

# GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

## TRABAJO FIN DE GRADO

---

**Diseño del sistema de amarre de la  
cama Fakir para la tarjeta VAUL-189**

---

**Alumna:** Leire Monforte García

**Tutora:** Asun Cantera

*Curso 2022-2023*

# Información de interés

---

<b>Alumna</b>	<b>Leire Monforte García</b>
<b>Email alumna</b>	<a href="mailto:lmonforte001@ikasle.ehu.eus">lmonforte001@ikasle.ehu.eus</a>
<b>Tutora Universidad</b>	María Asunción Cantera López de Silanes
<b>Email tutora universidad</b>	<a href="mailto:asun.cantera@ehu.eus">asun.cantera@ehu.eus</a>
<b>Empresa</b>	Daisalux/Laintec (Vitoria-Gasteiz)
<b>Contacto empresa</b>	José Lens
<b>Email empresa</b>	<a href="mailto:j.lens@daisalux.com">j.lens@daisalux.com</a>
<b>Título del TFG</b>	Diseño del sistema de amarre de la cama Fakir para la tarjeta VAUL-189
<b>Palabras clave</b>	Deformaciones PCB Análisis fuerzas, FEM Camas de pinchos (PCB test fixtures, bed of nails tester) Diseño sistema mecánico de amarre
<b>Licencia de acceso/distribución</b>	Confidencial
<b>RESUMEN</b>	
<p>El presente TFG ha sido realizado para Laintec, centro de I+D de Daisalux, empresa referente en el diseño, fabricación y comercialización de luminarias de emergencia.</p> <p>Fruto del compromiso de Daisalux con la calidad de sus productos, todos los circuitos electrónicos de las luminarias son testeados en unos útiles de control, a los que se les denomina coloquialmente camas FAKIR por ser unas camas con puntas para pruebas.</p> <p>Las deformaciones por flexión en las placas electrónicas suelen ser un problema frecuente en este tipo de herramientas. Estas deformaciones se hacen más notables si la tarjeta a ensayar tiene una dimensión preponderante respecto a las otras, como el caso de la VAUL-189 perteneciente a la serie de productos VIDEKO.</p> <p>El objetivo del proyecto se basa en analizar y diseñar el sistema mecánico de amarre de la cama Fakir para la tarjeta VAUL-189 con el fin de evitar o minimizar los esfuerzos que ésta pueda sufrir durante el testeo.</p>	
<b>Universidad</b>	Universidad del País Vasco
<b>Centro</b>	Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz
<b>Grado</b>	Ingeniería Mecánica
<b>Departamento</b>	Ingeniería Mecánica
<b>Fecha presentación</b>	10 de Julio 2023

# Contenido

---

Información de interés .....	ii
Abreviaturas, acrónimos y siglas.....	xix
Presentación .....	21
<b>1. Memoria.....</b>	<b>26</b>
1.1. Introducción .....	27
1.2. Objetivo .....	28
1.3. Alcance .....	29
1.4. Antecedentes .....	31
1.4.1. Testeo de circuitos electrónicos.....	31
1.4.2. Herramientas de testeo.....	32
1.4.2.1. <i>Camas de pinchos</i> .....	32
1.4.3. FAKIR.....	35
1.4.4. Camas Fakir.....	39
1.4.4.1. <i>Tipos de camas</i> .....	42
1.4.4.2. <i>Uso y funcionamiento</i> .....	44
1.4.5. Componentes de las camas neumáticas .....	46
1.4.5.1. <i>Lecho</i> .....	46
1.4.5.2. <i>Baquelita</i> .....	46
1.4.5.3. <i>Punta de prueba y camisa</i> .....	47
1.4.5.4. <i>Centradores</i> .....	49
1.4.5.5. <i>Topes de plástico</i> .....	50
1.4.5.6. <i>Uñas de amarre</i> .....	51
1.4.5.7. <i>Reguladores de uñas</i> .....	52

1.4.5.8. <i>Sensores</i> .....	52
1.4.5.9. <i>Electroválvulas y cilindro neumático</i> .....	53
1.4.5.10. <i>Tarjeta de conexión</i> .....	54
1.4.5.11. <i>Estructura de la cama</i> .....	54
1.5. Normas y referencias .....	56
1.5.1. Normas consultadas .....	56
1.5.2. Programas de cálculo y herramientas utilizadas .....	56
1.5.2.1. <i>Gestión y búsqueda de documentación</i> .....	56
1.5.2.2. <i>Visor de archivos “.dwg”</i> .....	57
1.5.2.3. <i>CAD/CAE</i> .....	57
1.5.3. Bibliografía utilizada .....	59
1.6. Definiciones y conceptos.....	61
1.7. Análisis del problema .....	76
1.7.1. Dimensiones de la placa. Deformación por flexión y torsión.....	76
1.7.2. Justificación del proyecto .....	81
1.7.3. Estudio del comportamiento de la placa.....	84
1.7.3.1. <i>Diagrama de sólido libre</i> .....	84
1.7.3.2. <i>Simulación deformaciones mediante software</i> .....	85
1.7.4. Resultados y conclusiones del análisis inicial .....	85
1.8. Requisitos de diseño .....	90
1.8.1. Tarjetas electrónicas: VAUL-189 y FAV-192 .....	90
1.8.2. Cama FAKIR.....	91
1.8.2.1. <i>Tipo</i> .....	91
1.8.2.2. <i>Componentes y restricciones de movimiento</i> .....	91
1.8.2.3. <i>Presupuesto</i> .....	92
1.9. Análisis de soluciones.....	93

1.9.1.1.	<i>Solución I: pared lateral como uña de amarre.....</i>	<i>94</i>
1.9.1.2.	<i>Solución II: diseño análisis inicial con 12 uñas de amarre .....</i>	<i>99</i>
1.9.1.3.	<i>Solución II: diseño final con 10 uñas de amarre y nuevas posiciones ....</i>	<i>103</i>
1.10.	Resultados finales.....	105
1.10.1.1.	<i>Conjunto plataforma y uñas de amarre.....</i>	<i>105</i>
1.10.1.2.	<i>Baquelita .....</i>	<i>107</i>
1.10.1.3.	<i>Tope de plástico .....</i>	<i>107</i>
1.10.1.4.	<i>Uña de amarre .....</i>	<i>108</i>
1.10.1.5.	<i>Pestaña de uña de amarre.....</i>	<i>108</i>
1.10.1.6.	<i>Plataforma y lateral plataforma.....</i>	<i>108</i>
1.10.1.7.	<i>Tapa soporte .....</i>	<i>109</i>
1.11.	Planificación.....	110
1.11.1.	Período de desarrollo .....	110
1.11.2.	Gestión del proyecto .....	110
1.11.3.	Diagrama de Gantt.....	113
<b>2.</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>116</b>
2.1.	Tareas desarrolladas.....	118
2.2.	Software y recursos para el desarrollo.....	118
2.3.	Material utilizado .....	119
2.4.	Resumen.....	120
<b>3.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>121</b>
<b>4.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>123</b>
4.1.	Serie VIDECO .....	124
4.2.	Tarjeta electrónica VAUL-189 .....	128
4.2.1.	Descripción general .....	128

4.2.2. Hardware: diferencias entre acabados .....	129
4.2.3. Características PCB: dimensiones y material.....	132
4.2.4. Masa .....	133
4.2.5. Cables de telemando.....	134
4.2.6. Posición de los centradores.....	136
4.2.7. Posición de las isletas .....	138
4.3. Tarjeta electrónica FAV-192.....	139
4.3.1. Descripción general .....	139
4.3.2. Hardware: diferencias entre acabados .....	140
4.3.3. Características PCB: dimensiones.....	141
4.3.4. Masa .....	142
4.3.5. Cables de red Emerg y red Lum.....	144
4.4. VAUL-189 con FAV-192 .....	146
4.4.1. Posicionamiento de FAV-192 en VAUL- 189.....	146
4.5. Datasheets y características .....	147
4.5.1. Muelles centradores.....	147
4.5.2. Puntas de prueba.....	149
4.5.2.1. <i>Fuerza elástica recuperadora</i> .....	149
4.5.3. Cilindro neumático .....	151
4.5.3.1. <i>Fuerza neumática</i> .....	151
4.5.4. Regulador de caudal .....	152
4.5.5. Material FR-4 .....	153
4.5.5.1. <i>Propiedades</i> .....	154
4.6. Cálculos I. Fuerzas y momentos .....	155
4.6.1. Datos y consideraciones de partida .....	155
4.6.1.1. <i>Tarjeta para el análisis</i> .....	155

4.6.1.2.	<i>Peso VAUL-189</i> .....	158
4.6.1.3.	<i>Peso FAV-192</i> .....	161
4.6.1.4.	<i>Cables FAV-192: red LUM y red EMERG</i> .....	162
4.6.1.5.	<i>Baquelita</i> .....	164
4.6.1.6.	<i>Movimiento de descenso restringido</i> .....	166
4.6.1.7.	<i>Compresión muelles centradores</i> .....	171
4.6.1.8.	<i>Muelles centradores: Constante elástica</i> .....	172
4.6.1.9.	<i>Compresión puntas de prueba</i> .....	172
4.6.1.10.	<i>Puntas de prueba: constante elástica</i> .....	173
4.6.1.11.	<i>Número de puntas de prueba</i> .....	174
4.6.1.12.	<i>Presión de trabajo</i> .....	174
4.6.1.13.	<i>Plataforma y uñas de amarre</i> .....	175
4.6.1.14.	<i>Puntos de aplicación de la fuerza neumática</i> .....	178
4.6.1.15.	<i>Cables de telemando</i> .....	185
4.6.2.	<i>Situación de estudio</i> .....	187
4.6.3.	<i>Apoyos</i> .....	189
4.6.4.	<i>Pesos</i> .....	192
4.6.4.1.	<i>Peso propio: PCB VAUL-189 sin componentes</i> .....	192
4.6.4.2.	<i>Peso componentes SMD</i> .....	194
4.6.4.3.	<i>Peso tarjeta FAV-192</i> .....	195
4.6.5.	<i>Fuerza elástica puntas de prueba</i> .....	196
4.6.6.	<i>Fuerza neumática del cilindro</i> .....	198
4.6.7.	<i>Momento flector: cables telemando</i> .....	201
4.7.	<i>Análisis I. Simulación deformaciones</i> .....	203
4.7.1.	<i>Geometría</i> .....	204
4.7.2.	<i>Mallado</i> .....	207

4.7.3. Materiales.....	211
4.7.4. Cargas y restricciones .....	211
4.7.4.1. <i>Apoyos y fuerza elástica muelles de los centradores</i> .....	211
4.7.4.2. <i>Peso propio PCB</i> .....	214
4.7.4.3. <i>Peso componentes SMD</i> .....	214
4.7.4.4. <i>Peso tarjeta FAV-192</i> .....	215
4.7.4.5. <i>Fuerza elástica puntas de prueba</i> .....	216
4.7.4.6. <i>Fuerza neumática del cilindro</i> .....	217
4.7.4.7. <i>Momento flector</i> .....	217
<b>5. Planos.....</b>	<b>219</b>

# Índice Ilustraciones

---

Ilustración 1 - Sede central de la empresa en Vitoria-Gasteiz.....	21
Ilustración 2 - Diseño personalizado de luminarias para Catedral de Santa María (Vitoria-Gasteiz) .....	21
Ilustración 3 - Necesidades para las que Daisalux busca la mejor solución.....	22
Ilustración 4 - Iluminación y balizamiento en el estadio Wanda Metropolitano (Madrid). .....	23
Ilustración 5 - Países donde se realiza asesoramiento y distribución de productos .....	24
Ilustración 6 - Señalización en librería del Museo del Louvre (París) .....	24
Ilustración 7 - Desarrollo de nuevos productos de la empresa a lo largo de la última década .....	25
Ilustración 8 - Cama Fakir para una tarjeta de Daisalux.....	27
Ilustración 9 - Luminaria de emergencia de la familia VIDECO .....	27
Ilustración 10 - Sistema de amarre actual con detalle de la uña de amarre.....	28
Ilustración 11 - Tarjeta VAUL-189.....	29
Ilustración 12 - Componentes electrónicos en una tarjeta vista por las dos caras (superior e inferior) 31	
Ilustración 13 - Esquema general de una cama de pinchos.....	33
Ilustración 14 - Cama de pinchos de test funcional mediante neumática de la empresa Selectica. ....	34
Ilustración 15 - Faquir en India en 1907 (izq.). Puntas de testeo en una cama de Daisalux (dcha.).....	34
Ilustración 16 - Puesto Fakir con todos sus componentes a falta de conectar una cama .....	37
Ilustración 17 - Secuencia de ejecución de las pruebas .....	38
Ilustración 18 - Algunas de las familias de Daisalux y sus modelos.....	39
Ilustración 19 - Diferencias electrónicas entre dos tarjetas de la familia NAOS. ....	40
Ilustración 20 - Ejemplo de cama neumática.....	42
Ilustración 21 - Ejemplo de cama manual con brida .....	42
Ilustración 22 - Ejemplo de cama manual con tapa .....	43
Ilustración 23 - Cierre y empujador de una cama manual .....	43
Ilustración 24 - Conexiones de una cama neumática.....	44
Ilustración 25 - Entorno del software de FAKIR .....	45
Ilustración 26 - Pantalla principal con resultado pruebas realizadas en una tarjeta .....	45

Ilustración 27 - Cama neumática con dos lechos (izq.) y otra manual de un lecho (dcha.).....	46
Ilustración 28 - Baquelita con los demás elementos integrados en el lecho .....	47
Ilustración 29 - Punta de prueba .....	47
Ilustración 30 - Lecho con cables soldados (arriba). Detalles de soldadura y vista desde perfil (abajo) 48	
Ilustración 31 - Las puntas actúan como un muelle y se comprimen cuando tocan la tarjeta.....	48
Ilustración 32 - Detalle de las puntas durante las pruebas a una tarjeta electrónica .....	49
Ilustración 33 - Orificios para centradores de la tarjeta VAUL-189 vistos desde la cara inferior. ....	49
Ilustración 34 - Centrador y muelle .....	50
Ilustración 35 - Topes de plástico para el centrado inicial .....	51
Ilustración 36 - Detalle del montaje del sistema de bajada y subida .....	51
Ilustración 37 – Reguladores .....	52
Ilustración 38 - Sensor en el lecho 1 de una cama Fakir .....	52
Ilustración 39 - Sistema neumático, formado por electroválvulas y cilindro neumático.....	53
Ilustración 40 - Tarjeta conexión control FAKIR.....	54
Ilustración 41 - Estructura cama.....	54
Ilustración 42 - Detalle columnas y soporte .....	55
Ilustración 43 - Barra de presentación de Dair con los botones de acceso a cada programa .....	56
Ilustración 44 - Entorno del bloque FEM en NX Siemens .....	58
Ilustración 45 - Central TEV de Daisalux .....	62
Ilustración 46 - Tipos de circuitos integrados .....	63
Ilustración 47 - Tecnología SMT .....	63
Ilustración 48 - Componentes SMD .....	64
Ilustración 49 - Tecnología THT .....	64
Ilustración 50 - Componentes convencionales THT .....	65
Ilustración 51 - Esquema típico de un convertidor Boost con transistor y diodo .....	65
Ilustración 52 - Test de funcionamiento ICT con sonda voladora.....	66
Ilustración 53 - Cable con conectores GPIB .....	67
Ilustración 54 - Ejemplo isleta nº 32 de la tarjeta VAUL-189.....	68
Ilustración 55 - Parte del circuito eléctrico de VAUL-189, donde se ubica la isleta #32.....	68

Ilustración 56 - Esquema de un multiplexor .....	70
Ilustración 57 - Ejemplo de resistencia que va a ser soldada en sus pads. ....	71
Ilustración 58 - Panel (PCB) .....	71
Ilustración 59 - Ejemplo de una PCB de 2 capas .....	72
Ilustración 60 - Partes de un cilindro neumático .....	72
Ilustración 61 - Conector RS-232 hembra .....	73
Ilustración 62 - Soldadura por ola .....	74
Ilustración 63 - Telemando .....	75
Ilustración 64 - Distintos tipos de PTC .....	75
Ilustración 65 - Pautas de control de calidad para la tarjeta VAUL-189 .....	76
Ilustración 66 - Deformaciones de una placa amarrada durante sus pruebas.....	77
Ilustración 67 - Acuerdos electromecánicos para VIDECO 320mm .....	78
Ilustración 68 - Flexión .....	79
Ilustración 69 - Momentos flectores .....	79
Ilustración 70 - Momento torsor .....	80
Ilustración 71 - Torsión .....	80
Ilustración 72 - Posicionado de isletas. Arriba VDG-184 y abajo VAUL-189 .....	81
Ilustración 73 - Modificación del sistema de amarre de la cama VDG-184 .....	82
Ilustración 74 - Detalle de la unión la pared con las chapas .....	82
Ilustración 75 - Estado de la cama VDG-184 .....	83
Ilustración 76 - Diagrama de sólido libre .....	85
Ilustración 77 - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en x.....	86
Ilustración 78 - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en y.....	86
Ilustración 79 - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en z.....	87
Ilustración 80 - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en z (vista de frente).....	87
Ilustración 81 - Análisis inicial. Desplazamiento nodal respecto eje central en z (vista de frente).....	88
Ilustración 82 - Zona más afectada de la placa en el momento del amarre (en color azul) .....	89
Ilustración 83 - Diseño del producto según acuerdos electromecánicos.....	90
Ilustración 84 - Análisis de soluciones .....	93

Ilustración 85 - Detalle pared uña de amarre .....	95
Ilustración 86 - Fuerza neumática distribuida con pared de amarre .....	96
Ilustración 87 - Fuerza neumática distribuida, simulando pared .....	97
Ilustración 88 - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en x .....	97
Ilustración 89 - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en y .....	98
Ilustración 90 - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en z .....	98
Ilustración 91 - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en z (vista frente) .....	99
Ilustración 92 - Análisis solución 2 sin 4 uñas de amarre .....	99
Ilustración 93 - Análisis solución II. Desplazamiento nodal en x .....	101
Ilustración 94 - Análisis solución II. Desplazamiento nodal en y .....	101
Ilustración 95 - Análisis solución II. Desplazamiento nodal en z .....	102
Ilustración 96 - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en z (vista frente) .....	102
Ilustración 97 – Análisis final. Desplazamiento nodal en x .....	103
Ilustración 98 - Análisis final. Desplazamiento nodal en y .....	103
Ilustración 99 - Análisis final. Desplazamiento nodal en z .....	104
Ilustración 100 - Análisis final. Desplazamiento nodal en z (vista de frente) .....	104
Ilustración 101 - Conjunto plataforma, uñas y cilindro .....	105
Ilustración 102 – Diseño final sistema de amarre .....	106
Ilustración 103 - Alzado diseño final sistema de amarre .....	106
Ilustración 104 - Distribución temporal de los bloques de desarrollo .....	112
Ilustración 105 - Componentes Familia VIDECO .....	124
Ilustración 106 - VDC3216 en sus dos colores, blanco y negro .....	125
Ilustración 107 - VDC2222 en sus dos colores, blanco y negro .....	125
Ilustración 108 - Distintos montajes para VIDECO .....	126
Ilustración 109 - Esquema de las tarjetas electrónicas que forman VIDECO según especificaciones... 126	126
Ilustración 110 - Distintas tarjetas de la familia VIDECO .....	127
Ilustración 111 - Cara superior e inferior de la placa VAUL-189 con componentes SMD soldados..... 128	128
Ilustración 112 - Detalle de los conectores de batería .....	129
Ilustración 113 - Diferencias de componentes entre tarjetas VAUL-189 según funcionamiento..... 131	131

Ilustración 114 - Conjunto final VAUL-192 y FAV-192 para el acabado (1,P,4,C) .....	131
Ilustración 115 - Dimensiones del panel y del circuito de la VAUL-189.....	132
Ilustración 116 - Vista superior e inferior de una galleta de VAUL-189.....	133
Ilustración 117 - Detalle de la conexión de telemando.....	135
Ilustración 118 - Detalle de la conexión de telemando.....	135
Ilustración 119 - Captura del archivo con las capas de la PCB.....	135
Ilustración 120 - Denominación de los centradores y origen de la tarjeta VAUL-189.....	137
Ilustración 121 - Cara superior e inferior de la placa FAV-189 (P,4,3) con todos los componentes soldados .....	139
Ilustración 122 - Detalle diferencias de componentes entre FAV-192 (N,4,3) arriba y (P,4,3) abajo. ..	141
Ilustración 123 - Dimensiones del panel y del circuito de la VAUL-189.....	142
Ilustración 124 - Detalle conexiones cable .....	144
Ilustración 125 - Detalle zona de ubicación de FAV-192 en VAUL-189 .....	146
Ilustración 126 - Detalle de muelle y centrador.....	147
Ilustración 127 - Información y referencia regulador de caudal .....	152
Ilustración 128 - Material FR-4.....	153
Ilustración 129 - Esquemático de fuerzas que actúan sobre la tarjeta .....	155
Ilustración 130 - Cantidad de tarjetas vendidas según acabados.....	156
Ilustración 131 - Elección de un modelo de tarjeta para el análisis .....	157
Ilustración 132 - Modelo de tarjeta para el análisis.....	158
Ilustración 133 - Vista superior de la tarjeta VAUL-189 con FAV-192 .....	158
Ilustración 134 - PCB de la VAUL-189 sin componentes.....	159
Ilustración 135 - VAUL-189 con componentes soldados .....	160
Ilustración 136 - Detalle componentes SMD por la cara inferior .....	160
Ilustración 137 - Detalle componentes SMD por la cara superior.....	160
Ilustración 138 - Detalle zona de componentes y ubicación en el plano de posicionado .....	161
Ilustración 139 - Detalle soldadura entre ambas tarjetas .....	161
Ilustración 140 - Detalle conexión entre ambas tarjetas y apoyo .....	162
Ilustración 141 - Momentos sobre la tarjeta FAV-192 .....	162

Ilustración 142 - Detalle tarjeta FAV-192 con los conectores hembra de red emerg y red lum.....	164
Ilustración 143 - Distintos materiales y alturas para baquelitas .....	165
Ilustración 144 - Diseño de baquelita .....	165
Ilustración 145 - Compresión del muelle y puntas al descender una tarjeta.....	166
Ilustración 146 - Medidas del sistema de amarre en reposo para distintas baquelitas.....	167
Ilustración 147 - Vista ampliada del sistema de amarre en reposo para baquelita de 20mm .....	168
Ilustración 148 - Vista ampliada del sistema amarrado para baquelita de 20mm .....	168
Ilustración 149 - Vista ampliada del sistema de amarre en reposo para baquelita de 10,4mm .....	169
Ilustración 150 - Vista ampliada del sistema amarrado para baquelita de 10,4mm.....	170
Ilustración 151 - Medidas finales del sistema amarrado para baquelita de 10,4mm .....	171
Ilustración 152 - Medidas del sistema de amarre con tarjeta amarrada.....	172
Ilustración 153 - Modelado de la punta de prueba según datos del fabricante .....	173
Ilustración 154 - Isletas en la VAUL-189 .....	174
Ilustración 155 - Plataforma unida al cilindro y las uñas de amarre .....	175
Ilustración 156 - Modelado 3D de la plataforma y laterales .....	176
Ilustración 157 - Detalle plataforma.....	176
Ilustración 158 - Modelado 3D del conjunto de la uña .....	177
Ilustración 159 - Detalle del roce entre uña, chapa de soporte y regulador .....	178
Ilustración 160 - Detalle plataforma móvil, cilindro y uñas de amarre en cama VDG-184 .....	179
Ilustración 161 - Cama completa Fakir tarjeta VDG-184 .....	180
Ilustración 162 - Plano sistema de amarre de la cama VDG-184.....	180
Ilustración 163 - Contacto entre tarjeta y uñas de amarre .....	181
Ilustración 164 - Punto de aplicación fuerza del cilindro neumático.....	181
Ilustración 165 - Modelado 3D plataforma y cilindro con uñas de la cama VDG-184.....	183
Ilustración 166 - Uñas de la cama VDG-184 en cama VAUL-189 .....	183
Ilustración 167 - Vista superior del lecho con las uñas de amarre .....	184
Ilustración 168 - Perspectiva del posicionamiento de las uñas de amarre en cama VAUL-189 .....	184
Ilustración 169 - Determinación experimental distancias centro gravedad con cable suspendido .....	186
Ilustración 170 - Situación de reposo y fuerzas involucradas .....	187

Ilustración 171 - Situación de amarre y fuerzas involucradas.....	187
Ilustración 172 - Origen de coordenadas en la placa para el análisis.....	188
Ilustración 173 - Detalle apoyo de la tarjeta sobre el muelle del centrador .....	189
Ilustración 174 - Apoyo elástico .....	190
Ilustración 175 - Resultante reacciones en los apoyos .....	191
Ilustración 176 - Resultante peso propio PCB.....	193
Ilustración 177 - Resultante peso propio PCB.....	193
Ilustración 178 - Carga distribuida componentes SMD.....	194
Ilustración 179 - Peso componentes SMD .....	195
Ilustración 180 - Carga distribuida peso FAV-192 .....	195
Ilustración 181 - Ubicación carga distribuida peso FAV-192 .....	196
Ilustración 182 - Fuerza elástica de las puntas de prueba.....	197
Ilustración 183 - Detalle de la carrera de avance y retroceso del cilindro neumático en cama NLED-201 .....	198
Ilustración 184 -Fuerza neumática .....	201
Ilustración 185 - Momento flector de cable TMO.....	202
Ilustración 186 - Fases simulación FEM .....	204
Ilustración 187 - Modelado 3D del lecho de prueba de una tarjeta en reposo .....	204
Ilustración 188 - Modelado 3D del lecho de prueba de una tarjeta amarrada.....	205
Ilustración 189 - Modelado 3D muelle, camisa, punta y centrador (izquierda a derecha) .....	205
Ilustración 190 - Modelado 3D de las tarjetas VAUL-189 y FAV-192 .....	206
Ilustración 191 - Creación archivo FEM y SIM.....	206
Ilustración 192 - Tipos principales de elementos 3D .....	207
Ilustración 195 - Detalle calidad mallado VAUL-189.....	209
Ilustración 193Ilustración 194.....	209
Ilustración 196 - Detalle acoplamiento de mallas.....	210
Ilustración 197 - Detalle calidad mallado FAV-192 .....	210
Ilustración 198 - Restricciones para los apoyos.....	212
Ilustración 199 - Restricciones de desplazamiento Z en los apoyos.....	212

<b>Ilustración 200 - Fuerza elástica muelle centradores.....</b>	<b>213</b>
<b>Ilustración 201 - Restricciones y fuerzas en los apoyos. ....</b>	<b>213</b>
<b>Ilustración 202 - Peso PCB VAUL-189 .....</b>	<b>214</b>
<b>Ilustración 203 - Peso componentes SMD .....</b>	<b>215</b>
<b>Ilustración 204 - Peso tarjeta FAV-192 .....</b>	<b>215</b>
<b>Ilustración 205 - Fuerza elástica de las puntas de prueba.....</b>	<b>216</b>
<b>Ilustración 206 - Fuerzas elásticas en todas las puntas.....</b>	<b>216</b>
<b>Ilustración 207 - Fuerza neumática aplicada, simulando una uña .....</b>	<b>217</b>
<b>Ilustración 208 - Fuerza neumática aplicada en todos los puntos de contacto .....</b>	<b>217</b>
<b>Ilustración 209 - Momento flector de los cables telemando.....</b>	<b>218</b>

# Índice Tablas

---

Tabla 1 - Software utilizado para la búsqueda y gestión de la documentación interna de Daisalux .....	57
Tabla 2 - Software utilizado para ver archivos con extensión “.dwg” .....	57
Tabla 3 - Software utilizado para dibujo asistido por ordenador .....	58
Tabla 4 - Posiciones finales punto de aplicación de la fuerza del cilindro sobre la tarjeta VAUL-189..	105
Tabla 5 - Información y referencia baquelita.....	107
Tabla 6 - Información y referencia Tope cama Fakir .....	107
Tabla 7 - Información y referencia uña de amarre.....	108
Tabla 7 - Información y referencia uña de amarre.....	108
Tabla 9 - Información y referencia plataforma .....	108
Tabla 10 - Información y referencia lateral plataforma .....	109
Tabla 9 - Información y referencia tapa soporte .....	109
Tabla 11 - Descomposición costes de las tareas desarrolladas .....	118
Tabla 12 - Descomposición de costes de las licencias y los recursos utilizados para el desarrollo .....	118
Tabla 13 - Descomposición costes material utilizado .....	119
Tabla 14 - Presupuesto total .....	120
Tabla 15 - Combinación de acabados para la tarjeta VAUL-189.....	128
Tabla 16 - Número de componentes en cada acabado .....	130
Tabla 17 - Dimensiones del circuito, grosor y material de VAUL-1899.....	132
Tabla 18 - Masas VAUL-189 y componentes.....	134
Tabla 19 - Posición de los pad para los cables de telemando respecto al origen de referencia.....	136
Tabla 20 - Características cables Telemando .....	136
Tabla 21 - Posición de los centradores de la tarjeta VAUL-189 respecto al origen de referencia .....	137
Tabla 22 - Posición de los centrados respecto al eje central de la placa de PCB .....	137
Tabla 23 - Posición de las isletas respecto al origen de referencia.....	138
Tabla 24 - Combinación de acabados para FAV-192 .....	140
Tabla 25 - Número de componentes en cada acabado .....	141

Tabla 26 - Dimensiones del circuito, grosor y material de FAV-192 .....	142
Tabla 27 - Masa tarjeta FAV-192 y componentes .....	143
Tabla 28 - Posición del centro de los agujeros para los cables respecto a ambos orígenes de referencia .....	144
Tabla 29 - Características cables red Emerg y red Lum .....	145
Tabla 30 - Posicionado de FAV-192 en VAUL-189 .....	146
Tabla 31 - Información y referencia muelle centradores .....	147
Tabla 32 - Información y referencia Punta de prueba y camisa .....	149
Tabla 33 - Fuerza elástica puntas de prueba .....	149
Tabla 34 - Información y referencia del cilindro neumático 1.....	151
Tabla 35 - Información y referencia del cilindro neumático 2.....	151
Tabla 36 - Relación de diámetros pistón-vástago y sección de retroceso ( $\emptyset$ ).....	152
Tabla 37 - Propiedades FR-4.....	154
Tabla 38 - Posiciones punto de aplicación de la fuerza del cilindro sobre la tarjeta VDG-184.....	182
Tabla 39 - Posiciones punto de aplicación de la fuerza del cilindro sobre la tarjeta VAUL-189 .....	185
Tabla 40 - Tamaño de elementos más adecuado para el mallado .....	208

# Abreviaturas, acrónimos y siglas

---

AC	Tensión/ alimentación de corriente alterna
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información
C	Condensador
CAD	<i>Computer Aided Design</i> Diseño asistido por Ordenador
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> Ingeniería asistida por ordenador
Cant.	Cantidad
CEM	<i>Composite epoxy materials</i> Materiales compuestos de epoxi
CN	Conector eléctrico
Cód.	Código
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i> Interfaz Digital de Iluminación Direccional
DC	Tensión/ alimentación de corriente continua
DCE	<i>Data Communication Equipment</i> Equipo de Comunicación de Datos
DM	Madera densidad media
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i> Equipo Terminal de Datos
Fab.	Fabricante
FEA	<i>Finite Element Analysis</i> Análisis por Elementos Finitos
FEM	<i>Finite Element Method</i> Método de Elementos Finitos
FI	Filtro eléctrico
FR	<i>Flame Retardant</i> Retardante de llama
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i> Bus de interfaz de propósito general
I+D	Investigación y desarrollo
ICT	<i>In-circuit testing</i> Prueba en circuito
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> Comisión Electrotécnica Internacional
IP	<i>Ingress Protection</i>

	Grado de protección
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i> Organización Internacional de Normalización
<b>LED</b>	<i>Light-Emitting Diode</i> Diodo emisor de luz
<b>MEF</b>	Método de Elementos Finitos
<b>NEMA</b>	<i>National Electrical Manufacturers Association</i> Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
<b>NEMA</b>	<i>National Electrical Manufacturers Association</i> Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
<b>Nom.</b>	Nominativo
<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i> Placa de Circuito Impreso
<b>POM</b>	Polioximetileno (termoplástico) <i>también conocido como acetal, poliacetal y poliformaldehído</i>
<b>PTC</b>	<i>Positive Temperature Coefficient</i> Termistor de Coeficiente de Temperatura Positivo
<b>Pto.</b>	Punto
<b>RS-232</b>	<i>Recommended Standard 232</i> Estándar Recomendado 232
<b>SCPI</b>	<i>Standard Commands for Programmable Instruments</i> Comandos Estándar para Instrumentos Programables
<b>SI</b>	Sistema Internacional de Unidades
<b>SMD</b>	<i>Surface-Mount Devices</i> Dispositivo de montaje superficial
<b>SMT</b>	<i>Surface-Mount Technology</i> Tecnología de montaje superficial
<b>TCA</b>	Test central
<b>TF</b>	Transformador
<b>TFG</b>	Trabajo Final de Grado
<b>TH</b>	Termistor
<b>THT</b>	<i>Through-Hole Technology</i> Tecnología de agujero pasante
<b>TMO</b>	Telemando
<b>UNE</b>	Una Norma Española
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i> Bus Universal en Serie
<b>VDC</b>	Serie de productos de la marca DUISA denominada VIDECO

# Presentación

---

Este proyecto final para el Grado en Ingeniería Mecánica de la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz se desarrolla con la finalidad de dar solución a una necesidad planteada por la empresa Daisalux, ubicada en el polígono industrial de Jundiz, en Vitoria-Gasteiz.



***Ilustración 1** - Sede central de la empresa en Vitoria-Gasteiz*

La actividad de Daisalux está centrada en el diseño, la fabricación y la comercialización de **luminarias de emergencia**, balizas y señalización. El principal objetivo de la compañía es satisfacer completamente las necesidades de los clientes, generalmente los diferentes profesionales que intervienen en la construcción y habitabilidad de los edificios, como arquitectos e ingenieros, empresas instaladoras y de mantenimiento.



***Ilustración 2** - Diseño personalizado de luminarias para Catedral de Santa María (Vitoria-Gasteiz)*

Para encontrar las soluciones adecuadas se analizan las distintas necesidades a cubrir, dividiéndolas principalmente en tres, y tratando de encontrar un equilibrio razonable entre ellas.



*Ilustración 3 - Necesidades para las que Daisalux busca la mejor solución.*

El principal objetivo de la iluminación de emergencia, la señalización de seguridad y del balizamiento es garantizar la seguridad de las personas que ocupan un local ante una situación de emergencia. Por ello, la seguridad abarca la legislación y normativa vigente, los requisitos luminotécnicos y la mejora en la eficacia.

Al tratarse de una pequeña parte de las instalaciones de un edificio, es labor de la arquitectura y de la ingeniería conseguir que todo el conjunto quede integrado, debiéndose aportar soluciones que se adapten a los distintos entornos, alturas, espacios y limitaciones de la propia arquitectura de un edificio, intentando minimizar además el impacto visual.

Por último, la reducción del impacto medioambiental en la actividad de la empresa, los consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>, así como la reducción de los costes de

mantenimiento, se tienen en cuenta con el objetivo de consumir la menor cantidad de recursos posibles y hacer un uso responsable de ellos.

Con todo este análisis, Daisalux proporciona soluciones innovadoras, versátiles e integrales, con el diseño y la estética como valor añadido. Sin perder de vista al usuario, elemento clave a quien se debe proteger, con la seguridad por encima de todo.

La empresa realiza proyectos de alumbrado de emergencia en multitud de ámbitos, desde centros de enseñanza, de ocio y de negocios, industrias e infraestructuras de transporte, hasta edificio culturales, hostelería e instalaciones deportivas. Los metros de Bilbao y Barcelona, la Ciudad deportiva del Baskonia y el pabellón Fernando Buesa Arena en Vitoria, el Bijloke Concert Hall en Gante, el Teatro Real de Madrid y el de Buenos Aires o las oficinas de la torre Eiffel de París, son algunos de los clientes que iluminan sus edificios con productos de la marca.

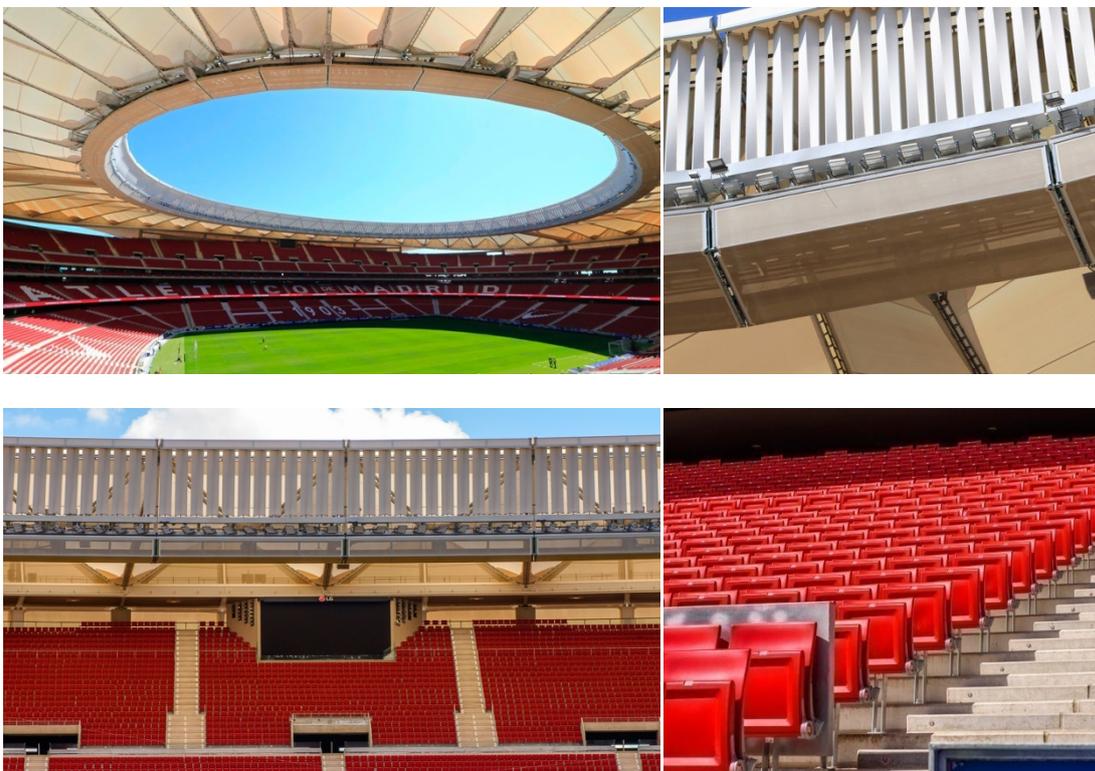
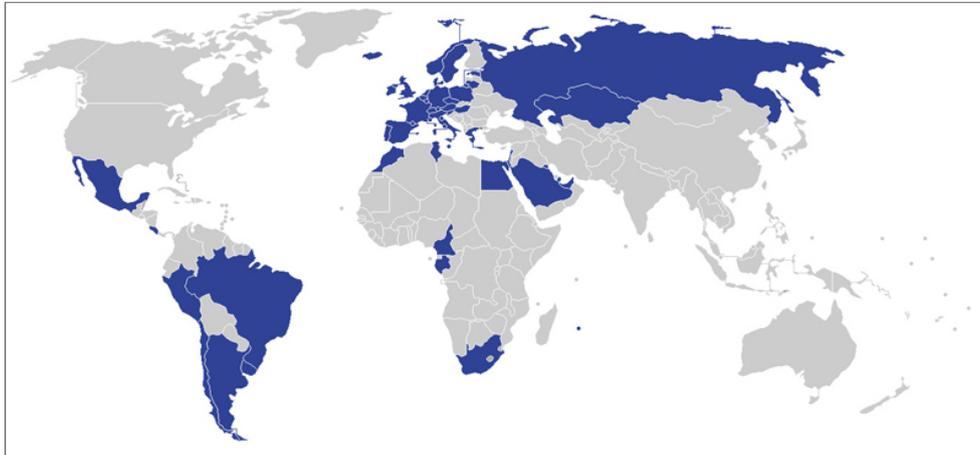


Ilustración 4 - Iluminación y balizamiento en el estadio Wanda Metropolitano (Madrid).

Fundada en 1988 como una pequeña compañía familiar, actualmente es un referente en Europa en el desarrollo de sistemas de alumbrado de emergencia y líder en su mercado, estando presente en más de 20 países, entre los que destacan Francia, Portugal o México.



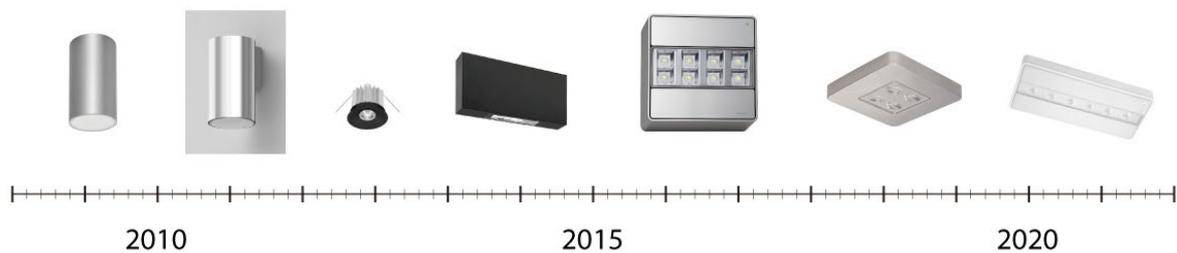
**Ilustración 5** - Países donde se realiza asesoramiento y distribución de productos

Por ello, con vocación predominantemente exportadora, nació en el año 1999 la empresa Duisa, con los medios necesarios para la adaptación de los productos a diferentes mercados y exigencias.



**Ilustración 6** - Señalización en librería del Museo del Louvre (París)

Su decidida apuesta por la innovación y la calidad se refleja en Laintec, el centro corporativo de I+D del grupo. Cuenta con diferentes departamentos formado por más de 30 ingenieros y un departamento de óptica aplicada, que trabajan continuamente para adaptarse a las nuevas necesidades de un mercado tan exigente como el de la seguridad de las personas, así como en el desarrollo de nuevos productos para el sector del alumbrado de emergencia y señalización.



*Ilustración 7 - Desarrollo de nuevos productos de la empresa a lo largo de la última década*

Además, Daisalux cuenta con sistemas propios para el aseguramiento de la calidad y de la gestión ambiental certificados según las Normas ISO 9001 e ISO 14001 respectivamente.

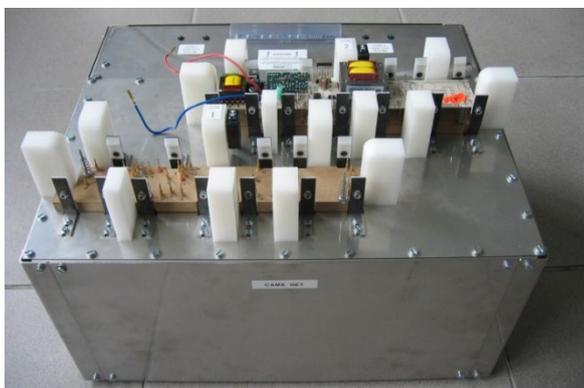
# 1. Memoria

---

## 1.1. Introducción

Como ya se comentaba en la presentación de la empresa, fruto del compromiso de Daisalux con la calidad y la mejora continua de sus productos, todas las placas electrónicas de sus luminarias se comprueban y testean previo montaje en artículo final, que vuelve a ser controlado de manera manual y visual antes de ser mandado al cliente.

Para realizar este control de calidad y testeo de los circuitos se utiliza una herramienta denominada cama Fakir, que se explicará con detalle en siguientes apartados.



*Ilustración 8 - Cama Fakir para una tarjeta de Daisalux*

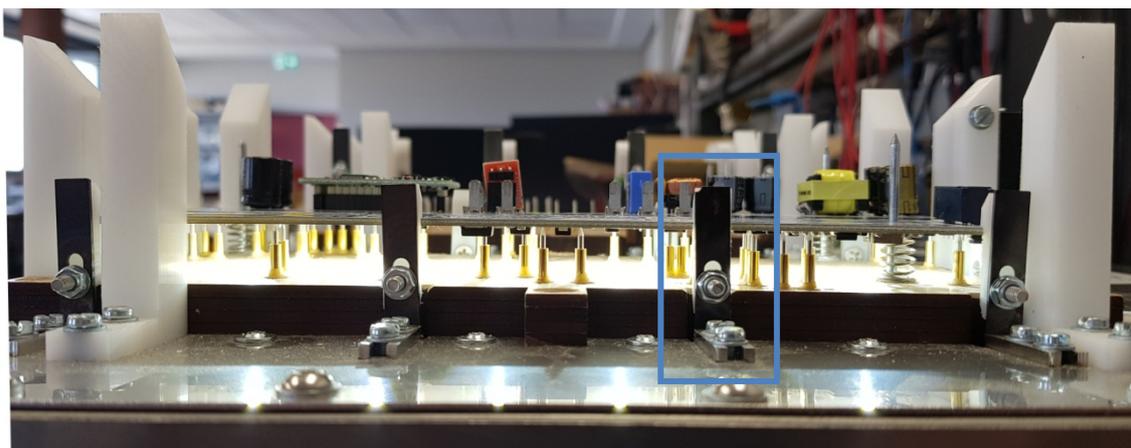
Este TFG centra su atención en la cama Fakir para la tarjeta VAUL-189, usada en las **luminarias de emergencia** de la familia de productos Videco (en adelante también VDC) dentro de la marca Duisa. Previo paso a entender la problemática existente con esta tarjeta y su cama Fakir, los apartados [4.1](#) y [4.2](#) dentro de [Anexos](#), explican brevemente esta serie y detalla todas las características de dicha placa electrónica.



*Ilustración 9 - Luminaria de emergencia de la familia VIDECO*

## 1.2. Objetivo

La motivación de este proyecto es modificar y rediseñar el actual sistema de amarre de las tarjetas en las camas Fakir neumáticas, con el fin de evitar durante el testeo problemas de deformación en aquellas placas electrónicas con una dimensión preponderante frente a la otra.



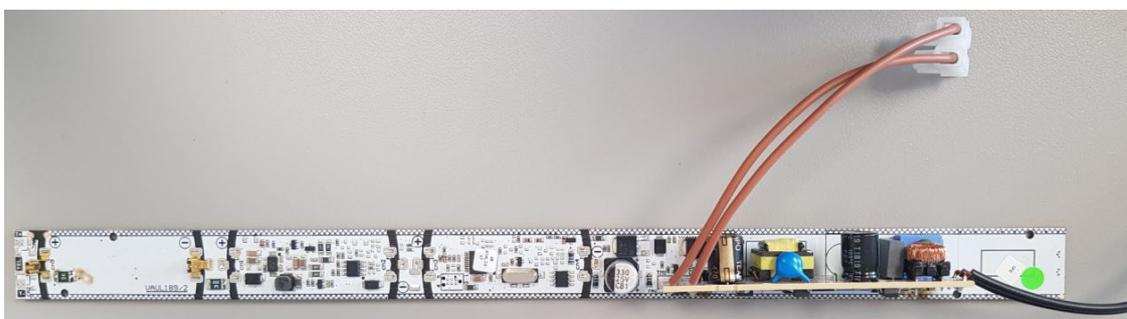
*Ilustración 10 - Sistema de amarre actual con detalle de la uña de amarre*

Para ello se aplicarán los conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería Mecánica, sobre todo en Resistencia de Materiales, Estructuras, Diseño de Máquinas y Expresión Gráfica, analizando las fuerzas y momentos que actúan sobre la tarjeta, para proceder al diseño de una solución más óptima y que minimice los esfuerzos. Evitando así la rotura mecánica de componentes y/o soldadura y garantizando un correcto estado de la tarjeta tras la finalización de las pruebas en la cama Fakir.

## 1.3. Alcance

La familia VIDEKO, según el funcionamiento deseado en la **luminaria**, utiliza distintos circuitos electrónicos, y consecuentemente distintas tarjetas.

Este TFG se centra exclusivamente en diseñar una solución para el sistema de amarre para la cama FAKIR de la tarjeta VAUL-189. Es importante recalcar que solamente será válida para esta tarjeta, ya que todo el estudio y análisis se realiza atendiendo a las características propias de esta tarjeta: dimensiones, material, pesos, componentes, **isletas**, entre otros. Toda esta información se puede encontrar en [4.2 Tarjeta electrónica VAUL-189](#).



*Ilustración 11 - Tarjeta VAUL-189*

La idea es aportar una solución nueva para el sistema de amarre, distinta y más efectiva a las ya existentes, exclusiva para la tarjeta VAUL-189, pero que pueda ser fácilmente trasladable a camas Fakir de otras tarjetas de la familia incluso de otras familias con predisposición a sufrir problemas de flexión, llevando a cabo las adaptaciones necesarias para cada caso.

El alcance se limita meramente a la mecánica del sistema de amarre de la cama Fakir para la tarjeta VAUL-189, entendiéndose el proyecto como un proyecto de análisis mecánico y diseño de esta parte. Se pretende que el nuevo planteamiento se pueda adaptar e integrar de manera sencilla en las camas neumáticas actuales, sin que supongan grandes cambios respecto a tal y como se elaboran en Daisalux.

El diseño o dimensionamiento del resto de componentes mecánicos que no estén involucrados en el nuevo diseño, los módulos electrónicos necesarios, tanto de

hardware como de software, el montaje final, programación de pruebas así como otras partes implicadas y necesarias para hacer la cama operativa no se consideran parte del proyecto.

Tras la finalización del mismo y si se tiene a bien, quedará en manos de Oficina Técnica incorporar la solución propuesta a la cama neumática Fakir de la tarjeta, adaptándola con los cambios y gestionando toda la documentación final necesaria y recursos para su ejecución final.

## 1.4. Antecedentes

### 1.4.1. Testeo de circuitos electrónicos

La **PCB** es el componente básico de cualquier circuito electrónico, independientemente de la complejidad o sencillez que ésta tenga. El uso generalizado de **componentes SMD** y la necesidad de usar más capas ha aumentado la complejidad de las placas de circuito impreso en los últimos años. El requisito común que deben cumplir todas ellas es un funcionamiento correcto, evitando cualquier defecto.

Los circuitos electrónicos de las **luminarias** llevan integrados una gran variedad de componentes electrónicos, tanto componentes SMD como componentes convencionales, denominados **componentes THT**. Transistores, condensadores, diodos, resistencias, LED, **circuitos integrados** o transformadores son elementos presentes en la gran mayoría de placas electrónicas de las luminarias, suponiendo un número elevado de soldaduras e interconexiones.



*Ilustración 12 - Componentes electrónicos en una tarjeta vista por las dos caras (superior e inferior)*

Por lo tanto hay que tener presente la posible aparición de cortocircuitos, uniones de soldadura imperfectas, trazados interrumpidos, polaridad invertida de componentes o incluso ausencia de ellos en la placa.

Además, las **PCB** se ven expuestas a impactos mecánicos y térmicos durante su proceso de fabricación, manipulación y transporte, como por ejemplo, deformaciones, vibraciones, golpes o exposición térmica.

La deformación por flexión es uno de los problemas más frecuentes. Esta deformación puede darse durante la instalación de distintos componentes, como conectores o soportes de baterías. Además, puede ocurrir durante **ensayos ICT** debido a una fuerza excesiva de las sondas de prueba o del amarre de la tarjeta durante ensayos funcionales. También puede aparecer en otros pasos de la fabricación, como por ejemplo en la **soldadura por ola**, debido a las diferencias térmicas por las que pasa la placa. Esta flexión puede provocar, entre otros, el fallo total de componentes, como por ejemplo ocasionar su rotura o la pérdida de puntos de soldadura en sus **pad**.

Por ello resulta esencial definir unos procedimientos de inspección y ensayos rigurosos, que sean capaces de garantizar y asegurar la calidad del producto final. Y no sólo eso, además permiten ahorrar tiempo y dinero, al identificar los posibles defectos que afectan al circuito antes de que lleguen a la producción final. Ya se adelantaba en el apartado **Presentación** que Daisalux testea y verifica cada placa electrónica que sale de sus instalaciones.

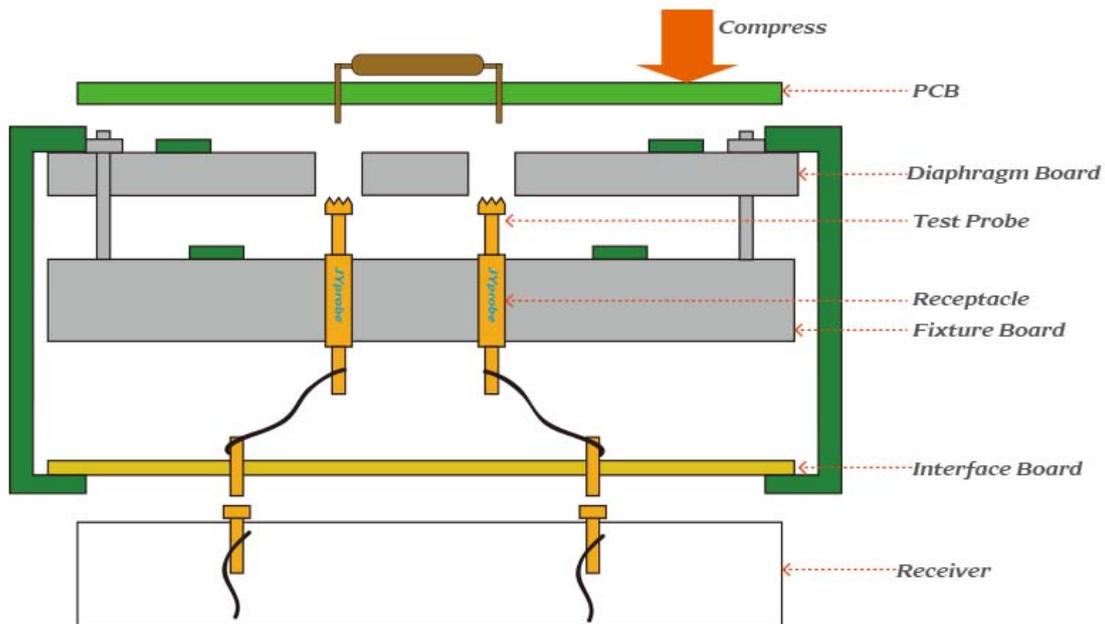
#### 1.4.2. Herramientas de testeo

Existen diferentes pruebas y métodos de inspección de placas de circuito impreso. Uno de los más usados en la producción en masa son las camas de pinchos (conocidas en inglés como *Bed of nails tester* o *PCB test fixtures*).

##### 1.4.2.1. Camas de pinchos

Se trata de un accesorio de prueba electrónico que está formado por numerosas puntas, que pueden ser retráctiles, móviles o de otro tipo. Al presionar la placa electrónica contra la cama se establece un contacto rápido y simultáneo entre ella y

los puntos de prueba, generalmente islas de cobre (**isletas**) ubicadas en puntos de interés en la placa de circuito impreso bajo prueba. Por medio de estas puntas, unidas mediante cables a una unidad de medición, se inyectan y extraen señales de información. Esta electrónica auxiliar de medición puede estar compuesta por software y aparatos de medida convencionales como osciloscopios o multímetros.



**Ilustración 13** - Esquema general de una cama de pinchos

Fuente: Página oficial de la empresa JianYang

Estas herramientas permiten realizar pruebas sobre un circuito impreso sin ensamblar para realizar un test de integridad eléctrica o, en la mayoría de los casos, para implementar un test funcional en tarjetas ya ensambladas.

El test funcional prueba el correcto funcionamiento de un circuito, reproduciendo las señales eléctricas capaces de estimularlo y midiendo los efectos producidos. Mediante software informático se procesan las mediciones realizadas en los puntos concretos de la **PCB** y se verifican que los valores obtenidos estén dentro de las especificaciones de diseño y sus tolerancias. Este test permite detectar posibles anomalías del circuito que solamente se producen cuando el circuito está funcionando, por ejemplo, corrientes, tensiones o consumos altos o bajos.



**Ilustración 14** - Cama de pinchos de test funcional mediante neumática de la empresa Selectica.

*Fuente: Página oficial de la empresa Selectica*

En Daisalux estos útiles de control de calidad son conocidos o se denominan “*camas Fakir*”, por analogía con las camas de clavos usadas por los faquires. Forman parte de un sistema complejo al que también se le denomina FAKIR.



**Ilustración 15** - Faquir en India en 1907 (izq.). Puntas de testeo en una cama de Daisalux (dcha.)

*Fuente: Wikipedia*

Antes de centrar la atención en las camas de pruebas, objeto de estudio y rediseño en este proyecto, se dedica un apartado previo para explicar el sistema FAKIR con el fin de que el lector se haga una pequeña composición de todos los elementos que entran en juego para que el control de calidad funcione.

### 1.4.3. FAKIR

*FAKIR* es un sistema que permite realizar, de forma automática, test funcionales a las tarjetas electrónicas de las **luminarias de emergencia**. Está diseñado atendiendo a la flexibilidad y agilidad que se le debe exigir a un sistema de control funcional de tarjetas electrónicas, al que se desea introducir constantemente nuevos modelos de tarjetas, nuevas pruebas o rectificaciones, nuevos formatos de tarjeta, nuevas puntas de test a las camas existentes, etc.

Contiene los dispositivos que simulan el entorno eléctrico de las tarjetas diseñadas para **luminarias autónomas de emergencia** y un ordenador que gestiona el sistema. Estos dispositivos son principalmente:

- Uno o dos simuladores de batería controlados por ordenador.
- Un autotransformador de salida variable, para simular la caída de red.
- Un **multiplexor** programable para seleccionar las lecturas de tensión hacia un multímetro digital.
- Un ordenador que controla los dispositivos y permite el control global de la ejecución de las pruebas que se realizan a cada tarjeta.
- Un multímetro controlable desde el ordenador que lleva el control global de las pruebas al que se conecta mediante el interfaz adecuado, **GPIB**, RS232 o USB.
- Instrumentos adicionales, compatibles con el estándar de instrumentación SCPI, que permiten otras funcionalidades (fuentes de alimentación, carga activa, generadores de señal) conectables mediante **GPIB**, RS232 o US.

El sistema se puede dividir en dos módulos principales: hardware y software. El hardware de Fakir está compuesto por cuatro elementos:

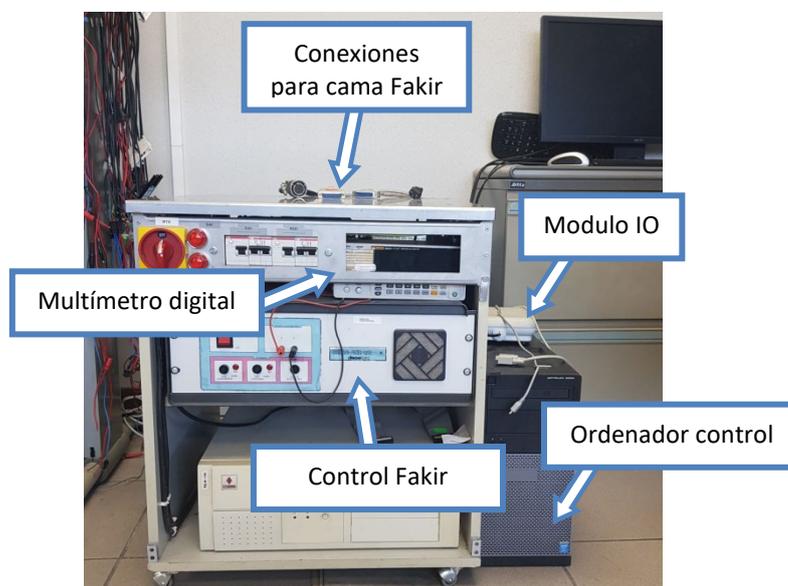
- Control Fakir
- Cama de pruebas o cama Fakir
- Multímetro digital
- Ordenador de control

- Opcionalmente se le pueden añadir más elementos como una **central TEV**, otros instrumentos compatibles SCPI (fuentes DC, generadores de funciones) o módulos IO adicionales.

Por su parte, el software se compone de:

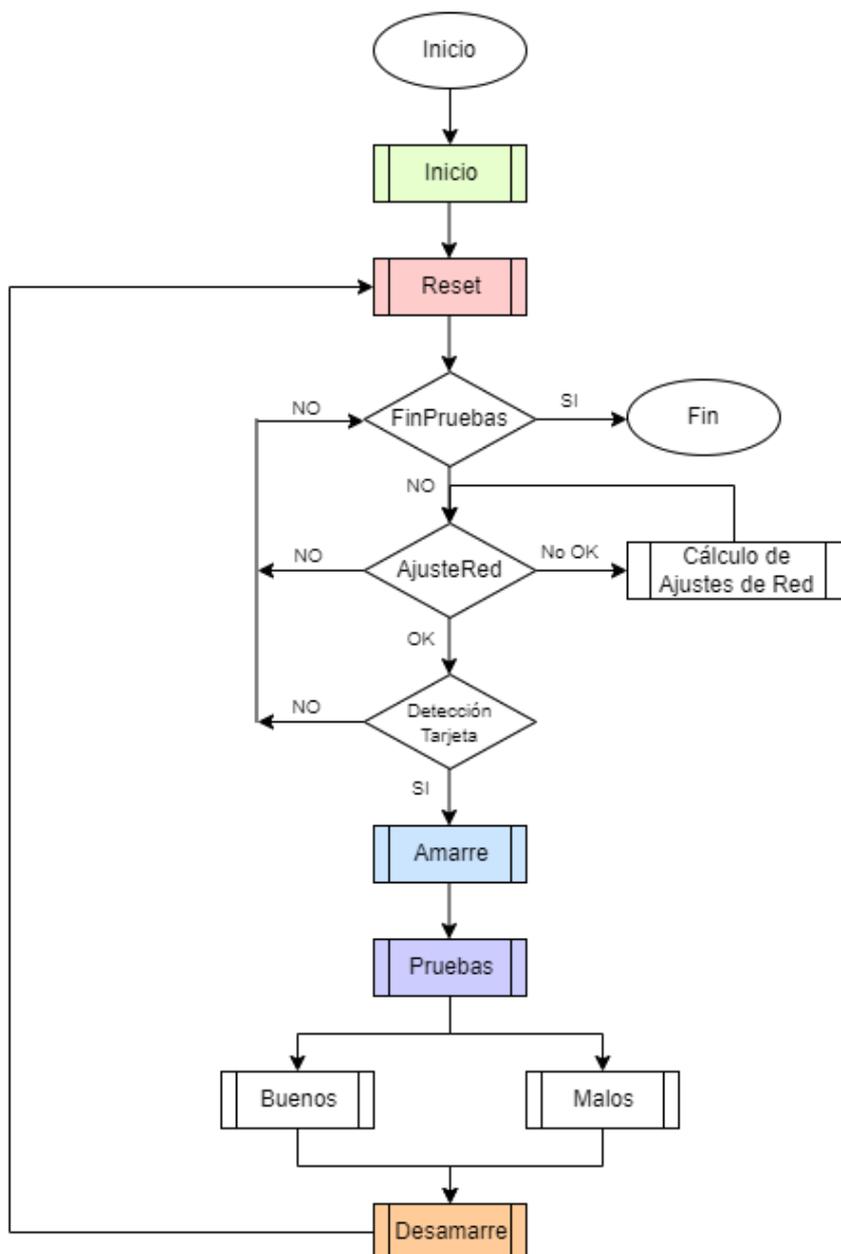
- **Multímetro/Instrumentos digitales (GPIB, RS232,USB)**  
Es un instrumento virtual que declara una interfaz standard con el multímetro digital y permite general drivers específicos para poder controlar un rango de multímetros controlables mediante los buses: **GPIB**, RS232 y USB. Cada driver específico de multímetro se genera traduciendo un juego de comandos y escalas standard a los comandos y escalas de cada tipo de multímetro en particular. Este juego de comandos se carga de forma automática en cuanto se detecta el multímetro que está conectado.
- **Módulo IO de entradas/salidas digitales.**  
Permite comunicar FAKIR (ordenador/programa) con el control FAKIR. Consta de 56 salidas (7 **octetos**) y 8 entradas (1 **octeto**) para comunicar el ordenador/programa con el control Fakir. Este módulo permite detectar la colocación de la tarjeta y controlar todo el sistema. El **octeto** 2 son entradas digitales que reciben el estado de los sensores de detección de presencia de tarjeta en la cama FAKIR. Los demás **octetos** son de salida, envían órdenes al control FAKIR.
  - **Octeto** 1: Configuración de la línea de lectura
  - **Octeto** 2: Lectura de sensores de detección de tarjetas
  - **Octeto** 3: Control de Electroválvulas
  - **Octeto** 4: Control de Leds de señalización
  - **Octeto** 5: Simuladores de red y **telemando**
  - **Octeto** 6 y 7: Simuladores de batería 1 y 2
  - **Octeto** 8: Salidas de control libre, para cosas variadas dependiendo del diseño de cada cama.
- Interprete L-FAK

Fakir permite probar cada tarjeta o dispositivo de forma diferenciada y permite definir pruebas específicas para cada dispositivo. Estas pruebas se escriben en un fichero de pruebas, fichero ASCII, en un lenguaje diseñado a tal efecto denominado L-FAK. Este fichero de pruebas, que se puede editar con cualquier editor de texto habitual (Bloc de notas, Notepad++), consta de una serie de secciones fijas que definen cómo se realiza la prueba en FAKIR: la inicialización, reset, amarre, pruebas y desamarre. Cada sección está compuesta por instrucciones más o menos simples que definen las acciones que se ejecutan en cada paso de las pruebas. Cada instrucción es una línea en el fichero.



**Ilustración 16** - Puesto Fakir con todos sus componentes a falta de conectar una cama

La siguiente imagen muestra el diagrama de transición de estados que sigue la ejecución de pruebas. Los estados con rayas verticales a los lados significan la ejecución de la sección del fichero de pruebas del mismo nombre. Las pruebas se ejecutan en un lecho cada vez. Cuando termina con un lecho se pasa al siguiente, en el caso de que haya dos en la cama. Una tarjeta es considerada buena cuando pasa correctamente todas y cada una de las pruebas descritas en el fichero de pruebas.



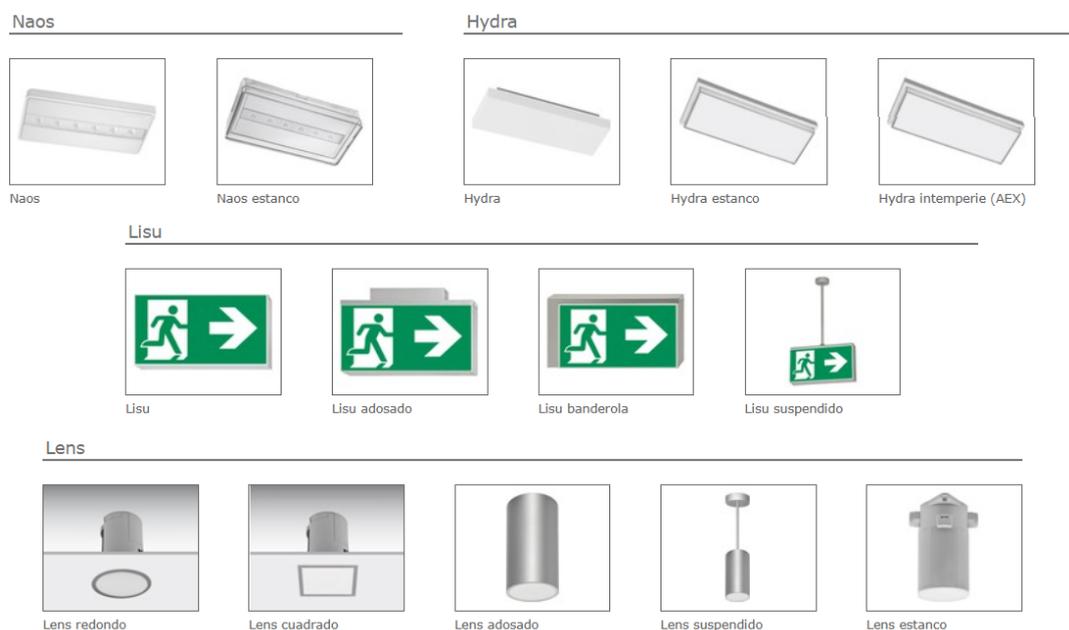
**Ilustración 17** - Secuencia de ejecución de las pruebas

La mecánica que realiza el amarre y conexionado eléctrico de la tarjeta está separada de la electrónica que realiza la simulación eléctrica y la multiplexión de las medidas. Esto permite construir diferentes mecánicas para un mismo sistema *FAKIR*. El desarrollo de nuevas tarjetas o la optimización de las existentes implica, simplemente, construir o modificar la mecánica asociada. Este párrafo resulta de vital importancia para poder desarrollar este TFG, ya que supone cambiar el sistema de amarre de una cama Fakir.

#### 1.4.4. Camas Fakir

Las camas Fakir se han ido desarrollando a lo largo de los años dentro de la propia empresa y se elaboran y documentan en el centro de I+D. Se diseñan teniendo en cuenta que son utilizadas en el área de producción de la empresa por distintos operarios en función del día y las necesidades según los pedidos en curso, por lo que, estas herramientas tienen una mecánica fácil de usar, un hardware robusto y un software rápido, con una interfaz gráfica intuitiva y fácil de seguir.

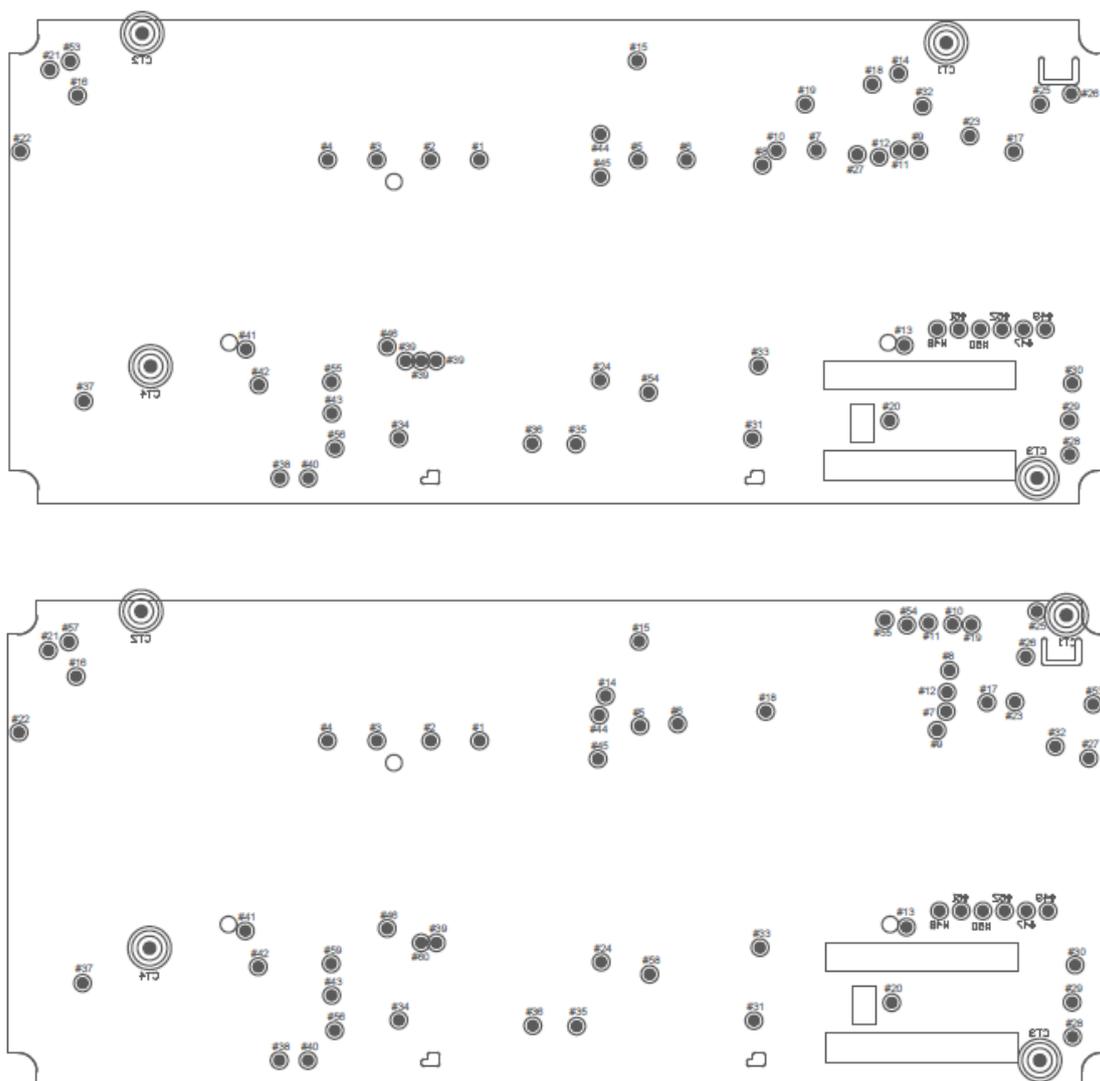
Todos los productos de Daisalux o Duisa se agrupan familias. En la mayoría de los casos, cada una de ellas están formadas por artículos con características diferentes, tanto electrónicas, mecánicas (accesorios de enrasar o de montaje, **grados de protección IP e IK**, diseño) como ópticas (difusores, lentes, señalética).



**Ilustración 18** - Algunas de las familias de Daisalux y sus modelos

Una familia de productos suele estar compuesta por diferentes tarjetas electrónicas que suelen tener ciertas características iguales, como por ejemplo las dimensiones de sus **PCB**. Pero existen muchas diferencias electrónicas entre ellas, que residen tanto en el hardware como en el firmware.

Generalmente las familias suelen usar distintas tarjetas en función de si tienen la opción de ser comunicantes (**TCA** o **DALI**) o no (**Autotest**, No TCA), ya que es un tema que implica el uso o no uso de firmware, además de hacer más complejo el diseño electrónico. Así, las tarjetas comunicantes y las no comunicantes pero con gestión de test incorporan un microprocesador y más hardware asociado y su firmware varía en la programación según su funcionamiento sea **Autotest**, **TCA** o **DALI**.



**Ilustración 19** - Diferencias electrónicas entre dos tarjetas de la familia NAOS.

La **Ilustración 19** muestra un ejemplo de lo anteriormente hablado. En la imagen se pueden ver el posicionado de los puntos de testeo en el PCB de dos tarjetas de la familia NAOS, una de las últimas series en ser lanzadas al mercado. Un vistazo rápido a

ambas tarjetas permite ver que las **isletas** de la zona superior derecha no coinciden, porque el circuito electrónico es muy diferente.

La imagen de arriba corresponde a tarjeta NLED-201 y la de abajo a la tarjeta NCD-201. Ambas tienen las mismas dimensiones de PCB, para adecuarse a la mecánica de la carcasa de las luminarias de la familia, pero la NLED-201 es una tarjeta no comunicante, mientras que la NCD-201 tiene la opción de comunicarse con una central. Por este motivo la empresa ha tenido que desarrollar una cama Fakir para cada una de ellas.

A su vez, cada tarjeta dentro de la familia suele constar de distintos acabados, dependiendo de las características deseadas. Por citar algunas, el funcionamiento (**no permanente, permanente, Autotest, TCA o DALI**), autonomía de batería, **lúmenes**, el tono de color del LED, y/o tensión de alimentación (110/127V, 220-230V o 277V a 50/60Hz). Todo ello radica en diferencias de hardware entre una misma tarjeta, ya que puede haber distinto número de componentes a usar o tener los mismos componentes pero con distintas características o valores. Cabe mencionar aquí que se da también el caso entre familias que comparten una tarjeta, que se usan en una familia o en otra dependiendo del acabado.

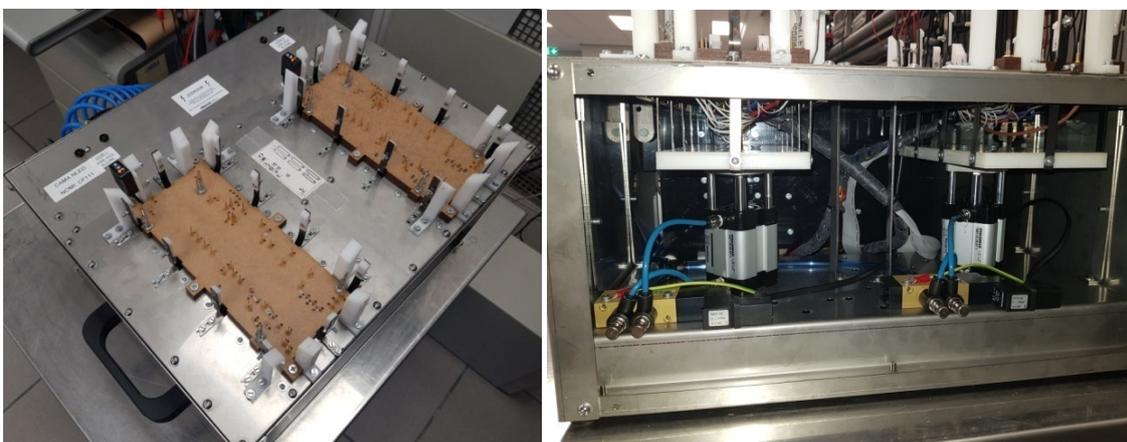
En resumidas cuentas, cada tarjeta de la familia, independiente del acabado con el que se configure, tiene unas dimensiones de PCB y unos puntos de testeo, las denominadas **isletas**, que no van a cambiar. Generalmente se suele fabricar una cama para cada tarjeta y se definen unas pruebas u otras según el acabado que se le configure.

Cuando se plantea la necesidad de desarrollar nuevas camas Fakir, bien sea por el diseño de una nueva familia de productos que se va a implantar en el mercado, el centro de I+D estudia las necesidades de cada tarjeta y las peculiaridades de cada una de ellas para decidir cuántas camas son necesarias elaborar para esa familia y qué tipo de cama se quiere fabricar.

#### 1.4.4.1. Tipos de camas

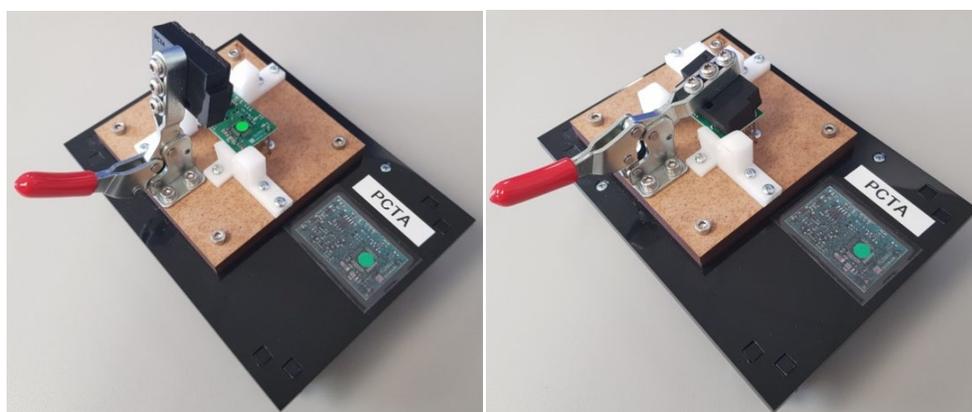
La empresa elabora dos tipos de camas según las necesidades de cada tarjeta: las camas neumáticas y las camas manuales. La diferencia principal entre ambas es el sistema de amarre de las placas electrónicas.

Las camas neumáticas realizan el amarre de manera neumática. Son complejas, pero muy efectivas para las tarjetas de las **luminarias** más demandadas en el mercado, ya que permiten probar grandes tiradas de tarjetas de manera muy cómoda. Además, garantizan una buena conexión entre los pinchos y la tarjeta, ya que utilizan cilindros neumáticos para presionar la tarjeta, dándole más estabilidad y sobre todo uniformidad en la presión.



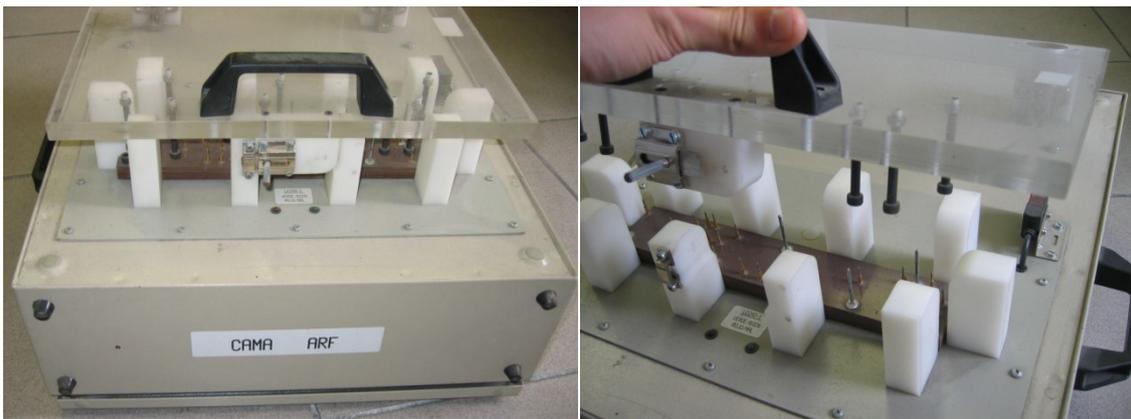
**Ilustración 20** - Ejemplo de cama neumática

En las camas manuales, es un operario el encargado de realizar el amarre. Si las tarjetas son pequeñas, se presionan uniformemente mediante una brida.



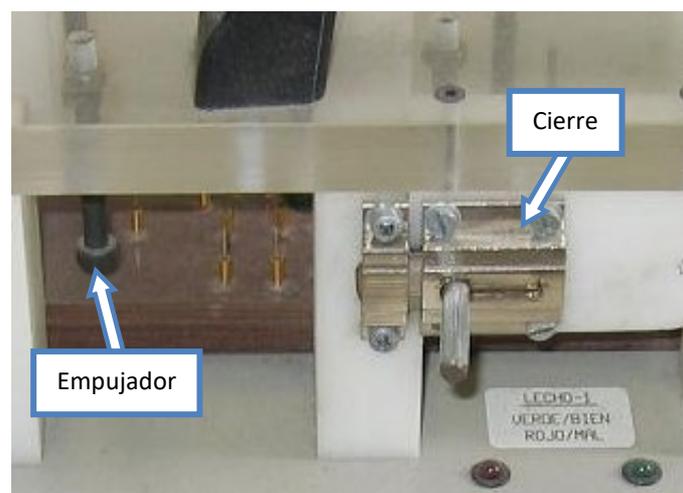
**Ilustración 21** - Ejemplo de cama manual con brida

Si las tarjetas son más grandes se utiliza una tapa que baja y presiona la tarjeta contra las puntas de testeo. Para ello disponen de unos empujadores en la tapa, generalmente fabricada de metacrilato. Así, cuando baja la tapa, baja a su vez la tarjeta para que efectúe el contacto con las puntas de prueba. A fin de mantener la presión de pinchado en estas camas, disponen además de un cierre para asegura la posición baja de la tapa.



**Ilustración 22** - Ejemplo de cama manual con tapa

Al carecer de los componentes neumáticos, las camas manuales son más sencillas de fabricar y mantener. En contraposición, la comprobación de un número elevado de tarjetas es más tediosa.

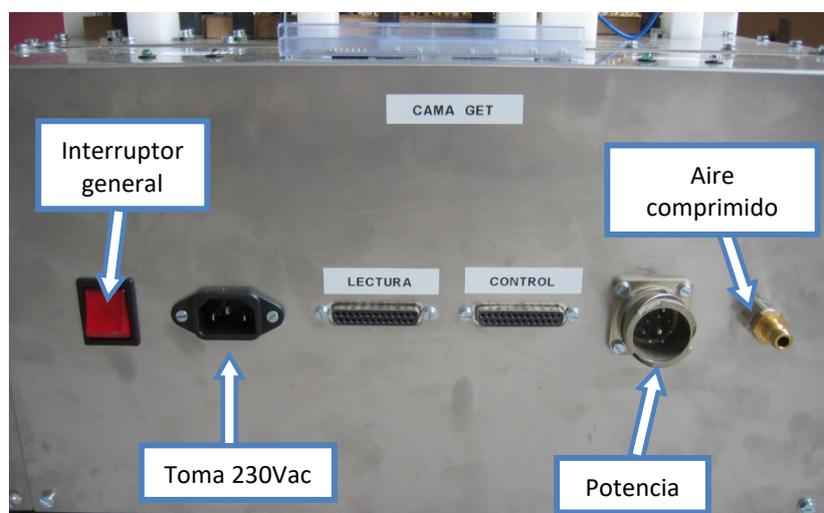


**Ilustración 23** - Cierre y empujador de una cama manual

#### 1.4.4.2. Uso y funcionamiento

Para realizar un control de calidad a las tarjetas hay que seguir una serie de pasos. En primer lugar, se traslada la cama de la tarjeta que se quiere probar a un puesto FAKIR, que tenga instalada toda la electrónica auxiliar y el software.

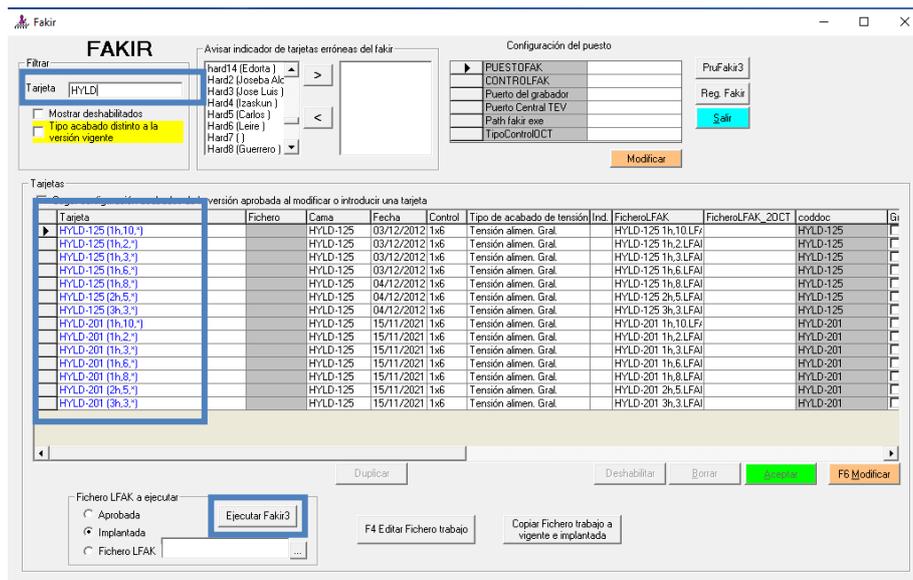
La conexión de los cables del puesto a la cama es idéntica para todas ellas. Basta con conectar el cable de potencia y de 230V AC, el aire comprimido y los cables de lectura y control. Al conectar estos últimos, los pilotos de los sensores lucen.



**Ilustración 24** - Conexiones de una cama neumática

Posteriormente se accede al programa de FAKIR, integrado dentro del propio software de gestión de la empresa. En la barra de búsqueda, situada en la parte superior izquierda, se introduce el nombre de la tarjeta que se quiere probar.

Realizado el filtrado, aparece una lista con los distintos acabados de esa tarjeta, cada uno asociado a un fichero de pruebas con las especificaciones propias de cada uno. Una vez seleccionado basta con pulsar el botón *Ejecutar Fakir3* y se lanzan las pruebas de manera automática, tras los correspondientes ajustes de red y amarre del circuito.



**Ilustración 25** - Entorno del software de FAKIR

Los LED de la cama muestran el resultado de la prueba. El rojo indica fallo y el verde indica OK. El programa advierte si la tarjeta es buena o no mediante un mensaje y además da información detallada de las pruebas realizadas con los márgenes inferiores y superiores admitidos, los resultados medidos en el lecho 1 y lecho 2, el valor medio en las tarjetas buenas y el porcentaje de tarjetas malas según lecho y totales.

Prueba	Margen Inf.	Margen Sup	Media Ok	Lecho 1	Lecho 2	% Ma
1.2 - #MAL PINCHADO O ISLETAS SUCIAS	3.0400	3.3600	3.1468	3.1468	3.1469	-
1.3 - #tension de red	218.50	241.50	228.65	228.65	228.66	-
1.4 - #tension de bateria	3.3250	3.6750	3.4885	3.4885	3.4885	-
1.5 - #TENSION AR	6.0000	9.0000	7.3576	7.2483	7.4670	-
1.6 - #TENSION 6V	5.0000	7.0000	6.0487	6.0891	6.0083	-
1.7 - #TENSION AI	6.0000	9.0000	6.6531	6.5450	6.7612	-
1.8 - #TENSION 3V3	2.9700	3.6300	3.3017	3.2988	3.3046	-
1.9 - #TENSION SENSOR TEMPERATURA	2.0000	2.5000	2.2369	2.2335	2.2402	-
1.10 - #TENSION DE REF BATERIA NO OK	1.2000	1.4000	1.2951	1.2955	1.2946	-
1.11 - #TENSION TUBO APAGADO EN MICRO	-0.100	0.1000	0.0024	0.0025	0.0024	-
2.13 - #TH4 y TH5	3.3250	3.6750	3.4925	3.4924	3.4926	-
2.14 - #TH6	3.3250	3.6750	3.4926	3.4924	3.4928	-
2.15 - #TH7	3.3250	3.6750	3.4925	3.4924	3.4926	-
2.16 - #TH8	3.3250	3.6750	3.4926	3.4924	3.4927	-
2.17 - #TH9	3.3250	3.6750	3.4925	3.4923	3.4927	-
3.19 - #Numero de serie	0.0000	+INF	674851	674844	674858	-
3.20 - #Registra \$NSerie	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-
3.21 - #Estado1	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000	-
3.22 - #Estado2	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	-
3.23 - #Estado de fallos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-
4.25 - #INTENSIDAD DE CARGA MAXIMA 197mA LUM OFF	-0.286	-0.108	-0.162	-0.144	-0.179	-
4.26 - #TENSION AR LUM OFF	6.0000	9.0000	7.1101	6.9710	7.2491	-
4.27 - #TENSION 6V LUM OFF	5.0000	7.0000	6.1155	6.1648	6.0663	-
4.28 - #INTENSIDAD DE CARGA MAXIMA 197mA LUM ON	-0.246	-0.148	-0.197	-0.195	-0.199	-
4.29 - #TENSION AR LUM ON	6.0000	9.0000	7.8357	7.8349	7.8364	-
4.30 - #TENSION 6V LUM ON	5.0000	7.0000	5.8840	5.8932	5.8748	-
4.31 - #INTENSIDAD DE CARGA 27mA LUM ON	-0.034	-0.020	-0.026	-0.024	-0.028	-
4.32 - #INTENSIDAD DE CARGA 82mA LUM ON	-0.090	-0.074	-0.081	-0.080	-0.083	-
4.33 - #INTENSIDAD DE CARGA 109mA LUM ON	-0.114	-0.104	-0.108	-0.106	-0.110	-
4.34 - #INTENSIDAD DE CARGA 136mA LUM ON	-0.143	-0.129	-0.136	-0.134	-0.138	-
4.35 - #INTENSIDAD DE CARGA 164mA LUM ON	-0.172	-0.156	-0.164	-0.162	-0.166	-

**Ilustración 26** - Pantalla principal con resultado pruebas realizadas en una tarjeta

### 1.4.5. Componentes de las camas neumáticas

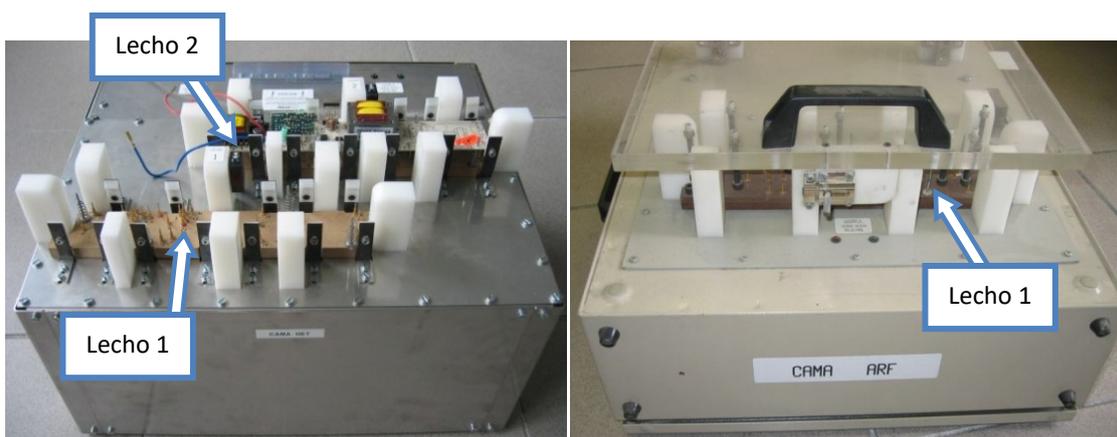
La fabricación, tanto de las camas neumáticas como de las camas manuales, está bastante estandarizada. Para ello se utilizan todos los elementos comunes posibles, pero lógicamente se utilizan unos componentes específicos para caracterizar cada una de ellas.

Por ejemplo, las camas manuales como ya se ha comentado en párrafos anteriores, constan de una tapa, cierres y empujadores. Las camas neumáticas por su parte carecen de estos componentes y constan del sistema neumático, compuesto de cilindros y electroválvulas.

En este trabajo, la cama objeto de estudio ha de ser neumática, por lo que en este apartado se detallarán los componentes que se usan, a día de hoy, en ellas. En los [Anexos](#) se puede encontrar una lista detallada de todos los componentes que conforman una cama neumática (véase [4.2 Lista de componentes cama neumática](#))

#### 1.4.5.1. Lecho

Son los alojamientos donde se depositan las tarjetas para realizar la prueba. Las camas manuales disponen de un lecho y las neumáticas de dos.



**Ilustración 27** - Cama neumática con dos lechos (izq.) y otra manual de un lecho (dcha.)

#### 1.4.5.2. Baquelita

Se trata de una pieza de material eléctricamente aislante. Una vez mecanizada, la **baquelita** sirve como soporte para las camisas de las puntas de prueba, que alojan a

las puntas de prueba y de los centradores, que guían al circuito en su bajada para hacer contacto con dichas puntas.

Aunque para la realización de las pruebas no se suelen utilizar todas las **isletas**, las **baquelitas** se mecanizan para alojar puntas en todas las **isletas** existentes en el diseño electrónico de la placa. Así, una vez montada la cama, si se quiere añadir una prueba extra a lo que se había pensado inicialmente, se tienen todas las **isletas** disponibles y no hay que modificar ni rehacer el lecho.

Hay que tener en cuenta que el montaje de la cama y la programación de las pruebas y puesta en marcha de Fakir se suele llevar a cabo simultáneamente por varios trabajadores.



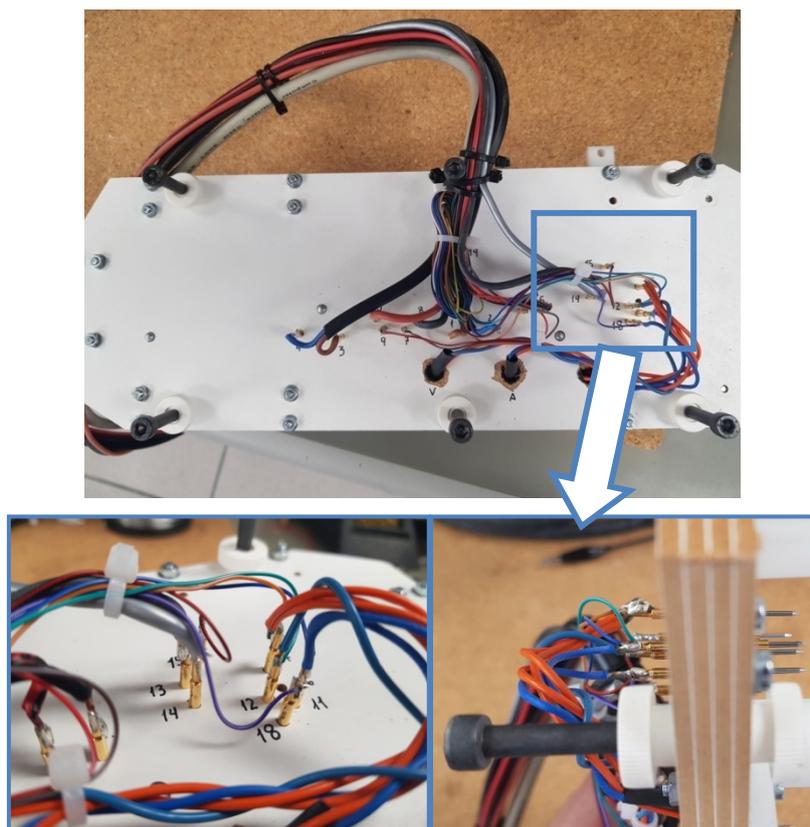
**Ilustración 28** - Baquelita con los demás elementos integrados en el lecho

#### 1.4.5.3. Punta de prueba y camisa

La camisa de la punta de prueba alberga la punta y sirve para hacer la conexión eléctrica mediante un cable soldado que se encargará de unir la punta con la tarjeta de control de la cama.

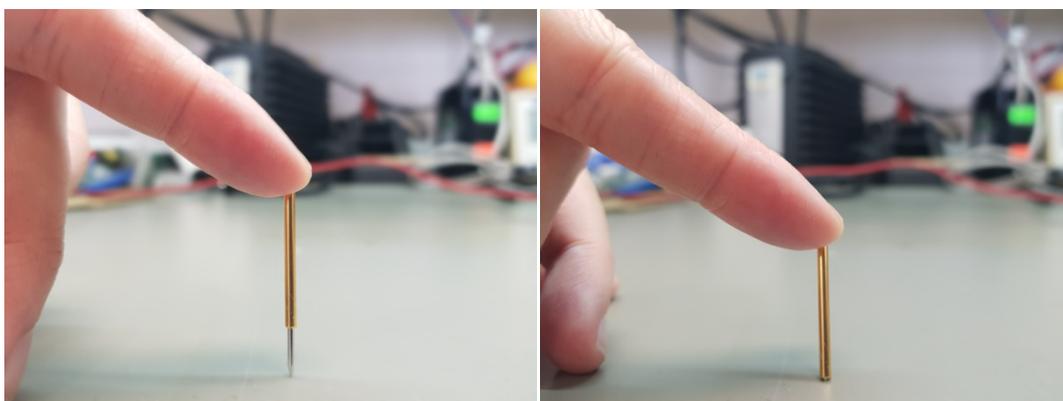


**Ilustración 29** - Punta de prueba

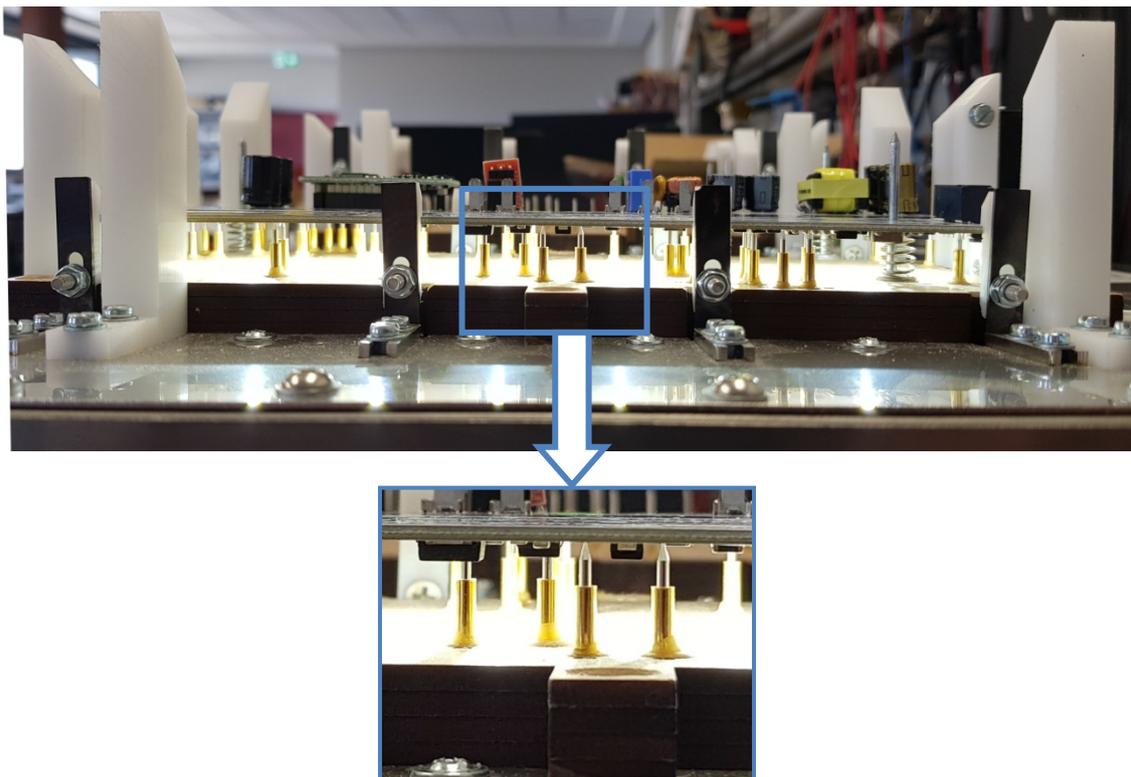


**Ilustración 30** - Lecho con cables soldados (arriba). Detalles de soldadura y vista desde perfil (abajo)

Estas puntas no son fijas, sino que permiten una gran fuerza de resorte debido a la brida al final del cilindro. Es decir, cuando el sistema neumático hace descender a la tarjeta para que las puntas realicen contacto con las **isletas**, estas puntas se comprimen dentro de la camisa también.



**Ilustración 31** - Las puntas actúan como un muelle y se comprimen cuando tocan la tarjeta

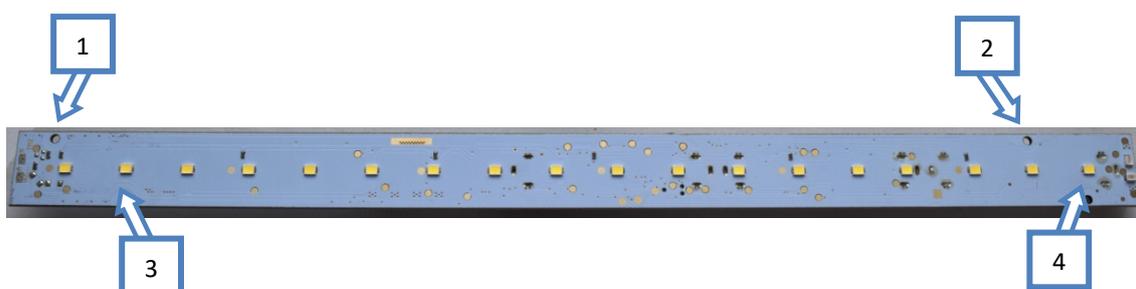


**Ilustración 32** - Detalle de las puntas durante las pruebas a una tarjeta electrónica

A la hora de elaborar la cama, el departamento de Oficina Técnica tiene que decidir cuáles son los puntos de testeo de interés de la tarjeta y en consecuencia elegir las **isletas** necesarias para poder ubicar las puntas de testeo en la **baquelita**.

#### 1.4.5.4. Centrales

Son piezas que pasan por orificios de la tarjeta, generalmente 4. Estos orificios se ubican y determinan durante el diseño de la **PCB** y del posicionado de todos los componentes electrónicos de la tarjeta, intentando que la tarjeta quede nivelada.



**Ilustración 33** - Orificios para centrales de la tarjeta VAUL-189 vistos desde la cara inferior.

Los centradores consiguen guiar a la tarjeta en su descenso, además de guiar también la introducción de ésta en el lecho de la cama.

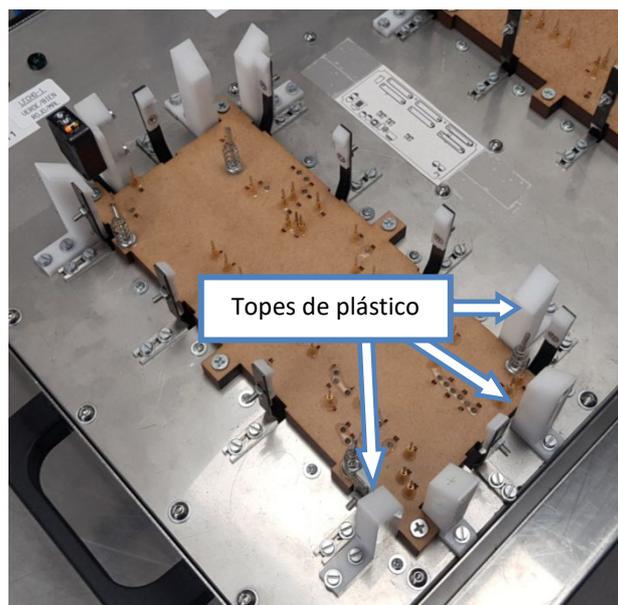
En las camas neumáticas, el centrador incorpora un muelle cuya función es evitar que las tarjetas insertadas en los lechos efectúen contacto eléctrico con las puntas cuando no se acciona el amarre. Esto es así porque, como ya se ha dicho en párrafos anteriores, las camas neumáticas constan de dos lechos y la conexión de ambos lechos no es independiente, se hace en paralelo. Mientras en uno de los lechos la tarjeta ha descendido y las puntas están en contacto con las **isletas** realizando el testeo, una segunda puede depositarse y permanecer en el otro lecho a la espera.



Ilustración 34 - Centrador y muelle

#### 1.4.5.5. Topes de plástico

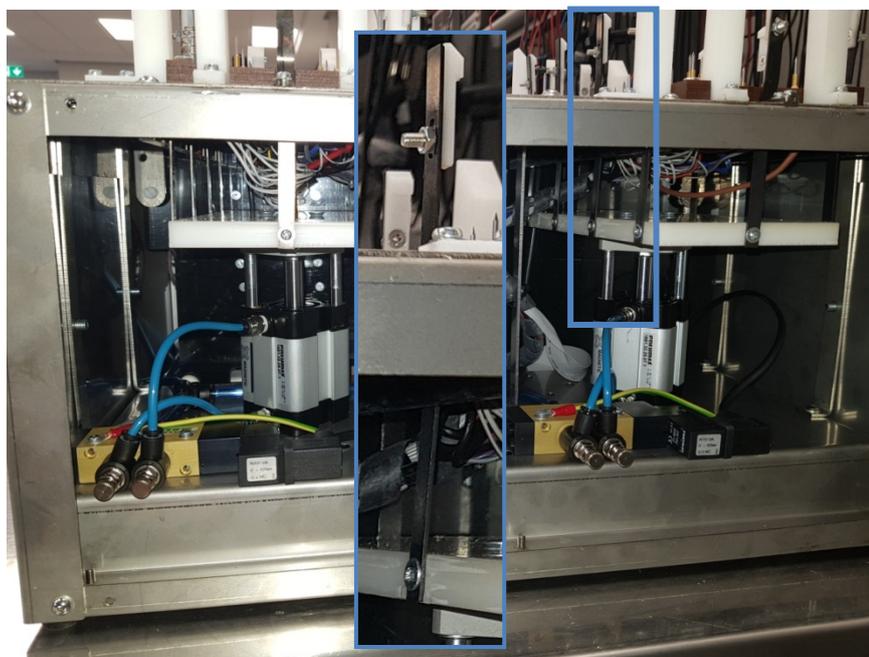
Los topes sirven para hacer un centrado inicial que permite que los centradores realicen un seguido guiado más fino a la hora de insertar la tarjeta en la cama.



**Ilustración 35** - Tops de plástico para el centrado inicial

#### 1.4.5.6. Uñas de amarre

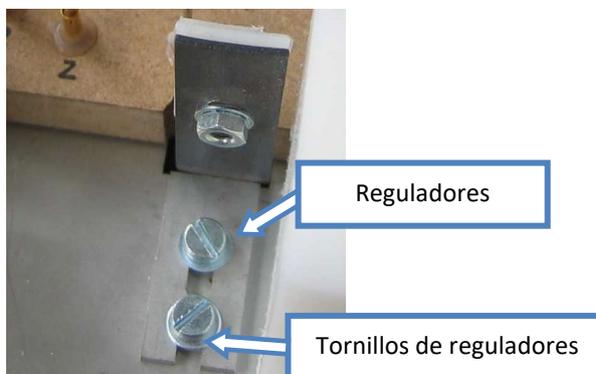
Las uñas de amarre se encargan de bajar el circuito para que las puntas de prueba hagan contacto en las **isletas** de las tarjeta. Están conectadas por medio de una chapa estrecha, que atraviesa la tapa superior, a una plataforma que es la que sube y baja con el movimiento del pistón del cilindro neumático



**Ilustración 36** - Detalle del montaje del sistema de bajada y subida

#### 1.4.5.7. Reguladores de uñas

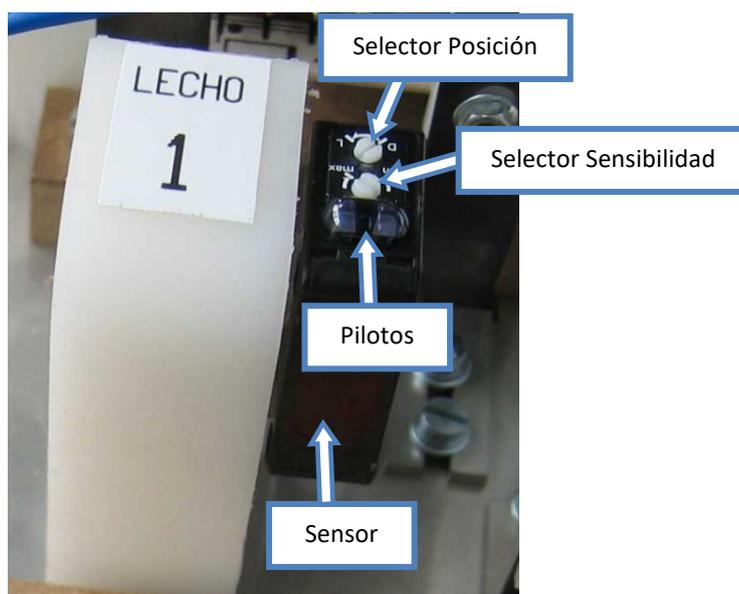
Para regular las uñas de amarre y compensar el desgaste de la chapa sobre la que ejercen el movimiento de subida y bajada, las camas más recientes incorporan estos reguladores.



**Ilustración 37** – Reguladores

#### 1.4.5.8. Sensores

Por medio de este dispositivo el ordenador recibe la indicación de que una tarjeta está en el lecho correspondiente. Hay un sensor por lecho. Suele tratarse de un detector óptico en la mayoría de los casos. En camas antiguas pueden encontrarse pulsadores que hacen la misma función.



**Ilustración 38** - Sensor en el lecho 1 de una cama Fakir

Los pilotos marcan en color verde o rojo el estado de la lectura. Si el piloto verde está encendido la lectura es segura. El piloto rojo indica si se detecta o no detecta la tarjeta, encendiéndose o apagándose respectivamente.

#### 1.4.5.9. *Electroválvulas y cilindro neumático*

El sistema neumático está formado por las electroválvulas, que se activan y desactivan a través de FAKIR, controlando el paso de aire al cilindro neumático. La cama tiene una entrada de aire comprimido, tal y como mostraba la [Ilustración 39](#).

El cilindro neumático transforma la energía potencial del aire comprimido en energía cinética, mediante el deslizamiento de su émbolo dentro de la camisa del cilindro. De esta manera se consigue un movimiento rectilíneo del vástago, que hace subir y bajar el sistema de amarre de la tarjeta, tal y como se explicaba en el apartado

#### 1.3.5.6 - Uñas de amarre.

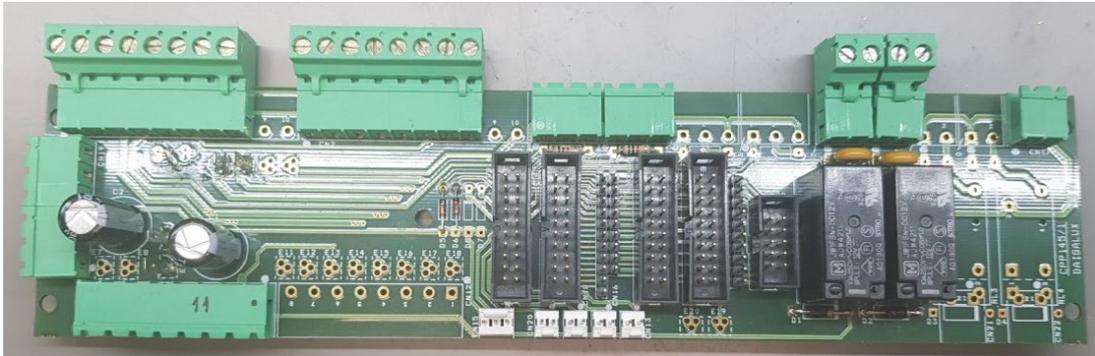


[Ilustración 39](#) - Sistema neumático, formado por electroválvulas y cilindro neumático

La subida y bajada es posible, ya que el cilindro neumático utilizado es de doble efecto. Este tipo de cilindro tiene dos tomas de aire, tal y como se ven en la imagen anterior, una a cada lado del émbolo. Gracias a esto, pueden producir movimiento en ambos sentidos, avance y retroceso.

#### 1.4.5.10. Tarjeta de conexión

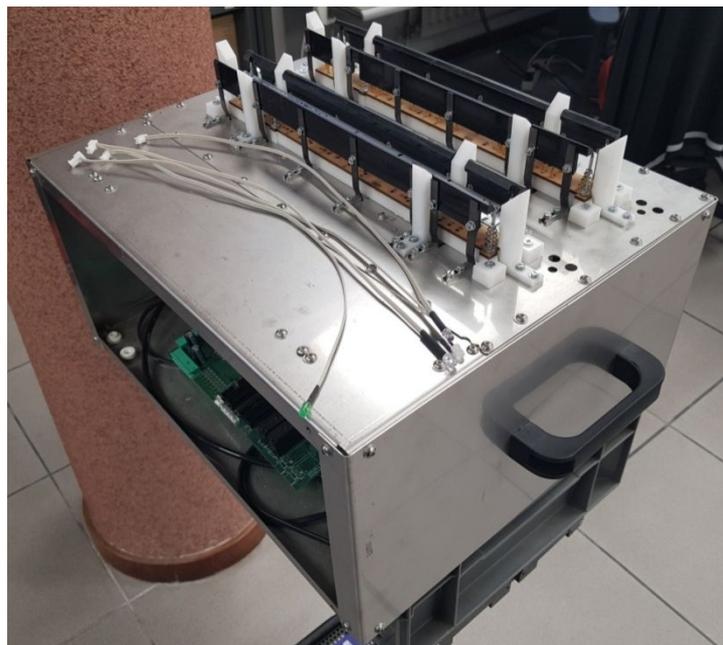
Todas las conexiones eléctricas del interior de la cama Fakir se gestionan a través de una tarjeta de control, denominada CPP-145.



**Ilustración 40** - Tarjeta conexión control FAKIR

#### 1.4.5.11. Estructura de la cama

La estructura de la cama está formada por chapas de acero inoxidable de 1mm que conforman la caja donde se alberga toda la electrónica y mecánica. Todas las camas neumáticas son de dimensiones idénticas, ya que se utilizan las mismas chapas, ya diseñadas y dimensionadas.



**Ilustración 41** - Estructura cama

La caja está formada por 6 chapas: tapa inferior y superior, 2 tapas lateral con dos pliegues cada una, tapa con los huecos de los conectores para la conexión de la cama al control y una tapa ciega. La unión entre ellas se realiza por medio de tornillería.

La imagen anterior muestra la estructura de la cama VDG-184, tarjeta que se mencionará en siguientes apartados. Se aprecia la tapa superior y una de las tapas laterales con dos pliegues. En este caso falta la tapa ciega, para poder mostrar las uniones de los tornillos.

Además, para ajustar en altura la plataforma del sistema de amarre se usan unos soportes y columnas, fabricados también en aluminio o acero inoxidable.

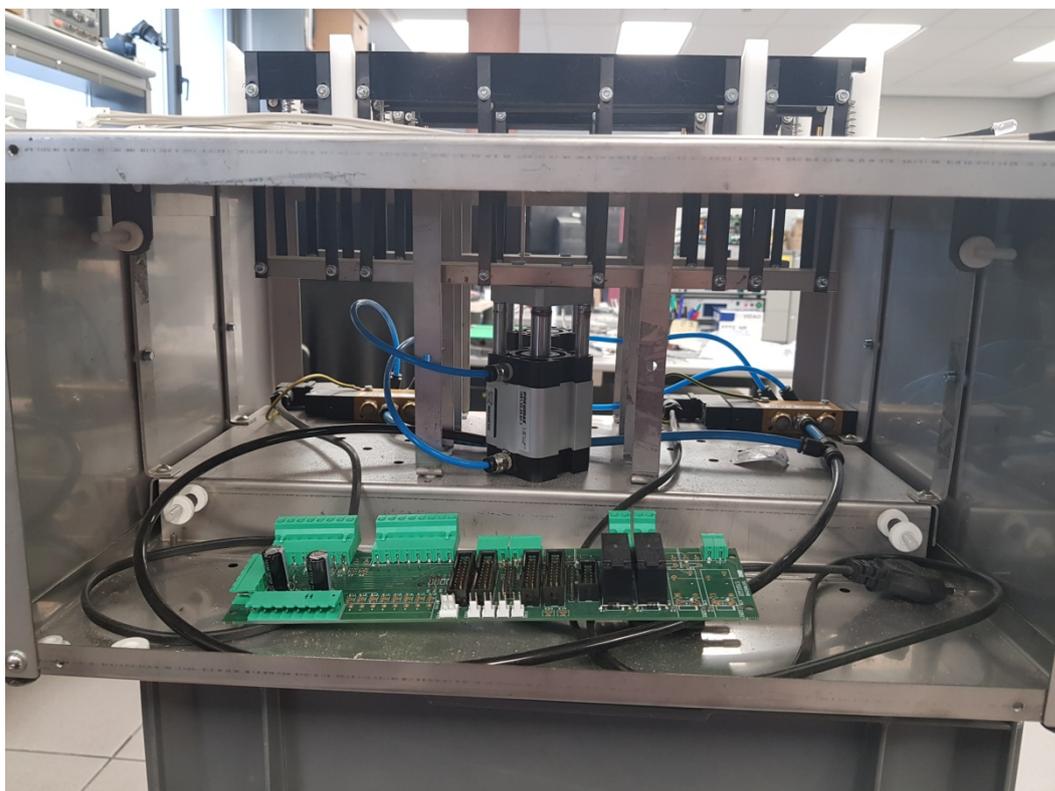


Ilustración 42 - *Detalle columnas y soporte*

## 1.5. Normas y referencias

### 1.5.1. Normas consultadas

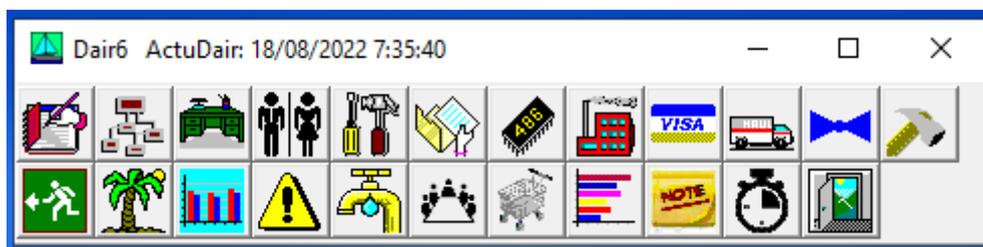
- [1] UNE-EN IEC 60598-1:2022.  
Luminarias. Parte1: Requisitos generales y ensayo.
- [2] UNE-EN 60598-2-22:2015  
Luminarias. Parte 2-22: Requisitos particulares. Luminarias para alumbrado de emergencia.
- [3] UNE-EN 157001:2014  
Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

### 1.5.2. Programas de cálculo y herramientas utilizadas

Este apartado detalla y describe el software específico y las herramientas que se han utilizado para poder desarrollar el trabajo.

#### 1.5.2.1. Gestión y búsqueda de documentación

Dair es un software propio de Daisalux, desarrollado por el departamento informático de la empresa y en continua evolución para adaptarlo a nuevas necesidades.



**Ilustración 43** - Barra de presentación de Dair con los botones de acceso a cada programa

Se trata de un conjunto de programas que permiten realizar tareas básicas asociadas al diseño, compra de materia prima, venta de producto o fabricación. Permite también, la gestión de agentes externos, herramientas, materiales, departamentos y puestos, documentación de sistemas de la calidad y catálogo de productos. En definitiva, es un software de gestión muy completo a través del cual se ha podido gestionar y obtener toda la información necesaria para el desarrollo del TFG.

GESTIÓN Y BÚSQUEDA DOCUMENTACIÓN	
<b>Software</b>	DAIR6
<b>Licencia</b>	Código cerrado / Privada



**Tabla 1** - Software utilizado para la búsqueda y gestión de la documentación interna de Daisalux

#### 1.5.2.2. Visor de archivos “.dwg”

Parte de la documentación de la empresa relativa a dibujos técnicos y planos está guardada en archivos con formato “.dwg”<sup>1</sup>. Para poder leer dichos archivos se necesita un visor específico. En la red existe multitud de software gratuito disponible para esta función. Se ha utilizado una herramienta propia de Autodesk.

VISOR ARCHIVOS .dwg	
<b>Software</b>	DWG TrueView
<b>Versión</b>	S. 154.0.0
<b>Licencia</b>	Gratuita
<b>Disponible en:</b>	<a href="https://www.autodesk.es/viewers">https://www.autodesk.es/viewers</a>



**Tabla 2** - Software utilizado para ver archivos con extensión “.dwg”

#### 1.5.2.3. CAD/CAE

Para el diseño de una nueva solución del sistema de amarre es necesaria la utilización de un paquete CAD. Existen varias opciones potentes en el mercado, pero se decide utilizar Siemens NX.

<sup>1</sup> Abreviatura de ‘drawing’, es un formato de archivo informático estrechamente relacionado con los programas de CAD, utilizado principalmente por el programa Autocad, de la compañía Autodesk.

El motivo principal es el hecho de que la UPV-EHU tiene licencia corporativa para este software, por lo que se tiene acceso a su uso de manera gratuita como estudiante. Además se tienen conocimientos del manejo de dicho software debido a su aprendizaje en una asignatura durante el grado universitario.

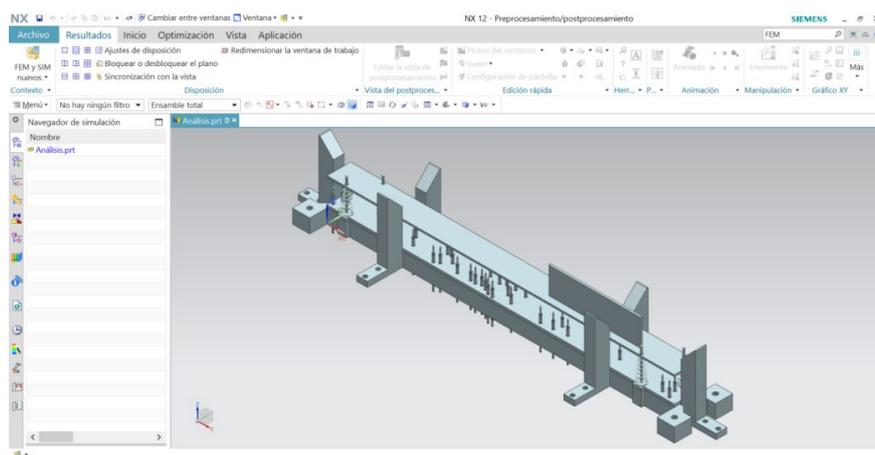
CAD/CAE	
<b>Software</b>	Siemens NX
<b>Versión</b>	12.0.1.7
<b>Licencia</b>	Educativa



**Tabla 3** - Software utilizado para dibujo asistido por ordenador

Otras de las razones es que NX no solo ofrece un módulo CAD para el diseño, sino que consta de un conjunto de aplicaciones integradas para coordinar diferentes etapas y disciplinas en la ingeniería. Entre ellas, un módulo CAE de elementos finitos con entornos específicos para ANSYS, MSC NASTRAN, NX NASTRAN<sup>2</sup> entre otros.

De esta manera no es necesario el uso de más software específico para realizar una simulación de la deformación que sufre la tarjeta. A través de la aplicación *Preprocesamiento/Postprocesamiento*, tal y como muestra la [Ilustración 44](#), se puede realizar el análisis de elementos finitos.



**Ilustración 44** - Entorno del bloque FEM en NX Siemens

<sup>2</sup> Programa de cálculo estructural ampliamente reconocido en el mundo FEM por la fiabilidad de sus resultados.

### 1.5.3. Bibliografía utilizada

- [1] Daisalux. (2008). *El diseño en la iluminación de emergencia. El valor del conjunto* [Manual en papel/digital]. Disponible en:  
<https://www.daisalux.com/media/es/manual-iluminacion-emergencia/manual-iluminacion.asp>
- [2] Página Oficial Daisalux [online]. Disponible en:  
<https://www.daisalux.com/es-es/>
- [3] Página Oficial Duisa [online]. Disponible en:  
<http://www.duisa.com>
- [4] Daisalux. *Documentación interna* [PDF]. No disponible por incluir contenido confidencial.
- [5] Asociación Española de Normalización (Julio 2015) [PDF]. *UNE-EN 60598-1. Luminarias. Parte 1: Requisitos generales y ensayos*
- [6] Asociación Española de Normalización (Julio 2015) [PDF]. *UNE-EN 60598-1. Luminarias. Parte 1: Requisitos generales y ensayos*
- [7] Asociación Española de Normalización (Mayo 2015) [PDF]. *UNE-EN 60598-2-22. Luminarias. Parte 2-22: Requisitos particulares. Luminarias para alumbrado de emergencia*
- [8] Moko Technology. *Fabricación de productos electrónicos: Fabricación de PCB: FR4 PCB* [online]. Disponible en:  
<https://www.mokotechnology.com/es/fr4-pcb/>

- [9] Aislantes eléctricos Saga. *Laminados industriales: Fibra Vidrio / Epoxy UL94 VO – FR4* [online]. Disponible en:  
<https://www.aesaga.com/images/pdf/laminados-industriales/fibra-vidrio-epoxi-fr4.pdf>
- [10] Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. *Apuntes de Elasticidad y Resistencia de Materiales. 1ª Parte. Curso 2017-2018* [PDF]
- [11] Pneumax. *Catálogo General: Componentes para la automatización neumática* [PDF]. Disponible en:  
<https://www.pneumaxspa.com/repository/ebook/ES/Catalogo/index.html>
- [12] Festo. *Automatización Industrial. Actuadores. Cilindros neumáticos* [online]. Disponible en:  
<https://www.festo.com/mx/es/c/productos/automatizacion-industrial/actuadores/cilindros-neumaticos>

## 1.6. Definiciones y conceptos

A lo largo de todo el documento pueden aparecer conceptos técnicos, de la rama electrónica o mecánica, así como terminología específica de la iluminación de emergencia, que resultan básicos y conocidos dentro de su ámbito ingenieril, pero que pueden resultar desconocidos para otras áreas de la ingeniería o para el lector.

Con el objetivo de ayudar a la comprensión de los términos usados, se añade una lista de definiciones, acompañadas en algún caso de una imagen ilustrativa, explicando de manera breve cada concepto. Las palabras que a lo largo de todo el documento aparecen en **negrita y en color azul oscuro** pueden encontrarse definidas en la siguiente lista y están vinculadas directamente a este apartado para facilitar la tarea al lector.

- **Alumbrado de evacuación:** es la parte del alumbrado de emergencia previsto para garantizar el reconocimiento y la utilización de los medios o rutas de evacuación cuando los locales estén o puedan estar ocupados. El **alumbrado de evacuación** debe poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminación prevista.
- **Autotest:** son **luminarias** que incorporan un microprocesador que permite realizar un test de funcionamiento y autonomía periódicos de forma automática. Además permite detectar fallos de lámpara led, batería y electrónica. Los resultados se muestran mediante dos LED de señalización, verde y ámbar, de la propia **luminaria**.
- **Baquelita:** se trata de un polímero y fue el primer plástico comercial completamente sintético, nombrado así por su creador Leo Baekeland. Es un material moldeable en caliente y una vez frío se vuelve un material duro y resistente al calor, a la electricidad y a los solventes. Es fácilmente mecanizable y su principal uso es como aislante eléctrico.

- **Batería LiFePO4 (batería de litio-ferrofosfato):** es un tipo de batería recargable de ión Litio con cátodo de fosfato hierro-litio: LiFePO4. Tienen un voltaje de descarga muy constante, presentan un número de ciclos de carga elevado y no son peligrosas ni tóxicas con el medio ambiente. Son las baterías de litio más seguras ya que no son explosivas ni inflamables y no se sobrecalientan.
- **CEM-1:** material compuesto por superficies de tejido de vidrio y núcleo de papel combinado con resina epoxi. Se utiliza sobre todo en **PCB**. Posee unas excelentes propiedades eléctricas y mecánicas.
- **Central TEV:** se trata de una caja rectangular que cuenta en su panel frontal con indicadores de estado y botones de control del aparato. Dispone de una serie de puertos que permiten la comunicación entre las **luminarias**, la central y un ordenador. Se trata de un equipo de test y **telemando** que se comunica a través de un bus de dos hilos con las **luminarias autónomas TCA** de Daisalux.



Ilustración 45 - Central TEV de Daisalux

- **Circuito integrado:** también conocido como chip o microchip, se trata de una combinación de componentes electrónicos (resistencias, transistores, capacitores, diodos, entre otros) integrados en una pequeña estructura de material semiconductor y protegidos por un encapsulado de plástico o cerámica.

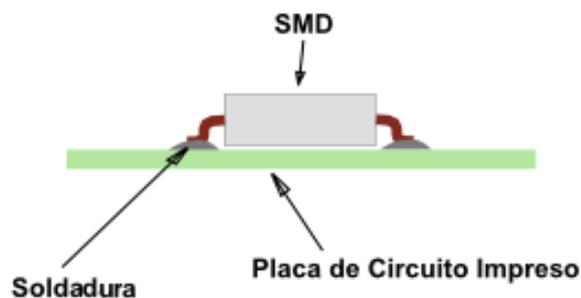


**Ilustración 46** - Tipos de circuitos integrados

*Fuente: viasatelital*

Tienen diferentes funcionalidades electrónicas y eléctricas. Se dividen en **circuitos integrados** analógicos y digitales. Los analógicos amplifican, regulan o comparan señales eléctricas y pueden ser usados como amplificadores o reguladores de tensión. Los digitales ejercen funciones de tipo lógico o matemático: cuentan, dividen, suman, almacenan y decodifican, funcionando con sistema binario.

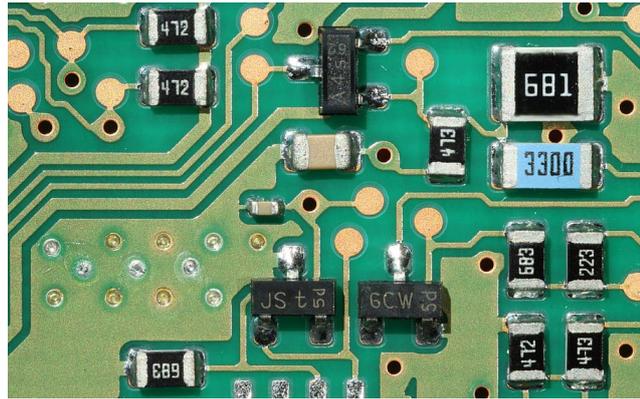
- **Componentes SMD:** son los componentes electrónicos cuyo montaje se realiza forma superficial (tecnología SMT). Presentan ventajas frente a los convencionales, ya que pueden montarse por ambos lados de la **PCB**, son más pequeños y económicos, tienen mejor rendimiento eléctrico y aguantan temperaturas mayores.



**Ilustración 47** - Tecnología SMT

*Fuente: eletronpi.com.br*

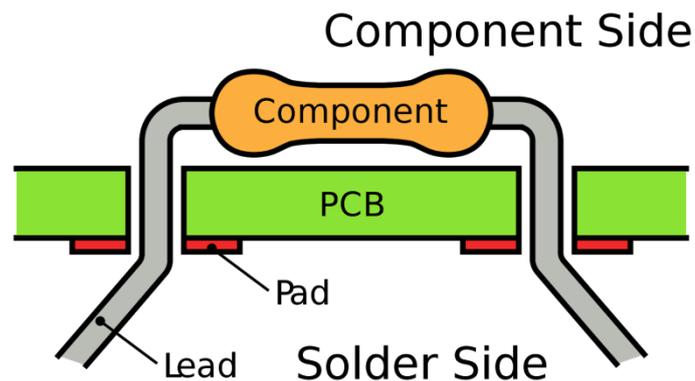
Resultan muy útiles para aplicaciones donde el tamaño y espacio es muy reducido y son ideales para la producción en masa de **PCB**.



**Ilustración 48** - Componentes SMD

Fuente: [angelmicelti.github.io](https://angelmicelti.github.io)

- **Componentes THT o convencionales:** son los componentes electrónicos de montaje convencional, donde la inserción de los componentes se realiza en agujeros pasantes practicados en la placa de circuito impreso y se sueldan por la cara opuesta, manualmente o por **ola de soldadura**.



**Ilustración 49** - Tecnología THT

Fuente: [resources.altium](https://resources.altium.com)

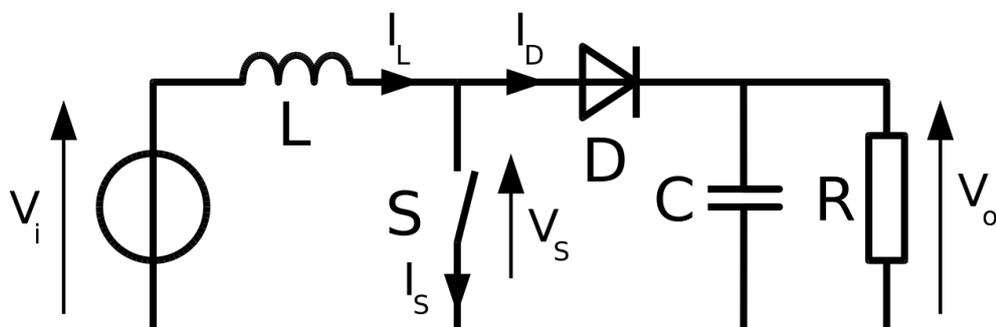
Esta tecnología cada vez es menos usada, ya que está siendo sustituida por SMT, pero en el caso de componentes de potencia, de gran volumen o de altas prestaciones mecánicas, como pueden ser transformadores, relés o condensadores electrolíticos, es la tecnología más idónea.



**Ilustración 50** - Componentes convencionales THT

Fuente: [resources.altium](https://resources.altium.com)

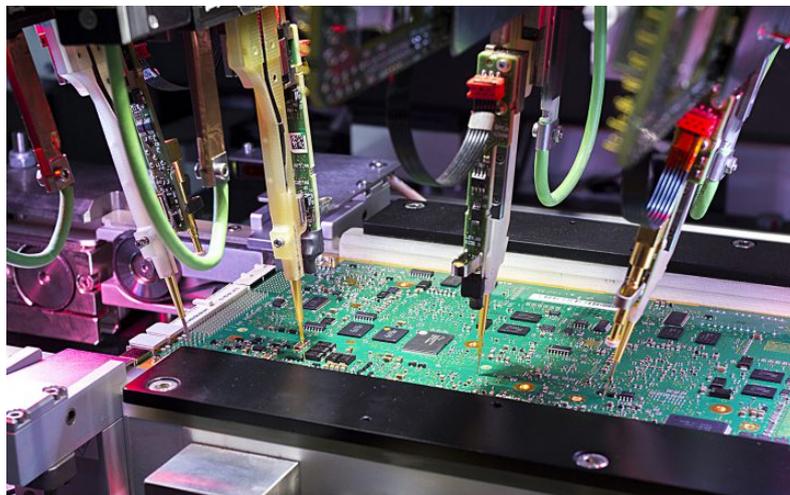
- Convertidor tipo Boost:** es un circuito elevador de tensión DC-DC, donde se obtiene a la salida una tensión continua mayor que a la entrada. Está compuesto por al menos dos interruptores, un elemento de conmutación rápido como un transistor y un diodo, y al menos un elemento para almacenar energía (condensador, inductor o combinación de ambos). Su funcionamiento se basa en las características del inductor y el capacitor como elementos capaces de almacenar energía para elevar la corriente de la fuente de alimentación y usarla para inyectarla al condensador, produciéndose de esta manera, tensiones mayores en la carga que los de la fuente.



**Ilustración 51** - Esquema típico de un convertidor Boost con transistor y diodo

Fuente: [Wikipedia](https://es.wikipedia.org)

- **DALI:** son **luminarias** comunicantes a través del protocolo **DALI**, un estándar internacional definido por la IEC y creado para controlar sistemas de iluminación. Este protocolo define como deben interactuar entre ellos los equipos de distintos fabricantes para asegurar su correcto funcionamiento. Las **luminarias** con este funcionamiento realizan los mismos test de funcionamiento que en modo **Autotest** y envían los resultados a través de un bus de comunicación a una central **DALI**.
- **Ensayos ICT:** es un test practicado como método de inspección de placas de circuito impreso. Se lleva a cabo tras la etapa de ensamblaje, verificándose el correcto funcionamiento y posición de cada componente electrónico de la **PCB**. Incluye la verificación de cortocircuitos, circuitos abiertos, resistencia, capacitancia y otros parámetros. Para la realización de las pruebas se utiliza una sonda volante, controlada por software y compuesta de excitadores y sensores, que realizan las mediciones moviéndose por la placa. La ventaja de este test es la detección de defectos, relacionados tanto con los componentes individuales como sus conexiones, sin la necesidad de alimentar la placa.



**Ilustración 52** - Test de funcionamiento ICT con sonda voladora

*Fuente: proto-electronic*

- **Estado de alerta:** estado en el que la luminaria autónoma para alumbrado de emergencia está dispuesta para funcionar como tal mientras la

alimentación normal esté presente. En el caso de fallo de la alimentación normal, la **luminaria** autónoma cambia automáticamente al modo emergencia.

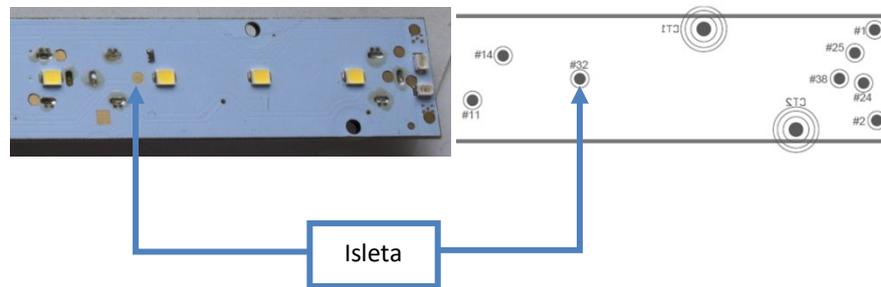
- **Estado de emergencia:** estado en el que una **luminaria autónoma para alumbrado de emergencia** proporciona alumbrado cuando está alimentada por su fuente de energía interna, una vez que ha fallado la alimentación normal.
- **GPIB:** es un bus de interfaz de propósito general que se usa para conectar sensores e instrumentos programables (hasta 14) a un ordenador. Es un bus digital paralelo de 8 bits de datos con una velocidad de transferencia máxima de 1MB/s. La conexión se realiza por cable de longitud máxima de 20 metros y de 24 hilos, con conectores normalizados en cada extremo.



*Ilustración 53 - Cable con conectores GPIB*

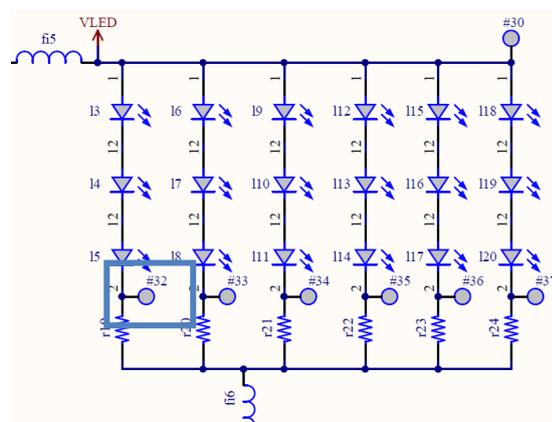
- **Grado de protección IK:** indica la resistencia mecánica a impactos nocivos y que puedan dañar el producto. El **grado IK** varía desde el 0 (mínima resistencia) hasta el 10 (máxima resistencia).
- **Grado de protección IP:** es el nivel de protección que tiene un equipo ante la exposición a agentes externos como objetos sólidos, polvo, humedad y agua. La nomenclatura IP siempre está seguida por dos dígitos, que indican una tipo de protección particular. La primera cifra hace referencia a la protección contra objetos y polvos y la segunda a la protección contra líquidos.

- **Isletas:** son pequeños círculos conductores en la superficie de la **PCB** que permiten medir tensión o corrientes de zonas específicas de un circuito, sin tener que pichar sobre los componentes ni sus **pad**.



**Ilustración 54** - Ejemplo isleta nº 32 de la tarjeta VAUL-189

La imagen anterior izquierda muestra un tramo de la tarjeta VAUL-189, tarjeta involucrada en este TFG, mientras que la imagen izquierda muestra ese mismo tramo en su plano de posicionamiento de componentes. Este plano permite identificar el número de cada **isleta** en la placa. Por ejemplo, la **isleta** #32.



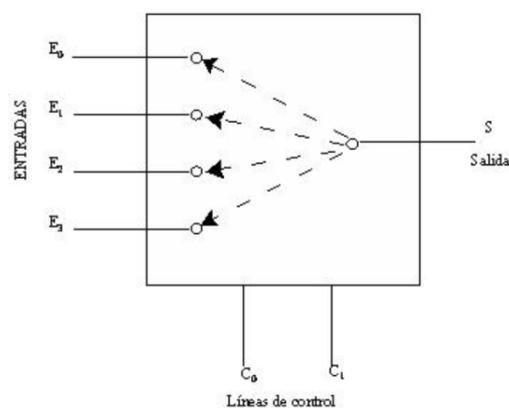
**Ilustración 55** - Parte del circuito eléctrico de VAUL-189, donde se ubica la isleta #32

El esquema eléctrico de la tarjeta ubica esta **isleta** en la zona de los LED, tal y como muestra la imagen. Esta **isleta** permite, por ejemplo, medir la caída de tensión en los LED junto con la **isleta** #30.

- **Legibilidad:** es la diferencia más pequeña entre valores que pueden ser leídos en el display de una balanza.

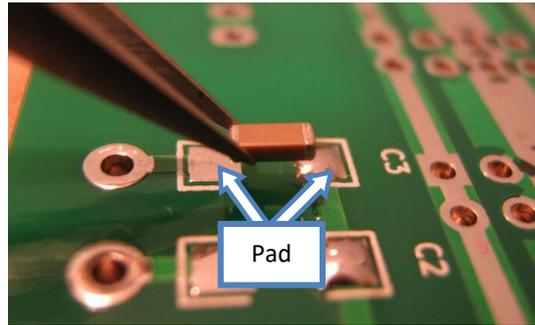
- **Lumen:** es la unidad del Sistema Internacional de Medidas que mide el flujo luminoso emitido por una fuente emisora de luz. Es decir, la cantidad de luz o luminosidad.
- **Luminaria autónoma para alumbrado de emergencia:** luminaria que proporciona alumbrado de emergencia de tipo permanente o no permanente, en la que todos los elementos, tales como la batería, la lámpara, el conjunto de mando, y los dispositivos de verificación y control, si existen, están contenidos dentro de la **luminaria** o junto a ella, es decir, a menos de 1 metro de cable.
- **Luminaria de alumbrado de emergencia alimentada por fuente central:** **luminaria** para funcionamiento permanente o no permanente que no equipa batería. Está alimentada a partir de un sistema de alimentación de emergencia central no incorporado a la **luminaria**.
- **Luminaria:** aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprenden todas las partes necesarias para el soporte, la fijación y la protección de las lámparas, pero no las lámparas mismas, y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.
- **Luminarias de emergencia:** alumbrado previsto para ser utilizado en caso de un fallo en la alimentación del alumbrado normal; incluye **alumbrado de evacuación**, alumbrado en zonas de alto riesgo y alumbrado de reemplazamiento (*aquella parte del alumbrado de emergencia que posibilita la continuación de la actividad normal prácticamente sin alteraciones*).
- **Luminarias no permanentes:** son **luminarias** apagadas durante el **estado de alerta**, que proporcionan iluminación durante un tiempo específico (1h, 1,5h, 2h, 3h) cuando la tensión de red desaparece o cae por debajo del 70%. Es decir, las lámparas para el alumbrado de emergencia entran en funcionamiento únicamente cuando falla la alimentación del alumbrado normal.

- **Luminarias permanentes:** son **luminarias** que disponen de una segunda entrada de alimentación, denominada red LUM. Si esta entrada no está conectada a red, la **luminaria** está en funcionamiento No permanente, es decir está apagada. Si la entrada si está conectada a red, la **luminaria** permanece encendida con un flujo lumínico según diseño del producto y seguirá encendida con su flujo nominal y durante un tiempo específico (1h, 1,5h, 2h, 3h) durante el **estado de emergencia**, cuando la tensión de red desaparezca o caiga por debajo del 70%.
- **Multiplexor:** son circuitos combinatoriales (generan unas salidas que son función, exclusivamente, del estado lógico de las entradas) con varias entradas y una única salida de datos. Están dotados de varias entradas de control y dependiendo de la combinación que se tenga en ellas, se selecciona una y sólo una de las entradas de datos que se pasará a la única salida.



**Ilustración 56** - Esquema de un multiplexor

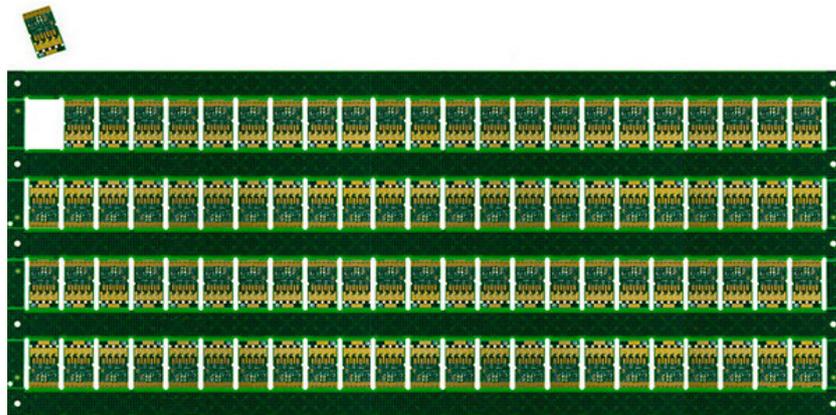
- **Octeto:** es un conjunto de 8 bits. Se suele confundir con el BYTE, que tiene normalmente 8 bits. El **octeto** en cambio, siempre tiene 8bits.
- **Pad:** es una superficie de cobre en un circuito impreso o **PCB** que permite soldar o fijar el componente electrónico a la placa.



**Ilustración 57** - Ejemplo de resistencia que va a ser soldada en sus pads.

Fuente: [neodenpnp.com](http://neodenpnp.com)

- **Panel (PCB):** es una agrupación de tarjetas de una misma referencia en una misma pieza de material base, generalmente de forma rectangular, para hacer más eficiente los procesos de fabricación de circuitos impresos.

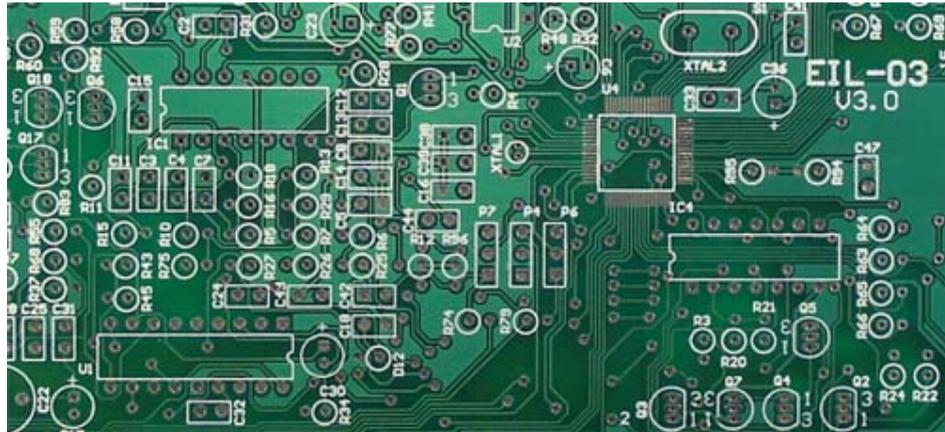


**Ilustración 58** - Panel (PCB)

Fuente: [microemsable.com](http://microemsable.com)

- **PCB:** es una tarjeta o placa que se utiliza para realizar el emplazamiento de los distintos componentes que forman un circuito y las conexiones eléctricas entre ellos.

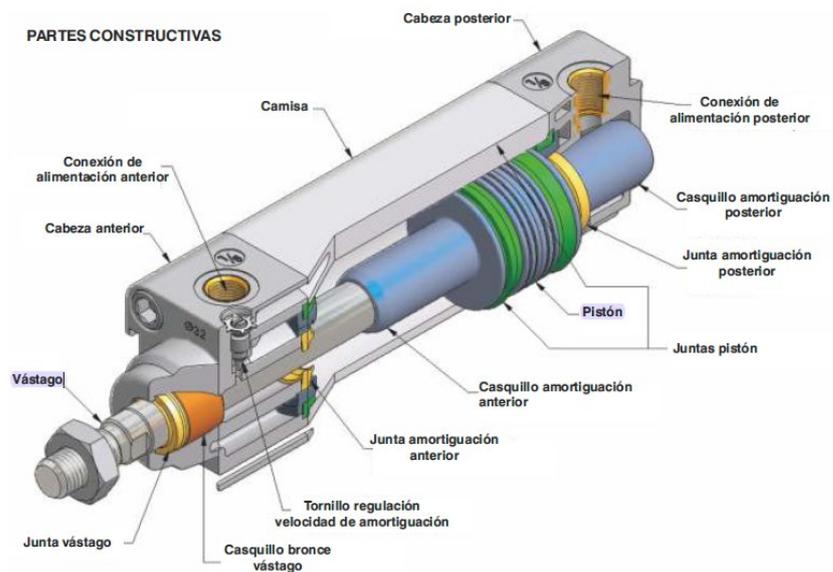
La tarjeta de circuito impreso está construida por capas alternadas de cobre conductor con capas de material aislante no conductor. Los circuitos más sencillos son aquellos que contienen los caminos de cobre, denominados *tracks* y que sirven para conectar los **pad**, solamente por una de las superficies de la placa (*1 Layer PCB*). Los más comunes hoy en día son los de dos capas (*2 Layer PCB*), pudiéndose fabricar según la complejidad del diseño del circuito hasta de 8 o más layers.



**Ilustración 59** - Ejemplo de una PCB de 2 capas

Fuente: Electrosoft Ingeniería

- Pistón:** también denominado émbolo, es una de las partes principales de un cilindro neumático. Se trata de un disco que se desplaza hacia adelante y hacia atrás a lo largo de una línea recta dentro del cilindro neumático, empujado por el aire comprimido que entra en él. De esta manera se extiende (carrera de avance) o se retrae (carrera de retroceso) el **vástago**.



**Ilustración 60** - Partes de un cilindro neumático

Fuente: Pneumax

- Repetibilidad:** es la propiedad de una balanza de mostrar resultados de medida coincidentes en caso de pesadas repetidas del mismo o
- bjecto, del mismo modo, en condiciones idénticas.

- **Retroiluminación:** es una técnica de iluminación que permite iluminar pantallas, en el caso de las **luminarias** rótulos, desde la parte posterior mediante una fuente de luz, generalmente LED, para mejorar el contraste de la pantalla y garantizar una buena legibilidad.
- **Rigidez dieléctrica:** se trata de un criterio técnico de cualificación de los materiales aislantes que expresa la resistencia de un material a ser perforado por una corriente cuando es sometido a una tensión eléctrica.
- **RS-232:** es un protocolo de transferencia de datos, bit a bit, diseñado para controlar la comunicación serie desde un DTE (terminal de ordenador) para un DCE (módem). Se trata del estándar común más usado en los puertos serie, definiendo las propiedades eléctricas, la sincronización de las señales y su interpretación, así como el tamaño y la configuración de los pines del conector, que puede ser de 25 pines (DB-25) o de 9 (DE-9).



Ilustración 61 - Conector RS-232 hembra

Fuente: Wikipedia

- **Soldadura por ola:** se trata de un proceso de soldadura para producción a gran escala, en la que los componentes electrónicos son soldados a la placa de circuito impreso. Recibe ese nombre por el uso de olas de soldadura fundida para fijar el metal de los componentes a la placa. La soldadura por ola es un proceso de tres etapas:

- Aplicación del flux, un compuesto químico que elimina la oxidación cuando se le aplica calor, favorece la formación de una capa metálica entre la soldadura y los componentes electrónicos y ayuda a distribuir el calor de forma uniforme por toda la soldadura.
- Pre calentamiento, mediante aplicación de aire caliente sobre la placa para ir aumentando su temperatura y prevenir el choque térmico.
- Soldadura mediante el desplazamiento de la placa sobre el tanque que contiene el material de soldadura fundido. Este material oscila en forma de olas en la superficie del tanque de manera que entra en contacto con el reverso del **PCB**, estableciendo así las conexiones eléctricas.



Ilustración 62 - Soldadura por ola

Fuente: safeRFQ.com

- **TCA:** en este modo de funcionamiento las **luminarias** realizan los mismos test y detección de fallos que en modo **Autotest** y envían los resultados a través de un BUS de comunicación a una **central TEV**. Esta central se comunica con el software propio de Daisalux, denominado DaisaTest, previamente instalado en un ordenador.
- **Telemando:** dispositivo destinado a comandar aparatos autónomos de emergencia y equipos en ausencia de red. Consta de un pulsador con dos posiciones, encendido y apagado. Pulsando *Encendido (ON)* se manda una

señal a los aparatos comandados para que provoquen el paso al modo emergencia. Si se pulsa *Apagado (OFF)* se manda una señal a los aparatos comandados para que pasen al estado de reposo.



Ilustración 63 - *Telemando*

- **Termistor PTC:** es un resistor que presenta un cambio positivo en su resistencia ante el incremento de temperatura. Esta variación de temperatura puede ser debida a un cambio en la temperatura ambiente o por calor generado en el propio resistor por disipación de potencia.



Ilustración 64 - *Distintos tipos de PTC*

- **Vástago:** es la parte del cilindro neumático que se conecta al **pistón** y es accionado por éste. También se fija al elemento que se va a mover. Es el encargado de transmitir la fuerza del pistón (véase [Ilustración 58](#)).
- **Viga:** es un elemento estructural solicitado primordialmente por cargas perpendiculares a su eje y sus esfuerzos correspondientes son de flexión.

## 1.7. Análisis del problema

### 1.7.1. Dimensiones de la placa. Deformación por flexión y torsión

Para poder alcanzar el objetivo deseado hay que analizar previamente el problema existente al que se quiere dar solución. En apartados anteriores se ha explicado con detalle en qué consiste el control de calidad de las tarjetas y que herramientas se utilizan para ello, describiendo especialmente las camas Fakir y sus elementos.

Para comenzar el desarrollo de este trabajo se centra ya la atención en la **serie VIDECO** y la cama Fakir para la tarjeta VAUL-189. A pesar de que la familia se diseñó y nació a lo largo del año 2018, actualmente ninguna de sus tarjetas dispone de una cama Fakir, y su control de calidad se realiza a través de unas pautas de control manuales, resultando rudimentarias y tediosas.

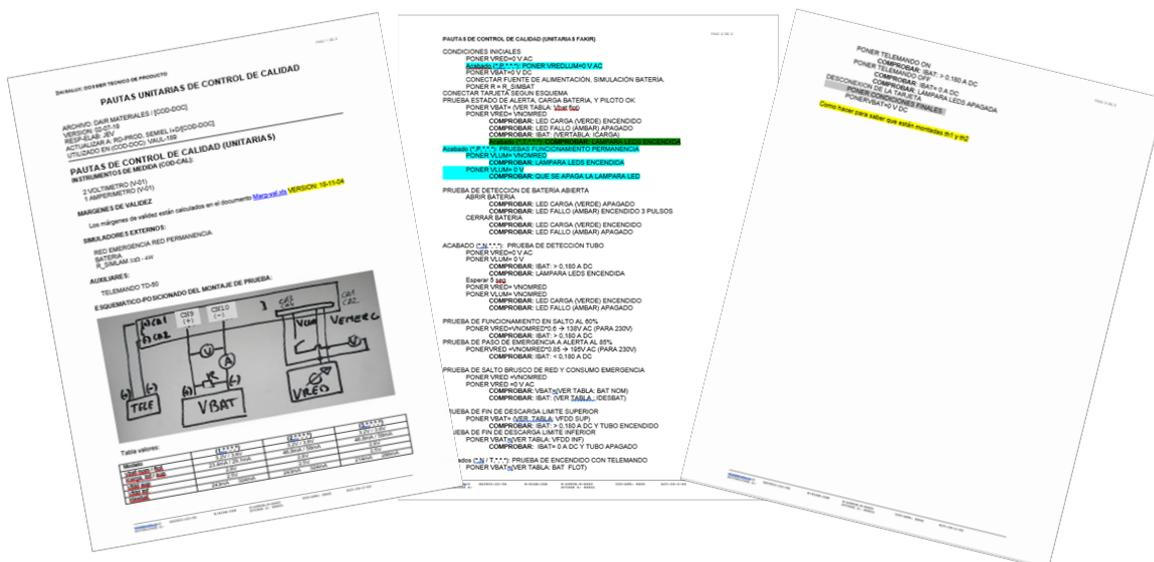


Ilustración 65 - Pautas de control de calidad para la tarjeta VAUL-189

Los operarios de producción han de realizar un montaje previo a la prueba, siguiendo un esquemático y ayudándose de unos simuladores de red, batería e instrumentos de medida, como multímetros. En estas pruebas se comprueban funcionalidades básicas, como el **estado de alerta**, carga de batería y encendido de LED que actúa como piloto testigo de carga, así como funcionamiento por **telemando** y

encendido y apagado de **luminaria**. Además, se comprueban que ciertas tensiones y corrientes significativas estén dentro de márgenes, como la corriente de carga y consumo de batería o tensiones de fin de descarga.

Uno de los grandes inconvenientes a la hora de realizar de esta manera el control de calidad de las tarjetas es la inversión de tiempo que conlleva, entre el montaje y la realización de pruebas. Un operario puede tardar en realizar el testeado de una sola tarjeta entre 5 y 10 minutos aproximadamente. Las camas Fakir, dependiendo de la cantidad de pruebas que se realicen, que van en consonancia con la complejidad de cada tarjeta, realizan un test funcional entre 10 y 90 segundos.

La diferencia entre un método y otro es notable, y en una producción eso se traduce en términos económicos. Además, se trata de una serie novedosa de la marca Duisa, cuyas previsiones de venta son buenas. Entonces, ¿por qué Daisalux no ha elaborado aún camas Fakir para las tarjetas de la familia **VIDECO**?

Ya se comentaba en los primeros apartados del documento que la deformación por flexión era uno de los problemas más habituales que aparecían a la hora de realizar pruebas funcionales a las **PCB**.



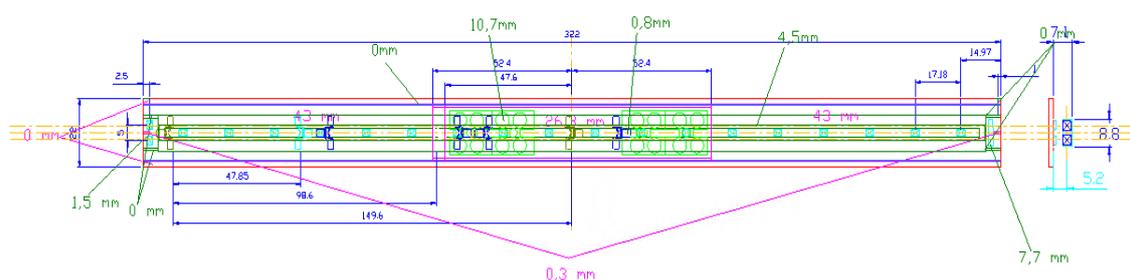
***Ilustración 66** - Deformaciones de una placa amarrada durante sus pruebas*

La palabra flexión está arraigada en nuestro vocabulario y es un concepto que todo el mundo entiende. Una definición más técnica denomina a la flexión como el

tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

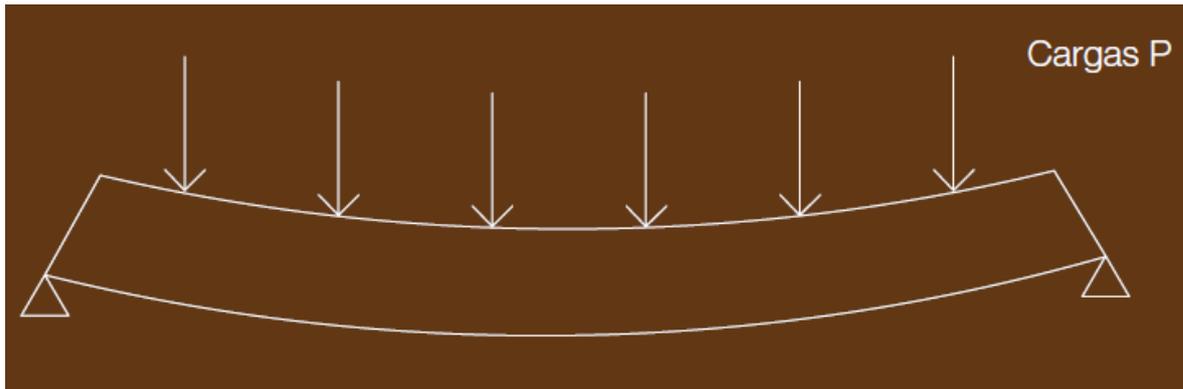
El caso más típico donde se produce este efecto es en las **vigas** estructurales, que son diseñadas para trabajar principalmente por flexión. De la misma manera, este concepto se puede aplicar a otros elementos, como las placas de las tarjetas. El término *alargado*, que se mencionado en la definición, se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras, como es el caso de la **PCB** de la VAUL-189.

Como se puede ver en el apartado [4.2.3 Características PCB: dimensiones](#), la tarjeta VAUL-189 mide 322 x 22mm, lo que supone una relación de aspecto de 14,6:1. Aunque ya existe algún modelo de otra serie cuya **PCB** es alargada y estrecha, es la primera vez que se diseña una placa con estas dimensiones en la empresa, ya que se ha tenido que adaptar y cumplir los acuerdos electromecánicos establecidos por los ingenieros electrónicos y mecánicos durante la fase de desarrollo del producto.



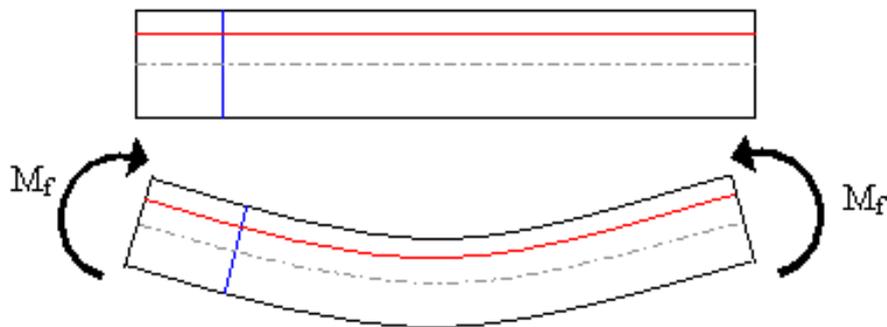
**Ilustración 67** - Acuerdos electromecánicos para VIDECO 320mm

Por lo tanto, lo expuesto hasta aquí da respuesta a la pregunta planteada anteriormente. El problema principal reside en las dimensiones de las tarjetas, sobre todo las pertenecientes al formato VDC3216, la VAUL-189 y la VDG-184, ambas consecuentemente del mismo tamaño. El actual sistema de amarre de las camaras neumáticas de Daisalux no está pensado o diseñado para placas de estas características.



**Ilustración 68** - Flexión

El esfuerzo de flexión es provocado por cargas transversales<sup>3</sup> al eje de la tarjeta, que producen momentos flectores con los consiguientes esfuerzos de compresión a un lado de la sección transversal, y de tracción en el otro (acortamiento y alargamiento de las fibras longitudinales de la placa respectivamente, [Ilustración 69](#))

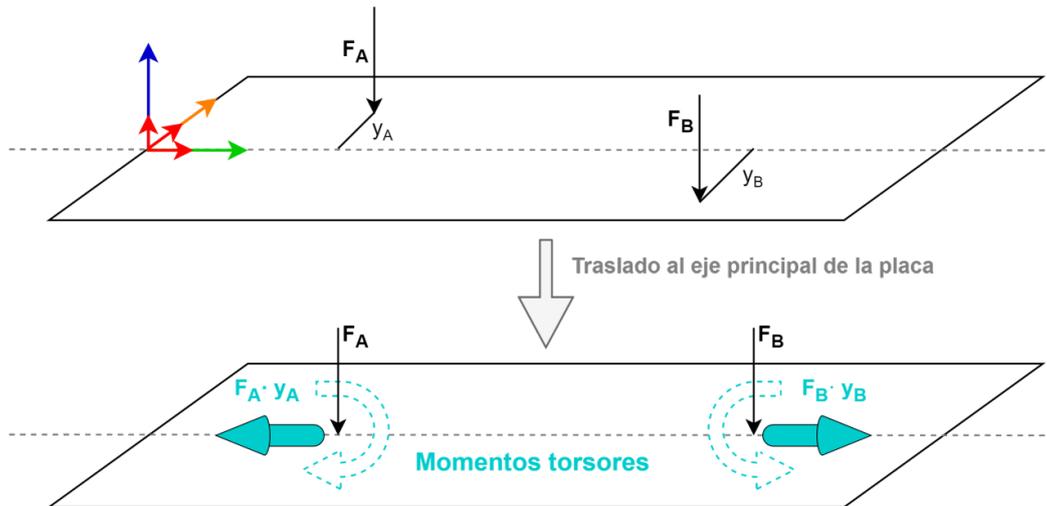


**Ilustración 69** - Momentos flectores

Fuente: Mecapedia

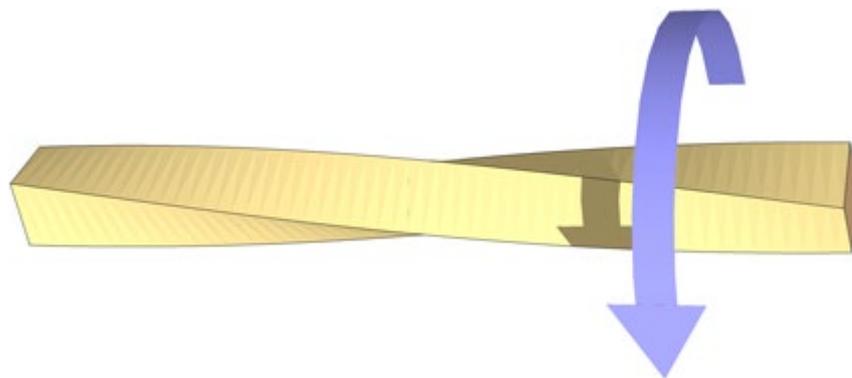
Estas fuerzas aplicadas de manera normal a la tarjeta causan momentos flectores y esfuerzos cortantes que pueden generar flexión en las tarjetas. Si además estas cargas, así como las reacciones de los apoyos, no pasan por el eje de la placa, producirán un momento torsor.

<sup>3</sup> Carga aplicada de manera perpendicular al plano del eje longitudinal



**Ilustración 70** - Momento torsor

Este vector momento, colineal con el eje de la placa, es el causante de que la tarjeta se tuerza respecto a este eje. Un elemento mecánico sometido a un momento de este tipo se dice que está sometido a torsión, por lo que la tarjeta no solo trabajará a flexión.



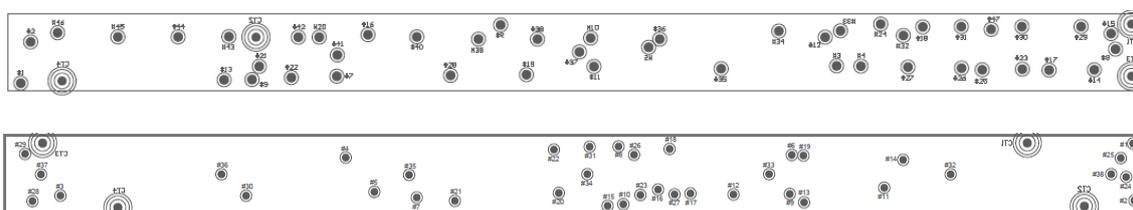
**Ilustración 71** - Torsión

Estos esfuerzos sobre la placa podría suponer la rotura de componentes o puntos de soldadura. Situaciones, que lógicamente, no pueden suceder durante el proceso de control de la calidad de un producto.

Por lo tanto, el primer paso a realizar será el análisis de las distintas cargas que actúan sobre la tarjeta para comprobar si aparecen estos esfuerzos y deformaciones.

### 1.7.2. Justificación del proyecto

Durante la industrialización de la familia, fase previa a la producción final en masa, además de realizar una preserie<sup>4</sup>, se comenzó la elaboración de las camas Fakir para las tarjetas del formato grande de la familia VIDECO. En este caso, se debe elaborar una cama para cada una de ellas. El motivo es que la ubicación de las **isletas** y los centradores es distinta en ambas tarjetas. Se comenzó con la tarjeta VDG-184.

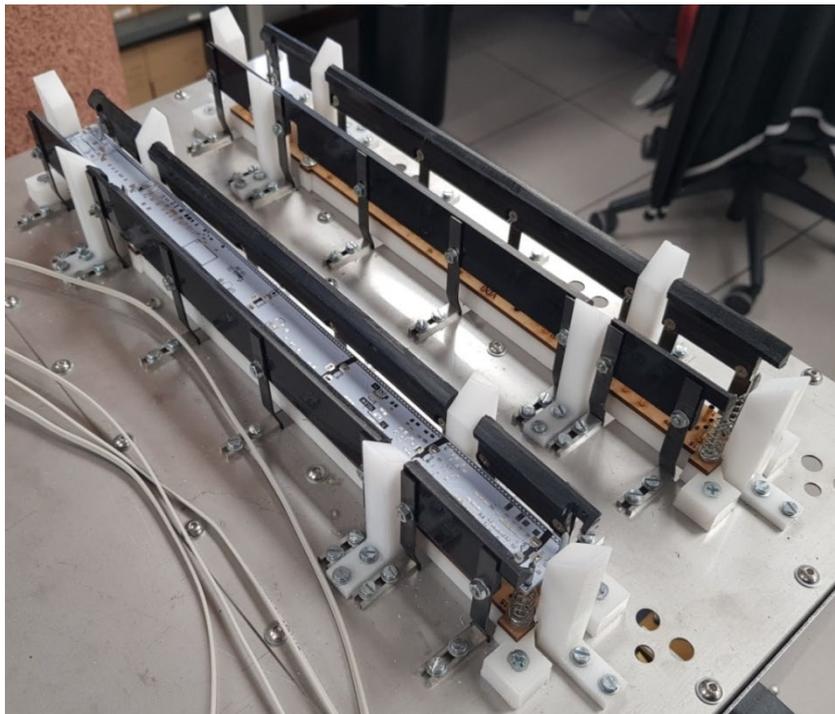


**Ilustración 72** - Posicionado de isletas. Arriba VDG-184 y abajo VAUL-189

Conscientes del problema que plantea las dimensiones de estas tarjetas y tratando de aportar una solución, se modificó ligeramente el sistema de amarre habitual de las camas neumáticas. Se colocó una especie de pared lateral a cada lado sustituyendo a las habituales **uñas de amarre**, distribuidas en distintos puntos a lo largo de la tarjeta.

Esta pared es en realidad, el mismo sistema de amarre con la diferencia de que se trata de una única uña de amarre que al bajar hace cambio contacto longitudinal por toda la tarjeta, arrastrando a ésta al contacto con las puntas de testeo.

<sup>4</sup> Pequeña tirada de tarjetas para probarlas en condiciones estrictas antes de efectuar una producción mayor. Se someten a pruebas con el objetivo de comprobar su correcto funcionamiento y ajuste a las especificaciones de diseño, así como detectar posibles problemas o fallos.



*Ilustración 73 - Modificación del sistema de amarre de la cama VDG-184*

Con este cambio se pretendía una distribución más uniforme de la fuerza neumática a lo largo de toda la tarjeta, esperando disminuir la deformación. Esta solución no ha sido probada, ya que la cama está terminada mecánicamente pero no en lo que se refiere a la electrónica. Aún así es una solución que no termina de convencer al departamento de Oficina Técnica, encargado de la industrialización de los productos.

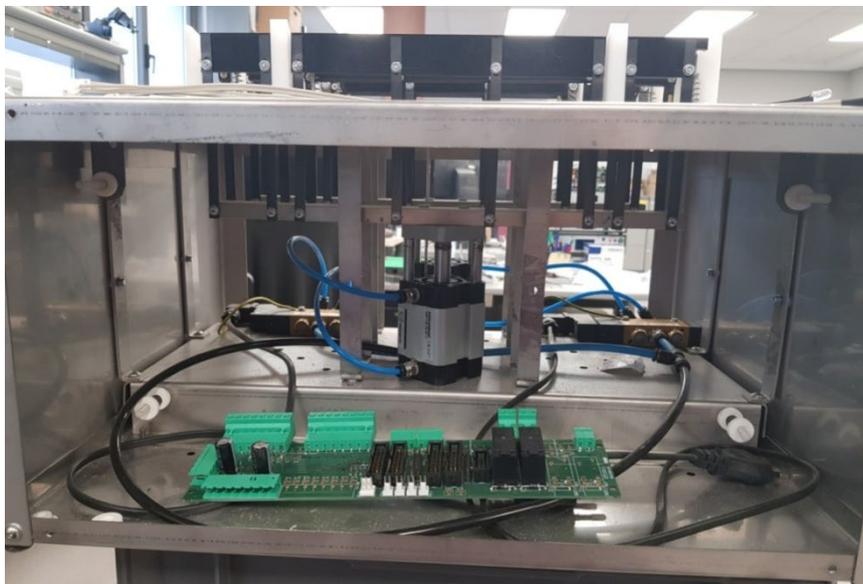


*Ilustración 74 - Detalle de la unión la pared con las chapas*

Esta pared se une a las chapas que suben y bajan por medio de tornillería. Por la experiencia que se tiene del uso de camas neumáticas de otras familias de productos,

se sabe que a la larga y con el uso continuado, estas uniones se aflojan y las uñas de amarre se desnivelan. En otras tarjetas de dimensiones más proporcionadas de largo y ancho, esto no supone un problema de flexión y siguen funcionando sin problemas hasta la realización de un mantenimiento. El caso que se plantea es más crítico porque, como se mencionaba, puede causar la rotura de componentes por la deformación.

El desarrollo de la cama se pausó en esta fase a la espera de estudiar nuevas alternativas. Cuatro años después el tema no ha tenido avances y la cama se encuentra en la situación inicial, sin estar cableada ni operativa. En cuanto a la cama de la VAUL-189, está parada y no se ha empezado a elaborar.



*Ilustración 75 - Estado de la cama VDG-184*

Llegados a este punto y conocido el contexto, se puede empezar a comprender la justificación de este TFG. Lo que se pretende es buscar una solución alternativa a la que se planteó para la cama VDG-184 y aplicarla para la cama de la tarjeta VAUL-189, manteniendo unos criterios que se explicarán apartados siguientes (véase [1.8 Requisitos de diseño](#)).

### 1.7.3. Estudio del comportamiento de la placa

A la hora de empezar a buscar nuevas soluciones se encuentra la imposibilidad de ver realmente como se ve afectada la tarjeta en la cama neumática, porque no ha sido empezada. Por otro lado, la cama de la tarjeta VDG-184, que podría dar pistas sobre las deformaciones que experimentarían las tarjetas con esas dimensiones de **PCB**, no está operativa.

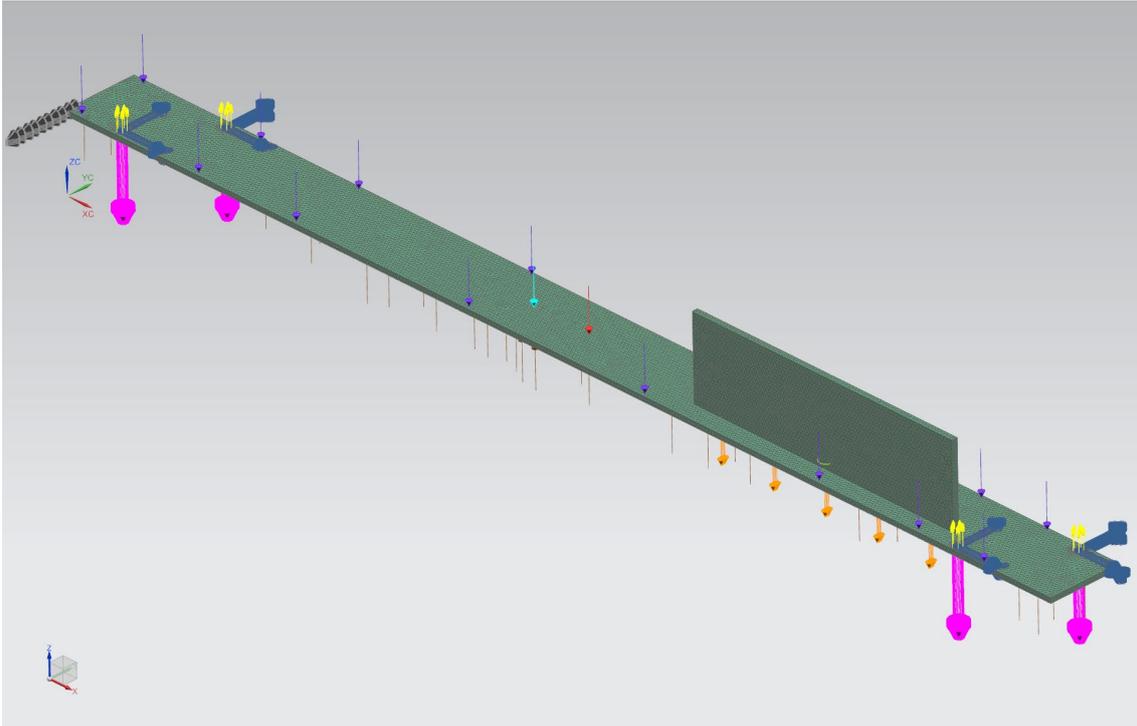
Por ello, para comenzar la búsqueda de soluciones es necesario previamente analizar y comprender el comportamiento que tendría la placa VAUL-189 en una cama neumática actual, tal y como se describían en el [apartado 1.4.4.1](#) y el [apartado 1.4.5](#).

El análisis del problema se va a centrar en el cálculo de fuerzas y momentos y la simulación de las deformaciones mediante software específico para cuantificarlas y poder ver de un modo más visual el comportamiento que tendría la VAUL-189 al descender.

#### 1.7.3.1. Diagrama de sólido libre

El dibujo del diagrama de sólido libre es un paso importante en la resolución de los problemas mecánicos. En esta representación esquemática del sólido, en este caso la tarjeta aislada de la cama Fakir, figuran todas las fuerzas que ejercen sobre ella el resto de elementos del sistema que se suprimen (otros sólidos o apoyos).

El primer paso, por lo tanto, es identificar todas las acciones externas (fuerzas y momentos) que actúan sobre la tarjeta. Para no extender este apartado, todo este estudio completo se realiza en el apartado [Cálculos I](#) dentro de los [Anexos](#).



**Ilustración 76** - Diagrama de sólido libre

#### 1.7.3.2. Simulación deformaciones mediante software

Para no partir a ciegas, se empieza realizando una simulación por medio de software para tener una idea cuantificada de la deformación y ver el comportamiento que tendría la tarjeta al descender en el lecho.

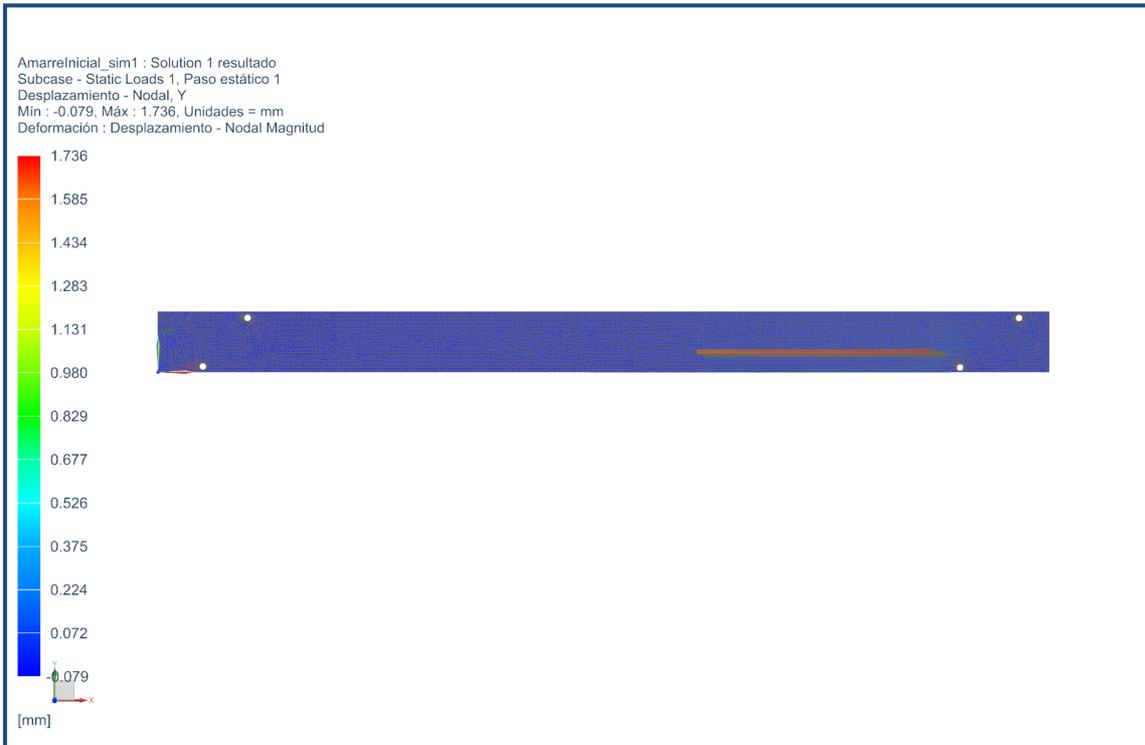
Los pasos seguidos para el análisis por FEM se detallan en el apartado de [Anexos](#), denominado [Análisis I](#). En estas primeras fases comienza también el modelado 3D y diseño orientado a la solución final.

#### 1.7.4. Resultados y conclusiones del análisis inicial

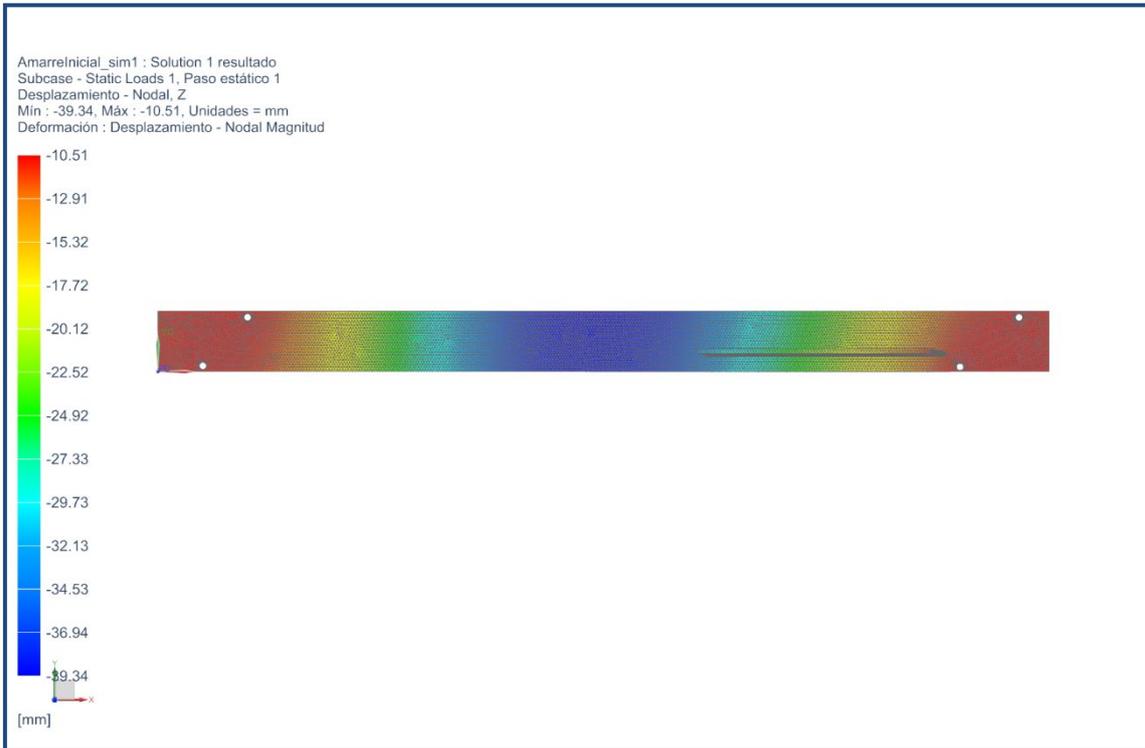
De la simulación por elementos finitos de lo que sería el sistema de amarre en un lecho habitual de una cama Fakir neumática se obtiene un comportamiento de la tarjeta que ya se intuía y predecía.



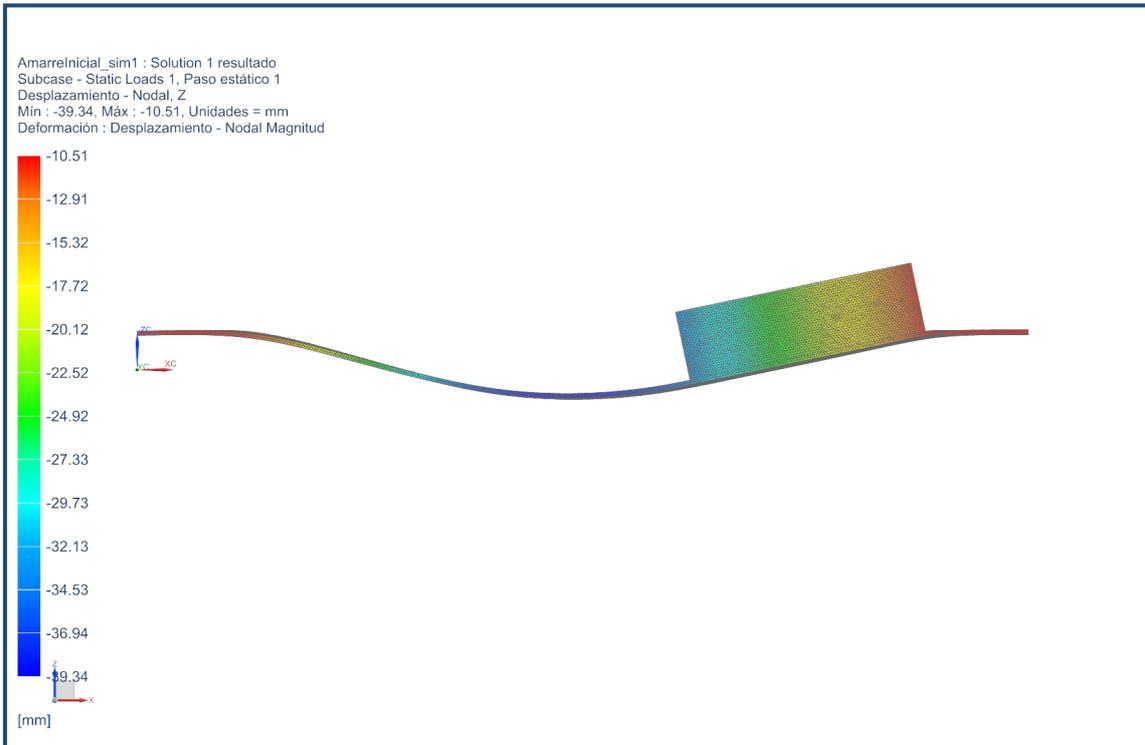
**Ilustración 77** - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en x



**Ilustración 78** - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en y



**Ilustración 79** - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en z

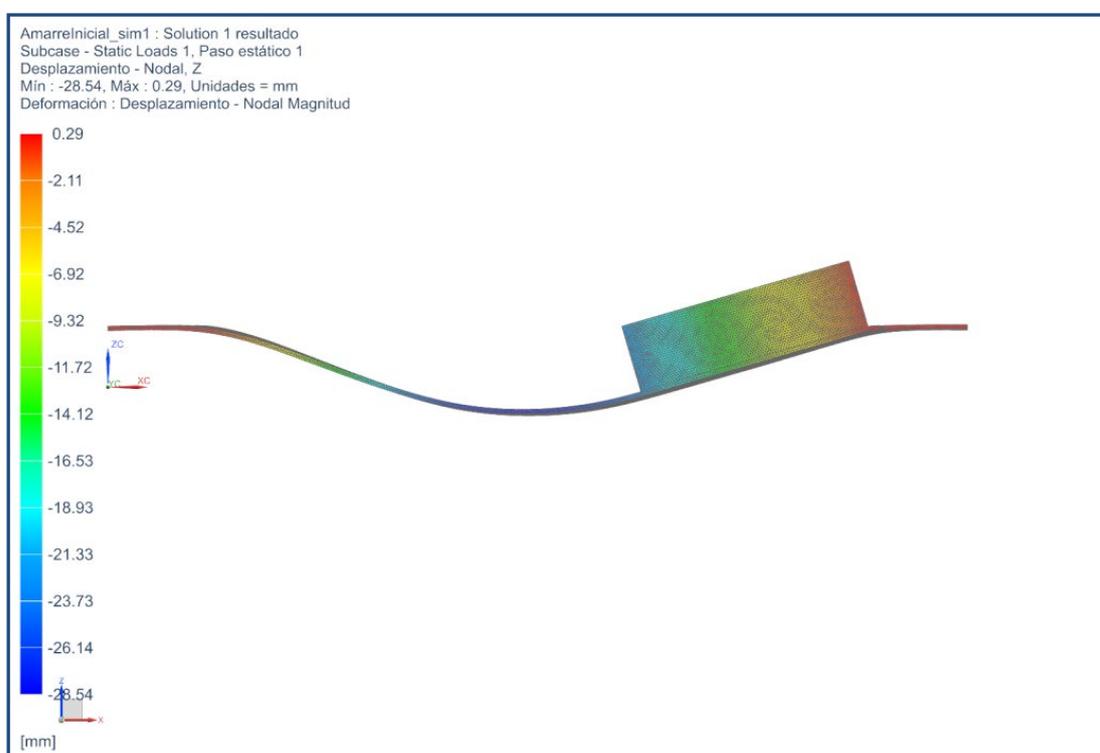


**Ilustración 80** - Análisis inicial. Desplazamiento nodal en z (vista de frente)

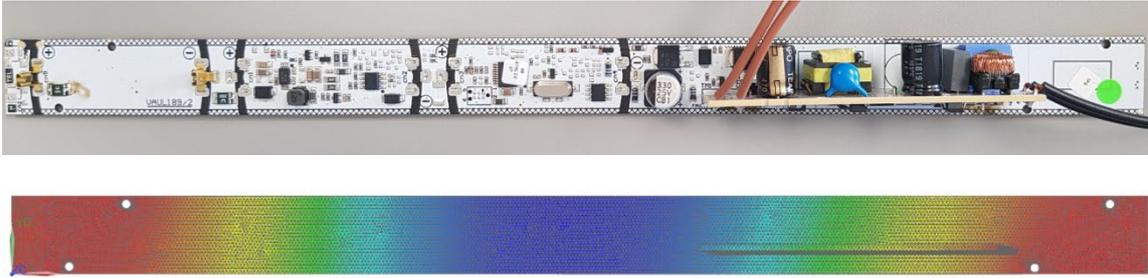
Como muestran las imágenes, se produce una deformación muy notable de la placa a lo largo del eje Z, generándose desplazamientos nodales notables en esta dirección.

Si a estos desplazamientos se le restan los 10,8mm que recorre la tarjeta en el amarre hasta que llega a su posición final, se obtiene el desplazamiento nodal respecto a su eje central una vez apoyada en las puntas de testeo.

Como puede verse en la [Ilustración 80](#) se producen deformaciones de más de 2,8mm en el eje Z. La [Ilustración 81](#) muestra que la zona más afectada de la placa es la central, donde curiosamente se ubican todos los **componentes SMD** del circuito.



**Ilustración 81** - Análisis inicial. Desplazamiento nodal respecto eje central en z (vista de frente)



**Ilustración 82** - Zona más afectada de la placa en el momento del amarre (en color azul)

De este análisis se concluye que el actual montaje de las camas Fakir no es viable para esta tarjeta o al menos no tal y como se viene haciendo hasta ahora. Por lo tanto se va a necesitar rediseñarlo o diseñar una nueva solución que permita eliminar esas deformaciones o al menos, disminuirlas notablemente.

## 1.8. Requisitos de diseño

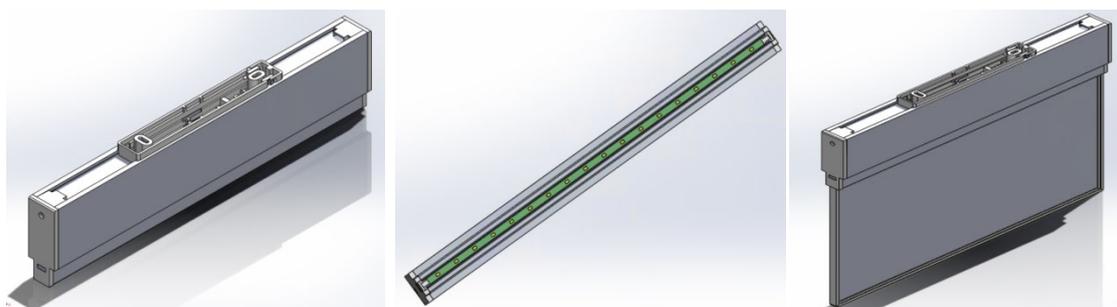
Antes de abordar un análisis de soluciones y diseñar una solución final es necesario definir una serie de especificaciones que se han de cumplir. El sistema de amarre está abierto a cualquier tipo de modificación, pero hay que tener en cuenta ciertas limitaciones, ya que algunos elementos no se pueden modificar para adaptarlos al nuevo diseño. Este apartado se centra en definir todas las restricciones y condiciones existentes.

### 1.8.1. Tarjetas electrónicas: VAUL-189 y FAV-192

Las placas electrónicas no permiten ningún cambio en cuanto a dimensiones o reubicación de elementos en el **PCB**. Ello incluye también restricciones para cualquiera de estos cambios en la tarjeta conectable FAV-192.

Por otro lado, las posiciones de los agujeros centradores de la placa tampoco se pueden modificar ya que conllevaría un rediseño de la **PCB**, y posiblemente tener que reubicar componentes en la placa.

Como se mencionaba apartados atrás se han de cumplir los acuerdos electromecánicos de la familia VIDECO 320mm y cualquier variación supondría un cambio en la mecánica del producto, conllevando el rediseño de piezas, cambio de moldes, etc. Hay que tener en cuenta que este artículo ya está en el mercado y existe un stock en almacenes por consumir, tanto de piezas que conforman la carcasa como de PCB y componentes electrónicos.



**Ilustración 83** - Diseño del producto según acuerdos electromecánicos

Todo lo explicado hasta ahora implicaría hacer un uso alto de recursos humanos, tanto de ingenieros mecánicos y electrónicos para el rediseño, así como de ingenieros de oficina técnica para asegurar una correcta reimplantación del producto con los nuevos cambios. Lo que resulta totalmente inviable por temas económicos.

En definitiva, cualquier cambio queda descartado en las tarjetas electrónicas y el diseño de la VAUL-189 se ha de mantener tal y como está.

## 1.8.2. Cama FAKIR

### 1.8.2.1. Tipo

Al tratarse de una familia de productos de la que se espera una buena demanda, y por ello grandes tiradas, se decidió elaborar la primera cama FAKIR para la tarjeta VDG-184 con amarre neumático. Por lo tanto para seguir una misma línea en toda la serie VIDEKO, la cama FAKIR para la tarjeta VAUL-189 será también neumática.

### 1.8.2.2. Componentes y restricciones de movimiento

Ya se comentaba cuando se explicaba como elabora Daisalux las camas de pruebas neumáticas que todas siguen un patrón y se fabrican con las mismas dimensiones y de la misma manera, adaptando las baquelitas a las dimensiones y posiciones de isletas de cada tarjeta y las pruebas a sus características de funcionamiento. Para ello se utiliza una lista fija de componentes.

Existen componentes que se ha decidido mantener antes de empezar el análisis, ya que sus características afectan a las cargas que actúan sobre la tarjeta, y ha sido necesario eliminar variables para simplificar el estudio y el rediseño. Se trata de las puntas de prueba y los muelles de los centradores, cuya información detallada se pueden encontrar en el apartado [4.5 Datasheets y características](#).

El muelle actúa de tope para que la tarjeta no haga contacto con el lecho mientras en el otro se está realizando la prueba a otra tarjeta. Al tratarse de una solución que funciona perfectamente y que es sencilla y barata, no se pretende modificar.

Para el resto de componentes se deja abierta la posibilidad de una modificación, si es posible, o la sustitución por otro de distintas características. Además no se ponen restricciones en cuanto a introducir nuevos elementos, rediseñar elementos actuales (pestañas de amarre, uñas o topes de plástico) o eliminar otros.

Aún así para intentar seguir con la estandarización comentada se va a intentar seguir con esta lista fija en la manera de lo posible, intentado integrarlos sin modificar en la solución final. También se intentará mantener los diseños de baquelita, plataforma y uñas de amarre realizados antes del análisis.

Cualquier solución podrá ser adoptada, siempre y cuando se respeten las restricciones ya explicadas. Y como se ha comentado, teniendo en mente no desviarse mucho de la estandarización que siguen todas las camas.

#### *1.8.2.3. Presupuesto*

El presupuesto, relativo a la mecánica y componentes de la cama, no supone realmente un condicionante. Pero para tener un valor orientativo, las actuales camas mecánicas tienen un presupuesto estimado de 782,84 euros. Por lo que se intentará ajustar el presupuesto en torno a esa cifra.

## 1.9. Análisis de soluciones

El análisis de soluciones parte de las conclusiones del análisis inicial de fuerzas y de los requisitos de diseño especificados en el apartado anterior.

Volviendo a poner la vista de nuevo en todas las fuerzas y momentos que actúan en la tarjeta y en las especificaciones, se puede concluir que las fuerzas relativas a los pesos no se pueden modificar ya que no se puede realizar ningún cambio en las tarjetas electrónicas. El único cambio ejecutable sería el propuesto en el [apartado 4.6.1.4](#) referente a la longitud del cable marrón de la FAV-192 para contrarrestar momentos si fuese necesario en la nueva solución. La posición de los cables de telemando tampoco se puede cambiar.

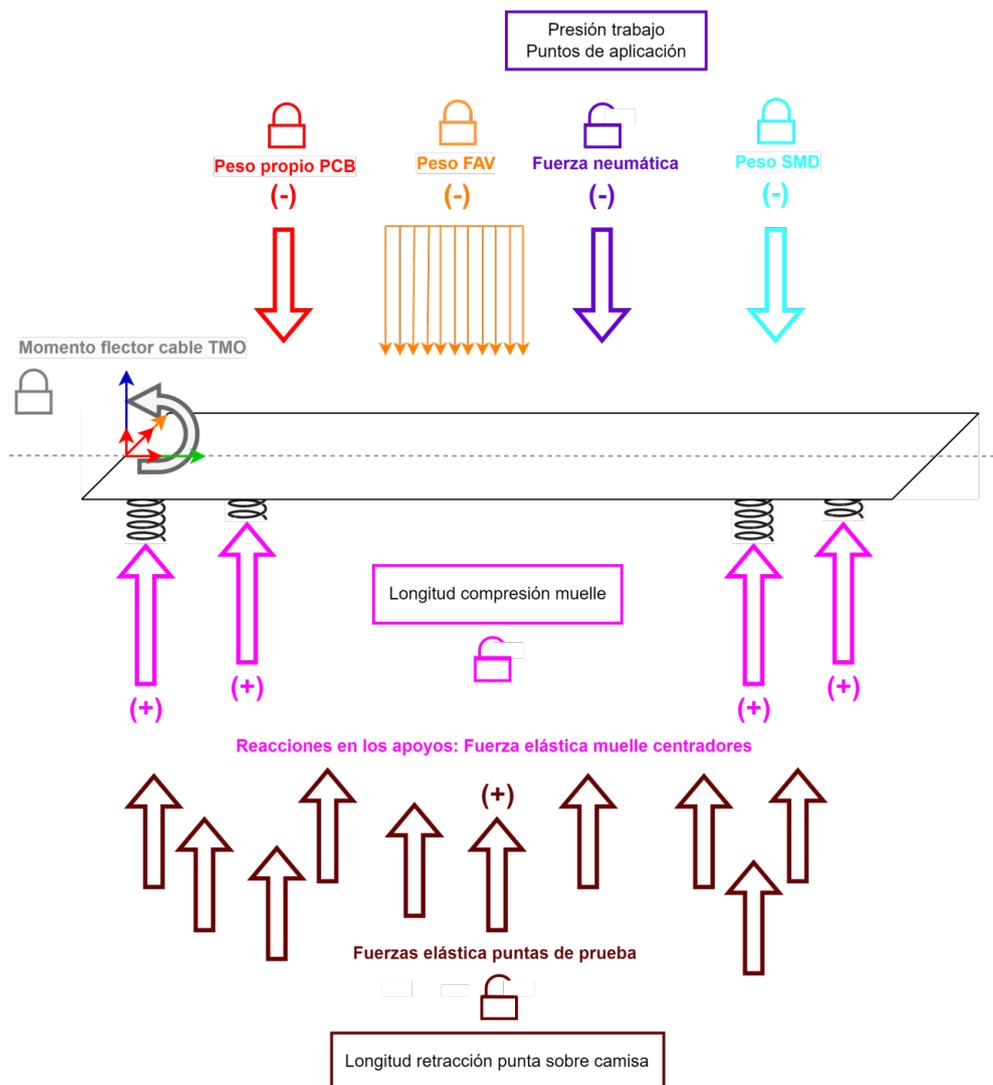


Ilustración 84 - Análisis de soluciones

En cuanto a los muelles y puntas, la aplicación de sus correspondientes fuerzas elásticas no se puede reubicar al no poder cambiarse la posición de los agujeros centradores ni de las isletas en el **PCB**. Pero si se podría jugar con las longitudes de compresión de ambos elementos, con lo que cambiaría el módulo de las fuerzas elásticas correspondientes. Realizar esta modificación también supondría un cambio en las restricciones de movimiento de la tarjeta, pues quedaría a distinta altura sobre el lecho y por lo tanto podría suponer un cambio en dimensiones de las uñas de amarre y altura del cilindro dentro de la caja de la cama. En definitiva cambiarían las cotas de montaje con las que se elaboran las camas Fakir.

Con el objetivo en mente de intentar mantener estos componentes con las referencias dadas en los [apartados 4.5.1](#) y [4.5.2](#) y que cumplan con los datos y suposiciones de partida realizadas para el análisis inicial se descarta en un primer análisis de soluciones realizar cambios sobre estos elementos.

Por lo tanto, el único cambio que parece viable en un primer análisis para cumplir con la mayoría de los requisitos de diseño sería el relativo a las características del cilindro neumático y a la fuerza neumática que ejerce sobre la tarjeta. Si se desea mantener las características dimensionales, mecánicas y neumáticas de este elemento, cuyas referencias se encuentran en el [apartado 4.5.3](#), habrá que actuar sobre la presión de trabajo o sobre los puntos de aplicación.

La presión de trabajo es difícilmente controlable, ya que como se comentaba, primero no se sabe a ciencia cierta cuanta presión llega al puesto Fakir y segundo se regula mediante un racor neumático a ojo. Por lo que si se diseña la solución para una presión de trabajo exacta se complica su ejecución al no poder controlarla. Se tendría que adoptar en las camas algún sistema para medir y controlar dicha presión. Por lo tanto al tratarse de una variable difícil de controlar se va a proceder a jugar con los puntos de aplicación de la fuerza.

#### *1.9.1.1. Solución I: pared lateral como uña de amarre*

Esta primera solución conlleva un cambio en los puntos de aplicación de la fuerza neumática mediante el uso de una pared lateral que actúa como una uña de amarre

continúa a lo largo de toda la tarjeta. Ya se comentaba en el apartado [Justificación del proyecto](#) como una solución alternativa dada para la cama de la tarjeta VDG-184.

Se traslada a la cama de la VAUL-189 para analizar si se trata de una solución viable para esta tarjeta. En primer lugar será necesario calcular el peso de esta pared unida a la plataforma, cuyo peso se conoce al haberse calculado en la [Ecuación 4.20](#) y [Ecuación 4.21](#). En este caso la pared, con la forma de pestaña de uña, tendrá las mismas dimensiones de altura y espesor de las pestañas individuales pero tendrá la longitud de la tarjeta, 322mm, como anchura. A esta dimensión hay que restarle la anchura de 2 topes de plástico de 10mm de ancho cada uno.



**Ilustración 85** - Detalle pared uña de amarre

$$\begin{aligned} \text{Peso}_{\text{pared}} &= 2 \text{ paredes} \cdot (30,2 \cdot (1,8 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,275 + 0,1 \cdot 0,425)) \cdot \text{cm}^3 \cdot \frac{1,41 \text{ g}}{\text{cm}^3} \\ &= 51,31 \text{ g} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Actualizando la [Ecuación 4.24](#) teniendo en cuenta el peso de la pared en vez del peso de 16 pestaña se tiene el peso de conjunto de la plataforma para esta solución.

$$\text{Peso}_{\text{plataforma}} = 134,12 + 76,9 + 107,92 + 51,35 + 18\text{g} = 388,29\text{g} \quad (1.2)$$

El sumatorio de la fuerza neumática aplicada, [Ecuación 4.47](#) modificada para pared, queda para este caso de la siguiente manera:

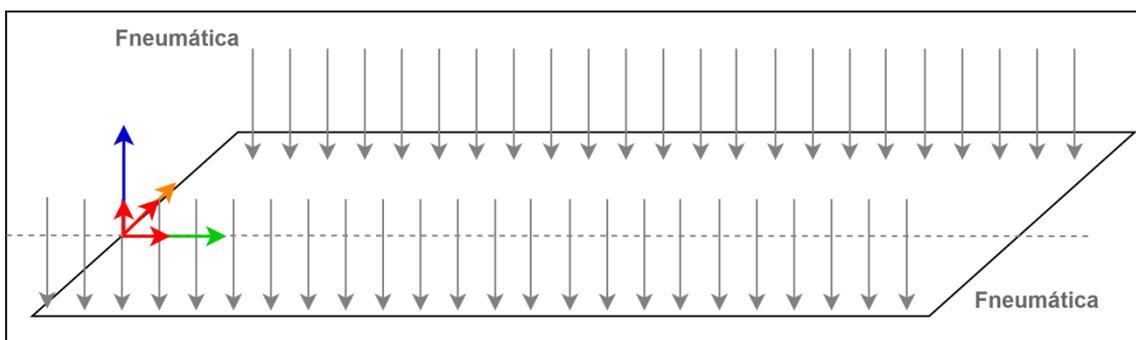
$$310,95 = 0,38829 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 + \sum F_{\text{aplicada en pared}} \quad (1.3)$$

$$\sum F_{\text{neumática aplicada en pared}} = 307,14 \text{ N} \quad (1.4)$$

Esta fuerza se aplicará como una carga distribuida a lo largo de toda la longitud de la tarjeta. Si se convierte en una carga puntual, se tendrán dos puntos de aplicación, uno por cada lado de la tarjeta. Estas cargas puntuales se situarán en la mitad de la longitud de la tarjeta, 161mm (eje x) y en 0,75mm y 21,25mm (eje y).

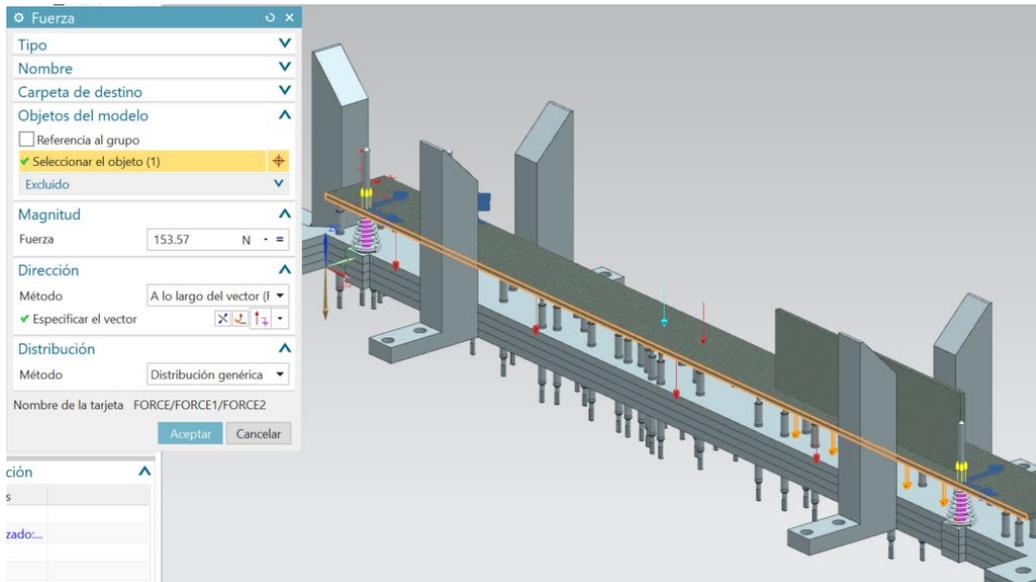
$$F_{\text{neumática aplicada en pared}} = 153,57 \text{ N} \quad (1.5)$$

$$\vec{F}_{\text{neumática aplicada en pared}} = -153,57 \hat{k} \quad (1.6)$$



**Ilustración 86** - Fuerza neumática distribuida con pared de amarre

Cambiando las cargas en el modelado 3D y resolviendo de nuevo se obtienen las nuevas deformaciones que sufriría la placa. Las siguientes imágenes muestran el proceso.



**Ilustración 87** - Fuerza neumática distribuida, simulando pared

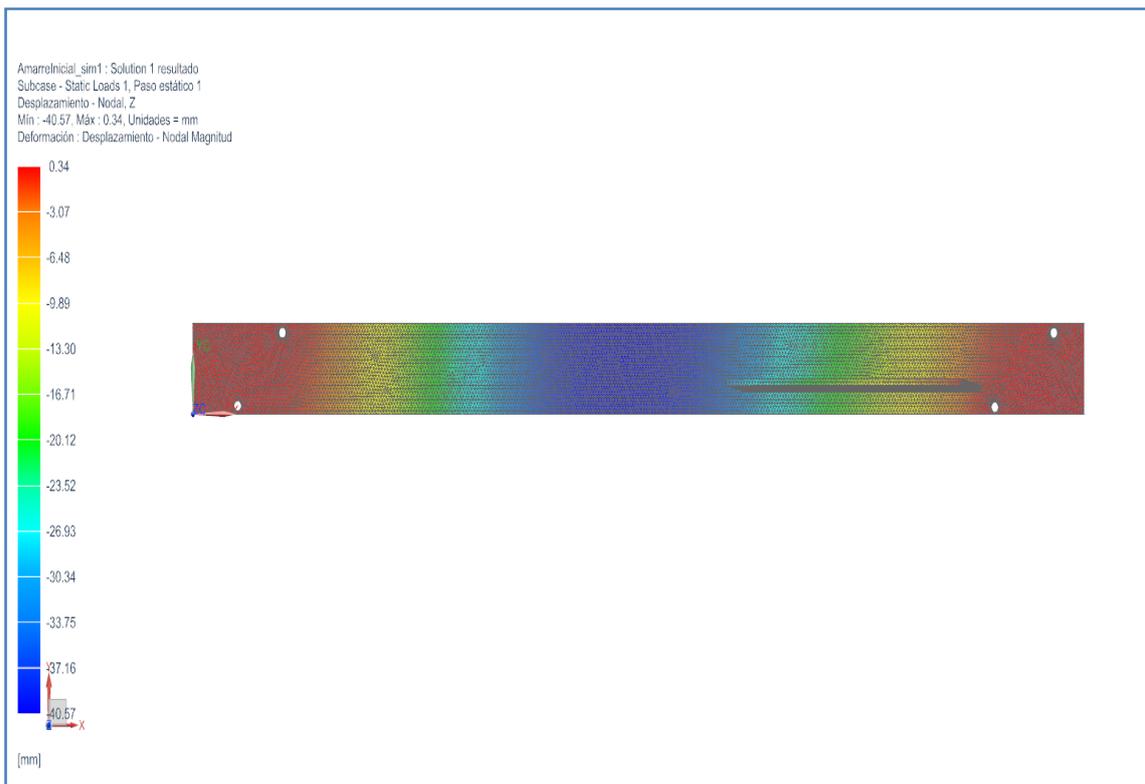
Los resultados obtenidos, como muestran las imágenes, empeoran ligeramente las deformaciones a lo largo del eje Z respecto al diseño con 16 uñas de amarre del análisis inicial, por lo que se descarta.



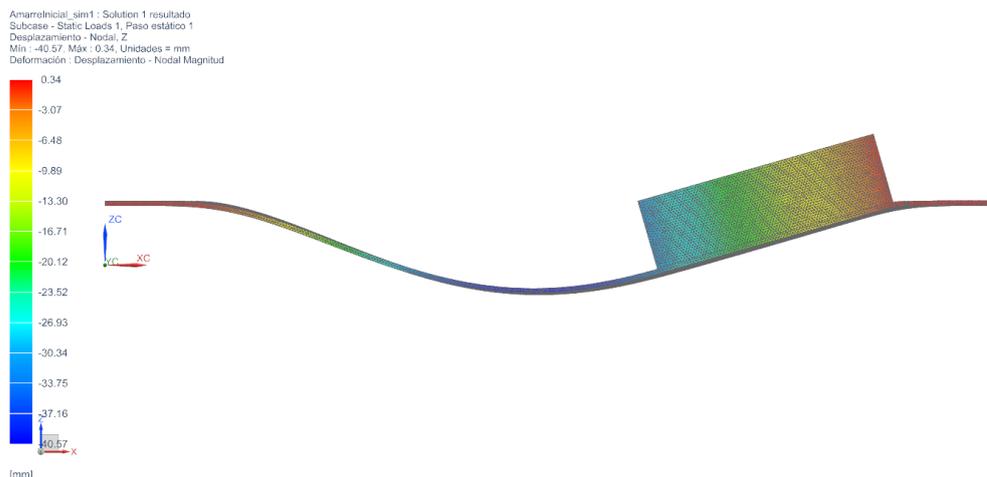
**Ilustración 88** - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en x



**Ilustración 89** - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en y



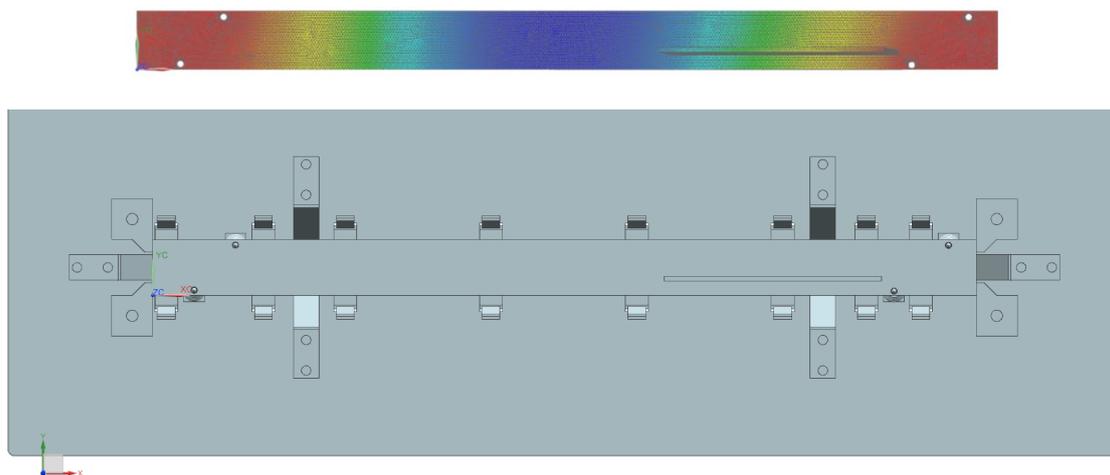
**Ilustración 90** - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en z



**Ilustración 91** - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en z (vista frente)

1.9.1.2. Solución II: diseño análisis inicial con 12 uñas de amarre

Volviendo al caso del análisis inicial de 16 uñas de amarre y observando el resultado de la **Ilustración 81** la flexión de la tarjeta en toda su parte central que coincide con 4 uñas de amarre, se realiza una simulación sin ellas.



**Ilustración 92** - Análisis solución 2 sin 4 uñas de amarre

Para ello habrá que reajustar la fuerza aplicada del cilindro al haber menos puntos de aplicación. Se pasa de 16 uñas a 12 y se retiran 4 tornillos y tuercas, por lo que el peso de la plataforma disminuirá.

$$Peso_{u\tilde{n}a} = 14 u\tilde{n}as \cdot ((4 + 7 + 1) \cdot 0,7 \cdot 0,1) \cdot cm^3 \cdot \frac{8,03 \text{ g}}{cm^3} = 94,43 \text{ g} \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} Peso_{pesta\tilde{n}a} &= 16 pesta\tilde{n}as \cdot (0,7 \cdot (1,8 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,275 + 0,1 \cdot 0,425)) \cdot cm^3 \cdot \frac{1,41 \text{ g}}{cm^3} \\ &= 8,33 \text{ g} \end{aligned} \quad (1.8)$$

$$Peso_{plataforma} = 134,12 + 76,9 + 94,43 + 8,33 + 14g = 327,78g \quad (1.9)$$

Recalculando la fuerza aplicada según Ecuación 4.47

$$310,95 = 0,33178 \text{ kg} \cdot 9,81m/s^2 + \sum F_{aplicada \text{ en } u\tilde{n}a} \quad (1.10)$$

$$\sum F_{neum\acute{a}tica \text{ aplicada } \text{ en } u\tilde{n}a} = 310,84 \text{ N} \quad (1.11)$$

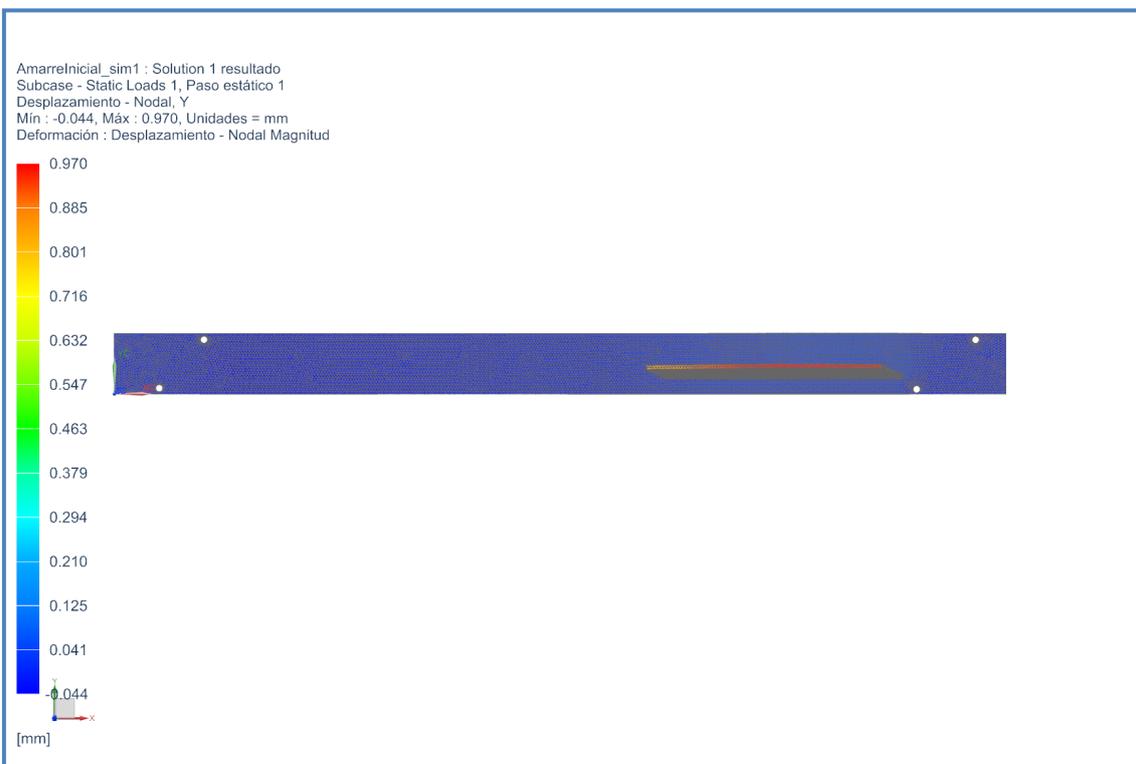
$$F_{neum\acute{a}tica \text{ aplicada } \text{ en } u\tilde{n}a} = 25,90 \text{ N} \quad (1.12)$$

$$\vec{F}_{neum\acute{a}tica \text{ aplicada } \text{ en } u\tilde{n}a} = -25,90 \hat{k} \quad (1.13)$$

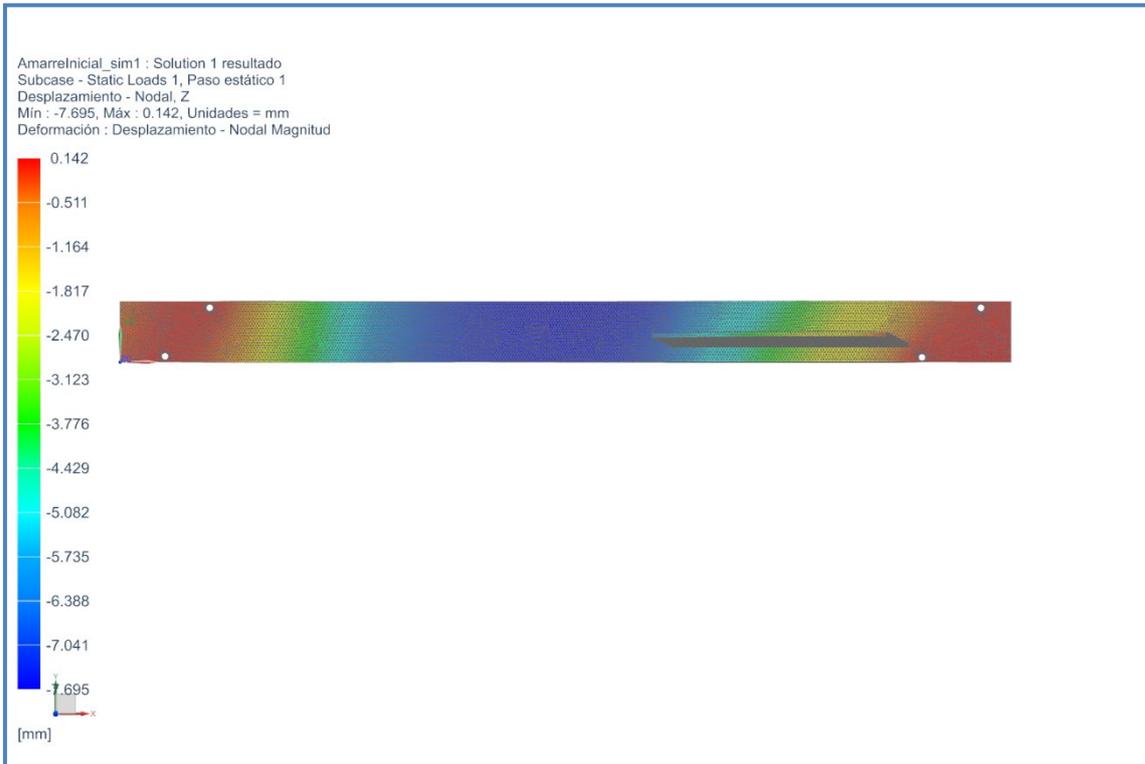
Retirar 4 uñas de amarre tiene una influencia insignificante en el peso total de la plataforma por lo que al haber menos puntos de aplicación para una fuerza neumática total que apenas cambia, la fuerza aplicada en cada punto será mayor. Se estudia cómo evoluciona el comportamiento de la tarjeta con este cambio y se ve que tampoco mejor el diseño inicial.



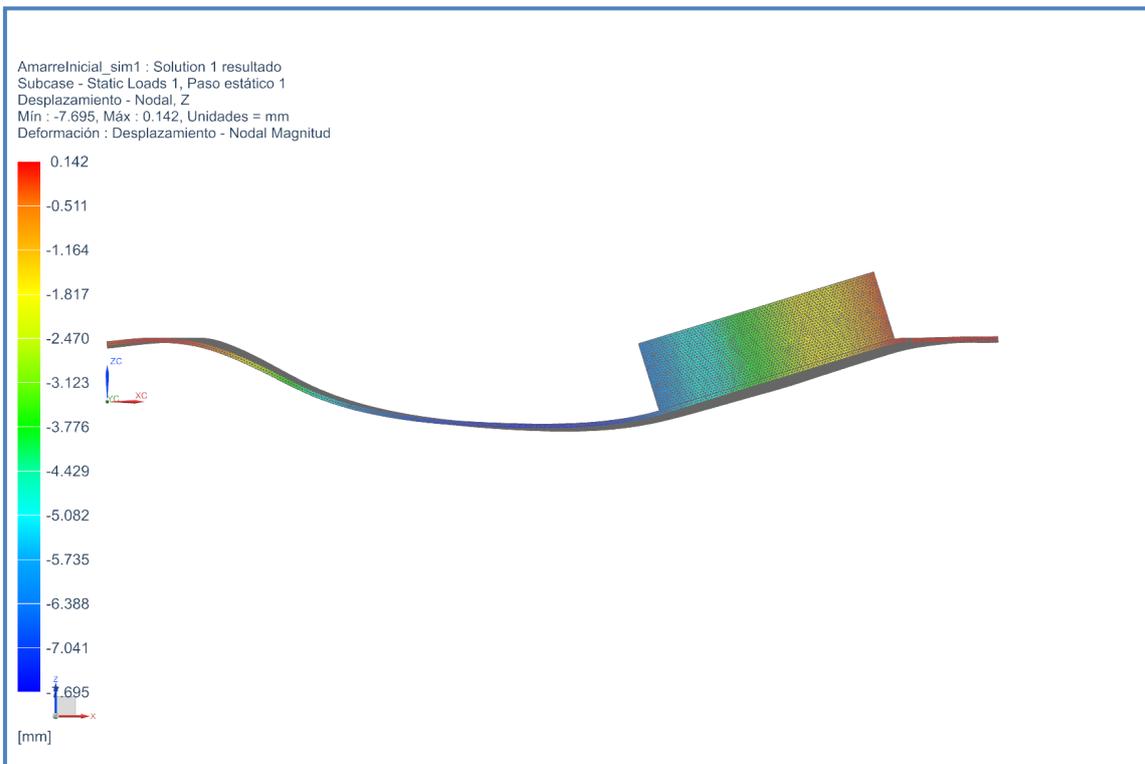
**Ilustración 93** - Análisis solución II. Desplazamiento nodal en x



**Ilustración 94** - Análisis solución II. Desplazamiento nodal en y



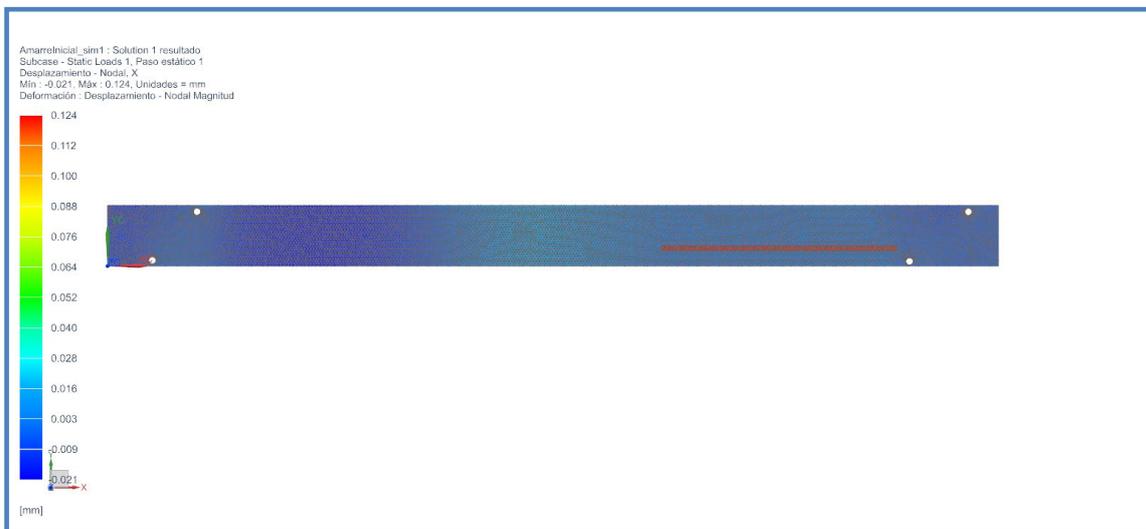
**Ilustración 95** - Análisis solución II. Desplazamiento nodal en z



**Ilustración 96** - Análisis solución I. Desplazamiento nodal en z (vista frente)

### 1.9.1.3. Solución II: diseño final con 10 uñas de amarre y nuevas posiciones

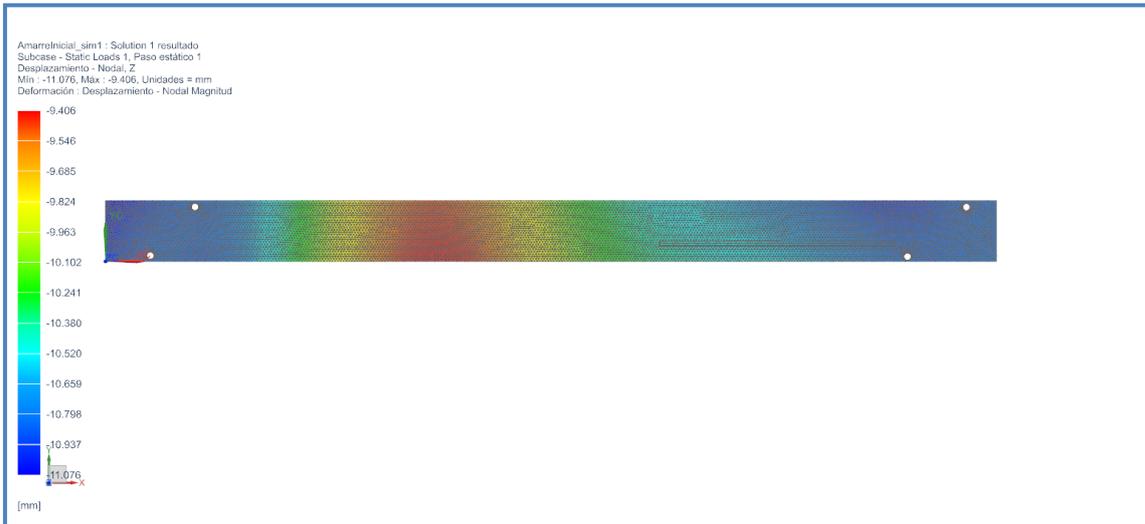
Tras un estudio más exhaustivo de distintos puntos de aplicación de la fuerza neumática se da con una solución de posiciones de las uñas de amarre que apenas deforma la placa (1mm en la dirección del eje Z) y además no lo hace en la zona de los componentes electrónicos. Para conseguir esta solución se ha supuesto que el racor neumático consigue disminuir un 50% la presión definido como presión de trabajo, es decir, alrededor de 2,5bares.



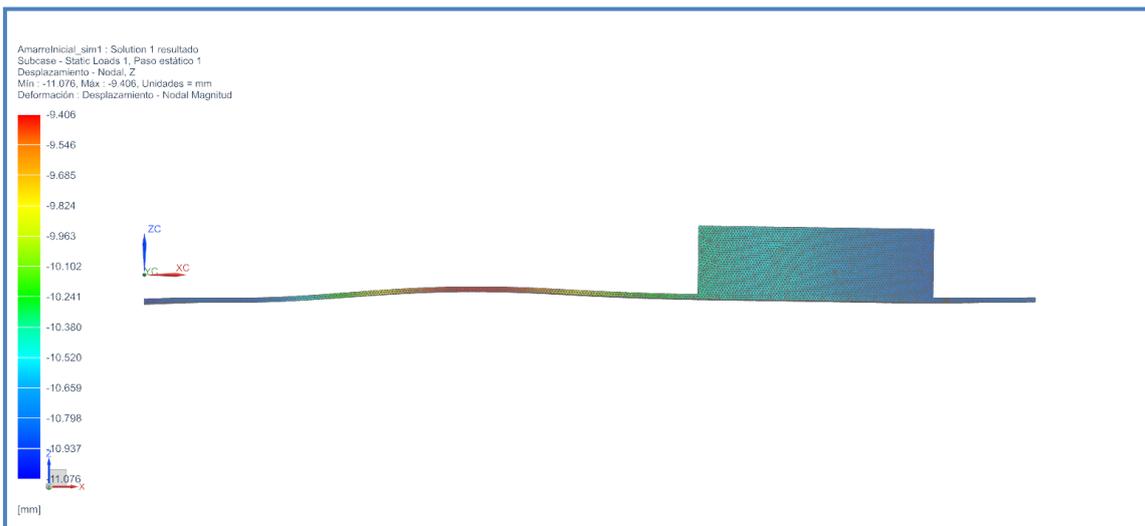
**Ilustración 97** – Análisis final. Desplazamiento nodal en x



**Ilustración 98** - Análisis final. Desplazamiento nodal en y



**Ilustración 99** - Análisis final. Desplazamiento nodal en z



**Ilustración 100** - Análisis final. Desplazamiento nodal en z (vista de frente)

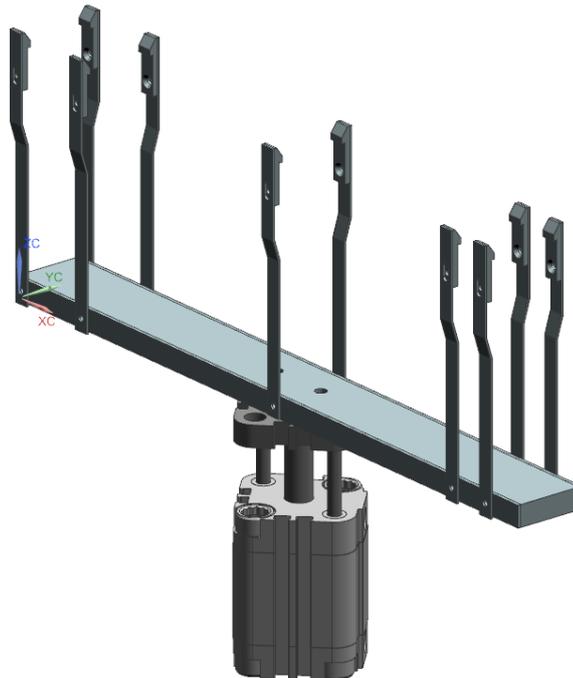
## 1.10. Resultados finales

### 1.10.1.1. Conjunto plataforma y uñas de amarre

La plataforma se diseña con 10 uñas de amarre. 8 estaban en el diseño inicial y 2 se añaden en el centro de la tarjeta. Se actualiza la tabla con la posiciones de los puntos de aplicación de la fuerza neumática en las uñas de amarre.

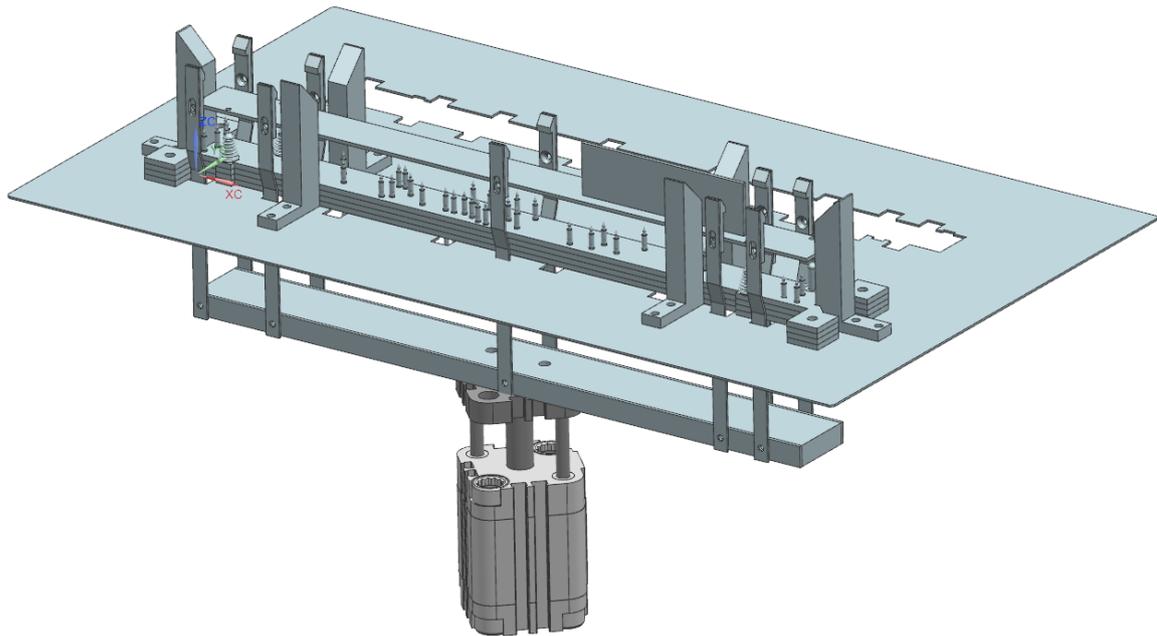
Uña de amarre	Posición x (mm)	Pto. Aplicación x (mm)	Pto. Aplicación y (mm)
1	0,8	4,3	21,25
2	0,8	4,3	0,75
3	38,8	42,3	21,25
4	38,8	42,3	0,75
5	161	164,5	21,25
6	161	164,5	0,75
7	274,5	278	21,25
8	274,5	278	0,75
9	295,8	299,3	21,25
10	295,8	299,3	0,75

**Tabla 4** - Posiciones finales punto de aplicación de la fuerza del cilindro sobre la tarjeta VAUL-189

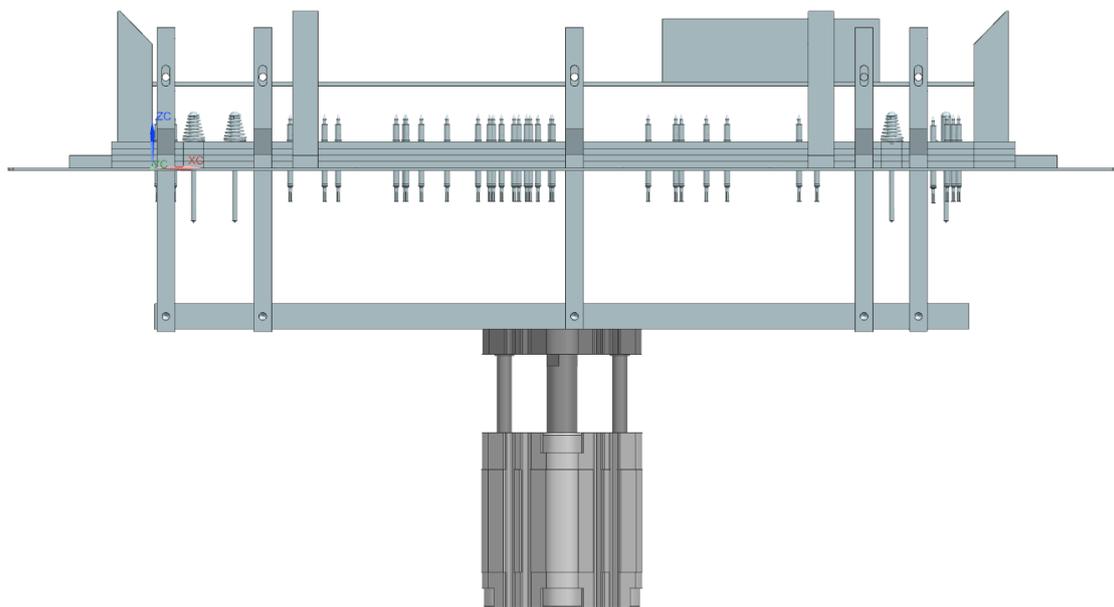


**Ilustración 101** - Conjunto plataforma, uñas y cilindro

El sistema de amarre montado completamente quedaría de la siguiente manera.



**Ilustración 102** – Diseño final sistema de amarre



**Ilustración 103** - Alzado diseño final sistema de amarre

### 1.10.1.2. Baquelita

Se mantiene como diseño definitivo el primer diseño que se hace para el análisis inicial (véase [apartado 4.6.1.5](#))

BAQUELITA	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ15
<b>Descripción</b>	Baquelita
<b>Material</b>	4 x Placas DM 2,6mm
<b>Fabricante</b>	Duisa
<b>Proveedor</b>	Duisa
<b>Referencia</b>	<a href="#">1.9.1.1 Baquelita</a>
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 4</a> <a href="#">Nº 5</a>

[Tabla 5](#) - Información y referencia baquelita

### 1.10.1.3. Tope de plástico

En cuanto a los topes de plásticos se tienen varios modelos que se diferencian en forma y dimensiones para adaptarlos a las necesidades de cada tarjeta y cama. Estos topes están bien definidos en planos y su fabricación se subcontrata a una empresa externa, por lo que se dispone de stock suficiente. No se ve necesario diseñar un tope nuevo y tomando como referencia los utilizados en la cama de la VDG-184, se utilizarán los mismos en la cama de la VAUL-189.

TOPE DE PLÁSTICO	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ13
<b>Descripción</b>	Tope Cama Fakir 10x32x62
<b>Material</b>	Poliacetal (POM o DELRIN)
<b>Fabricante</b>	Lami
<b>Proveedor</b>	Lami
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 6</a>

[Tabla 6](#) - Información y referencia Tope cama Fakir

## 1.10.1.4. Uña de amarre

UÑA DE AMARRE	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ11
<b>Descripción</b>	Uña cama Fakir
<b>Material</b>	Acero
<b>Fabricante</b>	Laserbidez
<b>Proveedor</b>	Laserbidez
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 7</a>

[Tabla 7](#) - Información y referencia uña de amarre

## 1.10.1.5. Pestaña de uña de amarre

PESTAÑA UÑA DE AMARRE	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ12
<b>Descripción</b>	Pestaña de la uña de amarre
<b>Material</b>	Poliacetal (POM o DELRIN)
<b>Fabricante</b>	Laserbidez
<b>Proveedor</b>	Laserbidez
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 8</a>

[Tabla 8](#) - Información y referencia uña de amarre

## 1.10.1.6. Plataforma y lateral plataforma

PLATAFORMA	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ9
<b>Descripción</b>	Plataforma
<b>Material</b>	Poliacetal (POM o DELRIN)
<b>Fabricante</b>	Laserbidez
<b>Proveedor</b>	Laserbidez
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 9</a> <a href="#">Nº 10</a>

[Tabla 9](#) - Información y referencia plataforma

<b>LATERAL PLATAFORMA</b>	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ20
<b>Descripción</b>	Rigidizador plataforma
<b>Material</b>	2x Chapa acero inoxidable 1,5mm
<b>Fabricante</b>	Laserbidez
<b>Proveedor</b>	Laserbidez
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 11</a> <a href="#">Nº 12</a>

[Tabla 10](#) - Información y referencia lateral plataforma

#### 1.10.1.7. Tapa soporte

<b>TAPA SOPORTE</b>	
<b>Clase/Tipo</b>	Pieza/Varios
<b>Nominativo</b>	PZ8
<b>Descripción</b>	Soporte para lechos
<b>Material</b>	Chapa acero inoxidable 1mm
<b>Fabricante</b>	Laserbidez
<b>Proveedor</b>	Laserbidez
<b>Planos</b>	<a href="#">Nº 13</a>

[Tabla 11](#) - Información y referencia tapa soporte

## 1.11. Planificación

### 1.11.1. Período de desarrollo

Aunque el comienzo del proyecto se fecha en Enero del 2022, se comienza a contabilizar realmente desde la fecha de incorporación a la empresa en Septiembre de 2021, ya que durante esos cuatros meses se realiza un proceso de adaptación y un trabajo de formación necesarios para poder abordar después el TFG propuesto.

Se da por finalizado en Julio de 2023, fecha en la que será defendido ante el tribunal. En total se ha estado trabajando durante este proyecto aproximadamente 2 años, teniendo en cuenta que han existido períodos de inactividad.

### 1.11.2. Gestión del proyecto

Para la ejecución de este proyecto se ha seguido la siguiente metodología de trabajo que abarca el conjunto de fases que comprenden todo su desarrollo, desde el inicio, con la definición y estudio del problema a abordar hasta la fase de documentación y defensa. Los pasos seguidos han sido los siguientes:

#### 1) Planteamiento del problema

Se comienza con la identificación y definición del problema planteado por la empresa y las necesidades a solventar. En esta fase también se produce el planteamiento de objetivos y el alcance real del proyecto.

#### 2) Investigación y formación

Esta fase se centra en las camas Fakir y se profundiza en el conocimiento sobre su funcionamiento, estructura y mecánica. Se empieza a conocer la familia de productos VIDECO. También se hace acopio de toda la documentación al respecto que tiene la empresa hasta el momento y que pueda resultar de utilidad durante el desarrollo.

Por otro lado, se estudia el software específico y las herramientas que van a ser necesarias utilizar, para proceder a su instalación o el acceso a ellas. Además, se

profundiza en el manejo de este software mediante tutoriales, manuales e investigación por cuenta propia.

### **3) Análisis del problema**

Debido a la complejidad del sistema se estudia la manera de facilitar el análisis mediante datos de partida y suposiciones. Comienzo de los primeros modelados 3D de componentes para trabajar simultáneamente con la siguiente fase.

### **4) Cálculo y Simulaciones**

Se profundiza en la problemática mediante la realización de cálculos y simulaciones que ayuden al análisis de soluciones.

### **5) Análisis de soluciones y conclusiones**

Definición de los requisitos para, junto con la interpretación de los datos obtenidos en la fase del análisis, iniciar la búsqueda de posibles soluciones.

### **6) Diseño y solución final**

Diseño de la solución final elegida atendiendo a todos los requerimientos y restricciones de diseño previamente determinados.

### **7) Documentación**

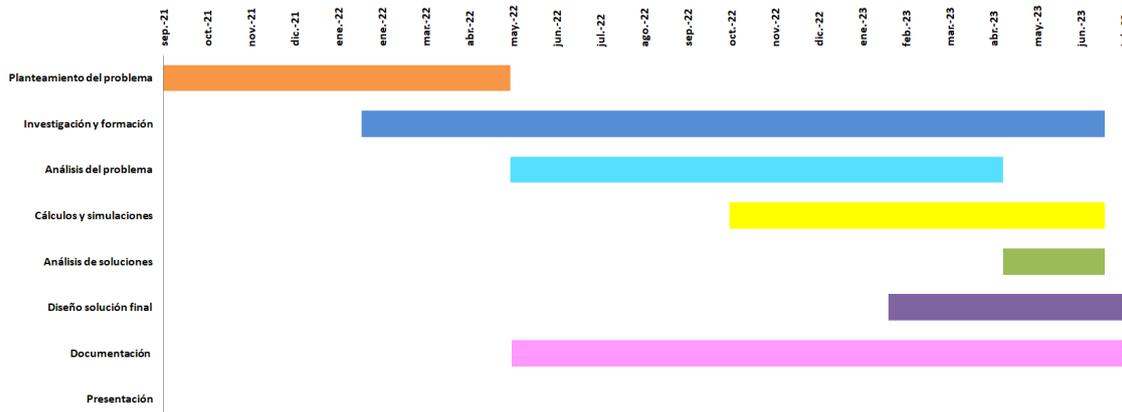
Redacción de toda la documentación necesaria para entender y ejecutar el proyecto así como la elaboración de planos. Redacción de la memoria del TFG.

### **8) Presentación y defensa**

Diseño y elaboración de la presentación del proyecto. Preparación de su defensa.

El siguiente diagrama muestra una vista general de la duración de cada bloque a lo largo de los dos años de desarrollo, teniendo en cuenta los períodos de inactividad.

Como se puede observar no son bloques independientes que se trabajan durante un período y se terminan para pasar al siguiente. La gran mayoría de tareas dependían las unas de las otras, por lo que los bloques están relacionados y se han trabajado a la vez.



**Ilustración 104** - Distribución temporal de los bloques de desarrollo

Con la presentación y defensa se daría por finalizado este TFG en cuanto al alcance universitario se refiere. Quedarían pasos por seguir, directamente ya entre la empresa y la alumna, trabajadora de la misma.

Para dar por terminado todo el desarrollo será necesario presentar las ideas, resultados y conclusiones obtenidos a Laintec, centro de I+D de Daisalux, que decidirá si lo ejecuta tal y como se propone, se realiza algún cambio o se sigue desarrollando para buscar más soluciones. El curso que se debería seguir tras la defensa del proyecto sería:

## 9) Propuesta y validación

En una reunión con el personal de Oficina Técnica encargado de la elaboración de las camas Fakir se hará una presentación de la solución propuesta. Si convence en su totalidad a la oficina técnica se aceptará la solución y se pasará a fases siguientes.

Si por el contrario se encuentra algún punto susceptible de mejora, se pondrá en común para aportación de ideas que pueda mejorarla. Tras esa fase se procederá al análisis y rediseño si es necesario.

### **10) Implementación**

Montaje de la estructura de la cama, componentes y conexiones eléctricas, adecuándolo a lo definido en fases anteriores. Programación de las pruebas a realizar en la tarjeta.

### **11) Documentación**

En paralelo con la fase anterior se lleva a cabo la creación de un dossier de la cama donde habrá que reunir la documentación generada en el TFG y la documentación creada durante la implementación.

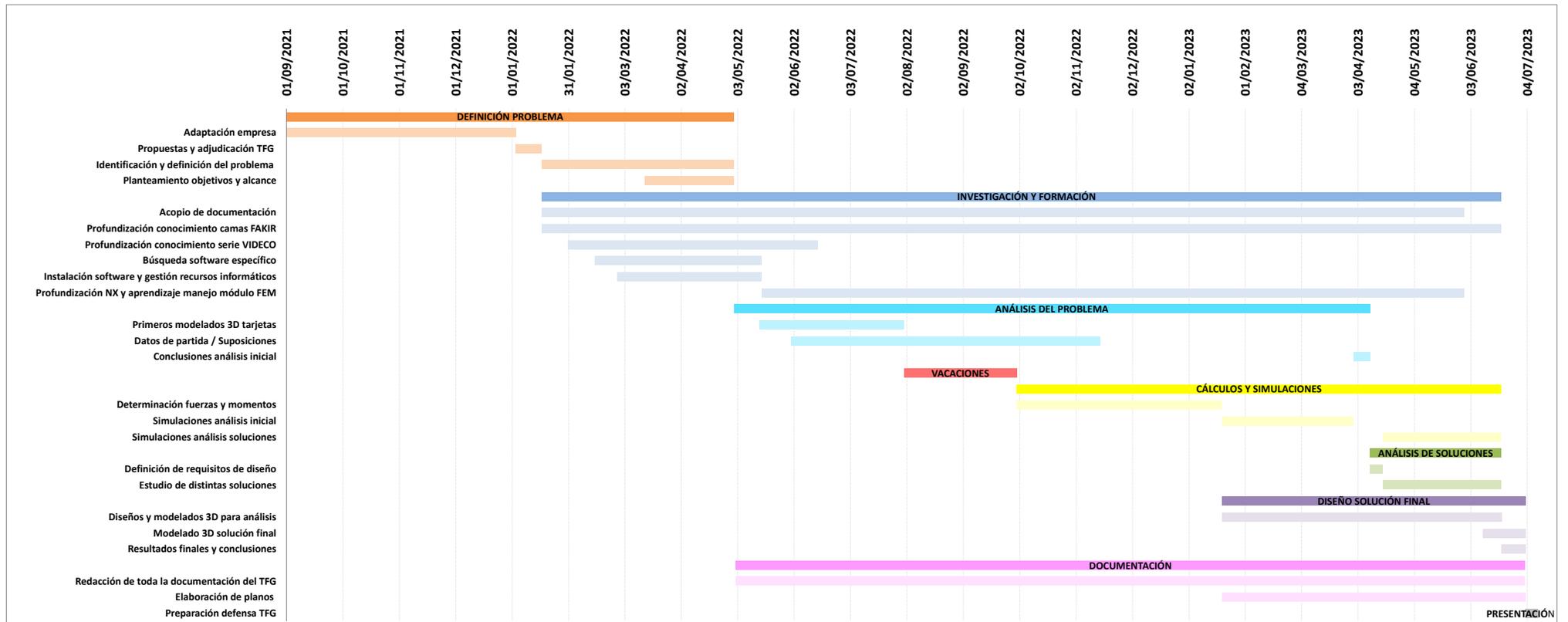
### **12) Puesta en marcha**

Realización de pruebas para verificar el correcto funcionamiento mecánico y eléctrico de la cama, con el objetivo de eliminar posibles errores y dejar la cama totalmente operativa para su integración en producción.

#### **1.11.3. Diagrama de Gantt**

Mediante esta útil herramienta gráfica se va a detallar el tiempo dedicado a cada bloque y a las tareas desarrolladas en cada una de ellos. Previo paso a la elaboración del diagrama de Gantt se ha realizado una tabla que contiene toda esta información y a la que se ha añadido un campo para detallar los recursos utilizados en cada tarea

TAREA	SUBTAREA	INICIO	DÍAS	FIN	HERRAMIENTAS / RECURSOS UTILIZADOS
<b>Planteamiento del problema</b>		<b>01/09/2021</b>	<b>242</b>	<b>01/05/2022</b>	
	Adaptación empresa	01/09/2021	124	03/01/2022	Formación interna
	Propuestas y adjudicación TFG	03/01/2022	14	17/01/2022	Reuniones / Necesidades de mejora en la empresa
	Identificación y definición del problema	17/01/2022	104	01/05/2022	Reuniones / Documentación interna
	Planteamiento objetivos y alcance	14/03/2022	48	01/05/2022	Documentación interna
<b>Investigación y formación</b>		<b>17/01/2022</b>	<b>519</b>	<b>20/06/2023</b>	
	Acopio de documentación	17/01/2022	499	31/05/2023	Software gestión interna (DAIR), Manuales, Normas
	Profundización conocimiento camas FAKIR	17/01/2022	519	20/06/2023	Formación, documentación Daisalux
	Profundización conocimiento serie VIDEKO	31/01/2022	135	15/06/2022	Documentación Daisalux, tarjetas VAUL-189 y FAV-192
	Búsqueda software específico	15/02/2022	90	16/05/2022	Internet, Foros
	Instalación software y gestión recursos informáticos	27/02/2022	78	16/05/2022	Conexión remota ordenador empresa, NX Siemens, draw.io, DWG TrueView
	Profundización NX y aprendizaje manejo módulo FEM	16/05/2022	380	31/05/2023	Nx Siemens, Manuales, tutoriales
<b>Análisis del problema</b>		<b>01/05/2022</b>	<b>344</b>	<b>10/04/2023</b>	
	Primeros modelados 3D tarjetas	15/05/2022	78	01/08/2022	Nx Siemens, tarjetas VAUL-189 y FAV-192, documentación Daisalux
	Datos de partida / Suposiciones	01/06/2022	167	15/11/2022	Formación y documentación interna
	Conclusiones análisis inicial	01/04/2023	9	10/04/2023	Formación y documentación interna
<b>Períodos de inactividad</b>		<b>01/08/2022</b>	<b>61</b>	<b>01/10/2022</b>	
<b>Cálculos y simulaciones</b>		<b>01/10/2022</b>	<b>262</b>	<b>20/06/2023</b>	
	Determinación fuerzas y momentos	01/10/2022	111	20/01/2023	Apuntes, Internet, Documentación Daisalux
	Simulaciones análisis inicial	20/01/2023	71	01/04/2023	Siemens NX, Análisis FEA
	Simulaciones análisis soluciones	17/04/2023	64	20/06/2023	Siemens NX, Análisis FEA
<b>Análisis de soluciones</b>		<b>10/04/2023</b>	<b>71</b>	<b>20/06/2023</b>	
	Definición de requisitos de diseño	10/04/2023	7	17/04/2023	Documentación, consultas técnicas
	Estudio de distintas soluciones	17/04/2023	64	20/06/2023	Documentación, internet, foros
<b>Diseño solución final</b>		<b>20/01/2023</b>	<b>164</b>	<b>03/07/2023</b>	
	Diseños y modelados 3D para análisis	20/01/2023	151	20/06/2023	Documentación Daisalux, Nx Siemens, datasheets
	Modelado 3D solución final	10/06/2023	23	03/07/2023	Memoria TFG, NX Siemens
	Resultados finales y conclusiones	20/06/2023	13	03/07/2023	Memoria TFG, NX Siemens
<b>Documentación</b>		<b>02/05/2022</b>	<b>427</b>	<b>03/07/2023</b>	
	Redacción de toda la documentación del TFG	02/05/2022	427	03/07/2023	Documentación Daisalux, Internet, Microsoft Office, Draw.io
	Elaboración de planos	20/01/2023	164	03/07/2023	Nx Siemens, Documentación Daisalux, DWG TrueView
<b>Presentación</b>		<b>03/07/2023</b>	<b>7</b>	<b>10/07/2023</b>	
	Preparación defensa TFG	03/07/2023	7	10/07/2023	Memoria TFG. Microsoft Office, Draw.io, Multimedia



## 2. Presupuesto

---

El presente apartado detalla los costes derivados de la ejecución del proyecto. Los precios se encuentran desglosados en tres tablas, que detallan el coste de las tareas desarrolladas, el software y los recursos que han sido necesarios para realizarlas y los materiales empleadas durante el desarrollo.

Para las tareas, [Tabla 10](#), se ha tenido en cuenta la intervención de más miembros de la empresa para establecer el precio por hora. Todas las tareas incluyen la mano de obra de un ingeniero junior. Las horas de consultas incluyen además el coste unitario de un técnico y las de reuniones de dos responsables, uno de departamento y otro de área.

En la [Tabla 11](#) se desglosan los costes del equipo portátil utilizado así como las licencias de software. La licencia de NX usada ha sido de estudiante, por lo que es gratuita y no se añade en el presupuesto. Hay que tener en cuenta que en las siguientes fases, ya con la empresa, será necesaria una gestión de los archivos CAD diseñados. En Daisalux se usa SolidWorks como software CAD, por lo que se requerirá al menos una licencia para poder gestionar la documentación gráfica creada para este proyecto con el paquete de Siemens.

En dicha tabla además, se añade una columna de amortización, la cual se ha calculado atendiendo a la vida útil de los recursos utilizados, que se ha estimado en cuatro años para todos ellos. Como el desarrollo del proyecto en el que se han usado ha durado alrededor de año y medio, la amortización se ha calculado en un 37,5%.

En cuanto a los materiales usados, se recoge en la [Tabla 12](#) un listado de los más relevantes que se han usado durante el proyecto. Son sobre todo componentes, en su mayoría tarjetas VAUL y FAV de diferentes acabados, que se han usado como referencia y para tomar medidas y pesos.

En la [página 106](#) se adjunta una tabla resumen del presupuesto total. Al total de la ejecución se le aplica un 2,5% en concepto de gastos generales. Explicar que no se aplica porcentaje de beneficio industrial ni el Impuesto Sobre El Valor Añadido (IVA) al no producirse una venta, ya que se trata de un trabajo de régimen interno de la empresa.

## 2.1. Tareas desarrolladas

RESUMEN TAREAS	NºHORAS	PRECIO UNITARIO (€/h)	IMPORTE TOTAL
Análisis del problema	60	25,00	1500
Cálculos	40	25,00	1000
Diseño y modelado 3D	70	25,00	1750
Simulaciones	120	25,00	3000
Análisis de soluciones	60	25,00	1500
Reuniones	10	125,00	1250
Consultas técnicas	30	60,00	1800
Redacción documentación	300	15,00	4500
Elaboración planos	60	25,00	1500
<b>SUBTOTAL</b>			<b>17800</b>

*Tabla 12 - Descomposición costes de las tareas desarrolladas*

## 2.2. Software y recursos para el desarrollo

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	AMORTIZACIÓN	IMPORTE AMORTIZADO	IMPORTE TOTAL
Huawei Matebook D14 Ryzen 5	1	749	37,50%	280,88	280,88
Microsoft Office Home&Business 2021	1	299	37,50%	112,13	112,13
Windows 11 Home 64 bit	1	127,99	37,50%	48,00	48,00
Solidworks Professional	1	3772	37,50%	1414,50	1414,50
<b>SUBTOTAL</b>				<b>1574,62</b>	

*Tabla 13 - Descomposición de costes de las licencias y los recursos utilizados para el desarrollo*

## 2.3. Material utilizado

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Fotocopias: documentación, manuales, normas	300	0,1	30,00
Tarjeta FAV-192 con componentes soldados (acabado permanente)	1	3,36	3,36
Tarjeta FAV-192 (acabado permanente)	1	5,03	5,03
Placa circuito impreso FAV-192	1	0,26	0,26
Placa circuito impreso VAUL-182	1	1,85	1,85
Placa circuito impreso VDG-184	1	1,59	1,59
Tarjeta VAUL-189 con SMD soldado (acabado 1N)	1	9,21	9,21
Tarjeta VAUL-189 con SMD soldado (acabado 1PT)	1	9,54	9,54
Tarjeta VAUL-189 con SMD soldado (acabado 1P)	1	9,04	9,04
Tarjeta completa VAUL-189 + FAV-192 (acabado 2PT)	1	10,51	10,51
Cables TMO rojo	1	0,15	0,15
Cables TMO blanco	1	0,27	0,27
Cable negro red EMERG	2	0,09	0,18
Cable marrón red LUM	2	0,08	0,16
Conectores	8	0,05	0,40
Punta y camisa de prueba	1	1	1,00
Centrador	1	0,5	0,50
Componentes SMD	10	0,15	1,50
Componentes convencionales	8	0,2	1,60
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>86,15</b>

**Tabla 14** - Descomposición costes material utilizado

## 2.4. Resumen

DESCRIPCIÓN	IMPORTE
Tareas desarrolladas	17800
Material	86,15
Software y recursos	1574,62
<b>Total ejecución</b>	<b>19460,77</b>
<b>Gastos generales (2,5%)</b>	<b>486,52</b>
<b>Beneficio industrial (10%)</b>	<i>No aplicado</i>
<b>IVA (21%)</b>	<i>No aplicado</i>
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>19947,29</b>

*Tabla 15 - Presupuesto total*

El importe total del proyecto asciende a la cantidad de **19947,29 euros**  
*Diecinueve mil novecientos cuarenta y siete euros con veintinueve céntimos.*

En Vitoria-Gasteiz, a 3 de Julio de 2023.

Fdo. Leire Monforte García



# 3. Conclusiones

---

Una vez expuesto todo el trabajo realizado y para finalizar el documento, se incluye una breve conclusión. En primer lugar, mencionar que aunque a simple vista el trabajo técnico desarrollado pueda parecer sencillo, esconde una gran cantidad de horas de trabajo individual, de autoaprendizaje en la empresa y de análisis. Como ya ha podido comprobar el lector se trata de un problema mecánico complejo sujeto a muchas variables y de un grado de hiperestaticidad muy alto.

Uno de los puntos fuertes a destacar ha sido el trabajo autónomo que comenzó con el aprendizaje del funcionamiento de las camas Fakir y la profundización en el conocimiento de las luminarias de la familia VIDEKO. Mencionar también la combinación de conocimientos derivados de la formación universitaria junto con los adquiridos en la empresa para llevar a cabo el desarrollo. Además de la utilización de la herramienta Siemens XN, aprendida en la Escuela y cuyo conocimiento se ha profundizado con este trabajo.

En cuanto a la solución final obtenida se puede decir que se han cumplido los objetivos, ya que aunque no se ha conseguido eliminar las deformaciones sobre la tarjeta, se han minimizado de forma considerable reduciendo la posibilidad de rotura de componentes al eliminar sobre todo los desplazamientos nodales en el eje Z en la zona donde se ubican todos los [componentes SMD](#).

Por último y abandonando la línea impersonal que ha imperado a lo largo de todo el documento, me gustaría agradecer a Daisalux, primero la oportunidad de comenzar mi carrera profesional como ingeniera en su centro de I+D, donde la experiencia a nivel laboral como a nivel personal está siendo muy positiva y enriquecedora. Por otro lado la oportunidad y la confianza depositada para desarrollar este TFG como un proyecto real basado en unas necesidades y problemas que tiene la empresa. Todo un reto para terminar mi andadura universitaria.

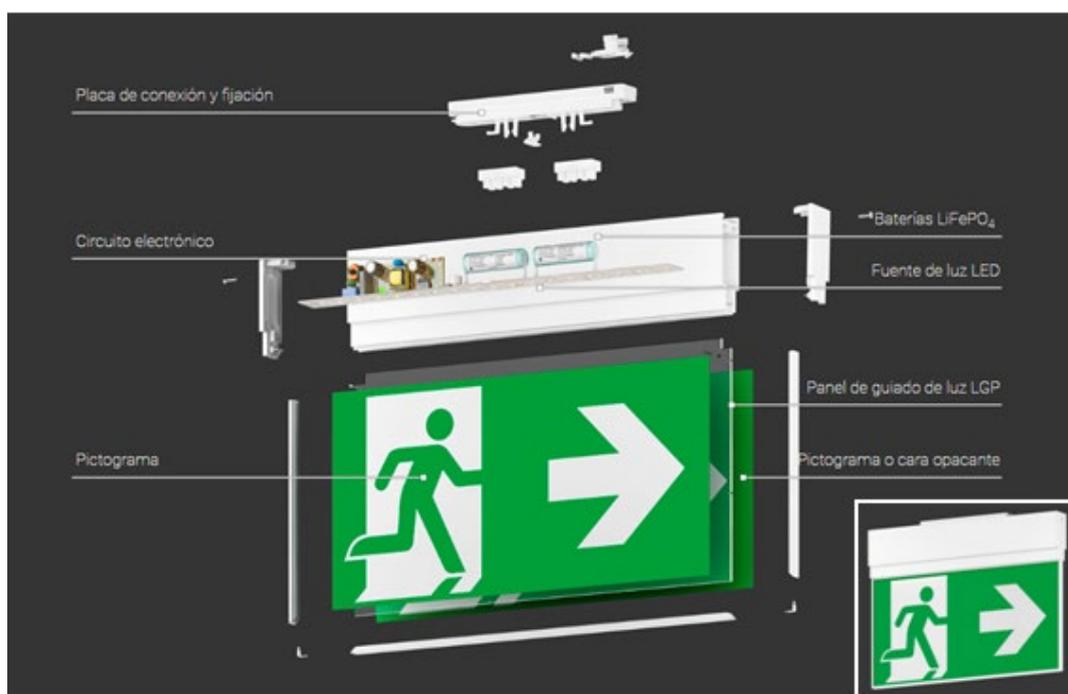
# 4. Anexos

---

## 4.1. Serie VIDECO

La serie VIDECO, de la marca DUISA, está formada por **luminarias autónomas de emergencia** y **luminarias de emergencia alimentadas por fuente central**. Ambas proporcionan iluminación de señalización con LED. Las **luminarias autónomas** además, disponen de un LED que actúa como testigo de carga.

Esta familia se caracteriza por su señalización autónoma con **retroiluminación** bifacial de muy alta uniformidad. Cuenta con dos caras de salida de luz y requiere de la selección de dos rótulos o lámina opacante si sólo se desea informar por una cara.



**Ilustración 105** - Componentes Familia VIDECO

La serie se divide en tres formatos. Los formatos VDC3216 y VDC2211 son para **alumbrado de evacuación**. Cuentan con un rótulo de dimensiones rectangulares, 328x164 milímetros y 228x114 milímetros, respectivamente.



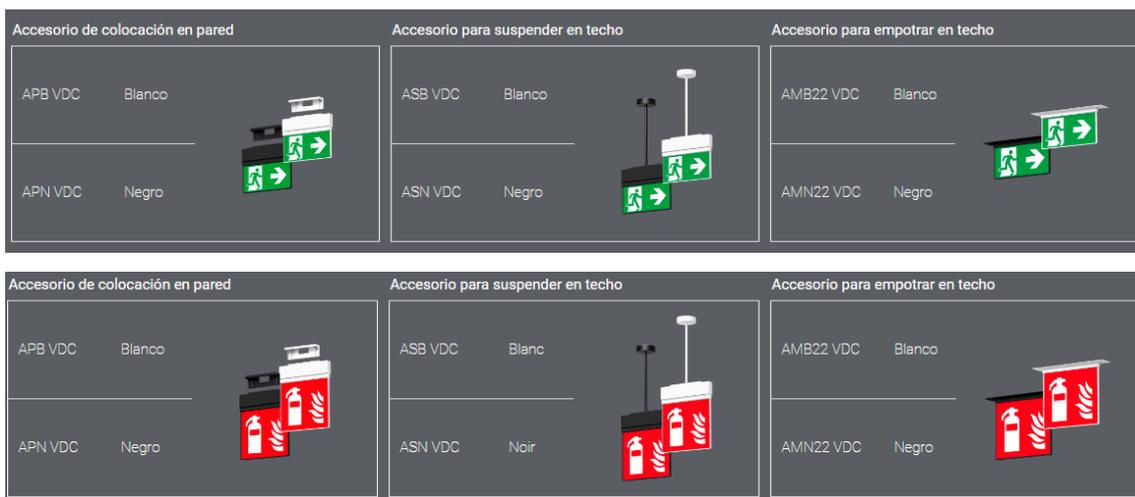
Ilustración 106 - VDC3216 en sus dos colores, blanco y negro

El otro formato es el VDC2222, destinado a la protección anti-incendios. Su rótulo es de dimensiones cuadradas de 227 milímetros de lado.



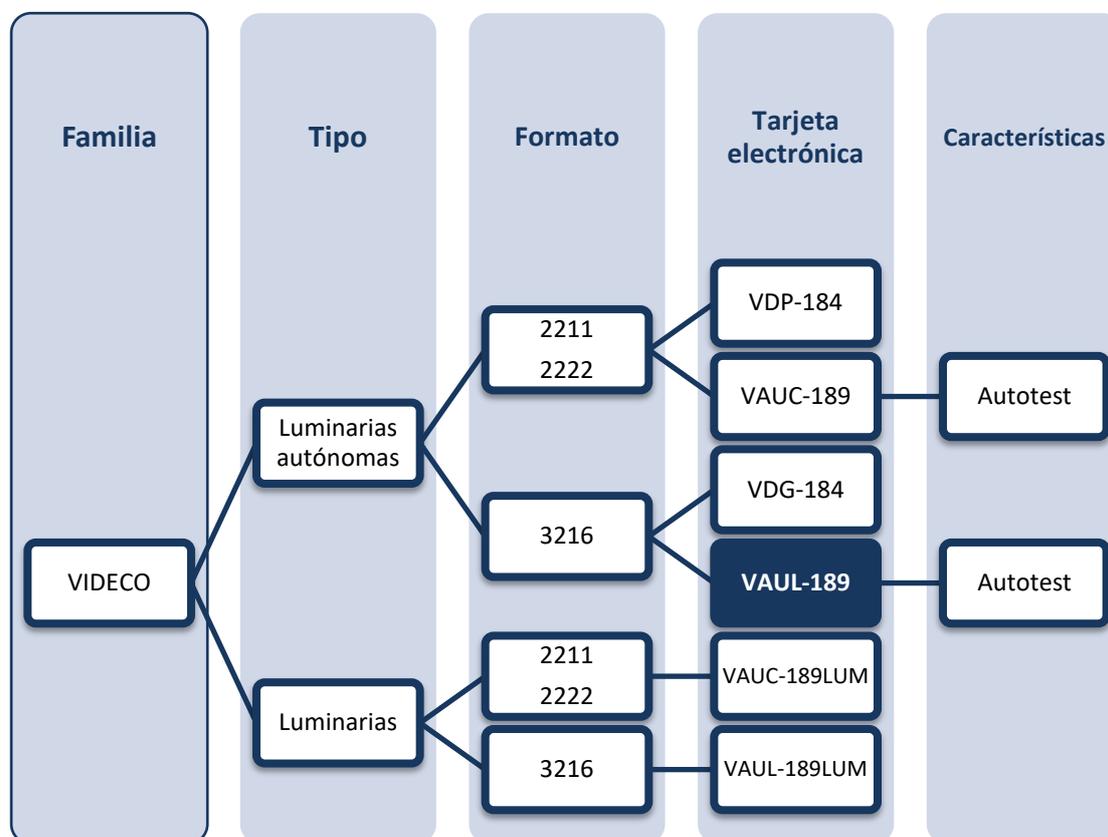
Ilustración 107 - VDC2222 en sus dos colores, blanco y negro

Ambos cuentan con un **grado de protección** IP20 IK04 y disponen de accesorios para su colocación en pared, empotrado en el techo o suspendido.



**Ilustración 108** - Distintos montajes para VIDECO

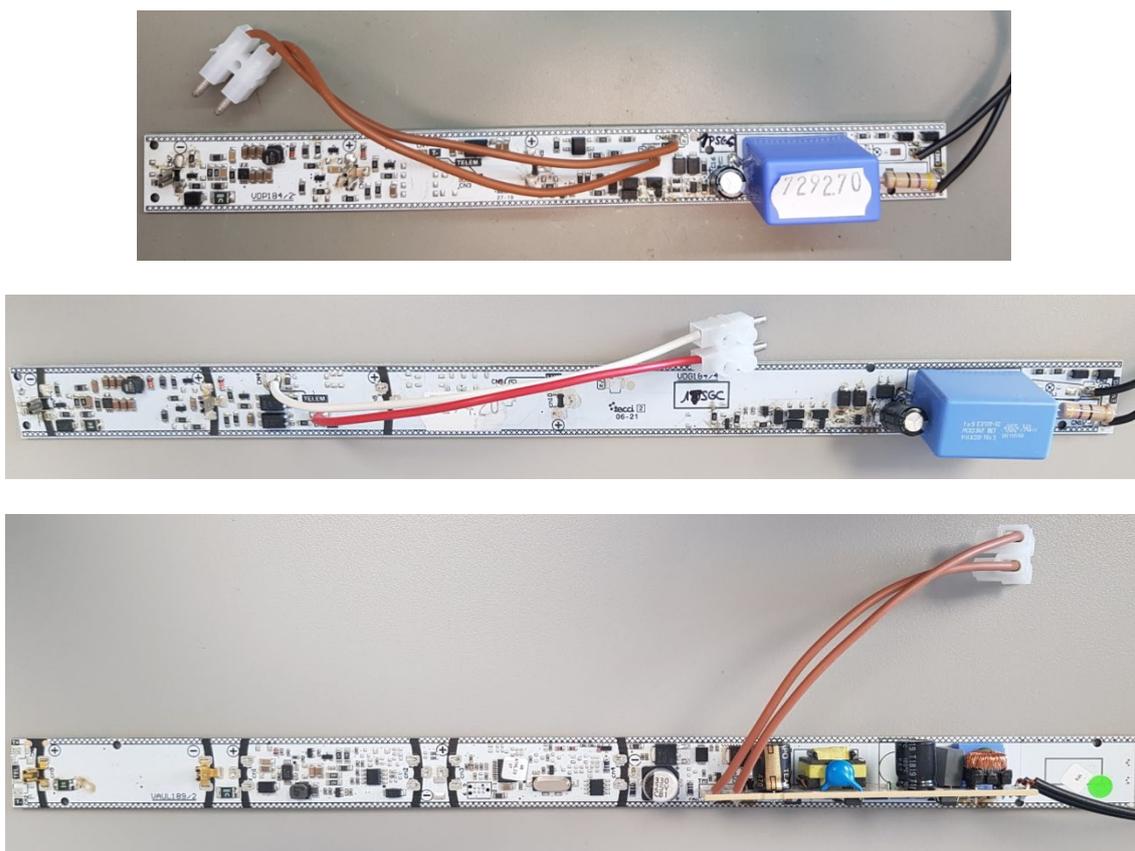
En cuanto a las características, todos los formatos están disponibles para funcionamiento no permanente, permanente, **autotest no permanente**, **autotest permanente** y **luminaria con equipo centralizado**. Como se puede ver en el siguiente esquema, la familia está formada por distintas tarjetas electrónicas.



**Ilustración 109** - Esquema de las tarjetas electrónicas que forman VIDECO según especificaciones

La existencia de varias tarjetas para una misma familia se explica, en primer lugar, por las diferentes dimensiones, ya que sus **PCB** se tienen que adaptar a las medidas de cada formato. En segundo lugar la necesidad de utilizar distinto hardware para conseguir el funcionamiento deseado. Así, los modelos **autotest** incorporan un microprocesador para gestionar los test, por lo que disponen de más hardware y más complejo.

Las siguientes imágenes muestran una comparación entre algunas tarjetas de la familia. La primera es la tarjeta VDP-184 para los formatos VDC2211 y VDC2222. La tarjeta tiene unas dimensiones de 229 x 22 mm. La segunda tarjeta es la VDG-184 para el formato grande VDC3216, al igual que la VAUL-189, que se muestra en la tercera imagen. Ambas, de hardware muy diferente, tienen unas dimensiones de 322 x 22 mm.

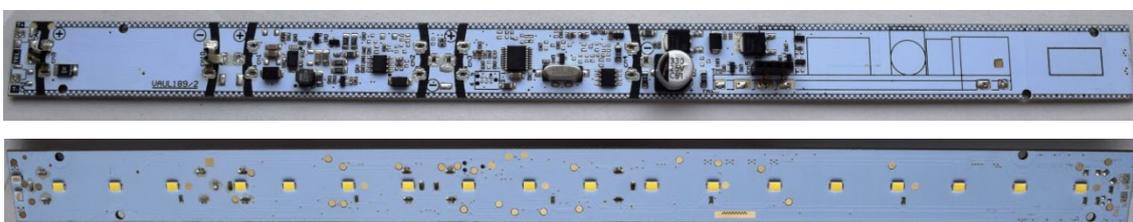


**Ilustración 110** - Distintas tarjetas de la familia VIDECO

## 4.2. Tarjeta electrónica VAUL-189

### 4.2.1. Descripción general

La tarjeta VAUL-189 es una tarjeta apta para emplearse en **luminarias autónomas de emergencia no permanentes y permanentes** de la familia VIDECO, que usa como fuente de luz diodos LED. Está diseñada cumpliendo las especificaciones y requisitos electromecánicos de la familia VIDECO 320 mm (veáse [Ilustración 64](#)).



**Ilustración 111** - Cara superior e inferior de la placa VAUL-189 con componentes SMD soldados

Dispone de un **convertidor tipo Boost** para alimentar desde una o dos celdas en paralelo de **baterías LiFePO4** a la matriz de 6 ramas x 3 LED incorporada en la tarjeta. Además consta de un microcontrolador que controla las funciones básicas de una **luminaria de emergencia autotest**.

Autonomía	Funcionamiento	Tensión Alimentación	Tono Color LED
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>1:</b> 1 hora</li> <li>• <b>2:</b> 2 horas</li> <li>• <b>3:</b> 3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>N:</b> No Permanente</li> <li>• <b>P:</b> Permanente Apagable No Telemandable</li> <li>• <b>T:</b> Permanente Telemandable sin borna LUM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3:</b> 110-127V 50/60 Hz</li> <li>• <b>4:</b> 220-230V 50/60 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>C:</b> Blanco Frío (6000K-7000K)</li> <li>• <b>W:</b> Blanco Cálido (2900K-3300K)</li> </ul>

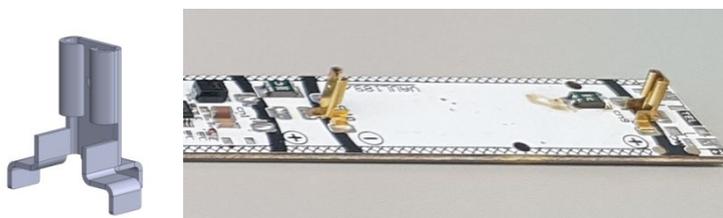
**Tabla 16** - Combinación de acabados para la tarjeta VAUL-189

Tal y como muestra la [Tabla 10](#) la tarjeta admite distintos acabados, siendo posibles todas las combinaciones. Por este motivo monta distinto hardware en función del acabado, diferente tanto en características o valores, como en número de componentes. Esto va a tener relevancia a la hora de determinar el peso de la tarjeta para el análisis posterior.

#### 4.2.2. Hardware: diferencias entre acabados

Las tarjetas, independientemente del acabado que tengan, tienen un montaje fijo de 113 componentes. Cabe mencionar que entre los acabados hay diferencias de valores en algunas resistencias que configuran distintas corrientes de carga o de corriente por LED, pero siempre se montan.

Para configurar los acabados de 2 y 3 horas se necesitan dos conectores de batería más, ya que utilizan una segunda celda para dar más autonomía. Además, para esta batería, se añade un **termistor PTC** más. Esto supone tres elementos más respecto al acabado de 1 hora.



**Ilustración 112** - *Detalle de los conectores de batería*

El sub-acabado del color de LED no afecta al peso de la tarjeta, ya que el hardware sufre un cambio que se traduce en una referencia distinta de LED, manteniéndose el número de ellos.

La tarjeta se puede configurar para funcionamiento como **no permanente**, **permanente** apagable y **permanente** telemandable sin borna de red LUM, es decir, la permanencia siempre está activa y pierde la opción de ser apagada en presencia de red. En contraposición, incorporan la conexión de **telemando**.

La configuración de estos tres tipos de funcionamiento es lo que más afecta al montaje en número de componentes en las tarjeta. El acabado **no permanente** incorpora todo el hardware necesario para **telemando**, que se traduce en 26 componentes electrónicos más entre cable y conector, diodos, resistencias, transistores y condensadores. Para configurar la permanencia, los **permanentes** apagables añaden 15 componentes a los componentes fijos de la tarjeta. Mientras que los permanentes apagables incluyen toda la parte de telemando, ya cifrada en 26 componentes, y la parte de permanencia, ligeramente inferior en número de a los permanentes apagables, que se resume en 11 componentes.

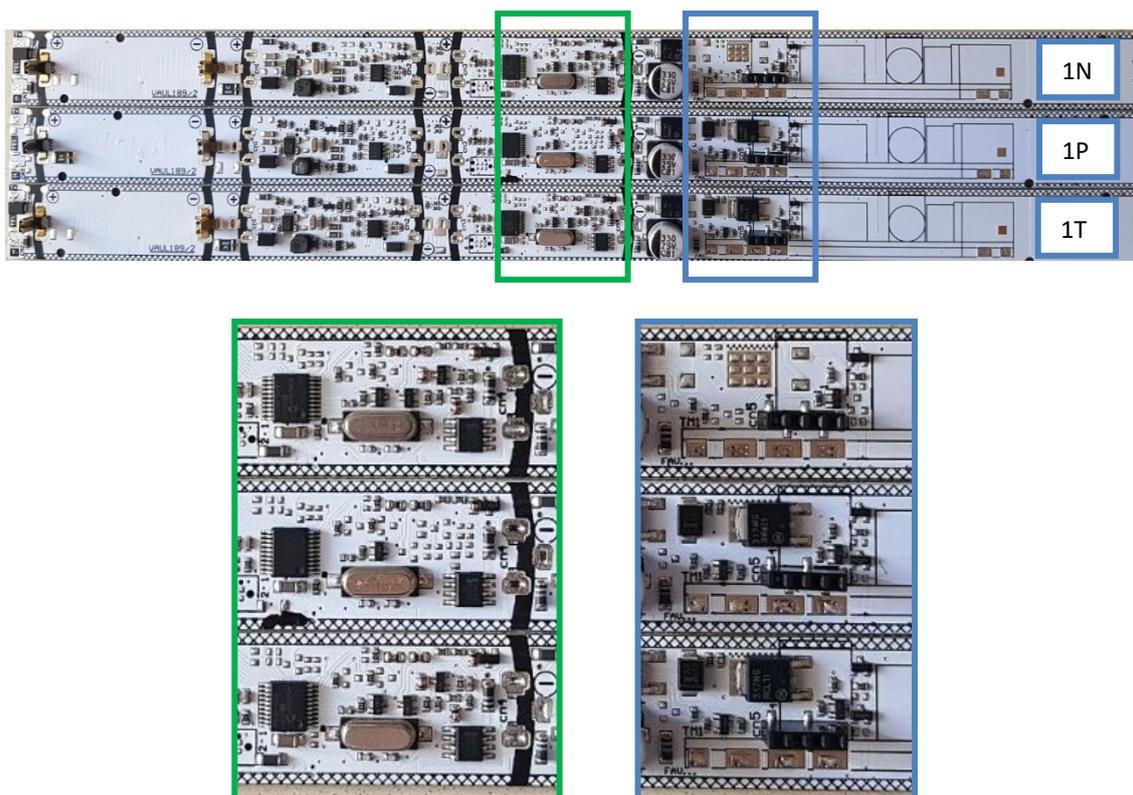
En cuanto a las tensiones de alimentación son 220-230V y 110-127V para 50-60Hz. Este sub-acabado no supone diferencias de hardware, ya que todos los componentes electrónicos relacionados con la detección/ausencia de red y la transformación de AC/DC se realiza en otra tarjeta, denominada FAV-192, que se conecta a la VAUL-189.

Acabado <sup>5</sup>	Nº Total Componentes
1N**	139
1P**	128
1T**	150
2N**	142
2P**	131
<b>2T**</b>	<b>153</b>
3N**	142
3P**	131
<b>3T**</b>	<b>153</b>

*Tabla 17 - Número de componentes en cada acabado*

---

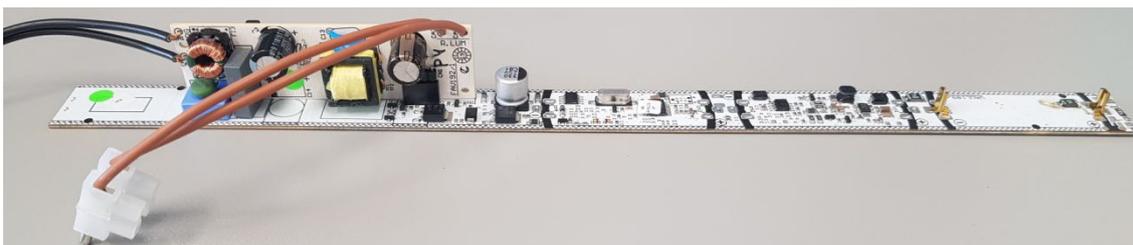
<sup>5</sup> \* significa válido para cualquiera de los subacabados. En este caso, las tensiones posibles de red y los colores de LED no tienen influencia en el número de componentes totales, siendo igual en todos los casos.



**Ilustración 113** - Diferencias de componentes entre tarjetas VAUL-189 según funcionamiento.

La tarjeta FAV-192 es una tarjeta conectable a la tarjeta VAUL-189 por medio de 4 pines, que se encarga de detectar presencia y ausencia tanto de red emergencia como de red permanencia y de alimentar con 12V DC la electrónica de la tarjeta base VAUL-189. Al igual que se ha hecho con la VAUL-189 se dedica un apartado íntegro para definir las características de la tarjeta [FAV-192](#).

La conexión de ambas forman el conjunto electrónico necesario para un correcto funcionamiento. Durante todo el documento se habla de cama FAKIR para la tarjeta VAUL-189, al ser ésta la tarjeta base, pero hay que tener en cuenta que la prueba en la cama se realizará con la tarjeta FAV-192 correspondiente montada.



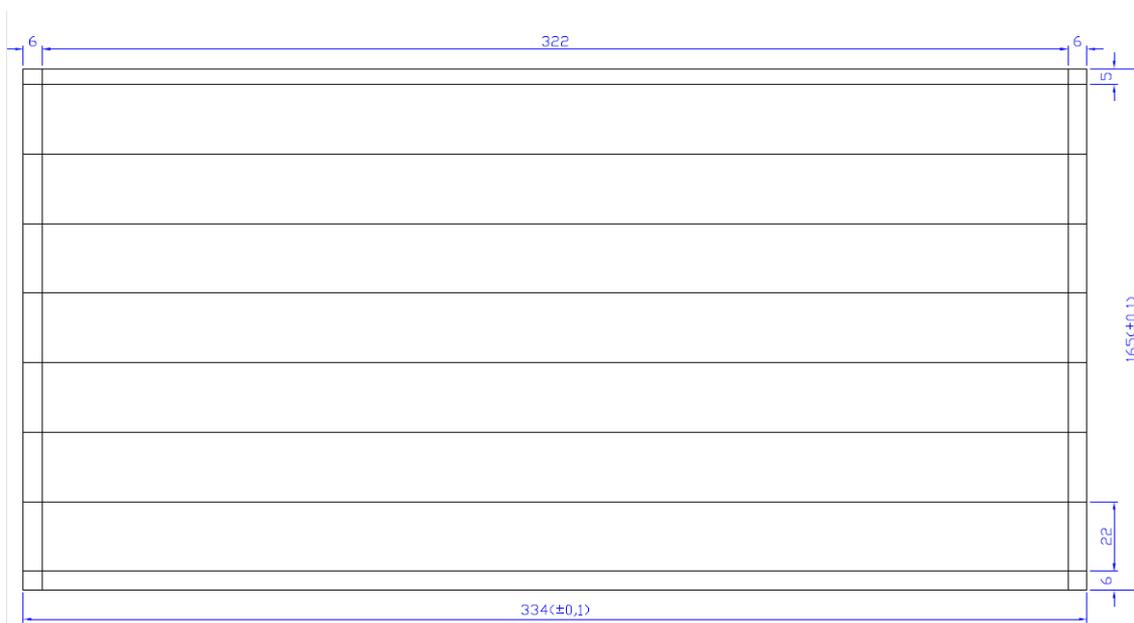
**Ilustración 114** - Conjunto final VAUL-192 y FAV-192 para el acabado (1,P,4,C)

### 4.2.3. Características PCB: dimensiones y material

La siguiente tabla muestra las características más relevantes de la placa de circuito impreso de la tarjeta VAUL-189. Los datos de fabricación se han obtenido de documentación interna de la empresa, como el plano de dimensiones del **panel** y la ficha técnica del circuito impreso de la tarjeta.

DATOS FABRICACIÓN VAUL-189	
X (mm)	322
Y (mm)	22
Área (cm <sup>2</sup> )	70,84
Grosor(mm)	1,6
Material	<u>FR-4</u>
Plano	<u>Nº1</u> <u>Nº2</u>

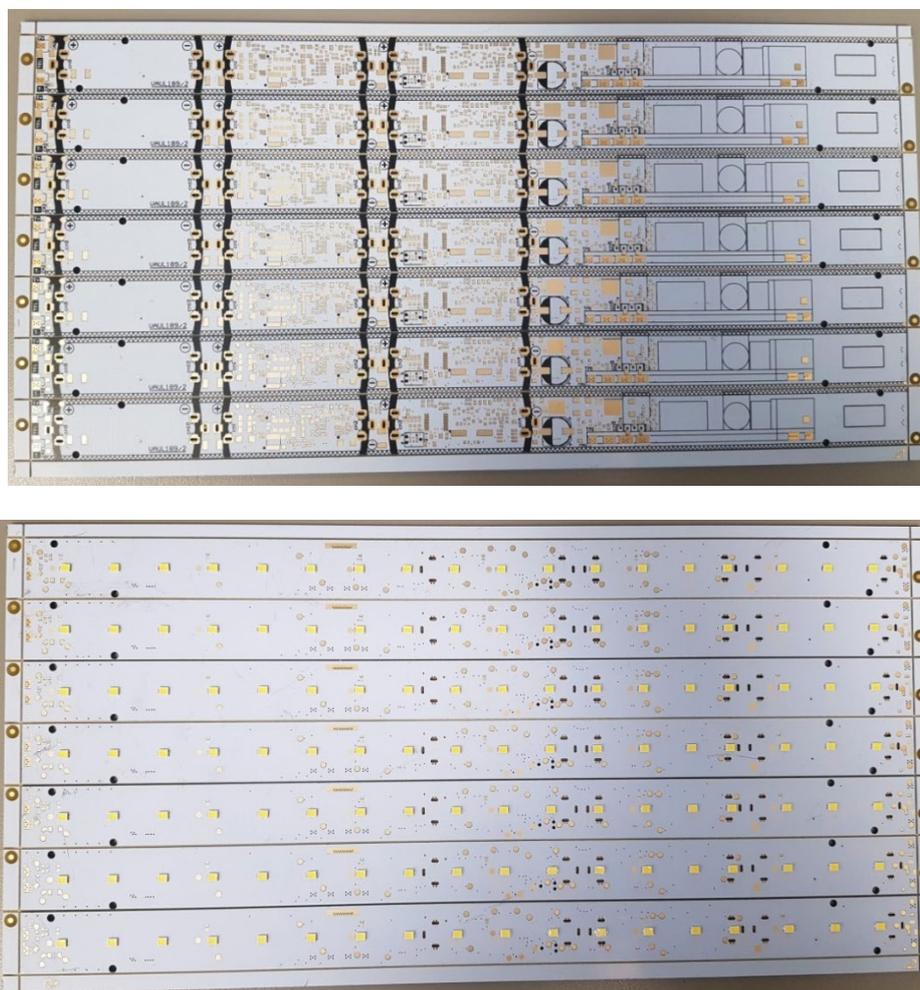
**Tabla 18** - Dimensiones del circuito, grosor y material de VAUL-1899



**Ilustración 115** - Dimensiones del panel y del circuito de la VAUL-189

El material utilizado en la fabricación de la placa de circuito impreso es **FR-4**, uno de los materiales más importantes y más utilizados en el ensamblaje de **PCB**. Se dedica

un apartado dentro del capítulo [Anexos](#), para describirlo brevemente y determinar algunas de sus propiedades, que será necesario conocer para los cálculos.

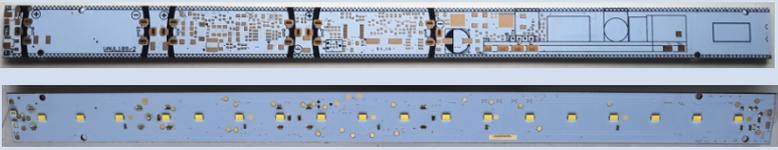
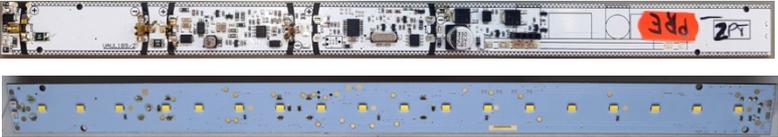
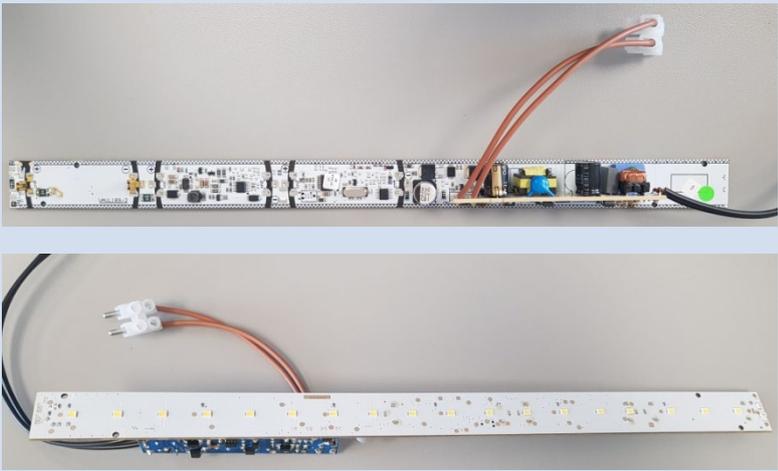


**Ilustración 116** - Vista superior e inferior de una galleta de VAUL-189

#### 4.2.4. Masa

Para el estudio de la deformación por flexión de la tarjeta será necesario conocer el peso propio de la tarjeta. Ya se hablaba en apartados anteriores de la diferencia de hardware de unos acabados a otros, que se traduce en más peso en la tarjeta. El análisis de la misma se llevará a cabo para la tarjeta con más componentes.

La [Tabla 11](#) indicaba que los acabados **permanentes** telemantables de 2 y 3 horas son los que más componentes montan, por lo tanto, se considerará como el acabado a utilizar para el estudio. La [Tabla 13](#) muestra la información de la masa de la tarjeta, según tenga los componentes soldados o no, así como de los cables y el conector.

VAUL-189	(g)	Imagen
PCB (no SMD, con LED)	25	
VAUL-189 (2,T,*,*) <sup>6</sup> (3,T,*,*) (sólo SMD y LED)	30	
Completa (VAUL-189 + FAV-192)	66	

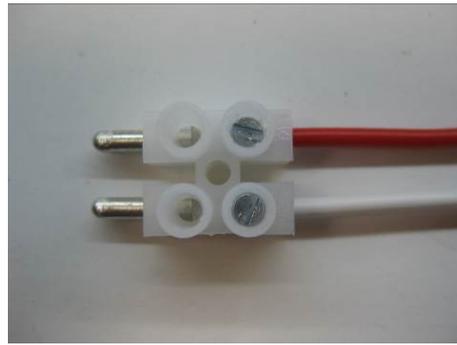
**Tabla 19** - Masas VAUL-189 y componentes

Para el pesaje se ha utilizado una balanza de alta precisión de la marca Mettler Toledo, disponible en el área de fabricación de la empresa. En concreto se trata del modelo ICS425, con una **legibilidad** certificada de 0,01 gramos y una **repetibilidad** de 0,001 gramos.

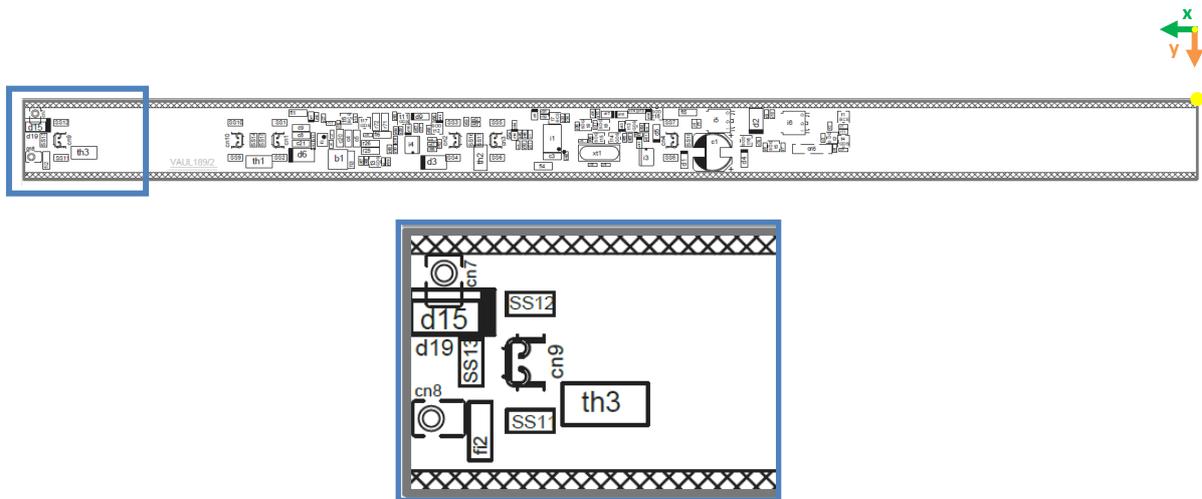
#### 4.2.5. Cables de telemando

Para los acabados **no permanente** y **permanente** telemandable al disponer de conexión de **telemando**, se ha de soldar un cable rojo y blanco. Esto tendrá influencia en las fuerzas y momentos que actúan sobre la tarjeta, por lo que hay que tenerlo en cuenta en el estudio como caso crítico, aunque las tarjetas permanentes no lo monten.

<sup>6</sup> Los astéricos \* significan válido para cualquiera de las opciones del sub-acabado correspondiente.

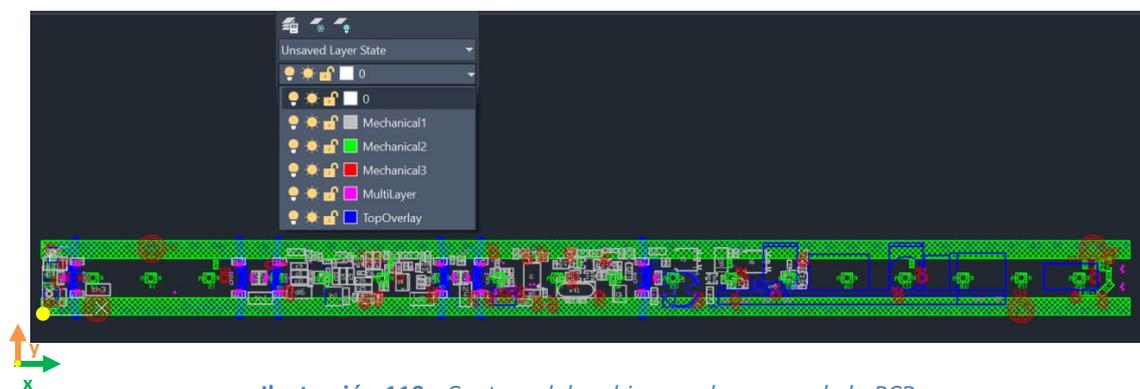


**Ilustración 117** - Detalle de la conexión de telemando



**Ilustración 118** - Detalle de la conexión de telemando

Entre la documentación de la tarjeta existe un archivo con extensión ‘.dwg’, que se crea durante el diseño de la **PCB**, donde se puede ver, seleccionando distintas capas, desde la serigrafía hasta el posicionado de componentes e **isletas** de la **PCB** de la tarjeta VAUL-189 y realizar mediciones.

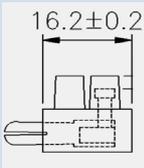


**Ilustración 119** - Captura del archivo con las capas de la PCB

Con ayuda de este archivo se mide y define la posición de cn7, pad para el cable rojo positivo del telemando, y cn8 para el cable blanco masa del telemando.

Conector	Posición x (mm)	Posición y(mm)
cn7	2,5	18,5
cn8	2,5	6,30

**Tabla 20** - Posición de los pad para los cables de telemando respecto al origen de referencia

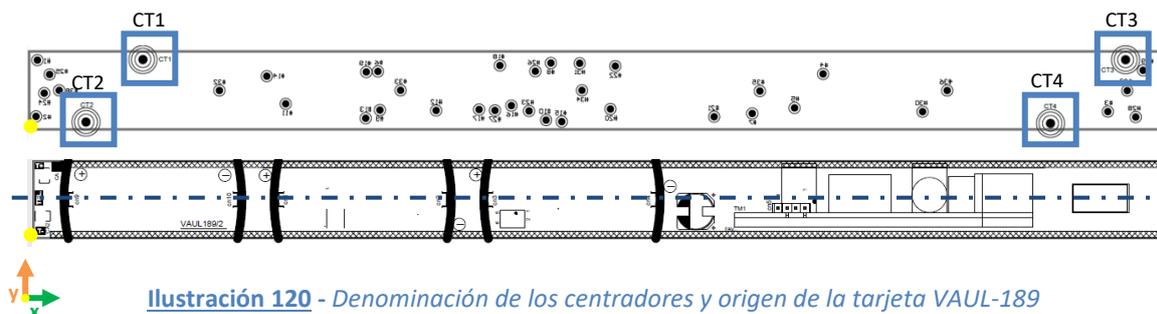
Elemento	(g)	Características	Imagen
Conector	4		
Cable blanco	3	Longitud=20cm Sección=0,5mm <sup>2</sup>	
Cable rojo	2	Longitud=20cm Sección=0,5mm <sup>2</sup>	

**Tabla 21** - Características cables Telemando

#### 4.2.6. Posición de los centradores

Con el archivo '.dwg' mencionado, seleccionando únicamente la capa roja perteneciente a los centradores e **isletas** y la capa gris que muestra los bordes de la tarjeta y con la ayuda de la herramienta de medida del software, se realizan las mediciones de las posiciones de los centradores y se plasman en la [Tabla 15](#).

La posición x e y definen la posición del centro de cada agujero del centrador. Al estar trabajando con magnitud tan pequeña como milímetros y teniendo en cuenta que entre el agujero del centrador y éste va a existir cierta holgura, se redondea la medida obtenida, despreciando las micras. El origen de referencia que se toma, tal y como muestra la siguiente imagen, es el punto amarillo.



**Ilustración 120** - Denominación de los centradores y origen de la tarjeta VAUL-189

Para la fabricación en serie del PCB se definen unas tolerancias dimensionales, ya que hay que admitir unos márgenes válidos de imperfecciones en la producción, donde la precisión absoluta es imposible. Hay que tener en cuenta que acercarse a ella supone una pieza más difícil de producir y más costosa.

Para realizar el análisis se van a utilizar las especificaciones de diseño sin tener en cuenta las tolerancias, pero siendo conscientes de que existen estas variaciones. Véase también [Plano N°2](#).

Centrador	Posición x (mm)	Posición y(mm)	∅ PCB (mm)	∅ Baquelita (mm)
CT1	32,35	19,75	2,54	4,2
CT2	16,20	2,07	2,54	4,2
CT3	311,12	19,70	2,54	4,2
CT4	289,82	1,69	2,54	4,2

**Tabla 22** - Posición de los centradores de la tarjeta VAUL-189 respecto al origen de referencia

Centrador	Posición y(mm)	Posición eje central(mm)	Posición d(mm)
CT1	19,75	11	8,75
CT2	2,07	11	-8,93
CT3	19,70	11	8,7
CT4	1,69	11	-9,31

**Tabla 23** - Posición de los centrados respecto al eje central de la placa de PCB

## 4.2.7. Posición de las isletas

Centrador	Posición x (mm)	Posición y(mm)	∅ Baquelita (mm)
#1	2,42	19,59	2,4
#2	2,03	3,67	
#3	306,08	5,03	
#4	225,30	15,67	
#5	217,21	6,07	
#6	99,02	16,39	
#7	205,20	4,5	
#8	148,07	18,77	
#9	99,58	5,47	
#10	146,72	2,62	
#11	72,85	7,22	
#12	115,54	5,35	
#13	95,55	3,15	
#14	67,50	15,05	
#15	151,17	2,18	
#16	136,88	6,72	
#17	127,71	5,62	
#18	133,62	18,08	
#19	95,72	16,24	
#20	164,98	5,76	
#21	194,40	3,57	
#22	166,36	17,90	
#23	141,88	5,20	
#24	4,36	10,24	
#25	5,88	15,54	
#26	143,66	16,45	
#27	132,22	5,37	
#28	314	3,5	
#29	316,09	16,71	
#30	253,52	5	
#31	156,25	18,69	
#32	54,05	11	
#33	105,45	11,05	
#34	156,90	11,05	
#35	207,36	10,84	
#36	260,50	11	
#37	311,58	10,97	
#38	8,59	11,03	

Tabla 24 - Posición de las isletas respecto al origen de referencia

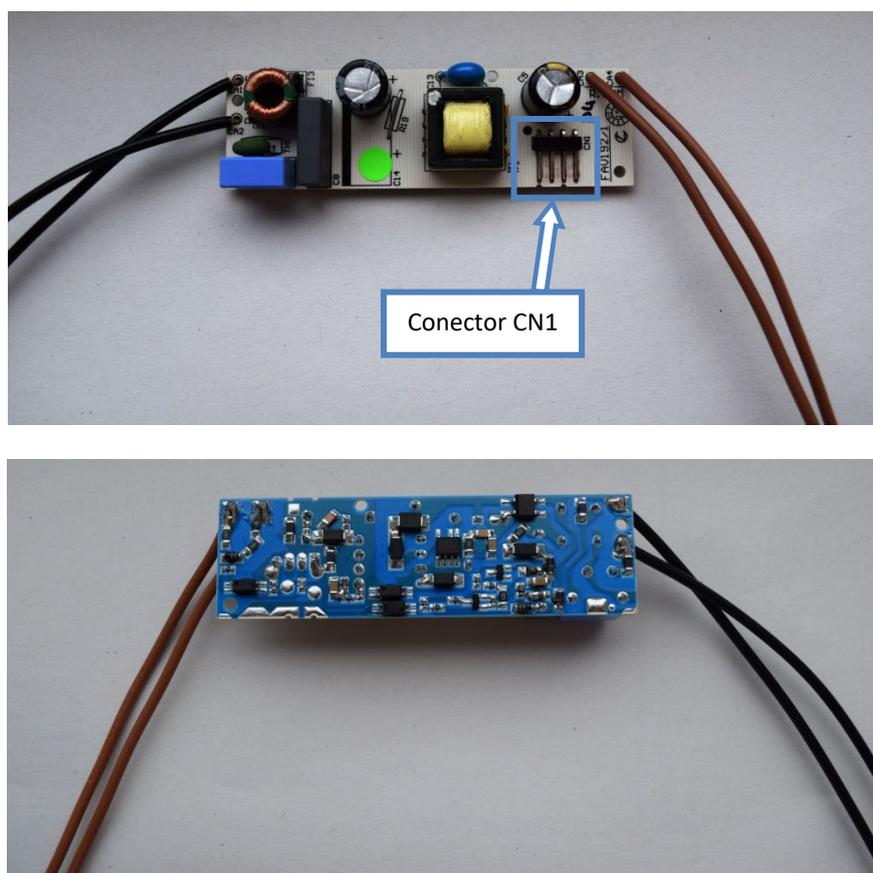
## 4.3. Tarjeta electrónica FAV-192

### 4.3.1. Descripción general

La tarjeta FAV-192 es una tarjeta enchufable a la tarjeta VAUL-189. Se garantiza la sujeción mecánica entre ambas mediante soldadura y se conectan eléctricamente mediante el conector macho CN1 que se puede ver en la [Ilustración 94](#).

Las funciones de la tarjeta son:

- Transformador electrónico
- Detección de presencia/ausencia de red Emergencia. Tiene la electrónica necesaria para hacer una detección de presencia y ausencia de red emergencia.
- Detección de presencia/ausencia de red Luminaria. Dispone de la electrónica necesaria para hacer una detección de presencia y ausencia de red Luminaria.



[Ilustración 121](#) - Cara superior e inferior de la placa FAV-189 (P,4,3) con todos los componentes soldados

Dependiendo del acabado que tenga la tarjeta VAUL-189, la FAV-192 tendrá su acabado en consonancia con la tarjeta base. Así por ejemplo, si la VAUL-189 es **no permanente** o **permanente** telemandable se conectará una FAV-192 no permanente, mientras que si la VAUL-189 es permanente, la FAV-192 a conectar será de acabado permanente. La [Tabla 16](#) muestra los acabados posibles para la FAV-192, siendo posible todas las combinaciones.

Funcionamiento	Tensión Alimentación	Formato VDC
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>N:</b> No Permanente</li> <li>• <b>P:</b> Permanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3:</b> 110-127V 50/60 Hz</li> <li>• <b>4:</b> 220-230V 50/60 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2:</b> 2222</li> <li>• <b>3:</b> 3216</li> </ul>

[Tabla 25](#) - *Combinación de acabados para FAV-192*

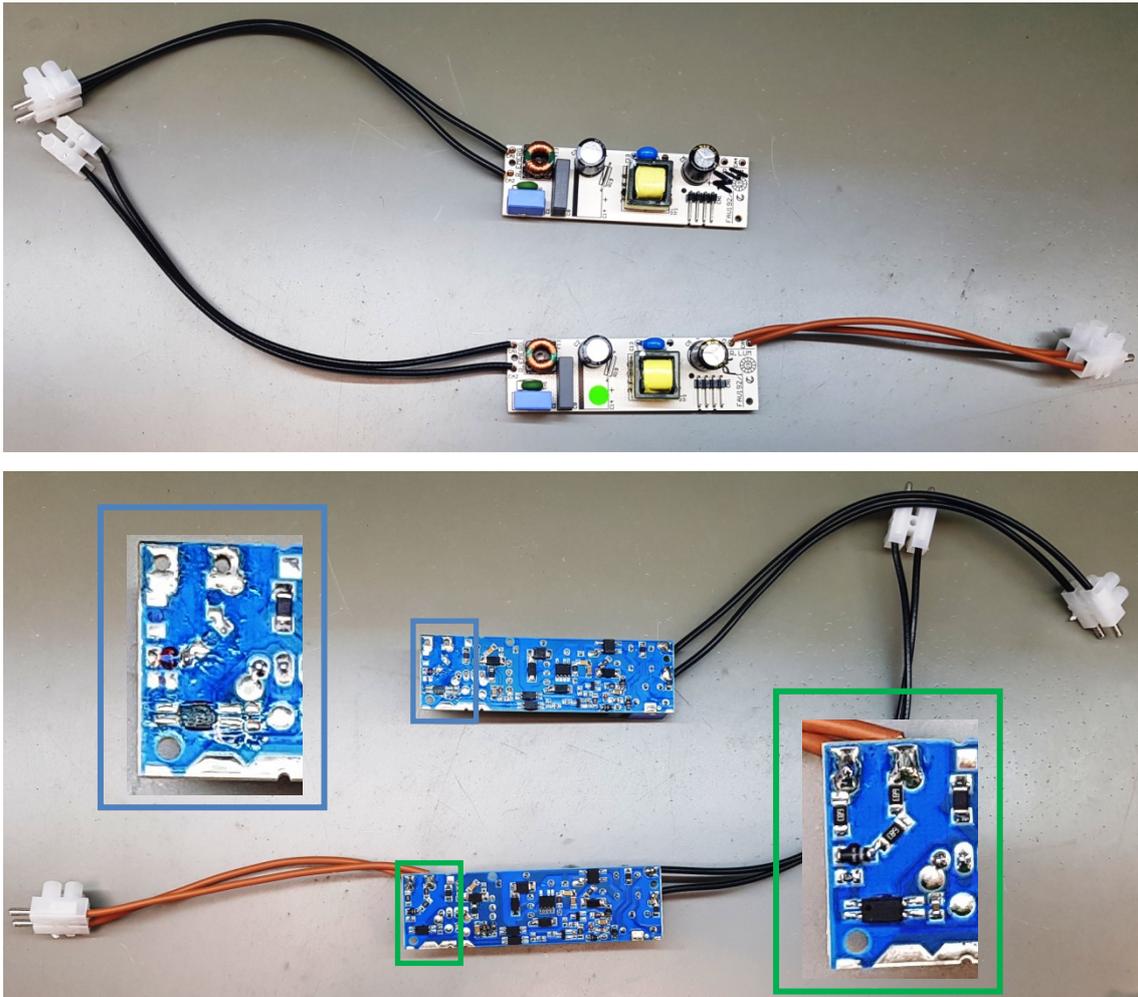
#### 4.3.2. Hardware: diferencias entre acabados

La tarjeta FAV-192 monta siempre 55 componentes, independientemente de sus distintos valores entre acabados.

La diferencia entre los acabados de tensión de 220-230 y 110-127V está en distintos valores de resistencias, capacidades de condensadores, diodos y en el transformador de ferrita. El número de componentes no varía.

En cuanto al formato VDC, el cambio que hay que realizar se basa en la longitud de los cables de red Emerg y red Lum a utilizar. Para este caso no se contempla la opción 2222, ya que la tarjeta VAUL-189 es para el formato 3216, como ya se explicaba en el esquema de la [Ilustración 75](#).

Por lo tanto, el cambio más notable en cambio de hardware está en la configuración de la permanencia. El acabado permanente monta 10 componentes más, entre los que se incluye los dos cables marrones y el conector para red LUM, red que alimenta la permanencia.



**Ilustración 122** - Detalle diferencias de componentes entre FAV-192 (N,4,3) arriba y (P,4,3) abajo.

Acabado	Nº Total Componentes
N43 N33	55
<b>P43</b> <b>P33</b>	<b>65</b>

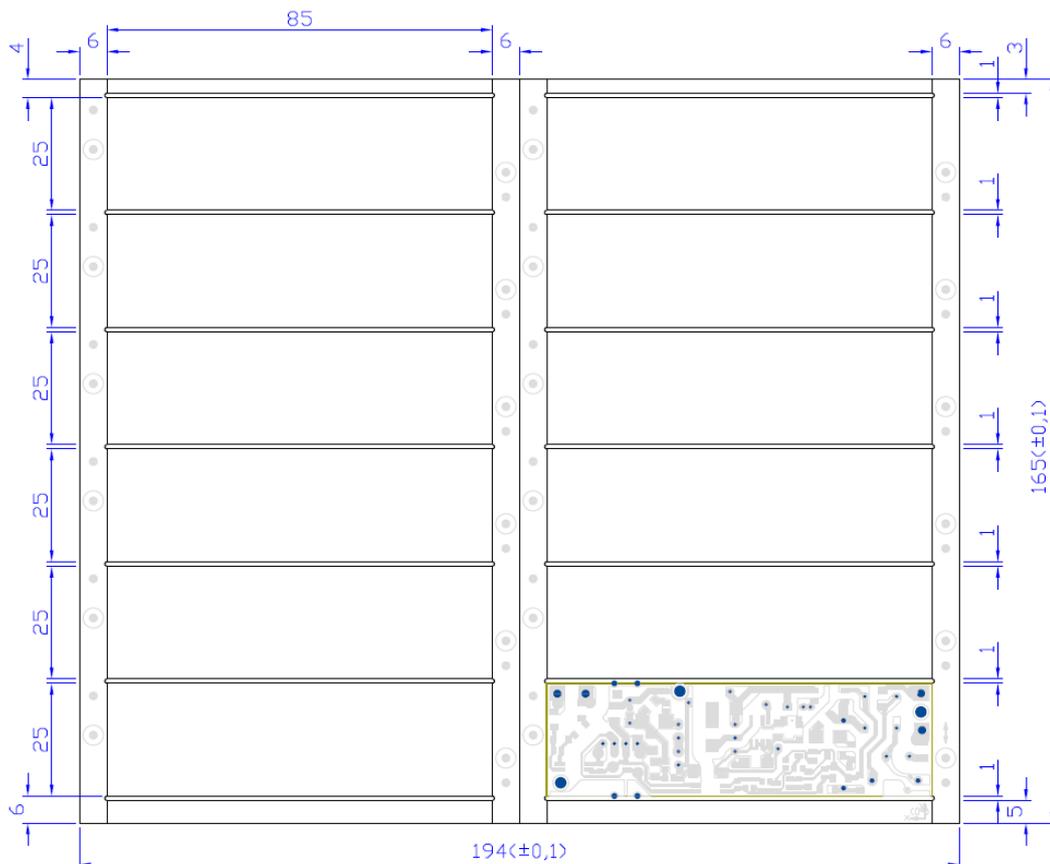
**Tabla 26** - Número de componentes en cada acabado

#### 4.3.3. Características PCB: dimensiones

Al igual que con la tarjeta VAUL-189, este apartado especifica las características de la placa FAV-192. Las dimensiones, de nuevo, se han obtenido del plano de la galleta de dicha tarjeta y de la ficha técnica del circuito impreso.

DATOS FABRICACIÓN FAV-192	
X (mm)	85
Y (mm)	25
Área (dm <sup>2</sup> )	0,2125
Grosor(mm)	1,6
Material	CEM-1 (High CTI)
Plano	Nº3

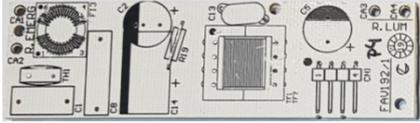
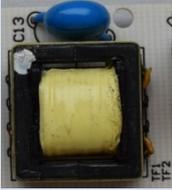
**Tabla 27** - Dimensiones del circuito, grosor y material de FAV-192



**Ilustración 123** - Dimensiones del panel y del circuito de la VAUL-189

#### 4.3.4. Masa

Como ya se explicaba para la VAUL-189, para el posterior estudio que se realizará de las cargas sobre la tarjeta se va a suponer el caso más desfavorable, es decir, la tarjeta FAV-192 para un acabado permanente, que es la que más pesa y la que tiene los cuatro cables de conexión con sus respectivos conectores.

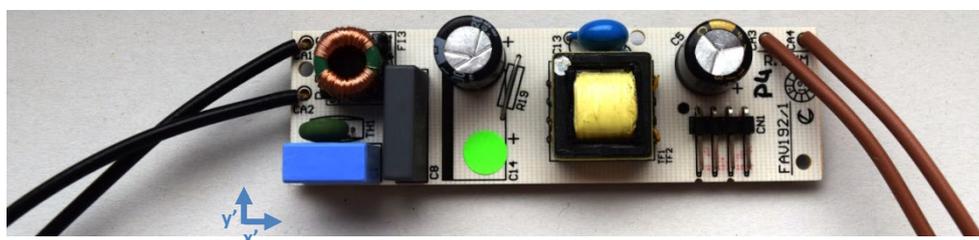
FAV-192	(g)	Imagen
<b>Completa (incluidos cables)</b> (P,4,3) (P,3,3)	36	
<b>PCB sólo con SMD cara bottom</b>	8	 
<b>Componentes convencionales (sin soldar)</b> TH1, FI3, C8 y C1	5	
<b>Componentes convencionales (sin soldar)</b> C2	2	
<b>Componentes convencionales (sin soldar)</b> C13 y TF	6	
<b>Componentes convencionales (sin soldar)</b> C5 y CN1	2	

**Tabla 28** - Masa tarjeta FAV-192 y componentes

### 4.3.5. Cables de red Emerg y red Lum

No se ha encontrado documentada la posición exacta de los agujeros en la tarjeta FAV-192 por donde se introduce el cobre de los cables y se suelda a ella. Las limitaciones dimensionales de estos puntos en la carcasa de la luminaria son más en altura que en longitud, debido a la cavidad donde va introducida.

Para obtener estos datos, y ya que no se necesita excesiva precisión, se hace una medida directa sobre la tarjeta y se determinan las ubicaciones de los cables en la tarjeta FAV-192 respecto a su origen de referencia ( $x'$ ,  $y'$ ).



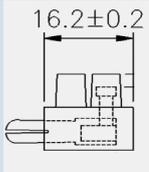
**Ilustración 124** - Detalle conexiones cable

Teniendo en cuenta la posición de la tarjeta FAV-192 respecto al origen de referencia, que es el origen de la tarjeta VAUL-189, se puede obtener la posición de la FAV con respecto a dicho origen (posiciones  $x$  e  $y$ ). Estos datos están determinados en **Tabla 25**.

Agujero	Posición $x'$ (mm)	Posición $y'$ (mm)	Posición $x$ (mm)	Posición $y$ (mm)
CA1	3	25	283	25
CA2	3	15	283	15
CA3	76	24	209	24
CA4	82	24	203	24

**Tabla 29** - Posición del centro de los agujeros para los cables respecto a ambos orígenes de referencia

En cuanto a las características de peso y longitudes, se resumen en la siguiente tabla toda la información necesaria para el análisis.

Elemento	(g)	Características	Imagen
Conector	4		
R.EMERG Cable negro x 2 + Conector	7	Longitud=19cm Sección=0,5mm <sup>2</sup>	
R.LUM Cable marrón x 2 + Conector	6	Longitud=12,5cm Sección=0,5mm <sup>2</sup>	

**Tabla 30** - Características cables red Emerg y red Lum

## 4.4. VAUL-189 con FAV-192

### 4.4.1. Posicionamiento de FAV-192 en VAUL- 189

Del archivo con extensión '.dwg' de las distintas capas del PCB de la VAUL-189, comentado en apartados anteriores, se puede obtener la posición de una tarjeta en la otra. Véase [Plano N°3](#).



**Ilustración 125** - Detalle zona de ubicación de FAV-192 en VAUL-189

Posición $x_i$ (mm)	Posición $x_f$ (mm)	$y_1$ (mm)	$y_2$ (mm)	Posición $y$ (mm)	$z$ (mm)
200	285	5,73	7,33	6,53	25

**Tabla 31** - Posicionado de FAV-192 en VAUL-189

## 4.5. Datasheets y características

### 4.5.1. Muelles centradores

Los muelles usados en las camas no son comerciales y no se encuentran en el catálogo de Bultzaki, la empresa fabricante. Por dicho motivo no ha sido posible disponer de una hoja de características para consultas.



*Ilustración 126 - Detalle de muelle y centrador*

En su día la empresa compró un stock grande de muelles, de los que sigue aún habiendo existencias al ser un elemento que sólo se usa en las camas Fakir. En documentación antigua de la empresa se han encontrado datos que pueden ayudar a estimar su constante elástica  $k$ , constante de proporcionalidad, necesaria para calcular la fuerza elástica que ejercen los muelles de cada centrador.

Muelles centradores	
<b>Clase/Tipo</b>	Muelle de compresión cónico
<b>Nominativo</b>	ML1
<b>Cód. Daisa<sup>7</sup></b>	-
<b>Descripción</b>	$\Phi$ de hilo 0,65mm / $\Phi$ exterior 7,5mm / 7 espiras Altura 22 mm
<b>Referencia</b>	OFE9065
<b>Fabricante/Proveedor</b>	Bultzaki



*Tabla 32 - Información y referencia muelle centradores*

<sup>7</sup> Código interno de la empresa utilizado para la gestión, uso y ubicación de materiales y herramienta en almacenes.

Se trata de muelles de compresión cónicos de diámetro de hilo 0,65mm y altura 22 mm. Se sabe que al comprimirse con una carga de 1kg, la altura se reduce a 12mm aproximadamente.

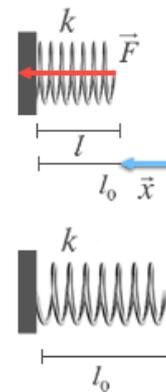
De manera experimental se sabe que cuando un muelle tiene uno de sus extremos fijos y se le aplica una fuerza sobre el otro extremo, el muelle sufre una deformación, bien comprimiéndose o estirándose.

Teóricamente, si esta fuerza es suficientemente grande como para sobrepasar su límite de elasticidad, quedará deformado de manera permanente. Pero si esto no ocurre, se cumplirá la Ley de Hooke, y una vez que la carga deje de estar aplicada sobre él recuperará su forma original. Esta ley establece que la fuerza aplicada a un muelle es directamente proporcional a la deformación que produce, tal y como muestra la [Ecuación 1](#).

$$\vec{F} = k \cdot \vec{x} \quad (4.1)$$

donde:

- F es la fuerza que se aplica al muelle
- K es la constante elástica o recuperadora del muelle, que relaciona fuerza y deformación.
- x es un vector que indica la variación de longitud que experimenta el muelle



Despejando k, se obtiene que la constante elástica es:

$$k_{muelle} = \frac{F}{x} = \frac{P}{(0,022 - 0,012)} = \frac{1kg \cdot 9,81 m/s^2}{0,010 m} = 981 N/m \quad (4.2)$$

#### 4.5.2. Puntas de prueba

Punta de prueba / Camisa	
<b>Clase/Tipo</b>	Punta de prueba
<b>Nominativo</b>	PP1 / CA1
<b>Cód. Daisa</b>	PC1101 / PC1103
<b>Descripción</b>	Punta Cónica para camas de Fakir Paso 3,18 mm / Funda para camas Fakir, paso 3,18mm
<b>Referencia</b>	SPA-3B-1 / SPR-3W-1
<b>Fabricante</b>	ECT
<b>Proveedor</b>	ATIS SA



**Tabla 33** - Información y referencia Punta de prueba y camisa

##### 4.5.2.1. Fuerza elástica recuperadora

Para el análisis de fuerzas sobre la tarjeta será necesario determinar la fuerza recuperadora que ejercerán las puntas cuando estén comprimidas durante el amarre. Con la referencia de las puntas de prueba usadas y con información de su hoja de características, adjunta en la página siguiente, se recopila la siguiente información en cuanto a la fuerza elástica.

Spring Type	2/3 Travel	Fuerza elástica
Standard	126 g	1,24 N

**Tabla 34** - Fuerza elástica puntas de prueba

TO ORDER, CALL 909-625-9390

**Probe Specifications SPA-3**

**Mechanical**

Full Travel: .250 (6.35)  
 Recommended Working Travel: .167 (4.24)  
 Mechanical Life Exceeds:  $2 \times 10^6$  cycles

**Operating Temperature**

Standard spring: -55°C to +85°C  
 Alternate spring: -55°C to +150°C  
 Consult factory for other temperature requirements, and applications below -40°C.

**Electrical (Static Conditions)**

Current Rating: 6 amps  
 Maximum continuous current, non-inductive at working travel

**Probe Resistance**

50 mΩ  
 With a standard deviation of <7 mΩ @ 25 mA test current

**Materials and Finishes**

Plunger: Heat-treated beryllium copper, rhodium plated over hard nickel  
 Barrel: Work-hardened nickel silver, gold plated over hard nickel  
 Spring: Standard: Beryllium copper  
 Alternate: Stainless steel  
 Ball: Brass, gold plated

**Receptacle Specifications**

**Mounting Hole Size:** .094/.096 (2.39/2.44)  
 A #41 or 2.4 mm drill is most commonly used.

**Recommended Wire Gauge:** 22-26 AWG

**Connections:**

- SPR-3W** Crimp or push-on termination (AMP terminal 60983-1 or equivalent)
- SPR-3W-1** Solder cup
- SPR-3W-2** wire wrap/square post
- SPR-3Y** Push-on termination (AMP terminal 42827-2 or equivalent)

**Materials and Finishes**

Housing: Work-hardened nickel silver, gold plated  
 Square Post: Phosphor bronze, gold plated

**Spring Force in oz. (grams)**

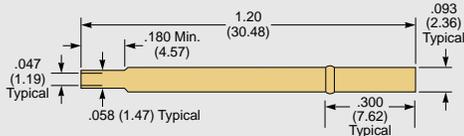
Spring Type      Preload      2/3 Travel

To order, add dash number to Model Number.

**Standard** as shown      1.60 (45)      4.5 (126)  
**Alternate** -1      2.52 (71)      6.5 (184)

Optional spring forces and materials are available.

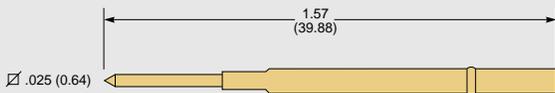
**SPR-3W**



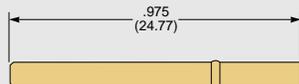
**SPR-3W-1**



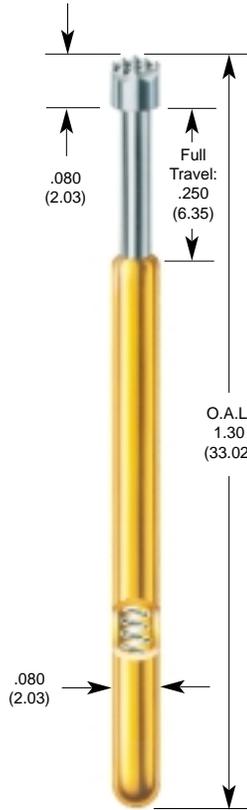
**SPR-3W-2**



**SPR-3Y**

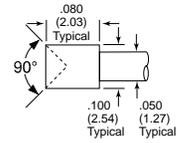


Other applications:

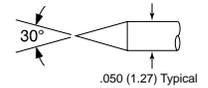


SPA-3

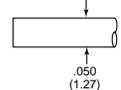
**SPA-3A**



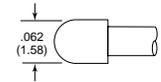
**SPA-3B**



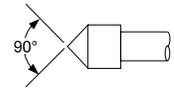
**SPA-3C**



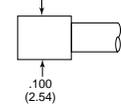
**SPA-3D**



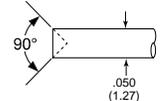
**SPA-3E**



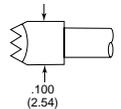
**SPA-3F**



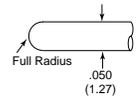
**SPA-3G**



**SPA-3H**



**SPA-3J**



Dimensions in inches (millimeters)      Actual Size

### 4.5.3. Cilindro neumático

Se tienen dos alternativas de compra para los cilindros neumáticos. Son cilindros de distintos fabricantes pero iguales en cuanto a características de funcionamiento y dimensiones. Se usan indistintamente según la disponibilidad y precio de cada momento.

<b>Cilindro neumático: ALTERNATIVA 1</b>	
<b>Clase/Tipo</b>	Cilindro neumático
<b>Nominativo</b>	CE1
<b>Cód. Daisa</b>	CE3
<b>Descripción</b>	Cilindro neumático de doble efecto Diámetro 32mm Carrera 25mm Con antigiro
<b>Referencia</b>	1581.32.25.07.1
<b>Fabricante</b>	PNEUMAX
<b>Proveedor</b>	Suministros Uriarte



[Tabla 35](#) - Información y referencia del cilindro neumático 1

<b>Cilindro neumático: ALTERNATIVA 2</b>	
<b>Clase/Tipo</b>	Cilindro neumático
<b>Nominativo</b>	CE1
<b>Cód. Daisa</b>	CE3
<b>Descripción</b>	Cilindro neumático de doble efecto Diámetro 32mm Carrera 25mm Con antigiro
<b>Referencia</b>	ADVUL-32-25PA
<b>Fabricante</b>	FESTO-PNEUMATIC, S.A.
<b>Proveedor</b>	FESTO-PNEUMATIC, S.A.



[Tabla 36](#) - Información y referencia del cilindro neumático 2

#### 4.5.3.1. Fuerza neumática

Del catálogo de productos del fabricante Pneumax (véase punto [11] de [Bibliografía utilizada](#)) se obtiene información para el cálculo de la fuerza neumática del

cilindro. Toda la información relativa al cilindro neumático utilizado está en el apartado *Serie 1560-1580 - Cilindri compatti – EUROPE* (páginas 789-798 del catálogo).

Otra información de interés para este TFG, como la relación de diámetros entre pistón y vástago y la sección de retroceso, se puede encontrar en la sección *Informaciones Técnicas*, dentro de *Cilindros* (páginas 63-71 el catálogo).

#### Diferencia área - pistón cilindro / Ø vástago

Ø cilindro - Ø stelo	b
Ø 8 - Ø 4	0,377 cm <sup>2</sup>
Ø 10 - Ø 4	0,659 cm <sup>2</sup>
Ø 12 - Ø 6	0,848 cm <sup>2</sup>
Ø 16 - Ø 6	1,727 cm <sup>2</sup>
Ø 20 - Ø 8	2,638 cm <sup>2</sup>
Ø 25 - Ø 10	4,121 cm <sup>2</sup>
Ø 32 - Ø 12	6,908 cm <sup>2</sup>
Ø 40 - Ø 14	11.021 cm <sup>2</sup>

**Tabla 37** - Relación de diámetros pistón-vástago y sección de retroceso (Ø)

Disponible en página 69 del catálogo

#### 4.5.4. Regulador de caudal

Regulador de caudal	
<b>Clase/Tipo</b>	Racor neumático
<b>Nominativo</b>	RA19
<b>Cód. Daisa</b>	RA15
<b>Descripción</b>	Racor regulador caudal de 1/8 a 4mm Rosca BSP Cónica Diámetro 1/8 Macho
<b>Referencia</b>	7060 04 10
<b>Fabricante</b>	LEGRIS
<b>Proveedor</b>	Suministros Uriarte



**Ilustración 127** - Información y referencia regulador de caudal

#### 4.5.5. Material FR-4

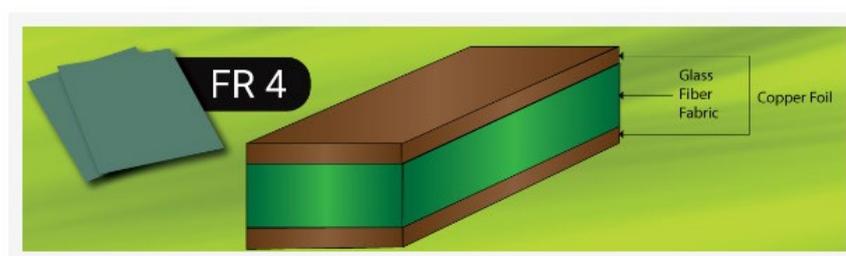
FR-4 es una designación creada por la asociación estadounidense NEMA. FR significa en inglés retardante de llama y el número 4 es el material diferenciador de otros materiales de la misma clase (FR-1,FR-2, etc.) FR-4 indica que se trata de resina epoxi reforzada de fibra de vidrio.

El material respeta la norma UL94V-0 sobre la inflamabilidad de los materiales plásticos, garantizando la no propagación del fuego y su rápida extinción cuando el material se inflama.

El FR-4 tiene la ventaja de tener una buena relación resistencia-peso además de ser ligero, no absorbe el agua, mantiene altas cargas mecánicas y tiene una buena capacidad de aislamiento eléctrico en medio seco o húmedo, debido a su alta **rigidez dieléctrica**.

Uno de sus usos más extendido es en la fabricación de circuitos impresos. Atendiendo a las necesidades que se planteen, existen diferentes variaciones del FR-4 según los métodos de fabricación y las resinas utilizadas.

Por ejemplo, un PCB estándar FR-4, el más común, está compuesto por una capa de FR-4 en “sándwich” entre dos capas finas de cobre laminado y tiene una temperatura de transición vítrea en un rango de 100-140 °C. Para placas que estén diseñadas para funcionar en entornos de alta temperatura existe el FR-4 High TG con esta temperatura mayor a 170 °C (la temperatura a la que el sustrato cambia de un estado rígido y vítreo a un estado gomoso). También existe FR-4 High CTI con mejor conductividad térmica o FR4 sin cobre destinado a la producción de placas aislantes, plantillas, soportes de tarjetas, etc.



**Ilustración 128** - Material FR-4

Fuente: [protoexpress.com](http://protoexpress.com)

#### 4.5.5.1. Propiedades

Las propiedades y características de este material le confieren gran versatilidad a un coste asequible.

Para determinar los parámetros de FR-4 es necesario entender algunos conceptos:

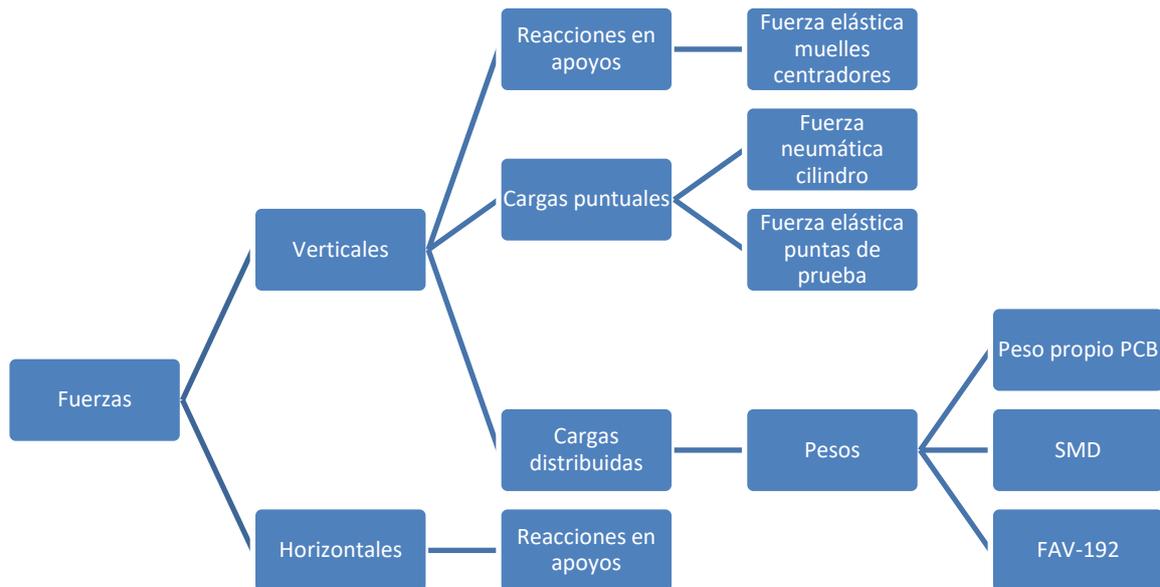
Parámetro	Valor	Unidades
Densidad	$2 \pm 0,2$ <sup>8</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Young (E)	24500	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Coefficiente de Poisson	LW = 0,136 CW = 0,118	
Módulo de corte (G)	LW = 130 CW = 25	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Resistencia a la tracción	240MPa	
Resistencia a compresión perpendicular a los laminados	500MPa	
Resistencia al corte paralelo	34MPa	

**Tabla 38** - Propiedades FR-4

<sup>8</sup> La densidad de una PCB FR-4 depende del grosor y el número de capas de la placa. Por lo general, la densidad de material es de 1,85 g/cm<sup>3</sup> pero la densidad real puede variar según el diseño, el proceso de fabricación o el número de capas.

## 4.6. Cálculos I. Fuerzas y momentos

En este apartado se identifican las fuerzas y momentos que actúan sobre la tarjeta. La placa se puede ver afectada tanto por fuerzas verticales como horizontales, además de cargas puntuales, cargas distribuidas y momentos.



**Ilustración 129** - Esquemático de fuerzas que actúan sobre la tarjeta

### 4.6.1. Datos y consideraciones de partida

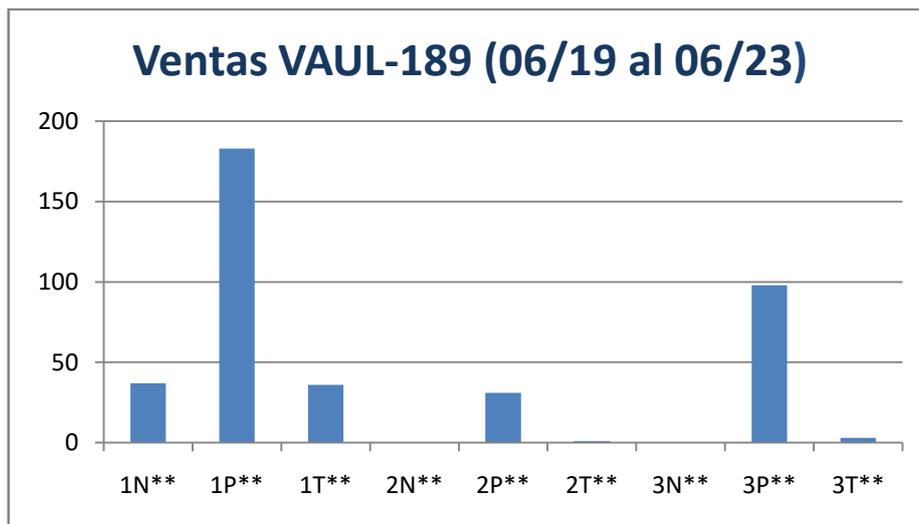
Antes de comenzar, cabe mencionar que el caso en estudio es un sistema hiperestático bastante complejo, que depende de muchas variables, como se irá viendo en el desarrollo. Por ello, ha sido necesario realizar ciertas suposiciones que hacen que el análisis no sea del todo preciso pero sí más sencillo. A su vez, para realizar el análisis también ha sido necesario comenzar a diseñar ciertos elementos, como se irá detallando.

#### 4.6.1.1. Tarjeta para el análisis

Según el funcionamiento deseado, como ya se explicaba en el [apartado 4.2.2](#), la tarjeta tiene diferentes acabados con diferente hardware. Sería inviable y poco eficaz elaborar una cama para cada acabado de la tarjeta que tuviera en cuenta su peso, si

tiene cables de telemando o si la FAV-192 es permanente o no permanente y tiene uno o dos cables. En definitiva, atender a las características, y con ello a las diferentes deformaciones que puede sufrir cada tarjeta dependiendo de su acabado.

Para realizar el estudio es necesario determinar una tarjeta concreta. Por lo tanto hay que basarse en algún criterio para tomar esta determinación. Se decide atender a dos puntos de vista: ventas y suponer un caso crítico.



*Ilustración 130 - Cantidad de tarjetas vendidas según acabados*

En primer lugar, se consideran las ventas de la tarjeta desde su salida al mercado, en Junio de 2019 hasta Junio de 2023. Con ello se pretende conocer el acabado más vendido, es decir, el que más se ha tenido que testear en fábrica. También suponer esta tendencia en el futuro ya con la cama Fakir neumática en funcionamiento.

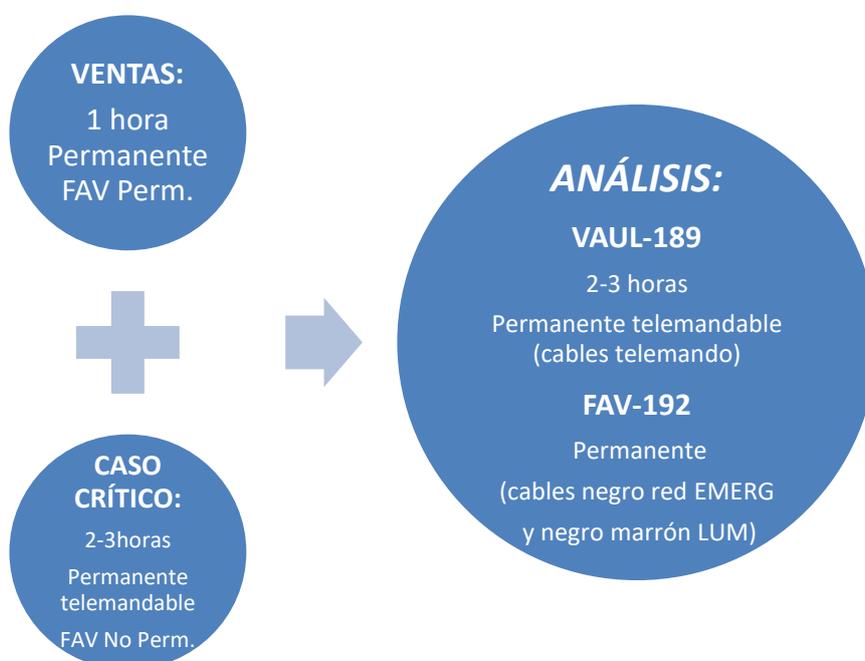
Como se ve en el gráfico de la [Ilustración 102](#) el acabado notablemente más vendido es el 1P\*\*, es decir, **permanente** de 1 hora de autonomía independientemente de la tensión de red y del color de LED, seguido con una evidente diferencia del de 3 horas. En una tendencia bastante parecida están las ventas de los otros acabados de 1 hora, **no permanente y permanente telemandable**, así como **permanente** de 2 horas. Las ventas de los acabados **no permanentes y permanentes telemandables** de 2 y 3 horas son nulas.

En segundo lugar, considerar un caso crítico es suponer una tarjeta que contemple todas y cada una de las cargas y momentos que pueden presentarse en los distintos

acabados, es decir, todas las fuerzas que muestra la [Ilustración 126](#). Pero no existe tal modelo, ya que por ejemplo, no existe acabado que monte los tres cables (red ERMEG, red LUM y telemando).

Por lo tanto, este caso crítico podría ser una tarjeta compuesta por una VAUL-189 **permanente telemandable** de 2 o 3 horas, que como ya se ha explicado anteriormente, es la que más componentes monta. Esto se traduce, aunque se esté hablando de diferencias muy pequeñas, en una tarjeta con más peso. Además dispone de menos espacio en su cara superior al haber más componentes. Este último punto tiene ya la vista puesta en futuras soluciones que puedan conllevar la necesidad de tener que ejercer fuerza en puntos de esa cara para contrarrestar fuerzas de la otra cara. Esta tarjeta monta los cables rojo y blanco y el conector para telemando.

En cuanto a las FAV-192, para el primer caso correspondería el acabado permanente con los cables negro y marrón para red y permanencia respectivamente. Para la **permanente telemandable** de 2-3 horas sería una FAV-192 no permanente simplemente con el cable negro de red.

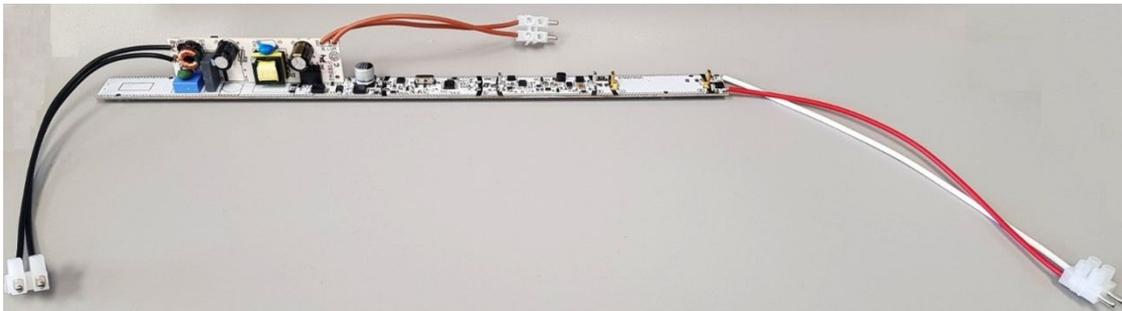


**Ilustración 131** - Elección de un modelo de tarjeta para el análisis

Expuesto todo lo anterior y valorando ambos criterios se va a analizar una tarjeta compuesta por una VAUL-189 **permanente telemandable** de 2-3 horas que monte una FAV-192 de acabado permanente, en vez de un acabado no permanente. De esta manera se tiene la tarjeta de más peso, con cables de telemando y con la FAV-192 de más peso y con ambos cables de red.

Esta sería una tarjeta ficticia, cuyo acabado realmente no existe, pero que contempla todas y cada una de las cargas y momentos que pueden presentarse en los distintos acabados reales.

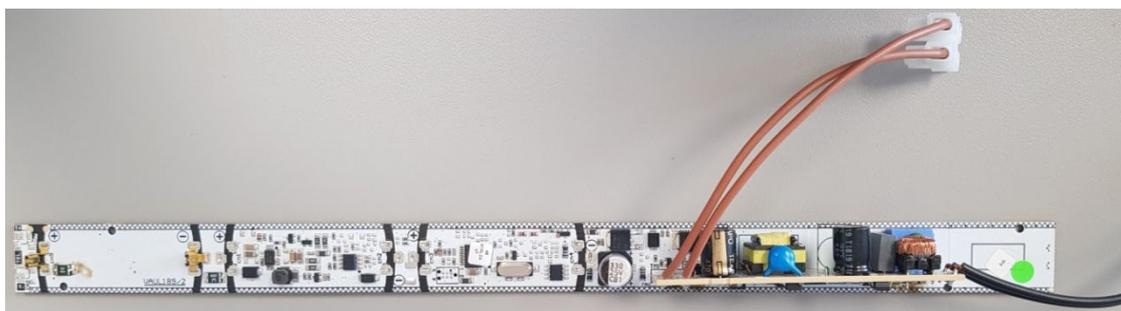
Lo que se pretende con ello es diseñar una solución que haga que la tarjeta sea capaz de soportar las deformaciones más extremas se pueden dar.



*Ilustración 132 - Modelo de tarjeta para el análisis*

#### 4.6.1.2. *Peso VAUL-189*

Un análisis rápido de la tarjeta VAUL-189 deja ver que no tiene una distribución de peso uniforme. En primer lugar, todos los componentes electrónicos se concentran mayoritariamente en el centro de la **PCB**, mientras que en su lado izquierdo se acopla la tarjeta FAV-192.

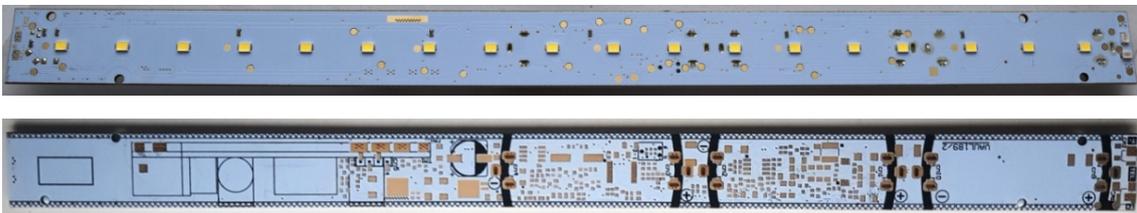


*Ilustración 133 - Vista superior de la tarjeta VAUL-189 con FAV-192*

Para hacer un estudio más exacto de estas cargas que actúan sobre la placa se va a realizar un análisis por zonas y se va a dividir el peso total en la suma del peso de la **PCB** sin componentes, solamente con los LED soldados en la parte posterior, el peso de todos los componentes electrónicos y el peso de la tarjeta FAV-192.

*a) Peso propio: PCB sin componentes*

En la [Tabla 13](#) del apartado [4.2.4 Masa](#) se puede ver que el peso de la tarjeta sin componentes electrónicos soldados, simplemente la **PCB** y los 18 LED en la cara posterior, es de 25 gramos.



**Ilustración 134** - PCB de la VAUL-189 sin componentes

Atendiendo a la densidad típica del material del **PCB** (veáse [4.6.4 Material FR-4](#)), al área y al grosor de la tarjeta, se puede ver que la masa del PCB sin LED sería aproximadamente de 22,6 gramos.

$$Masa_{PCB} = A \cdot h \cdot \rho = 70,84 \text{ cm}^2 \cdot 0,16 \text{ cm} \cdot 2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 22,66 \text{ g} \quad (4.3)$$

Teniendo en cuenta que con los LED la tarjeta pesa 25 gramos, y que estos están posicionados en el eje central de la placa de manera regular, se va a considerar que el peso se distribuye de forma uniforme por todo el **PCB**.

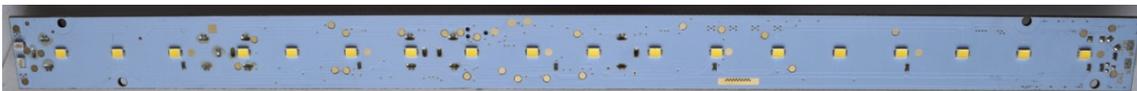
*b) Peso componentes SMD*

Según muestra la [Tabla 13](#), el peso de los componentes electrónicos y de los puntos de soldadura son 5 gramos, obtenidos de restar el peso del **PCB** con **SMD** menos el peso de la **PCB** de la tarjeta. Aunque pudiera resultar despreciable, por los tamaños tan pequeños de los componentes, estos suponen un 16,66% del peso total del PCB una vez montado y soldado.



[Ilustración 135](#) - VAUL-189 con componentes soldados

Para el estudio se va a considerar que el peso de los componentes es una carga uniformemente distribuida y concentrada en un tramo concreto de la tarjeta. Por la cara inferior de la misma, como se puede ver en la [Ilustración 108](#), se sueldan unas pocas resistencias de cápsula muy pequeña y los LED testigo de carga y fallo. El peso de estos componentes se considera insignificante.



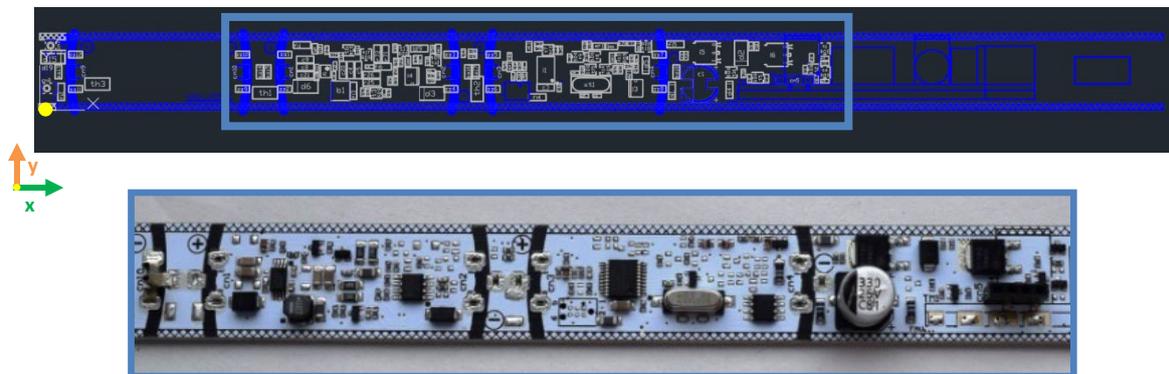
[Ilustración 136](#) - Detalle componentes SMD por la cara inferior

La cara superior de la tarjeta suelda la gran mayoría de componentes **SMD**. En el borde izquierdo se monta solamente un **termistor** y un conector de batería. El resto de componentes se concentra en un área, que como ya se ha mencionado, será donde se aplique una carga uniformemente distribuida correspondiente al peso de los componentes **SMD** de la tarjeta.



[Ilustración 137](#) - Detalle componentes SMD por la cara superior

Por ello, se determina su ubicación con la ayuda del archivo '.dwg' de las distintas capas de la PCB, y se posición dicha zona a 57 mm del origen y con 170 mm de lado.



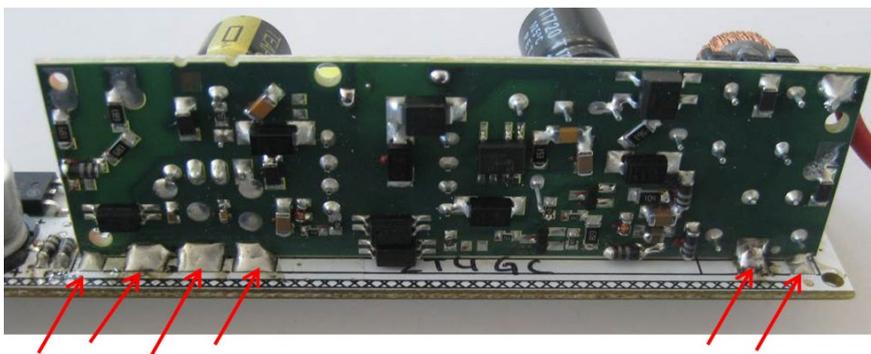
*Ilustración 138 - Detalle zona de componentes y ubicación en el plano de posicionado*

#### 4.6.1.3. Peso FAV-192

Para aplicar la carga de la tarjeta FAV-192 sobre la VAUL-189 se va a tener en cuenta el peso de la tarjeta completa, es decir, incluyendo cables y conectores.

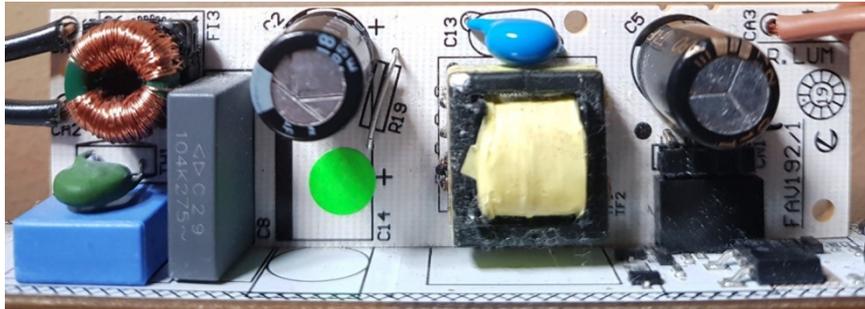
Se va a modelizar como una distribución uniforme de cargas aunque la presencia de los componentes convencionales e introducir los cables en el peso total hace que esta suposición no sea del todo correcta. Atendiendo a la [Tabla 22](#), el peso de una FAV-192 incluyendo los cables es de 36 gramos.

Hay que recordar que la tarjeta FAV-192 se suelda a la tarjeta base mediante soldadura en distintos puntos. Por lo tanto es esta soldadura la que “absorberá” parte de las cargas de la FAV-192 sobre la VAUL-189 y hace viable la suposición.



*Ilustración 139 - Detalle soldadura entre ambas tarjetas*

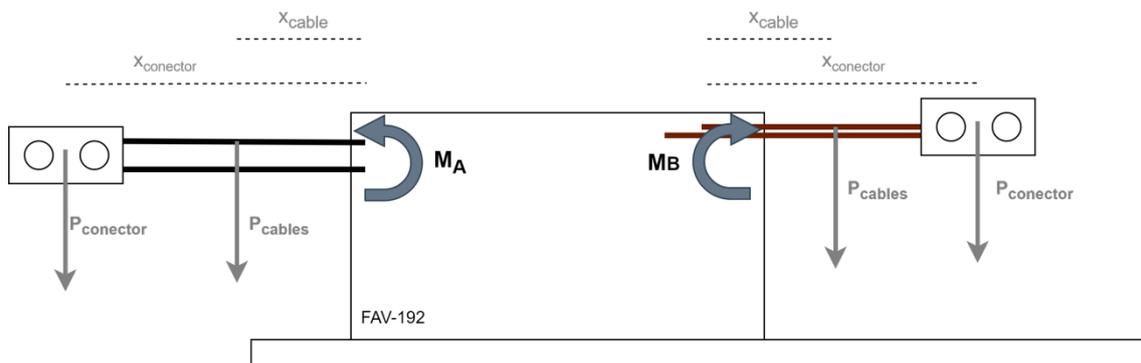
Por la parte delantera la tarjeta se inserta en un conector. Además, tal y como se observa en la [Ilustración 112](#), un condensador de la tarjeta también apoya en la tarjeta base. Todo ello implica mayor superficie de contacto entre ambas tarjetas.



[Ilustración 140](#) - Detalle conexión entre ambas tarjetas y apoyo

#### 4.6.1.4. Cables FAV-192: red LUM y red EMERG

Los pesos de estos cables y de los conectores generarán momentos en la tarjeta FAV-192 que pueden ser transmitidos a la tarjeta VAUL-189 al estar ambas acopladas.



[Ilustración 141](#) - Momentos sobre la tarjeta FAV-192

Calcular los momentos que se generan es una tarea compleja, puesto que los cables no son elementos rígidos y la distancia de la posición de su centro de gravedad a la tarjeta varía según como queden soldados y la posición que adopten.

La [Tabla 30](#) muestra información de los pesos y longitudes de los cables de la FAV-192. Los cables negros pesan 3 g y los cables marrones 2 gramos mientras que el peso de los conectores es de 4g.

La distancia al centro de gravedad de los cables será la mitad de sus longitudes, así para los cables negros es de 95mm y para los marrones de 62,5mm. La distancia al centro de gravedad de los conectores será la suma de la longitud del cable correspondiente más la mitad de la longitud del conector, es decir, 8,1mm.

$$M = P_{cable} \cdot x_{cable} + P_{conector} \cdot x_{conector} \quad (4.4)$$

$$M = P_{cable} \cdot x_{cable} + P_{conector} \cdot (l_{cable} + 0,0081) \quad (4.5)$$

$$P_{cables\ negros} = 0,003kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,02943 N \quad (4.6)$$

$$P_{cables\ marrones} = 0,002kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,01962 N \quad (4.7)$$

$$P_{conector} = 0,004kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,03924 N \quad (4.8)$$

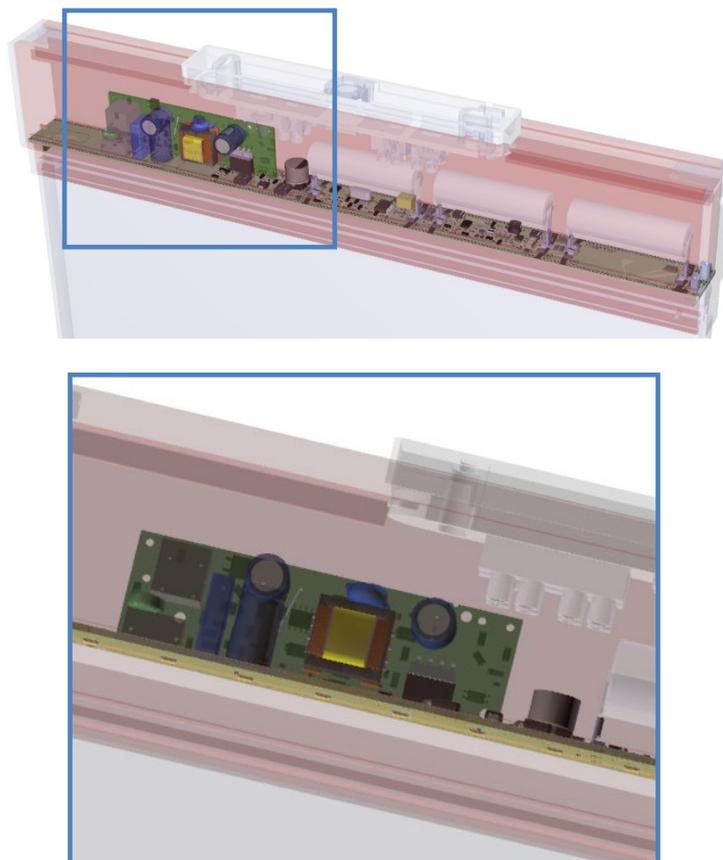
$$M_A = 0,02943 \cdot 0,095 + 0,03924 \cdot (0,190 + 0,0081) = 0,0105 Nm \quad (4.9)$$

$$M_B = 0,01962 \cdot 0,0625 + 0,03924 \cdot (0,125 + 0,0081) = 0,00644 Nm \quad (4.10)$$

Los módulos de estos momentos son muy pequeños y se pueden considerar despreciable, entre las razones lo que ya se comentaba en el apartado anterior, que sea la propia soldadura de la unión de tarjetas capaz de absorber esos esfuerzos.

Además es posible que a la hora de insertar la tarjeta en el lecho, los cables queden apoyados o bien en la propia tarjeta o en la placa superior de la caja de la cama, de tal forma que desaparecerían. Para el análisis se va a suponer que estos momentos no existen.

Como propuesta, ya que el cambio es fácil y no está expuesto a ningún tipo de restricción, se podría cambiar la longitud del cable marrón a 19 cm. Aunque el cable estaría sobredimensionado de esta manera, los momentos que se generan quedarían compensados. El cable negro no se puede modificar a 12,5 cm ya que tiene que tener ese recorrido para llegar al conector hembra situado en la placa de amarre de la luminaria.



**Ilustración 142** - Detalle tarjeta FAV-192 con los conectores hembra de red emerg y red lum

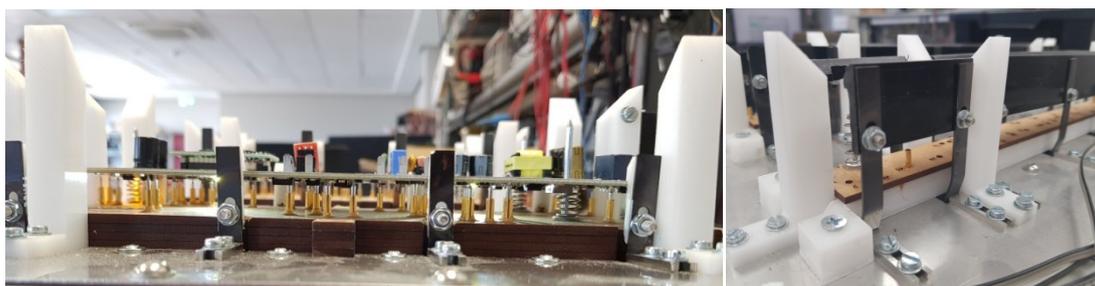
#### 4.6.1.5. Baquelita

Para determinar la compresión de los muelles y las puntas, como se verá en posteriores apartados, es necesario conocer la altura que va a tener la baquelita. Como no está diseñada, es un paso previo al análisis que hay que realizar.

Tomando como referencia la baquelita de la cama VDG-184 y las camas más actuales de la empresa, se modela un primer diseño de baquelita para la cama VAUL-

189 teniendo en cuenta la posición de las isletas y de los centradores (véase [Tablas 16](#) y [Tabla 17](#)).

El material utilizado, aislante eléctrico, suele variar de unas camas a otras. Así, a veces se usan 4, 5 o 6 placas de DM de 2,6mm de espesor que se van añadiendo para crear distintas alturas y otras veces se usa POM con lámina de DM, como en el caso de la cama de la tarjeta VDG-184.



**Ilustración 143** - *Distintos materiales y alturas para baquelitas*

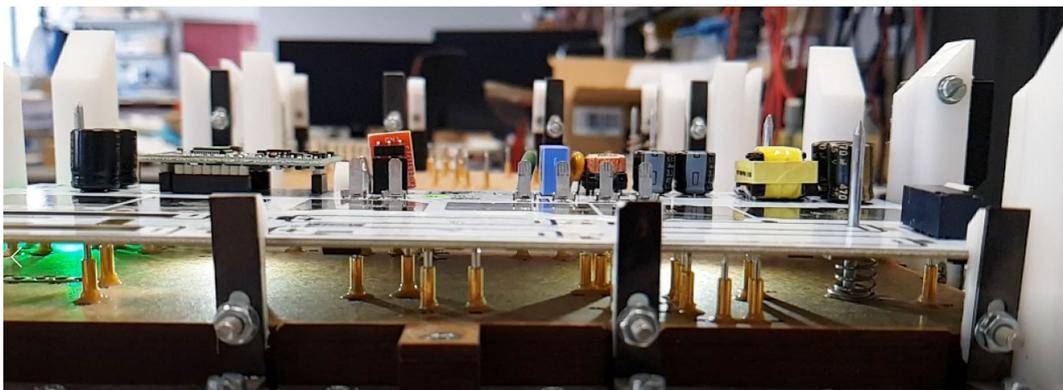
Para la cama de la VAUL-189 se van a elegir 4 placas de DM para conseguir una altura de baquelita de 10,4mm. El diseño de la baquelita quedaría de la siguiente forma.



**Ilustración 144** - *Diseño de baquelita*

#### 4.6.1.6. *Movimiento de descenso restringido*

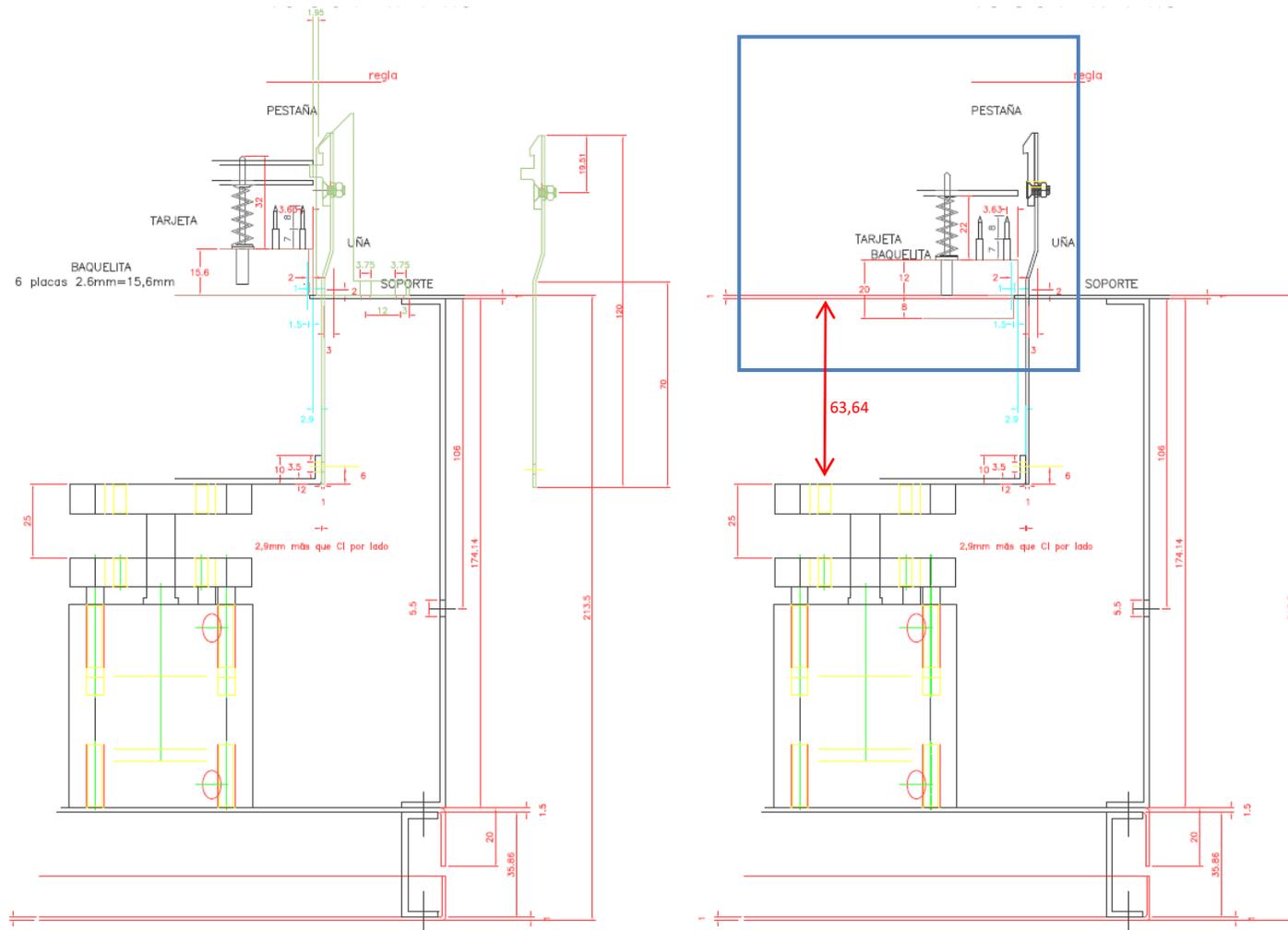
El montaje que llevan las camas neumáticas no permite un descenso libre de la tarjeta, sino que está restringido por la altura a la que se monta la plataforma con las uñas de amarre y por la carrera del cilindro neumático. Por ello, la compresión del muelle y de las puntas de prueba está controlada y es conocida.



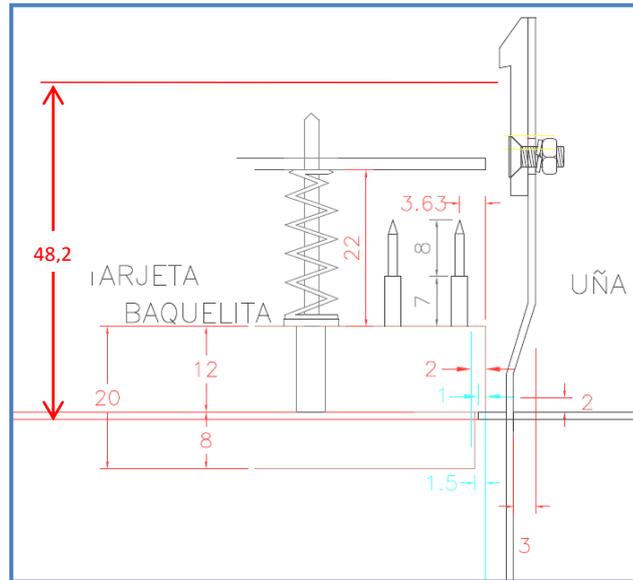
**Ilustración 145** - *Compresión del muelle y puntas al descender una tarjeta*

Para las camas Fakir neumáticas existe un archivo ‘.dwg’ donde aparecen reflejadas todas las medidas necesarias para el correcto montaje de las camas y de los distintos estados por los que se pasa. Este archivo se ha quedado un poco desfasado a medida que las camas Fakir han ido evolucionando, pero hay ciertas medidas que se siguen manteniendo.

La imagen de la página siguiente muestra una captura de una parte de dicho archivo, donde se puede ver el sistema de amarre en reposo, con dos tipos de baquelitas. La primera formada por 6 placas de 2,6mm de espesor cada una. La segunda como un bloque entero de 20 mm, que se introduce 8 mm por dentro de la caja de la cama. Esta segunda opción ya no se suele utilizar.

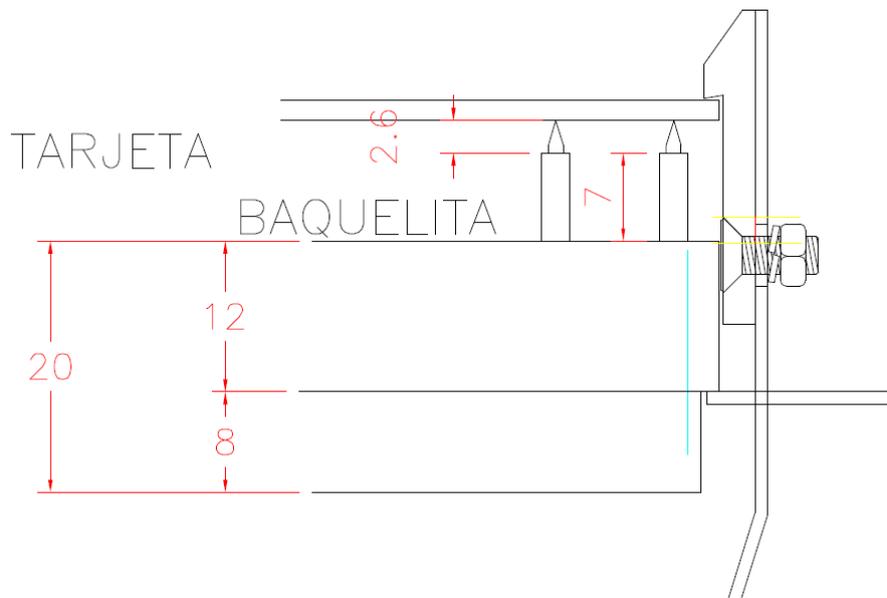


**Ilustración 146** - Medidas del sistema de amarre en reposo para distintas baquelitas



**Ilustración 147** - Vista ampliada del sistema de amarre en reposo para baquelita de 20mm

En la **Ilustración 118** y la **Ilustración 119** se puede ver como la tarjeta reposa en el muelle del centrador a la espera de ser testeada. Como ya se indicaba, se encuentra a una altura de 22 milímetros (altura del muelle), con respecto a la **baquelita**, donde están mecanizados los agujeros donde se insertan las puntas de prueba.



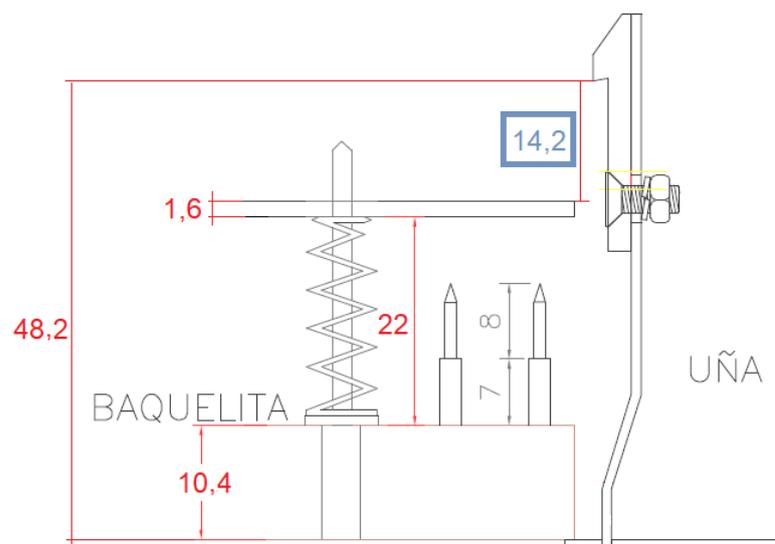
**Ilustración 148** - Vista ampliada del sistema amarrado para baquelita de 20mm

La [Ilustración 122](#) muestra información de gran interés para poder determinar la fuerza recuperadora que van a ejercer los muelles y las puntas de prueba sobre la tarjeta. Se puede ver como una vez que la tarjeta ha descendido, la distancia entre la tarjeta y la **baquelita** es la suma de la longitud de la camisa de la punta y el trozo de punta que no se ha retraído dentro de la camisa. Por lo tanto, esta suma será la longitud del muelle comprimido, que en esta imagen no está representado. La deformación sufrida por el muelle serán los 22mm, su longitud de reposo, menos su longitud en estado de compresión.

El siguiente paso es adaptar estas medidas a la altura de la baquelita diseñada, manteniendo los muelles, puntas de prueba y la distancia entre la superficie de contacto de la uña de amarre y la tapa superior de la caja de la cama. En estado de reposo la tarjeta se mantiene a una distancia de 14,2mm hasta la uña de amarre, obtenido de sumar las distintas distancias:

$$\text{Altura uña} - \text{baquelita} - \text{longitud muelle} - \text{espesor tarjeta} = \text{distancia reposo} \quad (4.11)$$

$$48,2\text{mm} - 10,4\text{mm} - 22\text{mm} - 1,6\text{mm} = 14,2\text{mm} = \text{distancia reposo} \quad (4.12)$$

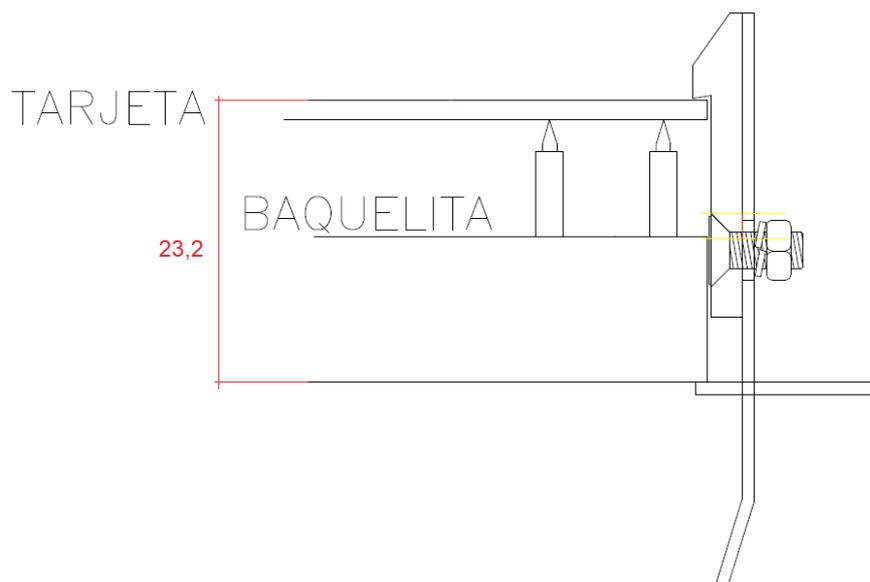


[Ilustración 149](#) - Vista ampliada del sistema de amarre en reposo para baquelita de 10,4mm

Cuando se produce el amarre, la carrera de retroceso del cilindro es de 25mm, por lo que la uña, al estar unida a la plataforma que desciende solidaria al cilindro, también descenderá esta distancia. Los primeros 14,2mm los hará sin tocar ningún componente más del amarre. A partir de esa distancia, arrastrará la tarjeta hacia abajo provocando la compresión del muelle y las puntas. Para determinar estas compresiones se realizan los siguientes cálculos.

$$25\text{mm descenso} - 14,2\text{mm descenso libre} = 10,8\text{mm descenso conjunto} \quad (4.13)$$

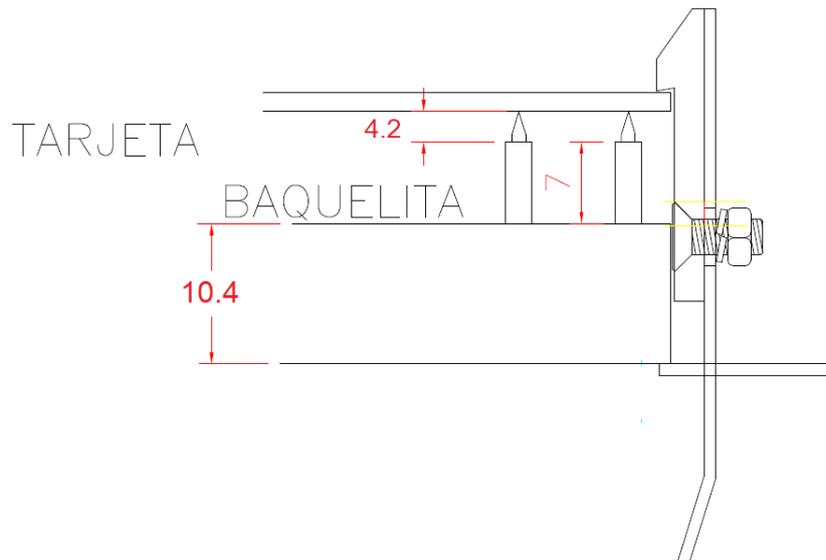
$$48,2\text{mm} - 14,2\text{mm} - 10,8\text{mm} = 23,2\text{mm desde placa superior a tarjeta} \quad (4.14)$$



**Ilustración 150** - Vista ampliada del sistema amarrado para baquelita de 10,4mm

La tarjeta quedará a una distancia 23,2mm respecto a la tapa superior, no pudiendo descender más. Si a esa distancia se le restan las alturas fijas de la baquelita, la camisa de la punta y el espesor de la tarjeta, se puede calcular la longitud que queda sin retraer de la punta de prueba.

$$23,2\text{mm} - 10,4\text{mm baquelita} - 7\text{mm camisa} - 1,6\text{mm tarjeta} = 4,2\text{mm punta} \quad (4.15)$$



**Ilustración 151** - Medidas finales del sistema amarrado para baquelita de 10,4mm

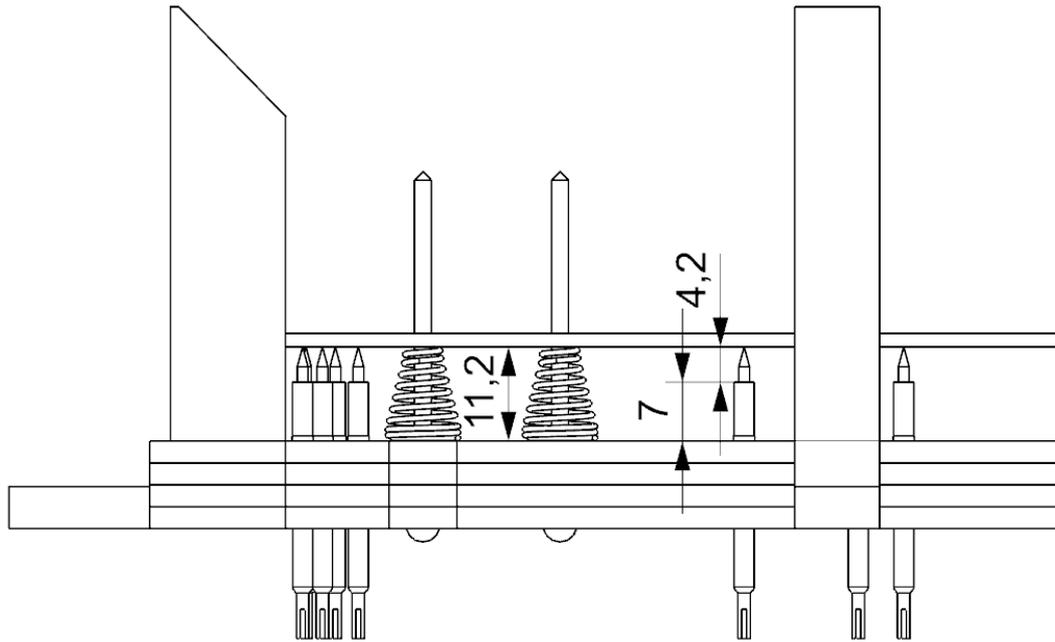
#### 4.6.1.7. Compresión muelles centradores

De la [Ilustración 120](#) se puede determinar que la distancia que queda entre la baquelita y la tarjeta, es decir, la suma de la camisa de la punta y la longitud de punta sin retraer, será la longitud del muelle en su estado de compresión.

$$\text{longitud muelle comprimido} = 4,2\text{mm punta} + 7\text{mm camisa} = 11,2\text{mm} \quad (4.16)$$

Por lo tanto, si se desea conocer la variación de longitud que experimenta el muelle basta con restar a su longitud inicial, longitud de reposo, la longitud de compresión.

$$\text{Variación longitud muelle} = \delta_{\text{muelle}} = 22\text{mm} - 11,2\text{mm} = 10,8\text{mm} \quad (4.17)$$



**Ilustración 152** - Medidas del sistema de amarre con tarjeta amarrada

#### 4.6.1.8. Muelles centradores: Constante elástica

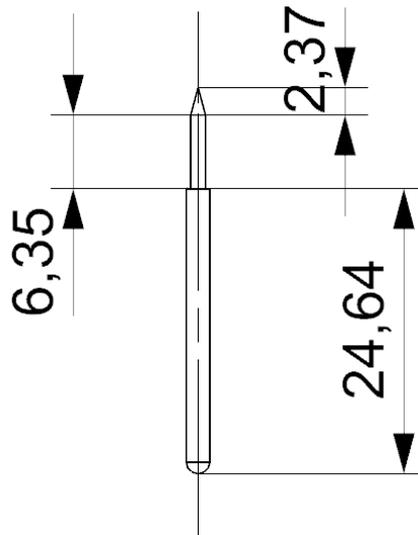
Para determinar las reacciones será necesario conocer la constante de proporcionalidad  $k$  del muelle,  $k=981 \text{ N/m}$ , cuya obtención se explica en el apartado [4.6.1 Muelles centradores](#).

#### 4.6.1.9. Compresión puntas de prueba

De igual manera que en el apartado anterior se calcula la compresión de las puntas de prueba.

Atendiendo a la referencia de la punta usada y sus dimensiones, obtenidas de su hoja de características (véase [apartado 4.6.2.1](#)) se dibuja, de cara a simulaciones posteriores, un modelado 3D de la punta, del que se genera un plano de dimensiones.

Como puede verse en la [ilustración 121](#), la longitud total que puede retraerse es 8,72mm. Si del análisis anterior se ha concluido, que una vez la tarjeta está amarrada, la longitud de punta que queda fuera es de 4,2mm, se puede calcular la variación de longitud que experimenta.



**Ilustración 153** - Modelado de la punta de prueba según datos del fabricante

$$\text{Variación longitud punta} = \delta_{\text{punta}} = 6,35\text{mm} + 2,37\text{mm} - 4,2\text{mm} = 4,52\text{mm} \quad (4.18)$$

#### 4.6.1.10. Puntas de prueba: constante elástica

Las puntas de prueba no son fijas y al actuar como una especie de resorte, que se comprime dentro de la camisa, tienen una constante de proporcionalidad  $k$ , cuyo valor se va a intentar obtener.

La hoja de características del fabricante, véase [apartado 4.6.2](#), no da esta información. Lo que sí que es conocido y según la [Tabla 28](#), es que si la punta se retrae  $2/3$  de su recorrido, ejercerá una fuerza de 1,24N. La punta mide un total de 8,69mm, tal y como muestra la [Ilustración 122](#), y se puede retraer toda su longitud como ya se veía en la [Ilustración 31](#). Por lo tanto:

$$F_{\text{elástica}} = 1,24 \text{ N} = K \cdot x = K \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,00869 \rightarrow K_{\text{punta}} = 214 \text{ N/m} \quad (4.19)$$

#### 4.6.1.11. Número de puntas de prueba

La tarjeta tiene un total de 38 **isletas**. Como caso más desfavorable para el estudio, se va a considerar que la cama se va a elaborar con 38 puntas de prueba, una por cada **isleta**.



**Ilustración 154** - Isletas en la VAUL-189

#### 4.6.1.12. Presión de trabajo

Para determinar la fuerza neumática hará falta conocer la presión de trabajo. Daisalux cuenta con un compresor de 7,5 bares que distribuye aire comprimido a toda su nave industrial. Hay que tener en cuenta que existe una caída de presión, esto es, disminución de la presión del aire comprimido desde la salida del compresor hasta los puntos de usos, como por ejemplo, puestos con pistolas de soplado, camas Fakir o un robot que se encarga de testear ciertas tarjetas.

Esta disminución puede producirse por diferentes causas, como el propio sistema de transporte, donde tanto la longitud de tuberías/cables como el diseño afectan a la caída de presión. El tratamiento del aire, mediante filtros y reguladores es otra de las razones más comunes.

No se tiene información ni se conoce cuanta presión llega a los puestos de trabajo. Suponiendo que la instalación de la empresa está bien diseñada, no debería existir una caída de presión superior al 10%. Por lo tanto, si el aire del comprimido sale del compresor a 7,5 bares, se va a determinar una presión final en los puntos de uso de 6,75 bares.

Además, para poder controlar la presión que llega al cilindro y poder configurar un descenso suave de la tarjeta, las camas Fakir neumáticas montan un racor neumático que actúa como regular de caudal. De esta manera se puede disminuir aún más la presión. Esta regulación se realiza de manera visual, una vez que la cama está

operativa. Se va probando y regulando el racor hasta que el técnico que monta las camas considera un descenso óptimo para cada tarjeta.

Por todo lo expuesto anterior determinar una presión de trabajo es muy complicado. Para el análisis se considerará que el racor disminuye en un 25% más la presión. Por lo tanto se estima una presión final de 5 bares.

#### 4.6.1.13. Plataforma y uñas de amarre

La fuerza neumática del cilindro no se aplica directamente sobre la tarjeta, sino que ésta desciende por el contacto de las uñas sobre la placa, unidas a través de una plataforma al cilindro.



Ilustración 155 - Plataforma unida al cilindro y las uñas de amarre

Tomando como referencia y copiando las características de la plataforma de la cama de tarjeta VDG-184, se modela un plataforma compuesta por una placa de POM de dimensiones 319,2 x 29,8 x 10 mm. En los laterales se une mediante tornillos una placa de acero inoxidable 1,5mm de espesor para rigidizar el sistema.

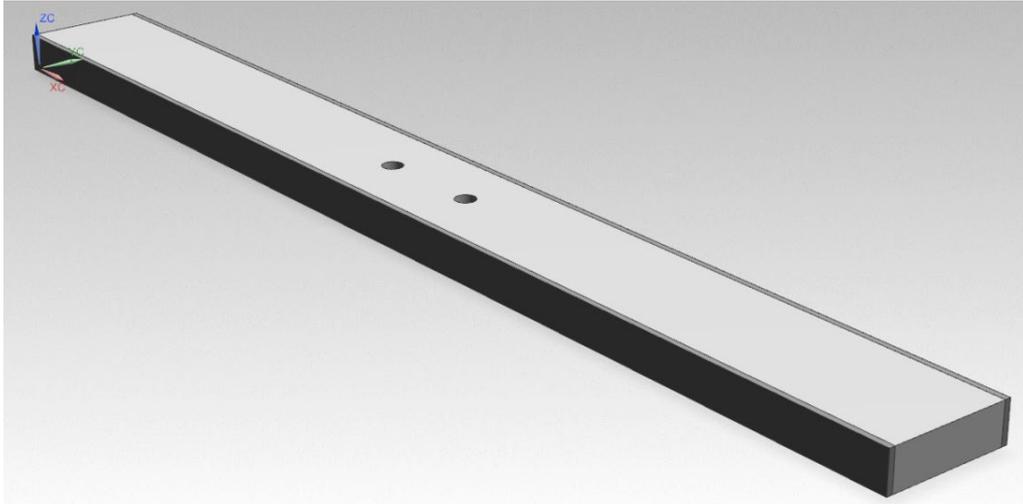


Ilustración 156 - Modelado 3D de la plataforma y laterales

Para el cálculo de la fuerza neumática aplicada en distintos puntos de la tarjeta, como se explicará en su correspondiente apartado, es necesario conocer el peso de todo el sistema que hace que la tarjeta suba y baje sobre el lecho.

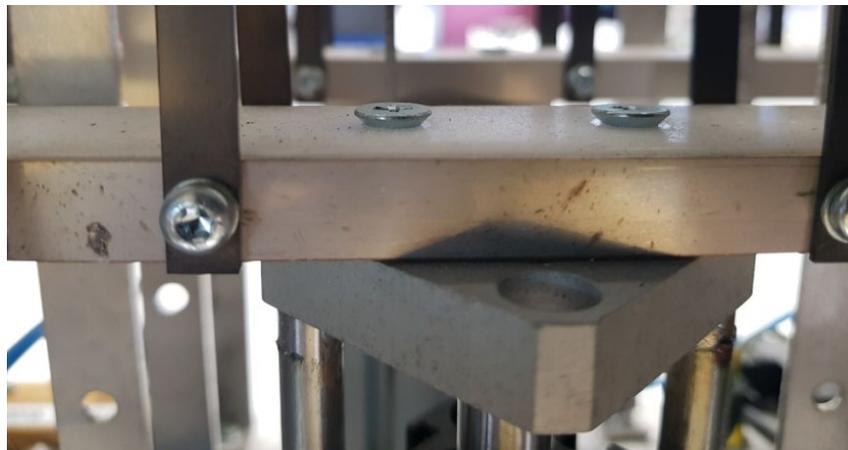
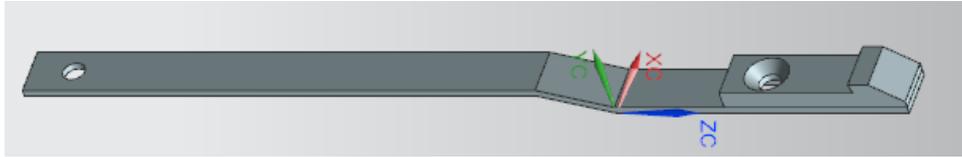


Ilustración 157 - Detalle plataforma

Las uñas y las pestañas son comunes para todas las camas neumáticas y se modelan conforme a sus planos véase [Plano N°7](#) y [Plano N°8](#).



**Ilustración 158** - Modelado 3D del conjunto de la uña

Al estar la cama montada no se ha podido pesar cada elemento que lo compone por lo que se estimarán sus pesos atendiendo a las dimensiones y materiales ( $\rho_{\text{POM}} = 1,41 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{acero inox}} = 8,03 \text{ g/cm}^3$ )

$$\text{Peso}_{\text{plataforma POM}} = (31,92 \cdot 2,98 \cdot 1) \cdot \text{cm}^3 \cdot \frac{1,41 \text{ g}}{\text{cm}^3} = 134,12 \text{ g} \quad (4.20)$$

$$\text{Peso}_{\text{lateral}} = 2\text{laterales} \cdot (31,92 \cdot 1 \cdot 0,15) \cdot \text{cm}^3 \cdot \frac{8,03 \text{ g}}{\text{cm}^3} = 76,90 \text{ g} \quad (4.21)$$

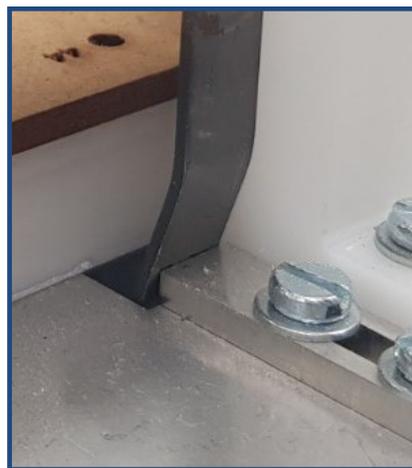
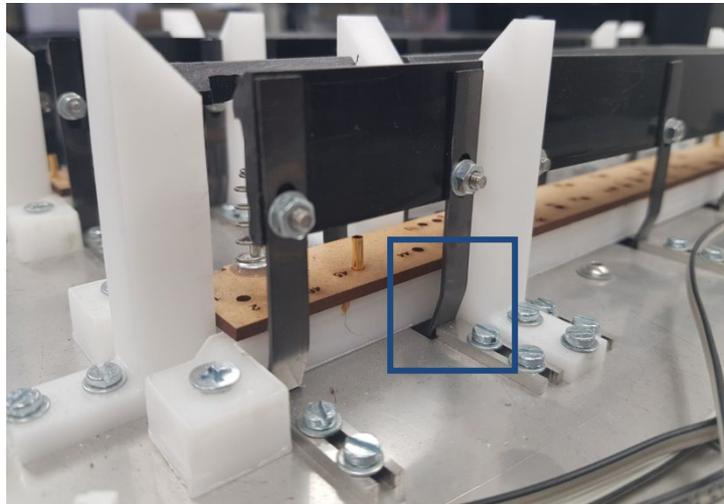
$$\text{Peso}_{\text{uña}} = 16 \text{ uñas} \cdot ((4 + 7 + 1) \cdot 0,7 \cdot 0,1) \cdot \text{cm}^3 \cdot \frac{8,03 \text{ g}}{\text{cm}^3} = 107,92 \text{ g} \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \text{Peso}_{\text{pestaña}} &= 16 \text{ pestañas} \cdot (0,7 \cdot (1,8 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,275 + 0,1 \cdot 0,425)) \cdot \text{cm}^3 \cdot \frac{1,41 \text{ g}}{\text{cm}^3} \\ &= 9,52 \text{ g} \end{aligned} \quad (4.23)$$

Teniendo en cuenta que lleva acoplada 16 uñas de amarre y un tornillo y arandela por cada una, que se estima en 1g por conjunto, y dos tornillos que amarran la plataforma al tornillo, hay que añadir 18g de tornillería.

$$\text{Peso}_{\text{plataforma}} = 134,12 + 76,9 + 107,92 + 9,52 + 18\text{g} = 346,46\text{g} \quad (4.24)$$

En relación a las uñas de amarre, cabe mencionar también que al estar apoyadas en los reguladores, cuando comienza el movimiento de descenso tienen que vencer el rozamiento entre ambas piezas metálicas.



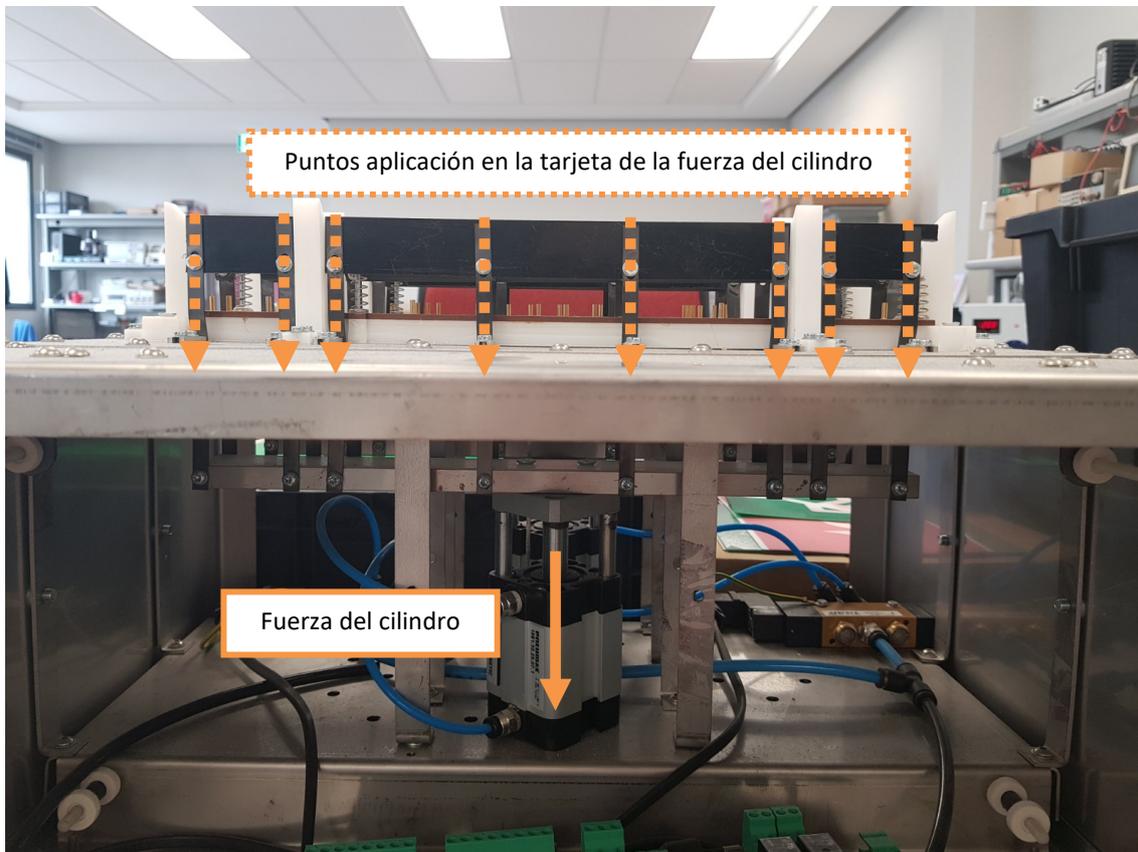
*Ilustración 159 - Detalle del roce entre uña, chapa de soporte y regulador*

Para proteger todas las piezas en contacto y favorecer el movimiento se utiliza grasa de cobre. Este motivo explica que no se tenga en cuenta este rozamiento en el análisis de fuerzas.

#### *4.6.1.14. Puntos de aplicación de la fuerza neumática*

Los puntos de aplicación de esta fuerza sobre la tarjeta no son conocidos, ya que la cama no está diseñada. Recordando la tarjeta VDG-184, también de la familia VDC con las mismas dimensiones de PCB que la VAUL-189 (véase [Ilustración 75](#)), tiene su

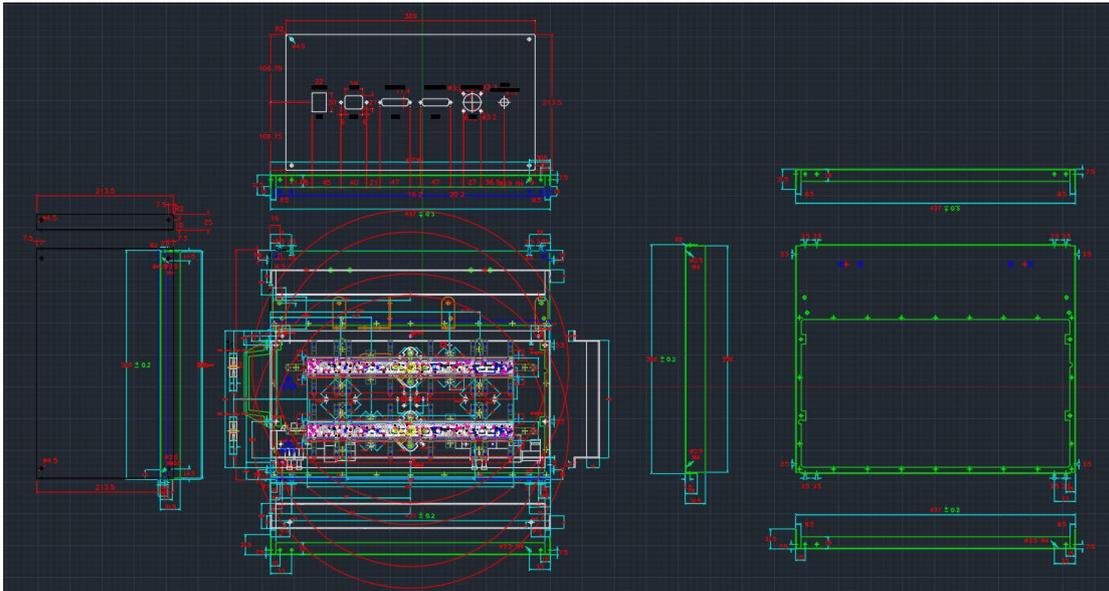
cama empezada y existe cierta documentación que resulta interesante para el desarrollo de este TFG.



**Ilustración 160** - *Detalle plataforma móvil, cilindro y uñas de amarre en cama VDG-184*

Aunque las baquelitas de ambas tarjetas son distintas por la ubicación de los centradores y de las puntas de testeo, al tener las placas las mismas dimensiones, se puede suponer que las uñas de amarre se situarían en las mismas posiciones en la cama Fakir de la tarjeta VAUL-189 que en la cama de la VDG-184 y tocarían en ambas tarjetas en los mismos puntos de aplicación.

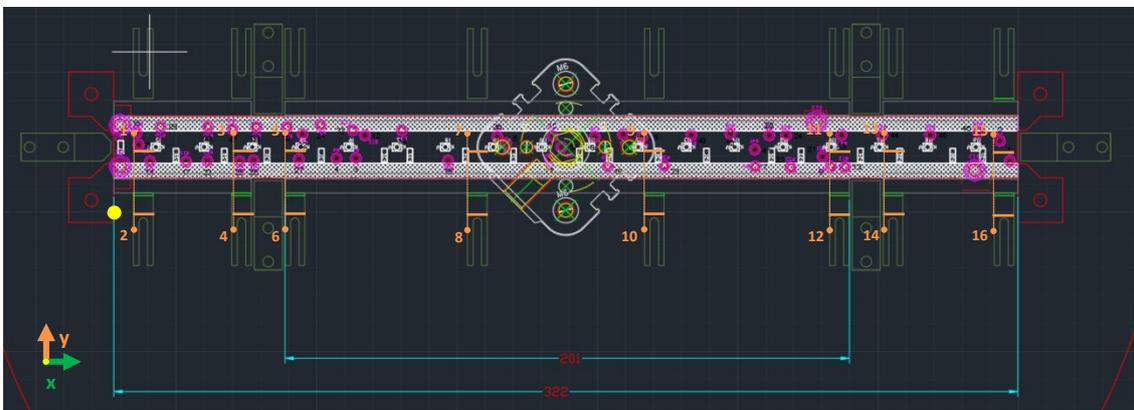
Por este motivo, se recurre a la documentación de esta cama para conocer estas posiciones y comprobar que nada interfiera y puedan ser posibles para la VAUL-189. La [Ilustración 134](#) muestra una captura del archivo de dicha cama.



**Ilustración 161** - Cama completa Fakir tarjeta VDG-184

Centrando la atención en uno de los lechos, se seleccionan únicamente aquellas capas interesantes para la toma de medidas necesarias. El código de colores de las capas es:

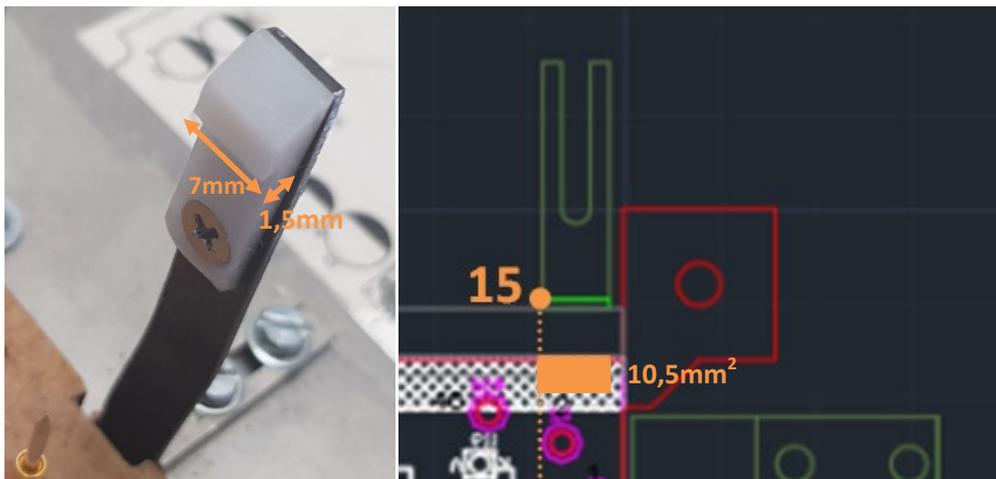
- Blanco: plataforma
- **Rojo**: baquelita
- **Rosa**: contorno, isletas y centradores del circuito
- **Gris**: pestaña o pared lateral que une las uñas de amarre en gris,
- **Verde**: regulador de uñas y topes de plástico
- **Verde claro**: uñas de amarre



**Ilustración 162** - Plano sistema de amarre de la cama VDG-184

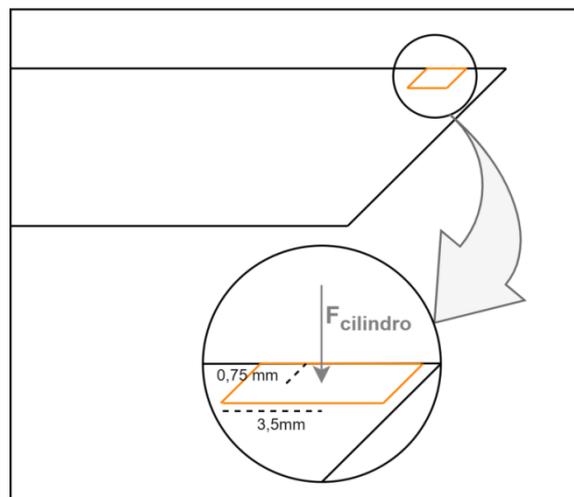
Se va a obviar la presencia de la pared que une las uñas de amarre (solución alternativa ya comentada, véase [Ilustración 71](#)) para analizar inicialmente la tarjeta en una cama Fakir neumática habitual. Como se puede observar en la [Ilustración 135](#) hay 16 uñas de amarre.

El [Plano Nº8](#) muestra las dimensiones de las pestañas de las uñas de amarre. De dicho plano se puede obtener el área de contacto entre la uña de amarre y la tarjeta.



[Ilustración 163](#) - Contacto entre tarjeta y uñas de amarre

El punto de aplicación de la fuerza neumática sobre la tarjeta se va a situar en el centro de gravedad de la superficie de contacto entre la uña y la tarjeta. Al tratarse de un área rectangular el centro de gravedad es el centro de dicho rectángulo.



[Ilustración 164](#) - Punto de aplicación fuerza del cilindro neumático

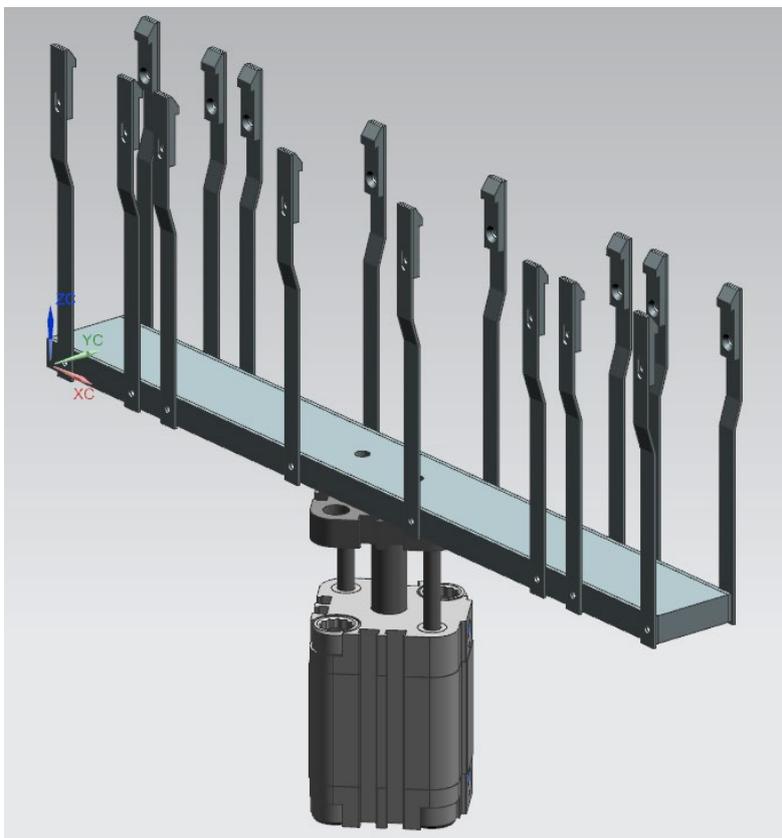
Uña de amarre	Posición x (mm)	Pto. Aplicación x (mm)	Pto. Aplicación y (mm)
1	7	10,5	21,25
2	7	10,5	0,75
3	42	45,5	21,25
4	42	45,5	0,75
5	61	64,5	21,25
6	61	64,5	0,75
7	126	129,5	21,25
8	126	129,5	0,75
9	189	192,5	21,25
10	189	192,5	0,75
11	255	258,5	21,25
12	255	258,5	0,75
13	274	277,5	21,25
14	274	277,5	0,75
15	313	316,5	21,25
16	313	316,5	0,75

**Tabla 39** - Posiciones punto de aplicación de la fuerza del cilindro sobre la tarjeta VDG-184

La [Tabla 38](#) muestra los puntos de aplicación de la fuerza neumática respecto al origen de referencia de la tarjeta (véase [Ilustración 132](#)). La columna *Posición x* determina el comienzo del contacto en el eje de abscisas respecto del origen de la tarjeta. Para calcular la posición del punto de aplicación de la fuerza para cada uña se tiene en cuenta lo explicado en la página anterior. La posición en x se obtiene de sumar 3,5mm a *Posición x* (inicio rectángulo contacto + 3,5mm al centro de gravedad). La posición y se calcula dependiendo de la posición de la uña de amarre respecto al origen de coordenadas. Esta posición tiene dos valores: 0,75mm (distancia al centro de gravedad respecto al borde del origen de la tarjeta) o 21,25mm (calculado de restar 22mm, ancho de la tarjeta, menos los 0,75mm al centro de gravedad).

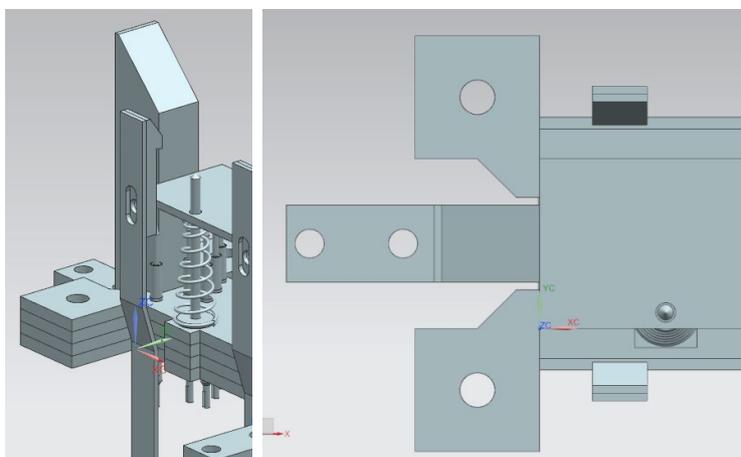
No hay que olvidar que estos puntos de aplicación calculados son para la tarjeta VDG-184 en su cama Fakir. Lo que se debe comprobar a continuación es si estos puntos pueden ser trasladables a la tarjeta VAUL-189 en su cama Fakir. En este caso los puntos más críticos van a ser los centradores, porque en esta tarjeta están muy próximos a los bordes. Para ello se modelan la plataforma, igual en ambas camas, y las

uñas de amarre de la cama VDG y se incorporan al lecho diseñado de la cama VAUL-189.



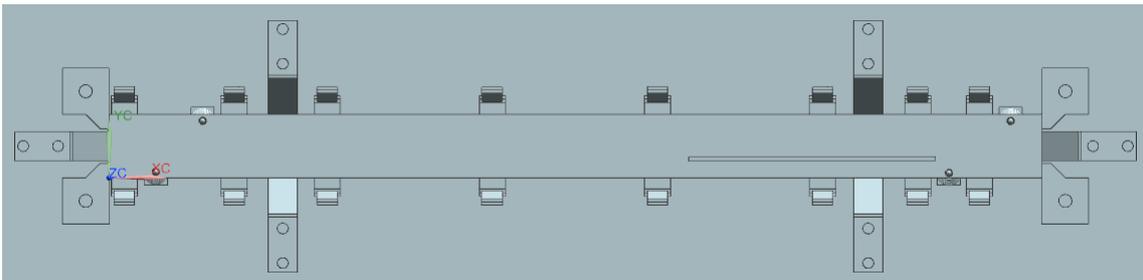
**Ilustración 165** - Modelado 3D plataforma y cilindro con uñas de la cama VDG-184

Como ya se vaticinaba, la posición de las uñas de la cama VDG no va a servir en la cama de la VAUL por interferencia con el centrador CT3 y el diseño de la baquelita.

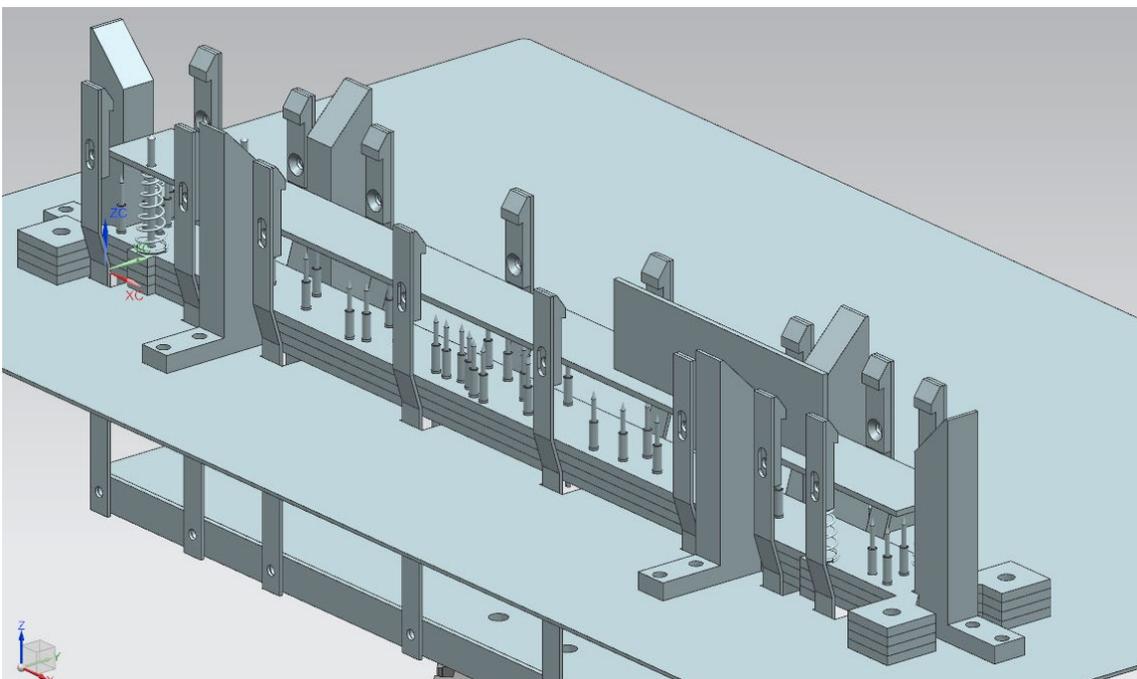


**Ilustración 166** - Uñas de la cama VDG-184 en cama VAUL-189

Por lo tanto se vuelve a requerir otros diseños para poder realizar el análisis. Sobre la plataforma ya diseñada, se van moviendo las uñas de amarre de tal forma que queden compensadas a lo largo de la tarjeta y no interfiera con centradores ni bordes de la baquelita. De esta manera se diseñan la plataforma con los nuevas posiciones de las uñas y la tapa soporte donde va apoyado el lecho y que permite que las uñas atraviesen la caja de la cama. Se ubican en este paso los [topes de plástico](#).



**Ilustración 167** - Vista superior del lecho con las uñas de amarre



**Ilustración 168** - Perspectiva del posicionamiento de las uñas de amarre en cama VAUL-189

Por lo que finalmente los puntos de aplicación de la fuerza neumática sobre la tarjeta VAUL-189 en su cama quedan determinados en la siguiente tabla.

Uña de amarre	Posición x (mm)	Pto. Aplicación x (mm)	Pto. Aplicación y (mm)
1	0,8	4,3	21,25
2	0,8	4,3	0,75
3	38,8	42,3	21,25
4	38,8	42,3	0,75
5	70,8	74,3	21,25
6	70,8	74,3	0,75
7	127,7	131,2	21,25
8	127,7	131,2	0,75
9	184,8	188,3	21,25
10	184,8	188,3	0,75
11	241,8	245,3	21,25
12	241,8	245,3	0,75
13	274,5	278	21,25
14	274,5	278	0,75
15	295,8	299,3	21,25
16	295,8	299,3	0,75

**Tabla 40** - Posiciones punto de aplicación de la fuerza del cilindro sobre la tarjeta VAUL-189

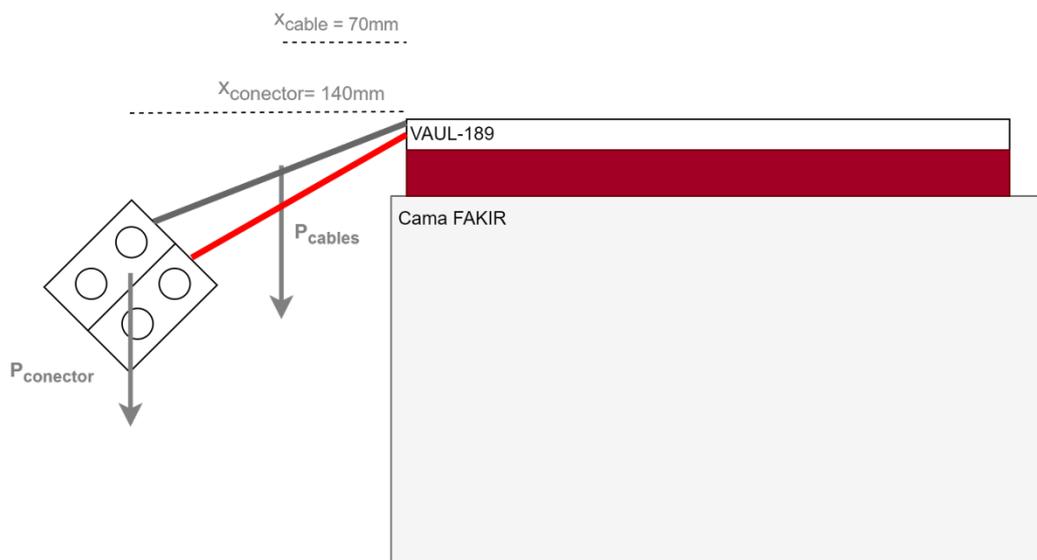
#### 4.6.1.15. Cables de telemando

De manera análoga al análisis realizado para los cables de emergencia y permanencia se realiza para los cables de telemando.

Mencionar de nuevo que el cálculo de los momentos que estos cables generan sobre la tarjeta es complejo ya que no son elementos rígidos y las distancias a su centro de gravedad varían dependiendo de cómo caiga el cable.

La información relativa a las dimensiones y pesos de los cables rojo y blanco se encuentra en la [Tabla 20](#) y la [Tabla 19](#) informa de sus posiciones de soldadura en la tarjeta. En referencia a estas posiciones, aunque no es cierto, se va a suponer que los pad se encuentran a la misma distancia del eje central. Esta consideración deja aplicar el peso de los cables y conector en el eje de la placa a la distancia x que muestra la [Tabla 19](#).

En este caso la distancia al centro de gravedad de estos cables no se va a considerar la mitad de sus longitudes, ya que al estar en uno de los extremos de la placa, va a quedar suspendido. Experimentalmente, poniendo la tarjeta en un borde, intentando simular la posición que pueda tener en el lecho de la cama se mide la distancia en el eje x al centro de gravedad de los cables y del conector (mitad de su longitud)

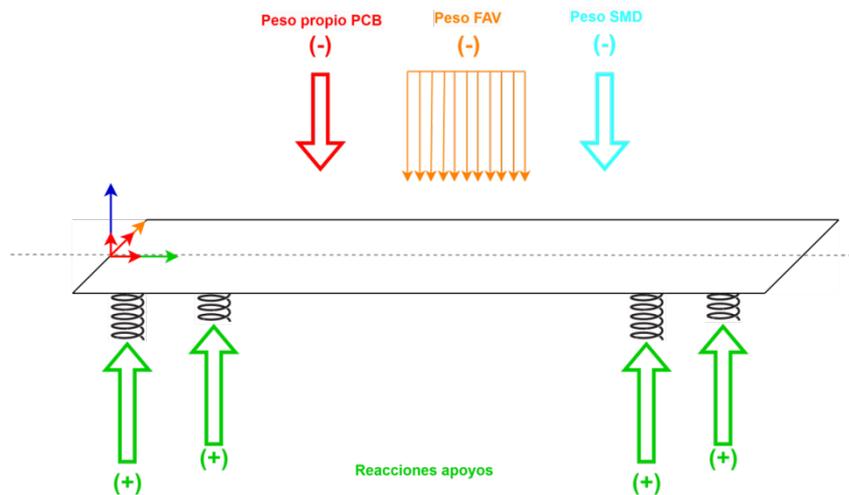


**Ilustración 169** - Determinación experimental distancias centro gravedad con cable suspendido

#### 4.6.2. Situación de estudio

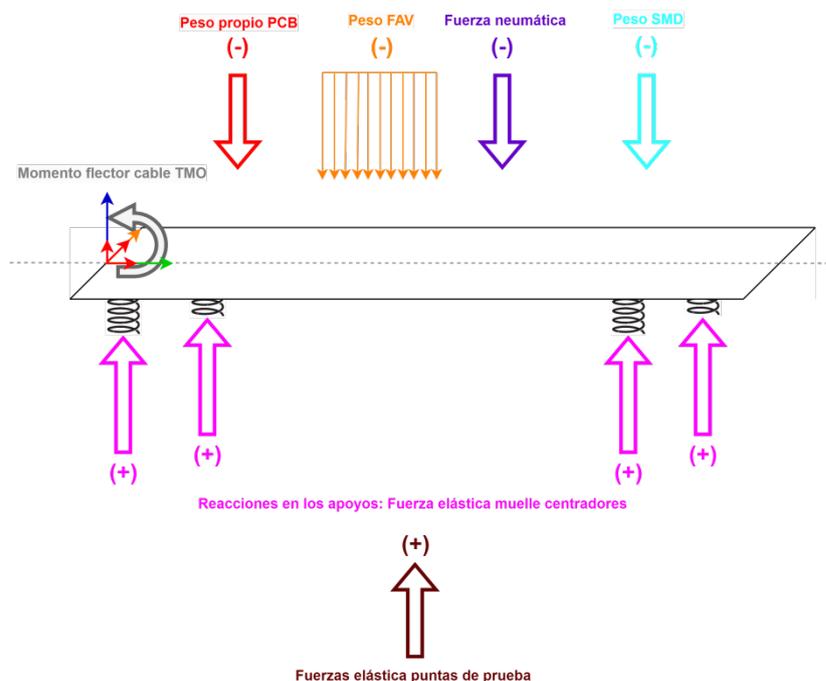
Las dos situaciones por las que pasa la tarjeta son:

- Reposo: es la situación inicial. La tarjeta se deposita en el lecho y se mantiene a la espera del amarre, apoyada sobre los muelles de los centradores.



**Ilustración 170** - Situación de reposo y fuerzas involucradas

- Amarre: se ha producido el amarre y la tarjeta ha descendido (los muelles están comprimidos y las puntas de testeo retraídas tocando las isletas). Se produce el testeo.



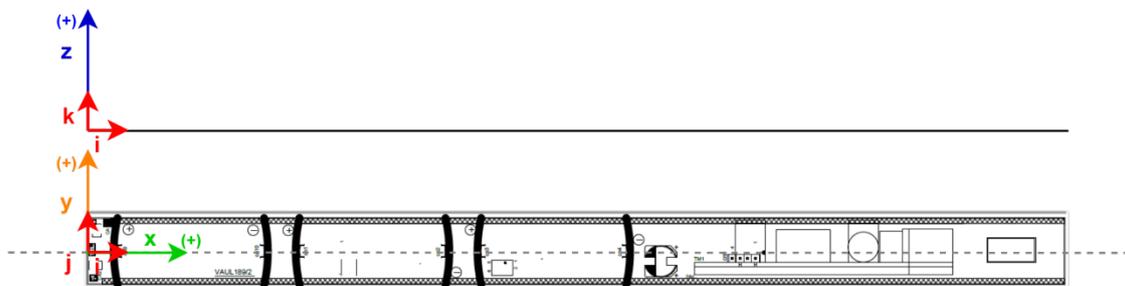
**Ilustración 171** - Situación de amarre y fuerzas involucradas.

En la situación inicial, esperando el amarre, la tarjeta no sufre en principio deformaciones, puesto que simplemente está apoyada en los muelles de los centradores. Al apoyar la tarjeta, su propio peso hará descender ligeramente el muelle, pero se considerará esta compresión insignificante. Se supone también que la tarjeta queda nivelada en los centradores, al no existir unas zonas de la tarjeta con pesos significativos frente a otras. De manera que la tarjeta desciende recta desde el principio.

Interesa, por lo tanto, estudiar la situación final, cuando la tarjeta ya está amarrada y entran en juego la fuerza elástica de los muelles y puntas y la fuerza neumática del cilindro, creándose deformaciones en la tarjeta.

Los siguientes apartados determinarán uno a uno los valores de las fuerzas y momentos. Para ello se hará uso de las suposiciones, diseños y cálculos ya realizados en el apartado previo [4.6.1 Datos y consideraciones de partida](#).

La [Ilustración 127](#) muestra el origen del sistema de coordenadas que se va a utilizar durante todo el análisis, mostrando también los sentidos que se van a considerar positivos y negativos.

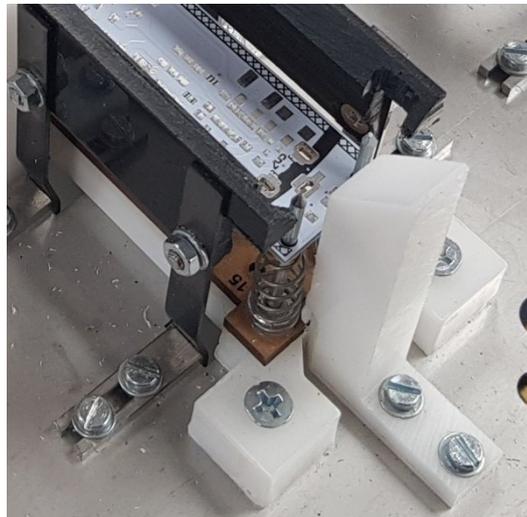


[Ilustración 172](#) - Origen de coordenadas en la placa para el análisis

### 4.6.3. Apoyos

Los apoyos son los puntos a través de los cuales los cuerpos rígidos se fijan. Éstos impiden o restringen el movimiento en una o varias direcciones. El primer paso será identificar estos apoyos en la tarjeta, de acuerdo con el tipo de ligadura que presenten.

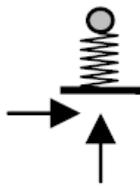
Ya se mencionaba en los primeros apartados que el apoyo de la placa sobre el lecho, mientras se espera el amarre, se produce realmente en el muelle de los [centradores](#). La tarjeta tiene cuatro agujeros, que sirven como guía para el ascenso y descenso de la tarjeta a través de los centradores. Por lo tanto, serán cuatro sus apoyos.



**Ilustración 173** - Detalle apoyo de la tarjeta sobre el muelle del centrador

Al tener cuatro muelles, la tarjeta descansa sobre apoyos que se van a considerar elásticos o flexibles. No son apoyos en el sentido estricto, ya que la condición de ligadura no es conocida sino la relación entre la deformación del muelle y su constante de rigidez. Esta relación es la que permite de alguna manera considerar esta singular ligadura como apoyo.

$$F = k_{\text{muelle}} \cdot \delta_{\text{muelle}} \quad (4.25)$$



$$\begin{array}{ll} dx_N = 0 & R_{xN} \neq 0 \\ dy_N \neq 0 & R_{yN} = -k_{yN} \cdot dy_N \\ \theta_N \neq 0 & R_{MN} = 0 \end{array}$$

**Ilustración 174** - Apoyo elástico

Fuente: Escuela Técnica Superior de Arquitectura (Universidad Politécnica de Valencia)

Los apoyos elásticos restringen parcialmente el movimiento. Tal y como muestra la [Ilustración 131](#) se genera una reacción relacionada con el movimiento parcialmente restringido cuyo valor depende de la rigidez del apoyo. En la dirección en la que no está el muelle el movimiento puede ser restringido o libre, es decir, hay o no reacción respectivamente. En este caso el apoyo es un apoyo fijo y quedan restringidos los desplazamientos en  $x$ . Esto quiere decir que se generan dos reacciones perpendiculares entre sí,  $R_x$  y  $R_z$ .

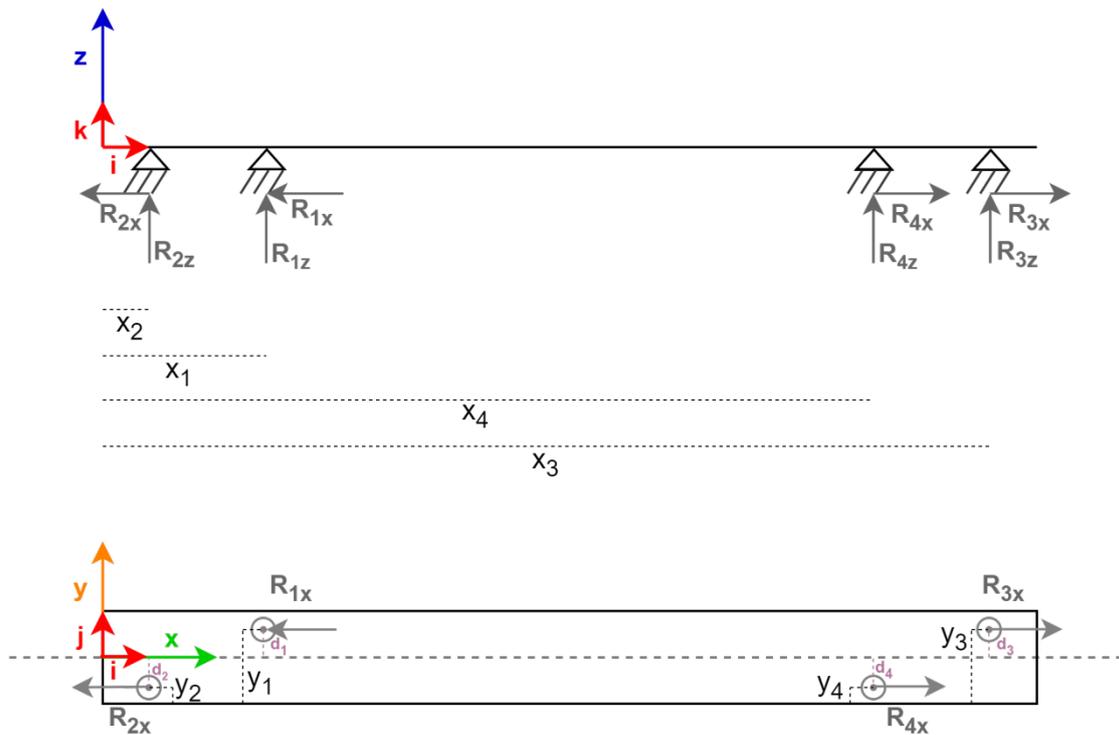
Las reacciones verticales de los apoyos de los centradores en el momento del amarre, teniendo en cuenta que la compresión se produce en el eje  $z$ , quedan de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{R_{1z}} &= (k_{muelle} \cdot z_1) \hat{k} \\ \overrightarrow{R_{2z}} &= (k_{muelle} \cdot z_2) \hat{k} \\ \overrightarrow{R_{3z}} &= (k_{muelle} \cdot z_3) \hat{k} \\ \overrightarrow{R_{4z}} &= (k_{muelle} \cdot z_4) \hat{k} \end{aligned} \tag{4.26}$$

En cuanto a las reacciones horizontales, se supone a priori un sentido arbitrario:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{R_{1x}} &= -C_{1x} \hat{i} \\ \overrightarrow{R_{2x}} &= C_{2x} \hat{i} \\ \overrightarrow{R_{3x}} &= C_{3x} \hat{i} \\ \overrightarrow{R_{4x}} &= -C_{4x} \hat{i} \end{aligned} \tag{4.27}$$

La posición de las reacciones viene dada por la posición de los agujeros centradores. Esta información así como la distancia de dichos agujeros al eje de la placa se encuentra en la [Tabla 16](#) del apartado [4.2.6 Posición de los centradores](#).



**Ilustración 175** - Resultante reacciones en los apoyos

Tanto la variación de longitud que experimenta el muelle ( $z_1, z_2, z_3, z_4$ ) así como su constante elástica son conocidas (véase [Ecuación 4.1](#) y [Ecuación 4.17](#)). Por lo tanto, sustituyendo valores en la [Ecuación 4.21](#):

$$R_{1z} = k_{muelle} \cdot z_1 = 981 \frac{N}{m} \cdot 0,0108 m = 10,60N$$

$$R_{2z} = k_{muelle} \cdot z_2 = 981 \frac{N}{m} \cdot 0,0108 m = 10,60N \quad (4.28)$$

$$R_{3z} = k_{muelle} \cdot z_3 = 981 \frac{N}{m} \cdot 0,0108 m = 10,60N$$

$$R_{4z} = k_{muelle} \cdot z_4 = 981 \frac{N}{m} \cdot 0,0108 m = 10,60N$$

Se obtiene una fuerza elástica de módulo 10,60N en cada apoyo. Llegado este punto cabe mencionar que este valor obtenido es una suposición para facilitar el análisis inicial.

Las deformaciones que sufre la placa pueden hacer que un lado de la placa desciende más que otro, lo que supondría distintas compresiones de los muelles de los centradores y por lo tanto distintas fuerzas elásticas.

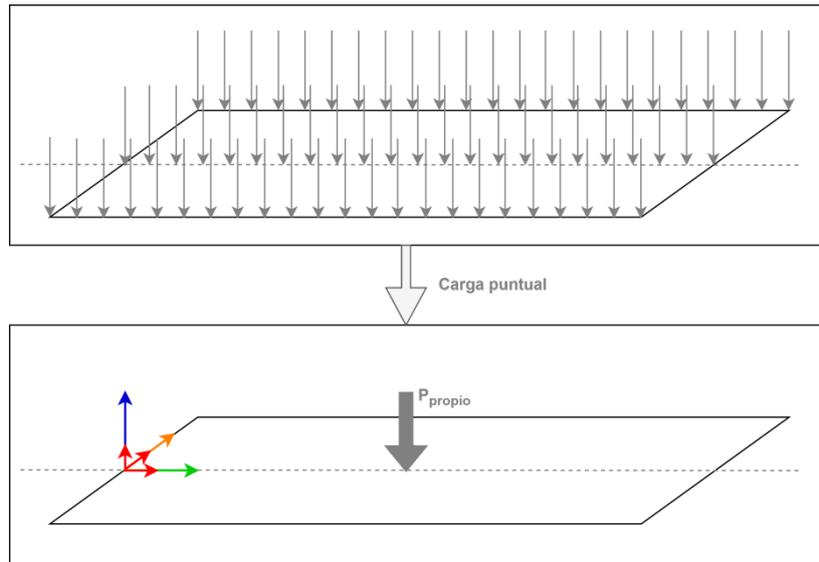
Teniendo conciencia de ello y asumiendo la idealización, se obtiene las componentes verticales de las reacciones en el apoyo.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{R_{1z}} &= 10,6 \hat{k} \\ \overrightarrow{R_{2z}} &= 10,6 \hat{k} \\ \overrightarrow{R_{3z}} &= 10,6 \hat{k} \\ \overrightarrow{R_{4z}} &= 10,6 \hat{k} \end{aligned} \tag{4.29}$$

#### 4.6.4. Pesos

##### 4.6.4.1. *Peso propio: PCB VAUL-189 sin componentes*

El peso propio de la PCB de la VAUL-189 con los LED se ha considerado como una carga uniformemente distribuida. Se aplicará en el centro de masas de la tarjeta, que al tratarse de un rectángulo, de manera rápida se ubica en el centro de la placa (véase Dimensiones en [Tabla 12](#)).



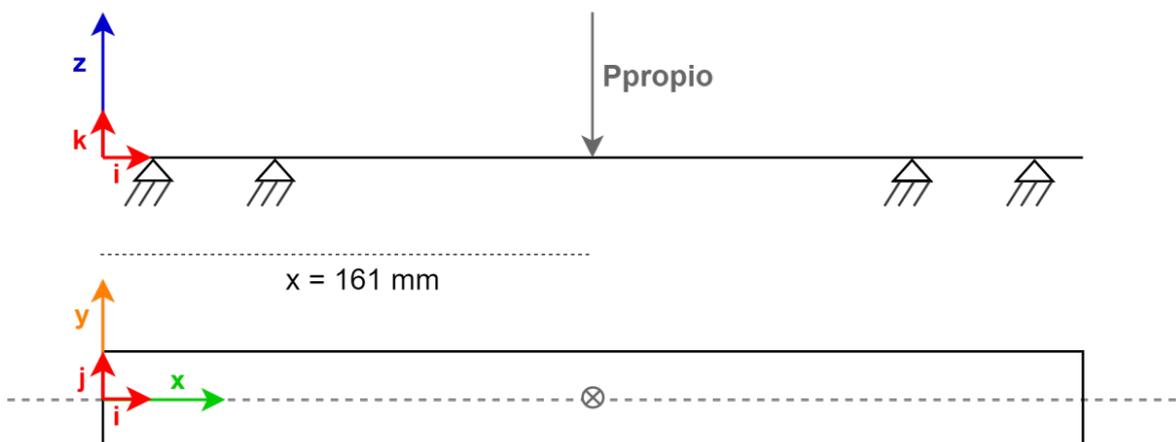
**Ilustración 176** - Resultante peso propio PCB

Para hallar el módulo de esta carga, es de sobra conocido que la aceleración de gravedad  $g$  tiene un valor de  $9,81 \text{ m/s}^2$  y que la fuerza se obtiene de aplicar la 2ª Ley de Newton.

$$\text{Peso}(P) = \text{masa} (m) \cdot g \quad (4.30)$$

$$P_{propio} = 0,025 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,25 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 0,25 \text{ N} \quad (4.31)$$

$$\vec{P}_{propio} = -0,25 \text{ k} \quad (4.32)$$

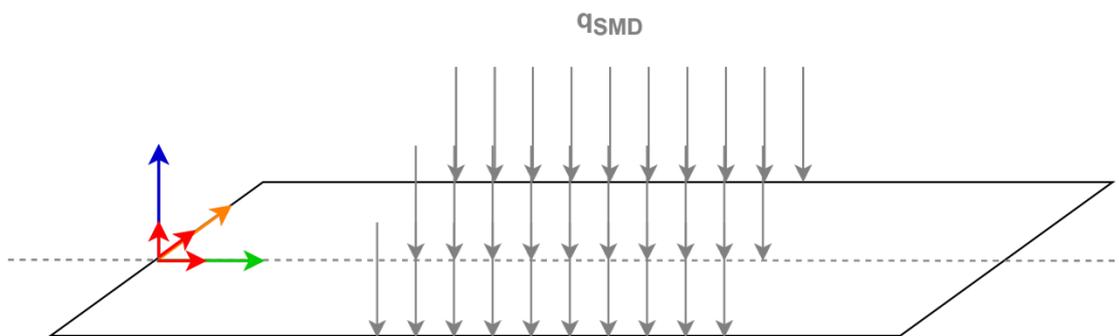


**Ilustración 177** - Resultante peso propio PCB

## 4.6.4.2. Peso componentes SMD

De las consideraciones previas se concluía que el peso de los componentes **SMD** iba a ser aplicado en una zona concreta de la placa situada a 57mm del origen y con 170mm de lado. Se calcula entonces el valor de esta carga uniformemente distribuida como:

$$q_{SMD} = \frac{5g}{170mm} = 0,0294 \frac{g}{mm} = 0,0294 \frac{kg}{m} \rightarrow q_{SMD} = 0,288 \frac{N}{m} \quad (4.33)$$

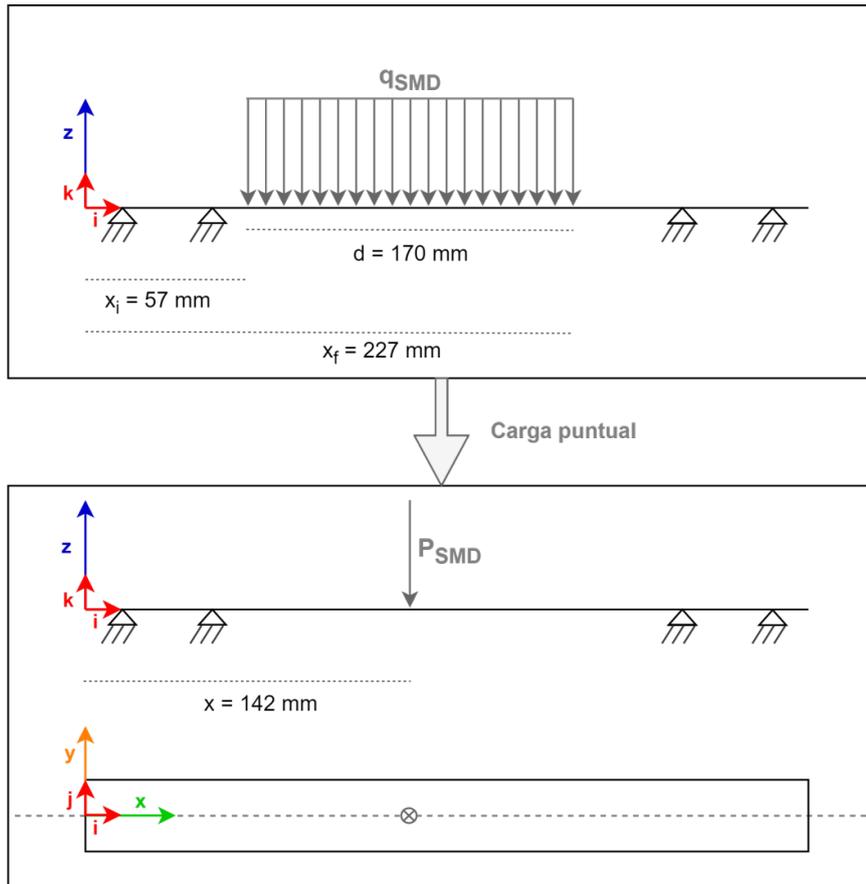


**Ilustración 178** - Carga distribuida componentes SMD

Si se desea representar la carga como una resultante, basta con convertirla en una carga puntual, cuyo valor ya es conocido, el peso de una masa de 5g. Sería lo mismo que multiplicar la carga distribuida calculada por la distancia que abarca dicha carga. El punto de aplicación de la carga puntual es la mitad de esa distancia.

$$P_{SMD} = q \cdot d = 0,288 \frac{N}{m} \cdot 0,170 m = 0,049 N \rightarrow \overrightarrow{P_{SMD}} = -0,049 \hat{k} \quad (4.34)$$

$$P_{SMD} = 0,005 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,049 \frac{kg \cdot m}{s^2} = 0,049 N \rightarrow \overrightarrow{P_{SMD}} = -0,049 \hat{k} \quad (4.35)$$

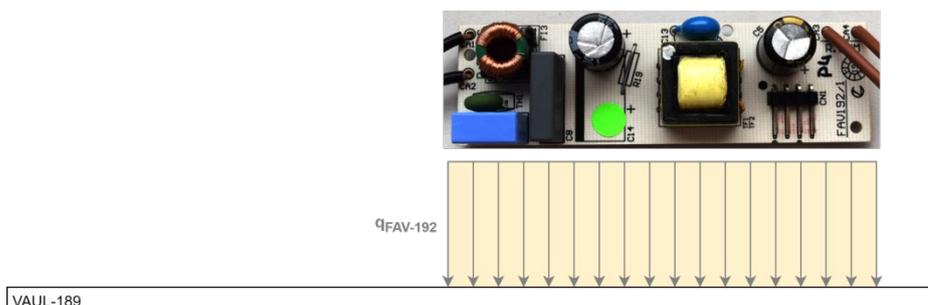


**Ilustración 179** - Peso componentes SMD

4.6.4.3. *Peso tarjeta FAV-192*

La dimensión longitudinal de la tarjeta FAV-192 es de 85 mm y su peso total, incluido cables, de 36 gramos. Para calcular la carga uniformemente distribuida:

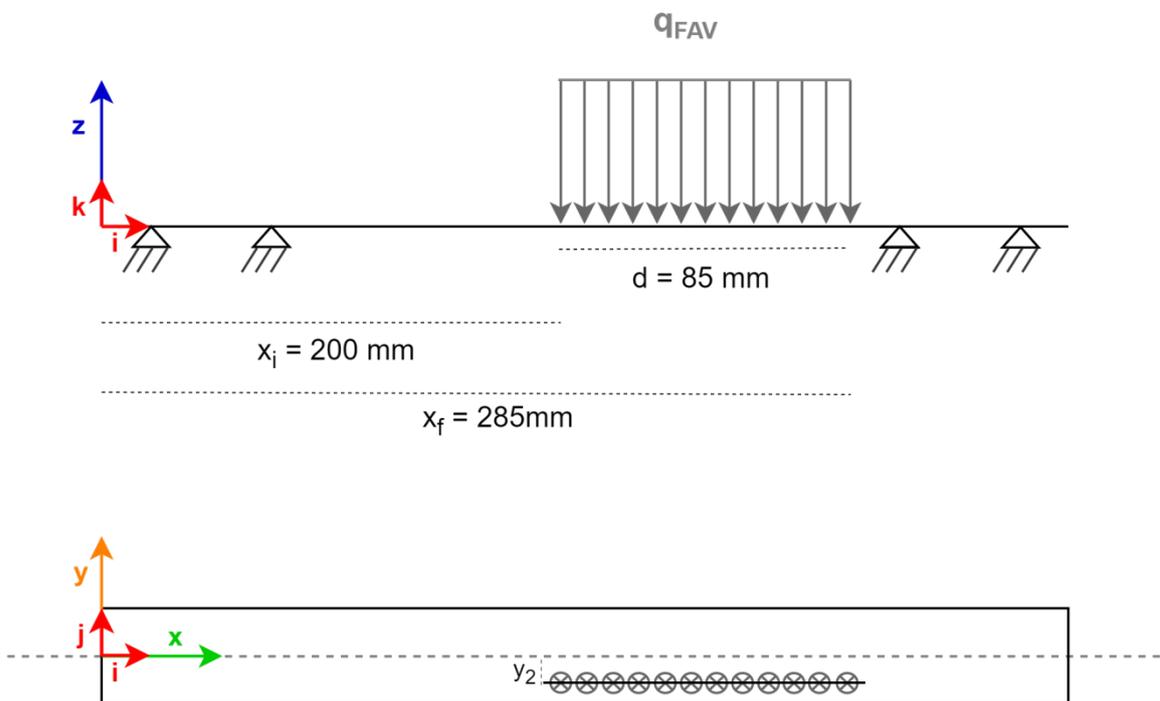
$$q_{FAV} = \frac{36g}{85mm} = 0,423 \frac{g}{mm} = 0,423 \frac{kg}{m} \rightarrow q_{FAV} = 4,15 \frac{N}{m} \tag{4.36}$$



**Ilustración 180** - Carga distribuida peso FAV-192

Para determinar la ubicación de esta carga distribuida es necesario conocer la ubicación de la tarjeta FAV-192 en la VAUL-189. Este proceso se lleva a cabo en el apartado [4.4.1 Posicionamiento de FAV-192 en VAUL-189](#).

$$\overrightarrow{q_{FAV}} = -4,15 \hat{k} \quad (4.37)$$



**Ilustración 181** - Ubicación carga distribuida peso FAV-192

#### 4.6.5. Fuerza elástica puntas de prueba

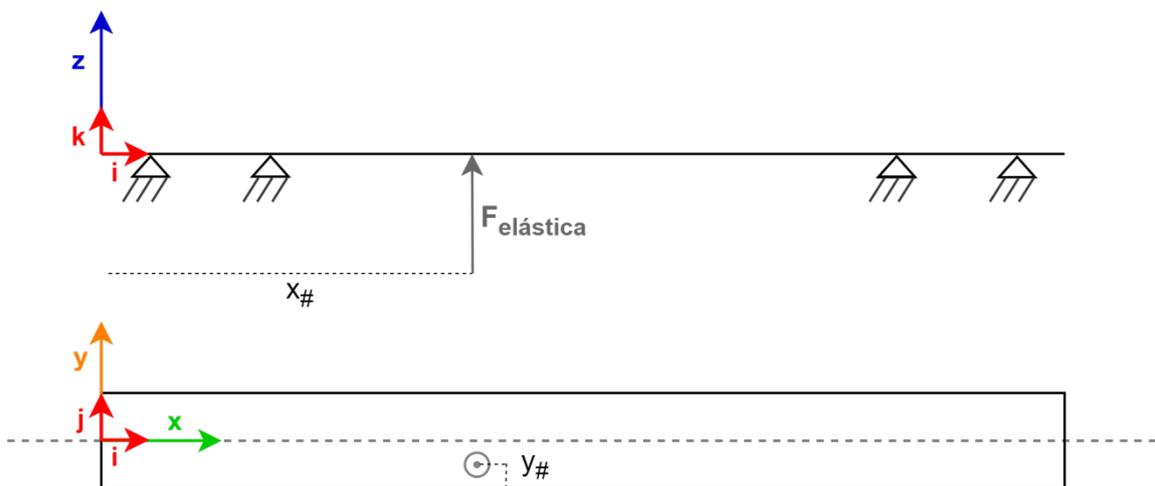
Cuando la tarjeta es amarrada y desciende contra las puntas de testeo, éstas se comprimen. Según el principio de acción-reacción o tercera ley de Newton, que establece que en cada interacción existen dos fuerzas, al ejercer una fuerza sobre las puntas, éstas ejercerán sobre la placa otra fuerza, fuerza elástica o restauradora, de igual dirección y módulo, aunque de sentido contrario. Por lo tanto, la fuerza elástica será:

$$\vec{F} = (k_{punta} \cdot \delta_{punta}) \hat{k} \quad (4.38)$$

Conocido el valor de la  $k$  de la punta y la variación de longitud que experimentan (véase [Ecuación 4.18](#) y [Ecuación 4.19](#)) se puede calcular el módulo de la fuerza elástica en cada una de las 38 puntas:

$$F = 214 \frac{N}{m} \cdot 0,00452m = 0,97 N \quad (4.39)$$

$$\vec{F} = 214 \frac{N}{m} \cdot 0,00452m = 0,97 \hat{k} \quad (4.40)$$



**Ilustración 182** - Fuerza elástica de las puntas de prueba

La aplicación de cada una de estas fuerzas viene dada por la posición de las isletas en el PCB. Esta información se encuentra en la [Tabla 16](#) del apartado [4.2.7 Posición de las isletas](#).

#### 4.6.6. Fuerza neumática del cilindro

La fuerza causante del descenso de la tarjeta, de tal manera que las puntas de testeo toquen las **isletas** del **PCB**, es la fuerza neumática del cilindro a través de las **uñas de amarre** que tocan en distintos puntos a la tarjeta.

En los cilindros neumáticos de doble efecto, como es el caso (véase toda la información relacionada con el cilindro que se usa en las camas Fakir neumáticas en el **apartado 4.5.3**) el **pistón** recibe el aire a presión, alternativamente por ambos lados. El cilindro puede trabajar en ambos sentidos, teniendo carrera de avance y carrera de retroceso.

La fuerza producida por el cilindro de doble efecto en el avance (salida del **vástago**) no es igual a la fuerza que produce en el sentido de retroceso (entrada del **vástago**), ya que la superficie sobre la que actúa la presión del aire es diferente, debido al espacio ocupado por el vástago.

En el caso de las camas neumáticas, el vástago permanece extendido en su estado de reposo, mientras que su retroceso permite la bajada de la tarjeta sobre las puntas. La **Ilustración 142** muestra en detalle los entresijos por dentro de una cama Fakir en funcionamiento. El lecho de la derecha está a la espera, mientras que el de la izquierda está testeando una tarjeta gracias a la carrera de retroceso del cilindro neumático.



**Ilustración 183** - Detalle de la carrera de avance y retroceso del cilindro neumático en cama NLED-201

La fuerza teórica del cilindro es directamente proporcional a la presión de alimentación y a la superficie sobre la que actúa, es decir, la superficie del **pistón**.

$$Fuerza = Presión \cdot Superficie \rightarrow F_{teórica} = P \cdot S \quad (4.41)$$

Como ya se comentaba, la sección de empuje disminuye tanto como sea la sección del vástago en la fase de retroceso. Para calcular el área efectiva del pistón en retroceso se necesita conocer el diámetro tanto del **pistón** como del **vástago**.

$$A_{retroceso} = \pi \cdot \frac{D^2_{pistón} - d^2_{vástago}}{4} \quad (4.42)$$

La [Tabla 31](#) muestra la relación entre ambos diámetros y determina la sección, que se comprueba con la [Ecuación 4.36](#).

$$S_{retroceso} = \pi \cdot \frac{3,2^2 - 1,2^2}{4} = 6,908cm^2 = 6,91cm^2 \quad (4.43)$$

Por lo tanto, una vez conocido el área de retroceso y teniendo en cuenta la presión de trabajo, adecuando unidades en SI y aplicando en la [Ecuación 4.36](#) se obtiene la fuerza neumática que ejerce el cilindro.

$$F_{teórica} = 5 \cdot 10^5 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 6,91 \cdot 10^{-4} m^2 = 345,5 \frac{kg \cdot m}{s^2} = 345,5 N \quad (4.44)$$

Por último, para determinar la fuerza real (el resultado de la [Ecuación 4.38](#) es la fuerza teórica) hay que tener en cuenta que existen perdidas por rozamiento. Por este motivo, la fuerza real del cilindro es igual a la fuerza teórica reducida en un 10-15%. El

caso más desfavorable será para una fuerza neumática mayor, por lo que se aplicará el 10%.

$$F_{cilindro\ neumático} = 345,5 \cdot 0,90 = 310,95\text{ N} \quad (4.45)$$

Atendiendo a la [Ilustración 131](#), la fuerza del cilindro neumático calculada en la [Ecuación 4.39](#) será:

$$F_{cilindro\ neumático} = 310,95 = \text{Peso}_{plataforma} + \sum F_{aplicada\ en\ uña} \quad (4.46)$$

Teniendo en cuenta que el peso de la plataforma ya se había estimado en la [Ecuación 4.24](#), se puede obtener el sumatorio de las fuerzas aplicadas en cada uña de amarre. Si hay un total de 16 uñas de amarre, es decir, 16 puntos de aplicación de esa fuerza, se obtiene rápidamente el valor de la fuerza en cada punto. La [Tabla 37](#) muestra donde se aplican.

$$310,95 = 0,34646\text{ kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 + \sum F_{aplicada\ en\ uña} \quad (4.47)$$

$$\sum F_{neumática\ aplicada\ en\ uña} = 308,75\text{ N} \quad (4.48)$$

$$F_{neumática\ aplicada\ en\ uña} = 19,3\text{ N} \quad (4.49)$$

$$\vec{F}_{neumática\ aplicada\ en\ uña} = -19,3\hat{k} \quad (4.50)$$

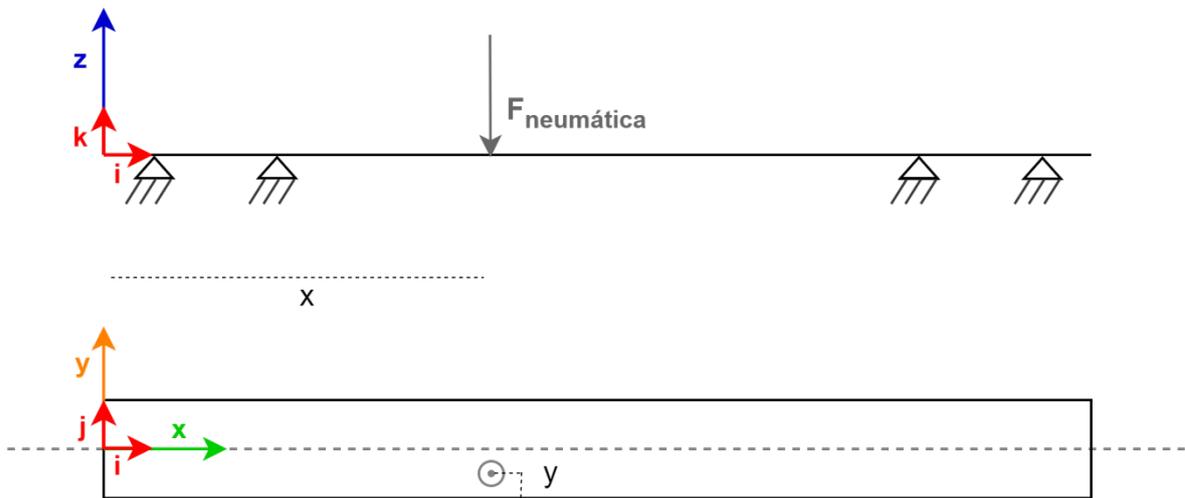


Ilustración 184 -Fuerza neumática

#### 4.6.7. Momento flector: cables telemando

Los cables de telemando soldados en uno de los extremos de la tarjeta tenderán a doblar la tarjeta, ya que aparece un momento flector debido al peso de los mismos.

$$P_{cables} = (0,003kg + 0,002kg) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,049 N \quad (4.51)$$

$$P_{conector} = 0,004kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,03924 N \quad (4.52)$$

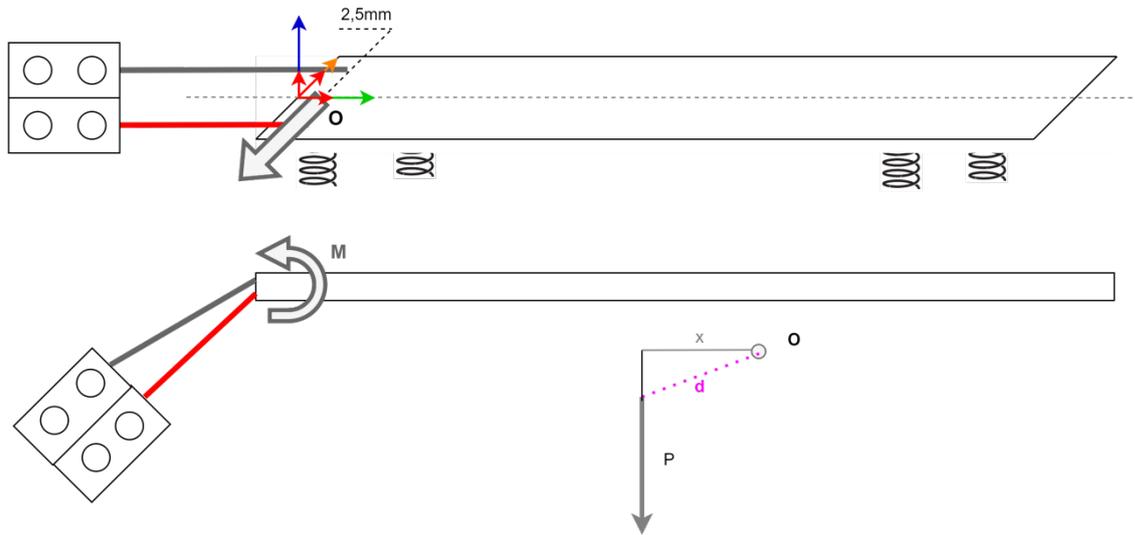
El momento del peso de los cables de telemando aplicado en el eje x del eje central de la placa y situado a 2,5mm del origen de referencia de ese eje (punto que se denomina O) viene dado por el siguiente producto vectorial:

$$M_O = \vec{P} \cdot \vec{d} = P \cdot d \cdot \widehat{\text{sen } Pd} = P \cdot x \quad (4.53)$$

siendo P el módulo de la fuerza, x el brazo de momento, es decir, la distancia a la que se encuentra el punto O de la recta de aplicación de la fuerza y el seno del ángulo complementario del ángulo que forman los dos vectores.

$$M_{cable} = 0,049 \cdot 0,070 + 0,03924 \cdot (0,140 + 0,0081) = 0,00925 \text{ Nm} \quad (4.54)$$

$$\vec{M}_{cable} = -0,00925 \hat{j} \quad (4.55)$$



**Ilustración 185** - Momento flector de cable TMO

## 4.7. Análisis I. Simulación deformaciones

Como ya se comentaba, aprovechando el potencial del paquete Siemens NX, se ha utilizado su módulo FEM para el análisis y simulación de los esfuerzos de la tarjeta. No se ha pretendido realizar un análisis minucioso ni exhaustivo, basta con tener una idea visual de las deformaciones sufridas por la tarjeta.

Aplicar el FEA a este trabajo servirá para conocer el comportamiento, desconocido hasta el momento, que tendría la tarjeta VAUL-189 en una cama neumática tal y como se elaboran hasta la fecha. Además, se utilizará para perfeccionarla y crear un nuevo diseño con el objetivo de garantizar que el amarre sea capaz de ajustarse a las necesidades y especificaciones antes de la elaboración final de la cama. Es decir, minimizar todas las deformaciones posibles en la tarjeta.

En resumidas cuentas el FEA es la aplicación práctica del método de elementos finitos. El método de los elementos finitos, abreviando MEF (FEM según sus siglas en inglés), es un método de aproximación de problemas continuos en el que toda una geometría compleja, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en elementos más pequeños. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, permitiendo a un ordenador hacer las operaciones numéricas con eficiencia.

Este método hace que un número infinito de variables desconocidas sean sustituidas por un número limitado de elementos, que contienen las propiedades estructurales y del material del modelo que definen su comportamiento y cómo responderá éste ante determinadas condiciones. Por ello se denominan “elementos finitos”. Éstos están conectados entre sí por puntos, denominados nodos. El conjunto de elementos y nodos conforman la denominada malla.

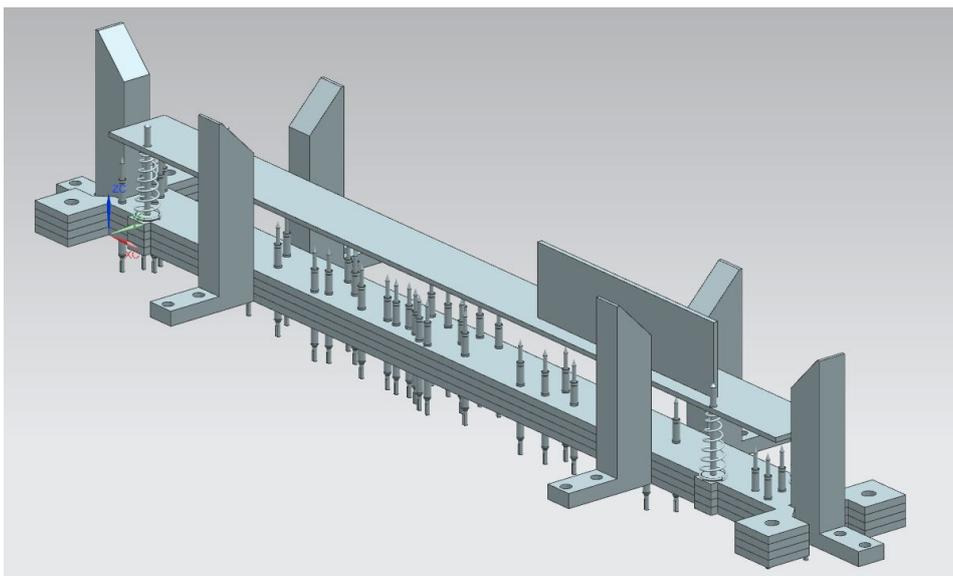
La [Ilustración 146](#) muestra los pasos a seguir en cualquier simulación por elementos finitos y los apartados siguientes desarrollan con más profundidad cada uno de ellos y como se han ejecutado para la tarjeta en cuestión con NX.



**Ilustración 186** - Fases simulación FEM

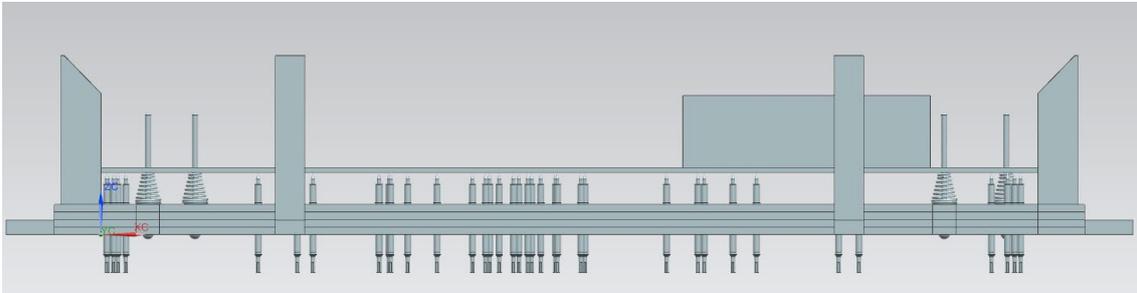
#### 4.7.1. Geometría

La simulación por elementos finitos comienza con el modelado 3D de los componentes a estudiar. Para el análisis de deformaciones de la tarjeta hubiese bastado con dibujarla y simular sus cargas. Pero se ha realizado el montaje con parte de los elementos que conforman el sistema de amarre para facilitar el posicionamiento de estas cargas sobre la tarjeta, sobre todo las relativas a las puntas de testeo.



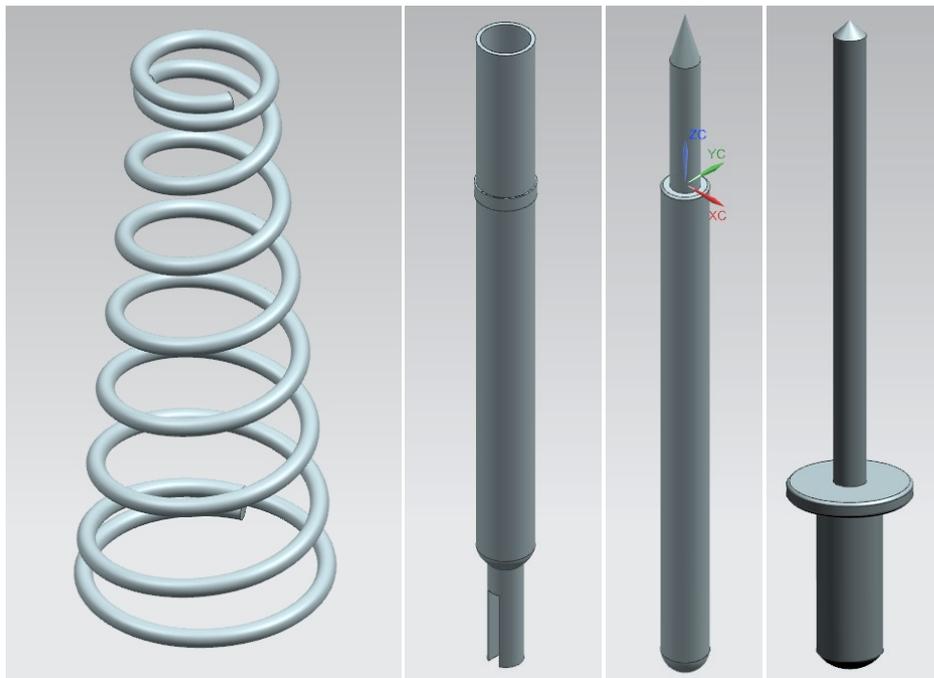
**Ilustración 187** - Modelado 3D del lecho de prueba de una tarjeta en reposo

De esta forma y tal y como se ve en la [Ilustración 133](#), se ha modelado un lecho, de manera sencilla sin incluir los elementos de unión (tornillos, tuercas...). En este montaje se han incluido las tarjetas, muelles, centradores, camisas y puntas de prueba, baquelita y topes de plástico.



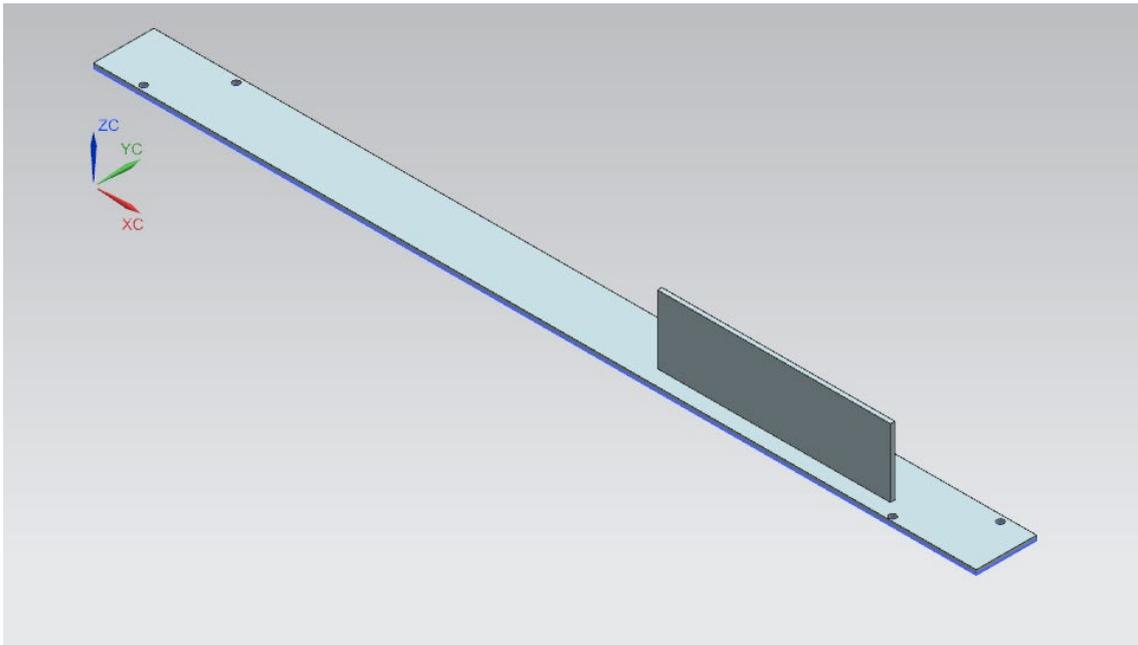
[Ilustración 188](#) - Modelado 3D del lecho de prueba de una tarjeta amarrada

Los muelles, camisas, puntas de prueba y topes de plásticos se dibujan en 3D, atendiendo a sus hojas de características ([apartados 4.6.1](#), [4.6.2](#) y [Plano N°8](#)). Para los centradores, al no disponer de documentación, se miden y contrastan medidas con los documentos de medidas de las camas Fakir. Las tarjetas se dibujan con los datos ya proporcionados en [Tabla 13](#), [Tabla 21](#) y en los [Planos N°2](#), [N°3](#) y [N°4](#) (véase [Ilustración 135](#)).



[Ilustración 189](#) - Modelado 3D muelle, camisa, punta y centrador (izquierda a derecha)

Para las baquelitas se realiza un primer diseño, tomando como referencia la forma y dimensiones de la baquelita diseñada para la cama de la VDG-184 y adaptándola a la posición de los centradores e isletas de la VAUL-189. En este punto del análisis solamente interesa tener ubicadas las posiciones de las puntas de prueba en el lecho. Para facilitar este punto se hace coincidir el origen de las baquelitas con el origen de la tarjeta.



**Ilustración 190** - Modelado 3D de las tarjetas VAUL-189 y FAV-192

Una vez terminado todo el modelado se accede a la aplicación *Preprocesamiento/postprocesamiento* y se crea un archivo de FEM y simulación (véase [Ilustración 44](#)). El entorno del solver elegido es NX Nastran.



**Ilustración 191** - Creación archivo FEM y SIM

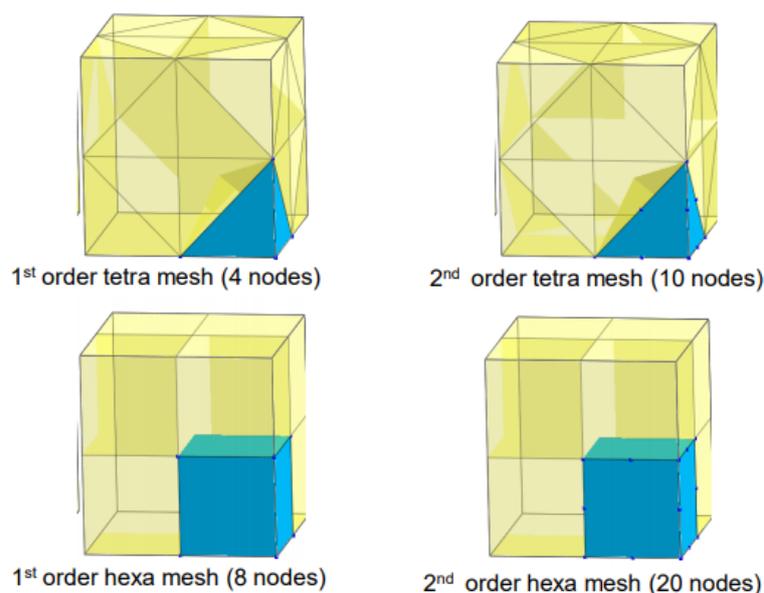
### 4.7.2. Mallado

El mallado es uno de los pasos clave para obtener resultados precisos del modelo FEA. Al subdividirse la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera exacta, sino que lo harán de manera aproximada. La precisión del modelo con la realidad depende de la cantidad de nodos y elementos así como el tamaño y tipo de elementos de la malla.

Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados del análisis. En contraposición se consumirán más recursos para ejecutar el análisis, por lo que si no se dispone de un ordenador potente el análisis puede resultar muy lento.

Las divisiones en las que se fracciona la geometría pueden ser elementos 1D, 2D o 3D en función del modelo a simular. En este caso se podría considerar la tarjeta como una placa, al ser su longitud y su ancho significativamente mayor que su espesor pero se modelizará en 3D para tener en cuenta también esta dimensión.

Existen dos tipos principales de elementos 3D: los elementos tetraédricos (4 caras y 4 nodos) y los elementos hexaédricos (6 caras y 8 nodos). Los elementos de segundo orden, denominados elementos cuadráticos, añaden un nodo medio a cada borde.



**Ilustración 192** - Tipos principales de elementos 3D

Fuente: [www.ingenieriy mecanicaautomotriz.com](http://www.ingenieriy mecanicaautomotriz.com)

El mallado en 3D por excelencia de NX es tetraédrico y es bastante conveniente para el modelo en estudio. En la tarjeta VAUL-189, a pesar de tener una forma rectangular, el uso de elementos triangulares se adapta mejor a la geometría debido a los agujeros centradores. La adaptabilidad de los triángulos es mejor para zonas curvas aunque incrementa el tiempo de simulación, que debido a la sencillez de la geometría tampoco va a ser notable.

Definida la geometría es necesario determinar varios parámetros más: grado de polinomio y tamaño del elemento. Los elementos de la malla están definidos por polinomios de cuyo grado depende la aproximación del modelo. Con un polinomio lineal la malla puede ser muy rígida y puede que no se adapte bien a las deformaciones que pueda sufrir la tarjeta. Sin embargo un polinomio de grado 2 tiene una adaptabilidad mayor, lo que implica que pueda realizar cualquier movimiento, asumiendo siempre un error. Por lo tanto se escogen elementos tetraédricos de grado 2 (10 nodos) para el análisis de la tarjeta.

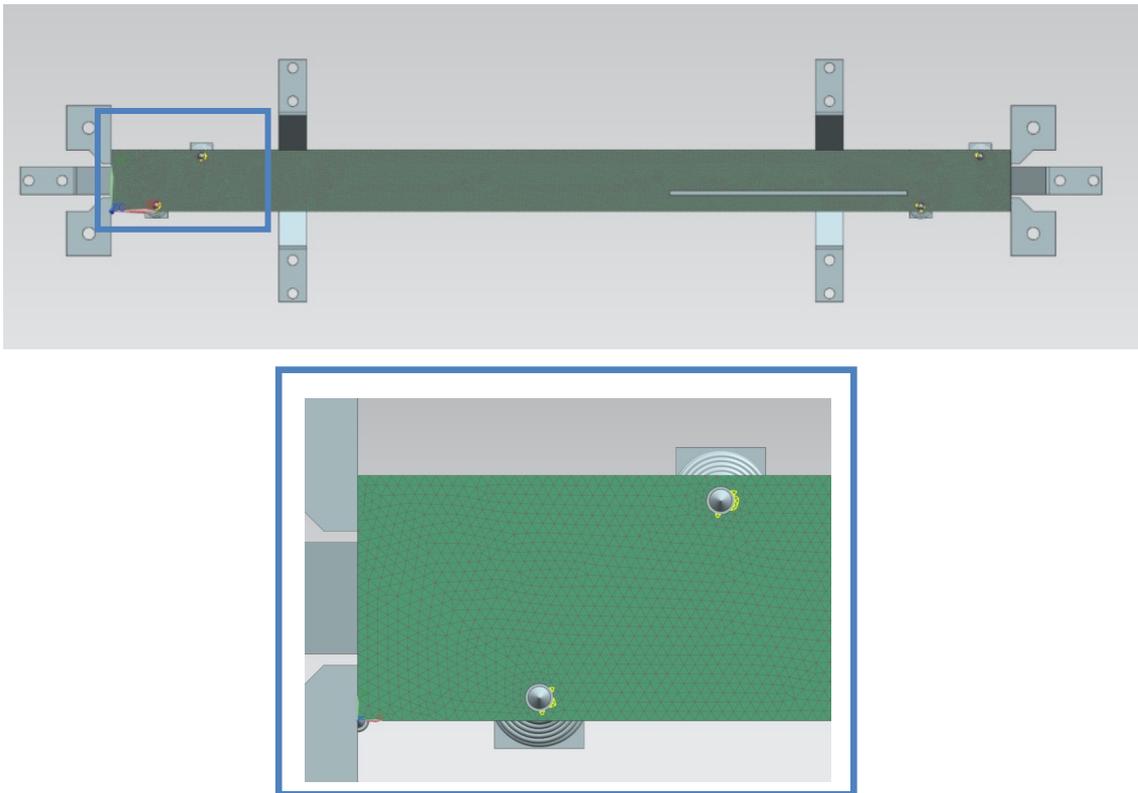
El tamaño del elemento se determina de manera experimental, comprobando la calidad del mallado con la opción que incluye NX. De esta manera se selecciona aquel con el que se obtenga una mejor malla.

Tamaño elemento (mm)	Total elementos	Elementos fallidos	Elementos de aviso	%Elementos de aviso
0,4	944521	0	791263	83,77%
0,6	337624	0	5317	1,57%
0,8	145345	0	882	0,61%
<b>1</b>	<b>89546</b>	<b>0</b>	<b>61</b>	<b>0,07%</b>
1,1	44792	0	36	0,08%
1,2	36782	0	15	0,04%
1,3	31235	0	10	0,03%
1,4	27025	0	0	0%
1,35	29533	0	2	0,01%
1,36	29235	0	0	0%

**Tabla 41** - *Tamaño de elementos más adecuado para el mallado*

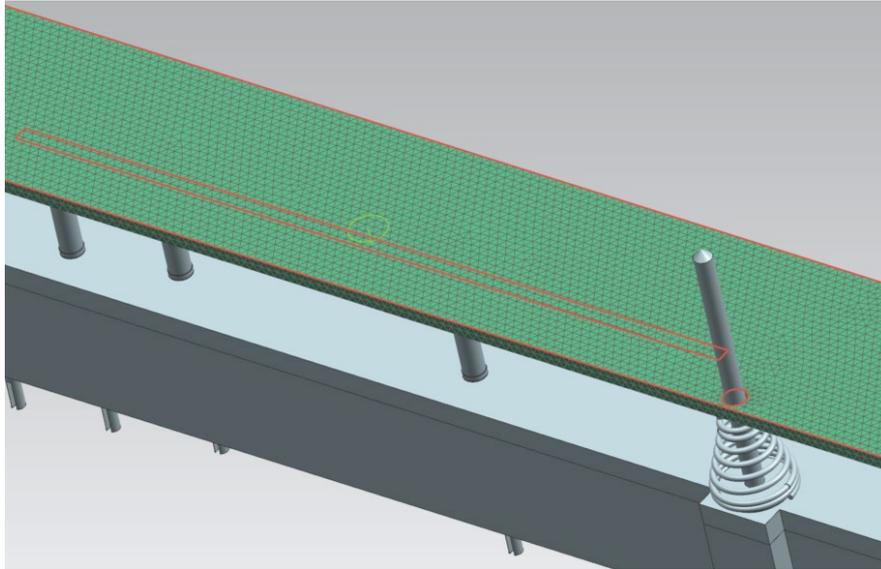
A simple vista observando la [Tabla 34](#) parece que el tamaño de elemento idóneo es 1,36 mm para obtener una malla perfecta sin elementos de aviso. Pero teniendo en

cuenta que a partir de 1mm el porcentaje de elementos de aviso es menor que el 0,1% y que la cantidad de elementos es considerablemente mayor que para 1,6mm, se escoge la opción de 1 mm de tamaño para el mallado. De esta manera se consigue una mayor cantidad de nodos y una malla más densa, así como más precisión. La siguiente ilustración muestra la calidad de la malla. En verde los elementos correctos y en amarillo los elementos de aviso, que como puede verse se concentran sobre todo en los agujeros.



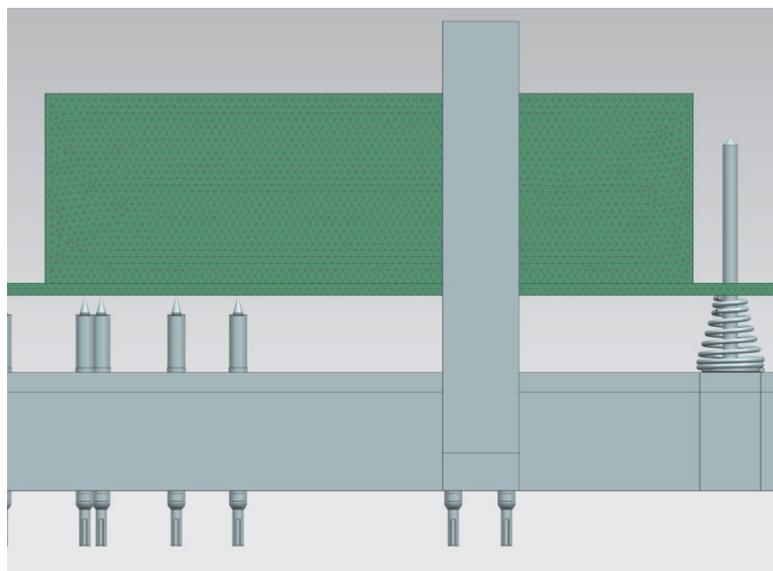
**Ilustración 195** - Detalle calidad mallado VAUL-189

Por otro lado es ya conocido que la tarjeta FAV-192 va soldada en la VAUL-189. Para simplificar el modelado de la soldadura y con el fin de hacer el análisis más sencillo, lo que se hace es un acoplamiento de mallas. Con esta opción se puede acoplar la malla 3D de la tarjeta VAUL-189 con la malla 2D de la cara de contacto de la FAV-192. De esta manera se delimita en el mallado de la tarjeta base la zona donde se van a simular las cargas de la tarjeta enchufable.



**Ilustración 196** - *Detalle acoplamiento de mallas*

Para poder realizar este paso es necesario que ambas tarjetas estén malladas. Con la malla de la tarjeta FAV-192 se utiliza el mismo criterio, es decir, mallado tetraédrico 3D de 10 nodos con tamaño de elemento 1mm. La calidad obtenida es óptima, ya que se obtienen 0 elementos fallidos y de aviso y un total de 25309 elementos.



**Ilustración 197** - *Detalle calidad mallado FAV-192*

Además, al tener las dos tarjetas malladas y acopladas, se podrán visualizar las deformaciones en ambas.

### 4.7.3. Materiales

Ni FR-4 ni CEM1, materiales de las PCB de la VAUL y FAV respectivamente, se encuentran entre los materiales de la biblioteca de NX. Atendiendo a las propiedades de FR-4, véase [apartado 4.5.5](#), se añade dicho material en las bases de datos del software.

Como interesa principalmente la simulación sobre la VAUL-189 se asigna a ambas tarjetas el material FR4.

### 4.7.4. Cargas y restricciones

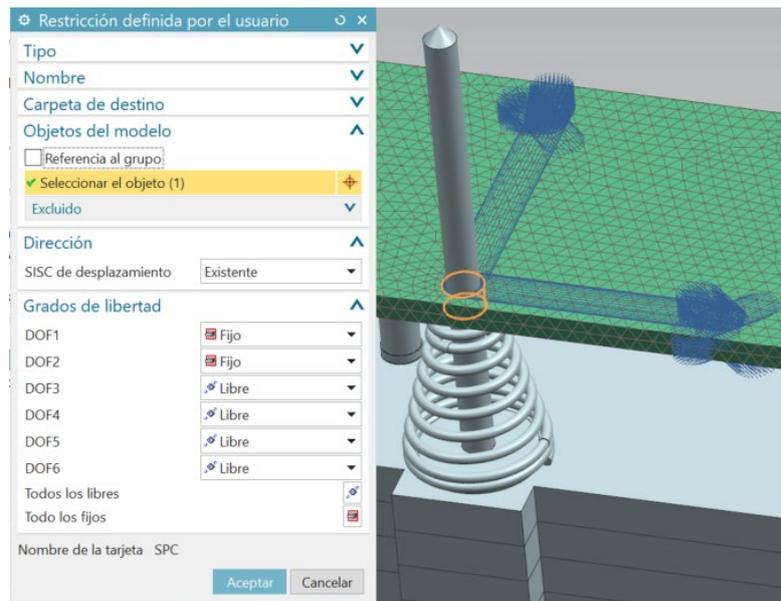
Para simular el efecto de un amarre, se pueden aplicar varios tipos de carga al modelo de elementos finitos, entre los que se encuentran las cargas nodales (fuerzas, momentos, desplazamientos) y las cargas elementales (cargas distribuidas). Estas fuerzas y momentos ya han sido analizadas y determinadas en el apartado [Cálculos I](#), por lo que en este apartado se explica cómo se van aplicando al modelado de la tarjeta.

#### 4.7.4.1. Apoyos y fuerza elástica muelles de los centradores

En este caso, al estar trabajando en tres dimensiones existen 6 posibilidades de movimiento, esto es, 6 grados de libertad. Tres desplazamientos y tres rotaciones, cada uno en la dirección X, Y y Z.

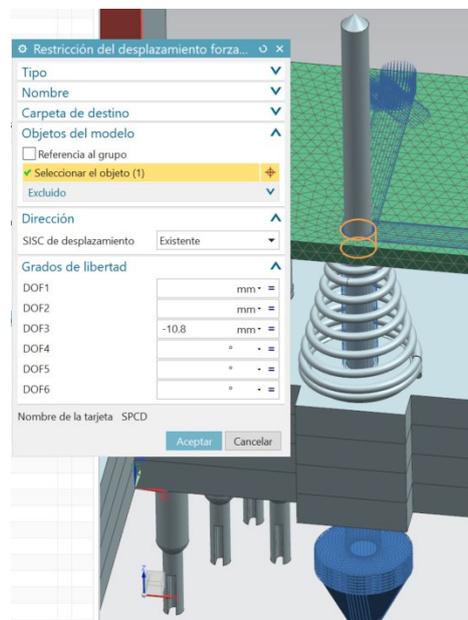
Por lo tanto, para la simulación hay que definir las restricciones en los 6 grados de libertad. Del análisis se concluye que los apoyos son elásticos y que el movimiento tanto en el eje X como en el eje Y están totalmente restringidos, por lo tanto son fijos.

El eje Z tiene el movimiento parcialmente restringido, por lo que se considerará como libre, añadiéndole más tarde una restricción de movimiento. La rotación respecto a los tres ejes está permitida.



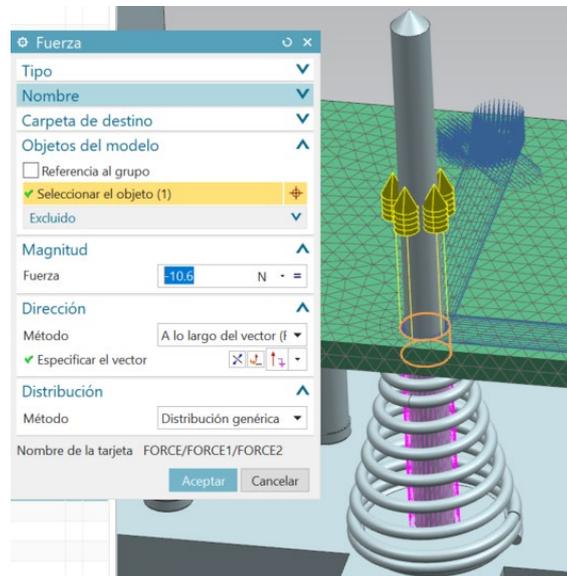
**Ilustración 198** - Restricciones para los apoyos.

Como ya se comentaba, la tarjeta tiene restricciones en cuanto al movimiento a lo largo del Z, debido a las limitaciones de la altura de la plataforma y a la carrera del cilindro. La tarjeta desde su posición de reposo hasta su posición de amarre recorre 10,8mm (véase Ecuación 4.13).



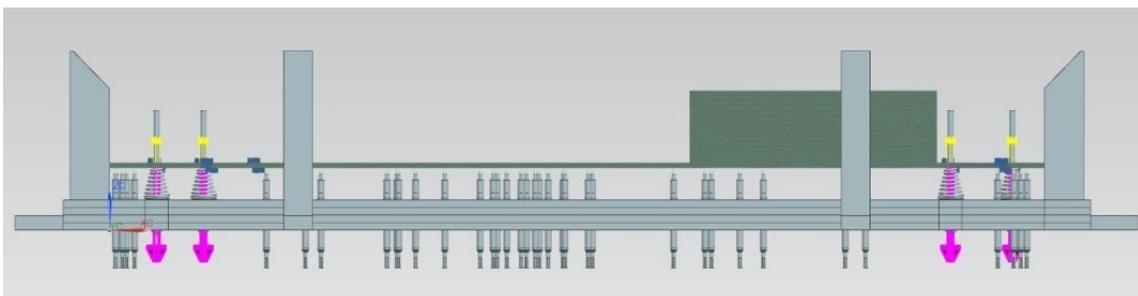
**Ilustración 199** - Restricciones de desplazamiento Z en los apoyos

Por último hay que añadir la fuerza de recuperación elástica que ejercen los muelles sobre la tarjeta, que se ha determinado en 10,60N (véase [Ecuación 4.24](#)).



**Ilustración 200** - Fuerza elástica muelle centradores

De esta manera quedaría configuradas todas las restricciones y fuerzas de los centradores de la tarjeta, es decir, en sus apoyos.

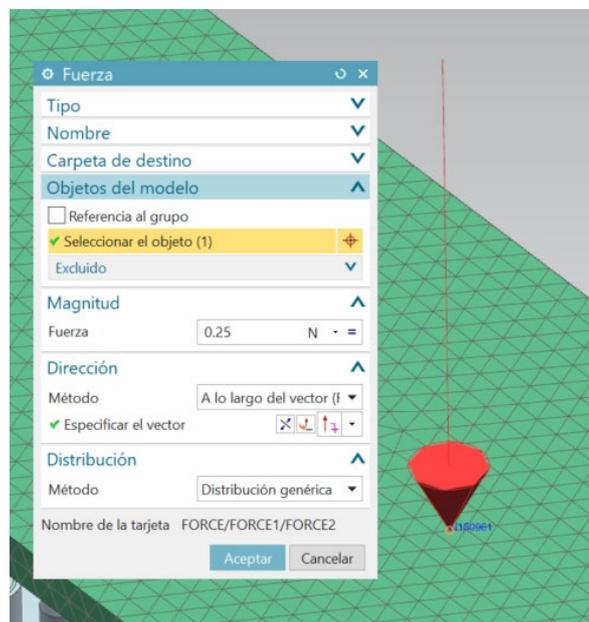


**Ilustración 201** - Restricciones y fuerzas en los apoyos.

#### 4.7.4.2. *Peso propio PCB*

La carga distribuida del peso propio de la PCB, convertida en fuerza puntual, será una fuerza nodal que se aplique en un nodo ubicado en la zona central de la placa.

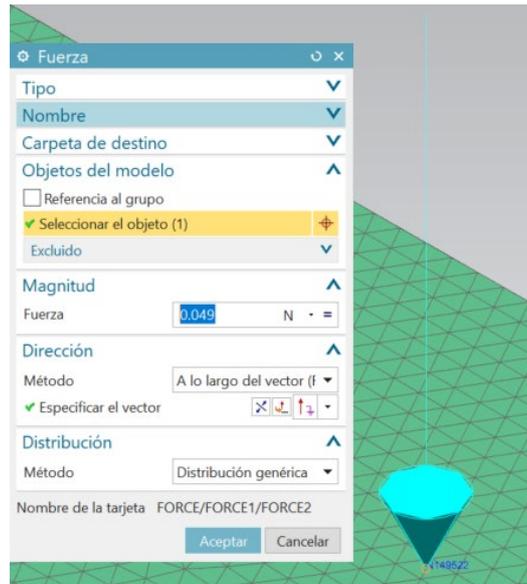
Esta fuerza debe ir situada a 161mm en el eje X respecto al origen de referencia y a 11 mm en el eje Y respecto a éste. Por ello, hay que encontrar un nodo ubicado aproximadamente en ese punto (161,11). El nodo más cercano es el 150961, ubicado en las coordenadas (159,9927, 11,0019).



**Ilustración 202** - *Peso PCB VAUL-189*

#### 4.7.4.3. *Peso componentes SMD*

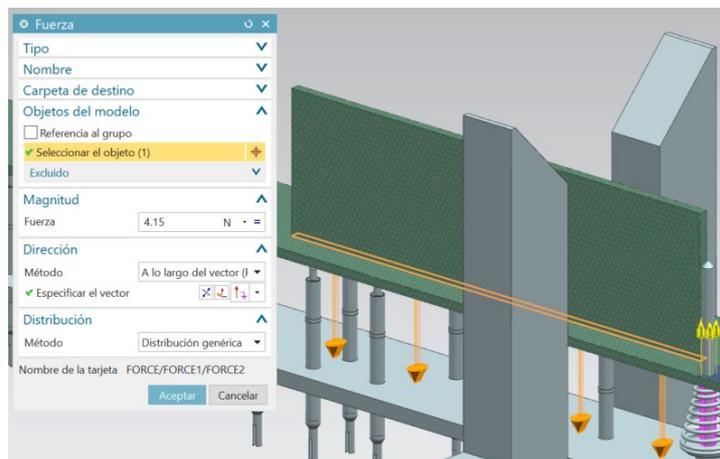
Para aplicar el peso de los componentes **SMD** se procede de igual manera que con el peso de la **PCB**. Esta fuerza distribuida convertida en fuerza puntual se ha de situar en las coordenadas (142,11). El nodo más próximo a esas coordenadas es el 149522 ubicado en (142,0070, 10,9940).



**Ilustración 203** - *Peso componentes SMD*

#### 4.7.4.4. *Peso tarjeta FAV-192*

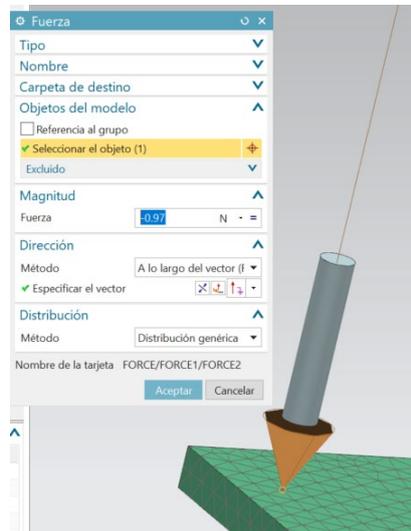
La carga uniformemente distribuida correspondiente al peso de la FAV-192 se aplica directamente en la cara creada a partir del acoplamiento de las mallas de ambas tarjetas.



**Ilustración 204** - *Peso tarjeta FAV-192*

#### 4.7.4.5. Fuerza elástica puntas de prueba

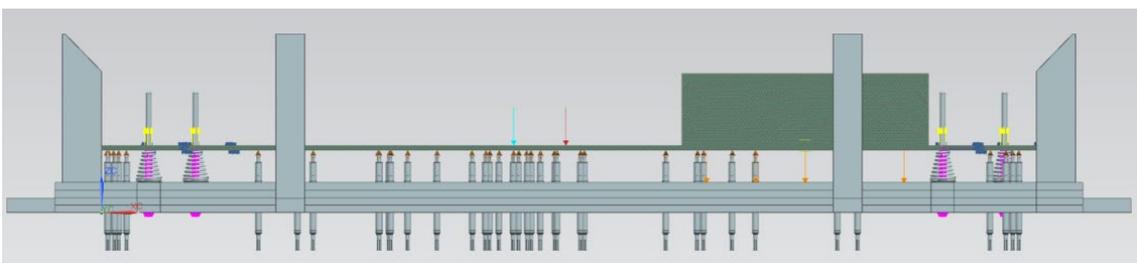
Al tener las puntas de prueba modeladas y en situación de amarre, es decir, en contacto con la cara inferior de la tarjeta, la ubicación de las fuerzas elásticas de las puntas es muy rápida.



**Ilustración 205** - Fuerza elástica de las puntas de prueba

Estas fuerzas nodales se aplicarán en los nodos más cercanos a la posición de cada punta. Para facilitar el trabajo, tal y como muestra la [Ilustración 168](#), se han ocultado los topes de plástico, baquelita y camisas de las puntas. Además se rota la tarjeta para tener una visión de la cara inferior.

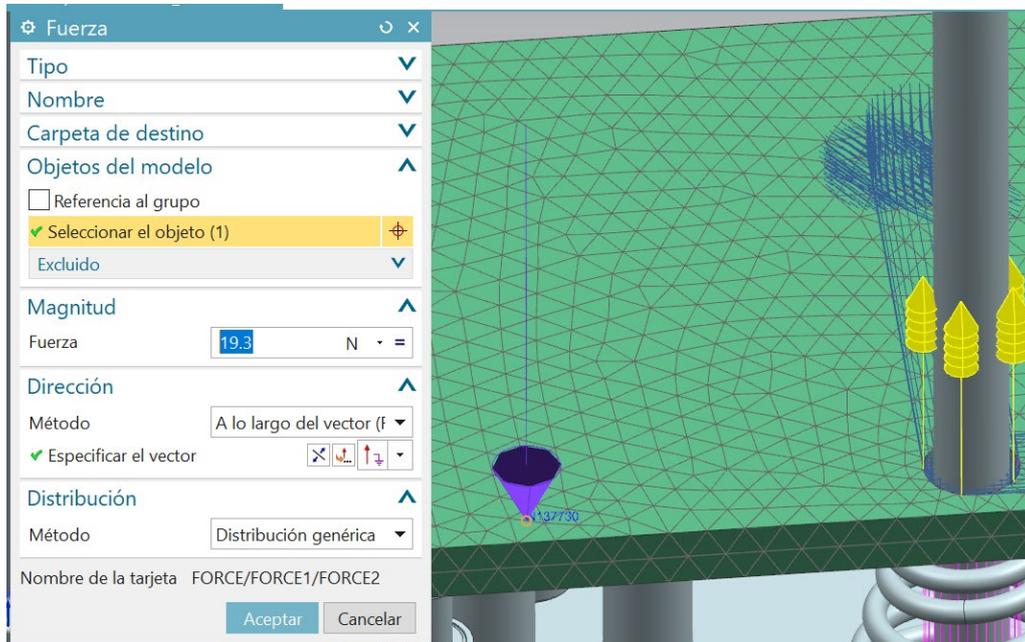
Algunas fuerzas quedan un poco descentradas respecto a la punta al no haber un nodo próximo. Pero teniendo en cuenta que las desviaciones son inferiores a 0,5mm se consideran despreciables y asumibles.



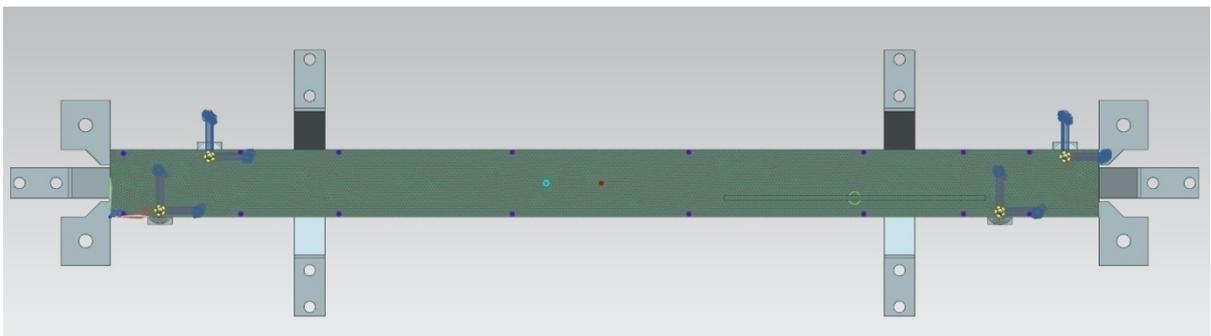
**Ilustración 206** - Fuerzas elásticas en todas las puntas

#### 4.7.4.6. Fuerza neumática del cilindro

De igual manera que en los casos anteriores se van aplicando las fuerzas en los nodos más próximos a sus puntos de aplicación según [Tabla 37](#).



**Ilustración 207** - Fuerza neumática aplicada, simulando una uña

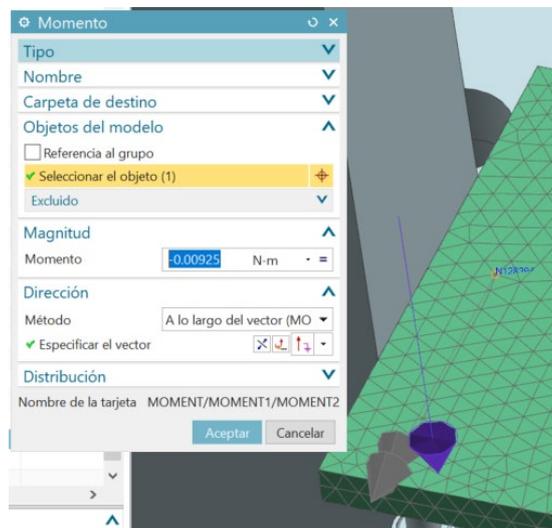


**Ilustración 208** - Fuerza neumática aplicada en todos los puntos de contacto

#### 4.7.4.7. Momento flector

Por último para terminar con las cargas sobre la tarjeta en el análisis inicial se añade el momento flector (momento en la dirección del vector  $y$ ) en el nodo más cercano al punto de coordenadas (2,5mm, 11mm). Esto es, la posición del punto donde

se sueldan los cables en el eje central de la placa. El nodo más cercano es el N128394 (2,5330, 11,3229)



**Ilustración 209** - *Momento flector de los cables telemando*

# 5. Planos

---

**PLANO N°1** – Isométrico PCB (VAUL-189)

**PLANO N°2** – Dimensiones PCB y posición centradores (VAUL-189)

**PLANO N°3** – Posicionamiento de FAV-192 en VAUL-189. Dimensiones FAV-192

**PLANO N°4** – Isométrico Baquelita VAUL-189

**PLANO N°5** – Dimensiones Baquelita VAUL-189

**PLANO N°6** – Topes de plástico

**PLANO N°7** – Uñas de amarre

**PLANO N°8** – Pestaña uña de amarre cama Fakir

**PLANO N°9** – Isométrico Plataforma

**PLANO N°10** – Dimensiones Plataforma

**PLANO N°11** – Isométrico lateral plataforma

**PLANO N°12** – Dimensiones lateral plataforma

**PLANO N°13** – Tapa soporte

1

2

3

4

5

6

A

A

B

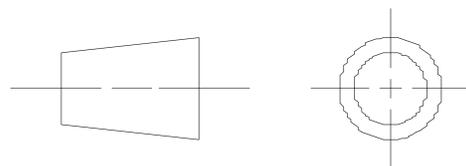
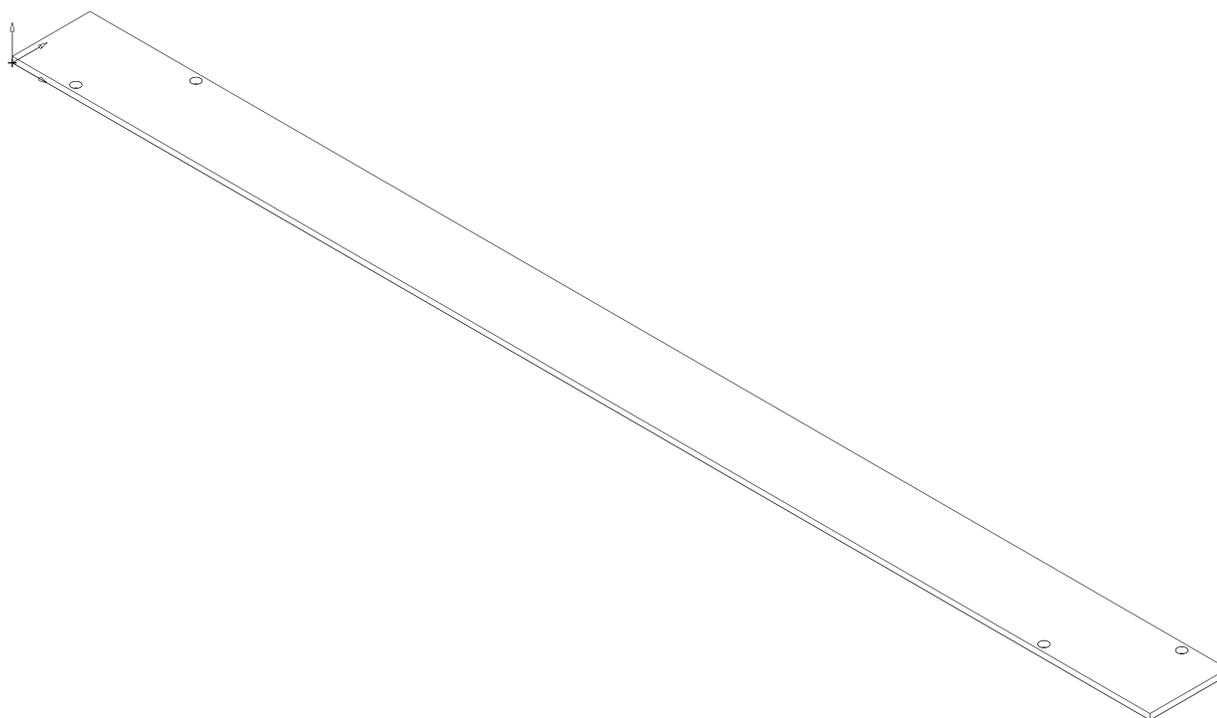
B

C

C

D

D



ALL DIMENSIONS IN mm

# UPV-EHU

# DAISALUX

Elaborado por: Leire Monforte

Fecha elaboración: 23/05/2023

Actualizado por:

Fecha actualización:

Número plano: 1

Título:

VAUL-189

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
------	---------	-----------

A4	Isométrico PCB	A
----	----------------	---

SCALE 1:2	SHEET 1 OF 2
-----------	--------------

1

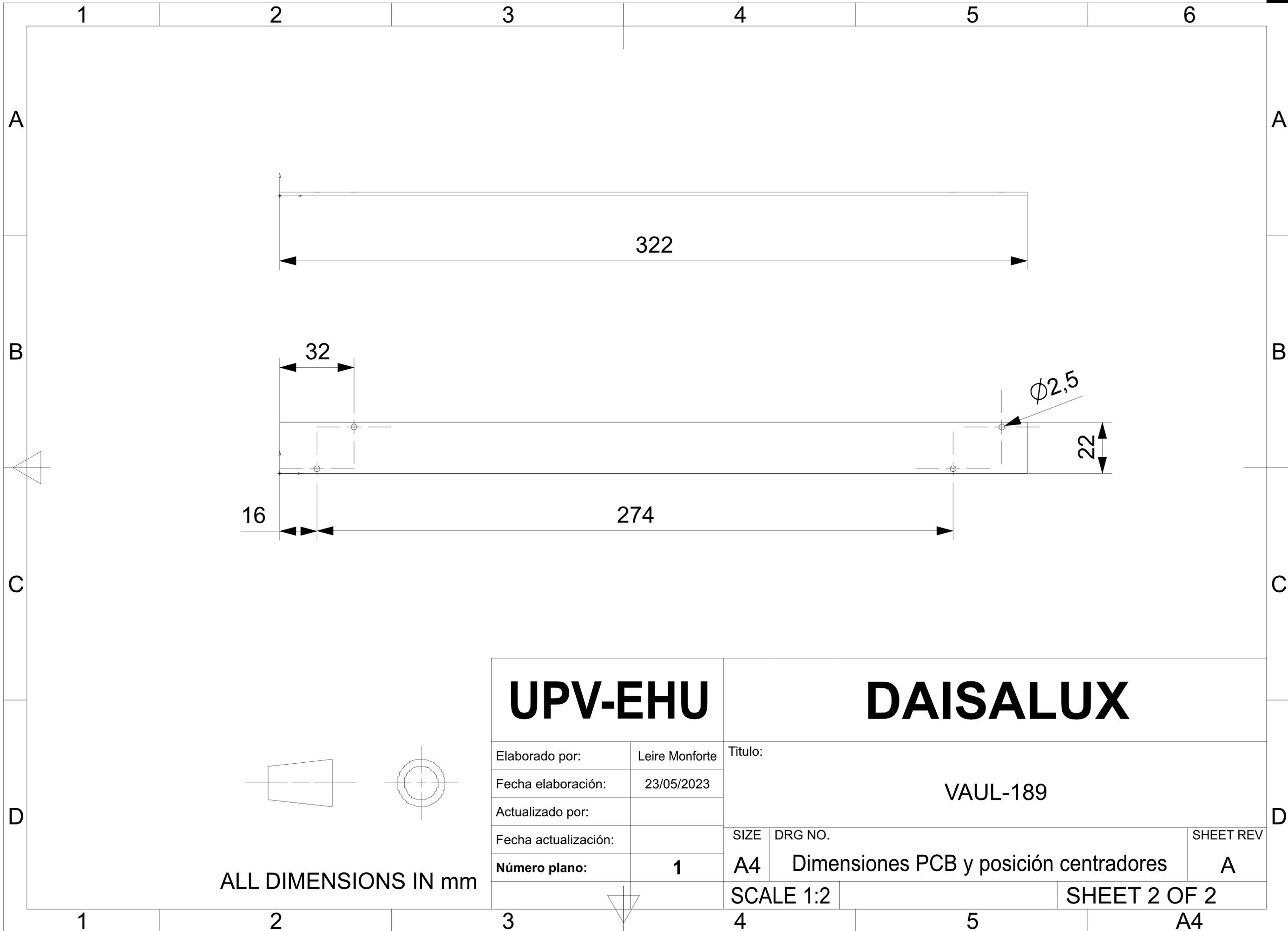
2

3

4

5

A4



ALL DIMENSIONS IN mm

<b>UPV-EHU</b>		<b>DAISALUX</b>		
Elaborado por:	Leire Monforte	Titulo: <b>VAUL-189</b>		
Fecha elaboración:	23/05/2023			
Actualizado por:		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
Fecha actualización:		A4	Dimensiones PCB y posición centradores	A
Número plano:	<b>1</b>	SCALE 1:2		SHEET 2 OF 2
				A4

1

2

3

4

5

6

A

A

B

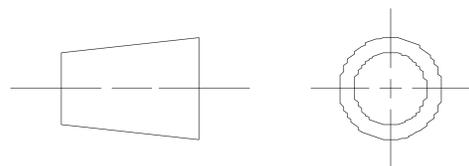
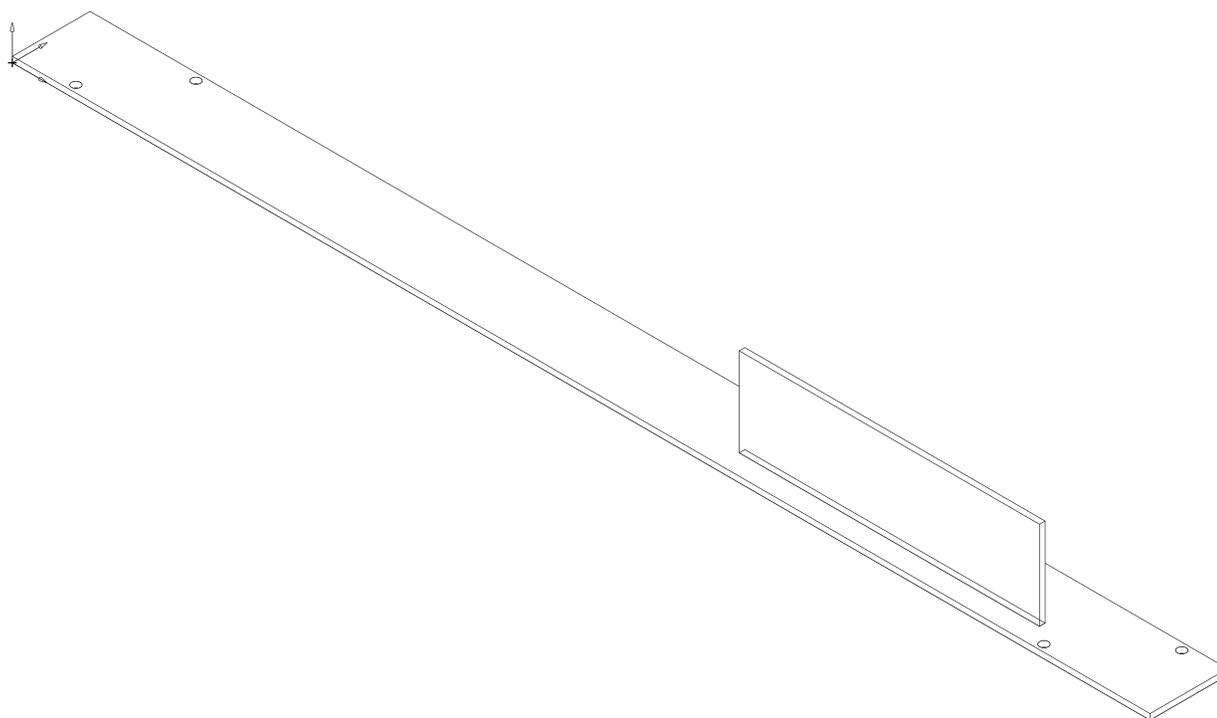
B

C

C

D

D



ALL DIMENSIONS IN mm

# UPV-EHU

# DAISALUX

Elaborado por: Leire Monforte

Título:

Fecha elaboración: 23/05/2023

VAUL-189

Actualizado por:

Fecha actualización:

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	Isométrico PCB	A

Número plano: 1

SCALE 1:2 SHEET 1 OF 2

1

2

3

4

5

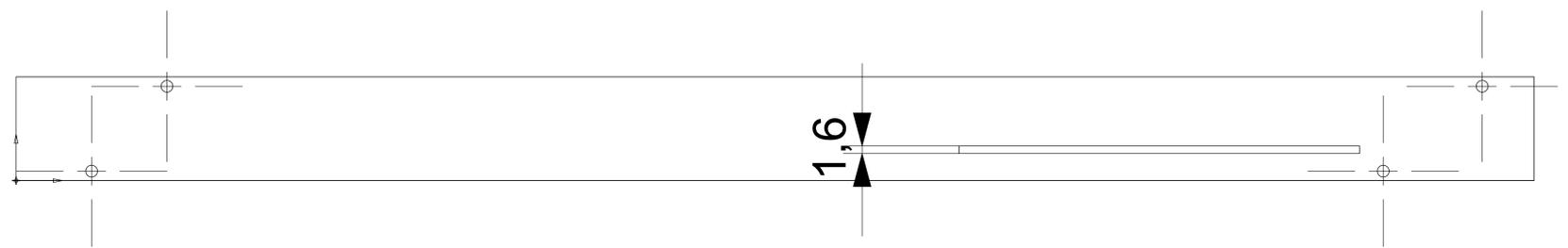
A4

1 2 3 4 5 6

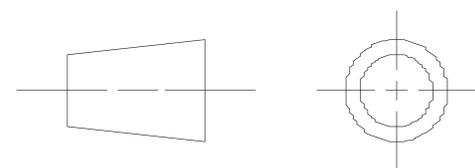
A A



B B



C C

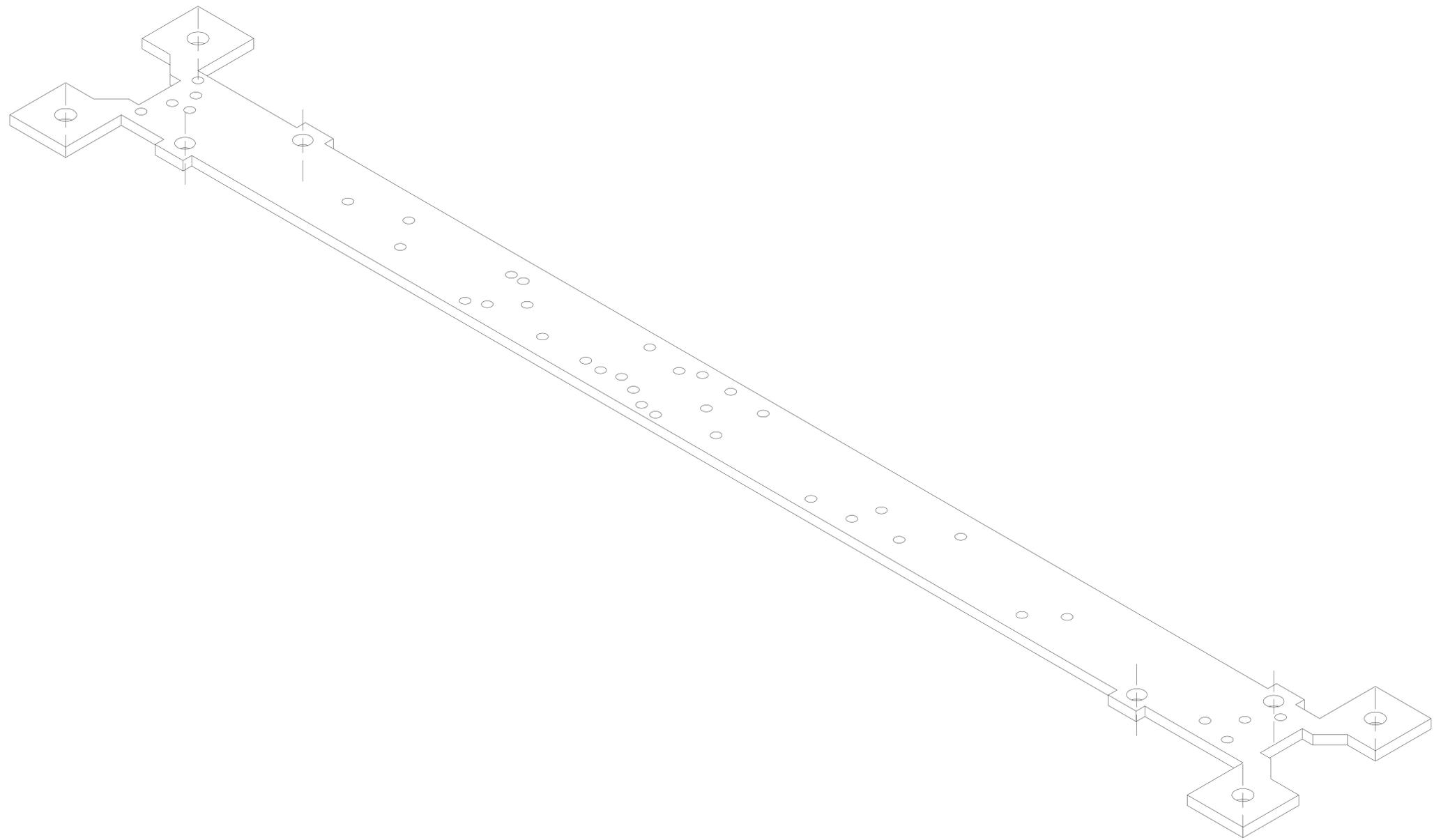


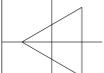
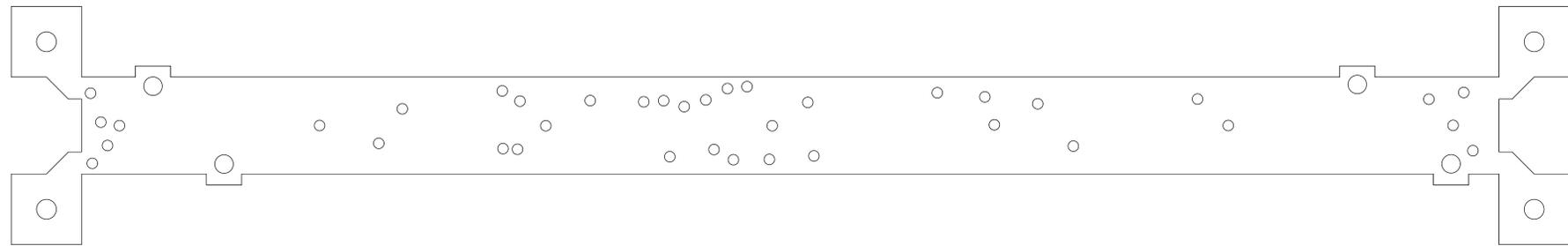
ALL DIMENSIONS IN mm

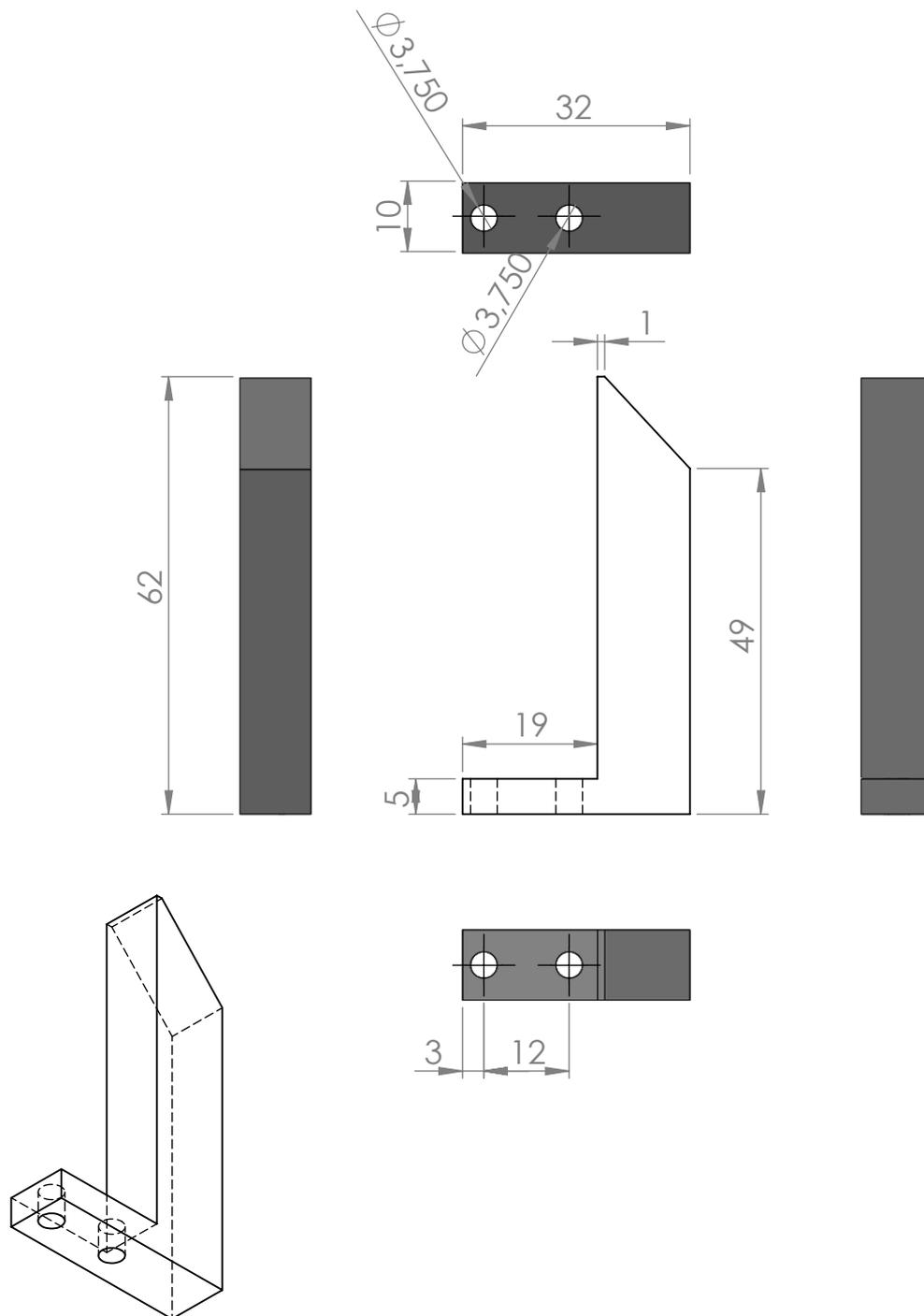
<b>UPV-EHU</b>		<b>DAISALUX</b>			
Elaborado por:	Leire Monforte	Titulo:			
Fecha elaboración:	23/05/2023	VAUL-189			
Actualizado por:					
Fecha actualización:		SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
Número plano:	1	A4	Dimensiones PCB y posición centradores		A
		SCALE 1:2		SHEET 2 OF 2	

D D

1 2 3 4 5 6 A4







**Material: Poliacetal, también llamado Polioximetileno (POM) o Poliformaldehído (DELFIN)**

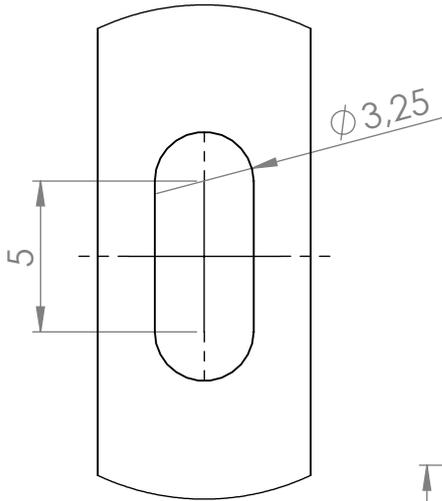
Duisa, Desarrollos y Utilizaciones Industriales S.A.U.  
Grupo Daisalux

Ibarredí 4, 01015 Vitoria-Gasteiz. Tfno (945) 290181

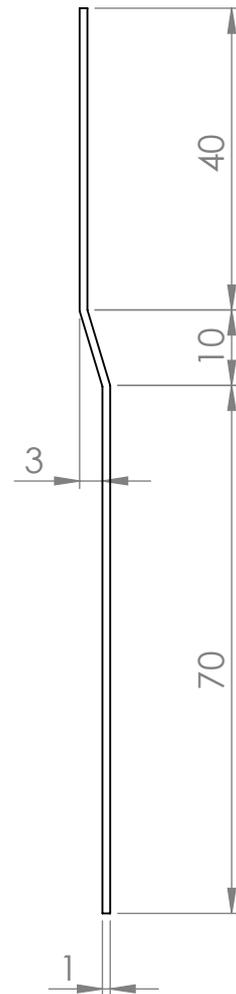
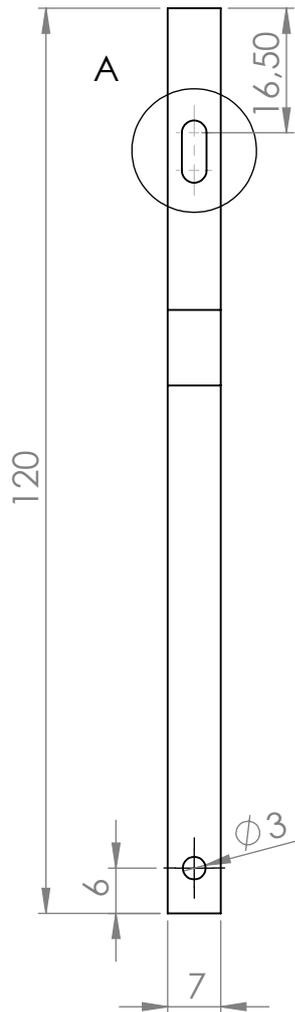
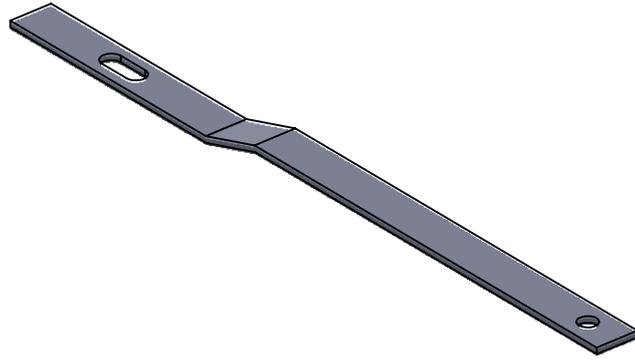
Dossier Materia Prima a Medida  
Acuerdo sobre Materia Prima

Elaborado <b>Jose Luis Bengoetxea</b>	Fecha <b>25-11-2013</b>	Descripción <b>Tope Fakir 10x32x62</b>	Actualizar a: Archivo Mat-Ext-Mec Acuerdo Fabricante
Actualizado	Versión	Título: <b>Plano pieza</b>	Utilizado en (COD-DOC): -
Avisar a:			Plano número. <b>1</b>
Escala <b>1:1</b>	Arch\Nom-Doc DAIR MATERIALES\ [COD-DOC]		

Material: Fleje acero muelle 1.1274  
 espesor 1 mm.



DETALLE A  
 ESCALA 4 : 1

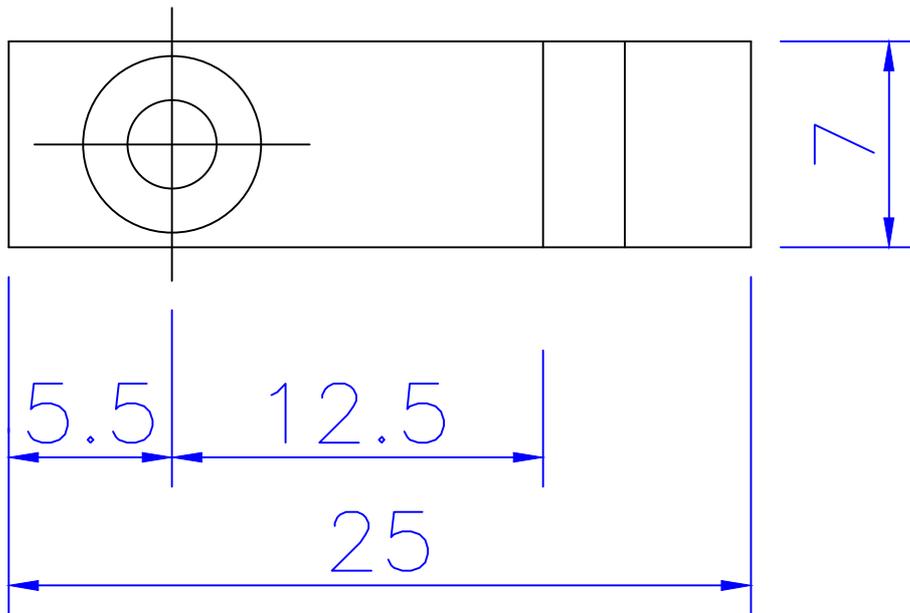
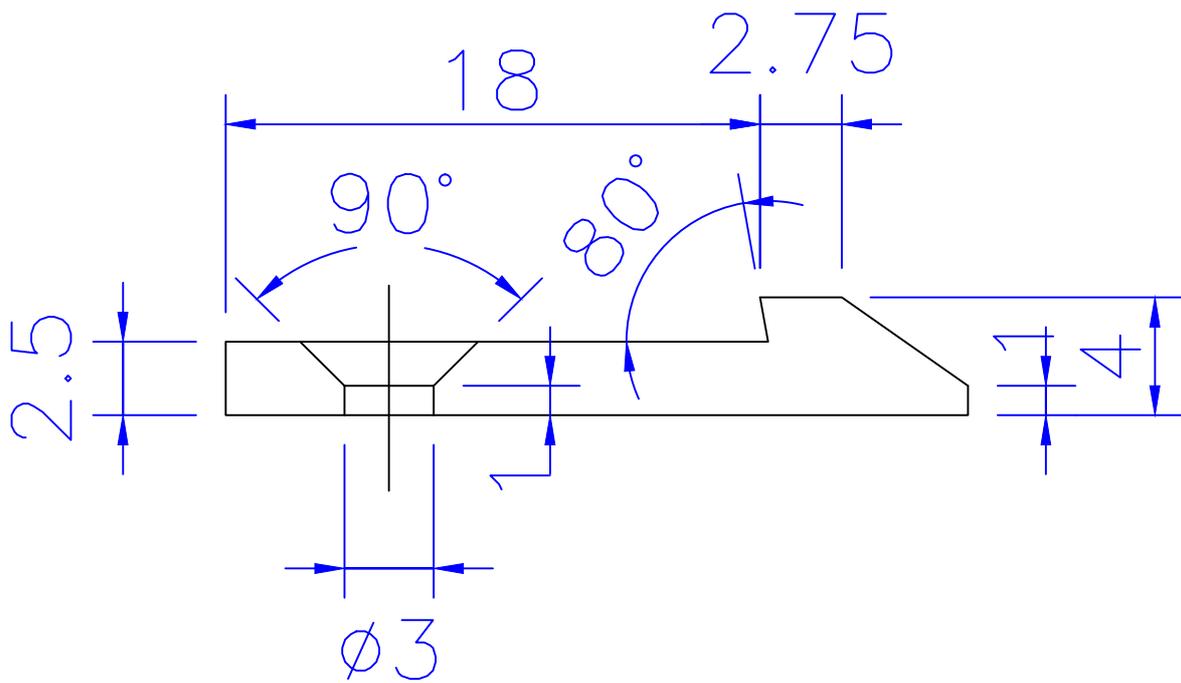


**daisalux**

Ibarredí 4, 01015 Vitoria-Gasteiz. Tfno (945) 290181

Dossier Materia Prima a Medida  
 Acuerdo sobre Materia Prima

Elaborado <b>J.M. Garrido</b>	Fecha <b>03-12-2014</b>	Descripción <b>Uñas cama Fakir</b>	Actualizar a: Archivo Mat-Ext-Mec Acuerdo Fabricante
Actualizado <b>J.M. Garrido</b>	Versión <b>23-11-2021</b>	Título: <b>Plano pieza</b>	Utilizado en (COD-DOC): <b>PZ1962</b>
Avisar a:			Plano número. <b>PZ1962</b>
Escala <b>1/1</b>	Arch\Nom-Doc DAIR MATERIALES\{COD-DOC}		



Material: Delrin (POM)

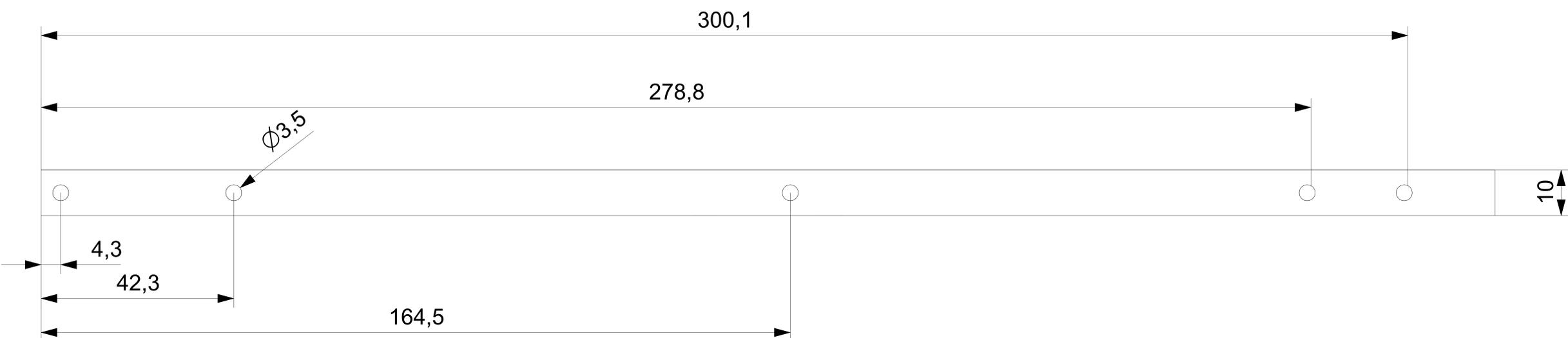
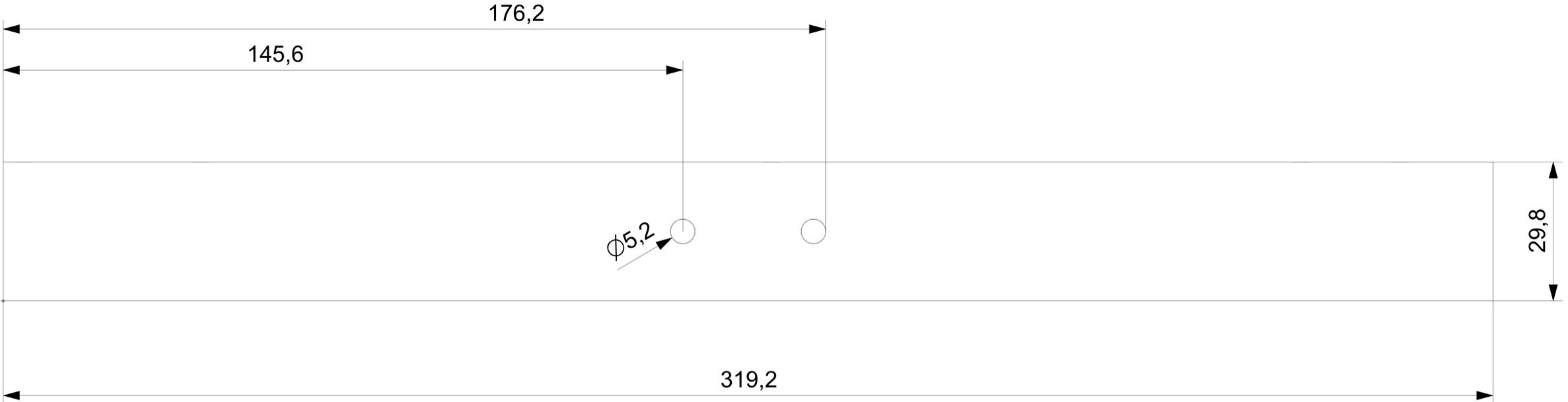
**daisalux**

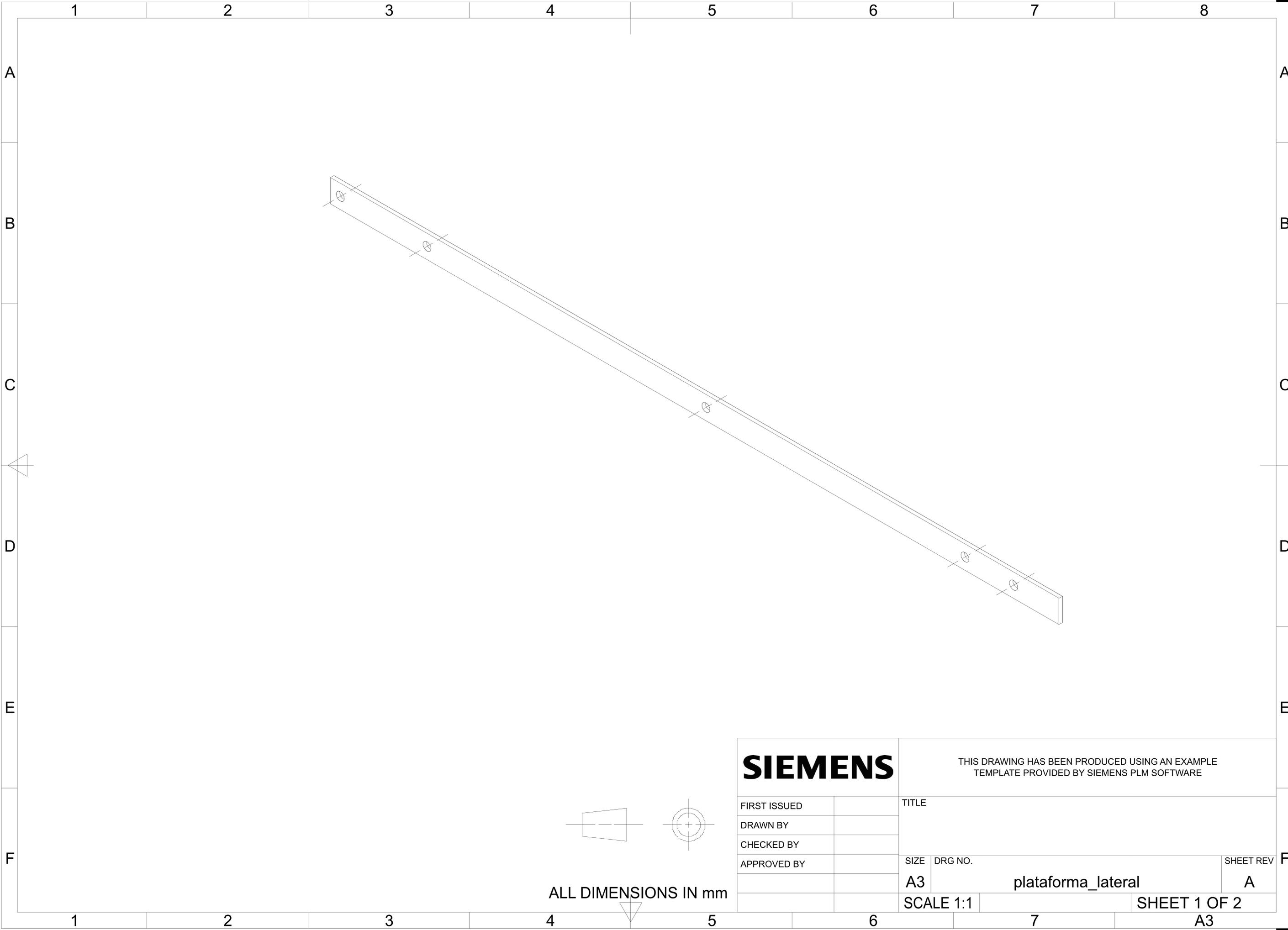
Ibarredí 4, 01195 Vitoria-Gasteiz. Tfno (945) 290181

Dossier Materia Prima a Medida  
Acuerdo sobre Materia Prima

Elaborado J.M. Garrido	Fecha 24-02-98	Descripción Pestaña uñas cama Fakir	Actualizar a: Archivo Mat-Ext-Mec Acuerdo Fabricante
Actualizado J.Bengoetxea	Fecha 12-04-16	Título: Plano pieza	Utilizado en (COD-DOC):
Avisar a:			Plano número.
Escala 1/1	Arch\Nom-Doc ...\DATO_ID\DESARRO\MAT_EXT\PIEZAS\DISENOS\UTILES\FAKIR\pestanas.dwg		
Daisalux:I+D	Mtz: PlanopA4	R-Elab: JEO	R-Aprob: R-Mec
Cod-Apr: RM-35		Avisar a:	Act: 31-5-96

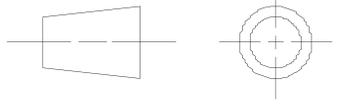


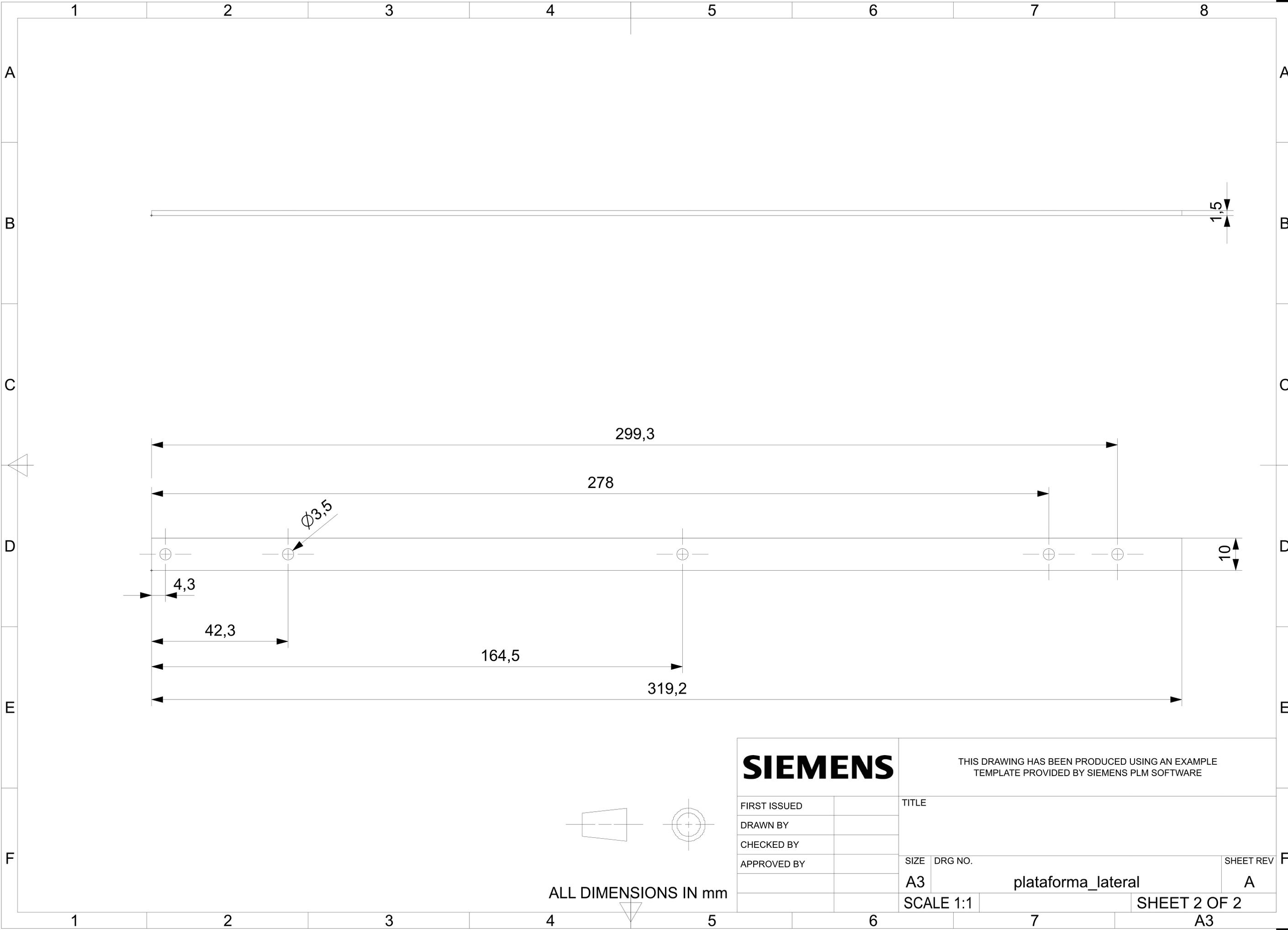




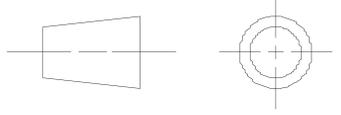
ALL DIMENSIONS IN mm

<b>SIEMENS</b>		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED		TITLE		
DRAWN BY				
CHECKED BY				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
		A3	plataforma_lateral	A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 2	



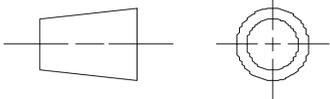
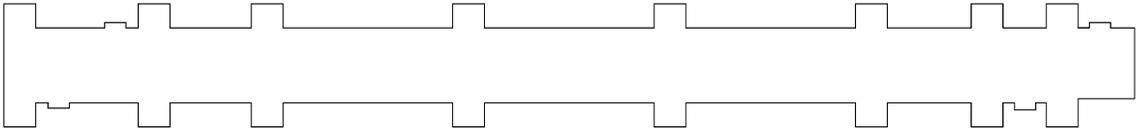
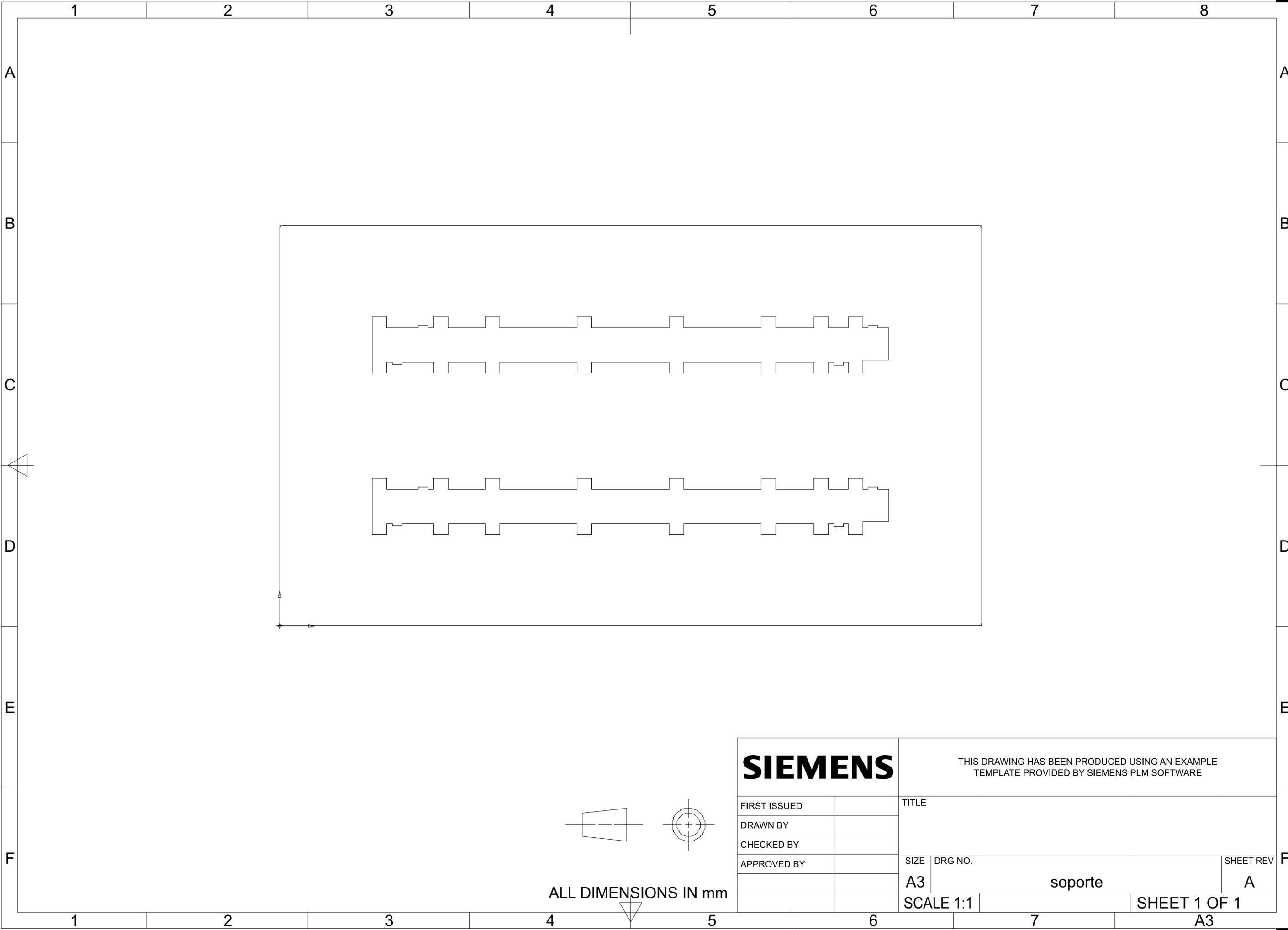


ALL DIMENSIONS IN mm



<b>SIEMENS</b>		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED		TITLE		
DRAWN BY				
CHECKED BY				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
		A3	plataforma_lateral	A
		SCALE 1:1	SHEET 2 OF 2	

A3



ALL DIMENSIONS IN mm

<b>SIEMENS</b>		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED		TITLE		
DRAWN BY				
CHECKED BY				
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
		A3	soporte	A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1	

1

2

3

4

5

6

7

8

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

F

1

2

3

4

5

6

7

8

A3