de fuerzas en superficies deformables

El contacto no se realiza entonces a lo largo de una generatriz (como en la Figura 66) sino a lo largo de una estrecha banda A'A''. Ello da lugar a que aparezcan reacciones en los apoyos; reacciones que dan lugar a la aparición de un par que se opone la rodadura. Con la finalidad de simplificar el problema, se puede imaginar que en cada instante el cilindro debe rotar sobre la generatriz que pasa por A'' para poder rodar superando el pequeño obstáculo que se opone a ello. Eso equivale a considerar desplazada la línea de acción de la reacción normal N una distancia que se designa como  $\mu_r$ , como se muestra en la Figura 67. El par de resistencia a la rodadura y el par aplicado valen, respectivamente.

$$M_{res} = \mu_r N$$

$$M_{apl} = RF$$

En las condiciones críticas, cuando comienza la rodadura, el par aplicado o de arranque será mayor que el par resistente, de modo que:

$$M_{\text{arranque}} \geq M_{\text{res}}$$

$$RF \geq \mu_r N$$

De modo que el cilindro comenzará a rodar si,

$$F \geq \frac{\mu_r N}{R} = C_{rr} N$$

O fuerza mínima necesaria para el arranque.

En cuanto a los coeficientes, la magnitud  $\mu_r$ , que tiene dimensiones de una longitud, es el llamado coeficiente de resistencia a la rodadura. De las expresiones anteriores se deduce que el par de arranque es proporcional a la reacción normal  $N$  y que la fuerza de tracción necesaria para el arranque es inversamente proporcional al radio del cilindro; esa es la ventaja de las ruedas grandes sobre las pequeñas. El valor del coeficiente  $\mu_r$  depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto (fundamentalmente de su rigidez).

La magnitud a dimensional

$$C_{rr} = \frac{\mu_r}{R}$$

Es el llamado coeficiente de rodadura.

En la siguiente tabla se muestran algunos coeficientes de rodadura típicos:

Tabla 13-Coeficientes de Rodadura Típicos

$C_{rr}$	$\mu_r$	Descripción
0.0002 a 0.001	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril sobre raíles de acero
	0.1 mm	Rodamientos de bolas de hacer sobre acero
0,0025		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/ <u>eco-marathon</u>
0,005		Raíles estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
0,006 a 0,01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
0,010 a 0,015		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,020		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0,030 a 0,035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto

0.055 a 0.065	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
---------------	--

Se puede hacer un cálculo estimado de la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la rodadura de acuerdo a los valores de la tabla anterior. Tomando como valor de coeficiente de resistencia a rodadura  $C_{rr}=0.001$  (caso extremo, ruedas ferrocarril sobre raíles de acero) se puede realizar el siguiente cálculo:

$$C_{rr} = 0.001$$

$$F = \frac{\mu_r N}{R} = C_{rr} N$$

$$F = 0.001 mg = 0.001 * 1070(kg) * 9.8 \left( \frac{m}{s^2} \right) = 10.486 (N)$$

Luego, para que sea posible la rodadura del carro se debe aplicar una fuerza superior a 11.76 N.

Con este dato se procede al cálculo de la potencia.

$$P(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} F \frac{\Delta r}{\Delta t} = Fv$$

Estimando que la velocidad del carro no deberá superar 0.3 m/s el cálculo es el siguiente:

$$0.3 \frac{m}{s} = 1.08 \frac{km}{h}$$

$$P = Fv = 10.486 (N) * 0.3 \left( \frac{m}{s} \right) = 3.146 (W)$$

Sabiendo que,

$$745W = 1CV$$

Nos queda una potencia de,

$$P=0.004 CV$$

Dado que el recorrido que el carro desde que empieza a moverse hasta que se para nunca será mayor que 10m, la potencia total desarrollada en cada movimiento será,

$$T=33.33s$$

$$P=104.856 (Nm)$$

Una vez se conoce la potencia necesaria a desarrollar por el motor se procede a su elección.

La empresa Doga ofrece gran variedad de modelos de motores. Dicha empresa ofrece motores con reductor planetario con las siguientes características:

“NUEVOS MOTORES DE C.C. CON REDUCTOR PLANETARIO DOGA propone los motores de c.c. de imanes permanentes de las series 162, 168, 169 y 269 (así como el resto de su gama) con reductores planetarios. Estos motores, que en su versión estándar son de 12 o 24V, pueden ser realizados hasta 72V c.c. DOGA ofrece reductores planetarios de 1, 2 o 3 etapas. Los engranajes pueden ser metálicos o de plástico dependiendo de los requerimientos de cada aplicación. DOGA igualmente ofrece versiones de bajo ruido de los reductores planetarios. Los valores siguientes son para funcionamiento continuo” [22]

Dichos motores tienen la forma que muestra en la siguiente figura extraída de la web del fabricante:



Figura 68-Motor Doga [22]

Dado que la potencia necesaria no es elevada se elige la serie 162. La siguiente tabla muestra las prestaciones que ofrecen los motores de esta serie:

Tabla 14-Características Motor Doga

		<b>MOTOR 162</b>	<b>MOTOR 168</b>	<b>MOTOR 169</b>	<b>MOTOR 269</b>
<b>MOTOR</b>	<b>VOLTAJE V</b>	12, 24	12, 24	12, 24	12, 24
	<b>POTENCIA W</b>	63	158	122	236
	<b>POYENCIA HP</b>	0.08	0.21	0.16	0.32
	<b>PAR NOMINAL N.m</b>	0.2	0.5	0.4	0.75
	<b>PAR NOMINAL Lbf.in</b>	1.77	4.42	3.54	6.63

	PAR BLOQUEO Nm	1.0	3.0	2.2	4.0								
	PAR BLOQUEO Lbf.in	8.85	26.50	19.40	35.40								
	DIÁMETRO mm	60	79	79	95								
	DIÁMETRO Lbf.in	2.36	3.11	3.11	3.79								
		Ø52 mm	Ø62 mm	Ø72 mm	Ø81 mm								
		Ø2.05 in	Ø2.44 in	Ø2.83 in	3.19 in								
REDUCTOR PLANETARIO	TRANSMISIÓN	i=(4,5,7,14,16,18,19,22,25,27,29,35,46,51,59,68,71,79,93,95,100,107,115,124,130,139,150,169,181,195,236,308):1											
	PAR MAX Nm	4	12	25	8	25	50	14	42	84	20	60	120
	ETAPA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Como se observa en la tabla anterior los motores de la serie 162 no sólo son válidos, sino que ofrecen un elevado coeficiente de seguridad debido a la potencia que pueden llegar a desarrollar.

La siguiente tabla muestra los distintos motores disponibles en dicha serie. Se descartan los que trabajan con 12 V.

Tabla 15-Motores Doga Serie 162

Part Number	Referencia	MOTOR			REDUCTOR		
		Voltaje (V)	Velocidad Angular (rpm)	Curva (*)	Relación de Reducción	Etapa	Longitud (mm)
162.9003.20.00	162.4101.20.00	12	3500	32	4:1	1	78.0
162.9003.30.00	162.4101.30.00	24	3500	33	4:1	1	78.0
162.9004.20.00	162.4101.20.00	12	3500	32	16:1	2	92.0
162.9004.30.00	162.4101.30.00	24	3500	33	16:1	2	92.0
162.9005.20.00	162.4101.20.00	12	3500	32	35:1	2	92.0
162.9005.30.00	162.4101.30.00	24	3500	33	35:1	2	92.0
162.9006.20.00	162.4101.20.00	12	3500	32	169:1	3	106.3
162.9006.30.00	162.4101.30.00	24	3500	33	169:1	3	106.3

En la siguiente figura se muestra un plano acotado en mm de motor Doga de la serie 169. Se observa en el plano, en la parte derecha de la figura que se requiere comprar un conector especial para alimentar a los motores.

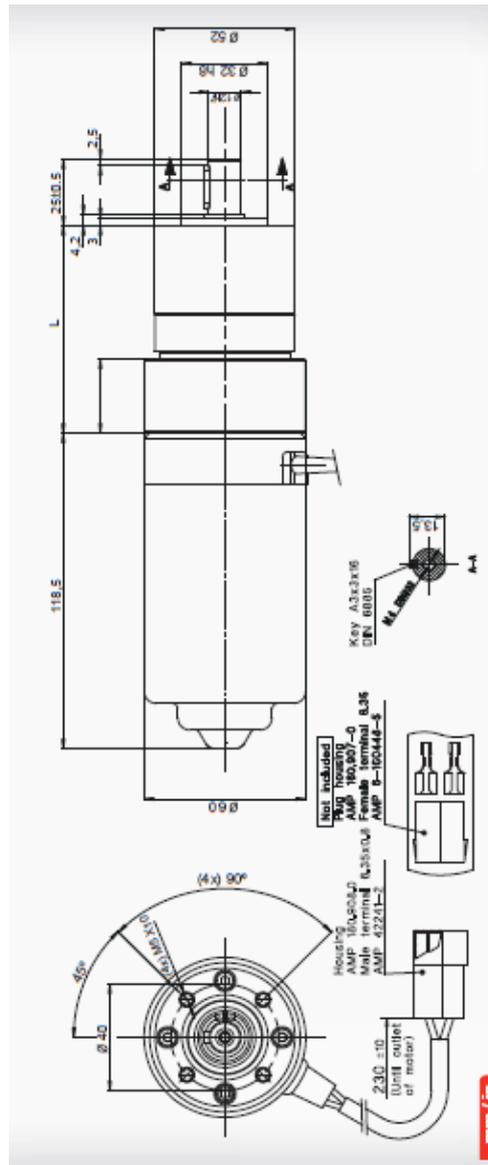


Figura 69-Plano Motor Doga [22]

Dado que la velocidad a la que se va a mover el conjunto formado por carro y cabina es de 0.3 m/s, es decir, muy baja, se busca un motor que garantice una elevada relación de reducción de salida. El fabricante recomienda el empleo del motor cuyo PN es: 162.9006.30.00.

Dado que el motor ofrece una velocidad máxima en vacío de 3500 r.p.m. y la relación de reducción es de 169/1, la velocidad angular de salida del eje será de:

$$\tau = \frac{w_1}{w_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

La velocidad angular de salida del eje será de:

$$W_2 = 20.7 \text{ r.p.m}$$

## SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Para la transmisión de potencia del motor al eje y a las ruedas se presentan dos posibles soluciones:

- Mediante engranajes:

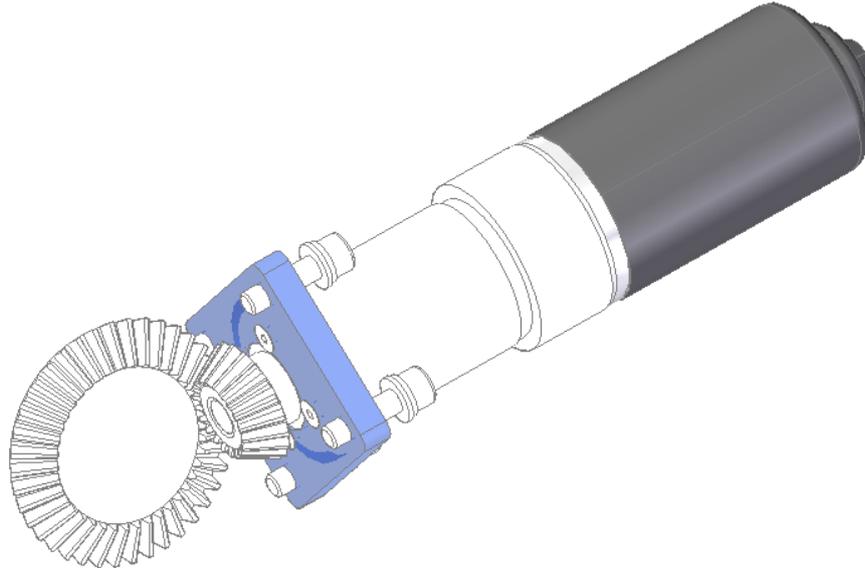


Figura 70-Transmisión de Potencia mediante engranajes cónicos

Mediante un engranaje cónico co-lineal con el eje del motor y un engranaje recto situado sobre el eje se transmite la potencia del motor al eje.

- Mediante correa:

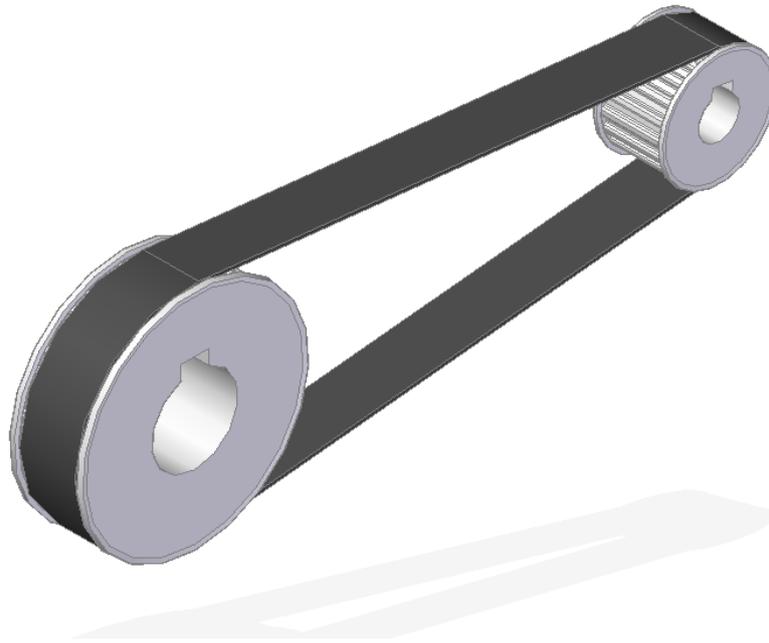


Figura 71-Transmisión de Potencia mediante Correa

Mediante una correa que engrana con dos poleas o ruedas situadas en eje y motor se transmite la potencia del motor al eje.

Dado que el sistema eléctrico puede fallar, no llegando alimentación a los motores, el cliente decide que se requiere un sistema que permita el movimiento manual del conjunto formado por carro, plataforma de movimiento y cabina. Para ello se debe o bien quitar la correa quedando el eje libre o retirar el engranaje cónico que tracciona con el eje quedando el eje también libre.

Finalmente se decide emplear un sistema de tracción por medio de correa dado que realizar el ajuste de apriete perfecto de los engranajes una vez retirados puede resultar complicado y poco exacto dañando los ejes de los engranajes.

El sistema de tracción por medio de correa junto con un sistema que permita que al aproximar el motor al eje quede la correa libre tiene la siguiente forma:

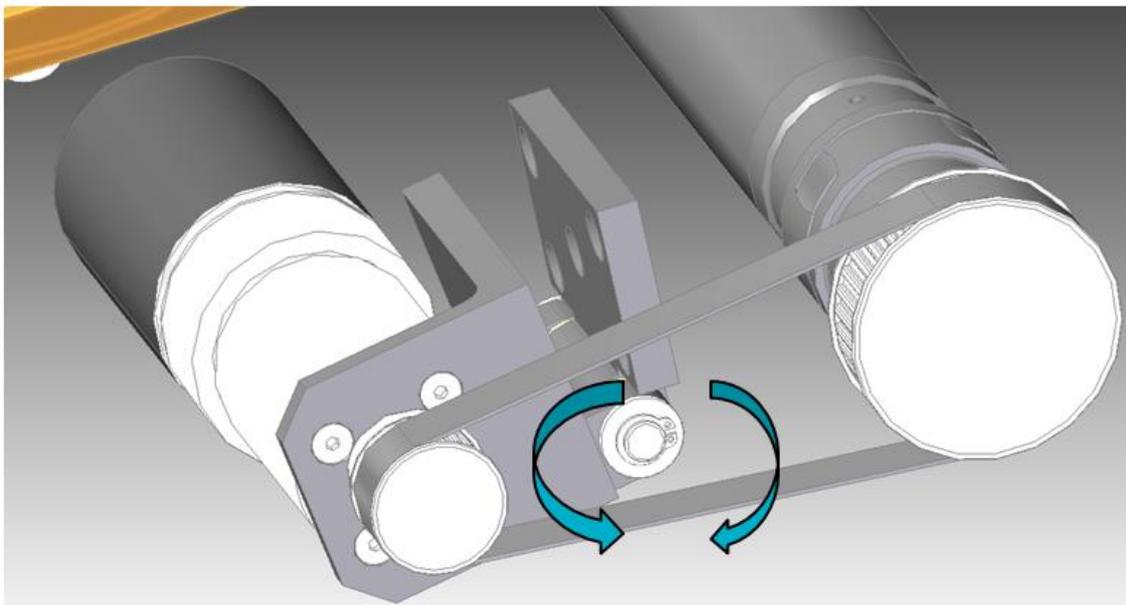
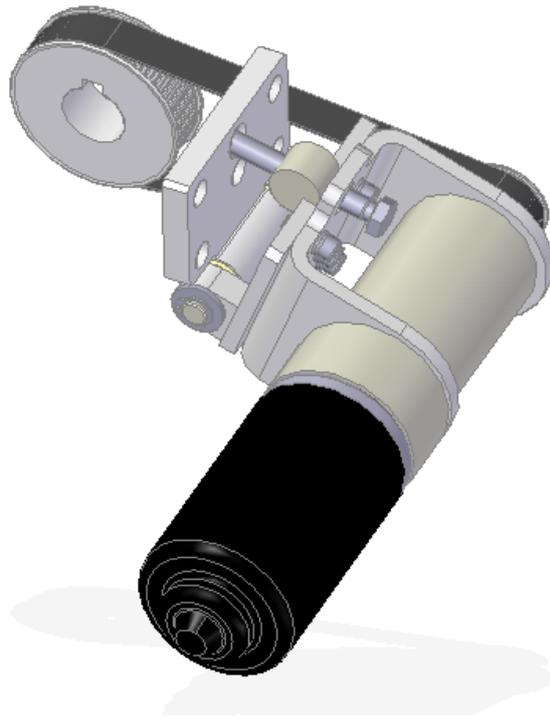


Figura 72-Sistema Manual de movimiento del carro

En la figura 72 se observa el conjunto formado por el motor, las dos poleas y la correa. Se observa que mediante un eje de giro (1 en la figura 72) y un tornillo de apriete (2 en la figura 72) se puede reducir la distancia entre las dos poleas que se unen mediante la correa, destensando la misma y quedando libre el sistema de ruedas y ejes de tal forma que se permita el movimiento del carro empujando sin la actuación de los motores.

Es necesario eliminar la acción de los motores, dado que sería imposible mover el carro con la correa tensa, debido a la reducción del motor Doga.

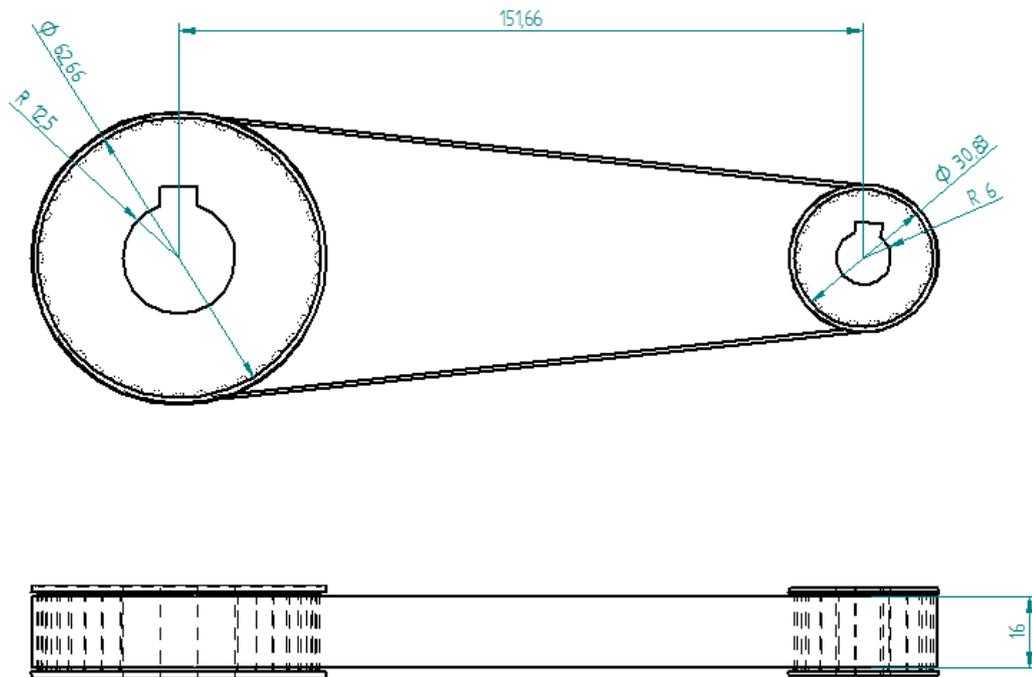


Figura 73-Plano acotado de poleas y correa

La figura 73 muestra un plano acotado en mm de las poleas y la correa. En dicha imagen se distinguen los datos de diámetros interno y externo de las poleas, así como la distancia entre las poleas. Dichos datos son necesarios para calcular la correa correcta para el sistema.

- **ELECCIÓN Y CÁLCULO DE CORREA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA:**

- ✓ Datos de partida:

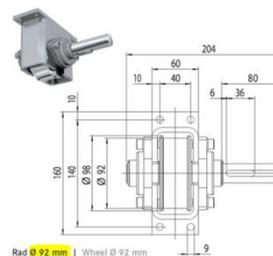
Por requerimientos de servicio, la velocidad lineal del carro no deberá superar los **0.3 m/s.**

Con este dato se calcula la velocidad angular del eje de salida del carro.

$V=w*r$ , donde:

$V=0.3 \text{ m/s}$

$r=92 \text{ mm}$ ; sacado del plano de la rueda del eje:



Por lo que queda:

$$W_{salida}=3.26 \text{ rad/s}=31.146 \text{ rpm}$$

La velocidad angular de salida del motor se ajusta de tal forma que quede

$$W_{entrada}=62.3776 \text{ rpm}$$

Con este dato calculamos la relación de transmisión a la que trabaja el motor:

$$R=N/n=62.3776/31.146=2.02$$

✓ Potencia transmitida (Pc):

$$P=F*v=11.76(N)*0.3(m/s)=1.08W=0.0014CV=0.0013HP$$

Pc=P\*K, donde K es 1 según la siguiente tabla.

Tabla 16-Factor de Seguridad, K

Máquinas motrices	Motores eléctricos cd = 2 cn Motores térmicos multicilindros > 600 rpm			Motores eléctricos c máxi > 2 cn Monocilindro < 600 rpm		
	< 6 h/d	6 a 16 h/d	16 a 24 h/d	< 6 h/d	6 a 16 h/d	16 a 24 h/d
<i>Cargas uniformes ligeras:</i> Agitadores para líquidos, bombas y compresores centrifugos-ventiladores hasta 7,5 Kw Pequeños transportadores	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<i>Cargas uniformes medias:</i> Transportadores de cinta (arena, grano) Ventiladores superiores 7,5 Kw Generadores-alternadores, máquinas herramientas Maquinaria artes gráficas, prensas, cizallas, lavadoras, bombas rotativas.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<i>Cargas irregulares con sobrecargas:</i> Maquinaria para ladrillos y cerámica Elevadores con canchilones. Compresores y bombas de pistones. Maquinaria papel. Pulverizadores. Maquinaria textil.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<i>Cargas irregulares y sobrecargas importantes:</i> Molinos, machacadoras, laminadoras, calandras mezcladoras. Gruas, dragas.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
Cargas muy irregulares y grandes sobrecargas.	2	2	2	2	2	2

Por tanto Pc=0.0013HP

✓ Selección tipo de correa:

Se entra con el valor en el grafico siguiente.

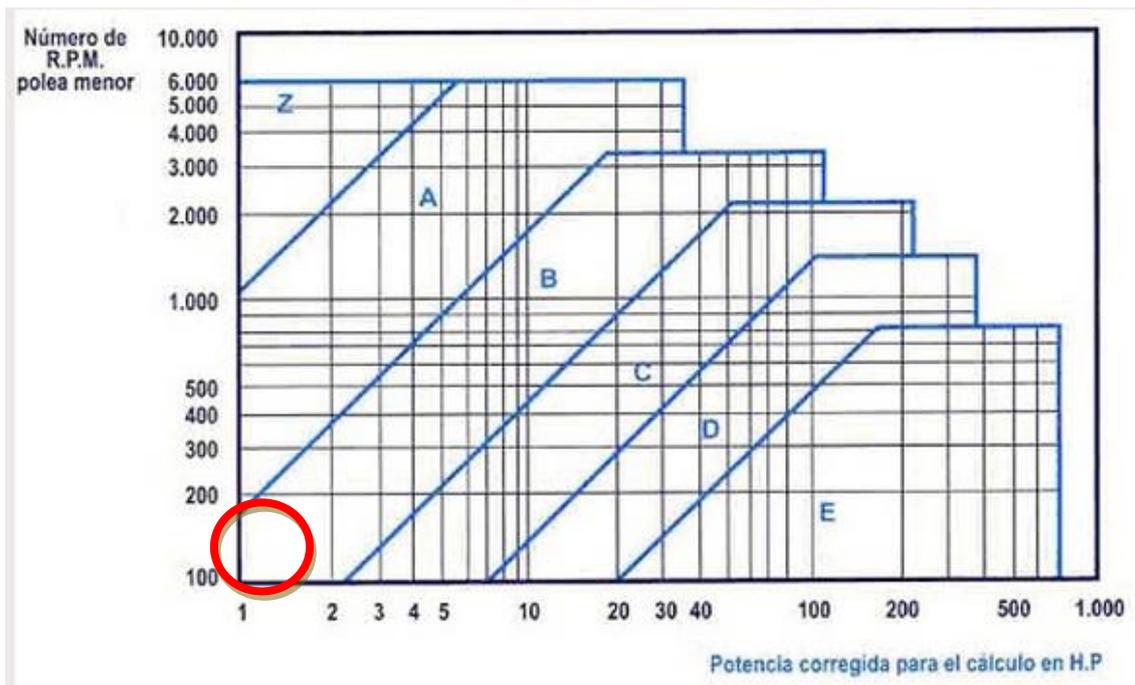


Figura 74-Selección tipo de Correa

Correa "Perfil B".

Tabla 17-Perfiles de Correa Normalizados

Sección	$a$ (mm)	$h$ (mm)	$ap$ (mm)
Z	10	6	8,5
A	13	8	11
B	17	11	14
C	22	14	19
D	32	19	27
E	38	25	32

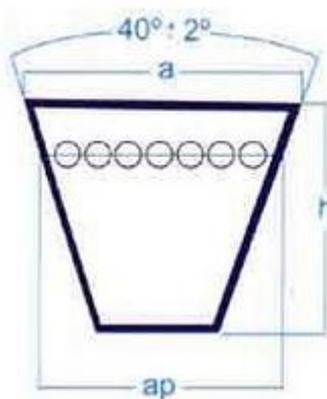


Figura 75-Variabes Perfil de Correa

- ✓ Diámetros de las poleas:

Conocido el diámetro de la p Polea menor:  $d=30.83 \text{ mm}$ ; seleccionada del catálogo de EPIDOR de correas de transmisión.

$$D=R.d=61.66\text{mm}$$

- ✓ Distancia entre ejes:

$$E \geq \frac{(R+1)*d}{2} + d = 77.38 \text{ mm}$$

- ✓ Longitud de la correa:

$$L_p = 2E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4E} = 302.33\text{mm}$$

Dado que se busca una correa dentada que garantice una transmisión síncrona hay que buscar una longitud normalizada de la siguiente tabla recomendada por el fabricante EPIDOR, concretamente la serie T5 para un ancho de cara de 16 mm. [18]

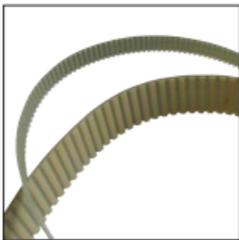
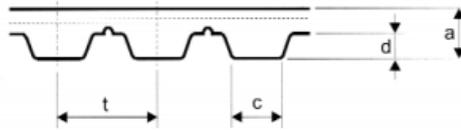
TRANSMISIONES POR CORREAS		TRANSMISIÓN SÍNCRONA	G1
CORREAS DENTADAS DE POLIURETANO			
CORREAS DENTADAS DE POLIURETANO SYNCHROFLEX PERFIL T (ESTÁNDAR)			
			
SYNCHROFLEX PERFIL T (ESTÁNDAR)		SYNCHROFLEX PERFIL AT (DE ALTA POTENCIA) CON PERFIL DE DIENTE MÁS ROBUSTO	
Referencia	Paso (mm.)	Referencia	Paso (mm.)
T2	2	AT3	3
T2,5	2,5	AT5	5
<b>T5</b>	<b>5</b>	AT10	10
T10	10	AT20	20
T20	20		

Figura 76- Características correas Epidor (1)

**CORREAS DENTADAS DE POLIURETANO SYNCHROFLEX PERFIL T5**



paso (t) = 5 mm.  
 Ancho diente (c) = 1,8 mm.  
 a = 2,2 mm.  
 d = 1,2 mm.

SYNCHROFLEX®							SYNCHROFLEX®						
Referencia	Z	Desarrollo (mm.)	Códigos Ancho mm.				Referencia	Z	Desarrollo (mm.)	Códigos Ancho mm.			
			6	10	16	25				6	10	16	25
T5 / 100	20	100	400.964	418.100	438.437	396.153	T5 / 295	59	295	408.491	418.149	395.767	396.194
T5 / 150	30	150	400.965	418.101	438.441	396.155	T5 / 305	61	305	408.496	418.157	395.774	396.201
T5 / 165	33	165	400.967	418.104	438.444	396.157	T5 / 330	66	330	408.501	428.092	395.783	396.211
T5 / 180	36	180	400.968	418.105	438.445	396.158	T5 / 340	68	340	408.504	428.100	395.795	396.223
T5 / 185	37	185	400.969	418.106	438.446	396.159	T5 / 355	71	355	408.510	428.106	395.804	402.940
T5 / 200	40	200	400.970	418.108	438.449	396.161	T5 / 365	73	365	408.514	428.113	395.806	402.943
T5 / 210	42	210	400.971	418.109	438.456	396.164	T5 / 390	78	390	408.516	428.121	395.817	402.954
T5 / 215	43	215	400.972	418.110	438.458	396.165	T5 / 400	80	400	408.521	428.125	395.824	402.989
T5 / 220	44	220	400.973	418.112	438.460	396.166	T5 / 410	82	410	408.522	428.126	395.828	402.994
T5 / 225	45	225	400.975	418.117	395.741	396.170	T5 / 420	84	420	408.527	428.130	395.834	402.999
T5 / 245	49	245	408.471	418.121	395.743	396.172	T5 / 455	91	455	408.536	428.157	395.857	413.025
T5 / 250	50	250	408.474	418.125	395.746	396.173	T5 / 465	93	465	408.539	428.162	395.860	413.037
T5 / 255	51	255	408.475	418.130	395.752	396.179	T5 / 500	100	500	408.547	428.178	395.897	403.051
T5 / 260	52	260	408.477	418.134	395.755	396.182	T5 / 505	101	505	408.548	428.180	395.900	410.562
T5 / 270	54	270	408.485	418.140	395.758	396.185	T5 / 510	102	510	408.549	428.181	395.907	410.570
T5 / 280	56	280	408.488	418.144	395.761	396.188	T5 / 525	105	525	408.553	428.188	395.911	410.578

Figura 77-Características correas Epidor (2)

La elección de las poleas para esta transmisión es trivial y se puede realizar una vez la correa ha sido seleccionada. En el propio catálogo de transmisiones de EPIDOR:

**POLEAS PARA CORREAS DENTADAS DE POLIURETANO SYNCHROFLEX PERFIL T5 (ESTÁNDAR)**

Polea para correas dentadas de Poliuretano SYNCHROFLEX perfil T5 de paso 5 mm. y ancho de correa de 16 mm.

Ver dibujos acotados para las distintas formas constructivas en la página 632.

Referencia	Ancho correa	n° dientes	Forma	S	e	H	W	Y	Código
27 T5/10	16	10	2	15,05	18	8	21	27	394.874
27 T5/12	16	12	2	18,25	23	11	21	27	394.876
27 T5/14	16	14	2	21,45	24	14	21	27	394.877
27 T5/15	16	15	2	23,05	27	16	21	27	394.878
27 T5/16	16	16	2	24,6	30	18	21	27	394.879
27 T5/18	16	18	2	27,8	30	20	21	27	394.880
27 T5/19	16	19	2	29,4	33	22	21	27	394.881
27 T5/20	16	20	2	31	33	23	21	27	394.882
27 T5/22	16	22	2	34,25	36	24	21	27	394.883
27 T5/24	16	24	2	37,4	40	26	21	27	394.884
27 T5/25	16	25	2	39	46	26	21	27	394.885
27 T5/26	16	26	2	40,6	46	26	21	27	394.886
27 T5/27	16	27	2	42,2	46	30	21	27	394.887
27 T5/28	16	28	2	43,75	50	32	21	27	394.888
27 T5/30	16	30	2	46,95	50	34	21	27	394.889
27 T5/32	16	32	2	50,1	55	38	21	27	394.890
27 T5/36	16	36	2	56,45	62	38	21	27	394.891
27 T5/40	16	40	2	62,86	67	40	21	27	394.892
27 T5/42	16	42	2	66	73	40	21	27	394.893
27 T5/44	16	44	3	69,2	-	45	21	27	394.894
27 T5/48	16	48	3	75,55	-	50	21	27	394.895
27 T5/60	16	60	3	94,65	-	65	21	27	394.896

Figura 78-Características correas Epidor (3)

La elección de estas poleas y sus características se pueden ver en los dibujos acotados que muestra el fabricante en su catálogo:

**PLANOS CON LAS FORMAS DE LAS POLEAS PARA CORRES DENTADAS DE POLIURETANO TIPO "T"**

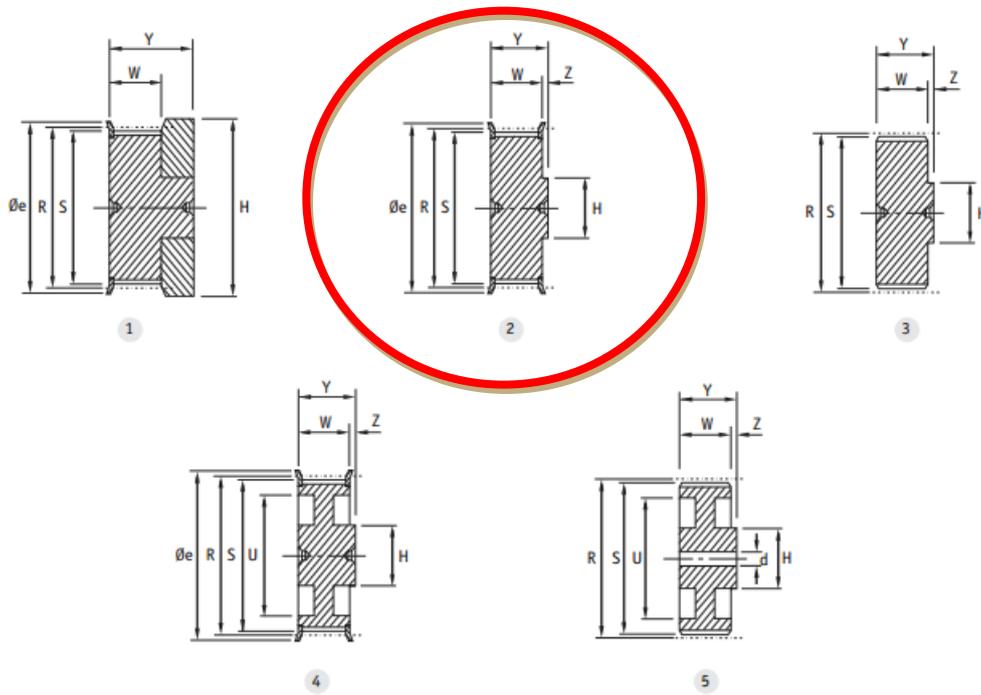


Figura 79- Características correas Epidor (4)

De esta imagen se concluyen las siguientes variables:

- $S' = 23$                        $S'' = 62.86$
- $W' = 21$                        $W'' = 21$
- $Y' = 27$                        $Y'' = 27$
- $H' = 23$                        $H'' = 40$
- $\text{Ø}e' = 33$                        $\text{Ø}e'' = 67$

✓ Factor de corrección por longitud:

Dado que la longitud de la correa seleccionada es mayor que la longitud base.  $F_{cl} > 1$ . El dato exacto se extrae de la siguiente tabla.

Sección de la correa						
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E

240	-	-	1.22	1.11	1.00	0.96
270	-	-	1.25	1.14	1.03	0.99
300	-	-	1.27	1.16	1.05	1.01
330	-	-	-	1.19	1.07	1.03
360	-	-	-	1.21	1.09	1.05
390	-	-	-	1.23	1.11	1.07
420	-	-	-	1.24	1.12	1.09
480	-	-	-	-	1.16	1.12
540	-	-	-	-	1.10	1.14

Figura 80-Características correas Epidor (5)

Por tanto  $F_{cl}=1.27$

- Arco de contacto:

$$A = 180 - 57 \frac{(D-d)}{E} = 157.29^\circ$$

Este dato es necesario para conocer el ángulo de contacto de la correa sobre la polea de menor tamaño, que será la que determine la vida útil de dicha correa.

Al ser el ángulo de contacto sobre la polea más pequeña menor que  $180^\circ$  (situación ideal), el factor de corrección de ángulo de contacto sobre polea varía según la siguiente tabla.

Arco de contacto sobre polea menor	Factor de corrección	
	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82

Figura 81-Características correas Epidor (6)

$F_{ca}=0.94$

- Velocidad lineal de la correa:

$$V_t = \frac{\pi d n}{60 * 1000} = 0.05 \text{ (m/s)}$$

- Prestación base de la correa:

Para obtener la prestación o potencia base de la correa accedemos a la siguiente tabla:

Sección B																		
N° R.P.M. De la polea menor	Prestación Base (en HP)																	
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)																	
	117	122	127	132	137	142	147	152	157	162	166	173	178	183	188	193	198	203
870	1.74	1.93	2.12	2.31	2.49	2.68	2.87	3.05	3.24	3.42	3.60	3.79	3.97	4.15	4.33	4.50	4.68	4.86
1160	2.12	2.36	2.61	2.85	3.09	3.32	3.56	3.80	4.03	4.26	4.49	4.72	4.94	5.17	5.39	5.61	5.83	6.05
1750	2.72	3.06	3.39	3.72	4.05	4.37	4.69	5.01	5.32	5.62	5.92	6.22	6.51	6.80	7.08	7.36	7.90	
200	0.57	0.62	0.67	0.72	0.77	0.82	0.87	0.92	0.97	1.02	1.07	1.12	1.17	1.22	1.27	1.32	1.36	1.41
400	0.97	1.07	1.16	1.26	1.35	1.45	1.54	1.64	1.73	1.82	1.91	2.01	2.10	2.19	2.28	2.37	2.47	2.56
600	1.32	1.46	1.60	1.73	1.87	2.01	2.14	2.28	2.41	2.54	2.68	2.81	2.94	3.07	3.20	3.33	3.46	3.59
800	1.63	1.81	1.99	2.16	2.34	2.51	2.69	2.86	3.03	3.20	3.37	3.54	3.71	3.88	4.05	4.21	4.38	4.54
1000	1.91	2.13	2.34	2.56	2.77	2.98	3.19	3.40	3.61	3.81	4.02	4.22	4.42	4.62	4.82	5.02	5.22	5.41
1200	2.17	2.42	2.67	2.92	3.16	3.41	3.65	3.89	4.13	4.37	4.60	4.84	5.07	5.30	5.52	5.75	5.98	6.20

Figura 82- Características correas Epidor (6)

- ✓ Potencia efectiva de la correa:

$$Pe = Pb * Fcl * Fca = 0.0015 \text{ (HP)}$$

Con todo esto nos queda el siguiente sistema de transmisión por correa, junto con el sistema de ajuste de la tensión de la correa, que a la vez sirve para librería la transmisión y poder realizar el movimiento del carro manualmente en caso de corte de corriente.

### EJE DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Para la transmisión de potencia a las 4 ruedas motrices se emplean dos ejes transversales sencillos.

El eje tiene un diámetro interno de 46 mm y un diámetro externo de 50 mm.

La longitud del mismo es de 1773 mm.

Para realizar el acople y terminar con el diseño del propio eje son necesarios un conjunto de elementos que se muestran a continuación en una imagen junto con una lista de materiales.



Figura 83-Elementos eje

- 1 Rueda 1
- 2 Polea de transmisión por correa
- 3 Conjunto de acople 1
- 4 Eje
- 5 Conjunto de acople 2
- 6 Conjunto de acople 3
- 7 Separador
- 8 Rueda 2

Son necesarios los conjuntos de acople con numeración 5 y 6 en la figura 83 son necesarios para salvar posibles irregularidades en cuanto a el alineamiento entre los carriles sobre los que deslizan las ruedas de uno u otro lado del carro.

El despiece de la estructura del chasis se encuentra en el Anexo G: Estructura carro.

Los ejes, con forma cilíndrica hueca, unen dos pares de ruedas dos a dos. Para la unión del eje a las ruedas el eje deberá dispone de alojamientos para las chaveteras. Co-lineal con el eje se coloca la polea sobre la que tracciona la correa que une eje y motor. También co-lineal con el eje se sitúan los conjuntos de acople que cortan el eje en dos partes.

El ensamblado de los ejes y el chasis del carro se encuentran adjuntos en 3d junto con el proyecto.

Para un estudio más exacto, se realiza una “simulación” del eje en cuanto a par y restricciones fijas sufridas. La simulación se realiza en Solid Edge y tiene los siguientes resultados:

Tabla 18-Pieza Eje Cardan

Nombre Pieza	Material
Eje cardan_v3.par	Aluminio, 1060

Tabla 19-Propiedades Eje Cardan

Propiedad	Valor
Densidad	2712,000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,000023 /C
Conductividad térmica	0,221 kW/m-C
Calor específico	920,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	68947,570 MPa
Coefficiente de Poisson	0,330
Límite elástico	27,579 MPa
Tensión de rotura	68,948 MPa

Tabla 20-Cargas Eje Cardan

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Gravedad 1	Gravedad	981 cm/s <sup>2</sup>	( 0,00, 0,00, -1,00 )	A lo largo del vector	Gravedad 1
Par 1	Par	0,31 N-m	Posición = ( 0,42, 0,00, 0,00 ), Eje = ( 0,00, -1,00, 0,00 )		Par 1

Tabla 21-Mallado Eje Cardan

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	825
Número total de nodos	1.725
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	3

- **DESPLAZAMIENTOS**

Tabla 22-Desplazamientos Eje Cardan

Componente de resultados: Traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-886,500 mm	0,000 mm	25,000 mm
Máxima	0,0379 mm	0,000 mm	25,000 mm	0,000 mm

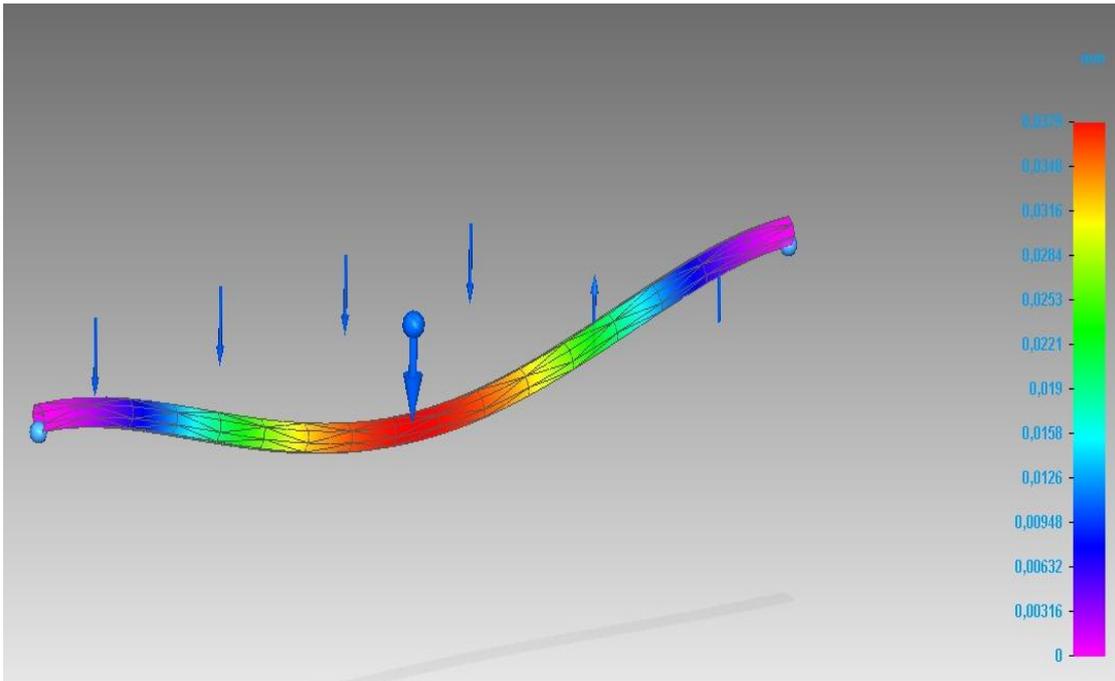


Figura 84-Resultados desplazamientos Eje Cardan

- **TENSIÓN**

Tabla 23-Resultados Tensión Eje Cardan

Componente de resultados: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,00649 MPa	-52,147 mm	-25,000 mm	0,000 mm
Máxima	0,471 MPa	-886,500 mm	0,000 mm	25,000 mm

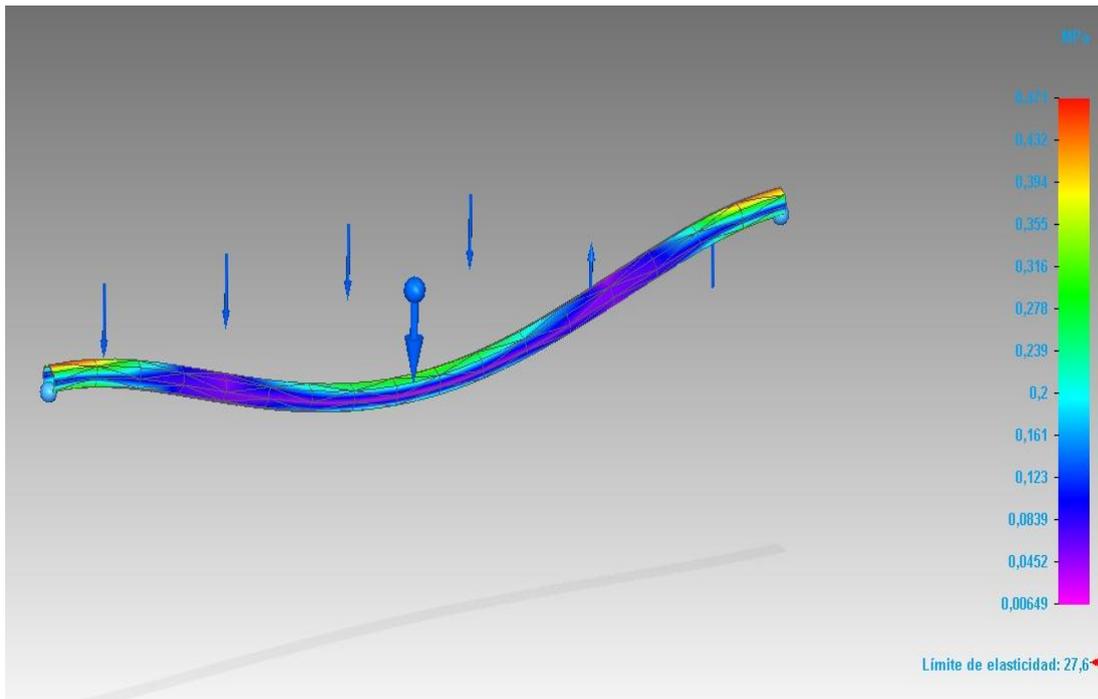


Figura 85-Resultados Tensión Eje Cardan

Las imágenes de los resultados se encuentran a una escala mayor para poder apreciar los resultados con claridad-

Como se puede observar en los resultados de los cálculos de tensión y desplazamiento, los puntos afectados, en cuanto a tensión, se reparten a lo largo de todo el eje, dado que el par se reparte a lo largo de la superficie cilíndrica del eje.

No obstante se observa un desplazamiento máximo en la zona central del eje de 0.0379 mm. Longitud insignificante, por lo que no afectaría al eje. Aún así se decide colocar unos soportes soldados al chasis del carro, que rodean al eje a modo de cojinete y dan mayor seguridad en la zona central del eje.

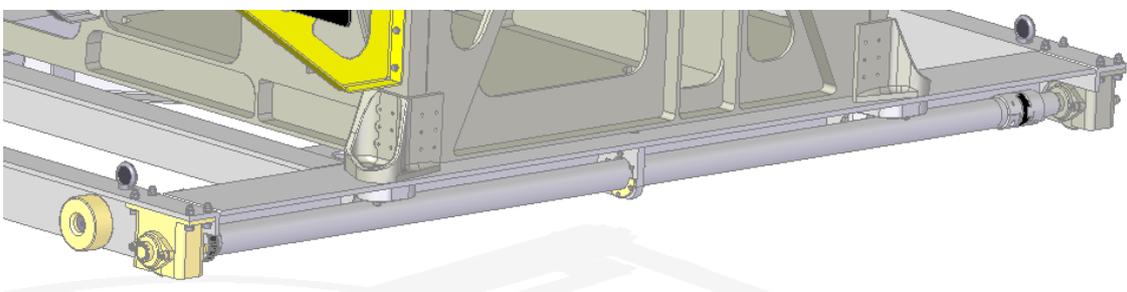


Figura 86-Soporte Eje Cardan

Como conclusión final, el Eje Cardan alcanza un desplazamiento máxima en cualquier dirección de 0.0379 mm y la máxima tensión en cualquiera de los puntos del mallado es de 0.471 MPa, por lo que el eje queda perfectamente diseñado.

## RODILLOS

Además de las cuatro ruedas se decide colocar cuatro rodillos de nylon, sin tracción, que ayuden al carro a tener tracción en todo momento en uno de los dos ejes en caso de desalineamiento vertical entre los tramos de carril en el simulador, es decir, entre Plataforma de Vibración y Sala de entrenamiento, y entre Sala de Entrenamiento y Plataforma de Acceso.

Los rodillos, de igual modo que las ruedas, se colocarán dos a dos en los laterales del carro entre las ruedas con tracción del carro. Van guiadas o no-guiadas respectivamente, al igual que las ruedas y además ayudan a repartir la carga vertical debida al peso del conjunto en cuatro puntos más.

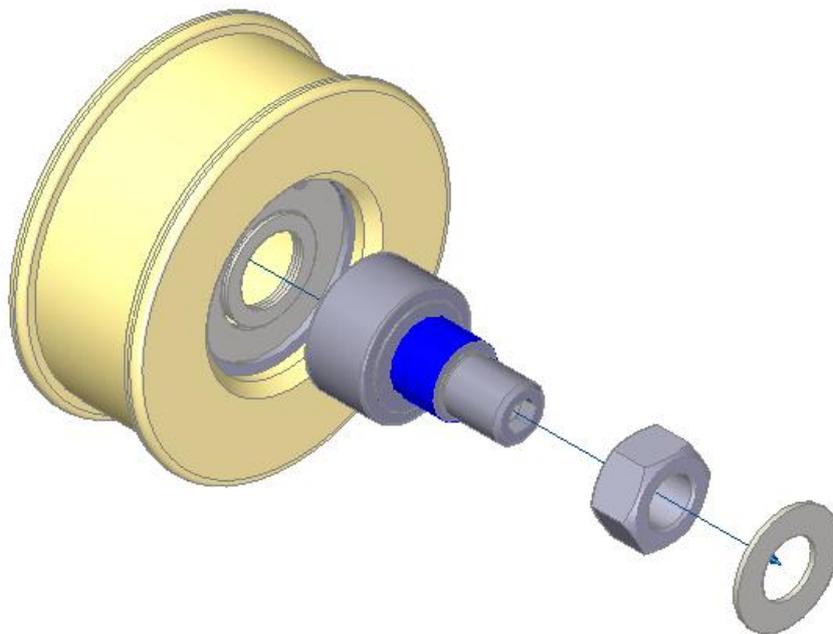


Figura 87-Rodillos

## 4.2 Diseño de Sistema de Elevación/Bajada

Pese a que la fabricación de la Plataforma de Tijera que sirve de Sistema de Elevación/Bajada será subcontratada, el diseño de dicho sistema se realiza en paralelo junto con dicha empresa.

La Plataforma Elevadora Electromecánica (mesa de tijeras), tiene como finalidad evitar condiciones ergonómicas desfavorables, permitiendo la mejor relación posible entre el operario y su puesto de trabajo poniendo, a un nivel óptimo en altura, la actividad a realizar. También puede estar destinada a salvar las diferencias de nivel en operaciones de carga-descarga, permitiendo el paso de personal, carretillas, etc.

El accionamiento y utilización de la Plataforma elevadora electromecánica, solo se efectuará por personas expresamente autorizadas por la Dirección de la Empresa, y con la formación necesaria para su manejo.

Además de las ejecuciones normales, existen otros diseños de plataforma elevadora, definidas por una necesidad específica.

La plataforma elevadora objeto del presente manual está exclusivamente destinada para:

- Permitir, mediante los movimientos de elevación y traslación; la carga y descarga del “carro motorizado de cabina” con un peso máximo de 1500kg que corresponde con la carga máxima de utilización de la plataforma.
- Permitir el acceso de personas al simulador en su posición más elevada.

#### **REQUISITOS Y NORMATIVA**

Las mesas elevadoras han sido diseñadas y construidas para garantizar la máxima seguridad, fiabilidad y duración. Son conformes con los requisitos de base previstos por la norma EN 1570 para mesas elevadoras. Esta norma europea determina los requisitos de seguridad para mesas elevadoras utilizadas para elevar y/o bajar mercancías y/o personas encargadas del desplazamiento del material transportado por la mesa elevable.

Las mesas elevadoras no completas o que están destinadas a incorporarse a otra máquina o conjunto de máquinas, tal como establece la normativa 2006/42/CEE, no pueden ser puestas en funcionamiento antes de verificarse que se cumplen los requisitos mínimos de seguridad que establece la directiva 2006/42/CEE y expedida el certificado “CE” del conjunto.

Bajo el simulador se encuentra un suelo con malla de acero por lo que se desestima el uso de foso para situar los componentes de la plataforma. Las dimensiones totales del conjunto de plataforma elevadora por sistema de tijera en las posiciones máxima y mínima respectivamente se muestran a continuación.

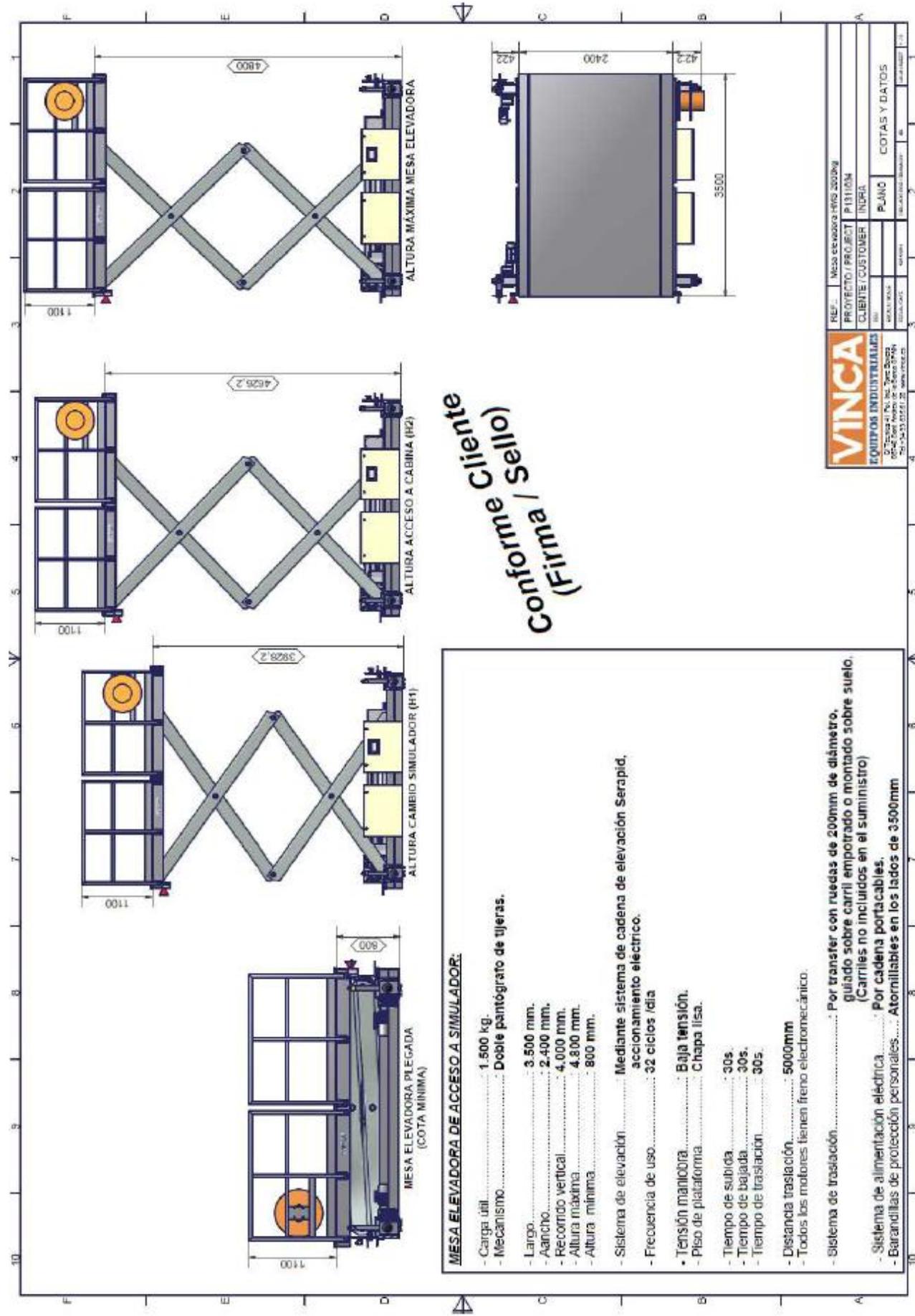


Figura 88-Dimensiones Plataforma de Tijera

En la figura 84 se puede observar conjunto de sistemas que conforman el “Sistema de Elevación/Bajada” además de las posiciones exteriores totales tanto en superficie como en altura.

La altura del conjunto en la posición mínima tiene un total de 1700 mm junto con las barandillas de seguridad, por lo que la plataforma chocaría con el Simulador de Vuelo en movimiento de acuerdo a la envolvente del simulador en movimiento recogida en el documento del Anexo A. Es por ello que se decide que una vez el conjunto a intercambiar (cabina, plataforma de movimiento y carro) se encuentre sobre la Plataforma de Tijera, en la posición mínima, esta realice un movimiento de traslación hasta queda fuera de los límites de la envolvente, evitando interferencias con el simulador.

### GRUPOS DE COMPONENTES

La plataforma de elevación electromecánica (mesa de tijeras), está constituida por los siguientes grupos de componentes.

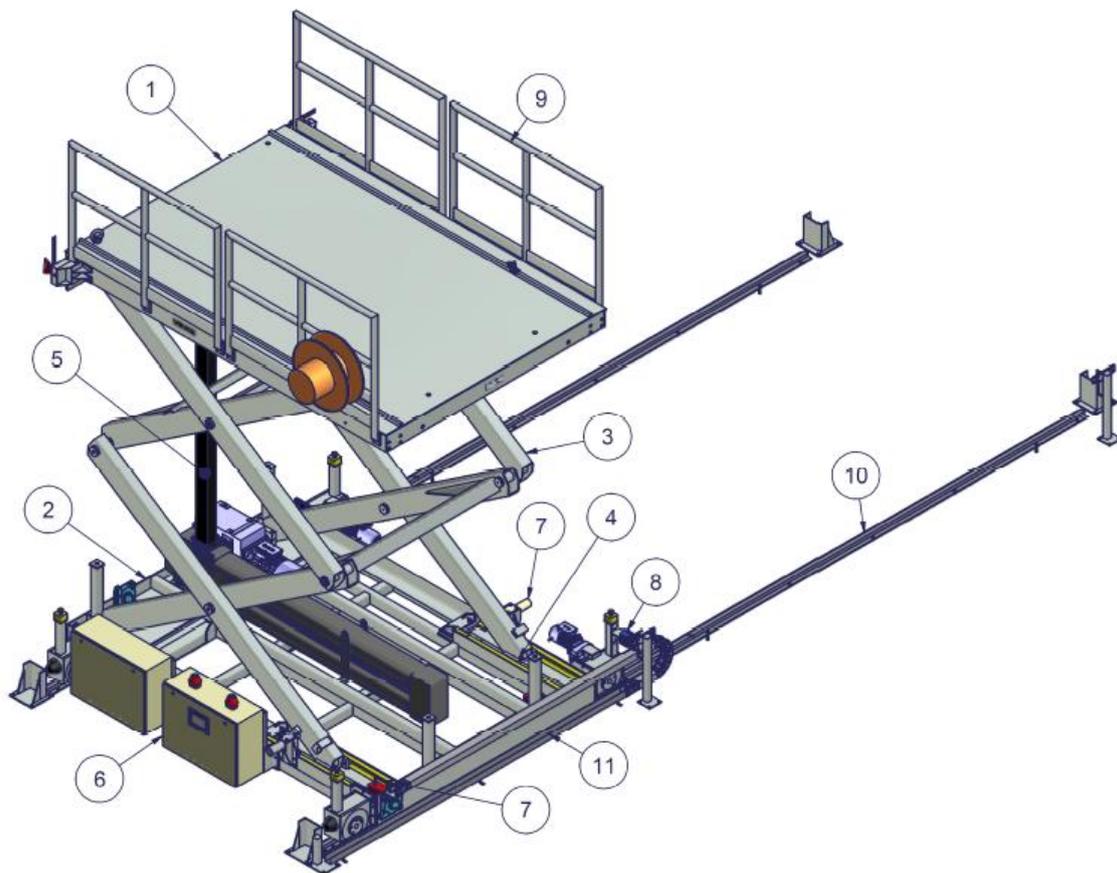


Figura 89-Sistemas Plataforma Tijera

1. Plataforma superior: Estructura de acero estructural soldado, con superficie en chapa lisa. Incorpora barandillas de protección personales y carriles para el desplazamiento del carro motorizado propiedad del cliente.

2. Base (chasis inferior): Está construida con perfiles estructurales, incorpora los perfiles de rodadura, bases de apoyo para el sistema de elevación, sistema motorizado de traslación y los armarios de maniobra.
3. Tijeras elevadoras: Las tijeras se hallan incorporadas entre los dos armazones horizontales: la plataforma superior y la base. Están construidas con chapa de acero de gran resistencia y reforzadas con elementos horizontales para evitar flexiones laterales.
4. Elementos mecánicos: Ruedas con rodamiento, ejes, casquillos auto lubricados, chavetas...etc.
5. Sistema de elevación: La plataforma está equipada con un sistema de elevación compuesto por una cadena 80 PSRGS del fabricante Serapid y un moto reductor con freno, ver anexo B.
6. Cuadros de maniobra: La máquina está provista de 2 cuadros de maniobra instalados en la base inferior.
7. Barra de seguridad: Únicamente a colocar en para realizar tareas de reparación y/o mantenimiento. Bloquea la tijera motriz, impidiendo que la plataforma descienda.
8. Elementos de maniobra: Finales de carrera de bajada, finales de carrera de subida, finales de carrera de traslación, encoders, componentes de regulación y control... etc.
9. Barandillas de protección personales: La máquina incorpora barandillas de protección personales para evitar la caída de operadores desde la plataforma.
10. Carriles de traslación: Junto con la máquina se suministran los carriles de traslación y las instrucciones para su correcto montaje.
11. Cadena porta cables: El sistema de alimentación eléctrica se realiza a través de 2 cadenas porta cables, una para el movimiento de traslación y otra para el movimiento

## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN**

El sistema de elevación está básicamente constituido por:

- 1 cadenas LL50c
- 1 cárter de engrane con alojamiento de cadenas tamaño 80
- 1 moto reductor con freno y encoder incremental.

Tabla 24- Características Técnicas Sistema Elevación

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Esfuerzo de empuje estático máximo: Max 4190 daN (para 1 ChainLift).	Esfuerzo de empuje dinámico máximo: Max 4190 daN (para 1 ChainLift).
Tipo de cadena: LL80	Velocidad de traslación de las cadenas: 140 mm/s.
Carrera total de las cadenas: 4180 mm	Relación de reducción del Motoreducteur: $i = 1/125,448$
Esfuerzo de empuje estático máximo: Max 4190 daN (para 1 ChainLift).	Esfuerzo de empuje dinámico máximo: Max 4190 daN (para 1 ChainLift).
Tipo de cadena: LL80	Velocidad de traslación de las cadenas: 140 mm/s.
Carrera total de las cadenas: 4180 mm	Relación de reducción del Motoreducteur: $i = 1/125,448$

### **MONTAJE CARRILES TRASLACIÓN**

La instalación de los carriles de traslación se realiza siguiendo los siguientes planos de montaje:

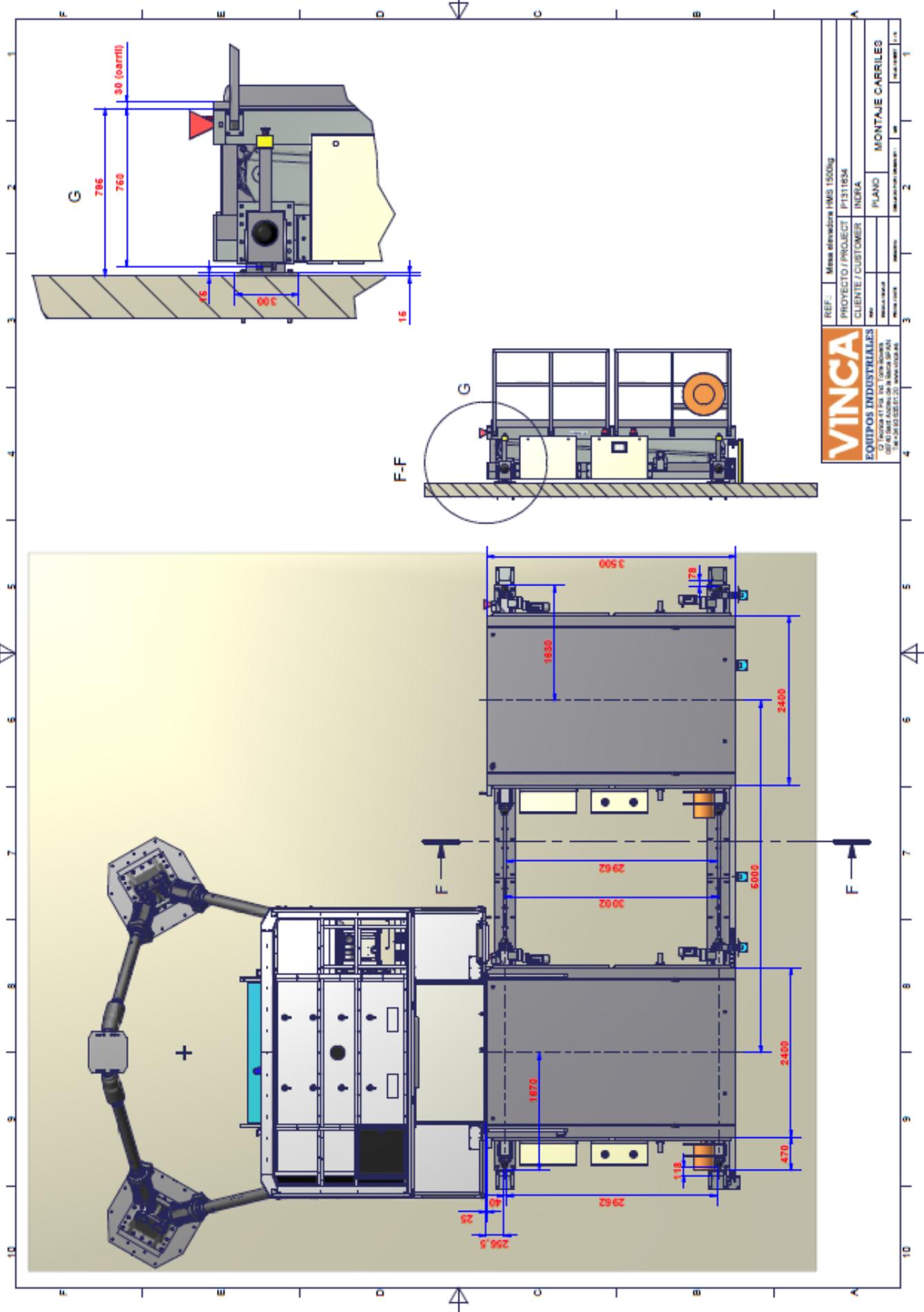


Figura 90-Plataforma tijera, carriles 1

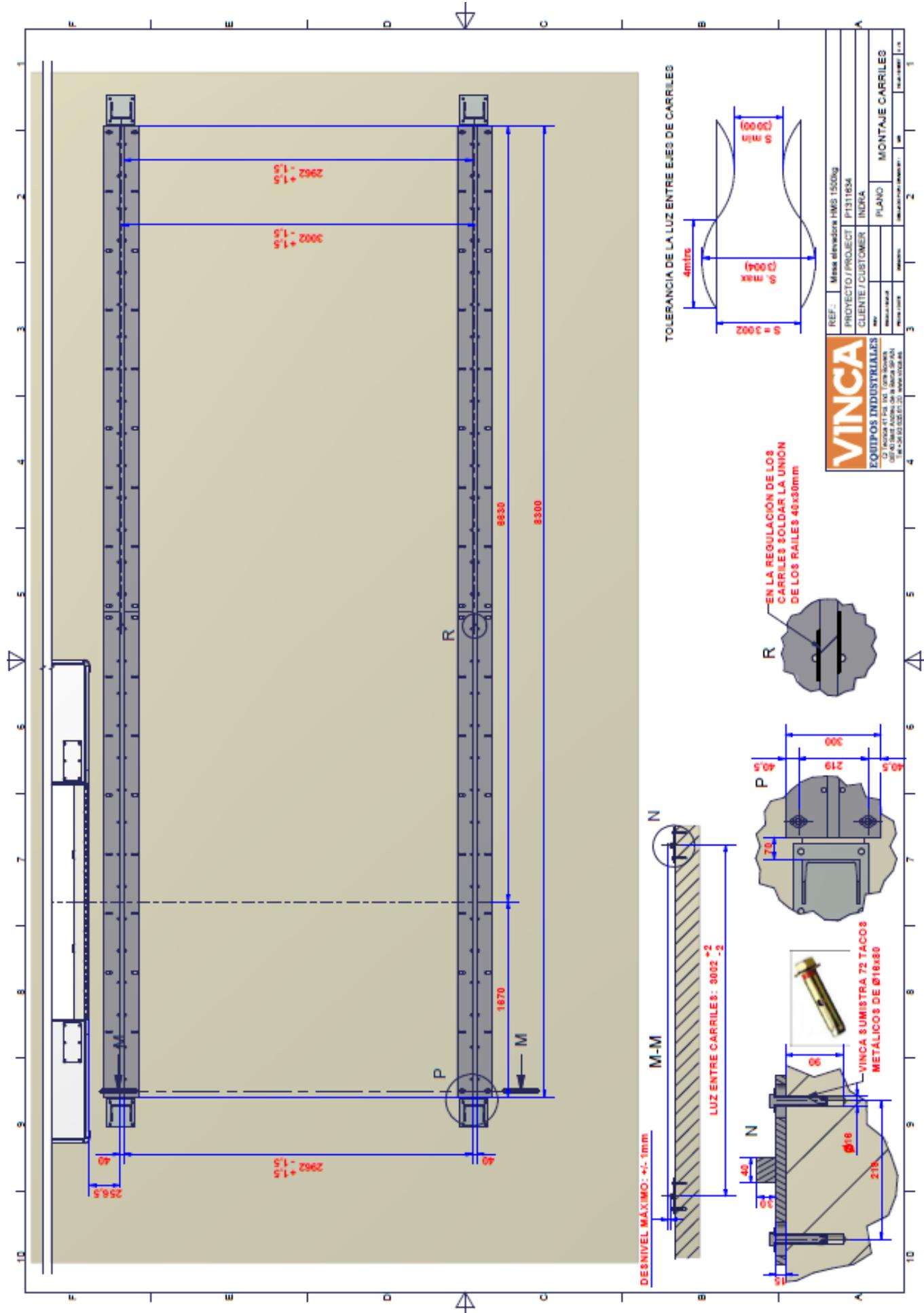


Figura 91-Plataforma tijera, carriles 2

## MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

La PLATAFORMA permite ser mantenida en la posición de plegado mediante cuatro cáncamos, roscados M30. Una vez colocados, la plataforma superior está rígidamente unida a la base y al juego de tijeras, evitando así cualquier movimiento relativo entre dichas partes de la máquina.

Asegurarse de roscar los cáncamos siempre hasta el fondo y verificar que la base superior esta rígidamente unida a la base inferior.

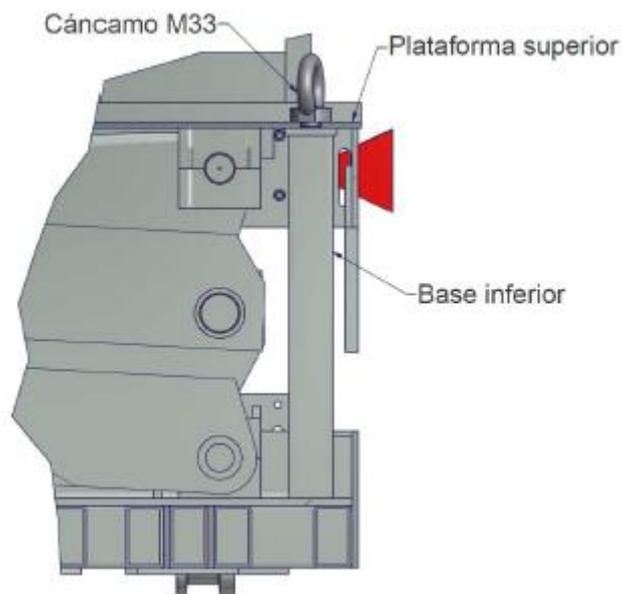


Figura 92-Zoom Plataforma Tijera, cáncamo

La elevación, debe realizarse mediante el amarre del elemento de elevación a los cuatro cáncamos tal y como viene especificado en el dibujo.

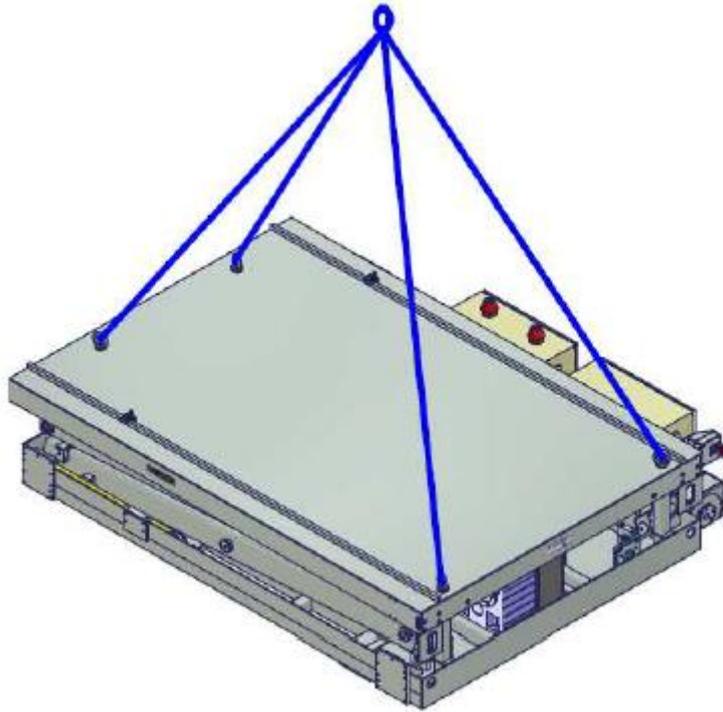


Figura 93-Elevación Plataforma Tijera

Asegurarse que el medio de elevación empleado está en acorde con el peso de la plataforma a mover, que asciende a **5600kg**.

#### POSICIONADO

La plataforma elevadora se suministra prácticamente con todos los componentes montados excepto:

- Los grupos de ruedas y el bloqueador del lado izquierdo.
- El soporte del lector de código de barras del lado izquierdo
- Las barandillas del lado izquierdo.
- La cadena porta cables de traslación y los soportes de finales de carrera de traslación.

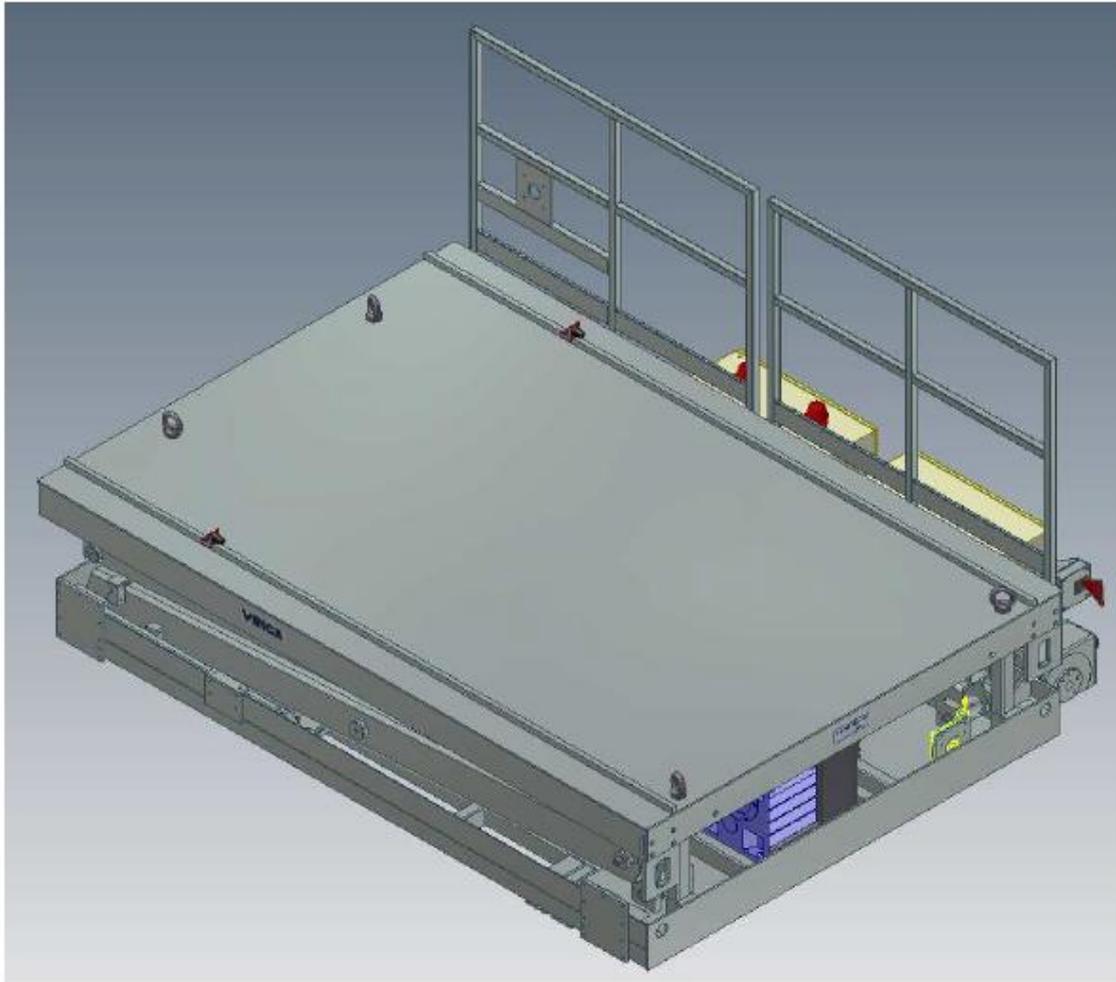


Figura 94-Plataforma Tijera, Montaje 1

Para el montaje de los componentes anteriores proceder como sigue:

- Descargar la máquina mediante puente grúa y colocar la misma encima de 2 caballetes de sostén o similar y retirar el embalaje de la plataforma elevadora. No retirar todavía los 4 cáncamos M30.

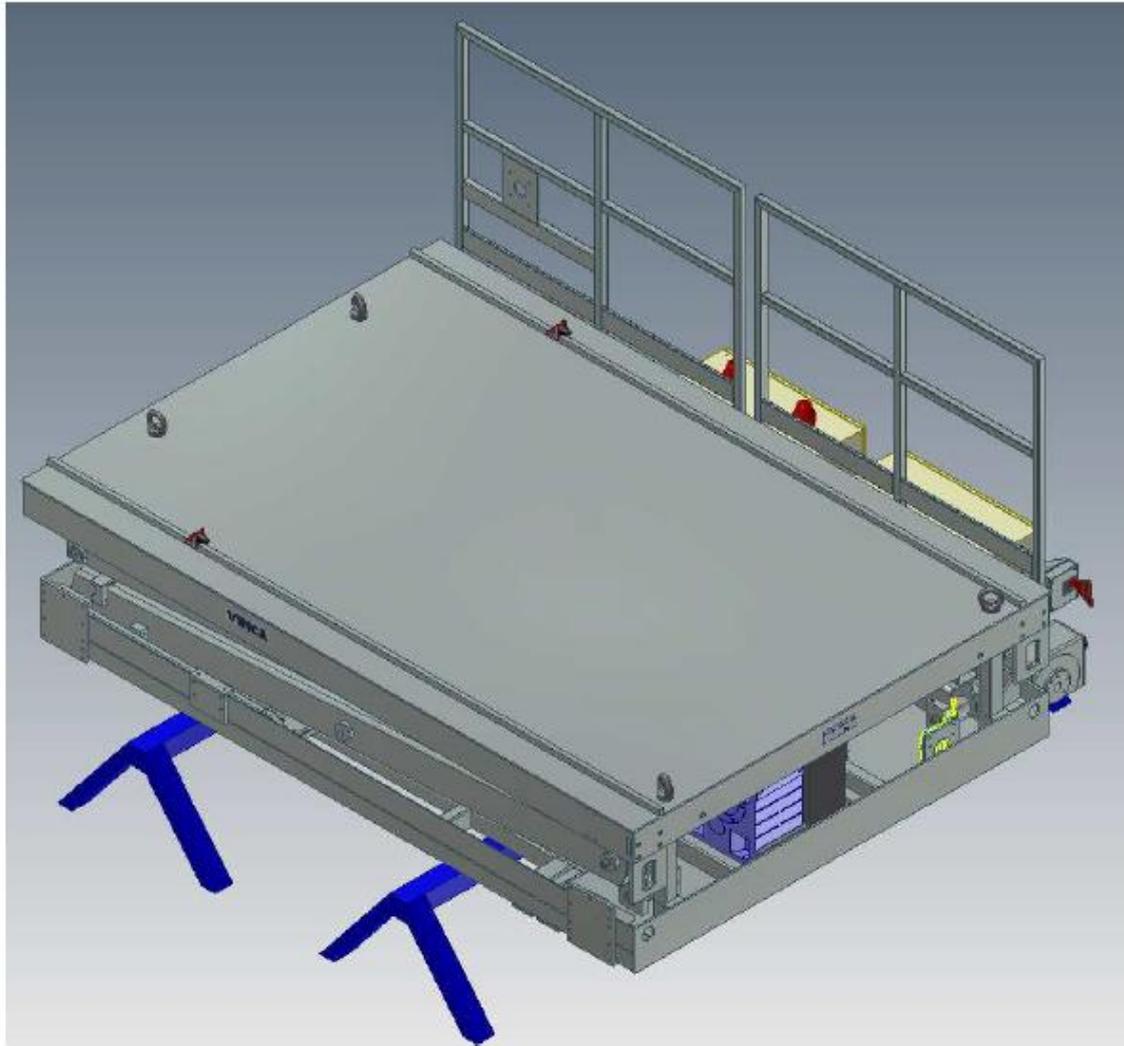


Figura 95-Plataforma Tijera, montaje 2

- Con la ayuda del puente grúa posicionar los 2 grupo de ruedas con sus correspondientes moto reductores. Montar los grupos de ruedas apretando los tornillos de unión entre el chasis de la máquina e el grupo de rueda. Existen dos centradores en la placa de unión para facilitar el montaje-desmontaje.

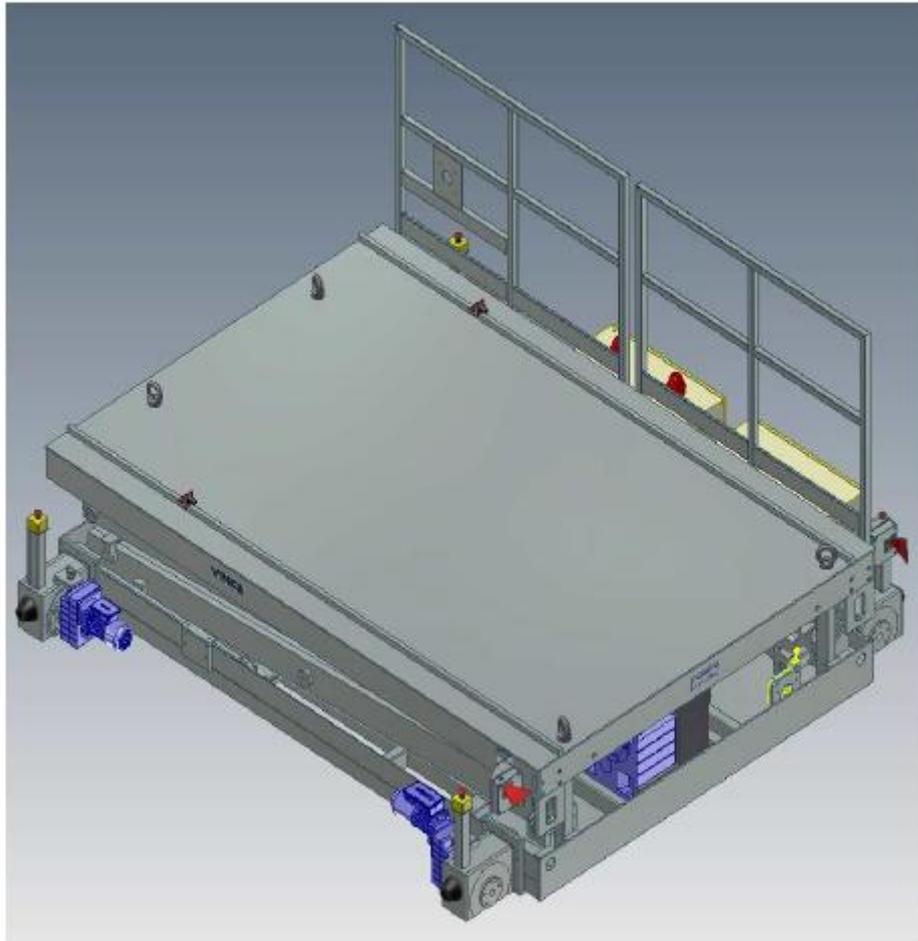


Figura 96-Plataforma Tijera, montaje 3

Pares de torsión recomendados para los tornillos y tuercas de unión viga grupo ruedas-chasis y uniones atornilladas en general:

Tabla 25-Pares de Torsión recomendados para tornillos

TAMAÑO	PAR TORSIÓN [Nm]	
	CALIDAD 8.8	CALIDAD 10.9
M10	45	66
M12	77	115
M14	125	180
M16	190	280
M18	275	390
M20	385	550
M22	530	750
M24	660	950
M27	980	1400
M30	1350	1900

- Montar las 2 barandillas del lado izquierdo y el soporte del lector de código de barras del mismo lado.
- Utilizando el puente grúa elevar la máquina y trasladarla a la zona de los carriles, situar la plataforma elevadora por encima del cuadradillo. Una vez en la vertical de este se bajará la mesa con sumo cuidado para depositar la rueda sobre el cuadradillo.

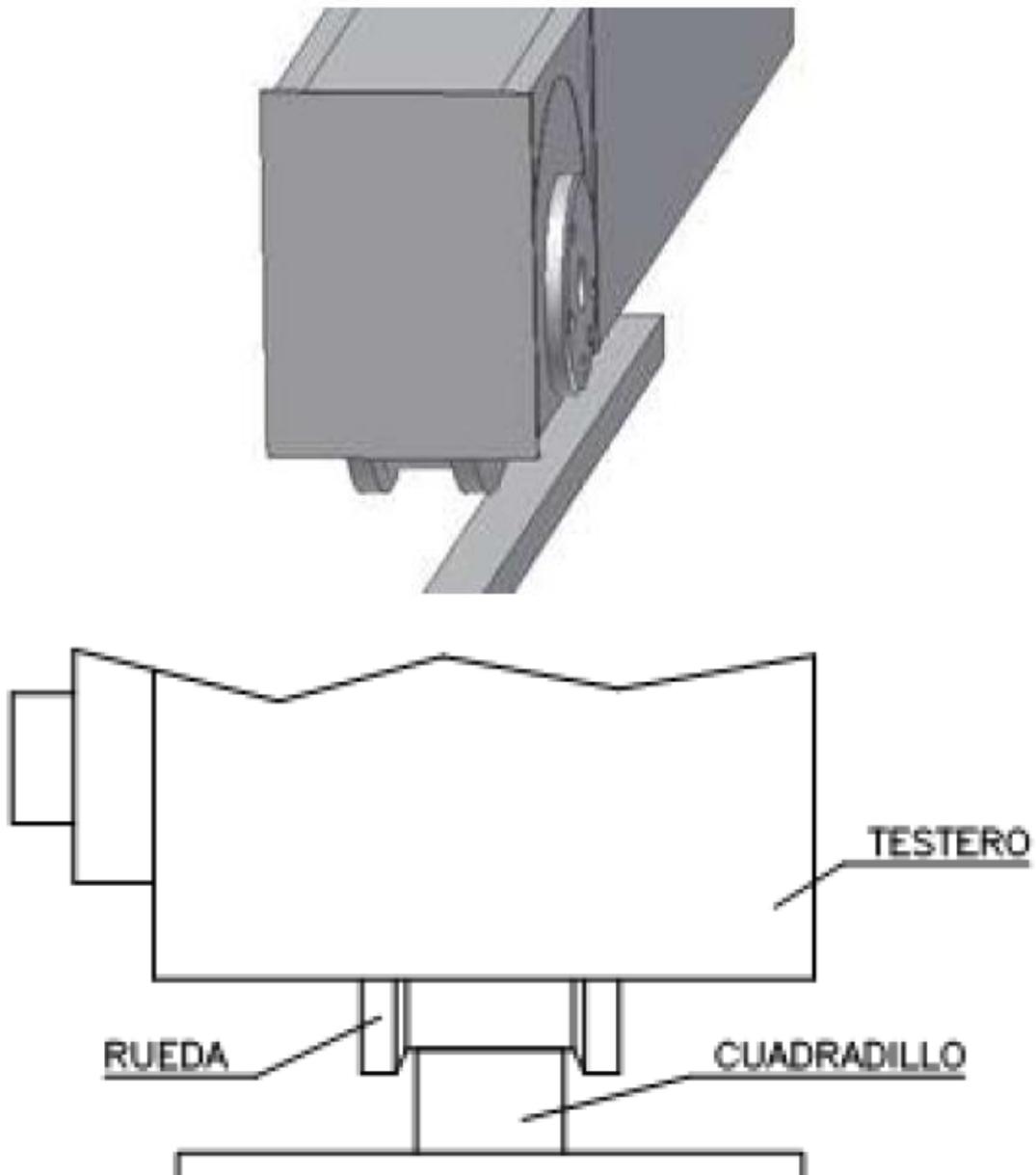


Figura 97-Detalle colocación ruedas Plataforma Tijera

- Retirar el puente grúa y a continuación retirar los 4 cáncamos de elevación M30.

Asegurarse de que los cáncamos son retirados de la máquina, con el fin de evitar la puesta en funcionamiento de la máquina encontrándose solidariamente unidas la base, tijeras y plataforma superior.

- Montar los finales de carrera de traslación
- A continuación, proceder al montaje de los topes físicos de los raíles, el soporte del hilo del encoder y los soportes de los finales de carrera de traslación. Todos los soportes se deben situar según el siguiente plano.
- Colocar la cadena porta cables en su posición en el chasis y fijar la misma en el suelo mediante tacos Fischer respetando las cotas indicadas en el plano anterior.
- Instalar la bandeja fijando la misma al suelo a través de los soportes mediante los tacos metálicos suministrados.
- Montar la anilla del encoder de traslación (eje x).
- Verificar que no haya interferencias entre la mesa elevadores y los soportes y entre la bandeja o la cadena porta cables y el encoder de traslación.
- La plataforma elevadora se suministra con un cable eléctrico con longitud suficiente para llegar a la ubicación del cuadro eléctrico.
- Al realizar el conexionado eléctrico asegurarse de que los cables eléctricos no quedan atrapados en ningún punto por la propia plataforma.

#### **CONEXIONADO DE LA PLATAFORMA ELEVADORA**

Se admite una variación de un  $\pm 5\%$  respecto de la tensión nominal especificada (220V. ó 380V.)

La toma de tierra, para la protección de la plataforma, no deberá ser conductora de corriente.

Para la puesta en marcha de la plataforma elevadora proceder como sigue:

1. Verificar que están montados los topes físicos y los soportes de accionamiento de los finales de carrera de traslación y asegurarse de que la anilla del encoder del eje X (traslación) está correctamente fijada al soporte de la misma.
2. Verificar que no haya interferencias entre la mesa elevadores y los soportes y entre la bandeja o la cadena porta cables y el encoder de traslación.
3. Verificar que las 4 anillas de amarre para la carga-descarga están retirados.

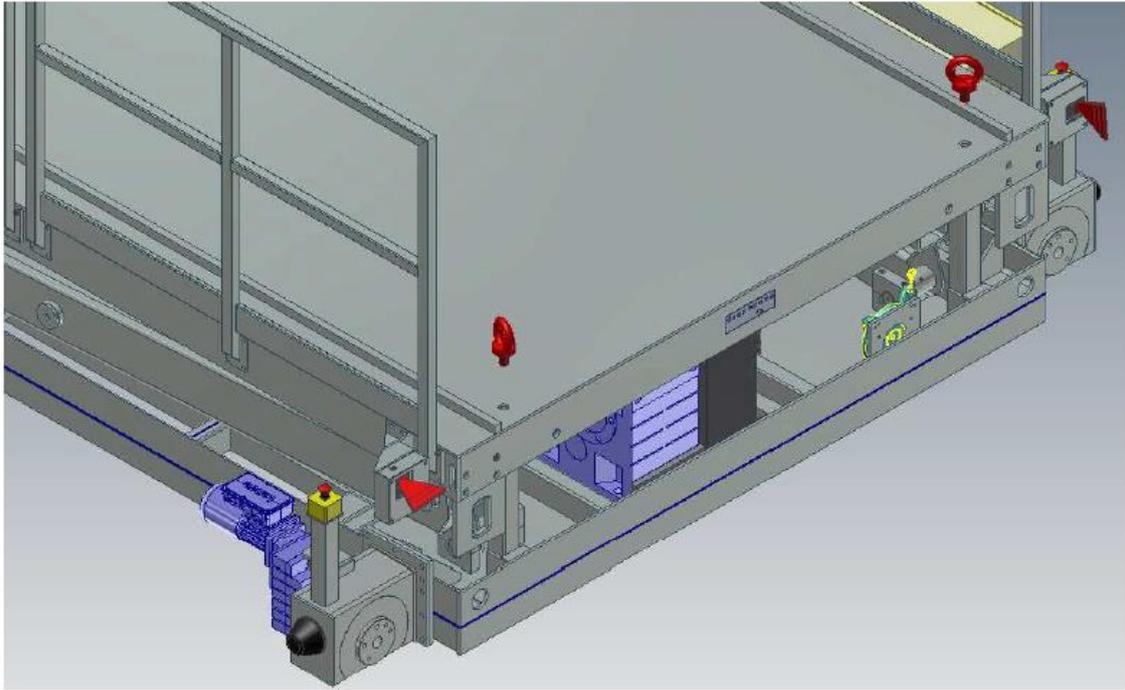


Figura 98-Plataforma Tijera, montaje 4

Asegurarse de que los cáncamos son retirados de la máquina, con el fin de evitar la puesta en funcionamiento de la máquina encontrándose solidariamente unidas la base, tijeras y plataforma superior.

4. Realizar las conexiones del cableado según el esquema de conexiones facilitado por Vinca.
5. Con el armario abierto, dar tensión al equipo, comprobando todos los magnetos térmicos y accionar el interruptor de alimentación, dispuesto en el cuadro de maniobra principal de la plataforma elevadora.
6. Liberar todas las setas de paro de emergencia y rearmar la plataforma desde "system ready".



Figura 99-Plataforma Tijera System Ready

7. Montar la botonera hombre presente mediante su conector correspondiente.



Figura 100-Plataforma Tijera, botonera

8. Desde el interior del armario, girar y mantener la llave a la posición UP-DOWN.



Figura 101-Plataforma tijera, llave posicionado

9. Mientras mantenemos el selector en UP DOWN, accionamos el pulsador de UP en la botonera de "hombre presente".



Figura 102-Plataforma tijera, botonera hombre presente

10. Elevar la plataforma unos 100mm aproximadamente para que salga de la zona de límites de carrera.
11. Una vez que la plataforma haya sido liberada de la zona de apoyo, quitamos tensión del armario mediante la varilla del seccionador y procedemos a cerrar el aramio y dar nuevamente tensión.
12. A partir de este momento la máquina queda preparada para su ajuste y puesta en marcha final.
13. Elevar la maquina hasta una altura de unos 2000 mm aproximadamente, colocar la barra de seguridad y proceder al montaje del bloqueador de seguridad del lado izquierdo.

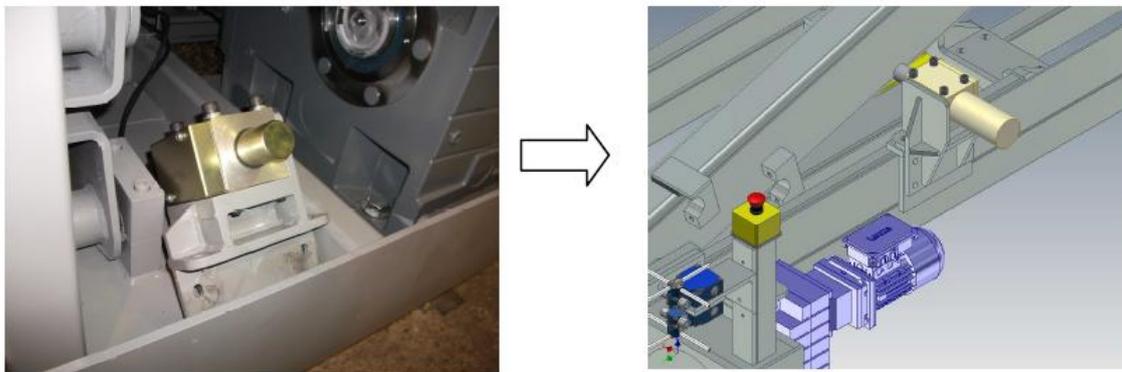


Figura 103-Plataforma de tijera, bloqueador de seguridad

14. Retirar las barras de seguridad y situar las mismas en su posición normal.

### 4.3 Adaptación

Para poder llevar a cabo la nueva función de intercambio de cabinas en un Simulador de Vuelo de Helicóptero es necesario llevar a cabo una serie de modificaciones con respecto a simuladores de vuelo anteriores. Para el diseño de este simulador se adoptan elementos de simuladores anteriores. Estos elementos son: Domo, Faseframe, estructura de la Sala de Entrenamiento y Spacer. Debido a que se adoptan elementos es necesario realizar las modificaciones explicadas a continuación.

#### SUELO SALA DE ENTRENAMIENTO

A diferencia de simuladores anteriores, en este se extrae un conjunto formado por Cabina, Plataforma de Movimiento y Carro. En la figura 101 se observa como existe una diferencia de en altura entre el suelo de la Sala de Entrenamiento y el carril sobre el que rueda el carro.

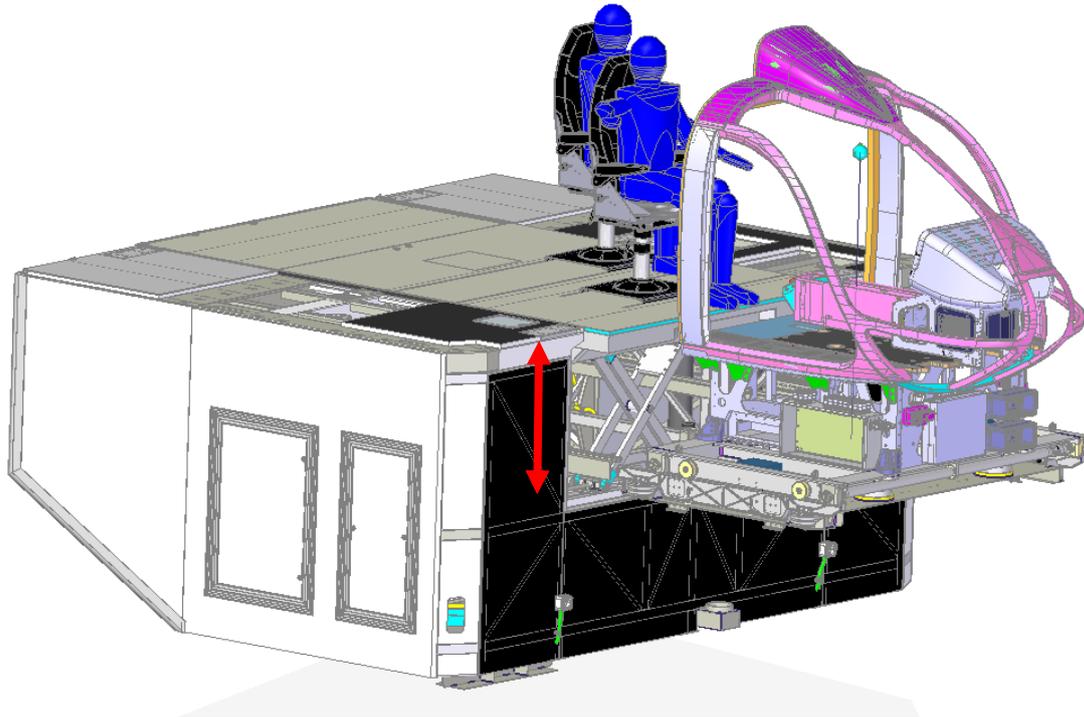


Figura 104-Suelo Sala Entrenamiento

Para poder extraer el conjunto formado por Cabina, Plataforma de Movimiento y Carro será necesario descender el suelo de la Sala de Entrenamiento y salvar la distancia mostrada en la figura anterior.

El suelo de la Sala de Entrenamiento se encuentra en línea con el suelo de la cabina, por lo que la distancia a salvar por el suelo son 601 mm.

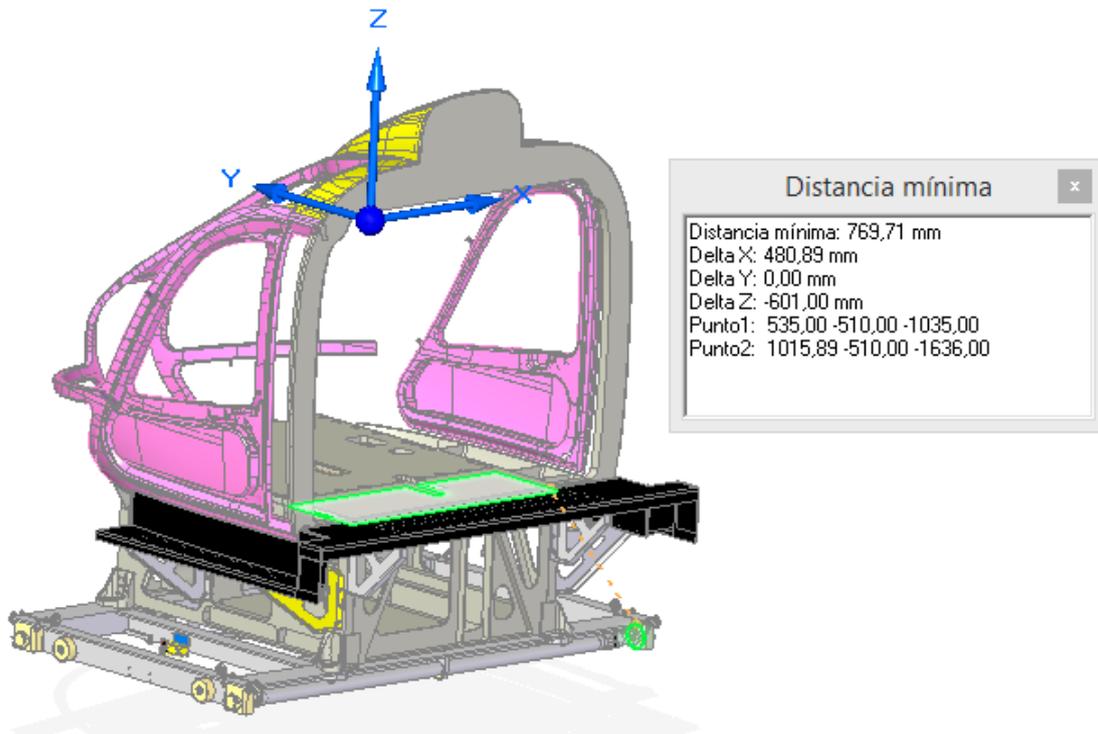


Figura 105-Distancia Bajada Suelo Sala Entrenamiento

Para dar solución al movimiento vertical del suelo se decide incluir un sistema neumático basado en actuadores para realizar las siguientes funciones:

- Subida/Baja del suelo de la Sala de Entrenamiento
- Anclaje del suelo de la Sala de Entrenamiento en su posición ideal (paso de tripulación)

El sistema neumático será estudiado a detalle más adelante, no obstante ahora se presentan los distintos elementos que forman el sistema de Subida/Bajada del suelo de la Sala de Entrenamiento.

Para la subida/bajada del suelo se emplea un actuador neumático de la empresa Festo [24]. Tras consultar con el fabricante se elige el siguiente actuador:

Tabla 26-Cilindro Doble Efecto Festo

TIPO	FUNCIÓN	DIÁMETRO [mm] FUERZA [N]	CARRERA [mm]	AMORTIGUACIÓN			DETECCIÓN	NOMRA CARACT.
				PPS	P	PPV		
<b>Cilindro normalizado DNC</b> 	De doble efecto	32 ... 125 483 ... 7.363	10 ... 2.000	-	0	+	0	ISO 15552 Amplia gama de variantes Ranura perfilada en tres lados Ningún

								detector de proximidad sobresale Amplia gama de accesorios Cilindro normalizado DNC en el catálogo
--	--	--	--	--	--	--	--	---

Dentro de la serie DNC de actuadores de Festo se elije el siguiente:

Tabla 27-Actuador DNC 125

Nº Ref	Ref1	Modo Funcionamiento	Diam. Émbolo	F. Teórica	Carrera	Amortiguación
163494	DNC-125	Doble efecto	125 mm	6881-7363 N	3-2000 mm	P: Amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados. PPV: Amortiguación neumática regulable a ambos lados.

Dicho actuador (2 en la Figura 106) va atornillado con cuatro tornillos de M12 (3 en la Figura 106) a la estructura inferior que soporta todo el simulador y al inferior del suelo de la sala de entrenamiento por medio de un tornillo co-lineal con el actuador de métrica 27 (4 en la Figura 106).

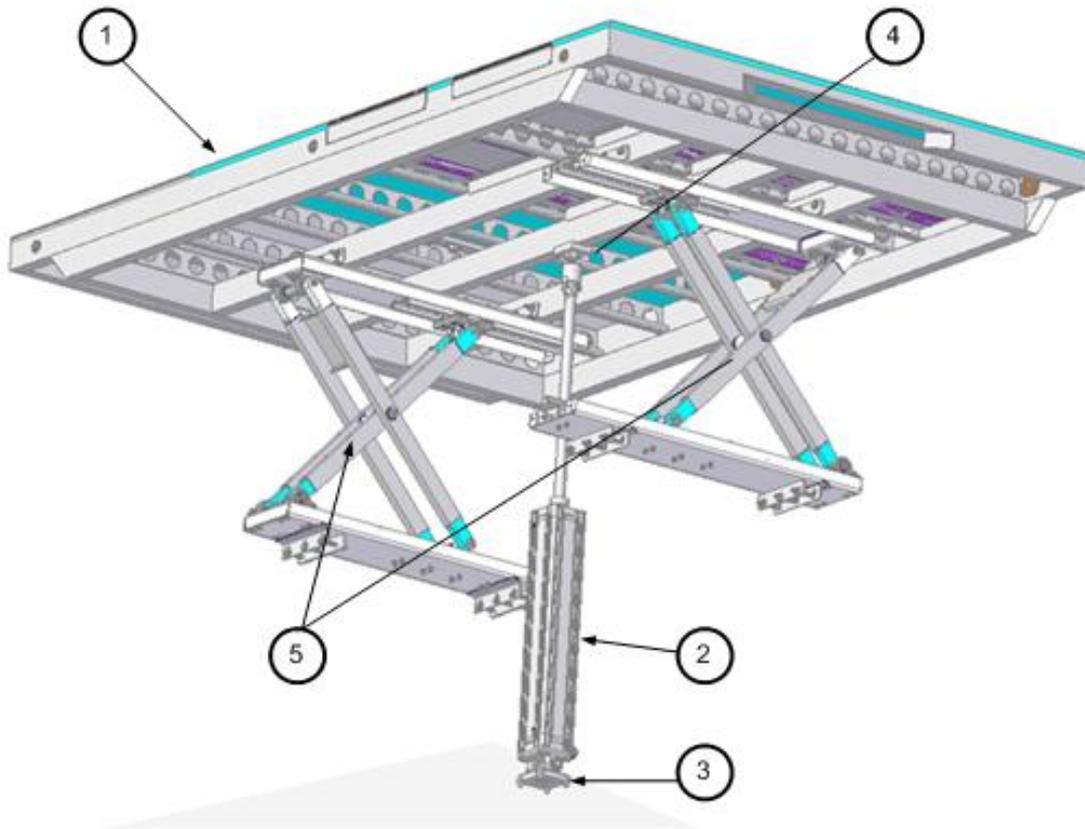


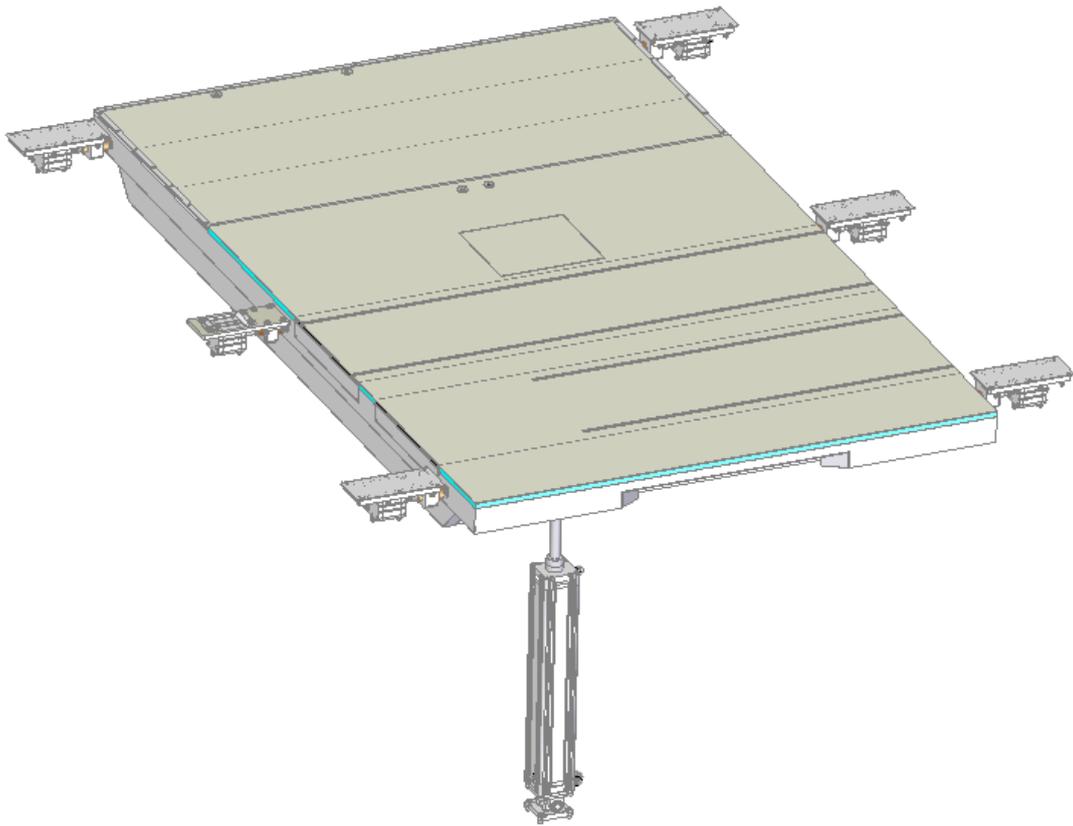
Figura 106-Sistema Subida/Bajada suelo Sala Entrenamiento

Puesto que solo se emplea un actuador para subir el suelo, se colocan dos mesas articuladas no motorizadas (5 en la Figura 106) que sirven como guías para evitar que el suelo se balancee durante los movimientos de ascenso y descenso.

Dichas mesas irán respectivamente atornilladas a Estructura inferior del simulador (baseframe) y al interior del suelo de la Sala de entrenamiento.

Se podrá acceder a los mecanismos para labores de mantenimiento desde la Sala de Entrenamiento, por una escotilla.

Una vez el actuador haya llevado al suelo a su posición idónea, seis actuadores neumáticos, repartidos tres a tres por los laterales del suelo asegurarán que el suelo quede perfectamente rígido y sin balanceos para el paso de la tripulación.



**Figura 107-Posición actuadores laterales Suelo Sala Entrenamiento**

En la figura anterior se observa tanto la escotilla de mantenimiento anteriormente mencionada, en el centro del suelo, como los seis actuadores repartidos en los laterales del suelo.

Los actuadores laterales van atornillados a la estructura de de la Bodega o Spacer mediante 8 tornillos.

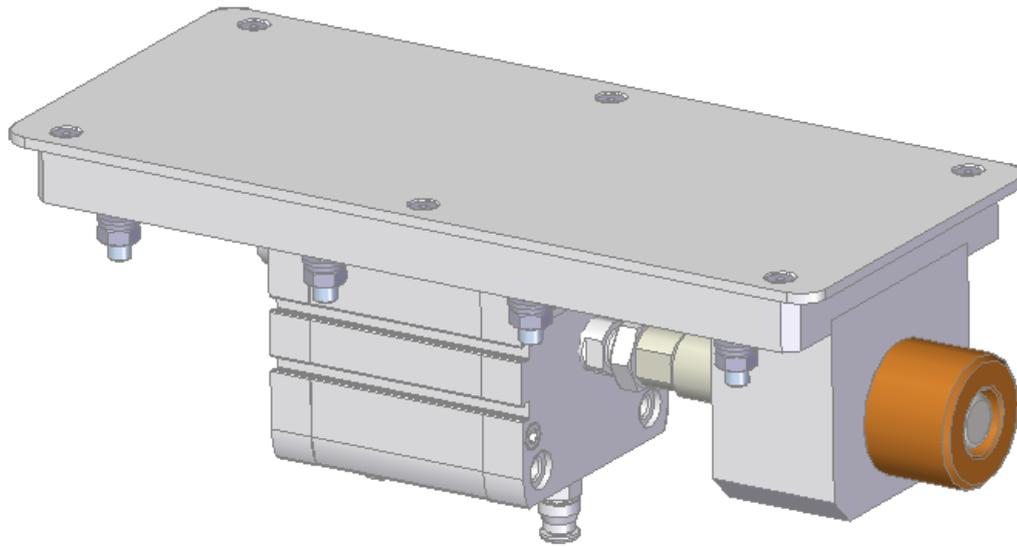


Figura 108-ctuator Lateral suelo Sala Entrenamiento

Una vez se puede retirar el suelo, se cablean los sistemas neumáticos y se puede automatizar los sistemas de:

- Subida/Bajada suelo
- Anclaje suelo

Con el suelo en posición baja se colocan dos perfiles en forma de "L" soldados a la estructura de la Bodega/Spacer de tal forma que sirvan como soporte para los carriles del carro.

En la siguiente figura se observa el suelo retirado, los actuadores laterales retirados (1 en la figura 109) y así se puede ver el carril del carro (2 en la figura 109) y los cableados (3 en la figura 109) de los sistemas. Todo esto realizado en Solid Edge.

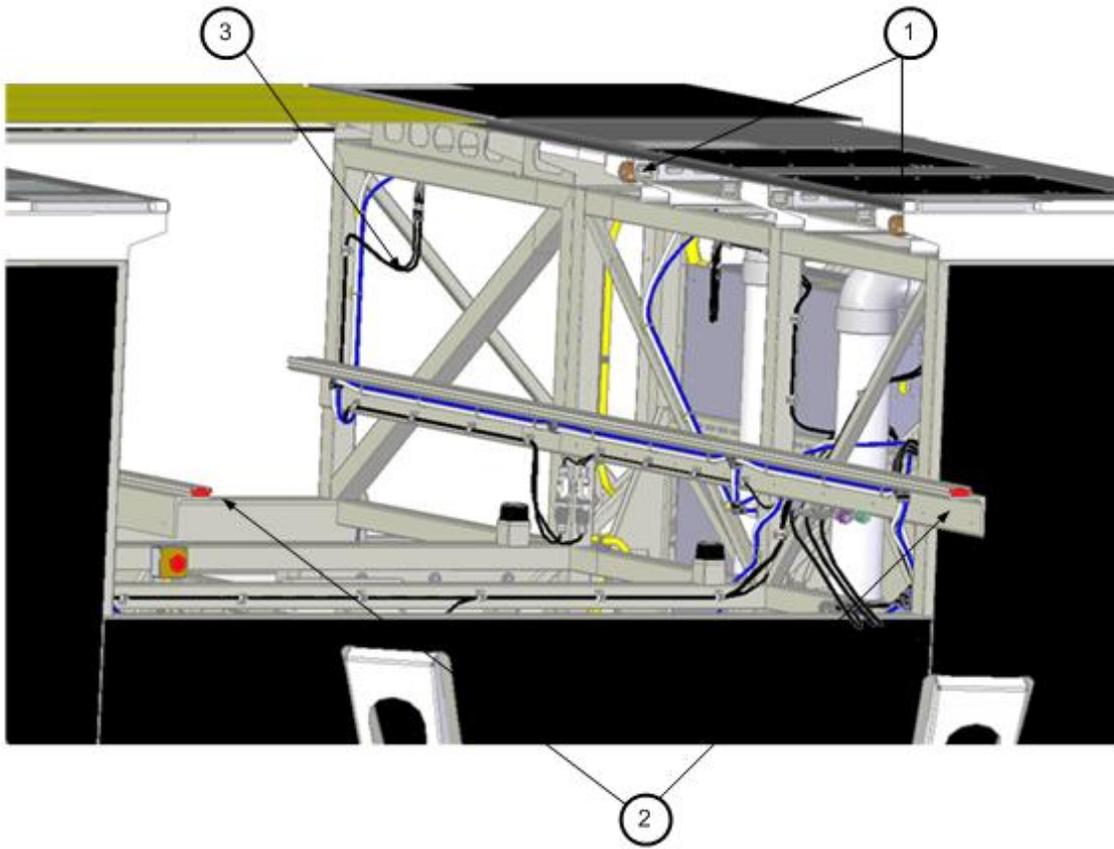


Figura 109-Suelo Sala Entrenamiento Abajo

El hueco libre que deja el suelo, visto desde la cabina en su posición de vuelo será:

+

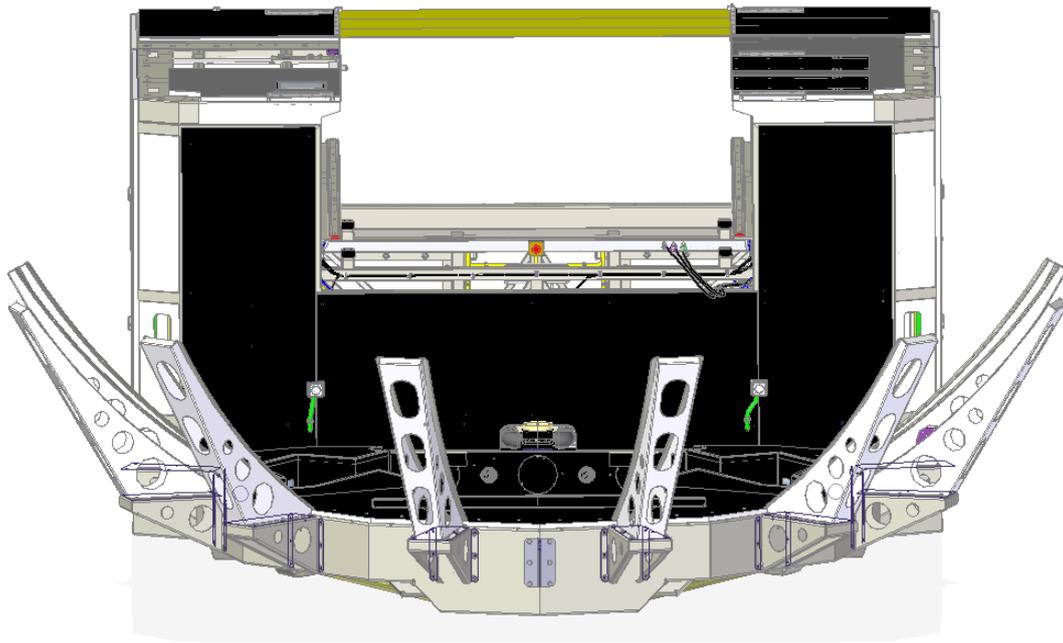


Figura 110-Hueco Suelo Sala Entrenamiento

Con el suelo de la Sala de Entrenamiento en su posición más baja es factible realizar el desplazamiento hacia atrás de conjunto carro y cabina para llegar a la Plataforma de Acceso.

En el frontal del simulador, parte de acceso de la tripulación, se puede ver una pantalla de fibra de vidrio que forma parte del embellecedor blanco que rodea el simulador. Dicha pantalla también debe bajarse para permitir que el carro salga. La pantalla irá atornillada al suelo de la Sala de Entrenamiento y descenderá con este por medio de carriles.

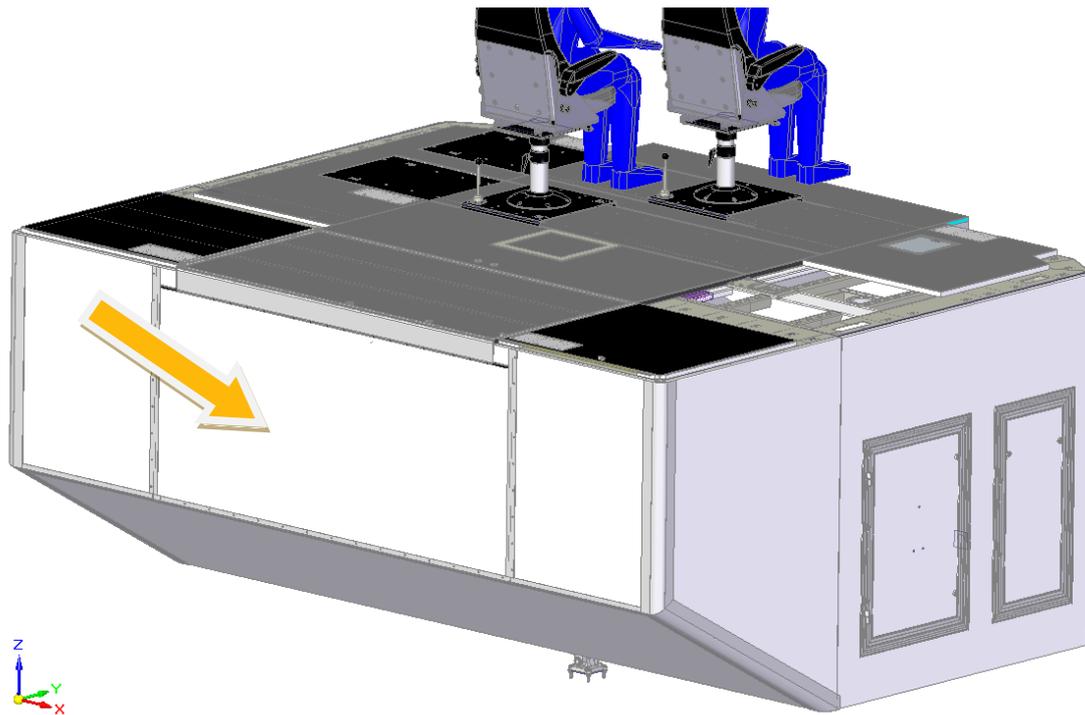


Figura 111-Pantalla frontal Suelo Sala Entrenamiento

Más adelante se explicará la retirada de los asientos de instructor y acompañante.

Ambos sistemas en conjunto se muestran a continuación:

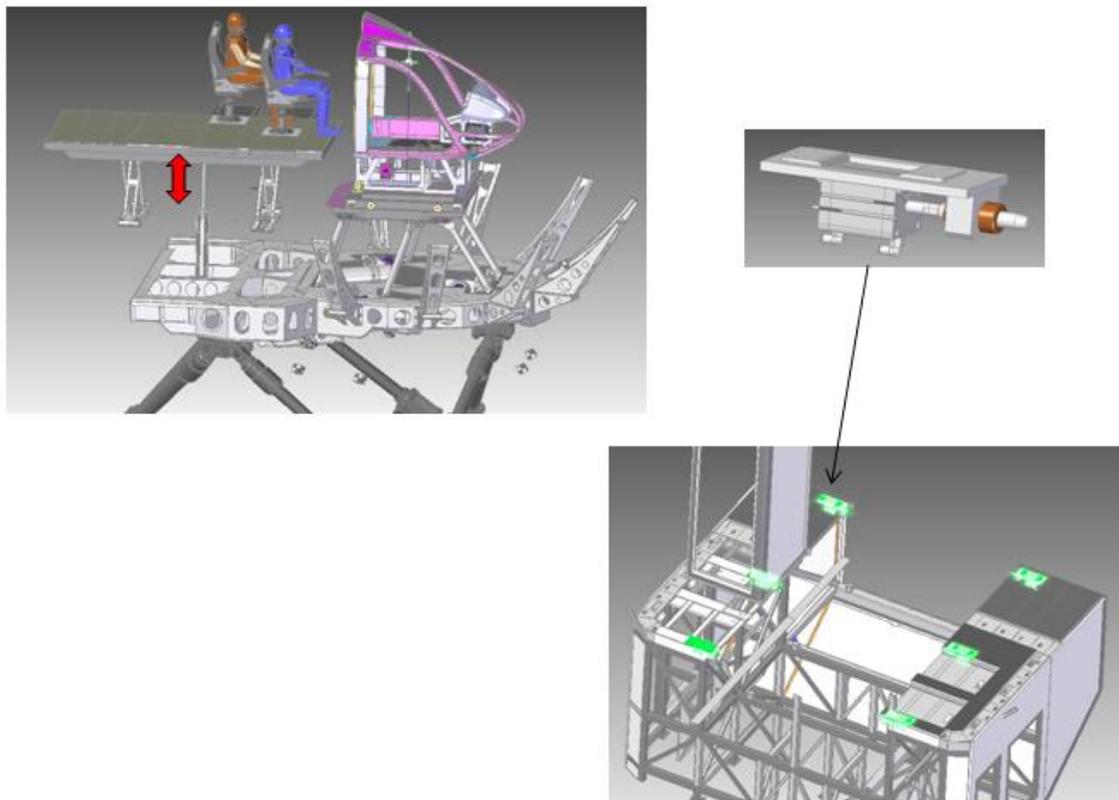


Figura 112-Sistemas Subida/Bajada suelo

#### **INTERFACE PLATAFORMA VIBRACIÓN-CONJUNTO CARRO, CABINA, P.MOVIMIENTO**

Tal como se vio en el punto 4.1.1 Criterio Cálculo Diseño Carro, el carro que mueve el conjunto Cabina y Plataforma de Movimiento se ancla a la Plataforma de Vibración por medio del sistema de tetones macho-hembra de la empresa Hilma, en concreto los mecanismos k40 que se muestran en las figuras 35-45.

Para realizar dicho ensamblaje es necesario posicionar el carro sobre los mecanismos k40, de tal forma que los émbolos queden alineados con los k40. Una vez alineados, el conjunto deberá descender para realizar el ensamblaje. Dicha aproximación vertical para realizar el ensamblaje se muestra en la secuencia de imágenes de la figura 39.

Para realizar dicha aproximación, los carriles montados sobre la Plataforma de Vibración serán móviles, con movimiento vertical. Dicho movimiento vertical de los carriles es llevado a cabo por medio de dispositivos neumáticos denominados "Air Springs". Se trata de bolsas de aire que por medio de una fuerza neumática constante son capaces de elevar cuerpos en movimiento vertical.

Weforma, fabricante de dichos dispositivos, cuenta con gran variedad de tamaños de acuerdo a las fuerzas verticales necesarias.

Los dispositivos tienen la siguiente forma [25]:



Figura 113-Weforma, Air Spring

Se observa en la figura anterior que se trata de una bolsa de aire de goma con dos superficies rígidas arriba y abajo. Una superficie irá atornillada a superficie rígida y la otra a móvil.

Dado que la carga vertical debido al peso que deben elevar estos sistemas es de aproximadamente 20000 N, es decir, 20 KN se elige la gama 200 de la siguiente tabla.

Tabla 28-Weforma Air Springs Anexo C

	Altura	Carga (KN)			Altura	Carga (KN)			Altura	Carga (KN)		
	mm	2bar	4bar	6bar	Mm	2bar	4bar	6bar	mm	2bar	4bar	6bar
WBZ100	80	1.8	3.5	5.4	120	1.4	2.7	4.1	140	1.1	2.2	3.3
WBZ200	80	2.8	5.7	8.5	140	1.9	3.9	5.8	180	1.1	2.3	3.5
WBZ250	80	4.1	8.1	12.2	140	3.0	6.0	9.0	180	2.1	4.1	6.3

La tabla completa del fabricante se encuentra en el Anexo C.

Se seleccionan los modelos WBZ200, para que trabajen a 6bar y desarrollar una fuerza total de 8.5 KN. Dado que la el recorrido a mover es la que sobresale el émbolo del carro, con una carrera de 80 mm damos solución al problema. En la siguiente figura se puede ver la forma y dimensiones de los sistemas WBZ200, así como un diagrama que relaciona el volumen de aire, con la fuerza y la altura desarrollada por los sistemas.

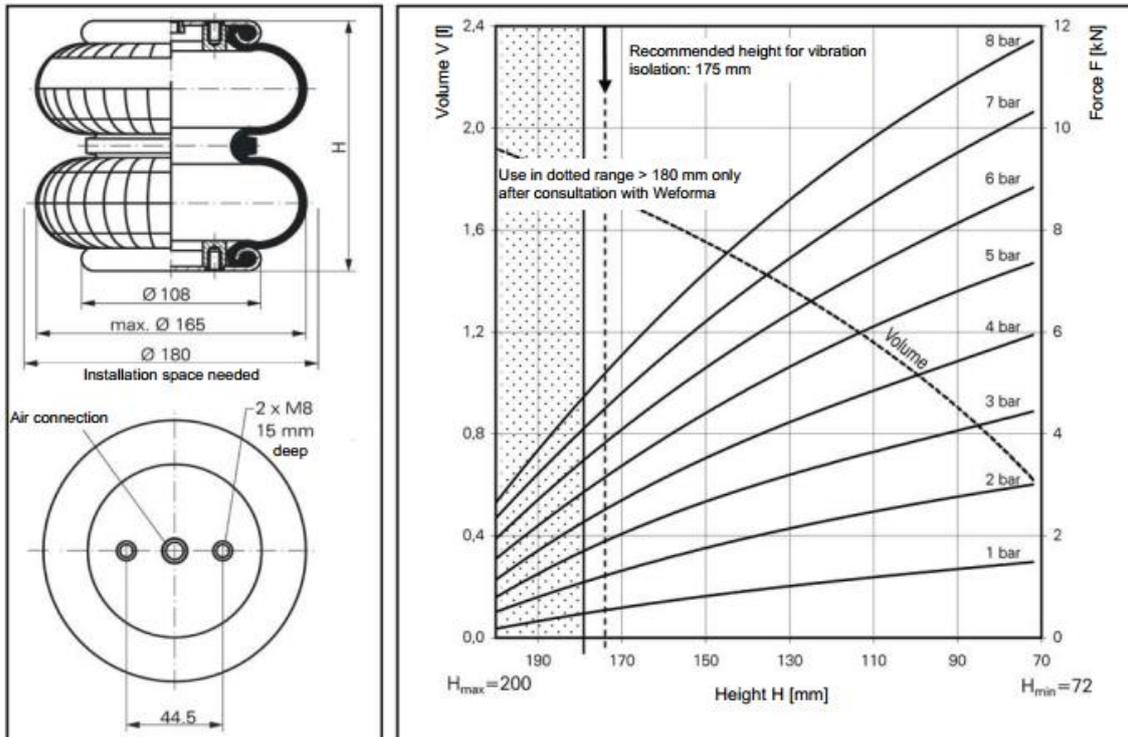


Figura 114-Diagrama WBZ200 [25]

Se colocan 4 sistemas, uno en cada esquina del carro, por debajo de los carriles de la Plataforma de Vibración, para que la elevación se produzca de manera estable en todas las partes del carro. Los carriles suben/bajan asegurando el ensamblaje de los sistemas k40.

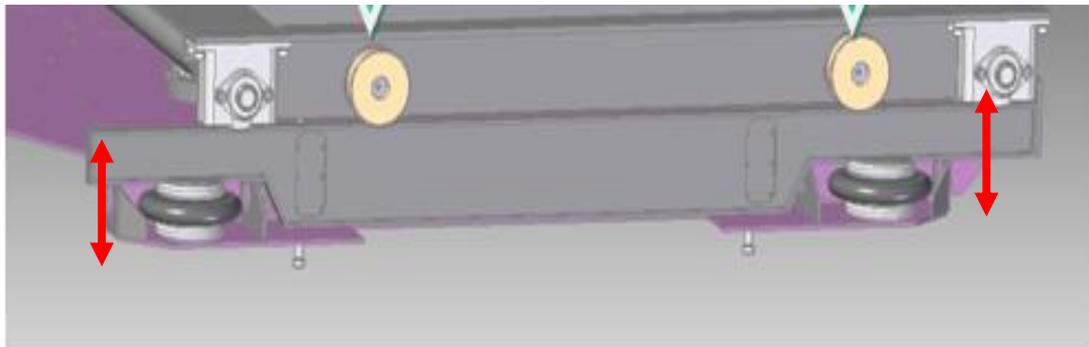


Figura 115-Movimiento Air Springs

Para asegurar que los carriles realizan un movimiento alineado, se colocan cuatro guías, dos en cada carril, de tal forma que se asegure que la elevación del carril se produce en paralelo.

Dichas guías además aportan rigidez al carril y reparten el peso debido al conjunto Carro, Cabina y Plataforma de Movimiento en dos puntos más aparte de los debidos a los dos Air Spring por carril.

Las guías están formadas por dos partes, una irá soldada al carril y la otra a la Plataforma de Vibración. Un eje desliza dentro de una superficie circular.

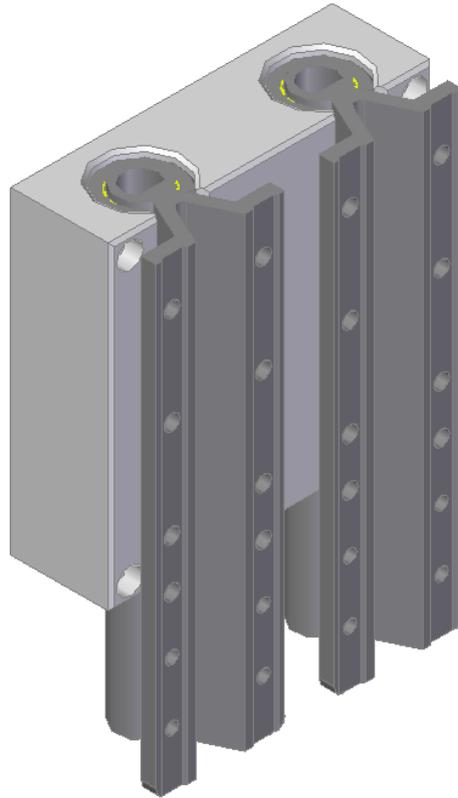


Figura 116-Guías Carriles Plataforma Vibración

Los despieces de los conjuntos anteriormente mencionados se encuentran en los Anexos F, H, I.

Realizando un estudio en Solid Edge se obtienen los siguientes valores de acuerdo a resultados aportados por el apartado Simulación:

Tabla 29-Pieza Carril Reforzado

Nombre Pieza	Material
Carril_reforzado.par	Acero inoxidable

Tabla 30-Propiedades Carril Reforzado

Propiedad	Valor
Densidad	7750,000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,000016 /C
Conductividad térmica	0,017 kW/m-C
Calor específico	502,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	193053,196 MPa
Coefficiente de Poisson	0,290

Límite elástico	310,264 MPa
Tensión de rotura	641,212 MPa

Tabla 31-Cargas Carril Reforzado

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga	Opción de dirección de carga
Fuerza 1	Fuerza	Fx: 0 N, Fy: -2,5e+003 N, Fz: 1 N		Componentes	Fuerza 1
Fuerza 2	Fuerza	Fx: 0 N, Fy: -2,5e+003 N, Fz: 1 N		Componentes	Fuerza 2

Tabla 32-Mallado Carril Reforzado

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	169.740
Número total de nodos	287.154
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	3

- **DESPLAZAMIENTOS**

Tabla 33-Desplazamientos Carril Reforzado

Componente de resultados: Traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-589,167 mm	2,500 mm	-5,000 mm
Máxima	0,0147 mm	-468,442 mm	61,000 mm	-4,500 mm

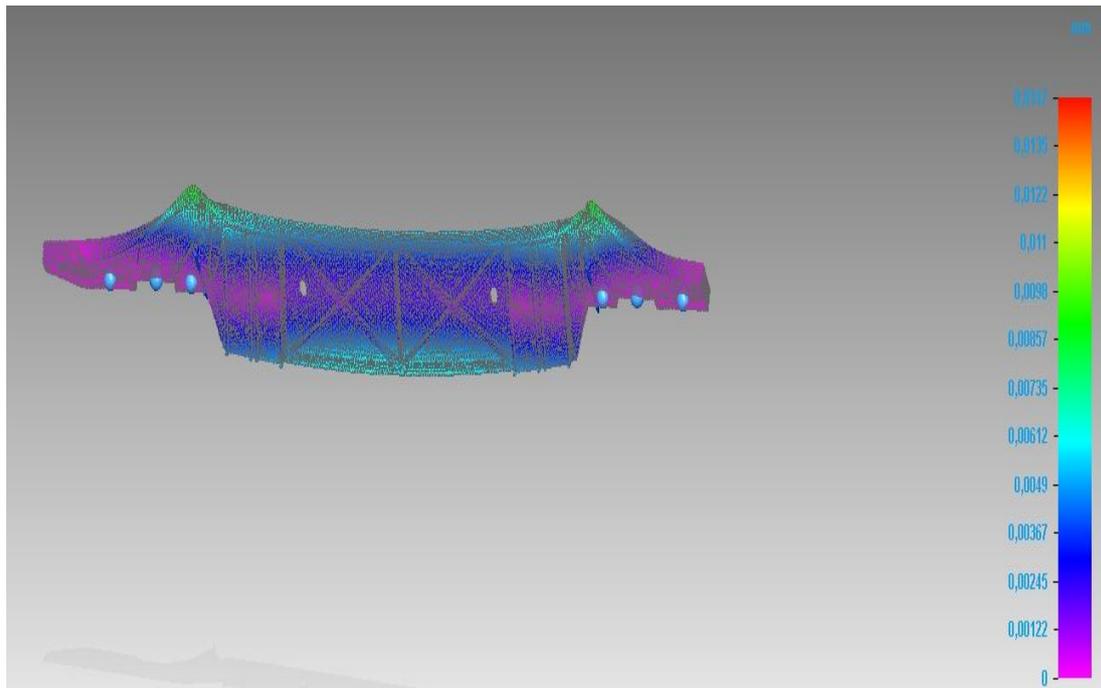
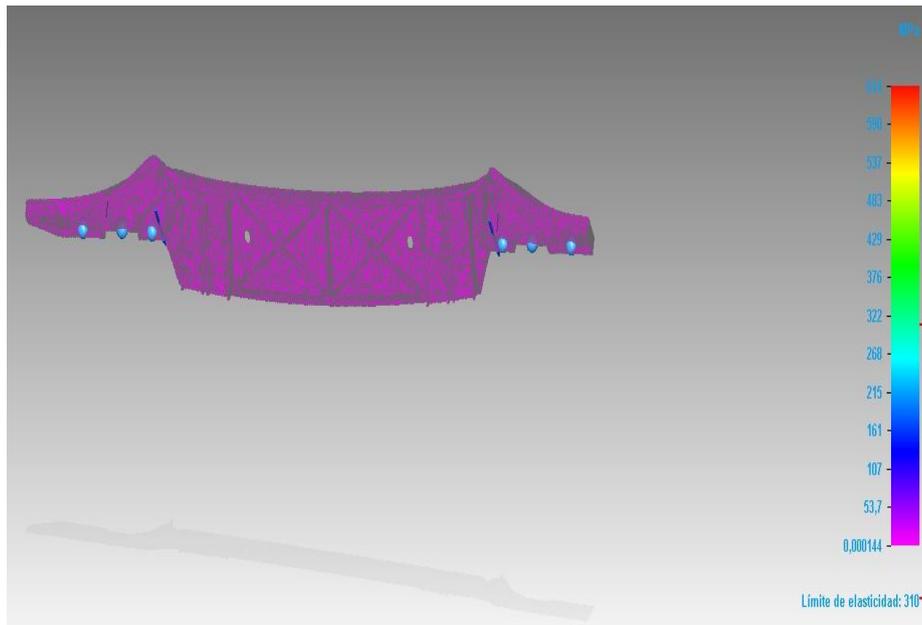


Figura 117-Resultados Desplazamientos Carril Reforzado

- TENSIÓN

Tabla 34-Resultados Tensión Carril Reforzado

Componente de resultados: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,000144 MPa	-704,090 mm	2,000 mm	15,000 mm
Máxima	644 MPa	-468,442 mm	61,000 mm	-4,500 mm



**Figura 118-Resultados Tensión Carril Reforzado**

Las imágenes de los resultados se encuentran a una escala mayor para poder apreciar los resultados con claridad.

Como se puede observar en los resultados de los cálculos de tensión y desplazamiento, los puntos afectados, en cuanto a tensión, se reparten a lo largo de todo el carril, dado que los cuatro puntos restrictivos aportan gran rigidez al carril.

El desplazamiento máximo que sufre son 0.0147 mm, luego despreciable.

Se deberá colocar una chapa plegada sobre la Plataforma de Vibración donde residan los elementos k40, carriles, guías y air spring por los siguientes motivos:

1. Espacio reducido disponible para mantener la cabina en posición POP o Punto Ojo Piloto.
2. EL conjunto carril y ruedas/rodillos del carro queda por fuerza de la superficie disponible de la Plataforma de Vibración.

La chapa plegada junto con los elementos mencionados se puede ver en la siguiente imagen:

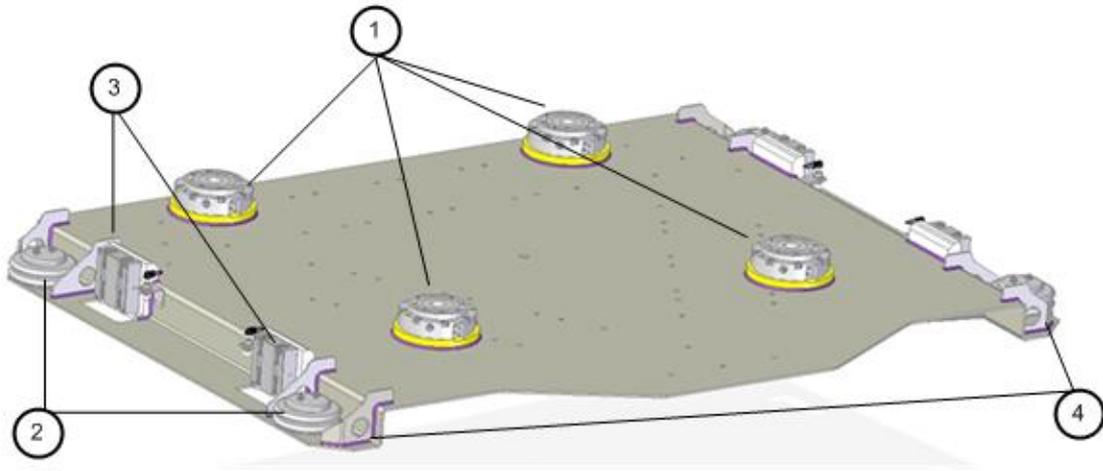


Figura 119-Chapa Plataforma Vibración

Se observan los siguientes elementos:

1. K40
2. Air Spring
3. Guías
4. Refuerzos

Los sistemas k40 van soldados a platos metálicos (en amarillo) y estos a la chapa que irá atornillada a la Plataforma de Vibración.

Se observa que la chapa tiene dos pliegues laterales a modo de orejetas, sobre estas se colocan los Air Spring, por lo que la fuerza de estos se pasa a la superficie plana de las orejetas. Sobre los Air Spring van colocados los carriles, que en la figura anterior no están mostrados.

La chapa tiene cuatro cortes rectangulares que coinciden con las guías de los carriles para movimiento vertical.

Dado que esta chapa soporta las cargas verticales debidas a carriles, carro, plataforma de movimiento y cabina es necesario realizar un estudio estático de la chapa empleando la aplicación Simulación de Solid Edge.

La chapa irá perfectamente fijada a la plataforma de vibración por medio de 51 tornillos M8.

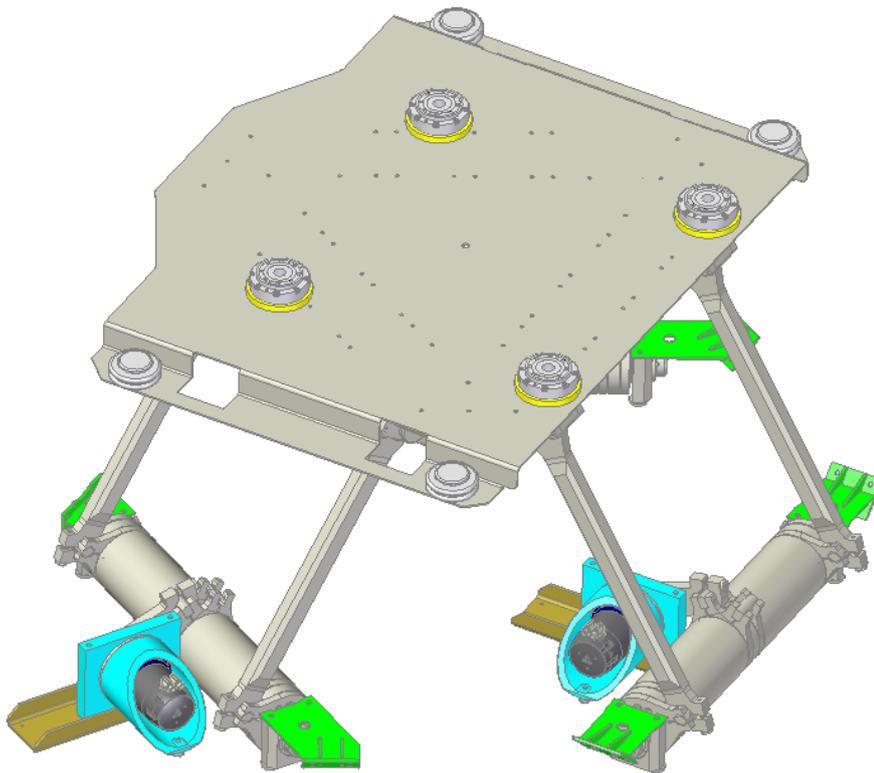


Figura 120-Chapa sobre Plataforma de Vibración

Un primer estudio sin refuerzos se realiza en Solid Edge para comprobar que efectivamente son necesarios los refuerzos mencionados en la figura anterior. Los resultados de dicho estudio se muestran a continuación:

Tabla 35-Pieza Chapa\_sin\_refuerzos

Nombre Pieza	Material
Base System floor cockpit.par	Aluminio, 1060

Tabla 36-Propiedades Chapa sin refuerzos

Propiedad	Valor
Densidad	2712,000 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,000023 /C
Conductividad térmica	0,221 kW/m-C
Calor específico	920,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	68947,570 MPa
Coefficiente de Poisson	0,330
Límite elástico	27,579 MPa

Tensión de rotura	68,948 MPa
-------------------	------------

Tabla 37-Cargas Chapa sin refuerzos

Nombre de carga	Tipo de carga	Valor de carga	Distribución de carga	Dirección de carga
Fuerza 1	Fuerza	4,9e+003 N	A lo largo del vector	( 0,00, 0,00, -1,00 )
Fuerza 2	Fuerza	4,9e+003 N	A lo largo del vector	( 0,00, 0,00, -1,00 )
Fuerza 3	Fuerza	4,9e+003 N	A lo largo del vector	( 0,00, 0,00, -1,00 )
Fuerza 4	Fuerza	4,9e+003 N	A lo largo del vector	( 0,00, 0,00, -1,00 )

Tabla 38-Mallado Chapa sin refuerzos

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	1
Número total de elementos	265.404
Número total de nodos	534.043
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	3

- **DESPLAZAMIENTOS**

Tabla 39-Desplazamientos Chapa sin refuerzos

Componente de resultados: Traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-913,104 mm	-573,484 mm	-1786,000 mm
Máxima	21,7 mm	-1089,390 mm	737,844 mm	-1878,000 mm

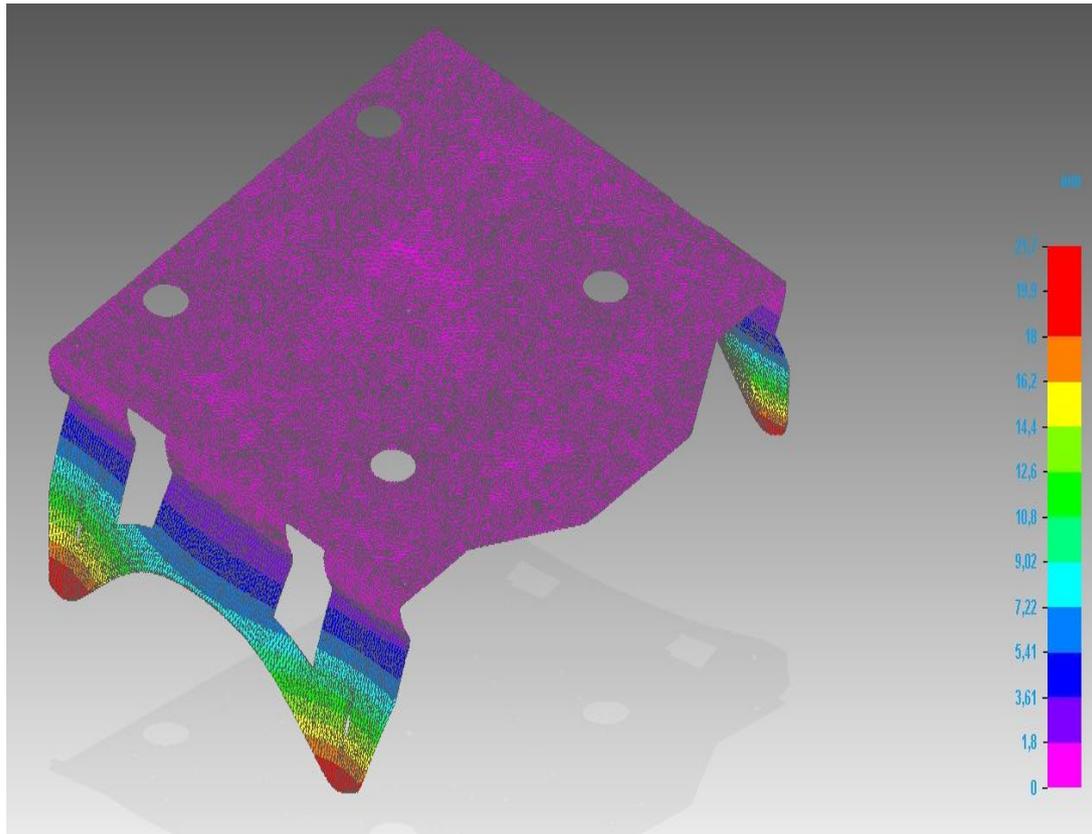


Figura 121-Resultados desplazamientos chapa sin refuerzos

Los resultados gráficos se ven exagerados debido a la escala empleada.

- **TENSIÓN**

Tabla 40-Resultados Tensión Chapa sin refuerzos

Componente de resultados: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	5,58e-019 MPa	-22,326 mm	542,001 mm	-1786,000 mm
Máxima	456 MPa	1052,356 mm	-429,500 mm	-1872,000 mm

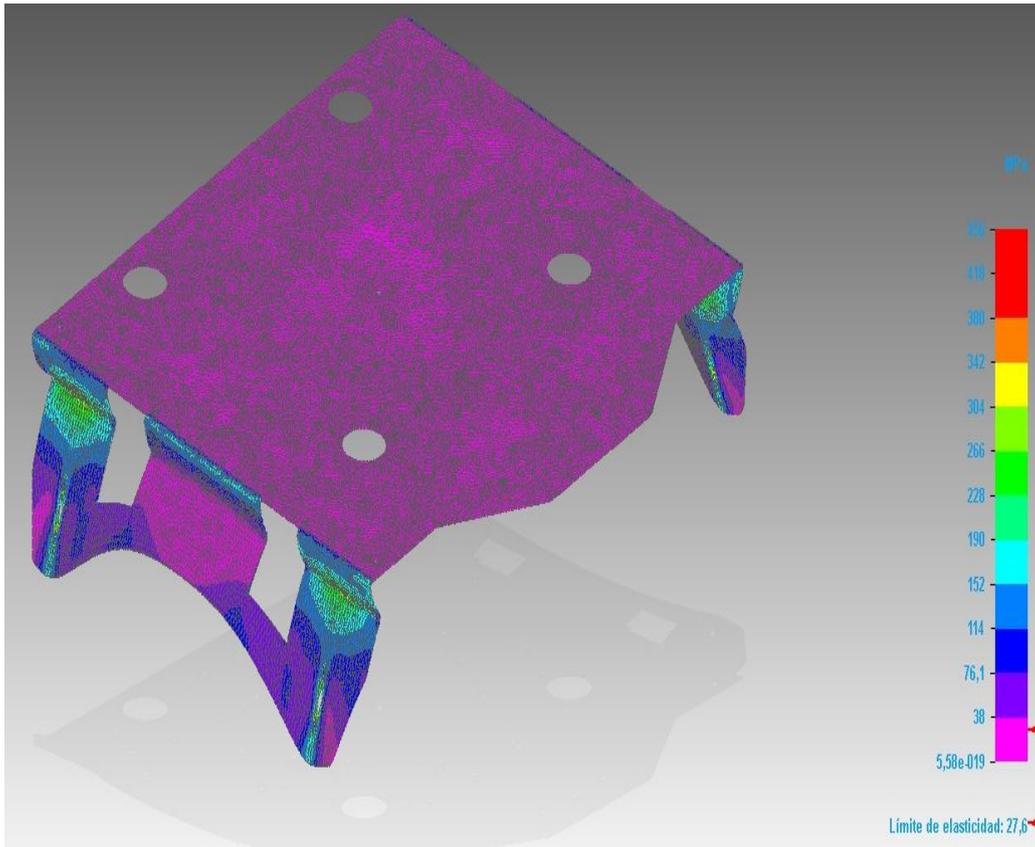


Figura 122-Resultados Tensión Carril Reforzado

Se observa con claridad en los resultados de desplazamiento máximo, 21.7 mm, que el diseño de la chapa sin refuerzos no es suficiente.

A continuación se muestra el estudio realizado de la chapa con refuerzos en uno de sus laterales para poder observar la variación:

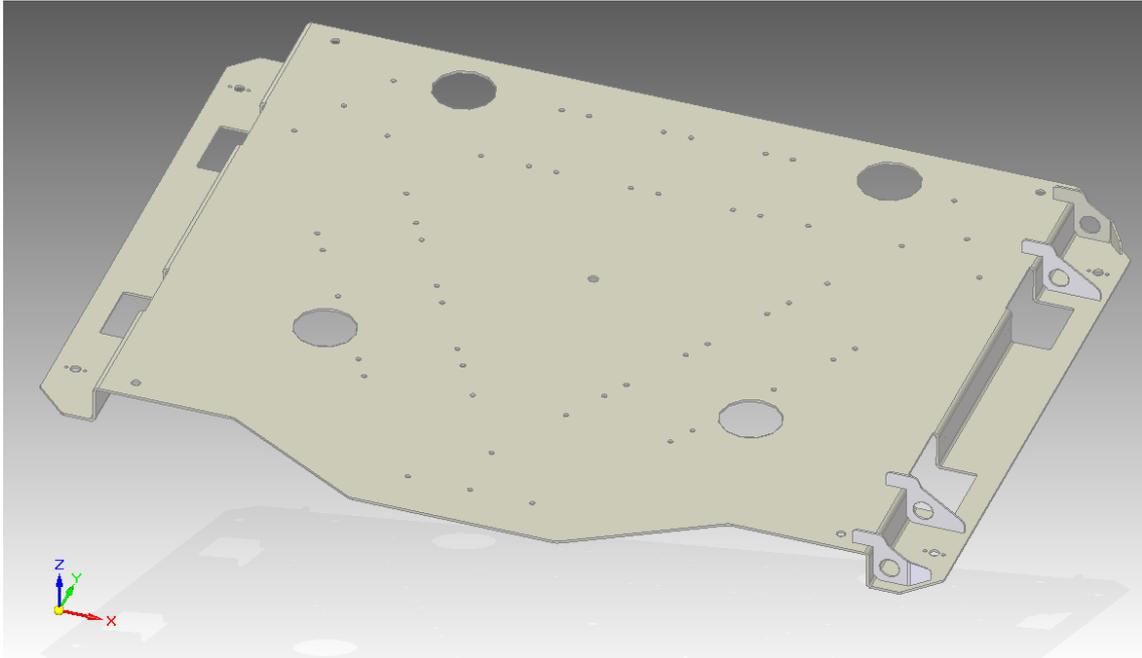


Figura 123-Chapa con refuerzos

Tabla 41-Estudio Chapa reforzada

Nombre Pieza	Material
Refuerzo v3.par:1	Aluminio, 1060 (Predeterminado)
Base System four cockpit.par:1	Aluminio, 1060 (Predeterminado)
Refuerzo_SIM.par:1	Aluminio, 1060 (Predeterminado)
Refuerzo 02_v3.par:1	Aluminio, 1060 (Predeterminado)
Refuerzo 02_v3.par:2	Aluminio, 1060 (Predeterminado)

Tabla 42-Resultados mallado chapa con refuerzos

Tipo de mallado	Tetraédrico
Número total de cuerpos mallados	5
Número total de elementos	276.581
Número total de nodos	557.165
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	3

- **DESPLAZAMIENTOS**

Tabla 43-Desplazamientos Chapa con refuerzos

Componente de resultados: Traslación total
--

Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-259,617 mm	-81,699 mm	-1780,000 mm
Máxima	8,12 mm	-1089,390 mm	737,844 mm	-1878,000 mm

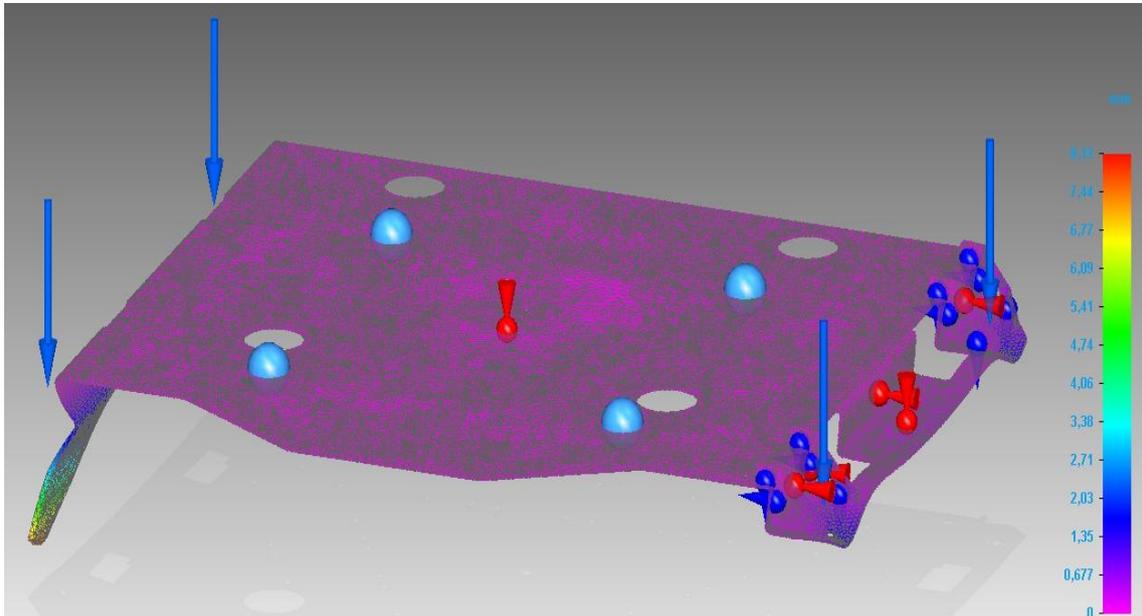


Figura 124-Resultados desplazamiento chapa reforzada

En la figura anterior se observa como el lateral reforzado no supera los 2 mm de desplazamiento máximo.

- **TENSIÓN**

Tabla 44-Resultados Tensión Chapa con refuerzos

Componente de resultados: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	2,32e-019 MPa	42,418 mm	192,809 mm	-1780,000 mm
Máxima	293 MPa	1016,856 mm	720,500 mm	-1878,000 mm

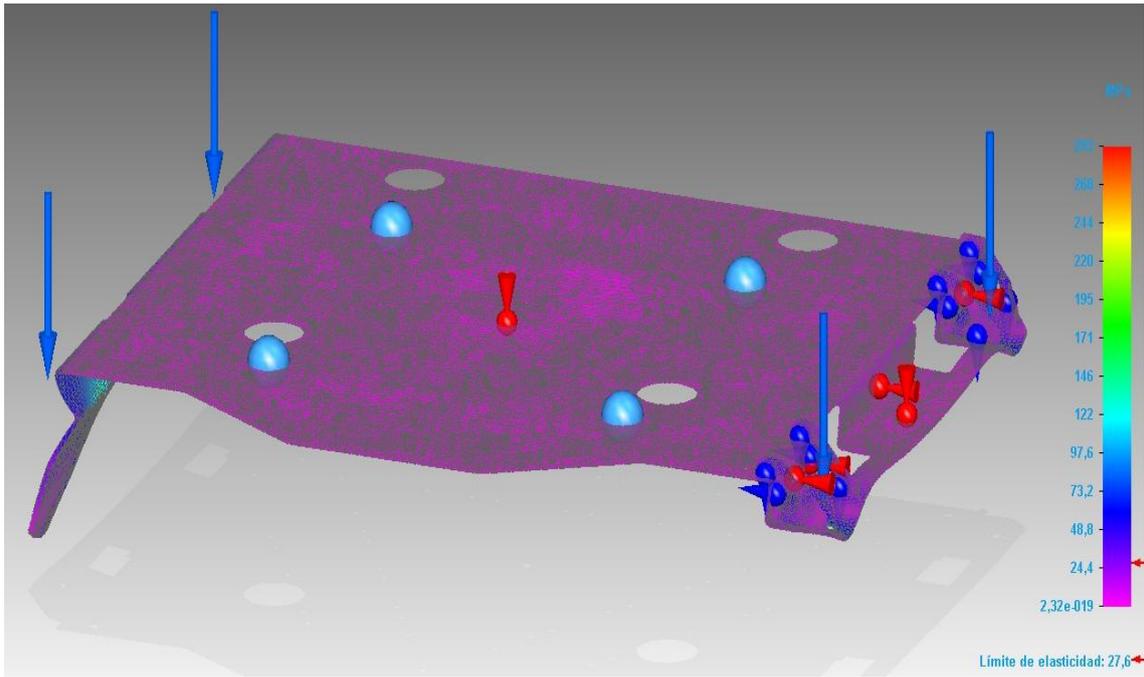


Figura 125-Resultado tensión Chapa reforzada

Se observa por tanto que tanto la tensión como los desplazamientos máximos que sufre el lateral reforzado se han disminuido. La tensión se muestra más repartida.

La superficie de la Plataforma de Vibración sobre la que apoya la chapa tiene forma triangular como se muestra en la siguiente figura.

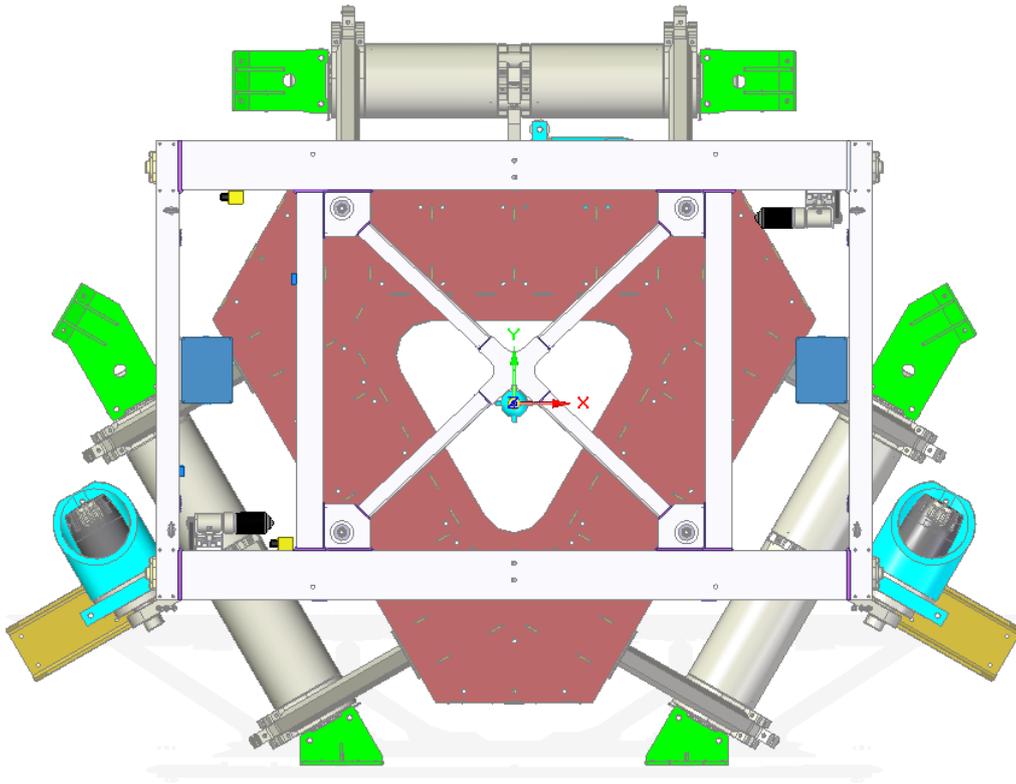


Figura 126-Plataforma Vibración, superficie triangular

Por tanto las esquinas delanteras quedan soportadas por las esquinas del triangulo de la Plataforma de Vibración, mientras que las esquinas traseras de la chapa quedan desprotegidas. Por ello se decide colocar dos chapas plegadas que hagan las funciones de viga en voladizo, soldadas a la Plataforma de Vibración y soportando la chapa como se muestra en la siguiente figura.

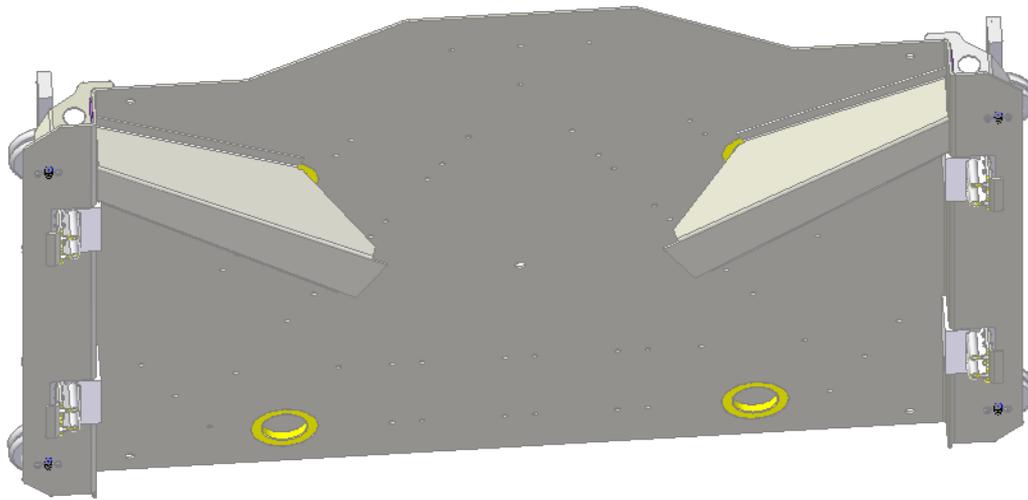


Figura 127-Voladizos chapa Plataforma Vibración

Finalmente el conjunto de la chapa con todos sus elementos quedará de la siguiente forma:

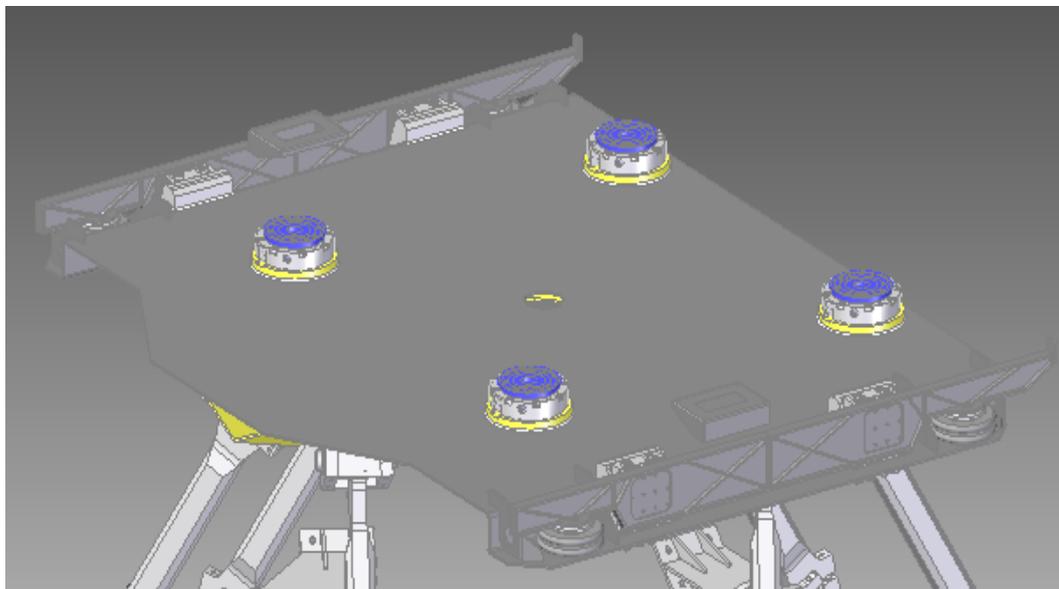


Figura 128-Conjunto Chapa

Los planos de despiece de los conjuntos mencionados en la figura anterior se muestran en el Anexo E.

## SALA ENTRENAMIENTO: ELEMENTOS A RETIRAR

Además de las modificaciones mencionadas hasta ahora, ciertos elementos de la Sala de Entrenamiento deberán ser fácilmente retirables para dejar un espacio libre tal que el conjunto carro, cabina y plataforma de movimiento puedan salir hasta la plataforma de acceso. La siguiente figura muestra el espacio libre.

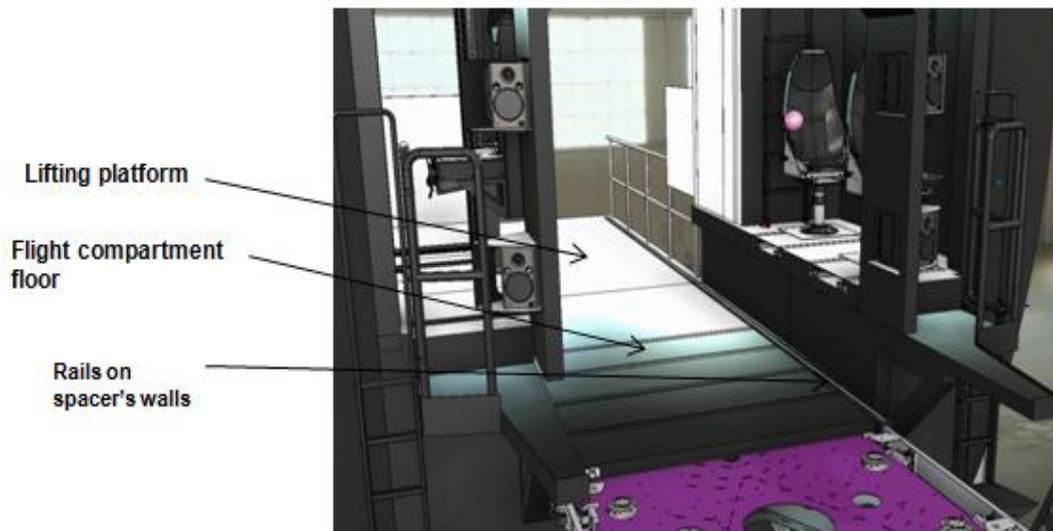


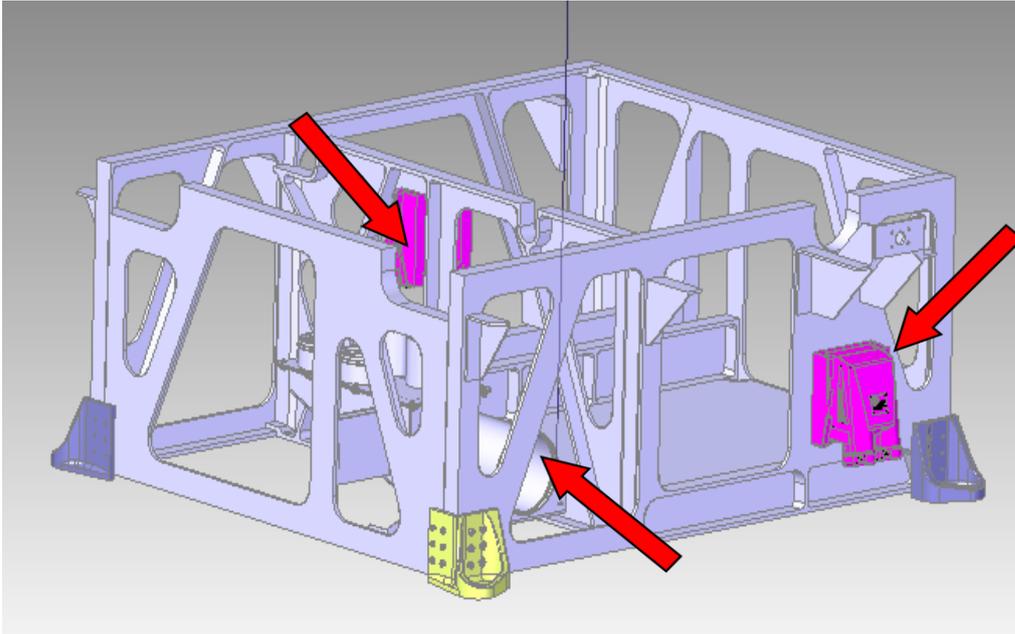
Figura 129-Sala Entrenamiento, espacio libre

En la figura anterior se muestra el suelo de la Sala de Entrenamiento ya abajo y los raíles visibles. Para lograr retirar el resto de elementos será necesario llevar a cabo las siguientes modificaciones:

### 1. Conexiones a Cabina:

A la cabina llegan tres conexiones por el suelo de la cabina a través de la Plataforma de Movimiento de la Cabina. Para poder extraer la cabina será necesario retirarlas. Las conexiones son:

1. Conducto Aire acondicionado
2. Alimentación y señal equipos de cabina
3. Alimentación y Señal Actuadores Plataforma de Movimiento



Para posicionar los conectores y el conducto de Aire Acondicionado se dispone de los siguientes soportes sensores para sensor no solo la desconexión sino además la retirada.

El tubo de aire (4 en la siguiente figura) irá posicionado a las paredes del simulador (3 en la siguiente figura).

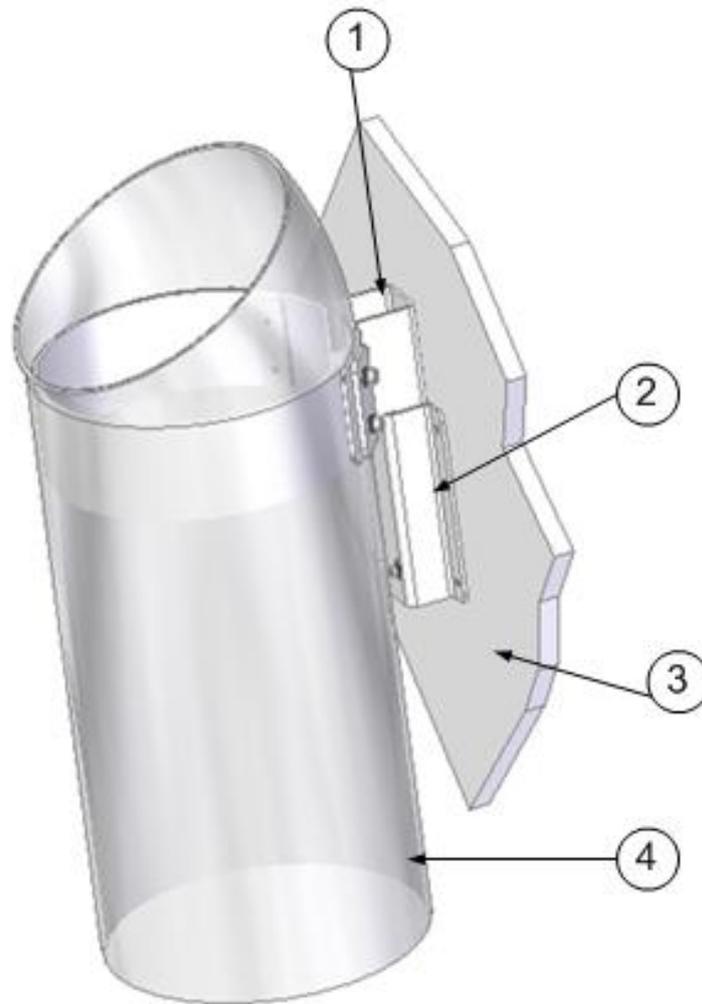


Figura 130-Soporte tubo aire

Una pieza irá atornillada a al tubo de aire. Dicha pieza (1) dispondrá de una chapa plegada con forma rectangular que deberá deslizar dentro de la segunda pieza del soporte. La segunda pieza también dispone de una chapa plegada con perfil rectangular, pero de mayor largo que en la pieza 1, por lo que la primera pieza queda perfectamente introducida en la segunda quedando el Tubo de Aire retirado del camino del carro de la cabina.

Los dos conectores restantes a retirar son iguales, se trata de conectores Virginia Panel. De igual forma que el Tubo de Aire, se diseña un soporte para no solo sensor la desconexión, sino además la retirada de los conectores.

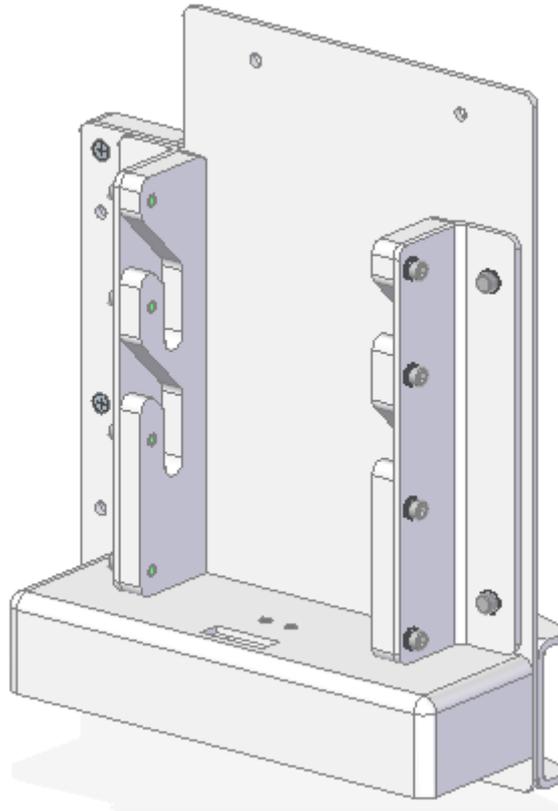


Figura 131-Soporte Conector V.Panel

En dichos soportes se colocan ambos conectores Virginia Panel con la siguiente forma:

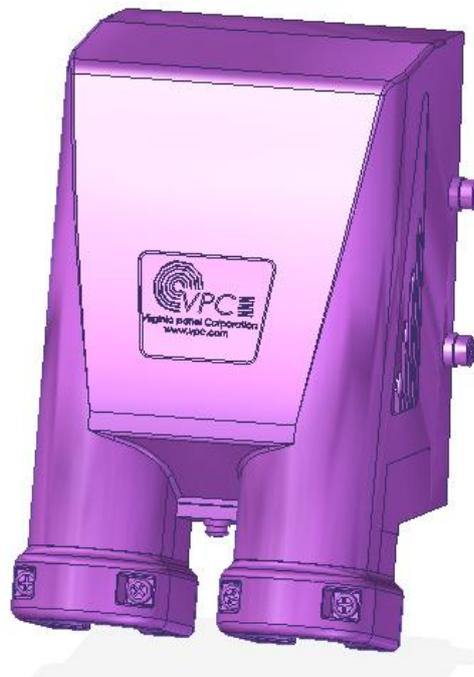


Figura 132-Conector Virginia Panel

Para sensar la posición retirada de los conectores se utilizarán switches de la siguiente forma y características:



Figura 133-Microinterruptor, palanca de rodillo SPDT-NA/NC 10.1 A a 250 Vac

## 2. Altavoces y Puesto Instructor:

El Puesto de Instructor junto con los altavoces del Sistema de Audio se colocarán en un marco a modo de “arco”, limitando el ancho del carro tanto lateralmente como en altura y soportando el peso de los cuatro altavoces y la mesa de instructor junto con los equipos de comunicación y pantallas. Los elementos mencionados se muestran en la siguiente figura.

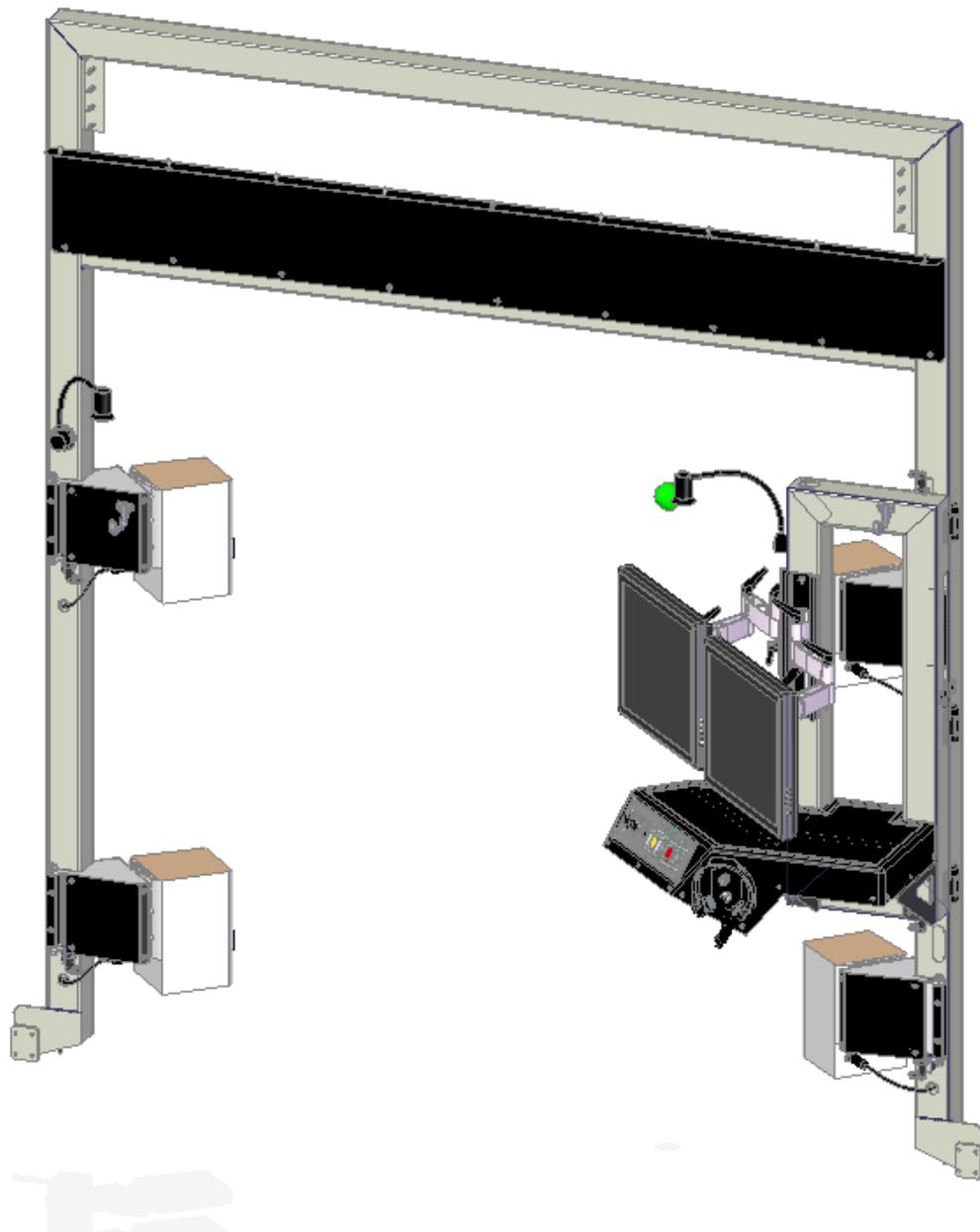


Figura 134-Arco Puesto Instructor y Audio

Los altavoces se colocan sobre un soporte que rota sobre un eje anclado al arco, de tal forma que el altavoz rote y quede retirado fuera del camino del conjunto carro. La posición de vuelo del simulador del altavoz se fija por medio de un tetón que entra y sale en un corte circular de la estructura que soporta el altavoz.

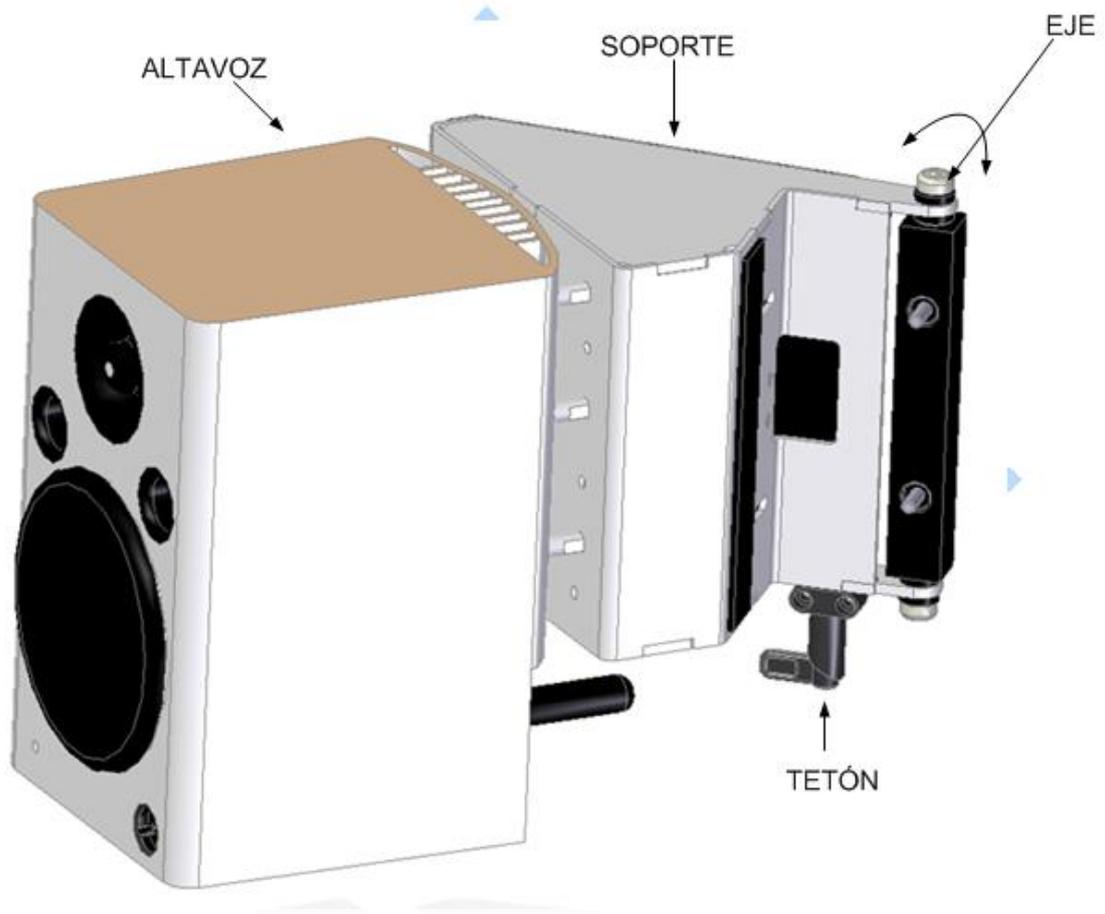


Figura 135-Altavoz y soporte

De igual forma, el conjunto formado por la mesa con el panel del instructor y los dos monitores irán colocados sobre un marco en forma rectangular de tubo cuadrado sobre el que irán colocados los elementos. Dicho marco rotará por medio de tres bisagras al arco. Para la posición de vuelo también se disponen tetones que fijan los elementos de igual forma que los altavoces.

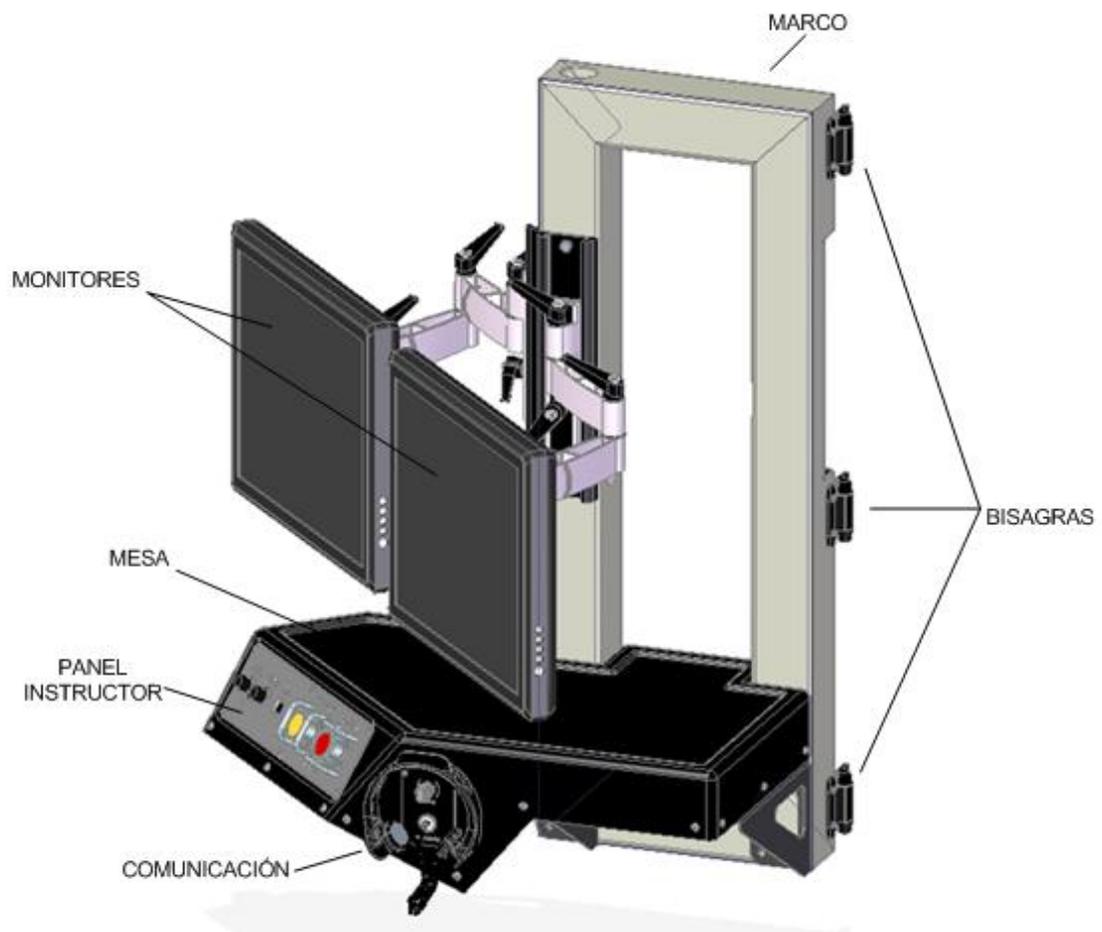


Figura 136-Puesto Instructor y soporte

Por tanto los elementos pasan de esta en posición de vuelo tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 137-Elementos en posición de vuelo

A estar retirados para poder extraer el conjunto carro. Como se muestra en la siguiente figura.

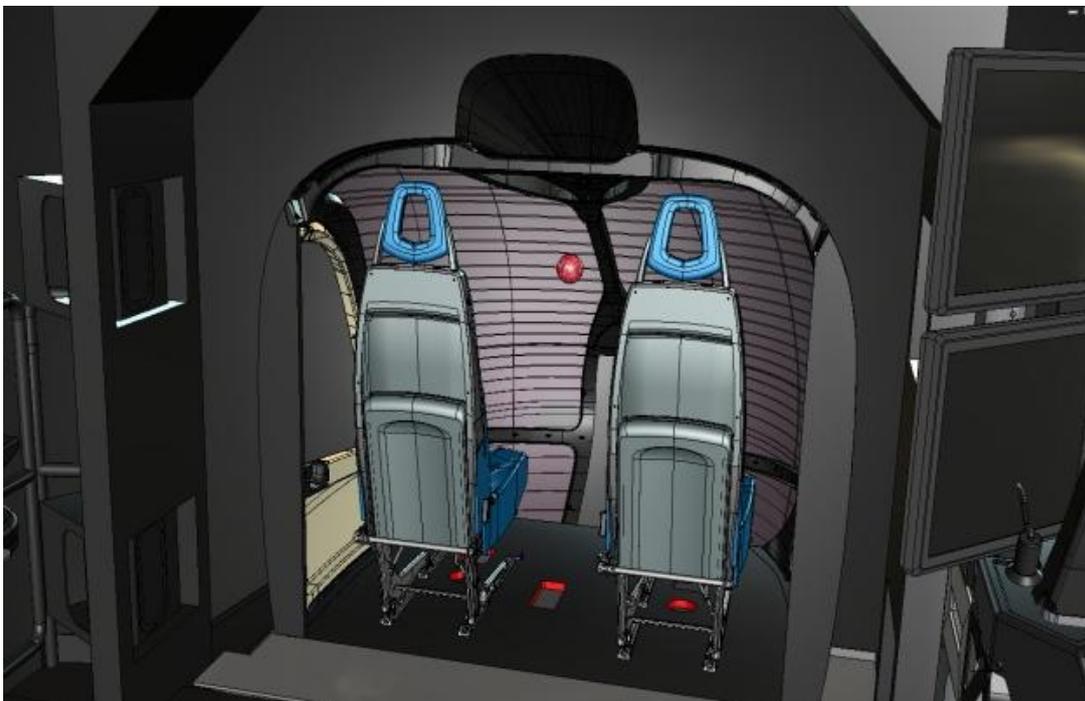


Figura 138-Elementos en posición retirada

### 3. Asientos Sala Entrenamiento:

Se sensa la posición retirada de los asientos de instructor y acompañante de la Sala de Entrenamiento. Para ello se colocan los asientos sobre carriles para poder deslizar los asientos hasta una zona fuera del paso del carro. Para ellos el tramo de carril de ambos asientos debe estar partido, puesto que el suelo de la Sala de Entrenamiento es móvil tal como se explica en el punto "4.3 Adaptación".

En la siguiente figura se muestran los asientos con maniqués sobre ellos, dos flechas indican el sentido en el que los asientos son retirados. Se pueden ver dos palancas que salen verticalmente de los soportes que utilizan los asientos para deslizar sobre los carriles. Dichas palancas actúan como tetones para fijan los asientos en las dos posiciones mencionadas. Dichas posiciones serán sendas.

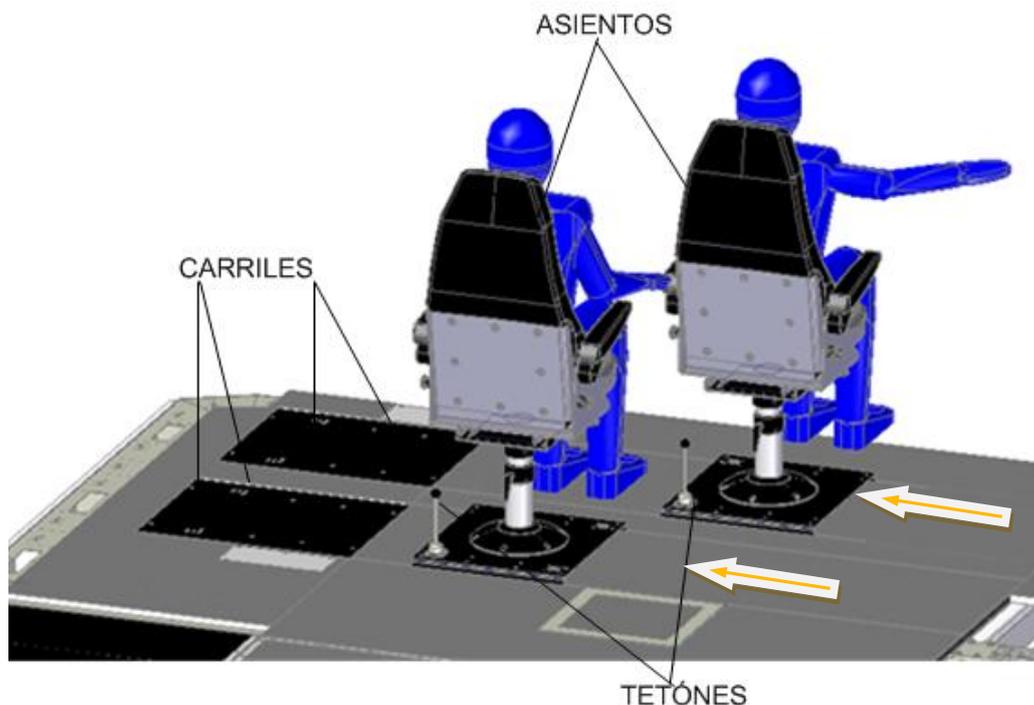


Figura 139-Asientos posición vuelo

Y los asientos en posición retirada.



Figura 140-Asientos en posición retirada, vista aérea

#### 4. Puertas:

A diferencia con otros simuladores anteriores, en este las puertas de acceso tanto a la balconada de seguridad del simulador como a la sala de entrenamiento deberán tener un ancho que permita la extracción del conjunto carro.

Para ello se dispone de dobles puertas tanto en balconada como sala de entrenamiento.

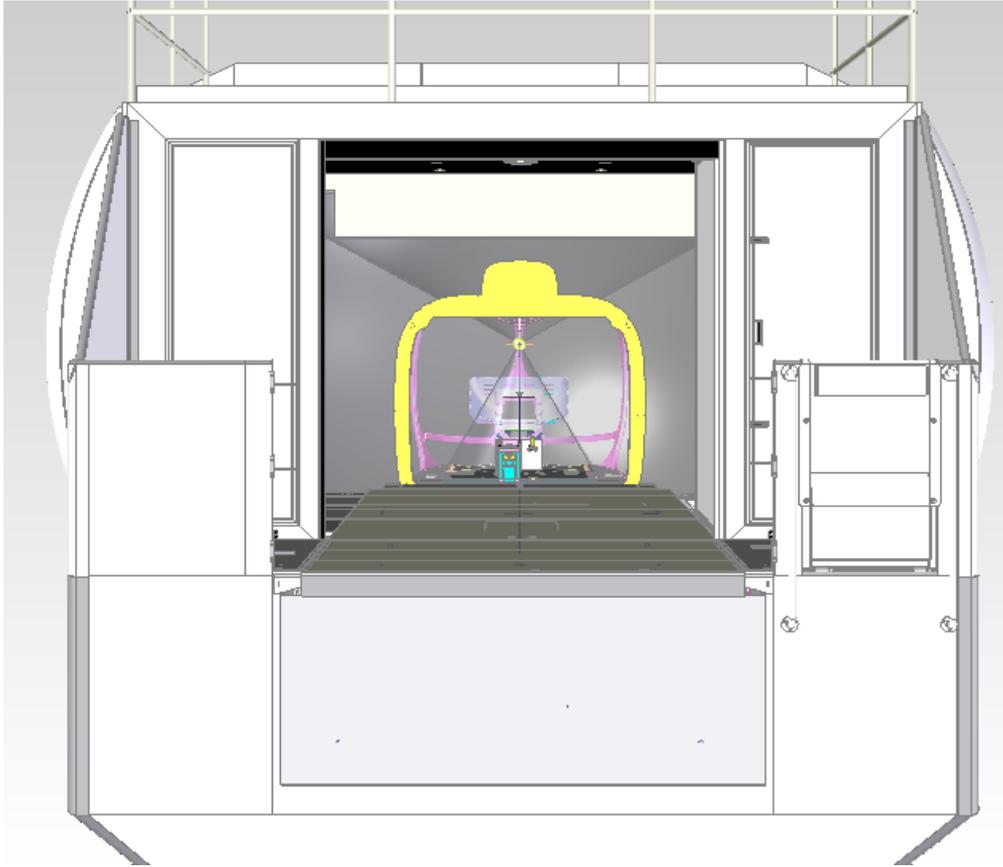


Figura 141-puertas abiertas, vista frontal

#### **PARADAS PLATAFORMA DE ACCESO**

Puesto que los carriles de deslizamiento del conjunto Carro, Cabina y Plataforma de Movimiento se encuentra por debajo del suelo de la Sala de Entrenamiento, como se explica en el punto “4.3 Adaptación”, para poder extraer el carro la Plataforma de acceso deberá tener una segunda parada que coincida con los carriles.

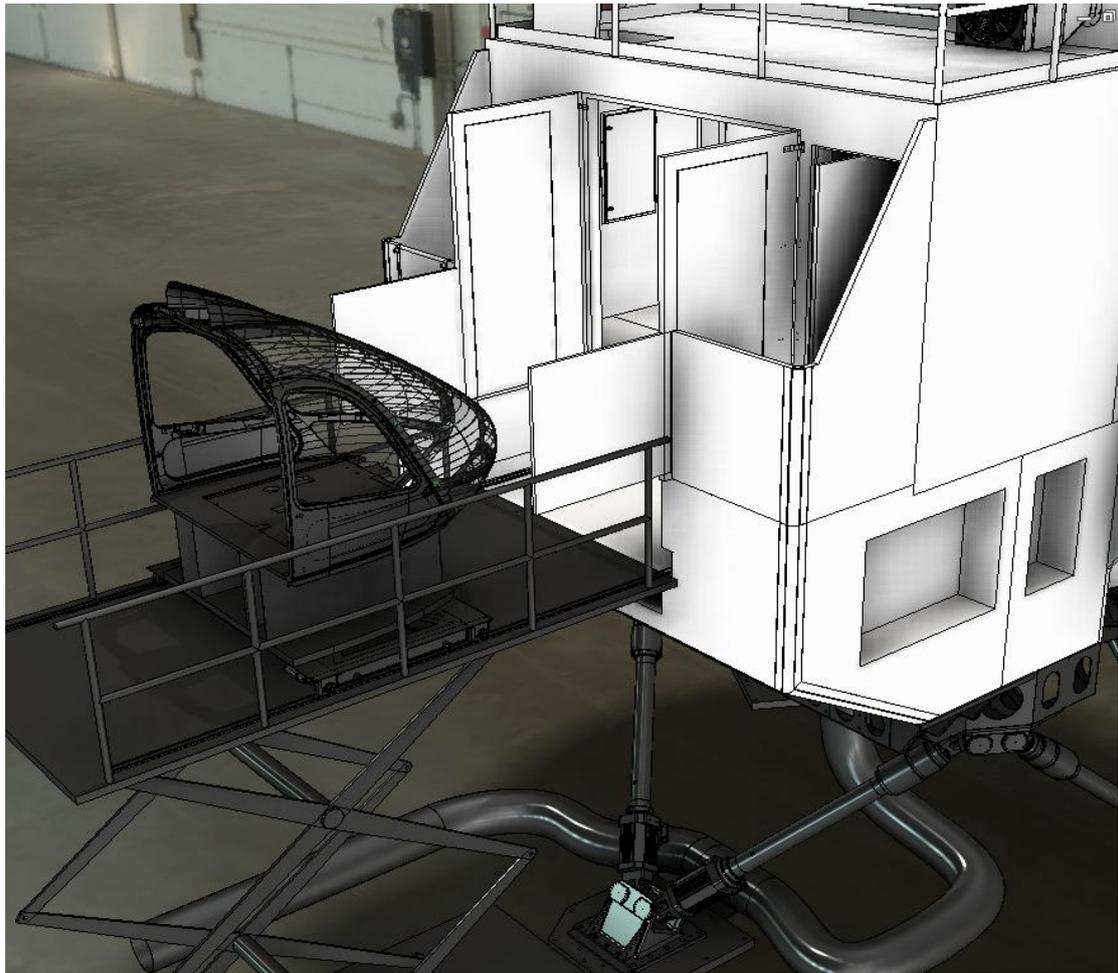


Figura 142-Plataforma de acceso, extracción cabina

Por tanto la Plataforma de Acceso tendrá tres posiciones:

- Acceso tripulación
- Extracción cabina
- Descarga cabina

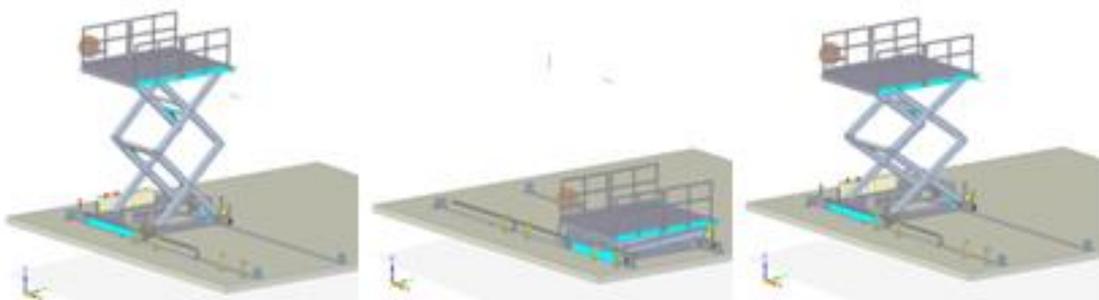


Figura 143-posiciones plataforma acceso

## 4.4 Sistema Neumático

A lo largo de los distintos puntos del proyecto se han ido mencionando distintos sistemas necesarios para llevar a cabo el proceso de intercambio de cabina de helicóptero en un mismo Simulador de Vuelo.

Además se han explicado ciertas modificaciones en el Simulador que serán necesarias para llevar a cabo el proceso. Dichas modificaciones serán llevadas a cabo de forma automática por un sistema neumático que controle las siguientes funciones:

- Subida/bajada suelo Sala de Entrenamiento
- Anclaje suelo Sala de Entrenamiento
- Subida/bajada carriles Plataforma de Vibración
- Anclaje carro a Plataforma de Vibración

La caja neumática junto a los componentes neumáticos: bomba, válvula, compresor... se sitúan en la Bodega del Simulador, concretamente en huecos laterales del simulador que quedan fuera del movimiento de subida/bajada del suelo de la Sala de Entrenamiento. La siguientes figuras muestran la posición de la caja neumática en el simulador.

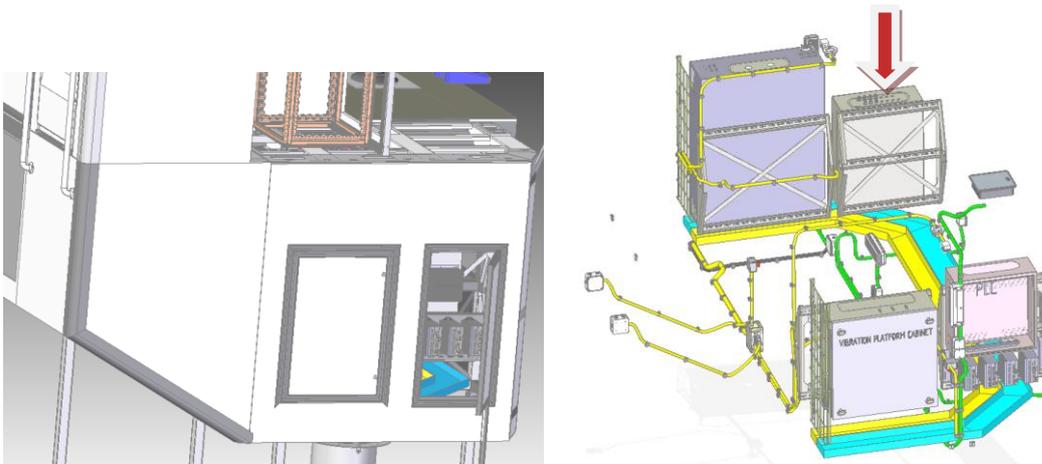


Figura 144-Cuadro Neumático, Puerta de acceso y posición

Desde dicha caja neumática se comandan todas las fuerzas neumáticas de cada sub-sistema neumático y se reciben las señales de los sensores dispuestos a lo largo de los elementos neumáticos. El diagrama neumático de los cuatro sistemas implicados se muestra a continuación:

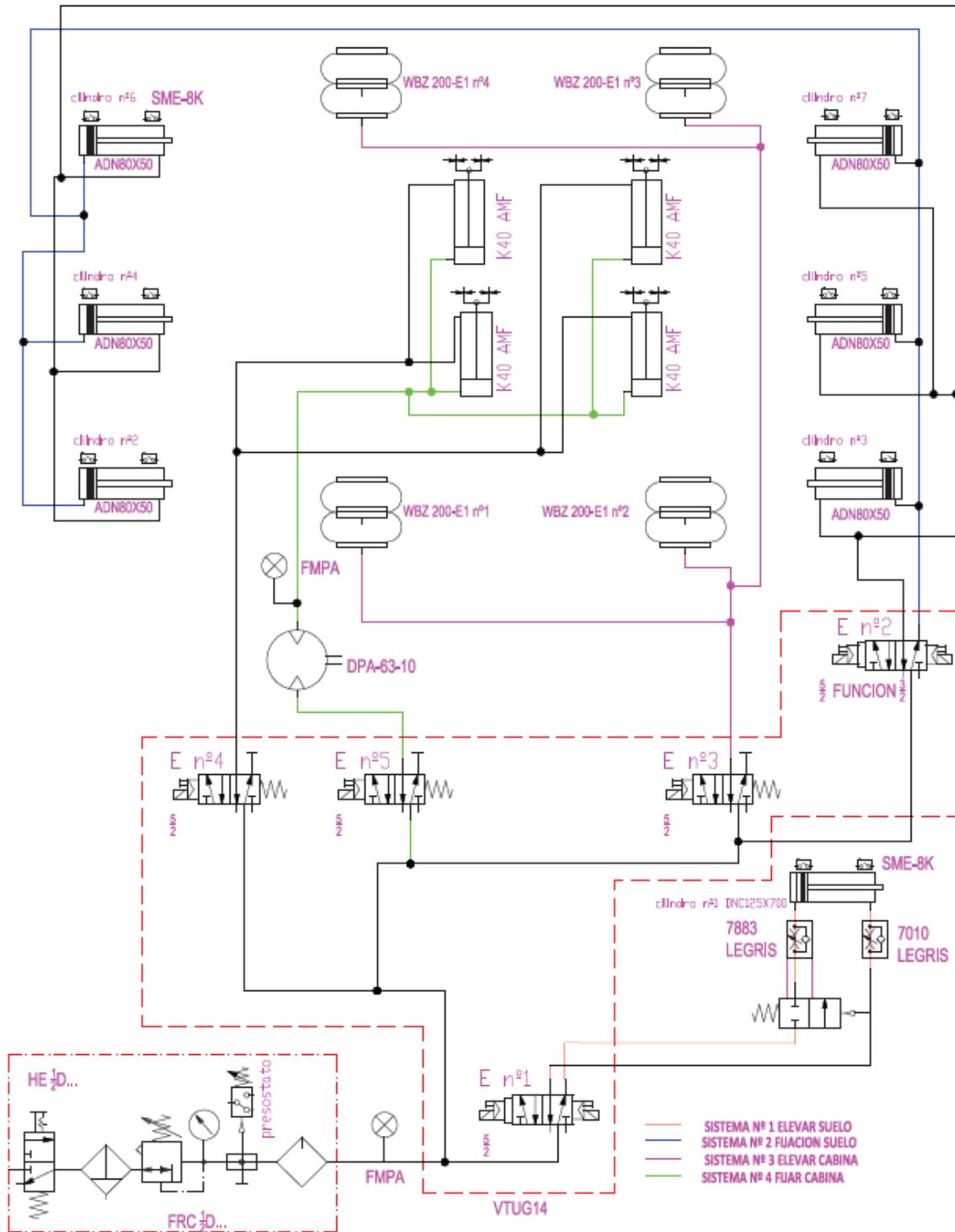


Figura 145-Esquema Sistemas Neumáticos

El la figura anterior se distinguen por colores los siguientes subsistemas:

- Sistema N°1: Elevar Suelo
- Sistema N°2: Fijación Suelo
- Sistema N°3: Elevar Cabina
- Sistema N°4: Fijar Cabina

Los elementos neumáticos se compran a través de la empresa Festo [25].A parte de los sistemas mencionados, en dicho diagrama se distinguen los siguientes elementos:

1. Conjunto a la entrada del sistema neumático:

EL conjunto mencionado se corresponde con la siguiente figura dentro del diagrama de la figura anterior.

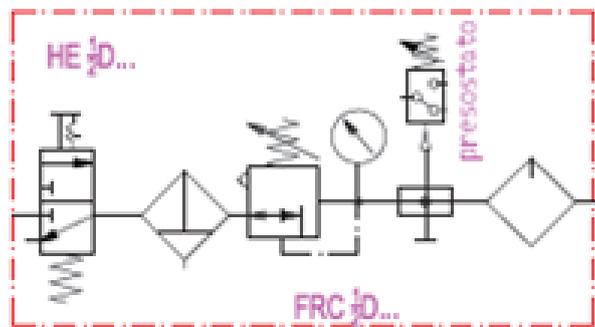


Figura 146-Unidad entrada sistema neumático

Se trata de un compuesto de válvula de cierre manual, válvula reguladora con filtro, modulo de derivación, con presostato sin conector y lubricador, con escuadra de fijación. Con purga automática del condensado y funda metálica de protección.

Dicho conjunto tiene la siguiente forma:

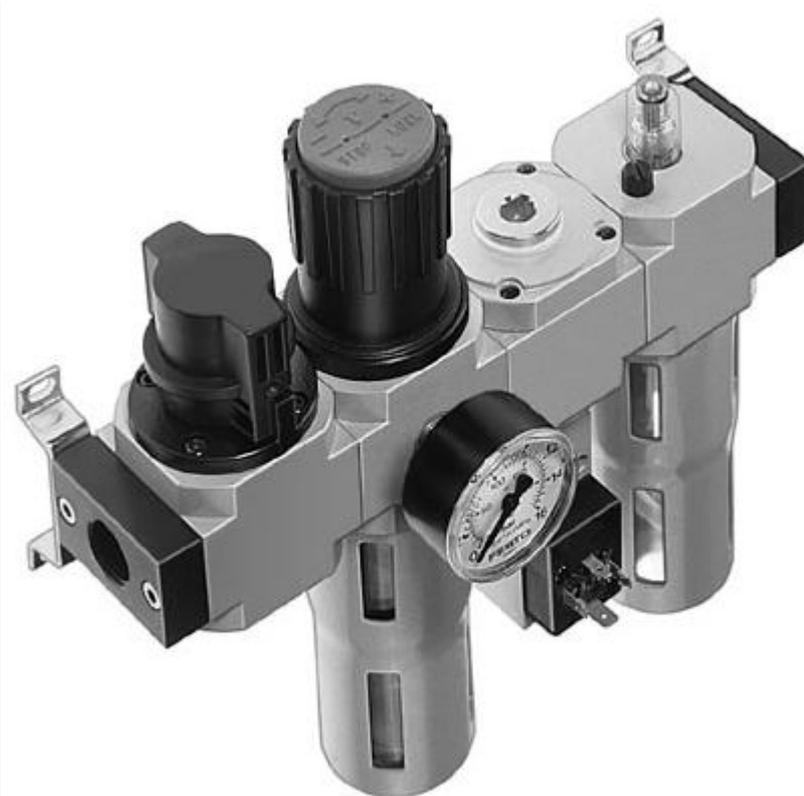


Figura 147-Festo, FRC-1/2-D-MIDI-KC-A

La referencia de dicho artículo es:

Tabla 45-FRC-1/2-D-MIDI-KC-A

Nº Referencia	Referencia 1	Conexión neumática	Caudal Nominal	Margen de regulación	Grado de filtración
185824	FRC-1/2-D-MIDI-KC-A	G1/2	2400 l/min	0.5-12 bar	40µm

Las siglas de la referencia 1 indican:

- FRC: Combinaciones de unidades de mantenimiento
- ½: Rosa G1/2
- D: Serie
- MIDI: Patrón de la unidad individual 55 mm (sin placas base)
- KC: Válvula de cierre de accionamiento manual, unidad de filtro y regulador, módulo de derivación con presostato y lubricador
- A: Automático

- Conjunto formado por cinco electroválvulas 5/2 vías que comandan la entrada/salida de aire a cada uno de los subsistemas:

Se montan seis válvulas en caso de necesitar una en el futuro.

Tabla 46-Válvula 5/2 biestable

Nº Referencia	Referencia	Función	Caudal nominal	Conexión neumática	Tipo de accionamiento
573418	VUVG-B10-B52-ZT-F-1T1L	5/2 biestable	300 l/min	Brida	Electrico-manual

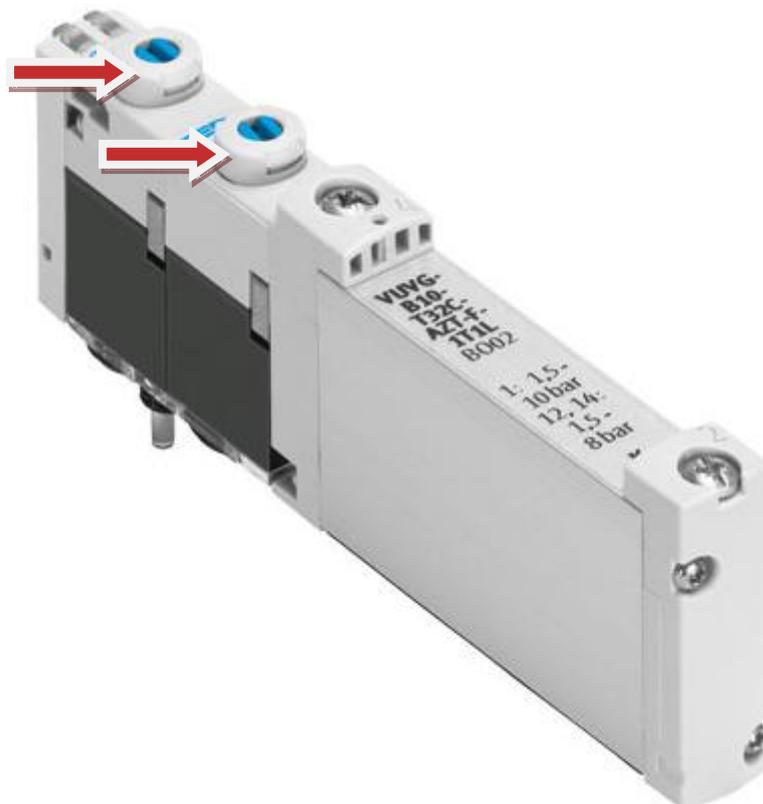


Figura 148-Válvula 5/2 vías biestable

En la figura anterior se indica con flechas rojas dos pulsadores azules. Dichos pulsadores permiten actuar sobre el sistema neumático para introducir aire o purgar en caso de fallo en el sistema eléctrico.

- Racores de bloqueo y reguladores de caudal:

Se emplean racores de bloqueo para empalmar los tubos del sistema Nº1, elevar/bajar suelo de la Sala de Entrenamiento. Además dichos racores disponen de regulador de caudal para regular la entrada de aire al actuador encargado de subir/bajar el suelo. Los elementos

mencionados se muestran en la siguiente figura y a continuación se muestra la tabla con sus especificaciones [26]:

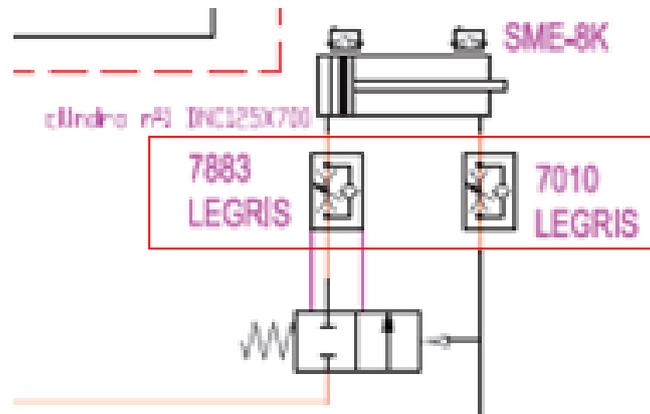


Figura 149-Sistema neumático 1, racores

Tabla 47-Características racor 78830613

REFERENCIA	DIÁMETRO	C	PRESIÓN MAX.
7883 06 13	6	G ½	10 bar

#### 4. Intensificador de presión para el sistema N°4, Fijar Cabina.

Se trata de un intensificador de presión de doble émbolo que únicamente puede comprimir aire. Aplicando la presión, las válvulas reguladoras integradas automáticamente aumentan la presión en el lado secundario, llegando incluso a doblarse con respecto al lado primario.

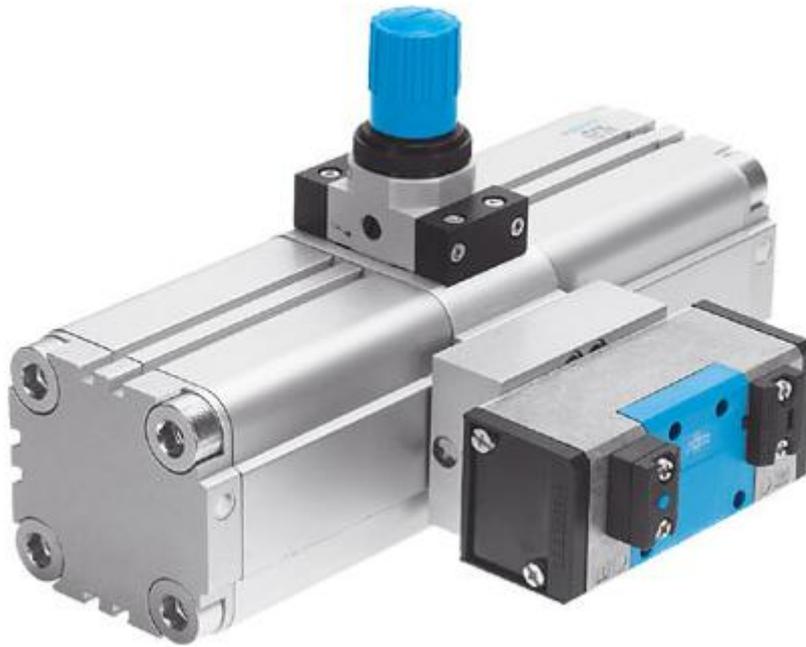


Figura 150-Amplificador de presión DPA-63-10

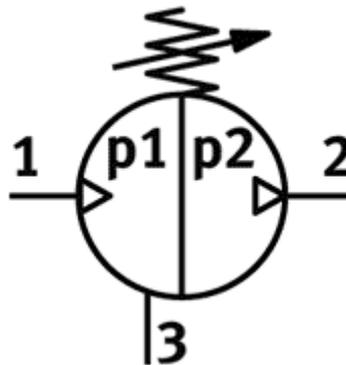


Figura 151-Diagrama intensificador de presión

Las características técnicas del dispositivo son:

Tabla 48-Intensificador de presión DPA-63-10

Nº referencia	Referencia 1	Conexión neumática	Presión 1	Presión 2
184518	DPA-63-10	G ½	2-8 bar	4-10 bar

A continuación se muestran los sistemas de Subir/bajar Cabina y Anclar cabina de forma individual y en formato esquema neumático.

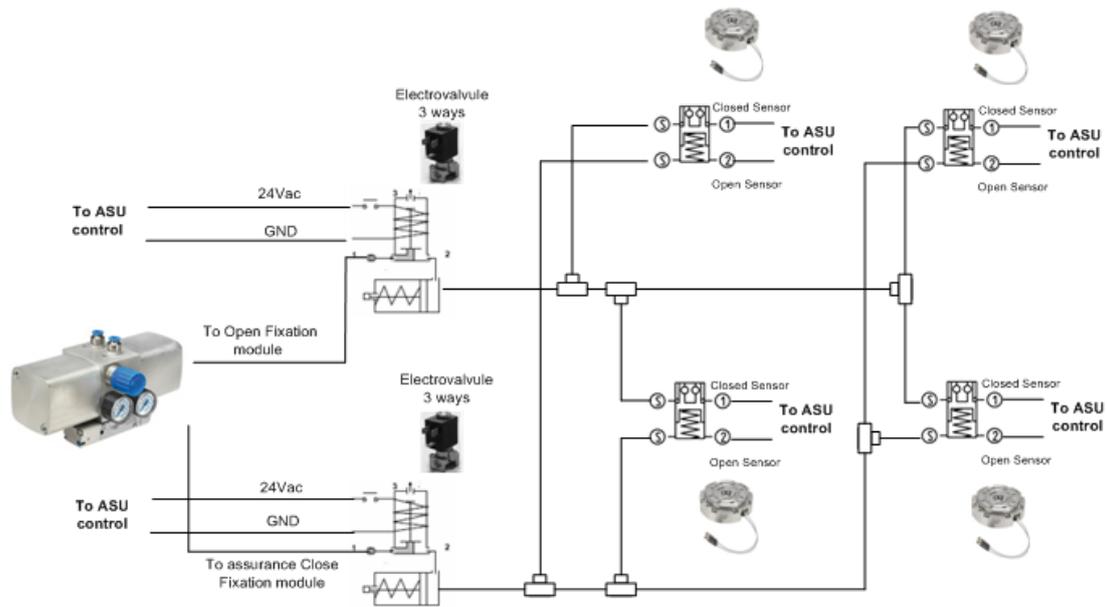


Figura 152-Diagrama neumático k40

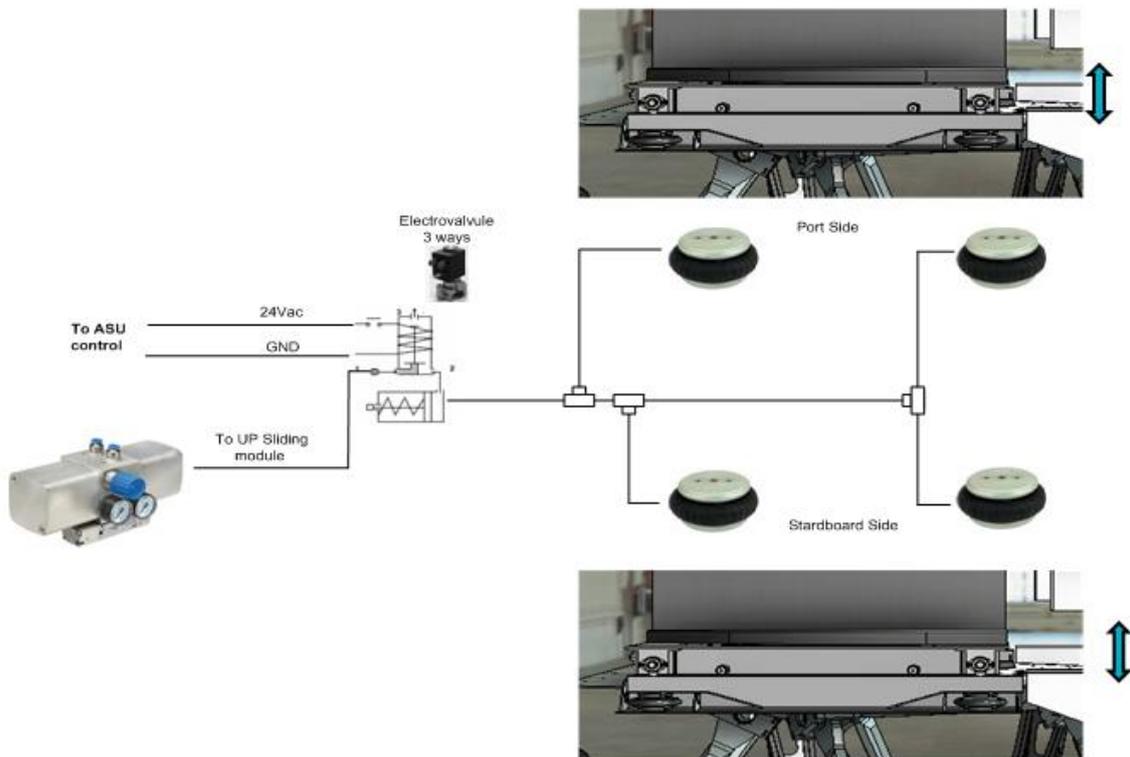


Figura 153-Diagrama neumático Air Spring

Finalmente, el cuadro neumático en SOLid Edge con los elementos mencionados se muestra a continuación:

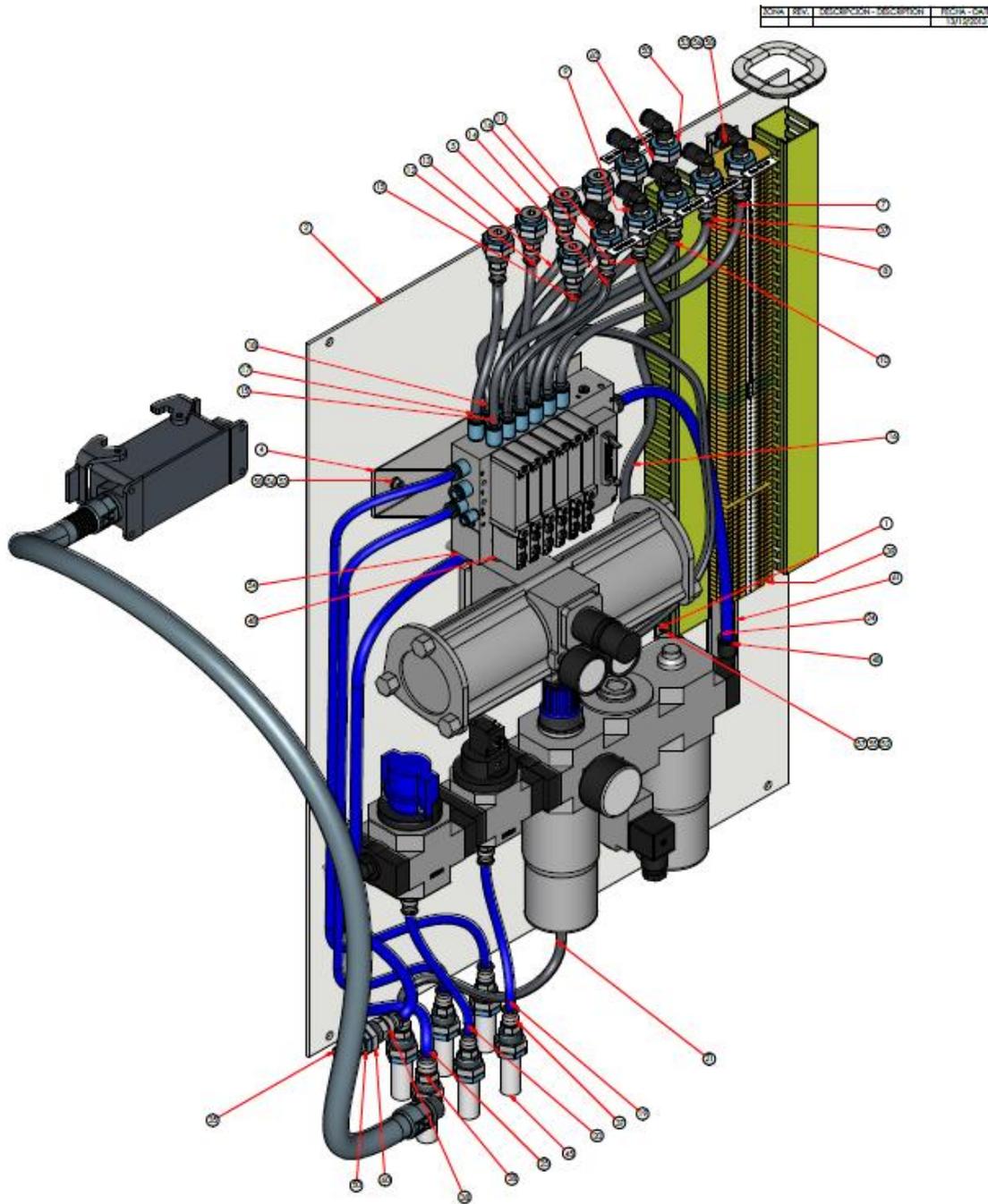


Figura 154-Cuadro Neumático, Solid Edge

En la figura anterior se pueden observar los distintos puntos mencionados del sistema neumático, no obstante se observa un bornero de señales en el lado derecho que no ha sido nombrado. Ha dicho bornero llegarán las señales de los sensores posicionados a lo largo de todo el sistema neumático.

En el Anexo I se puede ver un “manual de funcionamiento y mantenimiento del sistema neumático”.

## 4.5 Sistema Eléctrico y Electrónico

Previamente se debe mencionar que el control de todos los equipos del sistema, como los movimientos y las señales de los sensores serán controlados por un PLC que se colocará en uno de los huecos laterales de la Bodega del simulador, concretamente en el lado opuesto del cuadro neumático. La siguiente figura muestra la posición del cuadro.

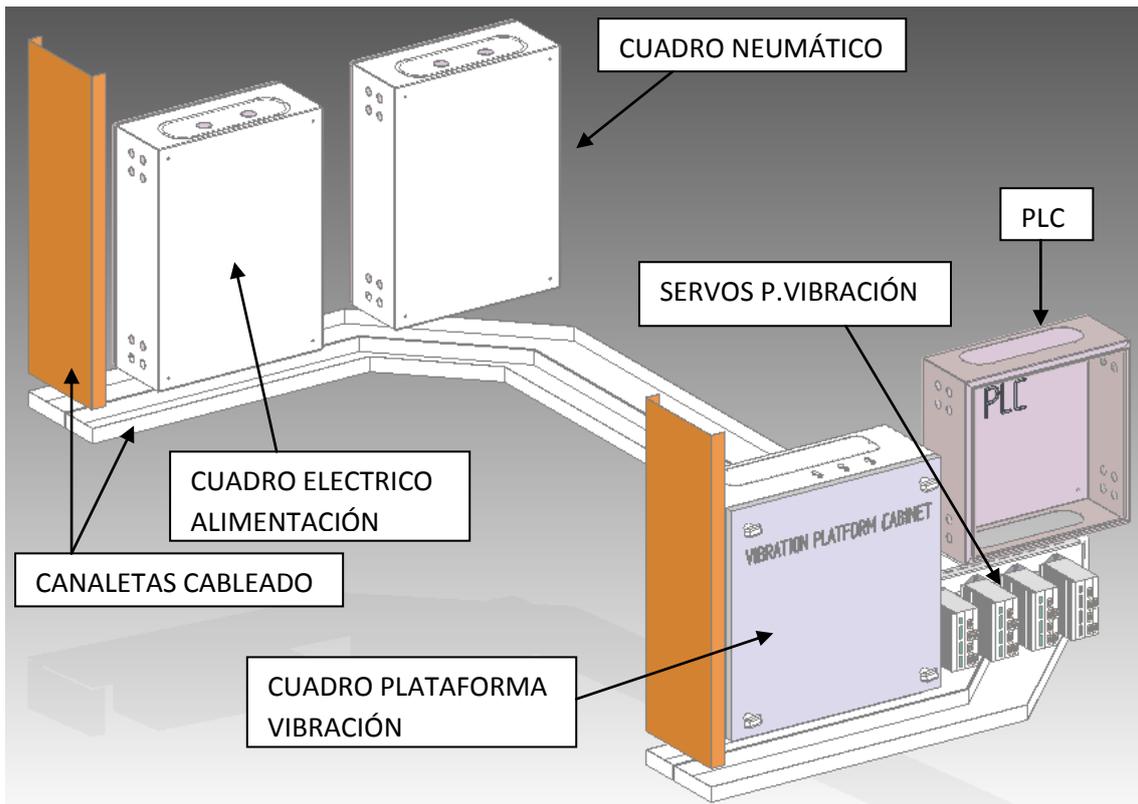


Figura 155-Posición PLC control Sistema Intercambio Cabinas

Tal como se explica en el apartado “4.4 Sistema Neumático” y se muestra en la figura 142, en la Bodega quedan dos huecos en los laterales del simulador fuera del paso de subida/bajada de la Sala de Entrenamiento, a los cuales se accede desde fuera el simulador. Si se mira el simulador desde la Plataforma de acceso, en el hueco de la derecha de la Bodega se encuentran los servos, el PLC y el cuadro de la Plataforma de Vibración. En el lado izquierdo está el cuadro eléctrico y el cuadro neumático.

Las canaletas que se muestran en la figura anterior sirven para dirigir el cableado de los equipos a las distintas partes del simulador.

En este punto se explicará tanto el sistema de alimentación eléctrica de los distintos equipos del sistema de intercambio de cabinas, como los sensores empleados y las señales controladas.

Para ello se divide el sistema en los siguientes subsistemas:

1. Conjunto Carro:
  - Sistema de Sensado.

Deberá permitir el posicionamiento del carro en las distintas posiciones de parada requeridas. Las posiciones de parada son:

- a) *Sobre la Plataforma de Vibración.*

Se debe posicionar el carro de tal forma que los émbolos del carro coincidan con los sistemas de anclaje k40. Una vez posicionado el carro los Air Spring hacen descender los carriles y el carro queda fijado en la posición de vuelo de la cabina.

Se emplean sensores tipo célula fotoeléctrica. Dicha célula fotoeléctrica va colocada en el carro y se colocan espejos reflectores en cada una de las posiciones de parada. La célula envía una señal láser y cuando es reflejada en uno de los espejos, recibiendo la misma señal, el carro para. Las características y forma de los sensores se muestran a continuación. Se elijen sensores de la empresa "Sick Electronics" [27].



Figura 156-Sensor fotoeléctrico W12-2AS-i

Tabla 49- Sensor fotoeléctrico W12-2AS-i

Sensor Fotoeléctrico. W12-2AS-i Barrera Fotoeléctrica	
NºSerie	1016108
CARACTERÍSTICAS	
Dimensiones	15 mm x 49 mm x 41,5 mm
Forma carcasa	Rectangular
Alcance detección	0-7 m
Distancia Conmutación	0-5 m
Tipo de Luz	Luz roja visible
Fuente luz	Led
Ajuste	Potenciómetro 5 revoluciones
Tensión de alimentación	25 VDC
Consumo corriente	<35 mA
Potencia	0.48 W
Tiempo de respuesta	330 µs
Tipo Conexión	Conector M12 4 polos
Peso	120 g

Por tanto se trata de un dispositivo electrónico que funciona a 25 voltios de corriente continua y tiene un consumo muy bajo de 35 mA. Uno de estos dispositivos va atornillado al carro en la posición delantera, mientras que un espejo reflecto va atornillado a la chapa de la plataforma de vibración. Los espejos reflectores tienen la siguiente forma:



Figura 157-Espejo reflector

El propio fabricante de los sensores suministra los conectores M12 de 4 pines para alimentar el sensor y recibir su señal. La señal que se recibe es un contacto cerrado que se detecta cuando el sensor se posiciona sobre el espejo.

Además de los sensores anteriores, se colocan dos sensores tipo final de carrera, que sirven de seguridad para parar el carro en caso de fallo de los sensores fotoeléctricos. La forma y características de los sensores se muestran a continuación:



Figura 158-Sensor Sick i110-RA123

Tabla 50-Sensor Sick i110-RA123

Nombre del Modelo	I110-RA123
Nº producto	6025109
Tensión	24 VDC
Corriente	3 A
Potencia	74 W
Material Carcasa	Fundición inyectada de cinc
Accionamiento	Palanca de Giro
Nº de direcciones de actuación	4
Velocidad de aproximación	15 m/min
Ppio de conmutación	Interruptor de acción instantánea
Nº contactos NA	1
Nºcontactos NC	1

Dichos dispositivos también van atornillados al carro. La palanca choca contra un perfil situado en la chapa de la Plataforma de Vibración enviando una señal de contacto cerrado de tal forma que el carro se pare.

b) *Sobre la Plataforma de Acceso.*

De igual forma que en el punto anterior, se coloca una célula fotoeléctrica en el carro y un espejo reflector en la Plataforma de Acceso. En este caso el sensor irá colocado en la parte trasera del carro.

También se colocará un sensor final de carrera Sick i110-RA123.

- Sistema electrónico.

Para el control de los motores del carro de desplazamiento se deben emplear dos micro-controladoras que alimentan o no a los motores. El fabricante de los motores, "Doga" ofrece el siguiente diagrama en el que se puede observar el pico de consumo de los motores.

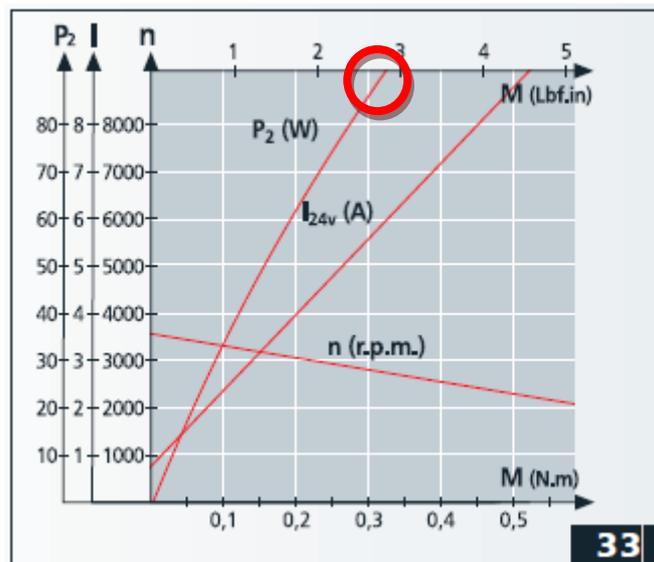


Figura 159-Curva 33, motor Doga

Como se observa, el consumo puede llegar a superar 10 A. este dato se tiene en cuenta para elegir las controladoras, para tener cierto margen de seguridad se elige el modelo "EM-243 DC MOTOR CONTROLLER 12-24 VDC 50A" del fabricante "Eletromen" [28].



Figura 160-Controladora Electromen

Este dispositivo permite ajustar los motores a dos velocidades. El motor se alimenta a través de dicho dispositivo, que funciona a 24 VDC y permite motores de hasta 50 A de consumo, para una potencia de 216 W.

El siguiente diagrama muestra el funcionamiento de la controladora y los pines a los que se conecta el motor.

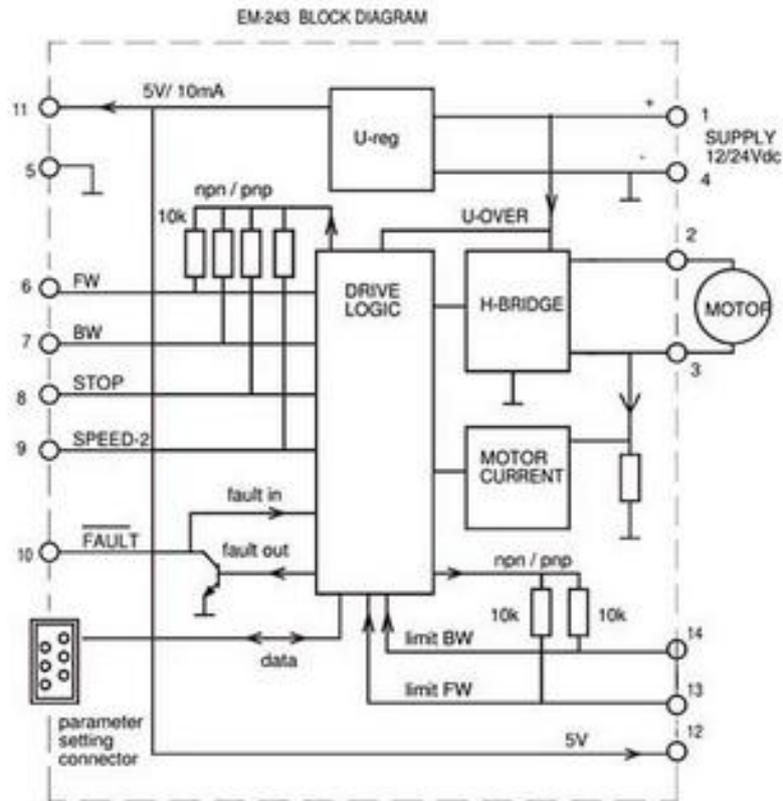


Figura 161-Diagrama controladora

Las controladoras, una por motor, irán atornilladas al carro.

El conjunto carro con todos los elementos electrónicos se muestra a continuación.

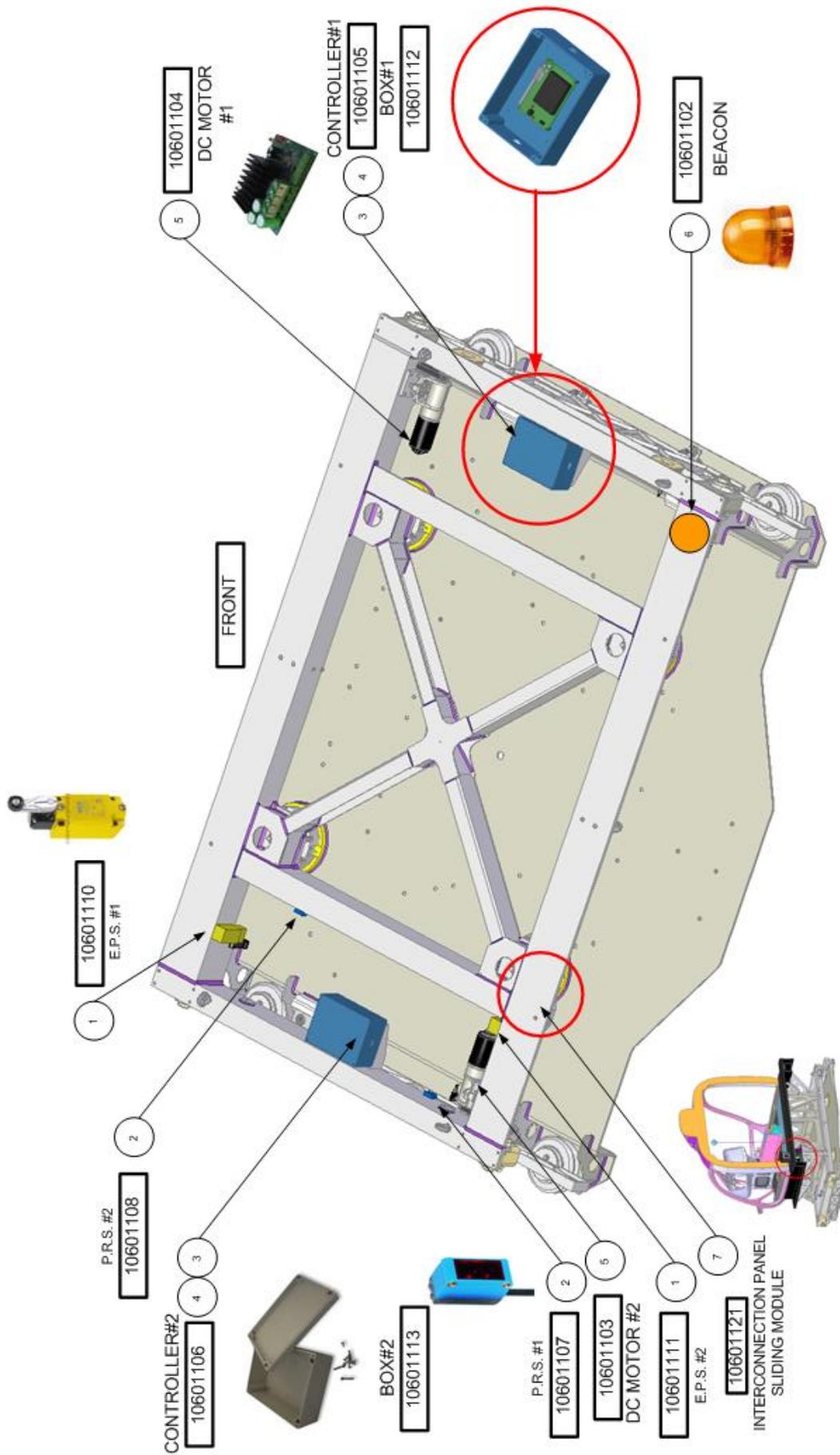


Figura 162-Carro, elementos electrónicos

En la figura anterior se distinguen los siguientes elementos:

1. I110-RA123
2. W12-2AS-i
3. Caja protección micro-controladora
4. Micro controladora EM-243 DC
5. Motor
6. Sirena de movimiento
7. Panel de interconexión del conjunto carro

- Sistema de Alimentación.

Los equipos a alimentar, junto con sus consumos, se muestran a continuación:

Tabla 51-quipos electrónicos carro

EQUIPO	INTENSIDAD MAX	CONSUMO MAX
Motor 1	9 A	216 W
Motor 2	9 A	216 W
Célula fotoeléctrica 1	20 mA	0.48 W
Célula fotoeléctrica 2	20 mA	0.48 W
Final de carrera 1	3 A	74 W
Final de carrera 2	3 A	74 W

Para alimentar los equipos mencionados en la tabla anterior será necesaria una fuente de alimentación que cumpla las siguientes características:

- Transforma la corriente de 240 VAC a 24 VDC
- Potencia 300 W
- Intensidad 10 A

Se recurre al fabricante “kepcopower” [29], concretamente a la serie RTW 13 KC que cumple con los requisitos. A continuación se muestra la forma de la fuente de alimentación:



Figura 163-Fuente de alimentación RTW 13 KC

Dicha fuente se coloca en la Plataforma de Acceso y va conectada a un enrollador de cable. Dicho enrollador de cable se conecta/desconecta al carro para alimentación y sensado de los elementos del carro.

El enrollador de cable tiene la siguiente forma:

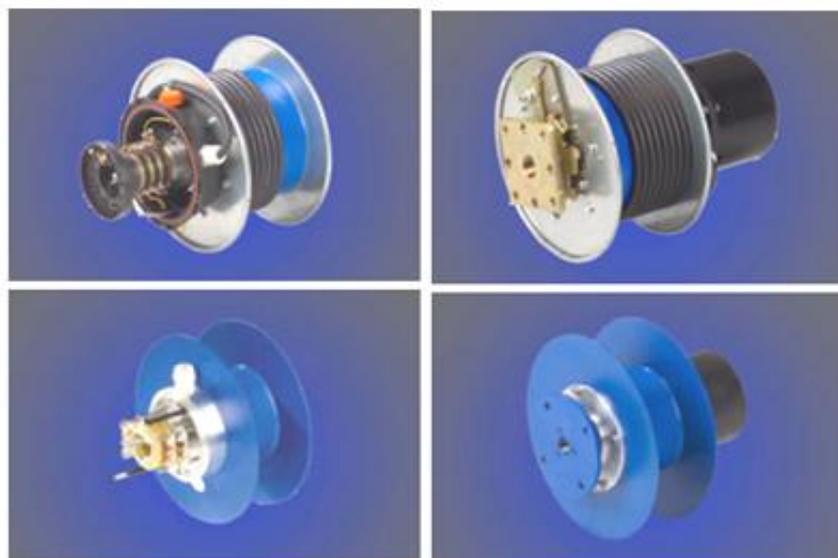


Figura 164-Enrollador de cable

Estos enrolladores gracias a un muelle de torsión aseguran con cierta fuerza que el cable siempre está tenso, por lo que una vez conectado el cable al carro y este comienza a moverse, el cable se recogerá/alargará con el movimiento del carro.

Por los cables del enrollador se llevan simultáneamente alimentación y señales y termina en un conector especial que mezcla pines de ambos cables. Los pines macho van colocados en el carro (no llevan alimentación) mientras que los hembra en el aéreo. El conector tiene la siguiente forma:



Figura 165-Conector CombiTac [30]

El conector CombiTac de “Staubli” permite la combinación de módulos para cables de distintos diámetros. El cierre asegura que el conector nunca se suelta.

Dichos conectores se consiguen bajo pedido pues cada conector lleva una configuración propia de acuerdo al pineado necesario. El siguiente gráfico muestra el pineado correspondiente a la aplicación del sistema.

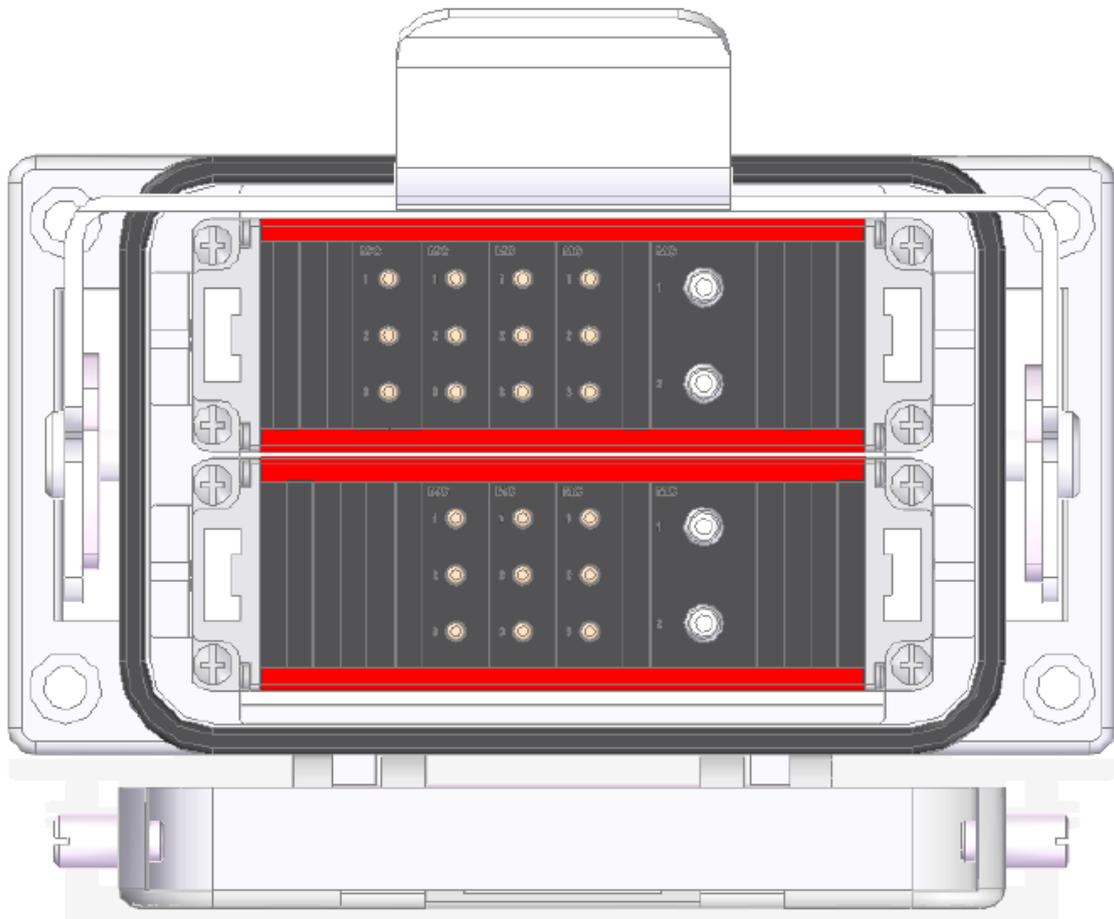


Figura 166-Conector CombiTac fijo, pineado

Este conector se conecta al carro, y a la otra parte del conector llega el cableado debido a los equipos electrónicos del carro. El cableado del carro se muestra en el Anexo D. en los planos correspondiente a dicho anexo se pueden ver los distintos relés empleados, conjunto de bornas para recibir las señales correspondientes a los sensores y una caja de resistencias que es necesaria para el correcto funcionamiento de los sensores. El plano irá acompañado de una lista de materiales así como una lista de cableado en la que se muestra los puntos inicio y fin de cada cable.

La siguiente figura muestra la posición del Enrollador de cable atornillado a la Plataforma de acceso.

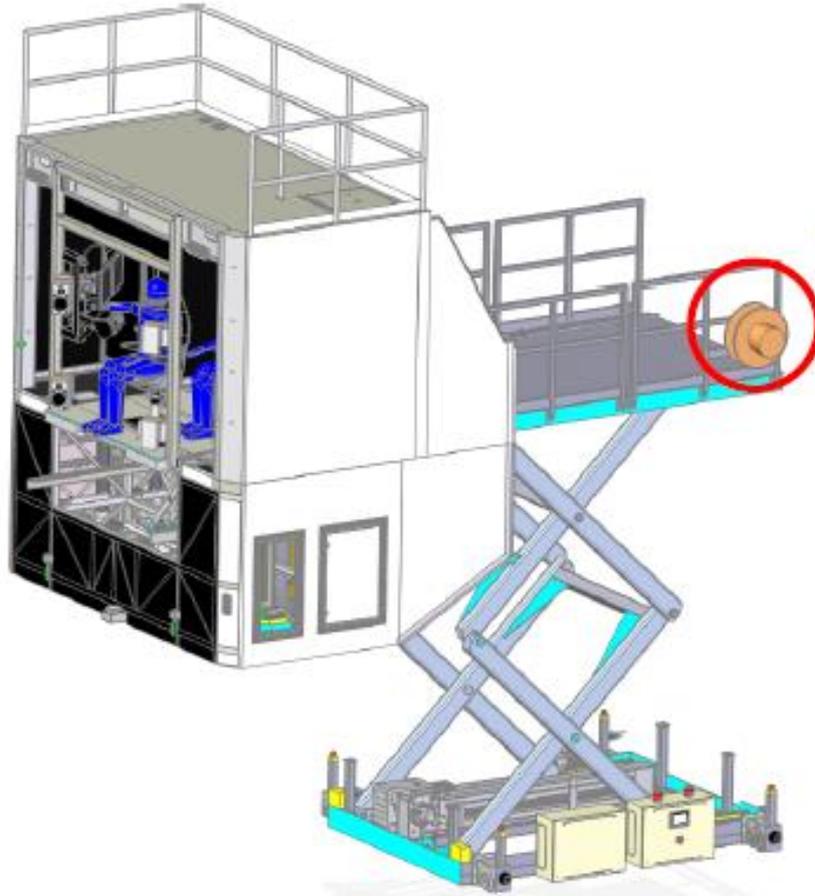


Figura 167-posición enrollador de cable

2. Sistema 1: Subir/Bajar Fijar/Soltar suelo Sala Entrenamiento :
  - Sistema de Sensado.

Para el subsistema encargado de subir/bajar suelo de Sala de Entrenamiento y fijar/soltar suelo será necesario disponer de una serie de sensores que indiquen la posición de cada uno de los actuadores. Los sensores que se emplean para sentir las distintas posiciones de los actuadores se muestran a continuación y que se encuentran en la siguiente referencia [31]:



Figura 168-Sensor Proximidad Festo SME-8

Se trata de sensores de proximidad para montaje en ranura en "T". Los sensores tienen las siguientes características.

<b>Sensor Proximidad Festo SMT-8M-A</b>	
NºReferencia	574333
Referencia 1	SMT-8M-A
Conexión	Cable con conector M8x1, M12x1, 2-3 contactos, rosca giratoria
Tensión	24 VDC
Función	Contacto cerrado en reposo, contacto de trabajo NC, NA conmutable
Salida	NPN, PNP, Bifilar, sin contacto, conmutable

Dichos sensores se posicionan de tal forma que sensan las posiciones del actuador del suelo arriba/abajo y las de dentro/fuera de los seis actuadores que fijan el suelo.

AND ARE IDENTIFIED IN THE PARTS LIST  
3.- SEE ASSOCIATED PARTS LIST

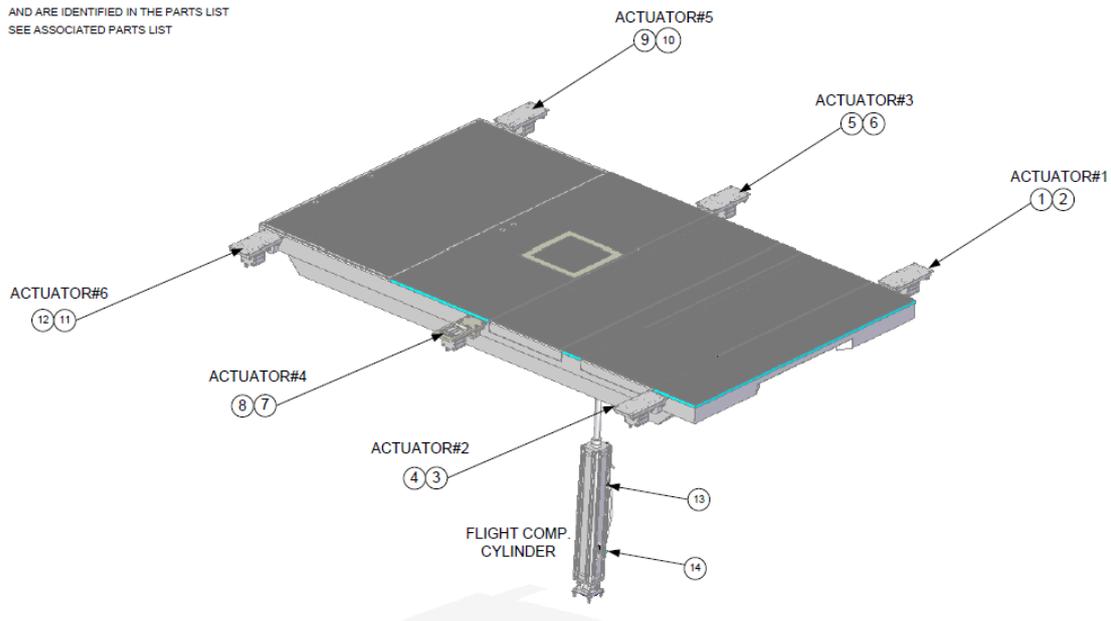


Figura 169-Sensores suelo Sala de Entrenamiento

En dicha figura se distinguen los siguientes elementos con la numeración 1-12 serán los encargados de sensar dentro/fuera de los actuadores de fijación. La numeración 13, 14 indica la posición de los sensores arriba/abajo del cilindro encargado de mover el suelo.

- Sistema de Alimentación.

Para alimentar los catorce sensores mencionados se cablearán los hilos de alimentación hasta el cuadro eléctrico mientras que los hilos correspondientes a las señales se cablean al bornero del PLC encargado del control del sistema.

3. Sistema 3: Subir/Bajar cabina
  - Sistema de Sensado.

Los dispositivos encargados de subir/bajar la cabina son los Air Spring, que por medio de fuerza neumática suben/bajan los carriles movimiento el conjunto carro, cabina y plataforma de movimiento verticalmente. Con los Air Spring sin aire el carro queda fijado por medio de los sistemas k40, mientras que con los Air Spring con aire el carro queda libre y los carriles alineados para poder mover el conjunto.

Por tanto se dispone de ocho sensores inductivos, colocados cuatro a cuatro en los dos carriles, de tal forma que dos sensores sensan carril arriba y otros dos sensan carril abajo.

Los sensores y sus características se muestran a continuación. Se trata de sensores inductivos del fabricante "Festo", modelo SIED. [32]



Figura 170-Sensor inductivo Festo, SIED

Tabla 52-Sensor inductivo Festo SIED

<b>SENSOR INDUCTIVO FESTO SIED</b>	
Nº serie	538274
Tensión	20-320 VDC
Tamaño	M12, M18, M30
Salida	Bifilar, sin contacto
Función	Contacto cerrado en reposo
Conexión	Cable bifilar

Dichos sensores detectan un metal cercano. Disponen de doble rosca para poder regular la distancia de detección del metal.

La posición de los sensores se muestra en el Anexo H. la siguiente figura la disposición de un sensor.

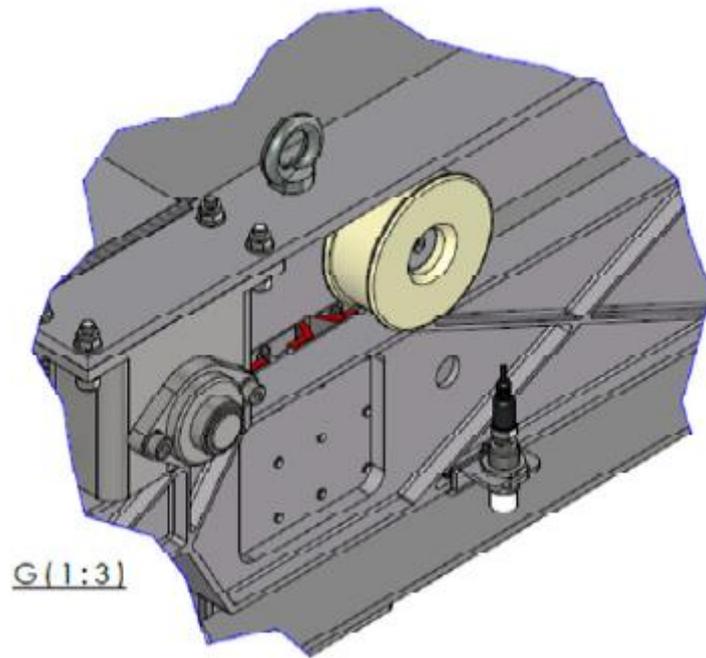


Figura 171-Montaje sensores inductivos

- Sistema de Alimentación.

De igual forma que los sensores de proximidad del punto anterior, la alimentación de los sensores viene del cuadro eléctrico y las señales de los mismos se envían al cuadro del PLC de control del sistema.

4. Elementos a retirar en el simulador-
  - Sistema sensado

Únicamente se sensa la posición retirada de los elementos mencionados en el punto “4.3 Adaptación: Sala de Entrenamiento, elementos a retirar”. Para el sensado se emplean sensores magnéticos que lo que hacen es mandar un contacto cerrado cuando existe una fuerza magnética entre ambas partes del imán al aproximarse. Los sensores y sus características se muestran a continuación [33].



Figura 172-Farnel, sensor magnético CTC 012

Tabla 53-Sensor magnético CTC012

FARNEL SENSOR MAGNÉTICO - CTC 012	
Distancia detección	<4mm
Velocidad respuesta	300 Hz
Estado	NO
Tensión	100 VDC
Intensidad	0.25 A
Consumo	10 W
Resistencia a fuerzas	20 G

- Sistema alimentación.

La alimentación y control de señales será como los sensores anteriores, a través de PLC y Cuadro Eléctrico.

## 4.6 Sistema de Control

Este punto es realizado por otro departamento de la empresa, no obstante se deben mencionar ciertos puntos para una correcta comprensión del conjunto Sistema de Intercambio de Cabinas.

Para el control del sistema se dispone de un PLC que controla las señales de los sensores dispuestos a lo largo del sistema, así como el movimiento de los actuadores del sistema.

Un PLC es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real «duro», donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Por tanto todas las señales de los sensores, así como los actuadores y los elementos de control del carro y los motores van cableados a dicho PLC que se encarga de gestionar las señales y comandar las acciones permitiendo o no ciertas acciones, en función del estado de cada momento del sistema, de acuerdo a un código que se debe implantar en el PLC.

Para el diseño del PLC se emplea “PCWorkx”.

Para que el usuario o persona encargada de llevar a cabo el proceso de intercambio de cabinas, se dispone de dos paneles o controles. Uno de ellos se encargará de monitorizar los distintos sensores del sistema y comandar las acciones de los distintos equipos neumáticos dispuestos a lo largo del sistema y el otro es un control remoto que se encarga de mover el carro delante y atrás.

El primero de los cuadros de control “PANEL#1” se muestra a continuación:

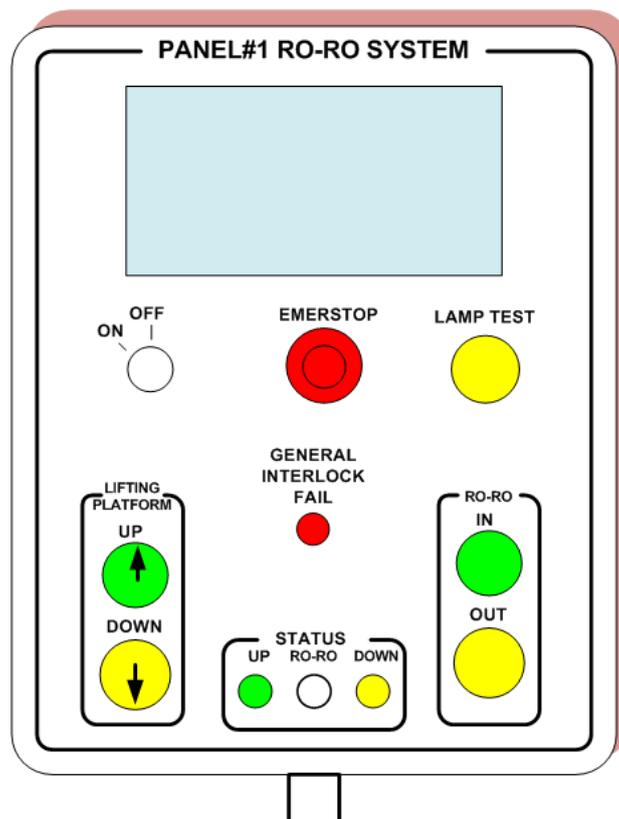


Figura 173-Panel#1 sistema intercambio de cabinas

En dicho panel se distingue una pantalla o display que muestra el estado de los distintos sensores repartidos a lo largo del sistema. Una llave de control para alimentar el cuadro (On/Off), una seta de emergencia, botón de prueba de los botones (pulsándolo se iluminan todos los led de los botones), botones Up/Down para subir/bajar la Plataforma de acceso y por último los botones IN/OUT.

El botón In sirve para bajar los raíles y cerrar los sistemas k40 y subir el suelo de la Sala de Entrenamiento, en ese orden.

El botón Out sirve para bajar el suelo de la Sala de Entrenamiento, abrir los sistemas k40 y subir raíles, en ese orden.

Por sacar la cabina se pulsa Out y para meter la cabina, una vez sobre la Plataforma de Vibración, se habilita el botón In.

EL segundo panel, conectado al primero, permite mover el carro si todos los sensores del sistema mandan la señal adecuada. El mando tiene dos botones, delante/atrás y tiene este aspecto:

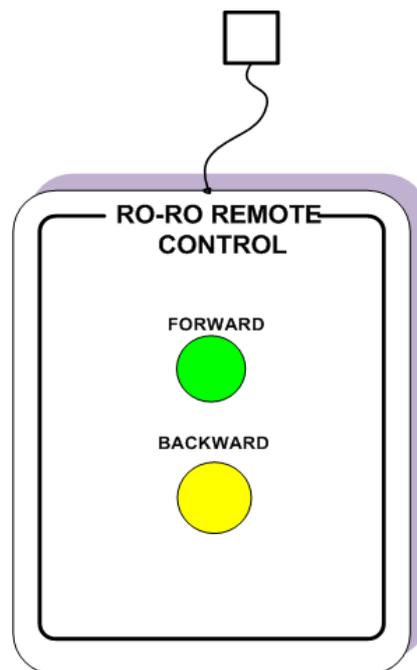


Figura 174-Mando carro

Las señales controladas por el PLC se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 54-Señales PLC

<b>SEÑAL</b>	<b>TIPO SENSOR</b>
Raíl up	Sensor Proximidad
Raíl down	Sensor Proximidad
Suelo up	Sensor Proximidad
Suelo down	Sensor Proximidad
Suelo fijo	Sensor Proximidad
Suelo suelto	Sensor Proximidad
Altavoces retirados	Sensor magnético
Mesa retirada	Sensor magnético
Asientos retirados	Sensor magnético
Puertas abiertas	Sensor magnético
Posición carro	Célula fotoeléctrica
Conectores cabina retirados	Sensor magnético
Posición Plat. Acceso	Lectores código barras

El Panel#1 se sitúa al acceso de la plataforma de acceso, de tal forma que se pueda visualizar el carro en todo momento.

De acuerdo a las señales anteriores y al código el PLC se encargará de permitir los movimientos necesarios en el sistema para llevar a cabo el proceso de intercambio de cabinas.



## 5. Proceso completo

El proceso de intercambio de cabinas solo podrá llevarse a cabo por medio de personal autorizado y cualificado.

Para comenzar con el proceso se imagina el simulador con las puertas cerradas, en posición de reposo, la cabina anclada en posición de vuelo y la plataforma de acceso en posición retirada. Con el simulador en este estado, los pasos a seguir para llevar a cabo el intercambio de cabinas en el simulador es el siguiente:

- 1) Pulsar “UP” en el Panel#1: la plataforma de acceso sube hasta la posición de extracción de cabina.
- 2) Pulsar “UP” en el Panel#1: la plataforma de acceso sube hasta la posición de entrada/salida de tripulación. Es necesario tener la Plataforma de Acceso en dicha posición para poder acceder al simulador para colocar los elementos en posición retirada.
- 3) Acceder al simulador y abrir puertas: en la pantalla debe de aparecer la señal de puertas abiertas activadas.
- 4) Retirar mesa de instructor: Soltar tetones y girar la mesa, en la pantalla debe aparecer la señal de mesa retirada.
- 5) Retirar altavoces: Soltar tetones y girar los altavoces, en la pantalla debe aparecer la señal de altavoces retirados.
- 6) Retirar asientos: Soltar tetones y deslizar asientos, en la pantalla debe aparecer la señal de asientos retirados.
- 7) Conectar conector de cable enrollable: puesto que todavía no se puede mover el carro, los botones de delante/atrás del control remoto del carro no se iluminan.
- 8) Retirar los conectores a cabina y el tubo de aire acondicionado: las señales de conectores a cabina retirados aparece activa en la pantalla del panel#1.
- 9) Pulsar “Out” en panel#1: se observa como primero baja el suelo de la Sala de Entrenamiento, posteriormente los sistemas k40 se abren y los carriles suben, liberando el carro.
- 10) Pulsar “Down” en el panel#1: la Plataforma de Acceso baja hasta la posición de extracción de cabina.
- 11) Pulsar “Backward” en control remoto del carro: el botón se ilumina permitiendo mover el carro hacia atrás. El carro se mueve hasta llegar a la Plataforma de acceso.
- 12) Pulsar “Down” en panel#1: la plataforma de acceso con el conjunto carro sobre ella se desplaza hasta la posición retirada.

El carro ya se puede descargar a un carro auxiliar y traer la cabina nueva.

Para intercambiar esta cabina por otra, será necesario tener un segundo conjunto cabina, con nuevo carro y Plataforma de Movimiento y realizar el proceso inverso para introducir la cabina. En lugar de pulsar OUT se pulsará IN y en lugar de pulsar Backward, pulsar Forward en el mando de control remoto. Una vez la nueva cabina quede posicionada, los elementos a retirar fijos y las puertas cerradas, se puede comenzar a simular con la segunda cabina.

## 6. Conclusiones

### 6.1 Conclusiones

En este proyecto se ha conseguido cumplir con el objetivo principal que era diseñar un sistema de intercambio de cabinas para un simulador de vuelo de helicóptero. Para ello se han debido de realizar diversas propuestas hasta dar con un diseño final aprobado por el cliente final Eurocopter.

Dicho sistema está formado por varios subsistemas (eléctrico, neumático y electrónico) los cuales han sido diseñados de tal forma que se empleen el mayor número de elementos comerciales posibles para aumentar la repetitividad del conjunto para futuros simuladores.

Se han abarcado las áreas de diseño estructural empleando herramientas de diseño mecánico como Solid Edge para cálculo estructural, sistemas neumáticos y sistemas eléctricos. Pese a que el cálculo estructural es realizado por una empresa externa (Xúquer), se han realizado estudios de esfuerzos en piezas susceptibles de error para poder continuar con el diseño del sistema hasta dar con la solución final.

Del sistema de control a través de PLC se encarga otro departamento de la empresa, no obstante se hace mención en un punto del documento para dar mayor claridad al proyecto a la hora de explicar el proceso de intercambio de cabinas.

Dado que dicho sistema se debe incluir dentro de simuladores de vuelo que ya están diseñados se ha tenido que llevar a cabo un estudio de las distintas modificaciones llevadas a cabo en el simulador para poder incluir el sistema de intercambio de cabinas.

Finalmente se explica el proceso completo para extraer la cabina paso a paso para dar mayor claridad a las funciones que un operario debe realizar para llevar a cabo todo el proceso.

### 6.2 Cambios y Rediseño

Tras realizar el diseño la empresa Xúquer se encarga de realizar los cálculos estructurales pertinentes, así como la fabricación de las piezas. Una vez el sistema está fabricado se procede a su instalación. Tras la instalación comienza la puesta a punto del sistema y aparecen ciertos errores o cambios que se deben realizar para perfeccionar el sistema, estos cambios son:

1. Los sistemas de anclaje de la cabina a la plataforma de vibración “k40” presentan un sistema de purgado de los dispositivos que no se ha contemplado en la fase de diseño. Es por ello que se incluye una válvula de accionamiento neumático Camozzi de 3 vías que se encargue del purgado del sistema.

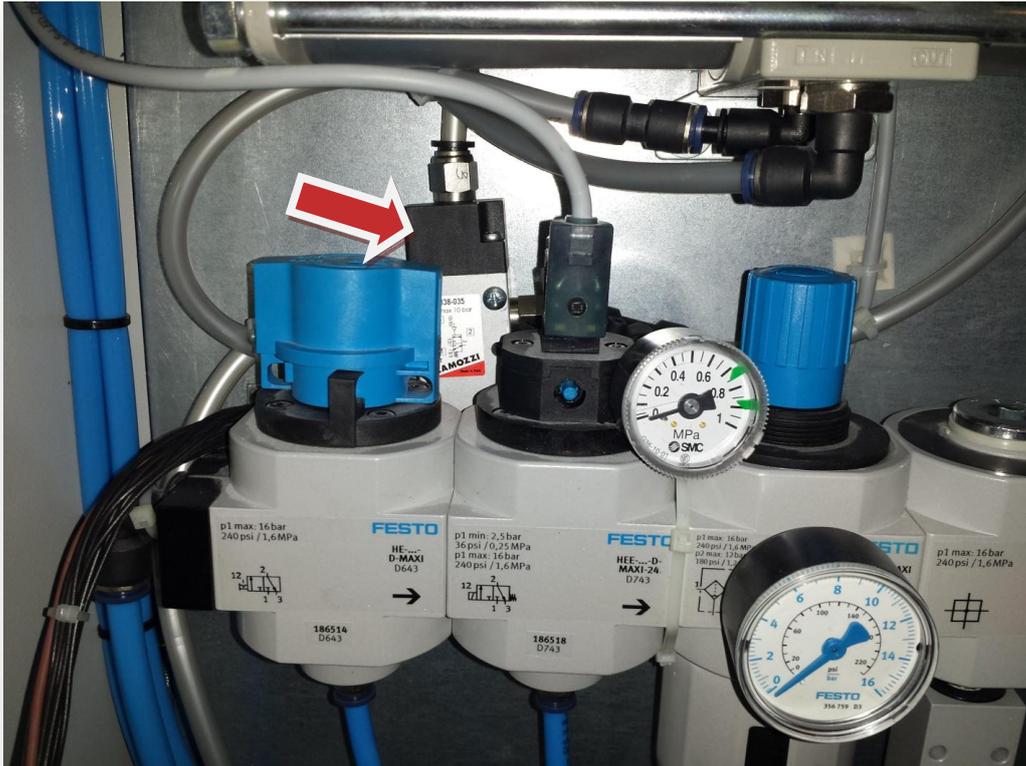


Figura 175-Válvula Camozzi

2. El actuador festo DNC encargado de subir/bajar el suelo de la Sala de Entrenamiento no dispone de freno, por lo que en caso de pulsar una seta de emergencia del simulador, éste no se para puesto que la presión neumática sigue actuando sobre dicho actuador y este sigue subiendo/bajando tras pulsar la seta. Esto puede generar accidentes por lo que el cliente decide que un freno es necesario. El propio fabricante Festo ofrece la siguiente solución.

Tabla 55-Cilindro con Freno DNCKE

Cilindro con bloqueo de posición				
Tipo	Diam. Émbolo (mm)	Carrera (mm)	Fuerza (N)	Descripción
DNCKE	40.63.100	10-2000	1300-8000	-Cilindros para detener, sujetar y frenar -Distribución de los agujeros de fijación conforme a ISO 15552 -Bloqueo del vástago en cualquier posición.

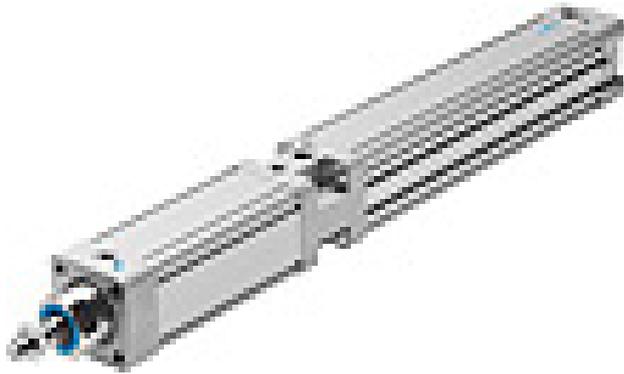


Figura 176-cilindro con acople freno

3. Se detecta que a la hora de abrir las puertas del simulador con la Plataforma de Acceso en posición de acceso de tripulación estas chocan contra los carriles montados sobre la plataforma. Se debe proceder a perfilar los carriles disminuyendo su longitud en 1 cm de tal forma que no se produzca dicho choque.
4. Los motores montados en el carro encargado de mover la cabina tienen cierta inercia. Por ello, desde que la célula fotoeléctrica detecta el espejo reflector hasta que se detiene se produce cierto desfase en la posición del mismo. Se debe proceder a posicionar los espejos de tal forma que el posicionamiento del carro no se vea afectado por la inercia de los motores.
5. Durante la puesta a punto del sistema se reciben señales erróneas de varios sensores dispuestos a lo largo de todo el sistema. Por ello se procede a puentear todas las señales en el cuadro eléctrico y en el PLC y se va quitando puente a puente para chequear fallos en los sensores hasta dejar el sistema calibrado perfectamente.

## 7. Bibliografía

- [1] <http://www.faa.gov> 2013
- [2] <http://www.faa.gov> 2013
- [3] Guerra. A: "SIMULACIÓN DE VUELO: PRIMEROS TIEMPOS Y ENTRENAMIENTO DE VUELO POR INSTRUMENTOS.". Introducción, 2012
- [4] Ruggles. W, Patente "Orientador Ruggles" Figura 1, Octubre, 11-1921
- [5] Lender. M y Heidelberg. P, Patente "Dispositivos de entrenamiento de vuelo", Francia, 1917
- [6] Rougerie. L, Patente "Training Device for Pilots", Abril-1929
- [7] Sergeant R.C. Hobbs, Patente "Gunairinstructor", 1944-Noviembre

- [8] Guerra. A: "SIMULACIÓN DE VUELO: UN POCO DE HISTORIA". Introducción. 2012
- [9] Normativa certificación Simuladores de Vuelo. 12-2009
- [10] Normativa certificación Simuladores de Vuelo. IOS. Año 2012
- [11] <http://www.airbushelicopters.com> 2014
- [12] Normativa certificación Simuladores de Vuelo. DEP. Año 2012
- [13] <http://www.winkel-sl.es> 2014
- [14] <http://www.forankra.es> 2013
- [15] <https://www.youtube.com/watch?v=fTXUF6QxF60> 2013
- [16] <http://www.dissetodiseo.com> 2013
- [17] <http://www.vinca.es> 2014
- [18] <http://static.plenummedia.com> 2014
- [19] <http://www.winkel.de> 2014
- [20] I. Zabala Villalba, Libro Mecánica II,. Año 2007
- [21] <http://www.doga.es> 2014
- [22] <http://www.epidor.com> 2014
- [23] <http://www.festo.com> 2014
- [24] <http://www.weforma.com> 2014
- [25] <http://www.festo.com> 2014
- [26] <http://www.legris.com> 2014
- [27] <https://www.mysick.com> 2014
- [28] <http://www.electromen.com> 2014
- [29] <http://www.kepcopower.com> 2014
- [30] <http://www.staubli.com> 2014
- [31] <http://www.festo.com> 2014
- [32] <http://www.festo.com> 2014
- [33] <http://uk.farnell.com> 2014

**RORO-1.** The displacement module shall allow the cockpit displacement from the position within the training station until locating it on top of the elevation/access platform.

*El modulo de desplazamiento deberá permitir el movimiento de la cabina desde su posición en la sala de entrenamiento, hasta la plataforma de acceso al simulador.*

**RORO-2.** The displacement module shall allow fixing the cockpit to the vibration platform within the training station.

*El modulo de desplazamiento deberá permitir en anclaje de la cabina a la plataforma de vibración, en la sala de entrenamiento.*

**RORO-3.** The displacement module shall be fix by means of screw to the bottom part of the cockpit structure, to be installed on top of the vibration platform within the Training station.

*El anclaje entre modulo de desplazamiento y la parte inferior de la cabina será mediante tornillería.*

**RORO-4.** The displacement module shall support a payload of 1200 kg.

*El modulo de desplazamiento deberá soportar una carga de 1200 kg.*

**RORO-5.** The horizontal dimensions of the displacement module shall be 2x1.8 m.

*Las dimensiones horizontales del modulo de desplazamiento deberán ser 2x1.8 m.*

**RORO-6.** The displacement module shall have a maximum height of 0.15 m.

*El modulo de desplazamiento deberá tener una altura máxima de 0.15 m.*

**RORO-7.** The displacement module shall have a maximum weight of 150 kg.

*El meso máximo del modulo de desplazamiento deberá ser de 150 kg.*

**RORO-8.** The displacement module shall include a system (i.e. rail) to allow the displacement of the cockpit from the top of the vibration platform to the elevation platform.

*El modulo de desplazamiento deberá incluir un sistema (por ejemplo raíles) que permita el desplazamiento de la cabina desde la parte superior de la plataforma de vibración hasta la plataforma de acceso al simulador.*

**RORO-9.** The displacement module shall have a fixing system to allow in a quick and simple manner the anchoring/un-anchoring.

*El modulo de desplazamiento deberá incluir un sistema de rápido anclaje/des-anclaje.*

**RORO-10.** The displacement module shall allow proper transmission of the vibration generated by the vibration platform, once the module is anchored to the vibration platform.

*El modulo de desplazamiento deberá permitir la transmisión de vibraciones desde la plataforma de vibración una vez que este anclado a ella.*

**RORO-11.** The displacement module shall be able to support the loads derived to support the cockpit to the vibration platform during movement. The maximum load shall be generated when failure of the motion system with 2.5g acceleration in any direction.

*El modulo de desplazamiento deberá poder soportar las cargas derivadas de la plataforma de vibración. Además, la carga máxima que deberá soportar estará derivada de un fallo en el sistema de movimiento, siendo la carga máxima en caso de tal fallo de 2.5g.*

**RORO-12.** The displacement module shall not generate undesired noises (i.e. due to vibration and motion system).

*El modulo de desplazamiento no deberá permitir ruidos indeseados. (por ejemplo los debidos a la vibración y el sistema de movimiento).*

**RORO-13.** The displacement module shall be painted in matt black to avoid reflections to the visual system.

*El modulo de desplazamiento deberá estar pintado en negro mate para evitar cualquier tipo de reflejo proveniente del sistema visual.*

## **BAY REQUIREMENTS**

### **Bay floor Requirements**

Installing the motion system in the bay demands a set of strict floor requirements.

The motion base is anchored to the floor by means of three 1.2x1.2m square floor pads that are placed on the vertices of an equilateral triangle, which fits inside a 7.5m diameter circumference. Each pad supports the load of two motion system actuators. These floor pads shall be bolted by chemical anchors (HILTI HIT HY150 injection adhesive anchoring system) to a continuous and steel reinforced concrete slab, grade C25 or better, independent from the building's foundation/structures with vibration isolation. The minimum required dimensions for the slab shall be:

Length:	7,5m
Width:	8m
Depth:	1m
Steel reinforcement level under floor:	20mm

**The slab shall be able to resist the worst case floor loading force takes place in the case of simultaneous double actuator runway:**

Tensile force (pull):	600 kN
Shear force (horizontal):	600 kN

**The supplier of the facility floor shall make detailed calculations and guarantee that both the depth of the reinforcement and the type of concrete used are able to support these forces and are compliant with local regulations.**

The top of the foundation shall be in level with the simulator hall floor level. The flatness of the surface shall accomplish:

Maximum height difference under a pad:	3 mm
Maximum height difference between two pads:	5mm

**The exact location of the slab must be decided during the design phase of the simulator because it depends on the simulator's motion envelope.**



Figura 177-Malla metálica suelo simulador

#### **Other elements installed in the bay**

##### **ACCESS LIFTING PLATFORM**

An access lifting platform will be installed in the training bay with two functionalities:

1. Allow the access of the crew from the first floor of the building to the Training Station.
2. Allow raising and lowering the Simulator cockpit from the floor of the building up to the Training Station.

This access lifting platform will be placed behind the training station.



Figura 178-Accesos simulador

The dimensions of the access lifting platform are:

Length: 3,5 m

Width: 2,5 m

The access lifting platform will move laterally to allow load/unload the Simulator cockpit from the access lifting platform to the transport cart avoiding the motion base.

#### **AUXILIARY CHARIOT**

Indra will provide a transport cart.

The Mission of the transport cart is to allow the displacement of the cockpit on the floor of the building from the access lifting platform up to its storage place or docking station.

The dimensions of the transport cart are:

Length: 2.7 m

Width: 2,7 m

A passage, free of obstacles, from the access lifting platform to the docking station shall be necessary. The dimension and shape of this passage depend of the relative position of the EC145-T2 simulator and docking station.

A minimum area of 4 x 3 m to store the transport cart when unused shall be provided in the bay.

The following figures show the SCRM and the Auxiliary Chariot dimensions:

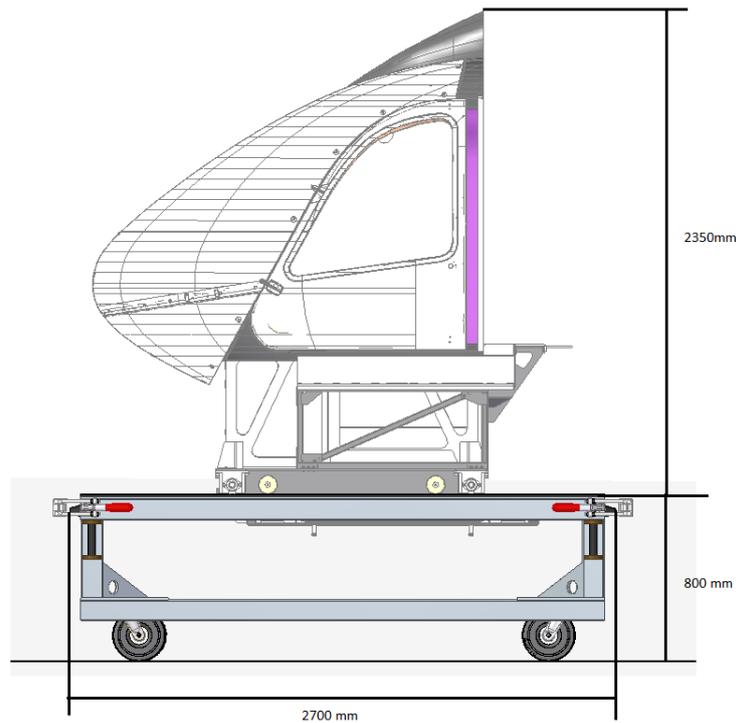


Figura 179-Dimensiones conjunto carro auxiliar

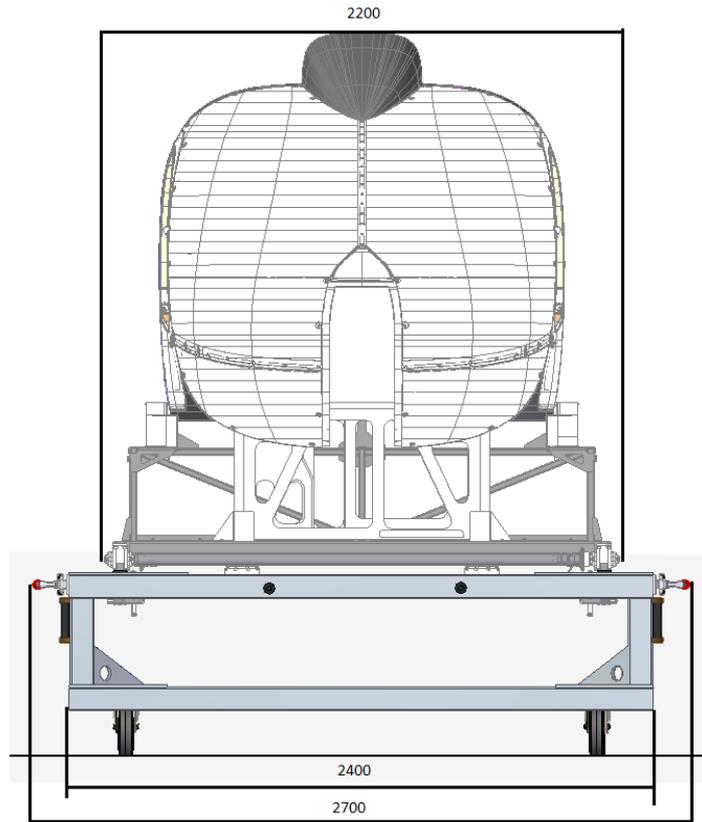


Figura 180-Dimensiones carro auxiliar'

### OPERATING ENVELOPE

This section shows the approximate size of the EC145-T2 FFS Level D motion operating envelope, which will allow designing the training bay with an appropriate size. The exact motion envelope will be provided once calculated.

	<b>DOME Radius = 3.25 m</b>
	<b>FoV: 210° H x 80° V (-50°, +30°)</b>
<b>X (m.)</b>	13.64 m
<b>Y (m.)</b>	12.68 m
<b>Z (m.)</b>	11.00 m

The training bay shall not have any element inside this envelope.

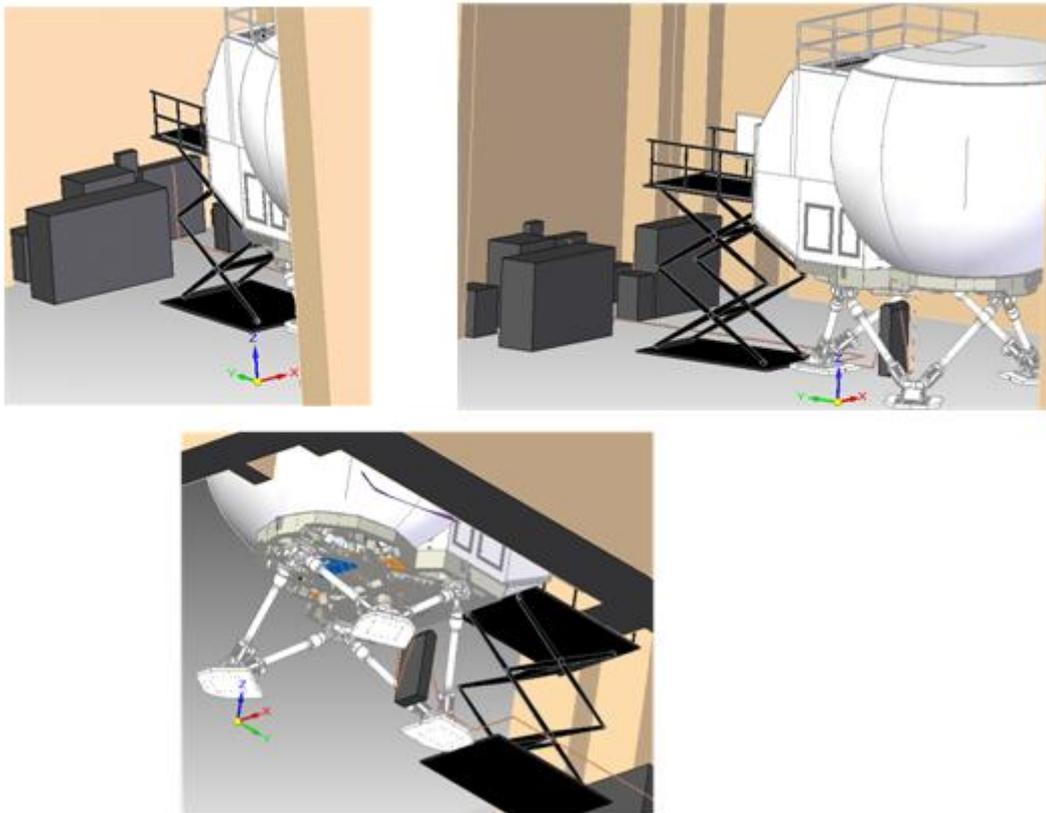
### CABLING ROUTES

Indra will install interconnection cables between different points of the facility: training station, computer room, electrical PDB's (Power Distribution Box), motion system, etc.

**Cabling routes with cable trays or trunking to allow these interconnections shall be provided.**

The following points must be taken into account:

- Cables shall enter/exit the computer room inside cable trays located either under the technical floor (if available) or else in the drop ceiling.
- Cables shall enter/exit the training station via a waterfall below the training station (near to the motion system centroid).



**Figura 181-Cableado Simulador**

Keeping interconnection cable length under 35m has been specified several times throughout this document and shall be considered to determine the positions of the computer room. This limit shall also include the following distances.

- 5m to route cables inside the computer room
- 6m for the waterfall and 10m to route cables inside the training station

All these distances must be taken as guidelines. Indra will verify that all requested cabling routes are within the stated limits once a preliminary design for the building is available.

**SIMULATOR ACCESS**

The access to the EC-145-T2 FFS will be done by means of an access lifting platform, provided and installed by Indra.

This platform will be raised to allow the access of the crew from the first floor of the building to the Training Station.

The facility design shall consider the necessity to access to the access lifting platform from a walkway when the access lifting platform will be at the height of 4565 m from the bay floor.

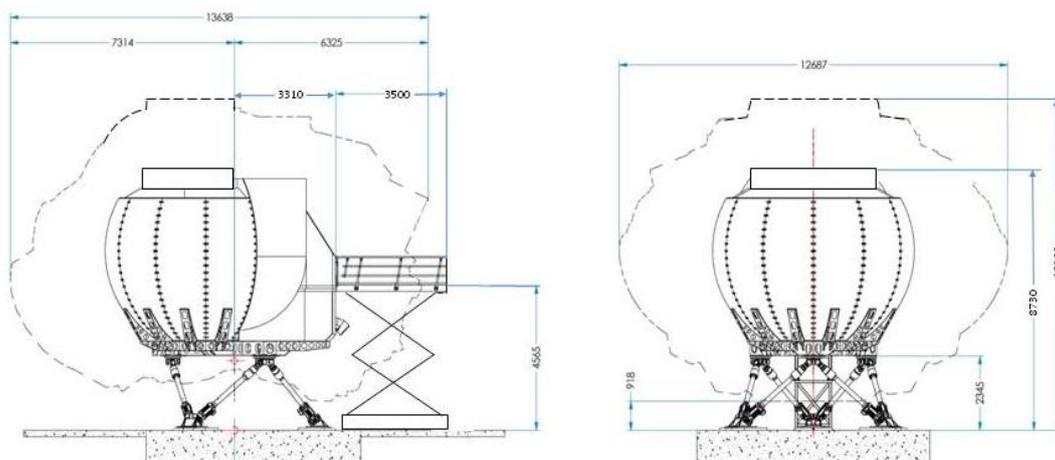


Figura 182-Envolvente Simulador

**SITE ACCESS**

A suitable access for heavy vehicles to transport the FSTD shall be provided. The following requirements shall be taken into account:

Maximum Load:	40 t
Turn radius:	10m
Height:	3.5m
Track:	2.5m

An unloading area shall also be foreseen.

The bay shall also be accessible by means of a door of the following dimensions:

Height: 8m

Width: 8m

These dimensions will allow a heavy truck to enter the bay backwards in order to make unloading easier.

Taking into account the free place needed to allow this movement the total area occupied by the access lifting platform shall be:

Length: 4 m

Width: 7,5 m

The simulator bay shall have enough space to locate this element.

The following figure shows a bay floor drawing with the Access Lifting Platform dimensions:

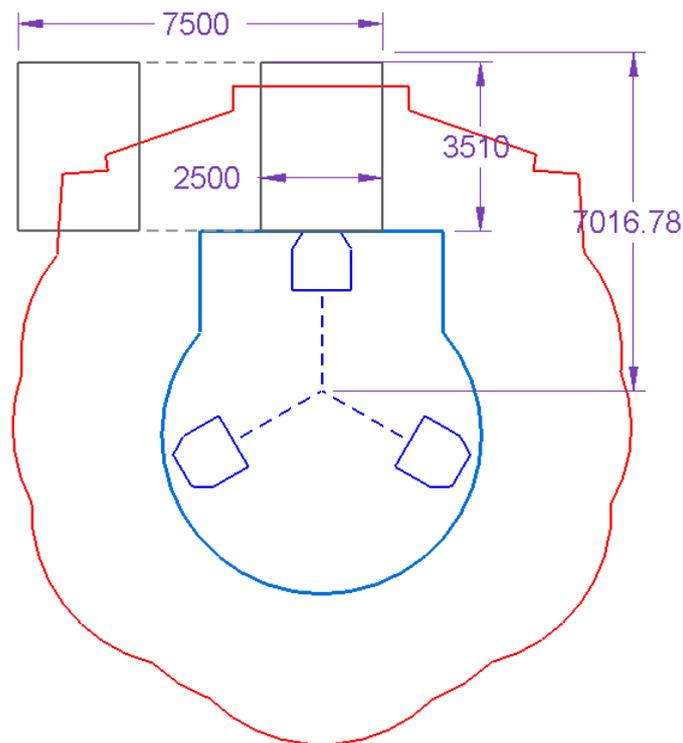


Figura 183-Planta envolvente



Figura 184-Sistema de elevación Serapid

A finales del siglo XVII, uno de los modos en que los británicos disfrutaban del fin de semana era haciendo una excursión más allá del canal, llevando el terror y el pillaje a los pueblos de la costa norte de Francia. Dieppe, en Normandía, fue una de las zonas más afectadas por dicha acción, especialmente en el año 1694, cuando sufrió un bombardeo de tres días que destruyó al menos 2.000 edificios. Para escapar de su suerte y evitar estos trastornos, muchos de los fabricantes de cronómetros, relojes y herramientas se mudaron a las zonas rurales cercanas. Hoy en día, estos movimientos de hace tres siglos nos han dejado como legado todo un rosario de establecimientos de ingeniería de alta tecnología. Uno de estos negocios especializados reside en la pequeña localidad de Londinières, a 25 Km. de Dieppe hacia el litoral, y cada vez está siendo más conocido a nivel mundial en el gremio de ingeniería de escenarios como la empresa responsable del desarrollo de la tecnología de cadena rígida. Serapid comenzó a funcionar de un modo muy modesto en 1972. Se trabajaba en un pueblo cercano llamado Saint-Nicolas-d’Aliermont, en un pequeño espacio dentro de una empresa de ingeniería mucho mayor (Garconnet) que aún hoy fabrica muchas de las piezas de sus productos. Sus comienzos se concentraron en el suministro de equipamiento de cambio rápido de troqueles para la industria de la automoción, cadenas especiales para la industria nuclear y

equipamiento para transporte lineal. Actualmente, estos productos aún forman la base de la empresa, junto con la fabricación de gatos mecánicos basados en su tecnología de cadena rígida. No obstante, en 1993, Serapid comenzó a introducirse en el mundo del espectáculo. Algunas empresas americanas tomaron la idea de la cadena rígida y comenzaron a utilizar el sistema en espectáculos como *El Fantasma de la Ópera* o *La Bella y la Bestia*. Glantre Engineering, que por desgracia ha desaparecido recientemente, era otra empresa que comenzó sin saberlo la introducción de Serapid en el sector de la tecnología de escenarios. En 1996, realizaron una investigación que luego resultó en la utilización del sistema de cadena horizontal para el movimiento de contenedores en el buque para cruceros Grand Princess. A su vez, este hecho hizo que Serapid actualizase su sistema horizontal, especialmente para lograr un funcionamiento más silencioso. Esto se logró utilizando rodillos de poliuretano, engranajes con dientes especiales, guías de aluminio y guías especiales allí donde fuese necesario. Existen dos versiones distintas: la cadena 40, con un recorrido de 30 metros, una fuerza de 7,5 kN y una velocidad nominal de 0,5 m/s y la cadena 60, con un recorrido de 50 metros, una fuerza de 25 kN y la misma velocidad nominal. En 1997, Waagner-Biro instaló el primer "sistema bajo tierra" en el Gran Teatre del Liceu de Barcelona, donde se utilizan 14 sistemas de cadena horizontal para mover un escenario completo, como puede verse en el esquema de la página 8. La ilustración también muestra el sistema horizontal de Serapid, en el que la utilización de barras transversales permite el movimiento de los vagones en ambas direcciones. Actualmente ya se han instalado numerosos sistemas de este tipo, especialmente en buques para cruceros. Serapid es una empresa con un crecimiento continuo. Hoy en día posee oficinas en Alemania y Estados Unidos y abrirá una filial en el Reino Unido en el año 2002. Serapid emplea a un total de 87 personas, de las cuales 52 trabajan en Francia. El crecimiento registrado en el sector de la tecnología de escenarios ha sido extraordinario, hasta el punto de multiplicar por cinco el volumen de negocios en cinco años, desde que se realizara aquella primera instalación en un buque para cruceros. El siguiente hito fue el lanzamiento, en 1999, del LinkLift 100 vertical y su presencia en LDI 1999 en Orlando. En dos años, los LinkLifts (modelos 50 y 100) se han instalado en teatros de Estados Unidos, Alemania, Australia, Suecia, Abu Dhabi y Francia y están a punto de realizar su aparición en el Brighton's Dome del Reino Unido, después de que se complete el programa de restauración que se encuentra en curso en estos momentos. La política general de Serapid es no vender directamente al usuario final, sino suministrar sus sistemas utilizando la ruta usual del instalador del proyecto o del ingeniero consultor. No obstante, recientemente se han visto muy envueltos en un proyecto de construcción de una plataforma multi-escenario giratoria integrada para HMS en Saint-Nazaire. Se trata del nuevo buque Coral Princess de 80.000 toneladas de P&O Princess Cruises, que se está construyendo actualmente en los astilleros de Chantiers de l'Atlantique y que se espera comience a funcionar en octubre del 2002. En este caso, resultaba mucho más sencillo llevar a cabo el proyecto en la calma de sus propios talleres, lo cual justificó que se encargasen de la completa fabricación de este elemento escénico del proyecto. Esta operación era extremadamente compleja y en estos momentos se están instalando en el buque las intrincadas secciones ya construidas.

Los elementos escénicos de este proyecto están formados por tres plataformas giratorias: dos más pequeñas para flanquear el gran elemento central, lo cual incluye distintos niveles de plataformas divididas y la capacidad de girar 360 grados. La plataforma central tiene un diámetro de 9 metros y cinco plataformas elevadoras incorporadas. La elevación es de 1 metro con una precisión de  $\pm 0,5\text{mm}$  y una velocidad de elevación de 0 a 35 m/s. El juego entre las distintas plataformas es de 5 mm. Los dos giros más pequeños tienen 5 metros de diámetro con tres unidades de plataforma. La velocidad de rotación para los tres giros es de 0 a 1.200 m/s en el perímetro. Uno de los mayores problemas de los diseñadores de Serapid era la necesidad de limitar la altura mínima de las plataformas giratorias a 350 mm, al mismo tiempo que se incorporaba todo el equipo de rotación y elevación para las distintas plataformas por debajo de esta altura. En septiembre se recibió otro pedido de plataforma giratoria para un buque. La fecha de entrega es abril de 2002 y, sin duda alguna, aún habrá más pedidos de este tipo. Para ayudar al lanzamiento de su filial en el Reino Unido, Serapid será uno de los patrocinadores de la próxima conferencia *Theatre Engineering and Architecture 2002*, que se celebrará en Londres en el mes de junio. Después de este acontecimiento, se realizará una exposición en el **ABTT Theatre Show**.

### Anexas C. Weforma

	Höhe - Height Hauteur - Altezza - Altura			Tragkraft - Load - Charge Peso - Carga (kN)			Höhe - Height Hauteur - Altezza - Altura			Tragkraft - Load - Charge Peso - Carga (kN)			Höhe - Height Hauteur - Altezza - Altura			Tragkraft - Load - Charge Peso - Carga (kN)		
	mm	2 bar	4 bar	6 bar	mm	2 bar	4 bar	6 bar	mm	2 bar	4 bar	6 bar	mm	2 bar	4 bar	6 bar		
WBZ 100	80	1,8	3,5	5,4	120	1,4	2,7	4,1	140	1,1	2,2	3,3	180	1,1	2,3	3,5		
WBZ 200	80	2,8	5,7	8,5	140	1,9	3,9	5,8	180	2,1	4,1	6,3	200	2,3	4,8	7,3		
WBZ 250	80	4,1	8,1	12,2	140	3,0	6,0	9,0	180	3,2	6,2	9,6	200	3,2	6,2	9,6		
WBZ 300	80	4,5	9,1	13,7	160	3,3	6,5	9,9	200	4,8	9,4	14,2	230	2,7	5,6	8,8		
WBZ 320	80	4,9	9,7	14,7	160	3,9	7,8	11,9	200	5,5	11,0	16,6	290	2,7	5,6	9,0		
WBZ 400	80	6,9	13,4	19,7	170	4,8	9,4	14,2	230	6,7	13,3	20,6	240	6,7	13,3	20,6		
WBZ 430	110	6,2	12,3	18,7	170	5,5	11,0	16,6	290	4,4	10,8	17,0	320	4,4	10,8	17,0		
WBZ 500	100	11,2	22,1	34,1	160	9,7	19,4	29,5	240	11,0	22,1	33,5	240	11,0	22,1	33,5		
WBZ 520	100	12,2	24,4	36,3	220	9,7	19,4	29,4	300	8,6	17,7	27,7	300	8,6	17,7	27,7		
WBZ 600	100	16,2	32,3	48,7	200	13,1	26,4	39,8	240	10,0	20,4	32,0	320	10,0	20,4	32,0		
WBZ 630	100	18,6	36,8	52,4	220	14,0	28,0	42,0	330	15,6	31,3	47,0	330	15,6	31,3	47,0		
WBZ 640	120	17,5	34,8	52,9	240	14,0	28,0	43,3	320	19,6	39,4	58,9	220	19,6	39,4	58,9		
WBZ 700	90	30,0	60,0	90,0	210	24,0	50,0	75,0	330	23,4	47,7	73,4	270	23,4	47,7	73,4		
WBZ 730	100	25,1	50,1	75,2	160	23,1	46,4	70,0	220	29,0	58,6	88,5	450	18,7	37,8	58,8		
WBZ 750	120	35,3	70,5	105,7	210	30,0	60,0	91,0	270	26,0	53,0	84,0	500	26,0	53,0	84,0		
WBZ 800	150	39,6	79,3	119,3	350	29,0	58,6	88,5	450	18,7	37,8	58,8	450	18,7	37,8	58,8		
WBZ 900	100	60,7	123	186,0	300	49,3	102,0	155,0	500	26,0	53,0	84,0	500	26,0	53,0	84,0		

### Anexas D. Cableado Carro

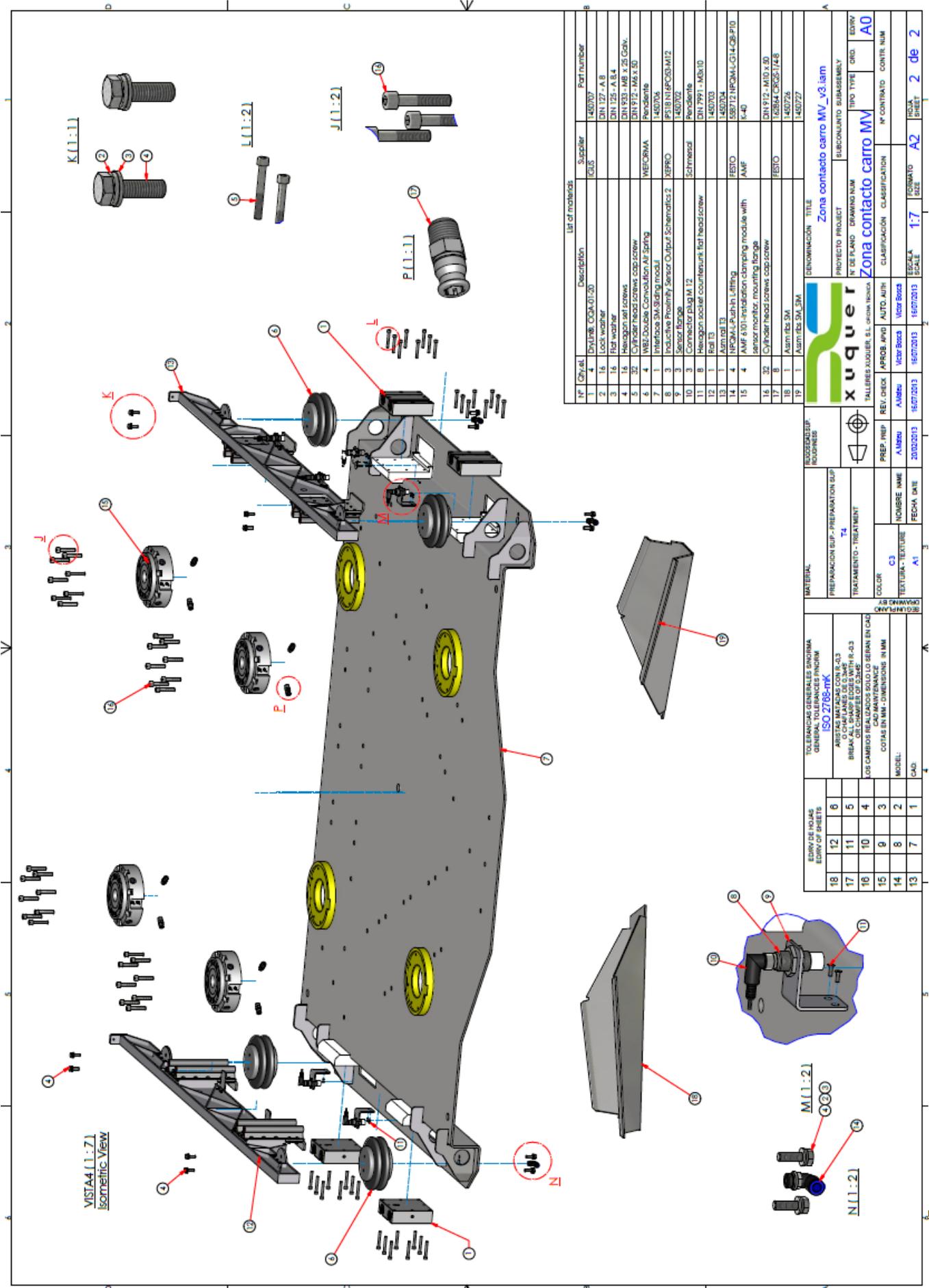


WIRE IDENTIFICATION	FIND N°	DESCRIPTION	FROM			TO			REMARKS	NOTES
			REF. DESIGNATOR	PIN	FIND N°	REF. DESIGNATOR	PIN	FIND N°		
01	1	24VAC o1 RELAYS	10601121-J1	A-1	9	10601121 TB1	1	4		2
02	1	24VAC o2 RELAYS	10601121-J1	A-2	9	10601121 TB1	2	4		2
03	1	24VAC o1 DIO	10601121-J1	A-3	9	10601121 TB1	3	4		2
04	3	LIMIT BACKWARD DI	10601121-J1	B-2	9	K10	14	5		
05	3	LIMIT FORWARD DI	10601121-J1	B-3	9	K9	14	5		2
06	3	MOTOR EMER STOP 1	10601121-J1	C-1	9	K8	A2-	5		2
07	3	MOTOR EMER STOP 2	10601121-J1	C-2	9	K8	A2+	5		2
08	3	FORWARD DO	10601121-J1	C-3	9	K7	A2-	5		2
09	3	BACKWARD DO	10601121-J1	D-1	9	K6	A2-	5		2
10	3	MOTOR FAULT 1	10601121-J1	D-2	9	K4	21	5		2
11	3	MOTOR FAULT 2	10601121-J1	D-3	9	K3	21	5		2
12a	2	24VDC	10601121-J1	E-1	9	10601121 TB1	10	4	RED (AWG12)	2
12b	2	GND	10601121-J1	E-2	9	10601121 TB1	15	4	BLACK (AWG12)	2
14	3	BEACON SCRUM	10601121-J1	F-1	9	K5	A2-	5		2
15	3	PHOTOELECTRIC 1 DI	10601121-J1	F-2	9	K2	11	5		2
16	3	PHOTOELECTRIC 2 DI	10601121-J1	F-3	9	K1	11	5		2
17	3	SCRM CONNECTOR DI	10601121-J1	G-1	9	10601121-J1	H-1	9		2
18	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	3	4	K10	11	5		2
19	3	24 VAC o1 RELAYS	10601121 TB1	1	4	EPS1	1			
20	3	24 VAC o1 RELAYS	EPS1	2		K10	A2-	5		
21	3	5VDC	K10	21	5	CONTROLLER #1	12	14		
22	3	LIMIT BW	K10	24	5	CONTROLLER #1	14	14		
23	3	24 VAC o2 RELAYS	10601121 TB1	2	4	K10	A1+	5		1
24	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	3	4	K9	11	5		
25	3	24 VAC o1 RELAYS	10601121 TB1	1	4	EPS2	1			
26	3	24 VAC o1 RELAYS	EPS2	2		K9	A2-	5		
27	3	5VDC	K9	21	5	CONTROLLER #2	12	14		
28	3	LIMIT FW	K9	24	5	CONTROLLER #1	13	14		

WIRE		DESCRIPTION	FROM			TO			REMARKS	NOTES
IDENTIFICATION	FIND N°		REF. DESIGNATOR	PIN	FIND N°	REF. DESIGNATOR	PIN	FIND N°		
29	3	24 VAC o2 RELAYS	10601121 TB1	2	4	K9	A1+	5	2	
30	3	K8-K6	K8	21	5	K6	11	5		
31	3	K8-K6	K8	21	5	K8	11	5	1	
32	3	STOP	K8	22	5	CONTROLLER #1	8	14	1	
33	3	STOP	K8	14	5	CONTROLLER #2	8	14		
34	3	5VDC	K7	21	5	CONTROLLER #1	11	14		
37	3	5VDC	K7	21	5	K7	11	5	1	
38	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	4	4	K7	A1+	5	1	
39	3	5VDC	K6	21	5	CONTROLLER #2	11	14		
40	3	BW	K6	14	5	CONTROLLER #1	7	14		
41	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	4	4	K6	A1+	5		
42	3	24 VDC	10601121 TB1	10	4	K5	21	5		
43	3	GND	10601121 TB1	15	4	K5	11	5		
44	1	BEACON (IN+)	K5	24	5	BEACON	3			
45	1	BEACON (COMM-)	K5	14	5	BEACON	2		1	
46	1	BEACON (COMM-)	K5	14	5	BEACON	1		1	
47	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	9	4	K5	A1+	5	1	
48	3	24 VDC	10601121 TB1	10	4	K4	A1+	5	1	
49	1	FAULT	K4	A2-	5	CONTROLLER #1	10	14		
50	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	5	4	K4	24	5	1	
51	3	24 VDC	10601121 TB1	11	4	K3	A1+	5		
52	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	6	4	K3	24	5		
53	3	FAULT	K3	A2-	5	CONTROLLER #2	10	14		
54	3	GND	10601121 TB1	15	4	K2	A2-	5		
55	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	6	4	K2	14	5		
56	11	PS1-PNP	K2	A1+	5	PS1 (Q)	4	11	BLACK	
57	3	GND	10601121 TB1	16	4	K1	A2-	5		
58	11	PS2-PNP	K1	A1+	5	PS2 (Q)	4	11	BLACK	

WIRE IDENTIFICATION	FIND N°	DESCRIPTION	FROM			TO			REMARKS	NOTES
			REF. DESIGNATOR	PIN	FIND N°	REF. DESIGNATOR	PIN	FIND N°		
59	3	24 VAC o1 DIO	10601121 TB1	4	4	K1	14	5		
60	1	LIMIT BW	K10	24	5	CONTROLLER #2	14	14		
61	1	LIMIT FW	K9	24	5	CONTROLLER #2	13	14		1
62	3	R1a	K4	A1+	5	PINS MODULE 1237090180000	R1			1
61	3	R1b	PINS MODULE 1237090180000	R1		10601121 TB1	11	5		1
62	3	R2a	K3	A1+	5	PINS MODULE 1237090180000	R2			
63	3	R2b	PINS MODULE 1237090180000	R2		10601121 TB1	12	5		
64	1	24 VDC	10601121 TB1	11	5	PS1 (L+)	1	11	BROWN	3
65	1	GND	10601121 TB1	16	5	PS1 (M-)	3	11	BLUE	3
66	1	24 VDC	10601121 TB1	12	5	PS2 (L+)	1	11	BROWN	3
67	1	GND	10601121 TB1	17	5	PS2 (M-)	3	11	BLUE	3
68	2	M1+	CONTROLLER #1	2	13	P1 (M1)	+24	7	RED (AWG12)	
69	2	M1-	CONTROLLER #1	3	13	P1 (M1)	RTN	7	BLACK (AWG12)	
70	2	M2+	CONTROLLER #2	2	13	P2 (M2)	+24	7	RED (AWG12)	
71	2	M2-	CONTROLLER #2	3	13	P2 (M2)	RTN	7	BLACK (AWG12)	
72	2	24 VDC	10601121 TB1	13	4	FUSE #1		12	RED (AWG12)	
73	2	24 VDC	FUSE #1		12	CONTROLLER #1	1	13		
74	2	GND	CONTROLLER #1	4	13	10601121 TB1	18	4	BLACK (AWG12)	
75	2	24 VDC	10601121 TB1	14	4	FUSE #2		12	RED (AWG12)	
76	2	24 VDC	FUSE #2		12	CONTROLLER #2	1	13	RED (AWG12)	
77	2	GND	CONTROLLER #2	4	13	10601121 TB1	19	4	BLACK (AWG12)	

Anexos E. Despiece conjunto chapa



VISTA4 (1:1:Z1)  
Isometric View

Nº	Qty	Description	Supplier	Part number
1	1	DRUM COIL	COUS	145033
2	16	LOCK WASHER		DN 127 - A 8
3	16	PCB WASHER		DN 125 - A 8,4
4	16	Hexagon set screws		DN 935 - M6 x 2,5 Gskh.
5	32	DRUM COIL ZONE CAP SCREW		DN 172 - M6 x 1,50
6	4	WREDOUCH CONDUCTOR AF SPRING	NEORMA	PREORIMA
7	4	WREDOUCH 3W SPRING MODUL		145035
8	3	Inductive Proximity Sensor Output Schematics 2	JEFFRO	PIB 1815PC03-M12
9	3	Spring 102028		145036
10	3	Connector plug M 12	Schmerser	DN 7991 - M0x10
11	8	Hexagon socket counterunk flat head screw		145037
12	1	PCB 13		145038
13	4	Washer 10x13		145039
14	4	AMF 6/371-rotation clamping module with	ESTO	555712-IMPDMAL-G14-CB-P10
15	4	sensor monitor mounting longie	AMF	K-40
16	32	Cylinder head zone cap screw		DN 912 - M10 x 1,50
17	1	DRUM COIL	ESTO	145034
18	1	Asm rbc SM		145035
19	1	Asm rbc SM		145037

DENOMINACIÓN		TÍTULO	
Zona contacto carro MV_v3.lam		SUBCONJUNTO SUBASSEMBLY	
PROYECTO PROJECT		TIPO TYPE	
Zona contacto carro MV		ORDI	
CLASIFICACIÓN CLASSIFICATION		Nº CONTRATO CONTR. NUM	
APPROB. AUTO. AUTO. AUT.		Nº ESCALA SCALE	
REV. CHECK		REVISADO SIZE	
Victor Boada		1:7	
APPROB. AUTO. AUTO. AUT.		FECHA DATE	
Victor Boada		16/07/2013	
APPROB. AUTO. AUTO. AUT.		REVISADO SIZE	
Victor Boada		A2	
APPROB. AUTO. AUTO. AUT.		FECHA DATE	
Victor Boada		16/07/2013	
APPROB. AUTO. AUTO. AUT.		REVISADO SIZE	
Victor Boada		2 de 2	

MATERIAL		PREPARACIÓN SUP. - PREPARATION SUP.	
ISO 2768-MK		T4	
TOLERANCIAS GENERALES ISO 2768-MK		TREATMENT - TREATMENT	
ARISTAS MUY FINAS CON R-0,3		C3	
BREAK ALL DIMENSIONS WITH R-0,3		COLOR	
LOS CAMBIOS REALIZADOS SOLO LO SERAN EN CAD		TEXTURA - TEXTURE	
DIMENSIONES EN MM		A1	
COTAS EN MM - DIMENSIONS IN MM		NOMBRE NAME	
MODEL		FECHA DATE	
CAD		16/07/2013	

EDWIN DE VRIES		18		6	
EDWIN DE VRIES		17		5	
EDWIN DE VRIES		16		4	
EDWIN DE VRIES		15		3	
EDWIN DE VRIES		14		2	
EDWIN DE VRIES		13		1	



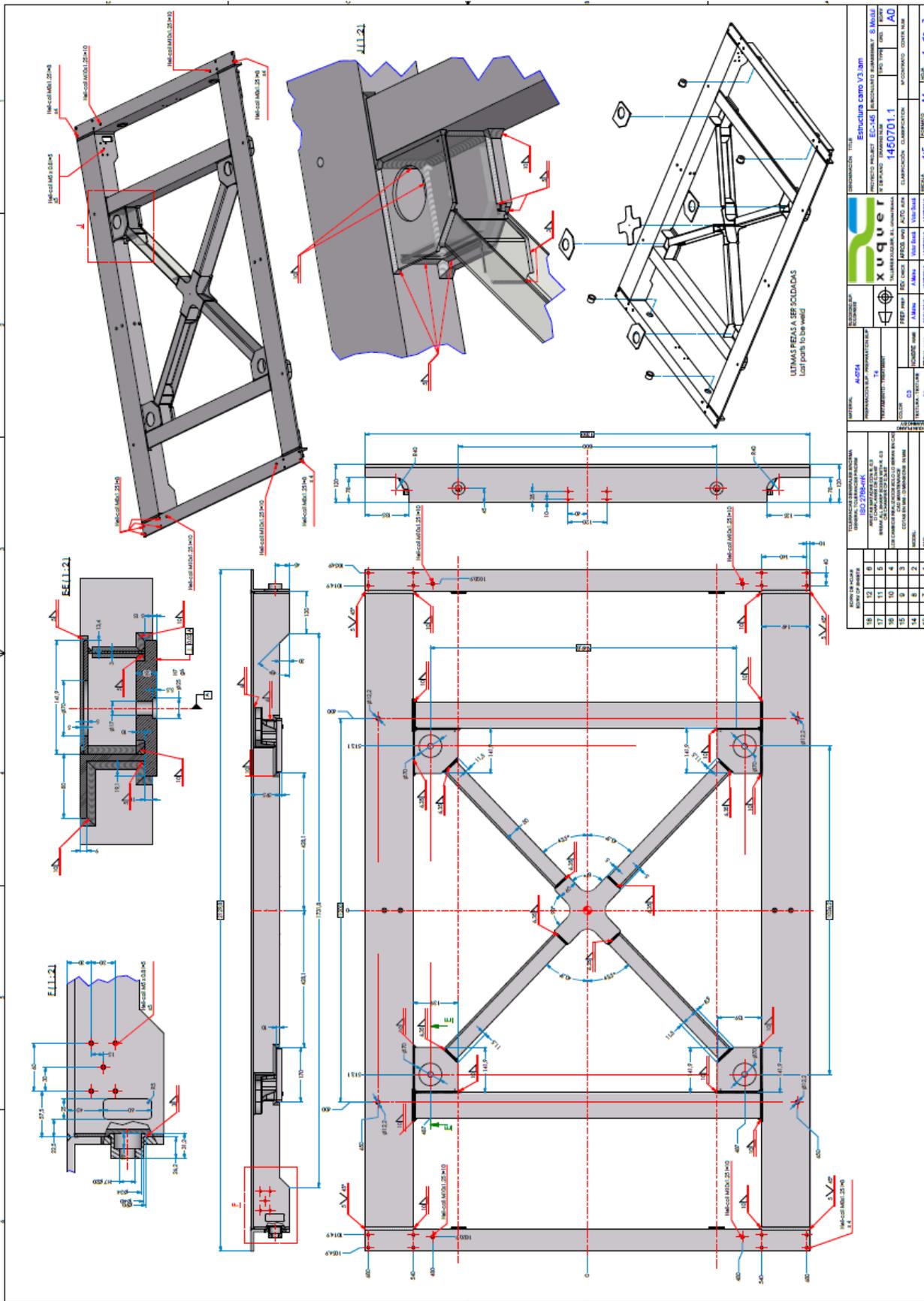
# Anexos F. Conjunto carro

The diagram illustrates the assembly of a cart frame. Key components include:
 

- E1121:** Various nuts, washers, and bolts used for structural assembly.
- H1121:** Axle assemblies with wheels and bearings.
- F1121:** Small fasteners and pins.

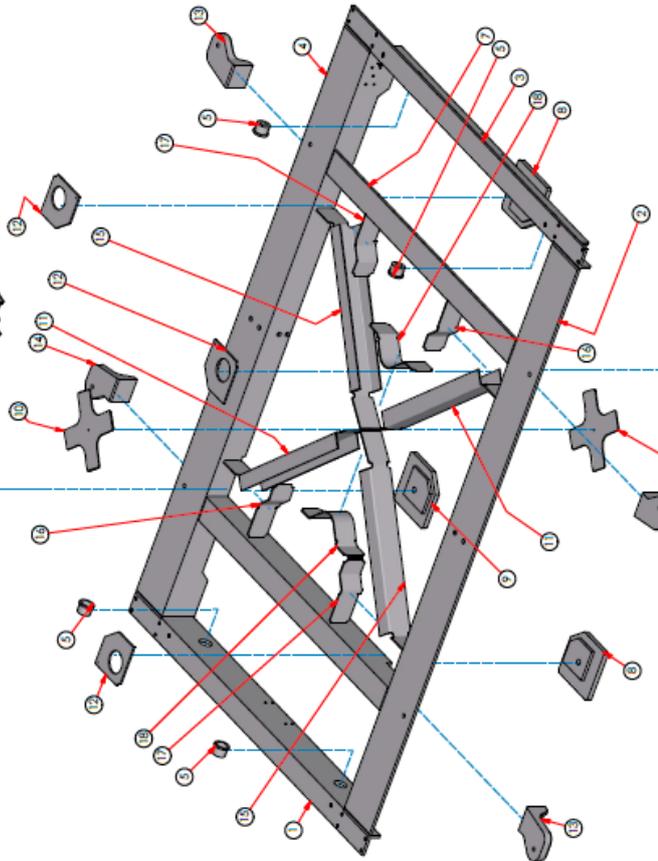
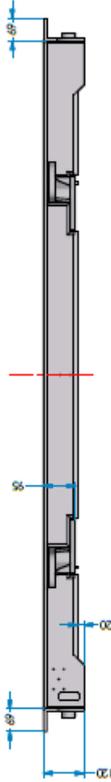
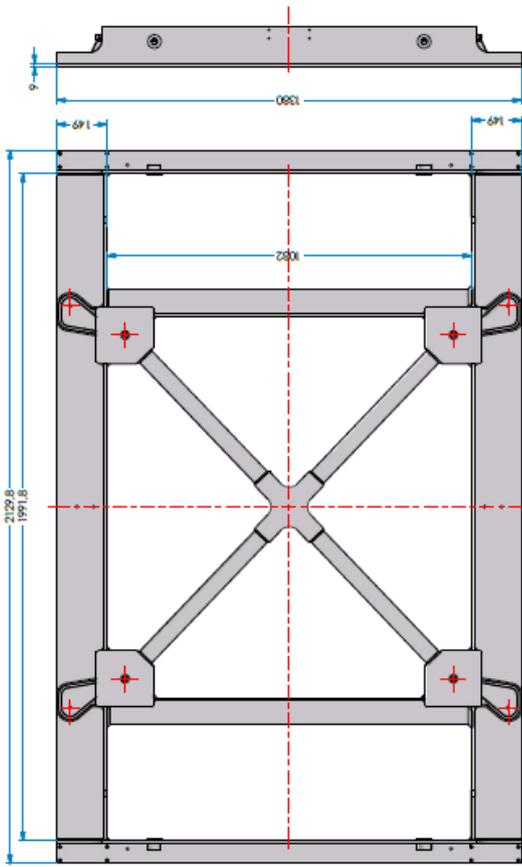
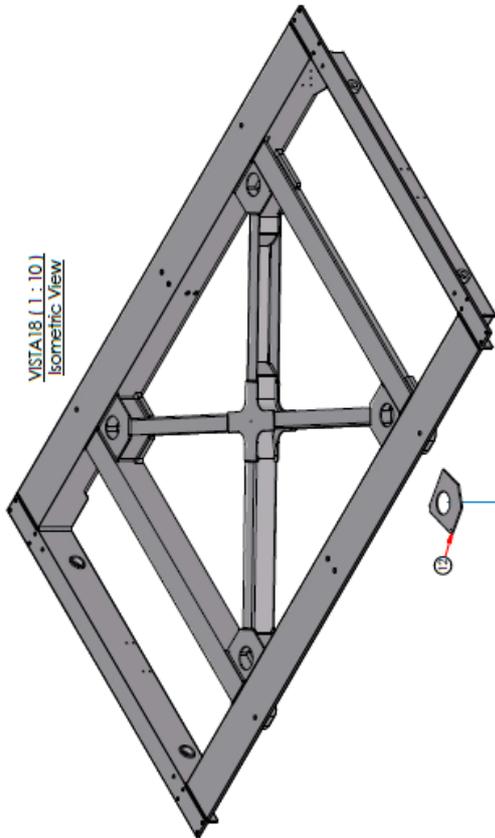
Ref. Part	Designation	Material	Quantity	Unit
1	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
2	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
3	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
4	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
5	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
6	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
7	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
8	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
9	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
10	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
11	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
12	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
13	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
14	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
15	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
16	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
17	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
18	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
19	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
20	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
21	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
22	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
23	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
24	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
25	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
26	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
27	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
28	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
29	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
30	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
31	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
32	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
33	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
34	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
35	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
36	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
37	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
38	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
39	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
40	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
41	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
42	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
43	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
44	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
45	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
46	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
47	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
48	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
49	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
50	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
51	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
52	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
53	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
54	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
55	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
56	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
57	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
58	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
59	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
60	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
61	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
62	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
63	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
64	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
65	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
66	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
67	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
68	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
69	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
70	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
71	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
72	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
73	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
74	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
75	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
76	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
77	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
78	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
79	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
80	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
81	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
82	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
83	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
84	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
85	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
86	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
87	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
88	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
89	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
90	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
91	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
92	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
93	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
94	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
95	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
96	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
97	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
98	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
99	CHARROLA	CHARROLA	1	PC
100	CHARROLA	CHARROLA	1	PC

# Anexos G. Estructura carro





VISTA 18 [1:10]  
Isometric View



Exploded view [1:10]

Nº Chave	Descripción	Dimensions	Part number
1	ANG. 150x60.01		1450701.1
2	ANG. 150x60.02		1450701.2
3	ANG. 150x60.03		1450701.3
4	ANG. 150x60.04		1450701.4
5	SOCA 150		1450701.5
6	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
7	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
8	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
9	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
10	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
11	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
12	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
13	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
14	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
15	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
16	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
17	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
18	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
19	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8
20	HE-COL M8x1,25 H8		HE-COL-M8

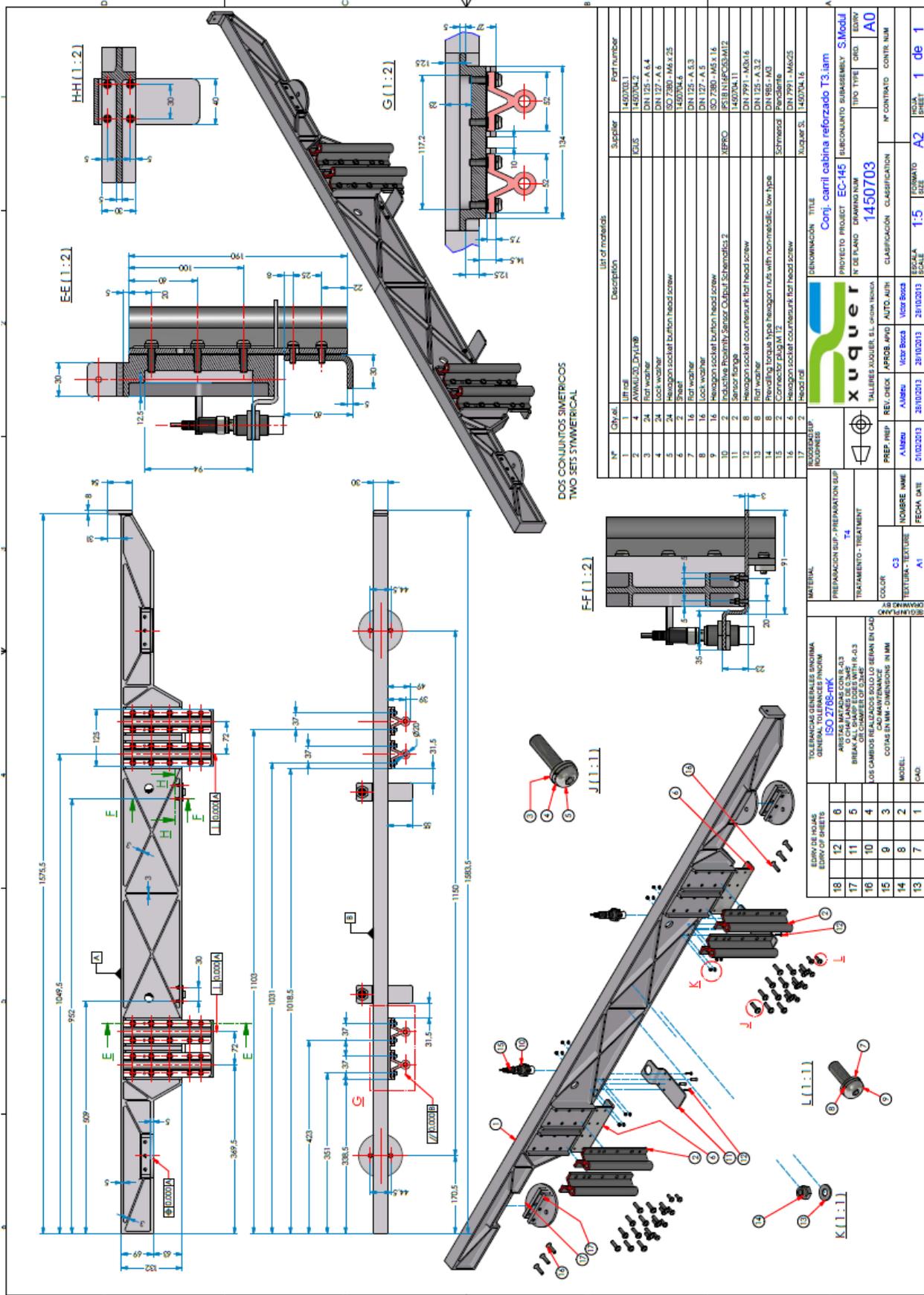
MATERIAL		REQUISITOS DE ACABADO		REQUISITOS DE TOLERANCIAS	
A-5754		R0.3		±0.1	
PREPARACION EQUIP. PREPARACION EQUIP.		T4		T4	
TRATAMIENTO - TREATMENT		C3		C3	
COLOR		ALUMINIO		ALUMINIO	
TEXTURA - TEXTURE		ALUMINIO		ALUMINIO	

TOLERANCIAS GENERALES MÁXIMA GENERAL TOLERANCES FINISH		ISO 2768-mK	
ANISTAS MATEADAS CON R-0.3		R-0.3	
BARRAS DE CHAPIS DE 0.3		0.3	
LOS CAMBIOS REALIZADOS SOLO SERAN EN CAD		CAD	
COTAS EN MM - DIMENSIONE IN MM		MM	
MODEL:		CAD	

EDICION DE HOJAS	EDICION DE HOJAS	EDICION DE HOJAS	EDICION DE HOJAS
18	17	16	15
12	11	10	9
6	5	4	3
13	8	7	1

DENOMINACION		TITULO	
Estructura carro V3 lam		Estructura carro V3 lam	
PROYECTO PROJECT		EC-145	
SUBCONTRATO SUBASSEMBLY		S.Modul	
Nº DE PLANO DRAWING NUM		1450701.1	
TIPO TYPE		GRID	
EDICION		A0	
Nº CONTRATO		CONTR. NUM	

ESCALA	FORMATO	USO	HOJA	SHEET
1:10	A2	3 de 3		



## Manual de uso y prevención en el Sistema neumático del simulador EC-145 2T

### Índice

Listado de la documentación anexa de PARTNERS.....	226
Introducción a la comprobación y puesta en marcha del sistema neumático.....	226
Actuación en sistema neumático para la introducción y extracción de la cabina.....	233
Disposición elementos sobre Sliding Modul .....	233
Tabla de revisiones y mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

### Listado de la documentación anexa de PARTNERS.

- 1.1. **FESTO** (neumática)
- 1.2. **SMC** (neumática)
- 1.3. **AMF** (K-40)
- 1.4. **WEFORMA** (neumática)
- 1.5. **CAMOZZI** (neumática)
- 1.6. **IMOPAC** (neumática)
- 1.7. **LEGRIS** (neumática)

### Introducción a la comprobación y puesta en marcha del sistema neumático

- 1.1. Confirmar la conexión del sistema neumático a la toma general

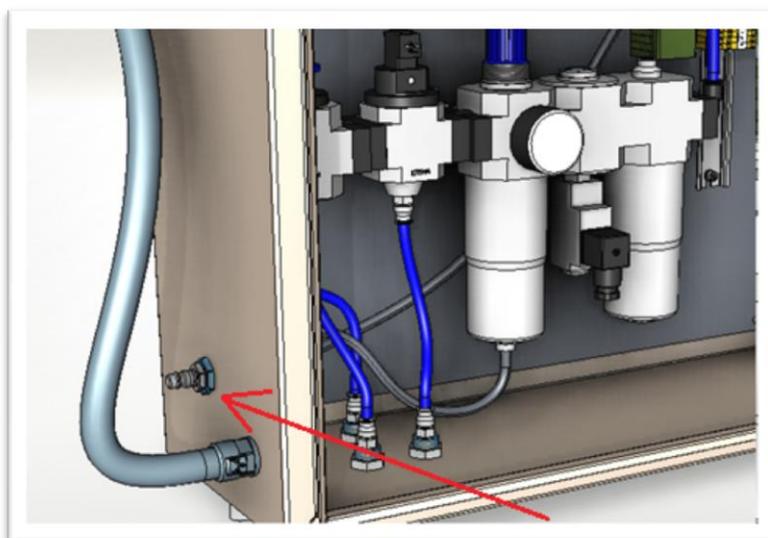


Figura 185-Toma línea general

1.2. Apertura manual del sistema con la válvula de cierre HE

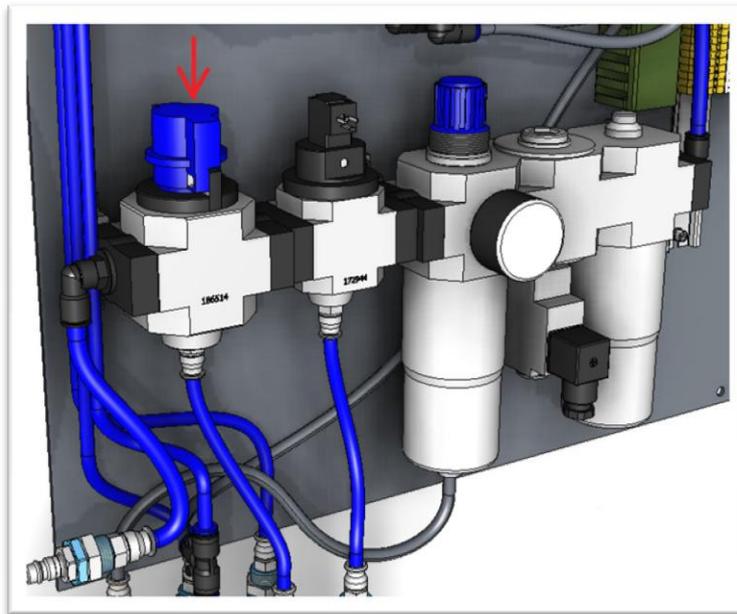


Figura 186-apertura manual

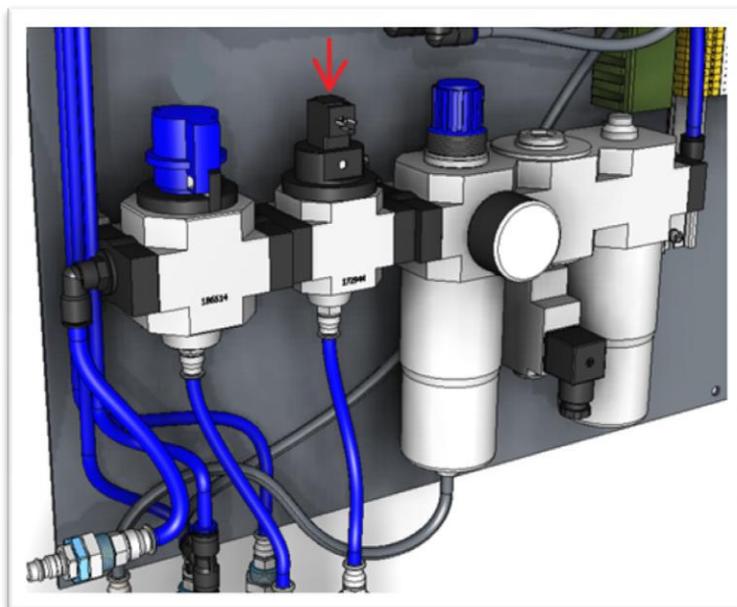


Figura 187-confirmar alimentación eléctrica

1.3. Regular la presión neumática del sistema a manualmente. 8 bar.

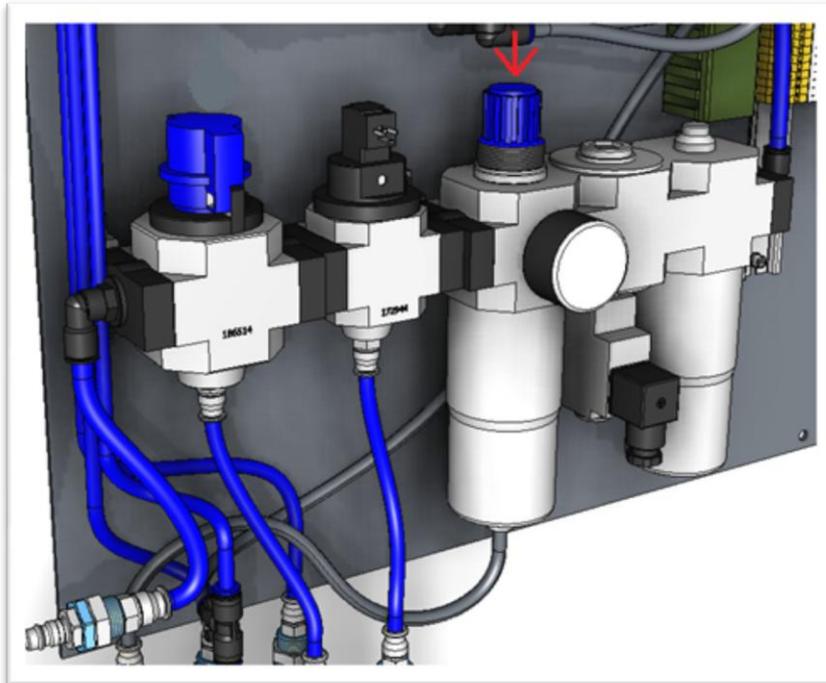


Figura 188-regular presión a 8bar

1.4. Confirmar los bares de trabajo con el control eléctrico de presión

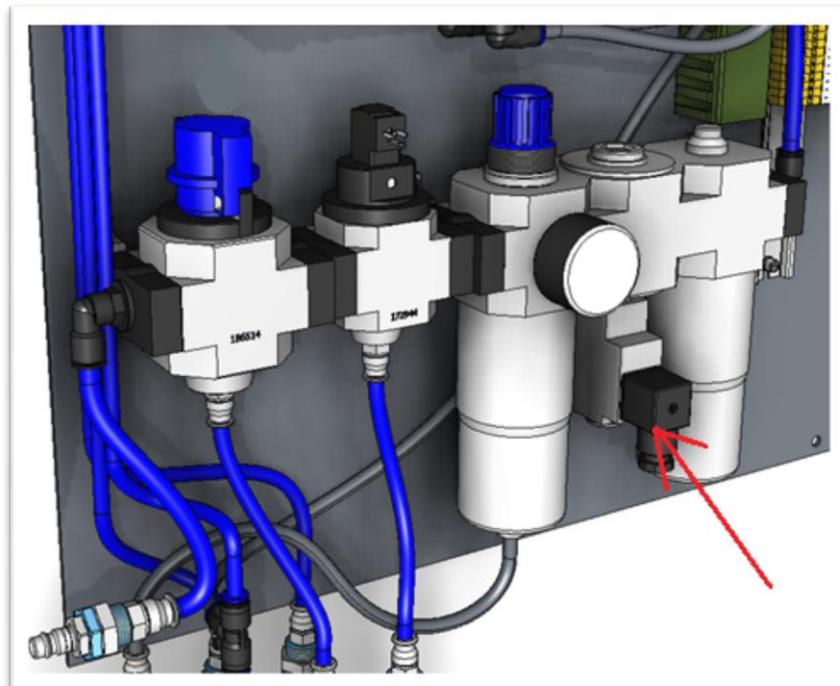


Figura 189-control electrico de presión

### 1.5. Conjunto electroválvulas VTUG de Festo



Figura 190-conjunto electroválvulas VTUF Festo

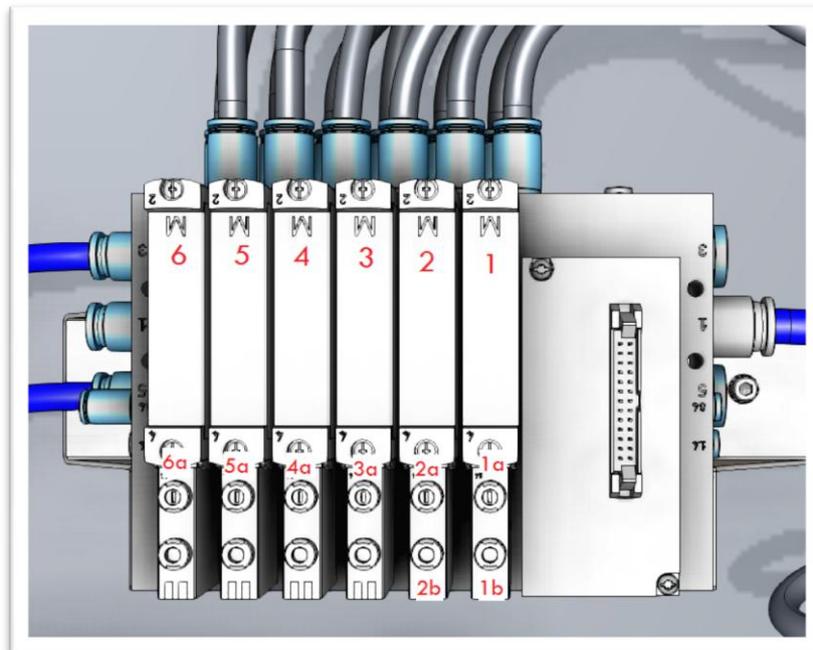


Figura 191-numeración electroválvulas

Nº	FUNCION	ACT	DESCRIPCION
1	GATILLOS FIJACION SUELO	1a	Subir
		1b	Bajar
2	CILINDRO ACCIONAMIENTO SUELO ELEVADIZO	2a	Abrir
		2b	Cerrar
3	CILINDROS ELEVACION CABINA	3a	Subir Air Springs Weforma
4	LIBERACIÓN Y FIJACIÓN CABINA	4a	Abrir o cerrar K-40
5	BOOST K-40	5a	Carga, confirmación cierre K-40
6	ELEMENTO DE RESERBA		

#### 1.6. Booster SMC. Modificar presión sistema Boost SMC



Figura 192-booster

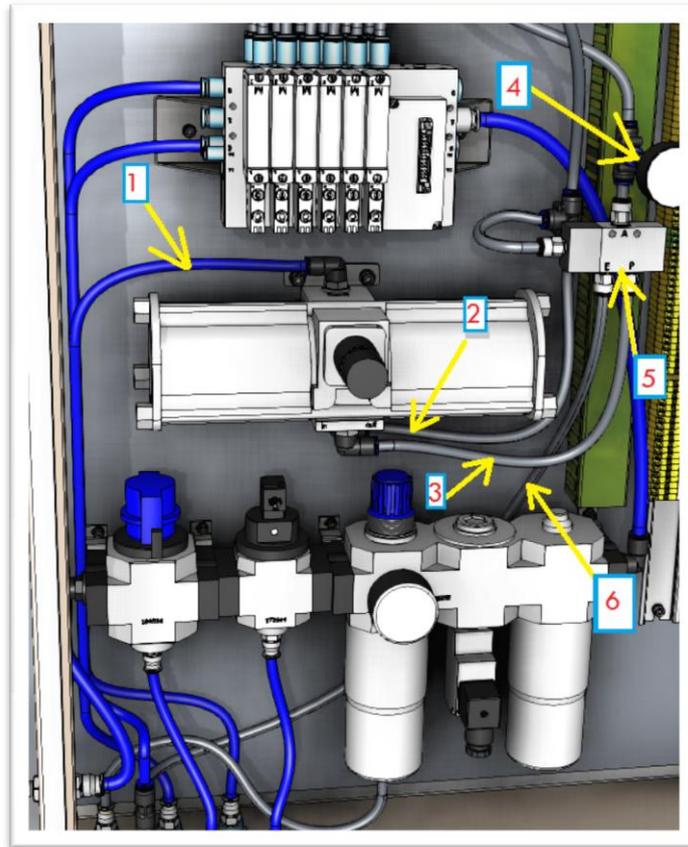


Figura 193-esquema boost

- Nº1. Tubo escape sistema Booster SMC
- Nº2. Tubo entrada 8 bar a Booster SMC
- Nº3. Tubo salida a K-40 a 10 bar
- Nº 4. Manómetro indicación bares sistema Boost
- Nº5. Válvula accionamiento neumático
- Nº 6. Tubo escape aire K-40 Boost

1.7. Sistema purgado K-40 y válvula accionamiento neumático Camozzi para purga del sistema.



Figura 194-Sistema purgado K-40 y válvula accionamiento neumático Camozzi para purga del sistema

1.8. Sistema para fijar con seguridad los gatillos suelo elevadizo en Spacer

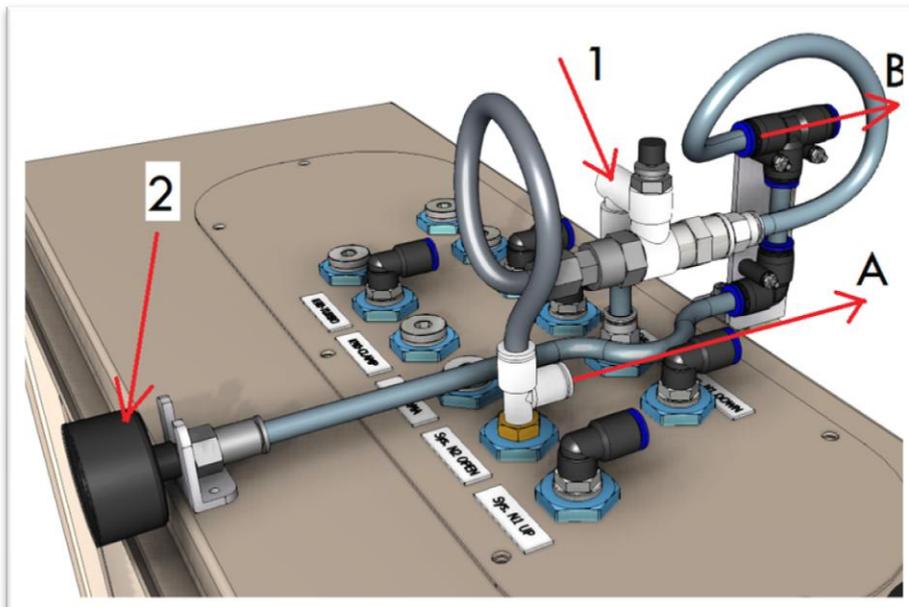


Figura 195-Sistema para fijar con seguridad los gatillos del suelo elevadizo en Spacer

A- Conducto salida para fijar el suelo elevadizo en el compartimiento de vuelo

B- salida para liberar suelo elevadizo en el compartimiento de vuelo

1- Regulador de caudal con válvula anti-retorno pilotada ASP de SMC, para fijar gatillos

2- manómetro indicador de presión entre regulador de caudal con válvula anti-retorno pilotada y cilindros de los gatillos para indicar presión. No permitir que la presión baje de los 7bar.

NOTA:

**Revisar semanalmente y recargar el sistema en caso necesario.**

**Para recargar el sistema, actuar según punto 1.2. Sobre la electroválvula nº2 en el conjunto VTUG de FESTO, manualmente, accionar el botón azul 2b durante dos segundos hasta que el manómetro indique la y cerrar sistema.**

**Actuación en sistema neumático para la introducción y extracción de la cabina**

**3.1. Introducción de la cabina**

- 3.1.1. Comprobar señales de sensores posición correcta.
- 3.1.2. Liberación gatillos que fijan el suelo elevadizo
- 3.1.3. Descenso del suelo elevadizo
- 3.1.4. Liberación K-40
- 3.1.5. Elevar el Sliding Modul con los Air Springs
- 3.1.6. Bajar Air Springs
- 3.1.7. Activar el Boost para confirmar el cierre de los K-40
- 3.1.8. Subir suelo elevadizo
- 3.1.9. Fijar suelo elevadizo con gatillos de fijación.

**3.2. Extracción de la cabina**

- 3.2.1. Comprobar señales de sensores posición correcta.
- 3.2.2. Liberación gatillos que fijan el suelo elevadizo
- 3.2.3. Descenso del suelo elevadizo
- 3.2.4. Liberación K-40
- 3.2.5. Elevar el Sliding Modul con los Air Springs
- 3.2.6. Desplazar Sliding Modul sobre carriles After

**Disposición elementos sobre Carro**

- 3.3. Componentes neumáticos

### 3.3.1. Elementos de fijación K-40

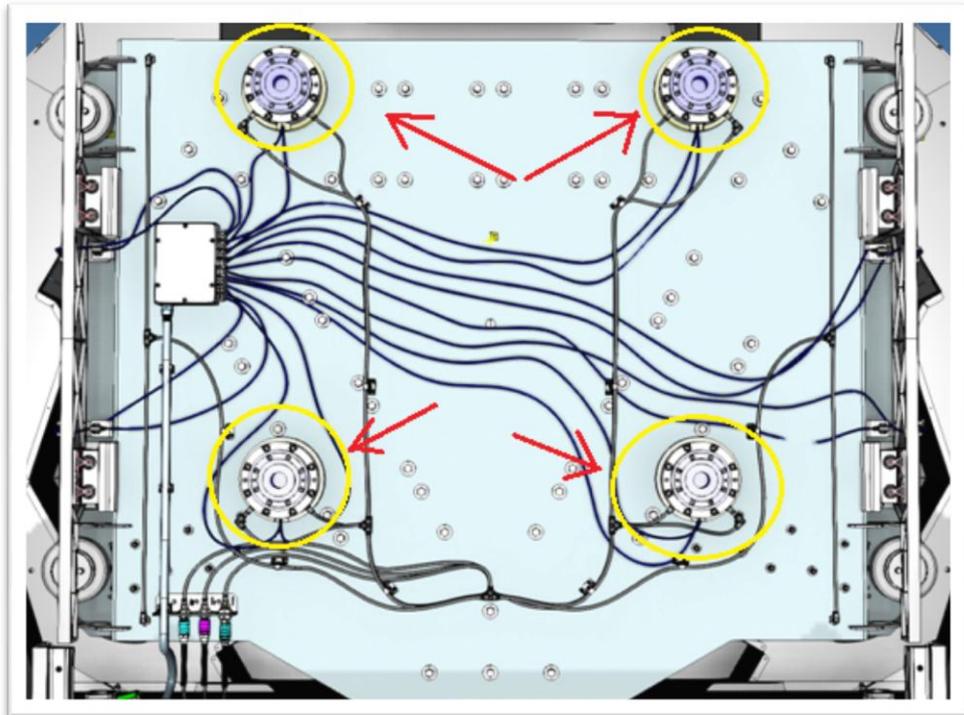


Figura 196-Localización K-40

### 3.3.2. Cilindros neumáticos Weforma

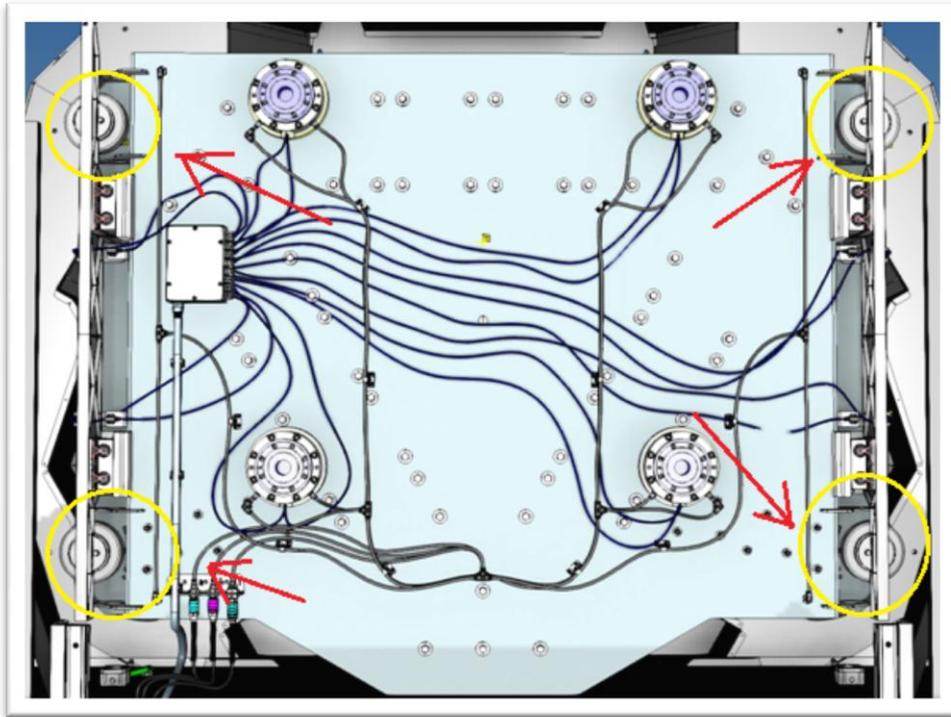


Figura 197-cilindros neumáticos weforma

### 3.3.3. Conexiones neumáticas

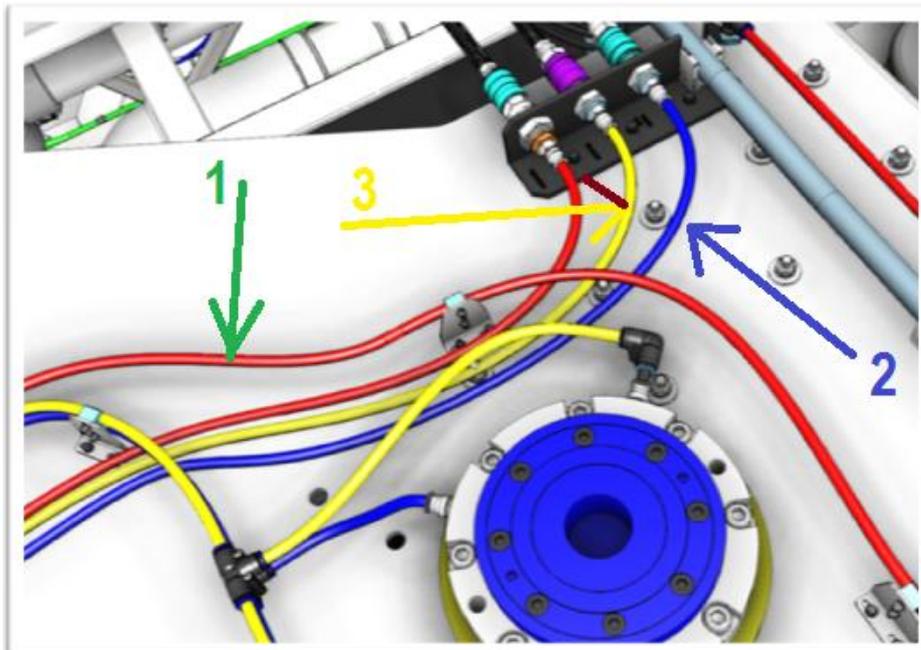


Figura 198-conexiones neumáticas

### 3.3.4. Conductos neumáticos

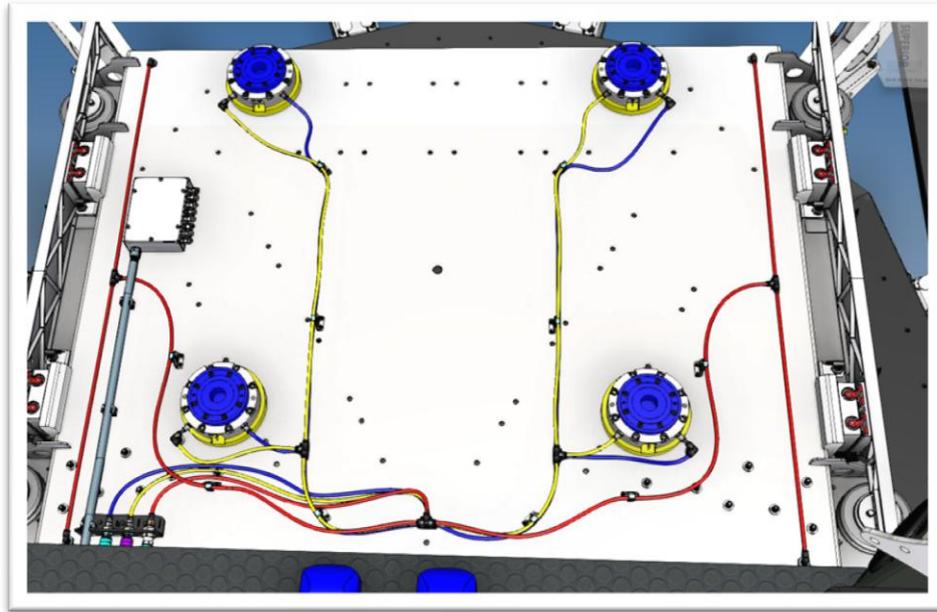


Figura 199-conductos neumáticos

### 3.4. Componentes eléctricos

#### 3.4.1. Sensores inductivos para los carriles

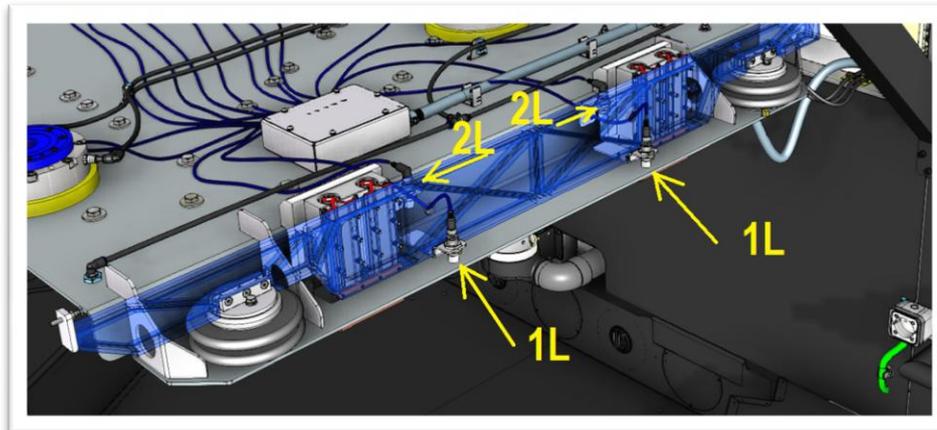


Figura 200-conductos aire railes

Posición arriba 2L  
Posición abajo 1L  
Posición arriba 2R  
Posición abajo 1R

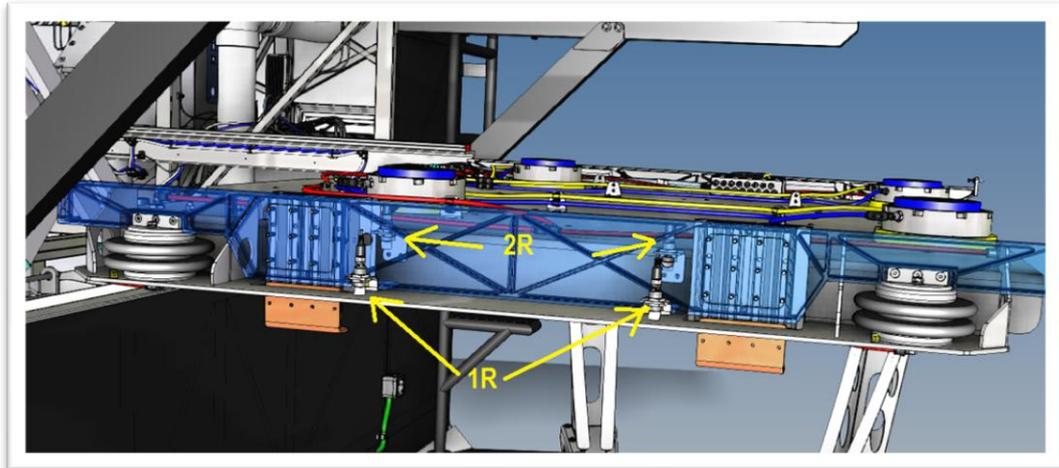


Figura 201-sensores carriles

### 3.4.2. Sensores de posición en K40

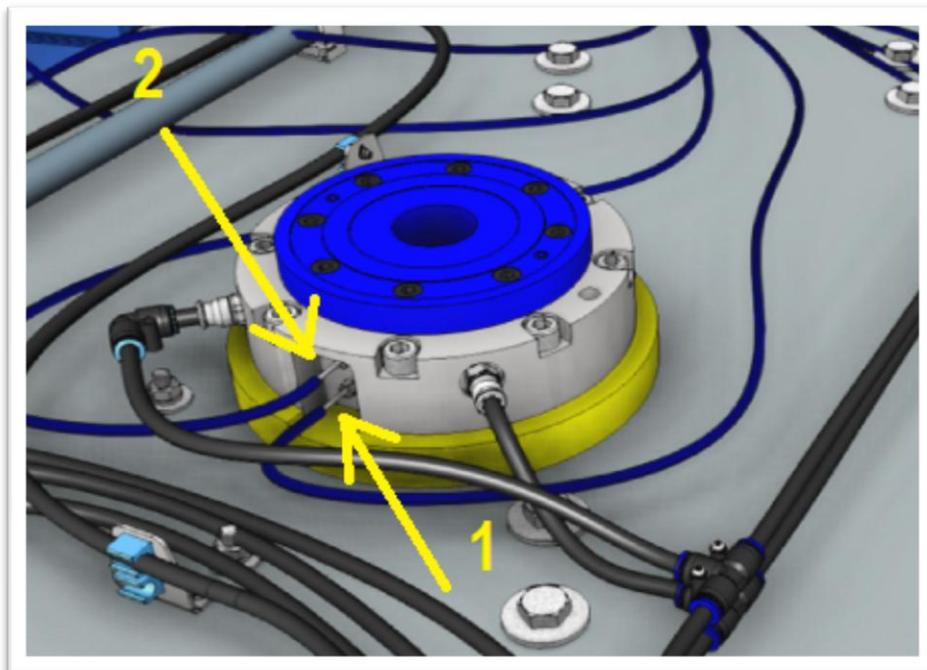


Figura 202-cableado sensores k40

Posición K-40 cerrado nº1 Liberar

Posición K-40 abierto nº2 Boost

Aspectos a revisar		Criterios de revisión	Frecuencia					Método ejecución
Objeto	Concepto a revisar		1 semana	1 mes	3 meses	6 meses	1 año	
<b>Zona Spacer</b>								
<b>Cilindro elevación suelo</b>	Sensores	luz leds según posición						inspección visual
	Conductos	que no hayan fugas						inspección visual
	Vástago	que no hayan fugas						inspección visual
	Uniones	pernos fijos y apretados						inspección visual / apriete
<b>Gatillos fijación suelo</b>	Sensores	luz leds según posición						inspección visual
	Conductos	que no hayan fugas						inspección visual
	Vástago	que no hayan fugas						inspección visual
	Uniones	pernos fijos y apretados						inspección visual / apriete
<b>Cuadro neumático</b>	Conductos + conexiones	que no hayan fugas ni cables sueltos						inspección visual
	HE-D-Start valve	luz led + que no hayan fugas						inspección visual
	HEE-Start valve	conexiones y que no hayan fugas						inspección visual
	FRC-Service unit	que no hayan fugas ni líquidos						inspección visual
	Bloque VTUG	conexiones y que no hayan fugas						inspección visual
	Boost VBA20A-T03GN	que no hayan fugas						Verificar presión en momento de trabajo en el manómetro
	Manómetro purga K40	no debe mostrar presión						visual
	Manómetro Sistema fijación gatillos	revisar presión manómetro						visual, presión entre 7 y 8 bar se verifica y en caso necesario rearmar sistema
Fuente de alimentación SDR-240 24V	Luz led y correcto funcionamiento						revisar funcionamiento	
<b>Cableado de sensores conductos de aire cilindros</b>	Conexiones, Hartings	correcta conexión						inspección visual
	Fijaciones de cables	fijas a paredes sin descuelgues						inspección visual
	Conductos de aire	que no hayan fugas						inspección visual
	Bridas	buscar roturas y fijaciones flojas						inspección visual
<b>Zona Sliding Modul</b>								
<b>Conexión eléctrica Spacer Sliding Modul</b>	Revisar Harting, posibles deformaciones en manguera y caja eléctrica	Revisar visualmente						Inspección visual
<b>Cableado de sensores conductos de aire cilindros</b>	Conexiones, sensores	luces leds, correcta conexión y posición						Inspección visual regular si es necesario
	Fijaciones de cables	fijas a estructura sin descuelgues						Inspección visual y manual
	Conductos de aire	que no hayan fugas, etiquetado						Inspección visual
	Bridas	buscar roturas y fijaciones flojas						Inspección visual y manual
<b>Fijaciones K40</b>	Revisar tornillería	confirmar correctas fijaciones						dinamométrica para DIN- 912 M10-12,9
	Sensores y conductos de aire	correcto funcionamiento buena conexión en posición abierto y cerrado						Revisar goma y sin cabina señales en PLC
<b>Air Springs Weforma</b>	Conexiones de aire	que no hayan escapes y malformaciones en tubos						revisión visual
	Revisar tornillería	correcto apriete						revisión visual y manual
	Revisar superficie goma	que no hayan grietas						reemplazar en caso de pérdida de las propiedades de la goma