



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

# Dispositivo Multifuncional para Captura de Esfuerzos en Tiempo Real e Integración con Sistema de Valoración Funcional

Autor

Javier Marín Boné

Director/es

José Manuel Auria Apilluelo

Escuela

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. EINA

Año

2015



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. JAVIER MARÍN BONÉ

con nº de DNI 73017301 Y \_\_\_\_\_ en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

GRADO \_\_\_\_\_, (Título del Trabajo)

DISPOSITIVO MULTIFUNCIONAL PARA CAPTURA DE ESFUERZOS EN TIEMPO

REAL E INTEGRACIÓN CON SISTEMA DE VALORACIÓN FUNCIONAL.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 4 SEPTIEMBRE 2015

Fdo: JAVIER MARÍN BONÉ



# ÍNDICE.

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>2. ABSTRACT. ....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETO. ....</b>	<b>10</b>
<b>4. ALCANCE. ....</b>	<b>12</b>
<b>5. ANTECEDENTES. ....</b>	<b>14</b>
<b>6. METODOLOGÍA Y PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL PROYECTO.....</b>	<b>16</b>
<b>6.1 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL PROYECTO. ....</b>	<b>16</b>
<b>6.2 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>16</b>
<b>6.3 METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN. ....</b>	<b>16</b>
<b>6.4 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL GRUPO ....</b>	<b>17</b>
<b>7. ESTADO DE LA TÉCNICA. ....</b>	<b>18</b>
<b>7.1 PLATAFORMA DE EQUILIBRIO. ....</b>	<b>18</b>
<b>7.2 DINAMÓMETRO DE MANO. ....</b>	<b>21</b>
<b>7.3 DINAMÓMETRO DE DEDOS. ....</b>	<b>24</b>
<b>7.4 DINAMÓMETRO LUMBAR. ....</b>	<b>25</b>
<b>7.5 DINAMÓMETRO HOMBROS. ....</b>	<b>25</b>
<b>8. NORMATIVA DE APLICACIÓN AL PROYECTO.....</b>	<b>27</b>
<b>8.1 NORMAS Y REGULACIONES PARA PRODUCTOS MÉDICOS Y SANITARIOS.....</b>	<b>27</b>
<b>8.2 ERGONOMÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>8.3 REALIZACIÓN DE PROYECTOS. ....</b>	<b>27</b>
<b>8.4 NORMATIVA DE DIBUJO.....</b>	<b>27</b>
<b>9. PRUEBAS DE VALORACIÓN FUNCIONAL. ....</b>	<b>29</b>
<b>9.1 PLATAFORMA DE EQUILIBRIO. ....</b>	<b>29</b>



9.2	DINAMÓMETRO DE MANO. ....	29
9.3	DINAMÓMETRO DE DEDOS. ....	30
9.4	DINAMÓMETRO LUMBAR. ....	30
9.5	DINAMÓMETRO HOMBROS. ....	31
10.	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO. ....	32
10.1	PLATAFORMA DE EQUILIBRIO. ....	32
10.2	DINAMÓMETRO DE MANO. ....	33
10.3	DINAMÓMETRO DE DEDOS. ....	34
11.	DISEÑO DEL PRODUCTO. ....	35
11.1	ELECCIÓN DEL SENSOR DE MEDIDA. ....	35
11.2	PLATAFORMA DE EQUILIBRIO. ....	37
11.3	DINAMÓMETRO DE MANO. ....	43
11.4	DINAMÓMETRO DE DEDOS. ....	46
11.5	DINAMÓMETRO DE HOMBROS + LUMBAR. ....	48
12.	CONCLUSIONES. ....	50
13.	DESARROLLOS O MEJORAS FUTURAS. ....	52
14.	REFERENCIAS. ....	53
15.	AGRADECIMIENTOS. ....	54
16.	ANEXOS. ....	55
16.1	ESTUDIO POR ELEMENTOS FINITOS. ....	55
16.2	CÁLCULO DE ESTABILIDAD. ....	60
16.3	PLANOS. ....	62
16.3.1	ÍNDICE DE PLANOS [0.00]. ....	62
16.3.2	CONJUNTO PLATAFORMA [1.00]. ....	63
16.3.3	DINAMÓMETRO MANO [2.00]. ....	67
16.3.4	DINAMÓMETRO DEDOS [3.00]. ....	78
16.4	PROTOCOLO DE MEDIDA PLATAFORMA. ....	81
16.4.1	INTRODUCCIÓN. ....	81

16.4.2	CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO PARA REALIZAR LA PRUEBA. ....	82
16.4.3	POSICIÓN DEL CUERPO NECESARIA PARA REALIZAR LA PRUEBA.....	83
16.4.4	TIEMPOS Y REPETICIONES DE LAS PRUEBAS. ....	83
16.4.5	RESUMEN DE LAS PRUEBAS A REALIZAR. ....	84
16.4.6	EVALUACIÓN SENSORIAL DINÁMICA (ROMBERG). ....	84
16.4.7	VALORACIÓN DEL CONTROL Y HABILIDAD. ....	95
<b>16.5</b>	<b>CALIBRACIÓN CÉLULA DE CARGA.....</b>	<b>105</b>
<b>16.6</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO. ....</b>	<b>114</b>
16.6.1	COSTE MATERIAL PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.....	114
16.6.2	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA EXPLOTACIÓN COMERCIAL DEL PRODUCTO.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1: Esquema de funcionamiento de una prueba de valoración funcional.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2: Análisis de la marcha sobre tapiz rodante con sensores ópticos, grupo ID Ergo. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3: Grupos de Investigación y empresas participantes en el proyecto.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4: Patente de una plataforma de equilibrio con tres apoyos.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5: NeuroCom SMART balance Master.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6: NeuroCom BASIC balance Master.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7: Plataforma y tapiz NedSVE-IBV.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8: Plataformas dinamométricas creadas por las empresas AMTI y KISTLER.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9: Ejemplos de otras plataformas creadas por investigadores. (2), (3), (1).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10: Patente dinamómetro de presión sobre un objeto. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11: Esquema de funcionamiento del dinamómetro japonés. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12: Dinamómetro con pantalla sin regulación de apertura.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13: Manejo del dinamómetro estadounidense.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 14: Apertura dinamómetro mano y tabla de dimensiones estándar. (4).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 15: Algunos modelos de dinamómetro Jamar.....</i>	<i>23</i>

<i>Figura 16: Dinamómetro electrónico del IBV. ....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 17: Dinamómetros “Grip Strength” y “Medisystem”.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 18: Modelos de dinamómetro jamar. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 19: Dinamómetro del IBV con gesto de pinza lateral y distal. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 20: Postura a adoptar para realizar el ejercicio lumbar. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 21: Elevación frontal y elevación lateral. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 22: Catálogo célula de carga.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 23: Certificado de la célula de carga. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 24: Gráfica de una célula de carga trabajando a tracción.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 25: Diseño plataforma de equilibrio.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 26: Patas regulables de la plataforma. ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 27: Apoyo de la placa superior en la célula de carga.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 28: Catálogo SanMetal.SI.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 29: Cáncamo y orificio lateral para dinamometría. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 30: Prototipo de la plataforma. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 31: Rediseño de contacto entre placa y guía. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 32: Catálogo tapón para placas MoCap. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 33: Diseño dinamómetro de mano.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 34: Funcionamiento de la traba del dinamómetro. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 35: Empuñadura dinamómetro de manos. ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 36: Prototipo Dinamómetro mano.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 37: Diseño dinamómetro de dedos. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 38: Agarre dinamómetro dedos. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 39: Carcasa del dinamómetro. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 40: Prototipo Dinamómetro mano.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 41: Célula de carga sin funda y con funda. ....</i>	<i>48</i>

<i>Figura 42: Empuñaduras. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 43: Prueba de dinamometría lumbar + hombros con sensores ópticos.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 44: Tensor de cuerda.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 45: Tensiones para caso 1, espesor 10 mm.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 46: Desplazamientos caso 1, espesor 10 mm. ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 47: Coeficiente de seguridad Caso 1, espesor 10 mm.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 48: Percepción de diseño caso 1, espesor 10 mm. ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 49: Tensiones caso 1, espesor 12 mm. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 50: Desplazamientos caso 1, espesor 12 mm. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 51: Coeficiente de seguridad caso 1, espesor 12mm. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 52: Tensiones Caso 2 con 12mm de espesor. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 53: Desplazamientos caso 2, espesor 12 mm. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 54: Percepción de diseño caso 2, espesor 12 mm. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 55: Hipótesis plataforma viga biapoyada. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 56: Condición de vuelco.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 57: Polígono de estabilidad.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 58: Sistemas sensoriales: visual, vestibular y somato sensorial. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 59: Ejes del cuerpo humano. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 60: Entorno virtual para pruebas de estabilidad. Con Motion Capture.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 61: Condiciones de exploración del análisis sensorial (5). ....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 62: Ejes de la plataforma y coordenadas de la posición de las células de carga.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 63: Centro de gravedad representado sobre la plataforma ....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 64: Estatocinesiograma (A) y Estabilograma (B). ....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 65: Zonas de la plataforma para realizar los cálculos. ....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 66: Modelo de péndulo invertido definido por F. Passariello.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 67: Par máximo. ....</i>	<i>91</i>



<i>Figura 68: Escenario virtual límites de estabilidad. Utilizando Motion Capture.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 69: Prueba de límites de estabilidad. ....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 70: Prueba de control rítmico direccional. Utilizando Motion Capture. ....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 71: Montaje para calibración.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 72: Soporte discos olímpicos. Con carga y sin carga.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 73: Montaje para compresión.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 74: Conjunto compresión. ....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 75: Montaje para tracción. ....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 76: Grafica de voltios - Tiempo a 50 Hz (Captura de tracción). ....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 77: Extracción de datos.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 78: Gráfica Kg- Volts.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 79: Gráfica del análisis de sensibilidad, VAN. ....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 80: Gráfica del análisis de sensibilidad, TIR. ....</i>	<i>123</i>

## **ÍNDICE DE TABLAS.**

<i>Tabla 1: Dispositivos a desarrollar en el proyecto.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Alcance para cada uno del los sistemas diseñados.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3: Especificaciones de diseño. Plataforma de equilibrio. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4: Especificaciones de diseño. Dinamómetro de mano. ....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5: Especificaciones de diseño. Dinamómetro de dedos.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6: Comparación de las cuatro pruebas de Romberg. ....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 23: Lista de materiales para compresión. ....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 24: Lista de materiales para tracción.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 25: Calibración Kg-Volts. ....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 7: Coste materiales de plataforma de equilibrio.....</i>	<i>114</i>



<i>Tabla 8: Coste materiales del dinamómetro de manos. ....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 9: Coste materiales del dinamómetro de dedos. ....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 10: Coste materiales del dinamómetro de hombros + lumbar. ....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 11: Coste electrónica. ....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 12: Coste del desarrollo tecnológico de un año en la universidad. ....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 13: Coste de cada plataforma. ....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 14: Coste de dinamometría, electrónica + accesorios. ....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 15: Costes variables. ....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 16: Costes fijos de la empresa. ....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 17: Inversión inicial. ....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 18: Ingresos por ventas y por mantenimiento y soporte. ....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 19: Préstamo bancario. ....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 20: Amortización separado por conceptos. ....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 21: Flujos de caja. ....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 22: Análisis de sensibilidad. ....</i>	<i>122</i>



## 1. RESUMEN.

El objeto del presente proyecto es el diseño de distintos dispositivos enfocados a pruebas de valoración funcional médica, con los que se pretende evaluar ciertas características de una persona que pueden verse afectadas por distintas patologías del sistema musculoesquelético. En concreto dichos equipos podrán medir parámetros biométricos como la capacidad para mantenerse estable en bipedestación o la fuerza muscular en las manos, los dedos, el hombro o la columna lumbar.

Para tal propósito se ha diseñado una plataforma dinamométrica y un conjunto de accesorios dinamométricos para medir fuerza en diferentes condiciones. Los nuevos equipos diseñados se sumarán e integrarán en el equipamiento de un laboratorio de biomecánica de la Universidad de Zaragoza destinado al análisis y valoración funcional.

El trabajo se ha llevado a cabo en el marco de las actividades de desarrollo realizadas durante este año por el grupo de investigación IDErgo (Investigación y Desarrollo en Ergonomía) de la Universidad de Zaragoza, cuya actividad se realiza en el citado laboratorio.

El propósito final del proyecto es desarrollar una instrumentación capaz de proporcionar datos objetivos y reproducibles a los profesionales del ámbito biomédico, al objeto de facilitarles el diagnóstico o la rehabilitación de determinadas patologías. Todo ello reforzado por el hecho de que existe una demanda creciente de instrumentación para objetivar el diagnóstico entre los profesionales relacionados con este campo.

Se incluye un estudio de viabilidad enfocada a una empresa que estuviera interesada en la explotación comercial en el ámbito biomédico de los productos desarrollados en este proyecto.

El uso del nuevo equipamiento desarrollado puede tener diversas aplicaciones, adaptándose al diagnóstico o control de patologías en distintos ámbitos: rendimiento deportivo, rehabilitación, medicina asistencial o medicina legal y forense.



## 2. ABSTRACT.

Several devices are designed, in this project, for functional medical assessment. The gadgets evaluate the characteristics of a person who may have a disease of the musculoskeletal system. With the apparatus we are able to measure biometric parameters, like stability in standing or strength in hands, fingers, shoulders and lumbar spine.

For this purpose a torque dynamometer platform and different accessories that measure strength have been designed. The new products will be added and integrated into the equipment of a biomechanics laboratory at the University of Zaragoza. The objective of this laboratory is the functional medical assessment.

The work has been carried out, this year, within the research group IDErgo (Research and development in ergonomics) at de University of Zaragoza.

In order to make easier the diagnosis or rehabilitation of certain diseases, the purpose of the project is to develop an instrumentation that provides objective and reproducible data to professionals in the biomedical field.

It's important the fact that there is a growing demand for instrumentation to objectify the diagnosis in medicine.

A feasibility study focused on a company that would be interested in the commercial exploitation of the products is included in the project.

The use of the new equipment may have different applications, like diagnosis or pathology control in different areas: athletic performance, rehabilitation, medical care, and legal and forensic medicine.

### 3. OBJETO.

El objeto del presente proyecto es el diseño de distintos dispositivos enfocados a pruebas de valoración funcional médica, con los que se pretende evaluar ciertas características de una persona que pueden verse afectadas por distintas patologías del sistema musculoesquelético. En concreto dichos equipos podrán medir los siguientes parámetros biométricos:

- Equilibrio o capacidad para mantenerse estable en bipedestación.
- Fuerza muscular en:
  - Las manos.
  - Los dedos.
  - El hombro y el brazo.
  - Columna lumbar.

La instrumentación necesaria para ello se agrupa en un mismo proyecto ya que todas las mediciones se pueden realizar utilizando la misma tecnología, en nuestro caso, sensores de fuerza o células de carga.

La medida del equilibrio se toma generalmente con plataformas dinamométricas, en las que el individuo se coloca encima y se mide con sensores, las fuerzas y momentos ejercidos sobre la misma. Por otra parte el método más sencillo para medir la fortaleza muscular, son los ejercicios isométricos, en los cuales ningún músculo varía en longitud. Para ello se suele utilizar dinamómetros que están también basados en estos sensores.

Por lo tanto en el proyecto se diseñan los siguientes dispositivos:

Equilibrio	Plataforma dinamométrica
Dinamometría	Dinamómetro manos Dinamómetro dedos Dinamómetro hombros Dinamómetro lumbar

*Tabla 1: Dispositivos a desarrollar en el proyecto.*

Hay que aclarar que la plataforma dinamométrica se la conoce también como plataforma estabilométrica, posturográfica o simplemente de equilibrio.

Los dispositivos diseñados estarán compuestos por una parte mecánica y electrónica (hardware) y otra informática (software). En relación al registro de datos, éstos son procesados por la aplicación informática, la cual genera un informe que deberá ser valorado por un facultativo médico.

Los objetivos que deben cumplir los dispositivos son:

- Que permitan un registro continuado de datos.
- Que sean portables, económicos, sencillos en el manejo y evidentes.
- Que recojan el modus operandi de los médicos evaluadores.
- Que emitan un informe.
- Que se adapten al software desarrollado por el grupo.

El objetivo final, por lo tanto, es proporcionar datos objetivos y medibles a los profesionales del ámbito biomédico.



*Figura 1: Esquema de funcionamiento de una prueba de valoración funcional.*

Como puede observarse en el esquema, en una prueba de valoración funcional, primero se toman las medias, después se analizan los resultados en el ordenador, posteriormente se genera un informe y finalmente este informe es analizado por un médico.

Este proyecto se ha llevado a cabo en el marco de las actividades de desarrollo realizadas durante este año por el grupo de investigación **IDErgo** (Investigación y Desarrollo en Ergonomía)

El grupo de investigación ya ha desarrollado diversas pruebas de valoración funcional integradas en un software propio. De esta manera estos nuevos dispositivos se sumarán al catálogo existente.

En el desarrollo de estos nuevos dispositivos se han construido prototipos físicos de cada uno de ellos y se han realizando pruebas con voluntarios. La finalidad última de este proyecto es publicar los resultados del mismo y que una empresa externa pueda llevar cabo la explotación comercial de estos productos en el entorno biomédico al que van dirigidos.

#### 4. ALCANCE.

En el proceso de diseño de los nuevos dispositivos, se pueden destacar varios hitos que han influido de forma significativa en el desarrollo de los mismos y que han permitido concretar con precisión el alcance final del proyecto.

Estos hitos son los siguientes:

- Completar un **estudio de mercado y revisión** sistemática relativa al objeto del proyecto.
- **Especificaciones de diseño** de los dispositivos.
- En base a dicho estudio, proceder al **diseño preliminar** de los nuevos dispositivos.
- Llevar a cabo la **fabricación de prototipos físicos de cada producto**, por una parte de la plataforma de equilibrio y por otra de los accesorios para dinamometría.
- Realizar las pruebas oportunas al objeto de que los citados dispositivos funcionen adecuadamente y lograr la necesaria **integración con el software** de evaluación funcional.
- **Probar** y revisar **los prototipos** construidos.
- Establecer un **protocolo de medida** a efectos de definir la forma de proceder en cada prueba funcional y con cada dispositivo.
- Y finalmente, **generar un informe** fácilmente interpretable por el facultativo biomédico.

En la siguiente tabla puede observarse cuál es el alcance para cada uno de los dispositivos desarrollados.

		Estudio mercado	Esp. de diseño	Diseño preliminar	Fabricación prototipo	Integración con software	Prueba Prototipo	Protocolo de medida	Generación de informe
Equilibrio	Plataforma dinamométrica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dinamometría	Dinamómetro manos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
	Dinamómetro dedos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
	Esfuerzo hombros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
	Esfuerzo lumbar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗

*Tabla 2: Alcance para cada uno de los sistemas diseñados.*

Puede observarse que la plataforma de equilibrio, que es el dispositivo más complejo, queda definida completamente. Por otro lado los dinamómetros son diseñados e integrados en el software del grupo. Resta por realizar los últimos procesos para los dinamómetros.

Como se comprobará a lo largo del trabajo, se incide siempre más sobre los tres primeros dispositivos: la plataforma de equilibrio, el dinamómetro de manos y el dinamómetro de dedos. Esto se debe a que los otros dos dispositivos se tienen previsto que se acoplen a la propia plataforma de equilibrio. La idea es integrar en la plataforma estas dos pruebas

Según lo expuesto, las fases seguidas en el trabajo se pueden resumir en las siguientes actividades:

- Revisión de la técnica.
- Especificaciones de diseño.
- Diseño.
  - Dimensional
  - Modelado
  - Planos
  - Análisis por elementos finitos
  - Análisis de estabilidad
- Construcción de prototipo físico y búsqueda de fallos.
- Rediseño.
- Conclusiones.

Indicar que **la revisión de la técnica** ha implicado abordar, por un lado, el estudio de los productos comerciales, y por otro, aquellos que aún no siendo comerciales, puedan estar protegidos por patentes.

Posteriormente se redactan las **especificaciones de diseño** y se determina qué sensor se va a utilizar para medir.

Cuando se recopila esta información se procede al **diseño de los dispositivos**. Así **se fabrican varios prototipos** que son probados por el grupo de investigación. En estas pruebas se determinan fallos y se plantean **posibles mejoras**, para llegar a una solución final que está representada en los planos del proyecto.

Finalmente se explicitan las **conclusiones**, donde se recogen los objetivos alcanzados, así como los futuros desarrollos a llevar a cabo.

Adicionalmente, durante la realización del proyecto, ha sido necesario realizar algunos estudios que complementan las citadas actividades del proyecto:

- Estudio por **elementos finitos** de algunos componentes.
- **Cálculo de estabilidad** de la plataforma de equilibrio.
- Estudio del **protocolo de medida a utilizar**, especialmente en las pruebas a realizar sobre la plataforma de equilibrio.
- **Calibración de las células de carga**, que ha implicado el desarrollo de un procedimiento para su aplicación en la calibración de futuros sensores.
- **Estudio económico y de viabilidad**, en relación a la posible explotación comercial de la instrumentación resultante.

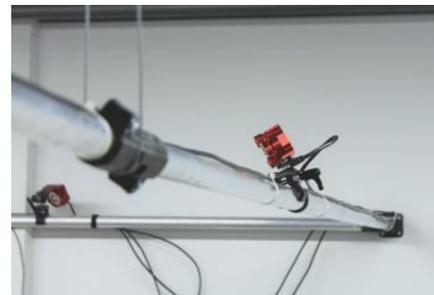
## 5. ANTECEDENTES.

Este proyecto nace de una necesidad detectada por parte de los médicos forenses de Instituto de medicina legal de Zaragoza (IMLA), los cuales vienen colaborando con el grupo de investigación IDergo desde hace varios años en distintos proyectos. Dicha necesidad se puede concretar en el hecho de que, según su experiencia, cada vez se precisa más contar con instrumentación que proporcione información objetiva del grado de dolencia que tiene un paciente con una determinada lesión. Esta información puede ser requerida tras un accidente, por un juez o por parte de las compañías aseguradoras.

Por otro lado, el grupo se puso en contacto con profesores de la Universidad de Oviedo que también afirman que estarían interesados en la de implantación de un laboratorio de valoración funcional para realizar estudios comparativos entre personas sanas y patológicas.

En este contexto, hace algunos años el grupo de investigación ID Ergo comenzó a diseñar un laboratorio de valoración funcional que integra distintas pruebas de aplicación en ámbito médico forense. En este contexto se enmarca el presente proyecto que pretende sentar las bases de las pruebas de estabilidad y dinamometría que complementarían las ya existentes.

Actualmente, en el grupo se realizan estudios biomecánicos relacionados con este campo. Con la utilización de sensores ópticos e inerciales colocados sobre una persona y un software específico desarrollado, es posible capturar el movimiento humano en tiempo real. Gracias a esta tecnología es posible realizar un exhaustivo análisis de la marcha sobre tapiz rodante.



*Figura 2: Análisis de la marcha sobre tapiz rodante con sensores ópticos, grupo ID Ergo.*

El trabajo se ha realizado dentro del grupo de investigación ID\_Ergo de la Universidad de Zaragoza, así mismo se ha colaborado estrechamente para su realización con el grupo HOW Lab (*Human Openware Research Lab*), el cual ha sido responsable de la instrumentación electrónica necesaria. Finalmente anotar que la fabricación, a partir de los diseños elaborados en este proyecto se ha realizado en las instalaciones de la empresa GAMEC Servicios industriales SL.

**ID ERGO**  
Research & Development  
in Ergonomics



**HOW**  
Universidad Zaragoza

**GAMEC**

*Figura 3: Grupos de Investigación y empresas participantes en el proyecto.*

## 6. METODOLOGÍA Y PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL PROYECTO.

### 6.1 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL PROYECTO.

Para realizar el proyecto se ha seguido el siguiente proceso:

- Descripción y justificación de las capacidades a evaluar.
- Recopilación de dispositivos existentes, patentes y comerciales.
- Comparativa entre lo existente y nuestra propuesta en términos de funcionalidad, regulación, registro continuado de datos o economía.
- Descripción breve de las normativas aplicables.
- Descripción de los dispositivos.

### 6.2 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

Ofimática:

- Microsoft Office Word.
- Microsoft Office Excel.
- Microsoft Office PowerPoint.

Modelado 3D y análisis por elementos finitos:

- SolidWorks.

Adobe:

- Adobe pdf.
- Adobe Illustrator.

Programación:

- Vizard (Python).

### 6.3 METODOLOGÍA ADOPTADA POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.

Primeramente se concreta con el coordinador del grupo y el coordinador del proyecto el objeto y el alcance para el trabajo. Esto no es una tarea simple, ya que al ser un trabajo de investigación no se sabe cuál puede llegar a ser la extensión final. Se asume que será inevitable la aparición de contra tiempos y problemas que habrá que solucionar con la mayor eficacia posible.

Posteriormente, se define cual es la metodología seguida para la realización de proyectos en el grupo:

- Siempre que se diseñe un dispositivo, componente o prueba de valoración funcional hay que investigar previamente a cerca de ese tema. Este, es un trabajo personal que hay que plasmar en un informe.
- La información recopilada, se pone en común y se proponen ideas que puedan ser aplicadas dentro de las limitaciones existentes.



- La puesta en común de la información es recíproca y llevada a cabo por todos los miembros del grupo. Así, se intenta que todos colaboren en las reuniones, valorando las posibles soluciones, aportando ideas y ayudando en la medida de lo posible a los demás compañeros.
- Existen reuniones con personas que no forman parte del grupo directamente, por ejemplo médicos o ingenieros, etc. Estas personas pueden ser potenciales clientes a los que se les expone posibles soluciones o bien profesionales que están interesados en investigar sobre una cuestión similar y se les pide consejo y ayuda

#### 6.4 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL GRUPO

Para evaluar la calidad hay que tener en cuenta los siguientes 4 puntos de vista:

- **Satisfacción Personal.** Se trata de asignar a cada uno de los miembros, proyectos que sean acordes a sus gustos y en cierta medida a aquello que han estudiado.
- **Satisfacción Cliente.** El grupo realiza todos sus proyectos con la finalidad de satisfacer las necesidades de un cliente o posible cliente. Siempre se asegura un trato personal y una preocupación por que las cosas funcionen Además se trata de formar a los nuevos miembros para que sean capaces de abordar problemas que pueden surgirle tanto a clientes actuales como a los anteriores.
- **Calidad.** El objetivo es hacer productos que cumplan la función como deben y que además aporten un valor añadido a lo ya existente. Gracias a las reuniones se trata de poner sobre la mesa no solo cuestiones técnicas o funcionales sino también otras que pueden ser más subjetivas como las sensaciones, la satisfacción del usuario o incluso los posibles gustos de los consumidores.
- **Rentabilidad.** Los proyectos han de ser provechosos económicamente y tienen que generar beneficios. Siempre se prefiere hacer los proyectos una vez que se consigue un cliente y no al revés.

## 7. ESTADO DE LA TÉCNICA.

Este estudio trata de recopilar información acerca de dispositivos o conocimientos que existen actualmente en este campo. Para ello se ha recurrido a patentes, artículos científicos e internet.

### 7.1 PLATAFORMA DE EQUILIBRIO.

La plataforma dinamométrica permite calcular las fuerzas de reacción del suelo y el momento que ejerce una carga que se sitúa sobre ella, ésta consiste en una plataforma rígida, la cual es construida con una plancha metálica y la medición de la fuerza ejercida se realiza a través el empleo de sensores que pueden ser del tipo piezoeléctrico y resistivo.

El principio de este dispositivo es que la plataforma se sitúa sobre unos soportes, también metálicos, y en cada uno de ellos se encuentran los sensores acoplados. Al ejercerse una fuerza sobre la superficie de la plataforma, los soportes sufren una deformación, dicha información de deformación, se asocia a una señal eléctrica originada por los transductores, la cual tienen sus equivalentes en valores de fuerzas con las que se pueden realizar ciertos cálculos, en nuestro caso los desplazamientos del centro de gravedad de una persona que se posiciona en bipedestación sobre la misma. (1)

### PATENTES RELACIONADAS.

#### Patente 1.

Descripción: Sistema de medida utilizado en una plataforma dinamométrica con tres apoyos, la medida se toma con galgas extensiométricas que miden la deformación del material.

Año de publicación: 2003

País: Francia

Número de patente: FR2836217 (A1)

Título: "CAPTEUR DYNAMOMETRIQUE POUR LA REALISATION DE PLATE-FORMES DE POSTURE ET DE PESE"

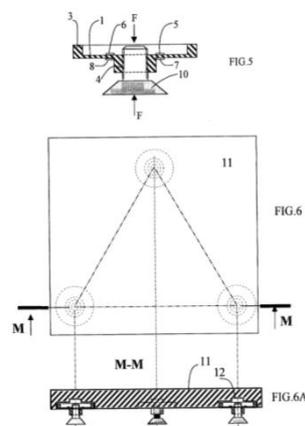


Figura 4: Patente de una plataforma de equilibrio con tres apoyos.

## PRODUCTOS COMERCIALES.

En este punto podemos destacar el siguiente producto dirigido a realizar estudios avanzadas de equilibrio haciendo uso de una plataforma “NeuroCom SMART balance Master”, la cual permite distintos tipos de análisis, desde el diagnóstico de patologías relacionadas con problemas de inestabilidad, hasta el entrenamiento del equilibrio de astronautas en la NASA.

Como se comentará más adelante el cuerpo humano tiene varios mecanismos para mantener el equilibrio. Este dispositivo controla el movimiento de la propia plataforma y el movimiento de las paredes adyacentes para anular estos mecanismos y medir cómo se comporta el cuerpo sin ellos.



*Figura 5: NeuroCom SMART balance Master.*

Este mismo fabricante también comercializa plataformas más sencillas que miden la proyección del centro de gravedad y pasan los datos a un ordenador.



*Figura 6: NeuroCom BASIC balance Master.*

El Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) ha creado también una plataforma que está integrada en el suelo para analizar la pisada cuando se camina encima de ella, permitiendo adicionalmente medir el equilibrio (“NedSVE-IBV”).

El IBV dispone de distintos productos enfocados a este propósito, estableciendo un método para tomar medidas haciendo uso de una plataforma de equilibrio.



*Figura 7: Plataforma y tapiz NedSVE-IBV.*

Otros fabricantes también se unen a la fabricación de estas plataformas como las compañías AMTI o KISTLER. El precio de uno de estos equipos varía entre \$7,500 a \$40,000. (1)



*Figura 8: Plataformas dinamométricas creadas por las empresas AMTI y KISTLER.*

Existen además una gran cantidad de plataformas que se han creado por distintos grupos de investigación, estos son algunos ejemplos:



*Figura 9: Ejemplos de otras plataformas creadas por investigadores. (2), (3), (1).*

## 7.2 DINAMÓMETRO DE MANO.

El dinamómetro de mano es un dispositivo que mide la fuerza isométrica realizada al sostener una empuñadura con la máxima fuerza disponible. La empuñadura o los sensores que miden la fuerza pueden ser de distintas características según el fabricante.

### PATENTES RELACIONADAS.

#### Patente 1.

Descripción: Sistema que determina la fuerza ejercida mediante la mano y el tronco al empujar o tirar sobre un objeto. El sensor de medida utilizado es una célula de carga tipo S.

Año de publicación: 2009

País: España

Número de patente: ES2322417 (A1)

Título: "SISTEMA DE DINAMOMETRIA PARA TECNICAS SANITARIAS MANUALES"

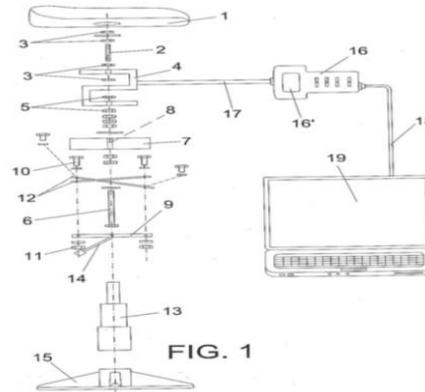


Figura 10: Patente dinamómetro de presión sobre un objeto.

#### Patente 2.

Descripción: Este dinamómetro mide la presión de manos, al parecer se puede regular la apertura según la necesidad, los datos son pasados al ordenador y se genera un informe.

Año de publicación: 1997

País: Japón

Número de patente: JPH09313467 (A)

Título: "DYNAMOMETER"

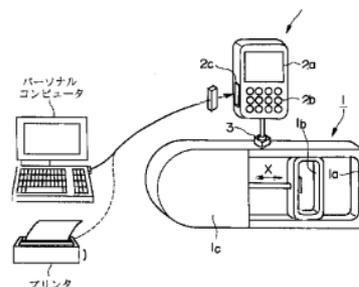


Figura 11: Esquema de funcionamiento del dinamómetro japonés.

### Patente 3.

Descripción: El dinamómetro mide la presión de manos. Tiene un hueco para introducir los dedos y el valor de la fuerza aparece en una pantalla. En este caso los datos no son introducidos en un ordenador y la apertura no es variable.

Año de publicación: 2002

País: Japón

Número de patente: JP2002345794 (A)

Título: "DYNAMOMETER"

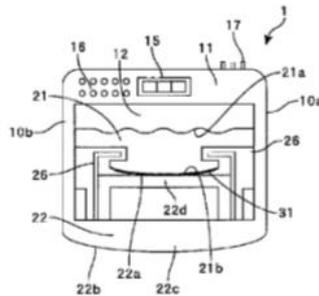


Figura 12: Dinamómetro con pantalla sin regulación de apertura.

### Patente 4.

Descripción: Dinamómetro para medir la presión de manos, la medición aparece en una pantalla. No puede regularse la apertura.

Año de publicación: 1999

País: Estados Unidos

Número de patente: US5904639 (A)

Título: "APPARATUS, SYSTEM, AND METHOD FOR CARRYING OUT PROTOCOL-BASED ISOMETRIC EXERCISE REGIMENS"

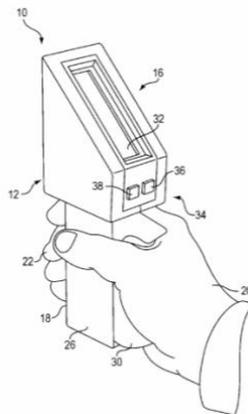


Figura 13: Manejo del dinamómetro estadounidense.

## PRODUCTOS COMERCIALES.

Existen muchos dinamómetros comerciales para medir la presión de mano, pero el más utilizado y el que más estudios acapara es el dinamómetro Jamar. Se basa en un sistema hidráulico que da el valor de la fuerza en un manómetro de Bourdon o una pantalla electrónica según el modelo. Tiene 5 posiciones seleccionables que corresponden a unas aperturas de aperturas 1 3/8, 1 7/8, 2 3/8, 2 7/8, 3 3/8 pulgadas. Estas posiciones se consideran las estándar para realizar estudios de fuerza en mano.

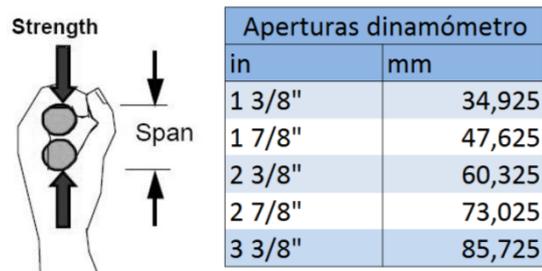


Figura 14: Apertura dinamómetro mano y tabla de dimensiones estándar. (4)

En el dinamómetro Jamar, el valor de fuerza es leído por el técnico que recoge los datos y lo apunta, sólo los modelos más avanzados están conectados al computador. El precio aproximado está entre 500 y 700 €.



Figura 15: Algunos modelos de dinamómetro Jamar.

Otro dinamómetro es el desarrollado por el grupo de investigación Valenciano de biomecánica (IBV). Este dinamómetro integra dos en uno solo, el de mano junto al de dedos. La apertura no es regulable. Es electrónico y los datos son recogidos por el ordenador.

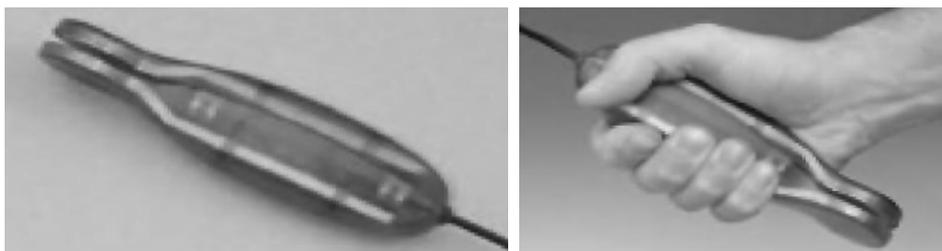


Figura 16: Dinamómetro electrónico del IBV.

Hay otros dinamómetros como el “Grip Strength Dynamometer T.K.K.” de la casa Takei Scientific Instruments u otros como el de MEDISYSTEM que son menos usados por la comunidad científica.



Figura 17: Dinamómetros “Grip Strength” y “Medisystem”.

### 7.3 DINAMÓMETRO DE DEDOS.

El dinamómetro de dedos es un dispositivo que mide la fuerza isométrica realizada al presionar sobre dos placas paralelas con la máxima fuerza disponible. El gesto que toman los dedos para realizar la fuerza se llama gesto de pinza y puede ser lateral o distal. Las características del agarre o los sensores que miden la fuerza pueden ser diferentes según el fabricante.

#### PRODUCTOS COMERCIALES.

En este caso la marca Jamar también proporciona dos modelos de dinamómetros de dedos o pinzó-metros que actualmente son los más utilizados. La medida se da en una aguja que marca el valor de fuerza obtenido y en los modelos más avanzados en un panel electrónico. El dinamómetro no está conectado al ordenador.



Figura 18: Modelos de dinamómetro jamar.

Como ya se ha comentado el dinamómetro del IBV también sirve como dinamómetro de dedos.



*Figura 19: Dinamómetro del IBV con gesto de pinza lateral y distal.*

Existen otros modelos de este tipo de dinamómetros pero están muy poco extendidos y no requieren de mención en este estudio.

#### **7.4 DINAMÓMETRO LUMBAR.**

De los diversos modelos que existen en la actualidad, todos consisten en un anclaje en el suelo, una cadena y una empuñadura. Normalmente no están conectados a un ordenador.

El ejercicio lumbar, además, está perfectamente definido. Se realiza flexionando ligeramente las rodillas, de tal manera que los hombros y los pies estén alineados. Hay que ajustar la longitud de la cadena según la altura del usuario, agarrar la empuñadura y realizar la máxima fuerza.

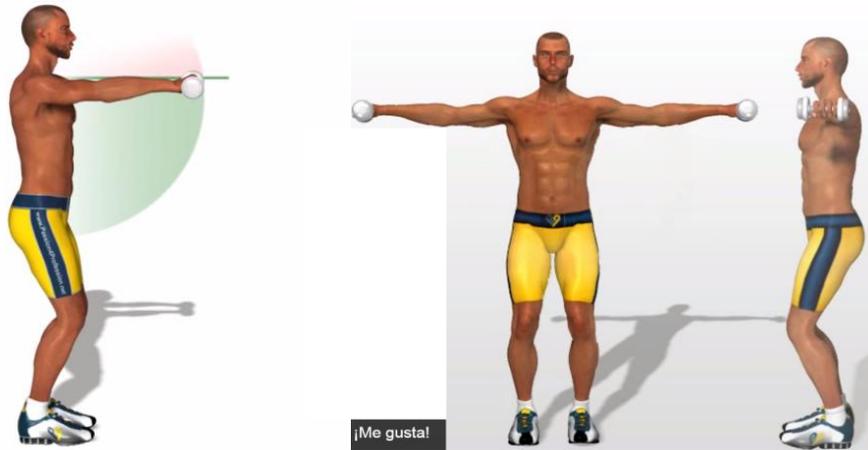


*Figura 20: Postura a adoptar para realizar el ejercicio lumbar.*

#### **7.5 DINAMÓMETRO HOMBROS.**

Para medir la fuerza de hombros, actualmente se requiere de dos personas que sujetan dos sargas desde el suelo. El usuario toma las dos empuñaduras y realiza el ejercicio.

Para medir la fuerza se emplean dos agarres, uno para cada brazo. El ejercicio se realiza igual que el levantamiento de mancuernas. Existen dos ejercicios: elevación frontal y elevación lateral.



*Figura 21: Elevación frontal y elevación lateral.*

## **8. NORMATIVA DE APLICACIÓN AL PROYECTO.**

### **8.1 NORMAS Y REGULACIONES PARA PRODUCTOS MÉDICOS Y SANITARIOS.**

#### **CE marcado europeo.**

De acuerdo con los principios de la Decisión 768/2008/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de fecha 9 de julio de 2008, el marcado **CE** simboliza la conformidad de un producto con los requisitos esenciales de seguridad y salud que le son aplicables e impuestos al fabricante.

Este marcado fijado sobre el producto es una declaración formal (Declaración de conformidad CE) de la empresa fabricante de que el producto es conforme con todos los requisitos comunitarios y de que se han llevado a cabo sobre dicho producto los procedimientos de evaluación de la conformidad que le son de aplicación.

#### **Directiva 2007/47/CE.**

Directiva 2007/47/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de septiembre de 2007, por la que se modifica la Directiva 90/385/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los productos sanitarios implantables activos, la Directiva 93/42/CEE del Consejo relativa a los productos sanitarios y la Directiva 98/8/CE relativa a la comercialización de biocidas.

### **8.2 ERGONOMÍA.**

#### **UNE-EN ISO 7250-1:2010.**

Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias (ISO 7250-1:2008).

#### **UNE-EN 547-2:1997+A1:2009.**

Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 2: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para las aberturas de acceso.

#### **UNE-EN 547-3:1997+A1:2008.**

Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 3: Datos antropométricos.

### **8.3 REALIZACIÓN DE PROYECTOS.**

#### **UNE 157001:2014.**

Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

### **8.4 NORMATIVA DE DIBUJO.**

#### **UNE 1032-82.**

Dibujos generales. Principios generales de representación.



**UNE-EN ISO 286-1:2011.**

Especificación geométrica de productos (GPS). Sistema de codificación ISO para las tolerancias en dimensiones lineales. Parte 1: Base de tolerancias, desviaciones y ajustes. (ISO 286-1:2010).

**UNE-EN ISO 286-2:2011.**

Especificación geométrica de productos (GPS). Sistema de codificación ISO para las tolerancias en dimensiones lineales. Parte 2: Tablas de las clases de tolerancia normalizadas y de las desviaciones límite para agujeros y ejes. (ISO 286-2:2010).

**UNE-EN ISO 4063:2011.**

Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia. (ISO 4063:2009, versión corregida 2010-03-01).

**UNE 1037:1983.**

Indicaciones de los estados superficiales en los dibujos.

## 9. PRUEBAS DE VALORACIÓN FUNCIONAL.

Se ha considerado importante resumir en un capítulo las pruebas de valoración funcional a realizar con cada uno de los dispositivos a diseñar. A continuación se exponen las mismas agrupadas por tipo de dispositivo.

### 9.1 PLATAFORMA DE EQUILIBRIO.

#### Cómo se utiliza.

El usuario se sube sobre la plataforma en posición de bipedestación. Frente al sujeto se dispondrá de un monitor de dimensiones amplias, a la distancia adecuada y a la altura de sus ojos, donde podrá visualizar la posición de su centro de gravedad. Dicho monitor mostrará los ejercicios a realizar mediante dianas o esferas que ha que intentar seguir moviendo el cuerpo. De la misma manera el operador o técnico correspondiente explicará los ejercicios que hay que hacer y resolverá cualquier duda que el usuario pueda tener. Además el técnico debe estar pendiente de que los ejercicios se realicen por parte del paciente de una forma concreta, ya que hay que llevarlos a cabo siguiendo un protocolo muy concreto. Si la ejecución no fuera correcta las medidas deberían ser desechadas y tomadas de nuevo.

#### Qué se mide.

La plataforma diseñada tiene cuatro sensores, uno en cada esquina, que miden la fuerza sobre cada uno de ellos. Al subirse, cada sensor marca un valor y, como se sabe el dónde está colocado cada sensor, puede calcularse la posición del centro de gravedad en el plano horizontal. Registrando las lecturas de dichas células de carga a una frecuencia de 50Hz, podremos ser capaces de conocer las trayectorias que ha seguido la posición del centro de gravedad a lo largo del tiempo de captura. Dichos cálculos se detallan en el apartado de protocolo de medida.

#### Pruebas a realizar.

- Evaluación sensorial dinámica.
  - Test de Romberg ojos abiertos (ROA).
  - Test de Romberg ojos cerrados (ROC).
  - Test de Romberg sobre gomaespuma (RGA).
  - Test de Romberg sobre gomaespuma y ojos cerrados (RGC).
- Valoración del control de estabilidad.
  - Límites de estabilidad.
  - Control rítmico direccional.

### 9.2 DINAMÓMETRO DE MANO.

#### Cómo se utiliza.

El dinamómetro tiene cinco posiciones que corresponden a las aperturas estándar de la empuñadura para este tipo de dispositivos. El operador del sistema debe seleccionar la posición que interese en cada momento. El ejercicio se realiza con la mano desnuda salvo que se requiera el uso de guantes para algún estudio concreto. La palma de la mano se

apoya sobre un lado de la empuñadura y los dedos sobre el opuesto. Posteriormente se procede a realizar la máxima fuerza que sea posible. El sujeto puede tener una pantalla delante en la que ve, en tiempo real, una gráfica que dibuja la fuerza que está realizando en función del tiempo.

#### **Qué se mide.**

El funcionamiento es el siguiente: la fuerza ejercida en la empuñadura tracciona el sensor de fuerza y el valor es recogido por el software que controla el dispositivo. En este caso puede calcularse, por ejemplo, cuál es la máxima fuerza realizada o cuál es el tiempo máximo que se mantiene la fuerza por encima de un determinado valor.

#### **Pruebas a realizar.**

- Máxima fuerza puntual con la mano.

### **9.3 DINAMÓMETRO DE DEDOS.**

#### **Cómo se utiliza.**

El proceso de uso es similar que para el dinamómetro de mano, pero en este caso se agarra con los dedos las dos placas. Hay dos maneras de realizar la fuerza según el gesto de pinza de los dedos sea lateral o distal. El técnico indicará cómo realizar la prueba en cada momento e igualmente, el usuario puede ver la fuerza que está realizando en el monitor.

#### **Qué se mide.**

Al aplicar presión el sensor se comprime y la información queda registrada en el ordenador. Los cálculos a realizar serán los mismos que los realizados para el dinamómetro de manos.

#### **Pruebas a realizar.**

- Máxima fuerza puntual con gesto de pinza lateral.
- Máxima fuerza puntual con gesto de pinza distal.

### **9.4 DINAMÓMETRO LUMBAR.**

#### **Cómo se utiliza.**

La propia plataforma sirve de base para realizar esta prueba. El sujeto debe subirse a la misma y agarrar la empuñadura. Esta debe regularse para que el ejercicio se realice cómodamente. Las piernas deben estar ligeramente flexionadas de tal manera, que los pies estén alineados con los hombros. Además el ángulo entre brazo y antebrazo debe ser de 160º aproximadamente, siempre sin llegar al límite ya que se podría producir una lesión.

#### **Qué se mide.**

La plataforma tiene una anilla de cáncamo pensada para este ejercicio. En esta anilla se pasa una cadena con una empuñadura en el extremo que permite realizar el ejercicio. Entre la cadena y la placa se sitúan dos sensores que registrarán la fuerza. Este valor es llevado a un ordenador que suma el valor de los dos sensores y devuelve la fuerza total que está ejerciendo el usuario.

#### **Pruebas a realizar.**

- Máxima fuerza puntual con las lumbares.



## 9.5 DINAMÓMETRO HOMBROS.

### **Cómo se utiliza.**

En este caso la plataforma también será el soporte físico que servirá de apoyo en la realización de la prueba.

### **Qué se mide.**

Unos ganchos alojados en los laterales de la plataforma permiten fijar dos cuerdas, una para cada brazo, de longitud regulable que tienen en sus extremos una empuñadura. Entre cada cuerda y la plataforma habrá un sensor de media que recoge la fuerza que se efectúa. Como la cuerda no es perfectamente perpendicular al suelo hay que hacer una descomposición de fuerzas. Para ello es necesario saber el ángulo que tiene la misma. Este ángulo será diferente para cada persona según su altura y su longitud de brazo. Se podrá medir en cada caso o bien estimarlo según patrones de normalidad, previsiblemente se elegirá esa segunda opción.

### **Pruebas a realizar.**

- Máxima fuerza puntual con los hombros en elevación frontal.
- Máxima fuerza puntual con los hombros en elevación lateral.

## 10.ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

En este capítulo de la memoria se describen las bases y datos de partida para el diseño de los distintos dispositivos, resultante de integrar información proveniente de distintas fuentes: el cliente, el emplazamiento y su entorno socio-económico, estudios realizados, interfaces con otros sistemas o elementos externos al proyecto, que condicionan las soluciones técnicas del mismo y de la normativa vigente a aplicar.

Las especificaciones de diseño se clasifican en dos columnas según se refieran a especificaciones relativas al usuario final o bien a especificaciones técnicas requeridas y derivadas de las primeras. Lógicamente estos dos puntos de vista están claramente relacionados como puede comprobarse en las tablas incluidas a continuación.

Hay que explicar que los dinamómetros de hombro y lumbar no tienen sus apartados propios de especificaciones de diseño ya que sus características y requerimientos son evidentes, no obstante al realizarse sobre la plataforma, la misma deberá disponer de determinadas características para su ejecución, consecuentemente influirán en las especificaciones de diseño de la plataforma de equilibrio.

### 10.1 PLATAFORMA DE EQUILIBRIO.

Especificaciones percibidas por el usuario final.	Especificaciones técnicas necesarias.
Que cumpla bien su función (Medir el equilibrio en tiempo real).	Utilizar Sensores de medida fiables con una frecuencia de 50 Hz. Programación testada.
Que tenga garantía de funcionamiento durante el mayor tiempo posible.	Asegurarse de que el diseño es resistente y no se deteriora con el uso. Además ofrecer servicio técnico.
Que sea un instrumento sencillo.	Utilizar piezas simples y siempre las que sean estrictamente necesarias.
Que sea de fácil manejo.	Impartir sesiones de manejo.
Que pueda ser utilizado por cualquier paciente.	Tener en cuenta los percentiles de todas las dimensiones antropométricas implicadas.
Que de una información fiable.	Todos los elementos deben ser muy precisos y el error debe estar acotado.
Que no sea muy pesado, ya que debe poder ser manipulado y transportado sin la ayuda de maquinaria.	Se estima que un peso máximo de la plataforma pueden ser 15 kg.
Que sea económico.	Ahorrar costes de fabricación.
Que se pueda utilizar en un suelo ligeramente irregular.	Que tenga las patas regulables en altura.
Que sea robusto y duradero.	Las piezas deben soportar todas las cargas que van a recibir en su uso. El coeficiente de seguridad debe ser alto.
Que sea extremadamente seguro y se eviten caídas, cortes o resbalones.	Estar siempre del lado de la seguridad, evitar aristas vivas y utilizar recubrimientos antideslizantes.

Que sea sencillo de manejar por todos los implicados en su funcionamiento.	Prever un uso intuitivo tanto en el hardware como en el software.
Que albergue la prueba de dinamometría lumbar.	Colocar un anclaje en la parte delantera. Carga máxima estimada de 400 Kg.
Que se realice sobre ella la prueba dinamométrica de hombros.	Colocar dos anclajes uno a cada lado. Carga máxima estimada de 50 kg en cada uno.
Que sea estético.	Tener en cuenta en el diseño de cada pieza el impacto sobre el usuario final.
Que esté garantizada su legalidad.	Que cumpla la normativa vigente, en cuanto a forma, seguridad y salud. Descrita en el apartado 8 (Normativa de aplicación al proyecto).
Que no se produzca vuelco.	Tener en cuenta la posibilidad de que al subir o bajar el paciente pueda situarse en los bordes de la plataforma.

*Tabla 3: Especificaciones de diseño. Plataforma de equilibrio.*

## 10.2 DINAMÓMETRO DE MANO.

Especificaciones percibidas por el usuario final.	Especificaciones técnicas necesarias.
Que cumpla bien su función (Medir la fuerza de la mano en tiempo real).	Utilizar un sensor de medida fiable con una frecuencia de 50 Hz. Programación testada.
Que tenga garantía de funcionamiento durante el mayor tiempo posible.	Asegurarse de que el diseño es resistente y no se deteriora con el uso. Además ofrecer servicio técnico.
Que sea un instrumento sencillo.	Utilizar piezas simples y siempre las que sean estrictamente necesarias.
Que sea de fácil manejo.	Impartir sesiones de manejo.
Que pueda ser utilizado por cualquier paciente.	Tener en cuenta los percentiles de todas las dimensiones antropométricas implicadas.
Que de una información fiable.	Todos los elementos deben ser muy precisos y el error debe estar acotado.
Que sea ligero, ya que debe poder ser manipulado con facilidad.	Se estima que un peso máximo del dinamómetro puede ser de 1 kg aproximadamente.
Que sea económico.	Ahorrar costes de fabricación.
Que sea ergonómico y muy cómodo para la mano.	Utilizar conocimientos de ergonomía y confort para diseñar la empuñadura.
Que sea robusto y duradero.	Las piezas deben soportar todas las cargas que van a recibir en su uso. El coeficiente de seguridad debe ser alto.
Que sea extremadamente seguro y se eviten pinchazos, cortes o pellizcos.	Estar siempre del lado de la seguridad, evitar aristas vivas y utilizar recubrimientos suaves.
Que sea sencillo de manejar por todos los implicados en su funcionamiento.	Prever un uso intuitivo tanto en el hardware como en el software.
Que la apertura de la empuñadura sea regulable.	Diseñar mecanismo de regulación en las 5 posiciones estándar de apertura.

Que sea estético.	Tener en cuenta en el diseño de cada pieza el impacto sobre el usuario final.
Que esté garantizada su legalidad.	Que cumpla la normativa vigente, en cuanto a forma, seguridad y salud. Descrita en el apartado 6 (Normativa de aplicación al proyecto).

*Tabla 4: Especificaciones de diseño. Dinamómetro de mano.*

### 10.3 DINAMÓMETRO DE DEDOS.

Especificaciones percibidas por el usuario final.	Especificaciones técnicas necesarias.
Que cumpla bien su función (Medir la fuerza de los dedos en tiempo real).	Utilizar un sensor de medida fiable con una frecuencia de 50 Hz. Programación testada.
Que tenga garantía de funcionamiento durante el mayor tiempo posible.	Asegurarse de que el diseño es resistente y no se deteriora con el uso. Además ofrecer servicio técnico.
Que sea un instrumento sencillo.	Utilizar piezas simples y siempre las que sean estrictamente necesarias.
Que sea de fácil manejo.	Impartir sesiones de manejo.
Que pueda ser utilizado por cualquier paciente.	Tener en cuenta los percentiles de todas las dimensiones antropométricas implicadas.
Que de una información fiable.	Todos los elementos deben ser muy precisos y el error debe estar acotado.
Que sea ligero, ya que debe poder ser manipulado con facilidad.	Se estima que un peso máximo del dinamómetro puede ser de 0,5 kg aproximadamente.
Que sea económico.	Ahorrar costes de fabricación.
Que sea ergonómico y muy cómodo para los dedos.	Utilizar conocimientos de ergonomía y confort para diseñar el agarre.
Que sea robusto y duradero.	Las piezas deben soportar todas las cargas que van a recibir en su uso. El coeficiente de seguridad debe ser alto.
Que sea extremadamente seguro y se eviten pinchazos, cortes o pellizcos.	Estar siempre del lado de la seguridad, evitar aristas vivas y utilizar recubrimientos suaves.
Que sea sencillo de manejar por todos los implicados en su funcionamiento.	Prever un uso intuitivo tanto en el hardware como en el software.
Que sea estético.	Tener en cuenta en el diseño de cada pieza el impacto estético sobre el usuario final.
Que esté garantizada su legalidad.	Que cumpla la normativa vigente, en cuanto a forma, seguridad y salud. Descrita en el apartado 6 (Normativa de aplicación al proyecto).

*Tabla 5: Especificaciones de diseño. Dinamómetro de dedos.*

## 11. DISEÑO DEL PRODUCTO.

### 11.1 ELECCIÓN DEL SENSOR DE MEDIDA.

Existen dos tipos de sensores que se suelen utilizar en las plataformas estabilométricas:

- Piezoeléctricos: su componente principal es un material piezoeléctrico, que, a partir de la aplicación de una carga, genera una diferencia de potencial proporcional a la carga aplicada y a la forma cómo esta se efectuó. Debido a que no actúan de forma continua, sino de manera instantánea, las plataformas construidas con estos elementos, son ideales para pruebas de impacto, como la marcha, el salto y el movimiento.
- Basados en galgas extensiométricas: su componente principal es la celda de carga, cuyo principio de transducción se basa en el fenómeno mecánico de la deformación. Cuando las fuerzas están balanceadas, producen una carga en el cuerpo, lo que causa la deformación, ya sea por presión o estiramiento.

Los dispositivos a construir no pretenden ser utilizados para pruebas de impacto, salto o movimiento, por lo que un sensor basado en galgas extensiométricas cumple perfectamente con las especificaciones requeridas.

De esta manera se ha elegido una **célula de carga** tipo S de 100 Kg.

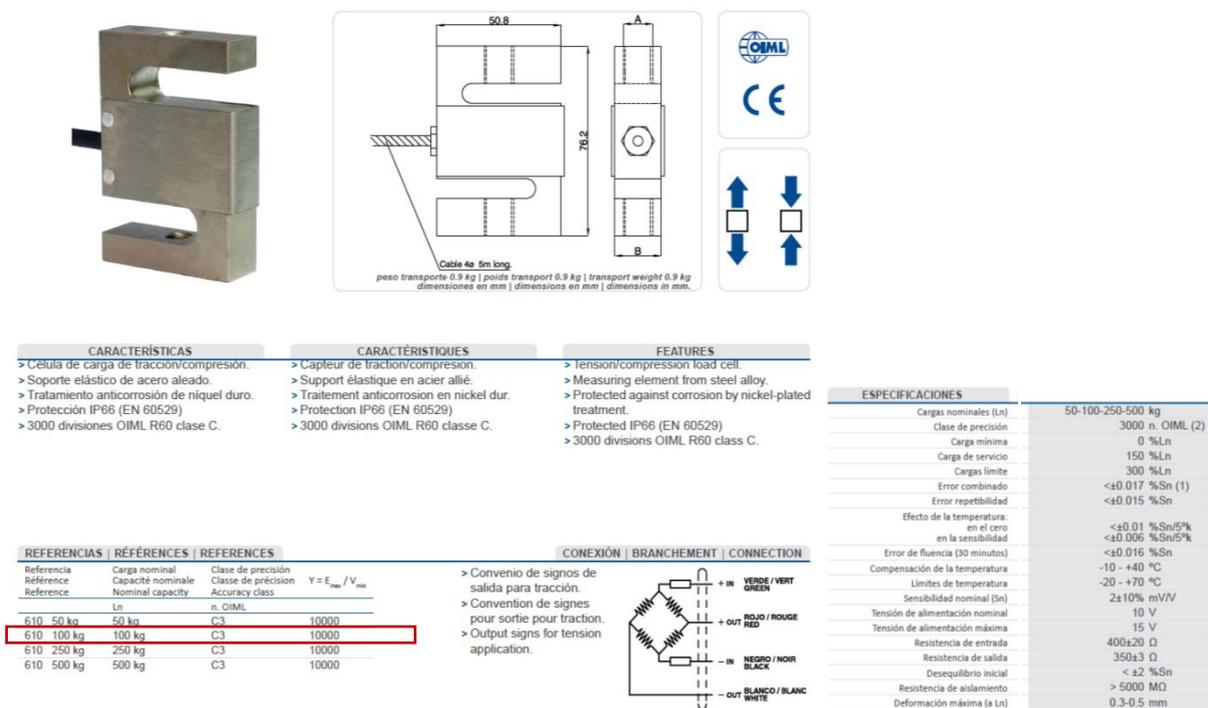


Figura 22: Catálogo célula de carga.

Las células de carga utilizadas trabajan a 50 Hz lo que supone tomar 50 datos en un segundo, o lo que es lo mismo, un dato cada 0.02 segundos.

También es importante destacar que pueden trabajar tanto a tracción como a compresión. A tracción el voltaje resultante es positivo y a compresión negativo.

Las células tienen dos orificios roscados (métrica 6) situados en la parte superior e inferior respectivamente. En ellos se puede atornillar ganchos o tornillos que facilitan la aplicación de la carga. Es importante tratar de aplicar la carga en estos puntos ya que las células están pensadas para ello y darán una mejor medida.

<b>Certificate</b>		
Product: <u>LOAD CELL</u>	Precision: <u>0.02%F.S</u>	
Model: <u>3138-100kg</u>	Inspection Date: <u>July05,2013</u>	
Nº: <u>1349</u>		
<b>Specifications</b>		
Rated Output	mv/v	2.9980
Non-linearity	%F.S	0.020
Hysteresis	%F.S	0.018
Repeatability	%F.S	0.019
Creep	%F.S/30min	0.020
Temp.effect on zero	%F.S/10°C	0.017
Temp.effect on span	%F.S/10°C	0.020
Zero balance	%F.S	±1
Input impedance	Ω	350±5
Output impedance	Ω	350±5
Insulation resistance	MΩ	≥5000(50VDC)
Recommended excitation voltage	VDC	9~12
Allowed excitation voltage	VDC	5~18
Compensated temp.Range	°C	-10°C~+40°C
Operating temp.Range	°C	-20°C~+55°C
Safe overload	%F.S	120
Ultimate Overload	%F.S	150
Connection	Excitation:	<input checked="" type="checkbox"/> red:+ <input checked="" type="checkbox"/> black:- <input type="checkbox"/> yellow:-
	Signal:	<input checked="" type="checkbox"/> green:+ <input type="checkbox"/> blue:+ <input checked="" type="checkbox"/> white:-
Q.C:	Checker:	<b>PASS QC8</b>

Figura 23: Certificado de la célula de carga.

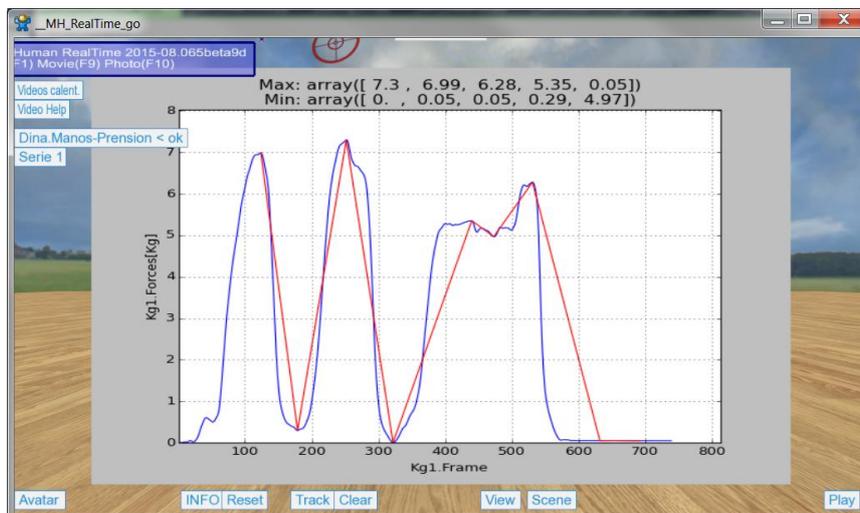


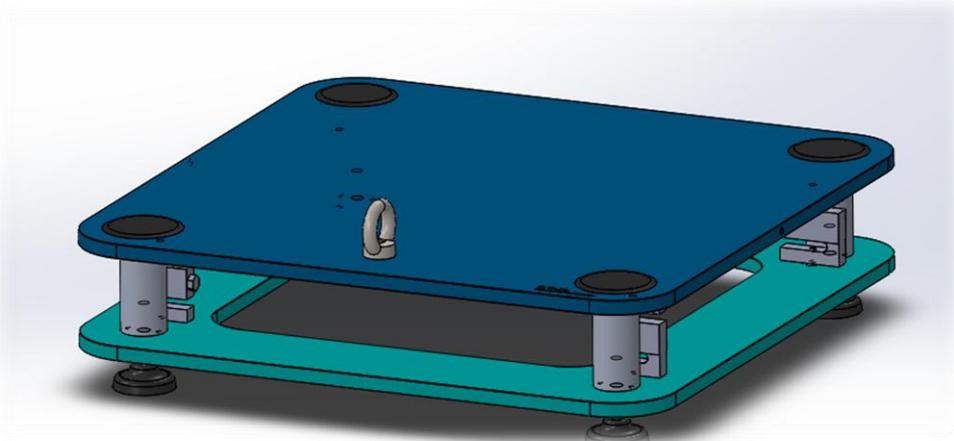
Figura 24: Gráfica de una célula de carga trabajando a tracción.

## 11.2 PLATAFORMA DE EQUILIBRIO.

A partir de los requisitos expuestos previamente y acorde al estado del arte recopilado al respecto, se propone la construcción de una plataforma estabilométrica con unas características muy concretas, las cuales se explicitan a continuación.

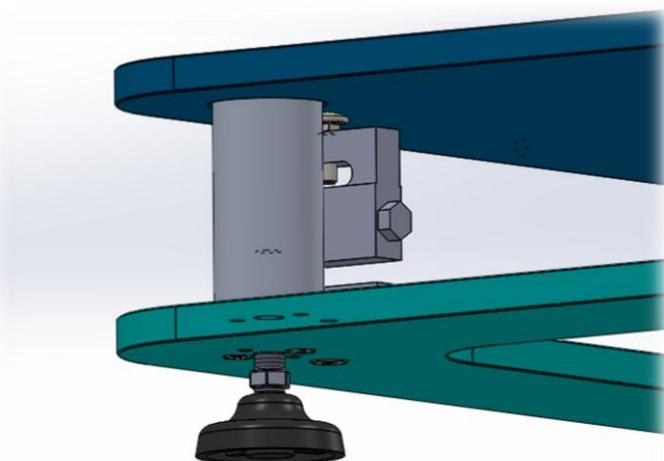
Hay algunos fabricantes como el IBV que utilizan plataformas integradas en el suelo, pero que no cumplen uno de los requerimientos iniciales como es la portabilidad. En consecuencia el diseño será independiente del suelo.

De la misma manera otros fabricantes utilizan plataformas que pueden moverse en varios grados de libertad para limitar alguna capacidad del sujeto, pero en algunas publicaciones se afirman que también se puede conseguir utilizando una plataforma fija. Por ejemplo utilizando gomaespuma colocada sobre la misma. (3) (5) (6)



*Figura 25: Diseño plataforma de equilibrio.*

La plataforma diseñada es cuadrada. Con cuatro patas con rótula y regulables en altura para que puedan nivelarse en suelos que no sean perfectamente planos. Las esquinas son redondeadas por dos motivos: para evitar aristas vivas y para ahorrar peso.



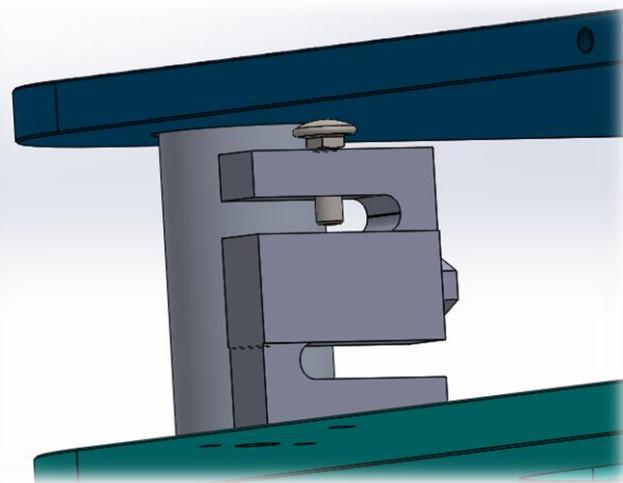
*Figura 26: Patas regulables de la plataforma.*

Hay cuatro células de carga, una en cada esquina, estas, están situadas entre dos planchas y trabajan a compresión cuando el sujeto se posiciona sobre la plataforma.

Las células serán las encargadas de medir los esfuerzos producidos en la dirección vertical. Por este motivo tienen que ser los únicos elementos que soporten el peso del sujeto. Por otro lado, hay que tener en cuenta que al ser un elemento en el que una persona tiene que subirse, en algún momento va a haber fuerzas transversales, en la dirección horizontal. Y dichas fuerzas pueden llegar a ser de gran intensidad. Si no se utiliza un sistema para absorber estas fuerzas, se podrían dañar las células de carga.

Con el fin de absorber dichas fuerzas transversales, el sistema utilizado serán unas guías que atraviesan la placa superior. Será significativamente importante que no haya rozamiento ya que se falsearían los resultados medidos. Así que inicialmente se optó por introducir ligeramente las guías en la placa superior. De esta manera se evitan dos problemas: por un lado la superficie de contacto es pequeña (poco rozamiento) y, por otro, cuando el paciente se suba y se modifique ligeramente el ángulo de la placa superior, esta no se quedará enclavada. Durante las pruebas del prototipo fabricado se constató que el funcionamiento era correcto. Pero se planteó un rediseño para esta zona y así evitar algunos problemas detectados que no tienen que ver con el efecto de rozamiento o enclavamiento. Esto se explica más adelante.

El apoyo de la placa sobre las células tiene que ser puntual ya que se requiere una gran precisión y que el esfuerzo recaiga sobre el eje vertical de las células. Por ello se han utilizado tornillos de cabeza de perno con cuello cuadrado. Como la cabeza del tornillo es un casquillo esférico, el apoyo es puntual. Además los tornillos van alojados en el orificio que tienen las células previstas para ello y este agujero está en el eje vertical de las células.



*Figura 27: Apoyo de la placa superior en la célula de carga.*

Como se ha explicado, la unión entre la placa y la guía no debe tener rozamiento por lo que tolerancia seleccionada para la unión será la siguiente: H8 – e8 (agujero base), que corresponde a un juego mínimo de: 50  $\mu\text{m}$ .

El material utilizado es aluminio AL – 7075 que es muy resistente, económico y aligera mucho el sistema.

## Aleación de Aluminio - Zinc

AL-7075

PRODUCTOS: BARRAS, PERFILES EXTRUIDOS, TUBOS, CHAPAS, PLANCHAS.

**Composición química:**  
Consultar tabla de composiciones químicas (páginas 16 y 17)

**Propiedades mecánicas típicas (a temperatura ambiente de 20°C)**

Estado	Características a la tracción			Limite a la fatiga N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cizalladura N/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm <sup>2</sup>	Limite elástico Rp 0,2. N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento A 5,65 %			
0		225	105	-	230	60
T6	6 - 12	530	450	8	300	140
T6	12 - 25	530	450	5	300	140
T6	26 - 50	530	450	3	300	140
T6	51 - 63	500	430	2	300	130
T6	63 - 75	480	410	2	300	130
T6	75 - 100	480	390	2	300	130
T7351		505	435	13	300	140

**Características mecánicas de la aleación a diferentes temperaturas**

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	705	635	9	620	545	11	595	515	11	570	505	11	485	450	14
T7351	635	495	14	545	460	14	525	450	13	505	435	13	435	400	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65												
T6	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70
T7351	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70

Rm N/mm; Rp N/mm; A 5,6 5%

**Aplicaciones:**  
Debido a su elevado límite elástico es una aleación muy adecuada para piezas sometidas a grandes fatigas, se utiliza para la construcción de troqueles, moldes de soplado, matrices, maquinaria, herramientas, armamento, blindajes, industria del automóvil, piezas estampadas, tornillería, bastones de esquí, accesorios ortopédicos, cañas de pesca, arcos y flechas, raquetas de tenis, remaches, aplicaciones nucleares.

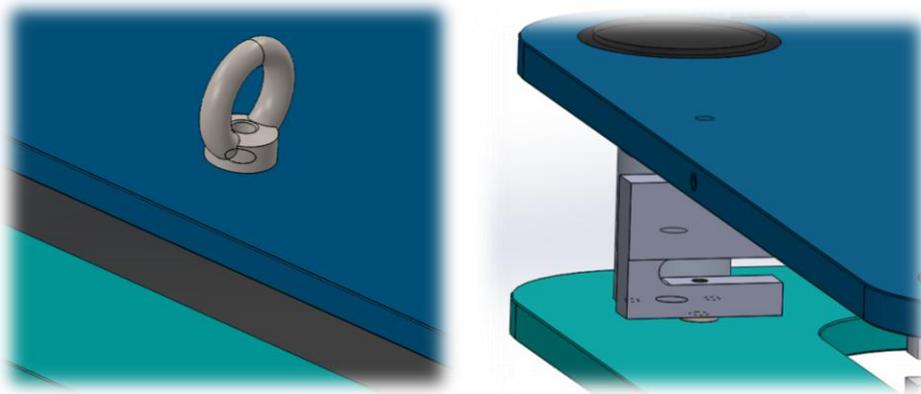
**Observaciones:**  
Se ha de tener cuidado en la elección del temple (u otros tratamientos térmicos) para el equilibrio de las características. Se puede plaquear con la aleación 7072 para una mejor protección contra las grietas por corrosión bajo tensión. Con herramientas apropiadas se puede mecanizar a velocidades superiores a 2000 m/min.

Nota:  
Recomendamos evitar que las chapas estén al aire y se sequen inmediatamente si se cortan con waterjet para evitar su corrosión y aparición de manchas.  
1Kg/mm<sup>2</sup> = 9,81N/mm<sup>2</sup>  
1N/mm<sup>2</sup> = 1MPa

Figura 28: Catálogo SanMetal.SI.

De la misma manera, para aligerar la plataforma se vacía el centro de la placa inferior ya que no va a soportar ninguna carga. Además perforar esta zona no supone ningún cambio a simple vista ya que al estar debajo no va a ser visible para el usuario final.

En la placa superior se ha colocado una argolla de cáncamo donde se anclará la cadena que se utiliza para medir el esfuerzo lumbar. En los laterales se han hecho dos orificios para atornillar dos ganchos con los que se hará la prueba de hombro.



*Figura 29: Cáncamo y orificio lateral para dinamometría.*

El espesor de la placa superior ha sido cuidadosamente seleccionado dentro de los que proporciona el proveedor (SanMetal.SI). Para ello se ha hecho un estudio estático de elementos finitos mediante el software de Solid Works (Anexo: Estudio por elementos finitos).

Teniendo en cuenta todo lo expuesto y plasmando en los planos constructivos, la empresa GAMEC.SL, realizó la fabricación acorde a dichos planos.



*Figura 30: Prototipo de la plataforma.*

Una vez fabricado el primer prototipo se sacaron varias conclusiones importantes:

La plataforma cumple, en general, con las especificaciones principales de diseño, además se integra con el software correctamente.

Hay que destacar que cuanto menos se introduce la placa superior en las guías, mejor es el resultado de las medidas. Si solo se introduce unos 4 mm, funciona perfectamente. En el caso de introducirla más, la placa se queda clavada y no cumple su función.

En cuanto al acabado superficial se pintó con pintura electrostática y el resultado es muy bueno, pero hay que tener en cuenta que no se pueden pintar algunas zonas, como por ejemplo, la unión entre las guías y la placa, ya que se pierden las tolerancias.

El problema que tiene introducir tan poco las guías en la placa es, que cuando el sujeto sube o baja de la plataforma y pone un pie en uno de los bordes, la placa superior se levanta y puede llegar a ser peligroso.

Por lo tanto, hay que plantear una solución para evitar el vuelco. Para ello se ha rediseñado la zona de unión entre la placa y la guía. Esta solución se especifica al detalle en los planos.

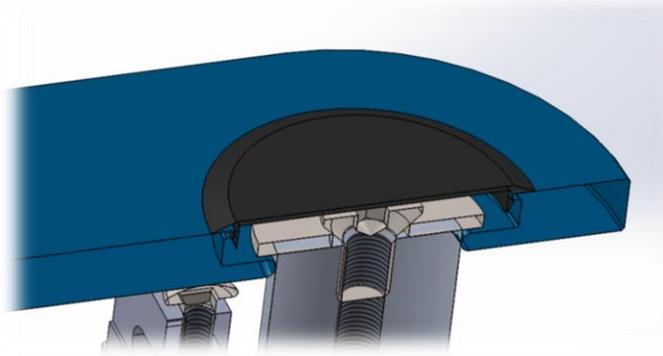


Figura 31: Rediseño de contacto entre placa y guía.

Como puede verse en la imagen, se utiliza un sistema desmontable que evita que la placa superior se salga. Todo ello se cubre con un tapón para placas metálicas del fabricante MoCAP SMF 2/1.8 BK1.



Referencia	Para orificio diámetro...	Espesor de placa	A B C			CAJA  /Mini/Micro	Ver precios/ Comprar
			mm	Ø Cuello mm	Alt mm		
SMF3/8BK1	.37° - .38° (9.40 - 9.65mm)	.02° - .06° (51 - 1.52mm)	10.4	19.1	4.8	5000 1000 100	€  Muestra
SMF7/16BK1	.43° - .45° (10.92 - 11.43mm)	.03° - .06° (76 - 1.52mm)	11.9	17.5	5.6	5000 1000 100	€  Muestra
SMF1/2BK1	.49° - .52° (12.45 - 13.21mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	13.7	21.8	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF9/16BK1	.55° - .58° (13.97 - 14.73mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	15.2	22.1	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF5/8BK1	.61° - .64° (15.49 - 16.26mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	17.0	23.6	6.6	5000 1000 100	€  Muestra
SMF3/4BK1	.74° - .77° (18.80 - 19.56mm)	.03° - .11° (76 - 2.79mm)	20.1	26.9	7.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF7/8BK1	.86° - .89° (21.84 - 22.61mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	23.1	29.5	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF15/16BK1	.92° - .96° (23.37 - 24.38mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	24.9	33.3	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF1BK1	.96° - 1.02° (24.38 - 25.91mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	26.4	34.8	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF1-3/16BK1	1.17° - 1.20° (29.72 - 30.48mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	31.0	39.6	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF1-1/4BK1	1.23° - 1.27° (31.24 - 32.26mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	32.8	41.1	6.4	5000 1000 100	€  Muestra
SMF1-5/16BK1	1.30° - 1.33° (33.02 - 33.78mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	34.5	42.7	6.4	4500 900 90	€  Muestra
SMF1-1/2BK1	1.49° - 1.52° (37.85 - 38.61mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	39.1	47.8	6.4	3500 700 70	€  Muestra
SMF1-3/4BK1	1.73° - 1.76° (43.94 - 44.70mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	45.5	54.1	6.4	1000 200 20	€  Muestra
SMF2BK1	1.98° - 2.01° (50.29 - 51.05mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	51.8	59.9	7.4	1000 200 20	€  Muestra
<b>SMF2-1/8BK1</b>	<b>2.10° - 2.14° (53.34 - 54.36mm)</b>	<b>.03° - .08° (76 - 2.03mm)</b>	<b>55.1</b>	<b>63.2</b>	<b>6.4</b>	<b>1000 200 20</b>	€  Muestra
SMF3BK1	2.97° - 3.02° (75.44 - 76.71mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	77.7	85.3	6.4	750 150 15	€  Muestra
SMF3-1/8BK1	3.10° - 3.15° (78.74 - 80.01mm)	.03° - .08° (76 - 2.03mm)	80.8	89.4	6.4	750 150 15	€  Muestra

Figura 32: Catálogo tapón para placas MoCap.



Con el rediseño de esta zona, aplicable en las siguientes versiones, se mejoran dos aspectos:

- Por un lado se evita el vuelco ya que si la placa se levanta, choca inmediatamente con la pieza circular.
- Por otro, la zona de contacto entre la guía y la placa se ha reducido al mínimo redondeando el borde de la placa. De esta manera el error cometido por rozamiento será mínimo.

### 11.3 DINAMÓMETRO DE MANO.

En el dinamómetro de mano se utiliza una célula de carga, el objetivo es construir un agarre que comprima la célula de carga.

Para esta función se ha diseñado un conjunto que consta de dos partes, una fija, que está unida a un extremo de la célula. Y una parte móvil que está unida al otro extremo y que recorre las 5 posibles posiciones que tiene el dinamómetro.

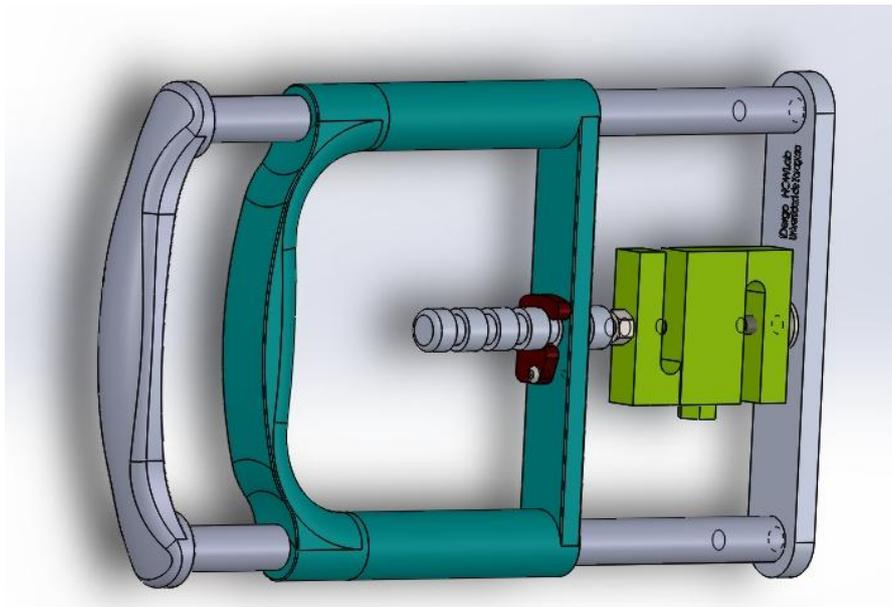


Figura 33: Diseño dinamómetro de mano.

La posición se selecciona levantando una traba que permite deslizar la parte móvil hasta la posición deseada. Una vez en este punto se vuelve a bajar la traba para que quede fijo.

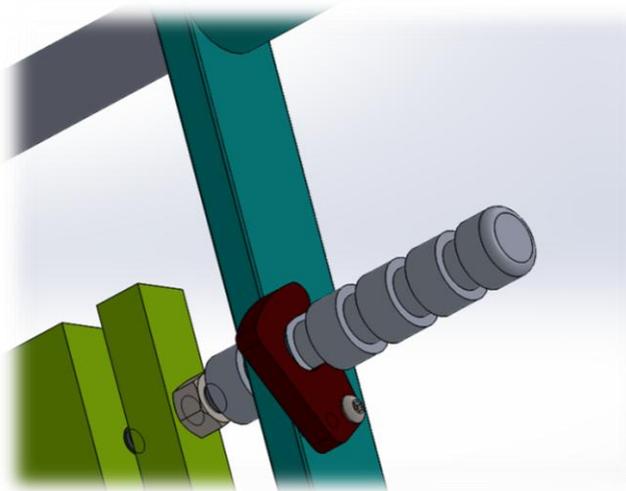
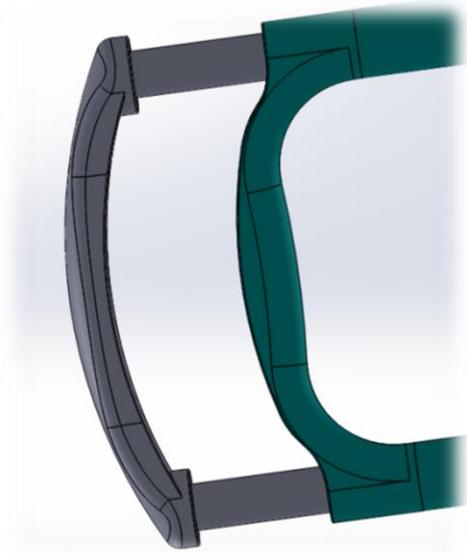


Figura 34: Funcionamiento de la traba del dinamómetro.

El mango por lo tanto tiene dos partes, una en la que se apoya la palma de la mano y otra en la que se apoyan los dedos. El usuario tendrá que intentar juntar estas dos partes mediante su fuerza humana.

La anchura del mango así como el hueco necesario para que cualquier mano quepa ha sido seleccionada de acuerdo a las tablas de antropometría normalizadas. Todas las aristas del dinamómetro son redondeadas para evitar cualquier corte o arañazo.



*Figura 35: Empuñadura dinamómetro de manos.*

Las aperturas que tiene el dinamómetro son las estándar, de esta manera muchos estudios realizados pueden compararse directamente.

El ensamblaje del conjunto se hace mediante soldadura. Para montar el dinamómetro se atornilla el eje a la célula. Para evitar posibles desajustes de fabricación y mejorar la precisión, el usuario tiene que atornillar el eje de tal forma que la separación del mango quede a una determinada longitud.

En el diseño se ha previsto un sencillo desmontaje en el cual al sacar dos tornillos y se puede separar las partes del dinamómetro para engrasar, limpiar, reparar, etc.

En cuanto a las tolerancias de fabricación hay varias zonas que son especialmente críticas:

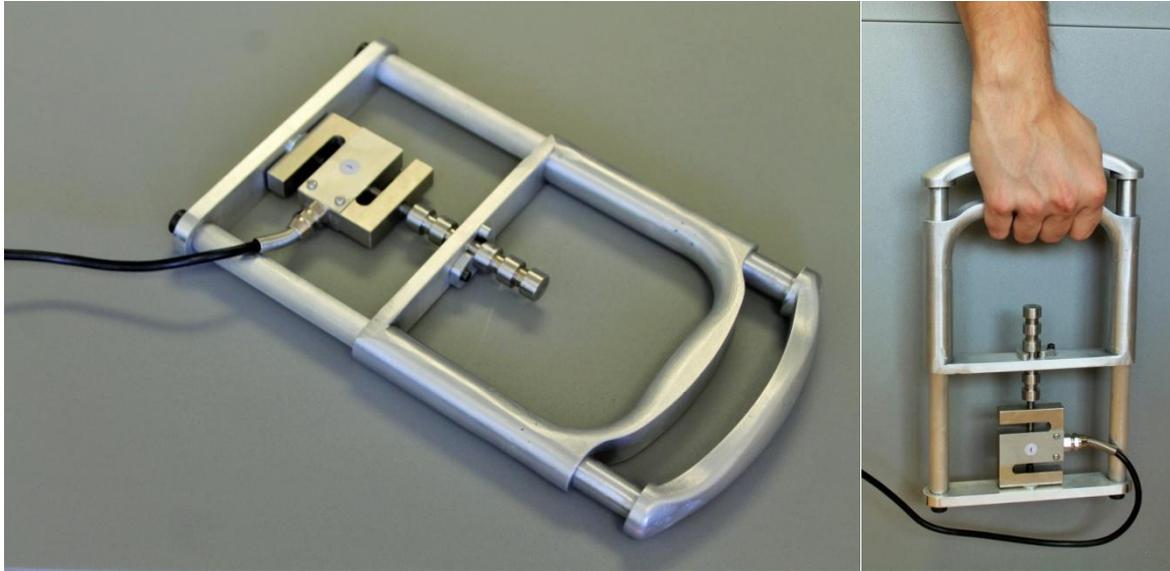
Por un lado la parte móvil del dinamómetro tiene que tener holgura respecto de las guías para que pueda desplazarse con facilidad. Así que en esta zona se ha puesto una tolerancia de:  $h8 - C9$  (eje base), que corresponde a un juego mínimo de:  $50 \mu\text{m}$ .

De la misma manera el eje atraviesa la parte móvil del dinamómetro tiene que tener juego para que pueda moverse sin ningún problema. La tolerancia en esta zona es de:  $h8 - C9$  (eje base), que corresponde a un juego mínimo de:  $50 \mu\text{m}$ .

La última tolerancia crítica es la que hay entre la traba y las ranuras del eje, igual que en los casos anteriores tiene que tener juego. La tolerancia será de:  $h8 - C9$  (eje base), que corresponde a un juego mínimo de:  $50 \mu\text{m}$ .

El prototipo construido, funciona correctamente la única cuestión a mejorar es el acabado superficial. Al aluminio se le dio un tratamiento de anodizado, el problema apareció en las zonas de soldadura, que al haber estado sometidas a altas temperaturas, las propiedades del metal han cambiado y se ven más oscuras.

Por ello se propone utilizar pintura electrostática en vez de anodizar las piezas. En este proceso habrá que tener en cuenta que algunas zonas no deben ser pintadas para que los ajustes sigan teniendo las mismas funcionalidades. Todo esto se especifica en los planos.

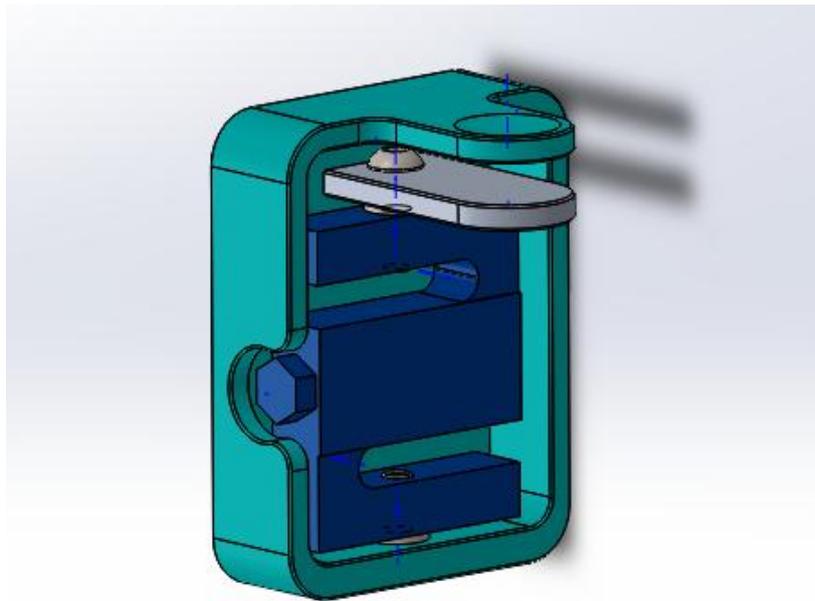


*Figura 36: Prototipo Dinamómetro mano.*

#### 11.4 DINAMÓMETRO DE DEDOS.

El dinamómetro de dedos funciona con una célula de carga que trabaja a tracción. El sistema transmite las fuerzas ejercidas por los dedos a la célula.

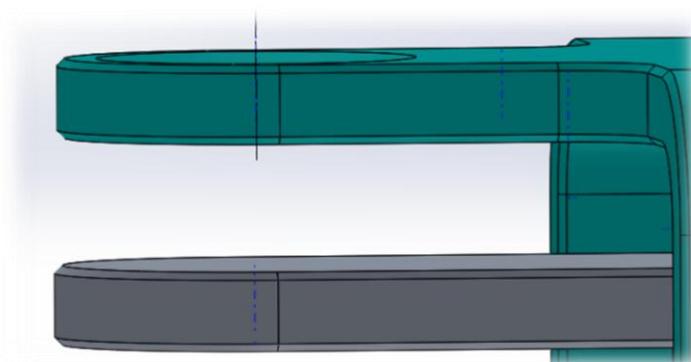
El conjunto tiene dos piezas: por un lado, una carcasa que se une a un lado de la célula y sobre la que se apoya uno de los dedos, Y por otro, otra pieza más pequeña en la que se apoya la otra falange y está unida al otro extremo de la célula.



*Figura 37: Diseño dinamómetro de dedos.*

La separación de agarre es estándar, así que los estudios que se realicen con el dinamómetro se pueden comparar con los realizados por otros dispositivos.

La pletina superior tiene un hueco en forma de casquillo esférico donde se alojará el pulgar, en el gesto de pinza lateral, o el dedo índice, en gesto de pinza distal.



*Figura 38: Agarre dinamómetro dedos.*

La parte inferior del dinamómetro es plana para que pueda estar apoyado en una mesa mientras el usuario realiza las pruebas. La carcasa está provista de un hueco para que el cable pase por esa zona.

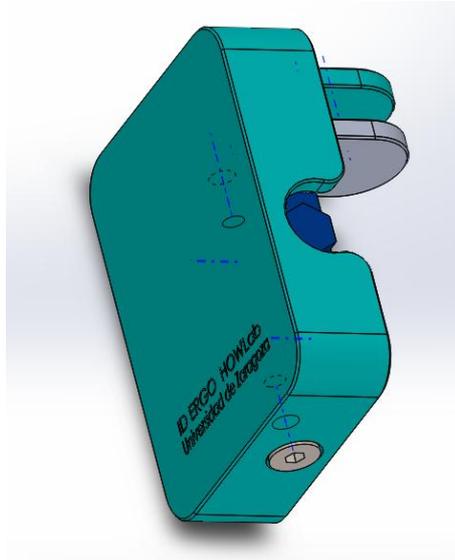


Figura 39: Carcasa del dinamómetro.

Una vez construido el primer prototipo se vio que funcionaba perfectamente, en cuanto al acabado superficial, no es influyente uno u otro, en este caso se anodizó y queda muy uniforme ya que no tiene ningún tipo de soldadura y no cambia de color. Por otro lado se piensa que la pintura electrostática podría ser una mejor solución para seguir con la misma línea que los demás dispositivos.

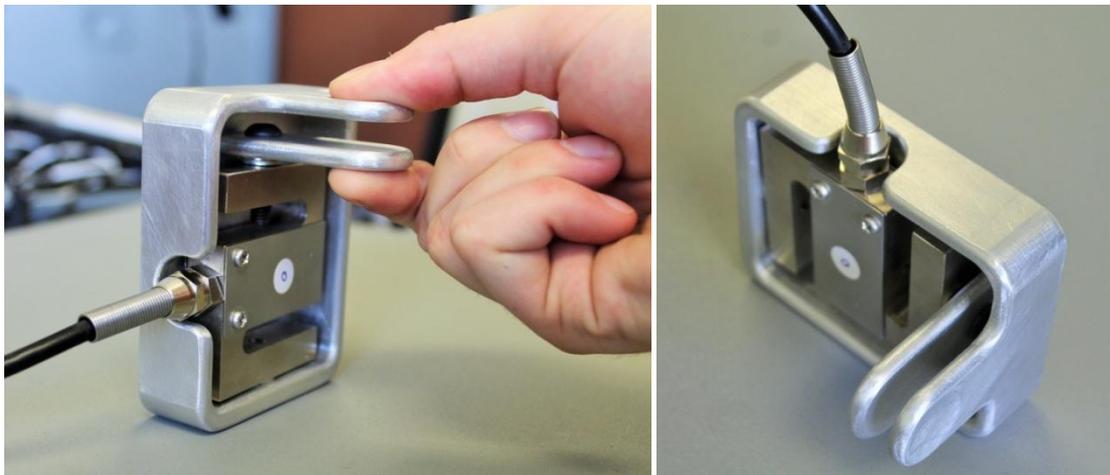


Figura 40: Prototipo Dinamómetro mano.

### 11.5 DINAMÓMETRO DE HOMBROS + LUMBAR.

Como se puede observar en el diseño de la plataforma hay unos anclajes para realizar estas dos pruebas.

Para la **prueba lumbar**, se utilizan dos células de carga y dos agarres como los que puede verse en las imágenes. Para unirlos a la plataforma se emplea una cadena que permite graduar la longitud según se elija un eslabón u otro.



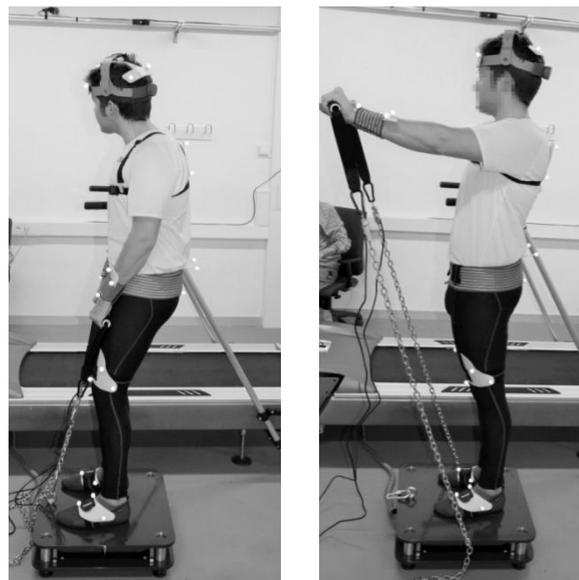
*Figura 41: Célula de carga sin funda y con funda.*

Las células se protegen con una funda para que no sufran golpes al montar o desmontar las pruebas.



*Figura 42: Empuñaduras.*

En la **prueba de hombros**, se utilizan dos células de carga una y dos empuñaduras para cada brazo.



*Figura 43: Prueba de dinamometría lumbar + hombros con sensores ópticos.*

Como puede observarse en la imagen, en la prueba de dinamometría de hombros se utiliza una cadena, pero por la dificultad de manipular el peso de la misma y las bajas cargas que se manejan en esta posición, se ha sustituido la cadena por una cuerda y un tensor que modifica su longitud.



*Figura 44: Tensor de cuerda.*

## 12. CONCLUSIONES.

### Metodología aplicada.

En relación a la metodología de trabajo aplicada en este proyecto se considera que ha sido la adecuada a los objetivos del mismo, a los plazos establecidos y a los recursos disponibles.

Resaltar la eficacia del método de trabajo seguido por el grupo de investigación. Gracias a las ideas y aportaciones de todos sus miembros se han llegado a un resultado que cumple con los requisitos establecidos. La metodología seguida en cuanto a reuniones, puesta en común y valoración de ideas ha sido muy beneficiosa para obtener un primer prototipo totalmente operativo.

Destacar además la participación activa de los médicos forenses del Instituto de Medicina Legal de Zaragoza (IMLA) que ha resultado de gran ayuda para establecer las necesidades y características que debería satisfacer el producto final.

### Diseño del dispositivo y comparación con la tecnología existente.

En el diseño de los dispositivos y las pruebas se ha tenido en cuenta la normativa vigente que permite conocer los requerimientos para la obtención de los certificados que aseguren la calidad, la fiabilidad y la seguridad del sistema. Tras una revisión bibliográfica se ha recopilado ciertos estándares y recomendaciones de publicaciones relevantes en este campo, con el objetivo de que los procedimientos aplicados con la nueva instrumentación se correspondan con dichos estudios. Así, se ha fijado cual es el protocolo de medida a seguir y los cálculos necesarios para el estudio de valoración funcional.

Tras realizar los prototipos de cada uno de los dispositivos (plataforma estabilométrica y accesorios dinamométricos), llevar a cabo las distintas pruebas de validación, implementar ciertas mejoras, se puede concluir que se cumple con los principales objetivos del proyecto: productos que se integren con la dinámica de otras pruebas biomecánicas, lograr la necesaria portabilidad a la vez de robustez, un coste ajustado, y con un manejo simple y funcional.

Analizando el estado de la técnica, se considera que el trabajo realizado mejora y complementa la tecnología existente, aportando un claro valor añadido. Esto se deduce por el hecho de que los nuevos productos miden los parámetros biomédicos previstos pero aportan la ventaja significativa de que se integran en el software de valoración funcional, el cual permite una visualización en tiempo real, que es clave en ciertas pruebas como es el caso del control dinámico del equilibrio, y una valoración del sujeto a evaluación global, integrando la información de distintas pruebas.

### Estudios complementarios.

Derivado del **estudio por elementos finitos** se asegura la resistencia de algunos de los elementos más críticos en el diseño de los dispositivos y que las posibles deformaciones durante su uso no afecten a la medición por medio de las células de carga.

El **estudio de estabilidad**, ha permitido analizar los problemas derivados del posible vuelco de la plataforma de equilibrio según los puntos de apoyo del sujeto al subirse a la misma. Al respecto se ha estudiado el polígono de estabilidad de la plataforma, y consecuentemente el procedimiento de uso de la misma.



El **proceso de calibrado** diseñado permitirá expedir los certificados de calibración de cada una de las células de carga incluidas en los instrumentos de medida. Se ha comprobado la precisión y linealidad de las mismas. La calibración de cada célula proporciona los datos necesarios para lograr precisión en los datos recogidos durante las pruebas. Se considera que el procedimiento aportado facilitará la realización de esta actividad en futuros equipos a implementar.

En relación a los estudios complementarios llevados a cabo, destacar el relativo al **estudio económico y de viabilidad** dirigido a una posible empresa que deseara explotar el producto desarrollado por la Universidad de Zaragoza. El estudio concluye con un resultado positivo y satisfactorio de rentabilidad del proyecto, considerando unas hipótesis de demanda y precios finales razonables para cada una de las combinaciones de productos previstos a comercializar.

#### **Valoración de los resultados alcanzados.**

De acuerdo a lo recogido en el estado de la técnica, tanto desde el punto de vista de prestaciones del producto, como en lo relativo a aspectos funcionales o integración con otra instrumentación complementaria, y especialmente en lo relativo a costes, se considera que existe un claro hueco en el mercado para este sistema.

Actualmente, por parte del grupo de investigación, se tiene previsto la aplicación de estos dispositivos al diagnóstico y monitorización del tratamiento del síndrome del latigazo cervical provocado por accidente de tráfico. Dicho síndrome en ocasiones deriva en mareos o vértigos difícilmente cuantificables y/o en la pérdida de fuerza en las manos. La instrumentación implementada aportaría datos objetivos a los facultativos médicos implicados en el tratamiento de estos pacientes.

La aplicación de los dispositivos desarrollados puede ser muy amplia, adaptándose tanto al diagnóstico o control de patologías, medicina legal o forense, o bien en el ámbito del deporte. Facilita trabajo a los facultativos médicos, proporcionando más y mejores datos de parámetros biométricos, posibilitando un tratamiento personalizado y más objetivo para cada paciente.

### 13.DESARROLLOS O MEJORAS FUTURAS.

A partir de los resultados alcanzados en este proyecto, donde se ha realizado prototipos utilizables para llevar a cabo pruebas de evaluación del equilibrio o fuerza, quedaría ciertas actividades para completar los sistemas de cara a su utilización en un entorno real médico.

Una vez concluido el diseño de una instrumentación, para realizar una prueba de estas características, el grupo de investigación tiene que llevar a cabo estudios adicionales, entre los cuales se pueden destacar:

- Por un lado un estudio de datos o tablas de normalidad, donde se analizan personas sanas colaboradoras, sin patologías relativas al objeto del estudio. De esta manera se añade un apartado al informe, que compara al paciente con los valores “normales”.
- Adicionalmente se complementa con un estudio para concretar la efectividad del método, que consiste básicamente, en reunir pacientes sanos y pacientes patológicos (diagnosticados previamente por un médico) y comparar los resultados.

Como ya se ha comentado en el alcance del proyecto, quedaría pendiente validar la instrumentación de los accesorios relativos a las pruebas de dinamometría. Se consideran más simples, pero hay que llevar a cabo el mismo proceso realizado con la plataforma estabilométrica.

Al objeto de agilizar el proceso de calibrado de los sensores, sería conveniente implementar una aplicación informática para automatizar ciertos pasos del proceso.

Se podría considerar la posibilidad de estudiar aligerar el peso de los dispositivos mecánicos. Aunque a corto plazo no interese por el aumento que supone de coste, puede que algún cliente en el futuro, requiera realizar capturas en distintos lugares con cierta regularidad.

Finalmente, sería conveniente crear una plataforma virtual en la nube donde gestionar el almacenamiento de datos de los resultados de las distintas pruebas. Ello afectaría al conjunto de pruebas que se realizan, tanto las actuales como las nuevas, permitiendo relacionar fácilmente información histórica de un mismo paciente o bien llevar a cabo estadísticas que aporten información útil para futuros tratamientos médicos o de rehabilitación.



## 14.REFERENCIAS.

1. *Diseño de una plataforma dinamométrica para el cálculo del centro de presiones utilizando galgas extensiométricas.* **Oliva, Ruth Olivera.** 2012, Tesis doctoral, págs. 2-8.
2. *Agings and the parameters in static postural way.* **Jan Cvecka, Jan Cacek, JAN Ondracek.** 2013, 8th INSHS International Christmas Sport Scientific Conference , pág. 535.
3. *“CgMed”: Diseño y construcción de plataforma para determinar posición del centro de gravedad en bipedestación.* **Luisa Fernanda Cuesta Lopez, Jose Daniel Lema Calidonio.** 2009, Escuela de Ingeniería de Antioquia-Universidad CES, págs. 27-35.
4. *Fuerza máxima de agarre con mano dominante y no dominante.* **Lizeth Muñoz Jashimoto, Enrique de la Vega Bustillos, Francisco Octavio Lopez Millan, Bertha Alicia Ortiz Navar, Karla Lucero Duarte.** 2009, XV Congreso internacional de ergonomía SEMAC, págs. 5-7.
5. *Evaluación y rehabilitación del equilibrio mediante posturografía.* **M.F. Peydro De Moya, J.M. Baydal Bertomeu, M.J. Vivas Broseta.** 2005, Instituto de Biomecánica de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia., págs. 315-322.
6. *Determinación de los patrones de comportamiento postural en población sana española.* **José María Baydal Bertomeu, Ricard Barberà, M. F. Peydro, Jaime M Prat.** 2004, Acta Otorrinolaringológica Española, págs. 262-266.
7. *Standardization in Platform Stabilometry being a Part of Posturography.* **T.S. Kapteyn, W. Bles, Ch. J. Njikiktjen, L. Kodde, C.H. Massen, J.M.F. Mol.** 1983, International Society of Posturography, págs. 2-8.
8. *Clinical stabilometry standardization. Basic definitions – Acquisition interval – Sampling frequency.* **Fabio Scoppa, Roberto Capra, Michele Gallamini , Riccardo Shiffer.** 2012, Gait & Posture, págs. 290–292.
9. *Test–retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance.* **Nicolas Pinsault, Nicolas Vuillerme.** 2009, Medical Engineering & Physics 31, págs. 279-280.
10. *Comparative Analysis of Methods for Evaluation of Stabilometry Parameters.* **E.A. Solovykh, L.N. Maksimovskaya, O.G. Bugrovetskaya, E.A. Bugrovetskaya.** 2011, Bulletin of Experimental Biology and Medicine, págs. 266-267.



## 15.AGRADECIMIENTOS.

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas me han prestado durante la realización del trabajo.

El proyecto no había sido posible sin la ayuda brindada por José Manuel Auría, director del proyecto, y miembro del grupo de investigación IDErgo, debo destacar su gran disponibilidad, su dedicación, sus ideas, y sus consejos y correcciones que me han ayudado a aprender y a mejorar el resultado final. Además, agradecer al coordinador del grupo y a todos los miembros del mismo, su interés, ayuda y comprensión, sin ellos este proyecto difícilmente tendría la forma que hoy tiene.

Gracias también a mis padres María Jesús y José Javier, a mi hermana Marta , a mi novia Belén y a mi familia en general, por el apoyo y el afecto recibido no solo durante la realización del proyecto sino también durante toda la carrera.

Por último expresar mi agradecimiento a los compañeros de carrera, a quienes considero ya grandes amigos y al resto de amigos de toda la vida, que siempre han sido un gran apoyo y me desean lo mejor.

## 16.ANEXOS.

### 16.1 ESTUDIO POR ELEMENTOS FINITOS.

Para seleccionar el espesor de la placa superior se requiere de un estudio por elementos finitos. Los espesores estudiados son algunos de los que ofrece el proveedor SanMetal.SL. El software utilizado es SolidWorks.

Las condiciones estudiadas son:

- **Caso 1:** Fuerza ejercida en un punto de 400 Kg, considerada como la fuerza máxima que puede ejecutarse en el anclaje para la prueba de fuerza lumbar. En este caso los pies estarán lo más alejados posibles para suponer una situación crítica.
- **Caso 2:** Peso de una persona de 150 Kg apoyada en el centro de la plataforma en una superficie pequeña.

A partir de aquella situación que proporciona unas tensiones, desplazamientos y coeficiente de seguridad más razonable se seleccionará un espesor u otro.

#### CASO 1.

Se considera una carga de 4000 N en el orificio preparado para la prueba de dinamometría lumbar. Para limitar el movimiento de la placa en todos los grados de libertad, se usa sujeción por bisagra en los agujeros de las guías y rodillos deslizantes en el lugar donde se colocan los pies. Para comenzar el estudio se considera un espesor de 10 mm para la placa superior.

#### Anclaje en un punto 10 mm carga de 400 kg.

Tensión máxima 174 MPa, en la zona de aplicación de carga.

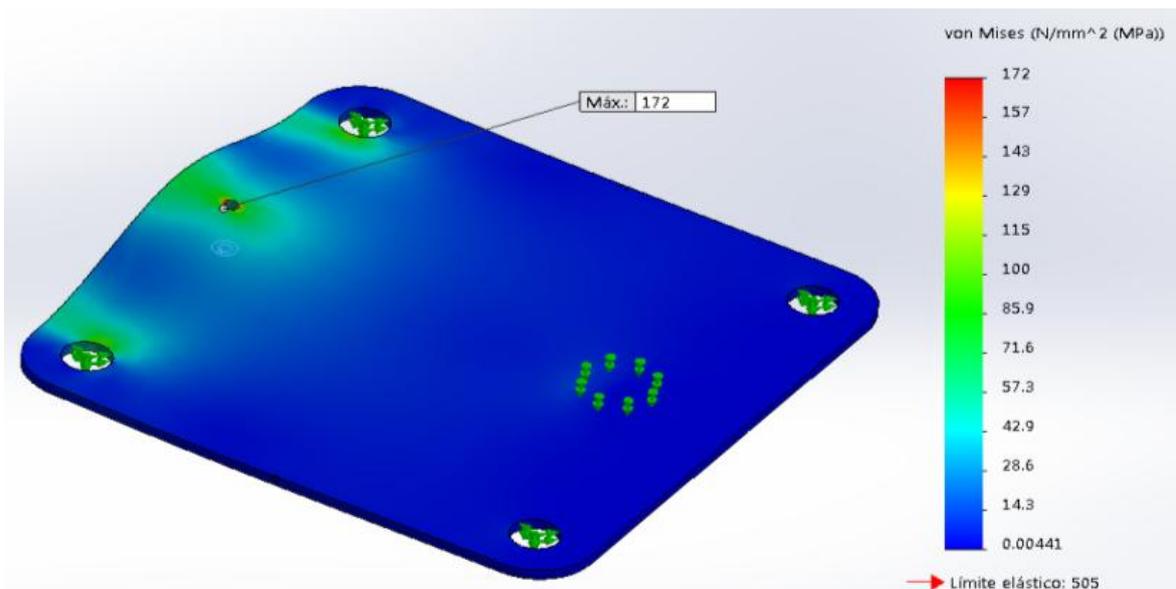


Figura 45: Tensiones para caso 1, espesor 10 mm.

Desplazamiento máximo de 1,37 mm en la zona delantera de la plataforma.

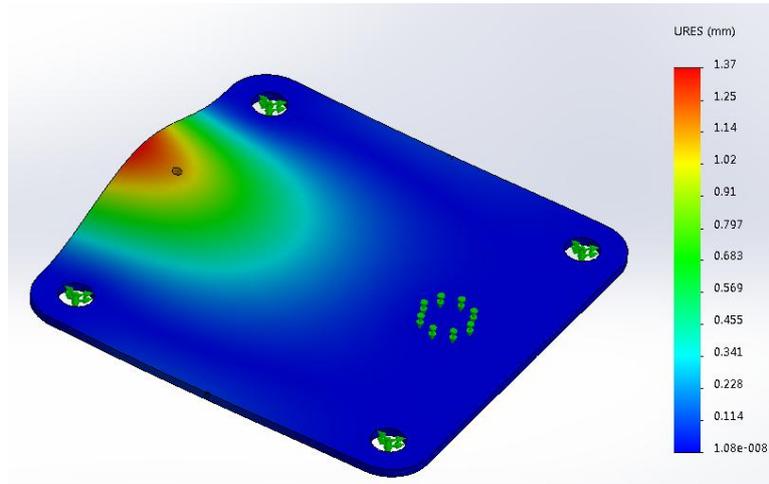


Figura 46: Desplazamientos caso 1, espesor 10 mm.

Coefficiente de seguridad de 2,94.

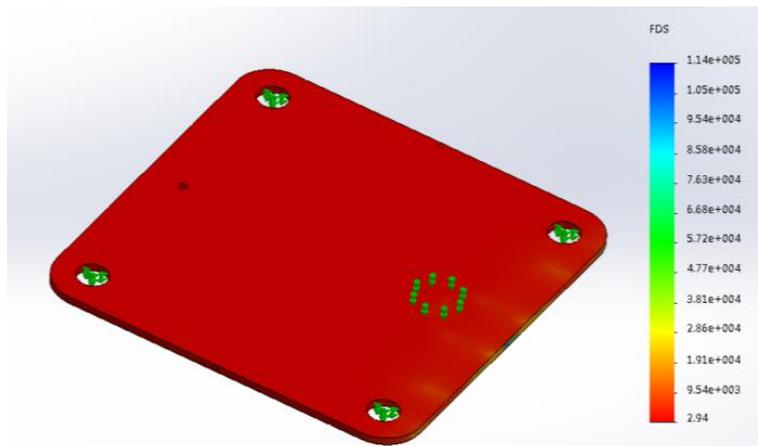


Figura 47: Coeficiente de seguridad Caso 1, espesor 10 mm.

Según el estudio de percepción de diseño se comprueba que las zonas que primero se cargan son: el punto de aplicación de carga y el contacto con las guías delanteras. Esto puede ser de gran ayuda para futuras mejoras de reducción de peso.

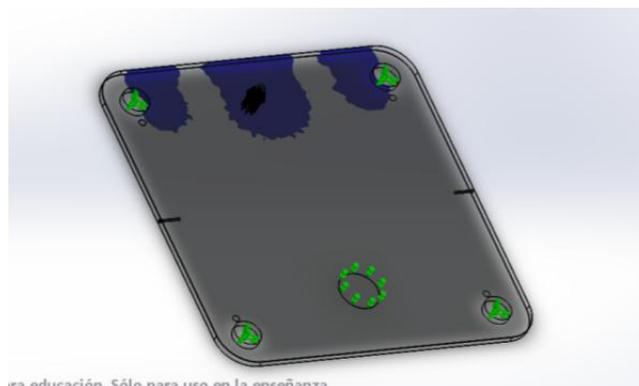


Figura 48: Percepción de diseño caso 1, espesor 10 mm.

Para obtener menores desplazamientos y un coeficiente de seguridad más alto se considera un espesor de 12 mm.

La tensión máxima se ha reducido a 127 MPa.

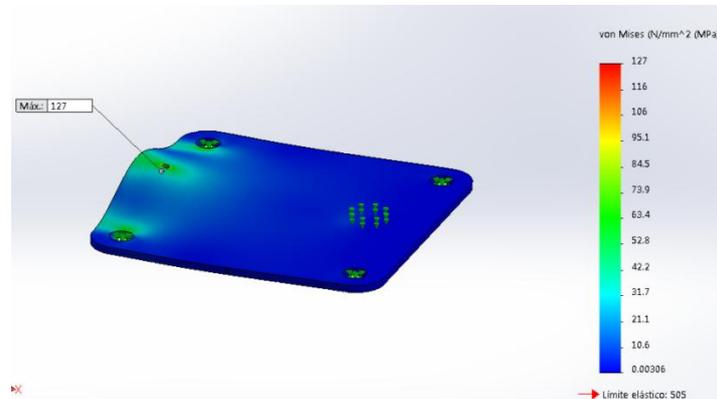


Figura 49: Tensiones caso 1, espesor 12 mm.

El desplazamiento máximo es de tan solo de 0.8 mm.

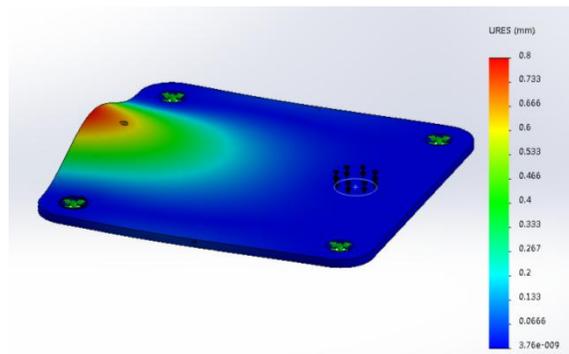


Figura 50: Desplazamientos caso 1, espesor 12 mm.

El coeficiente de seguridad ha crecido hasta 3.94.

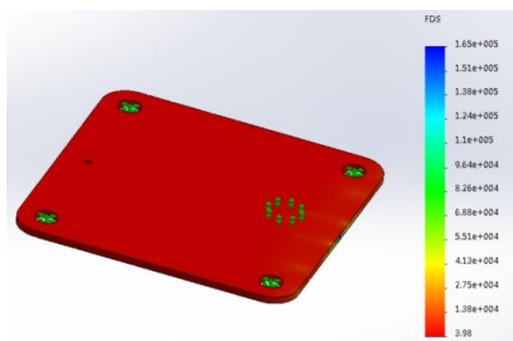


Figura 51: Coeficiente de seguridad caso 1, espesor 12mm.

Por el uso médico que tiene el dispositivo, la percepción de los desplazamientos por parte del usuario y en general por las especificaciones de diseño, se selecciona la opción más conservadora de 12 mm de espesor. A partir de esta elección se pasa a comprobar el caso 2.

## CASO 2.

Se supone una condición crítica de carga de 1500 N en la zona central de la plataforma. Se aplica en un área circular pequeña.

Se usan dos tipos de apoyos para limitar el movimiento de la plataforma en todos sus grados de libertad. Por un lado en los apoyos de las células de carga se usan rodillos deslizantes y en la cara interna del cilindro dónde van alojadas las guías, sujeción por bisagra.

Como era de esperar, la tensión de 19.1 MPa es insignificante respecto a la del otro estudio. Se produce en el apoyo de las células de carga.

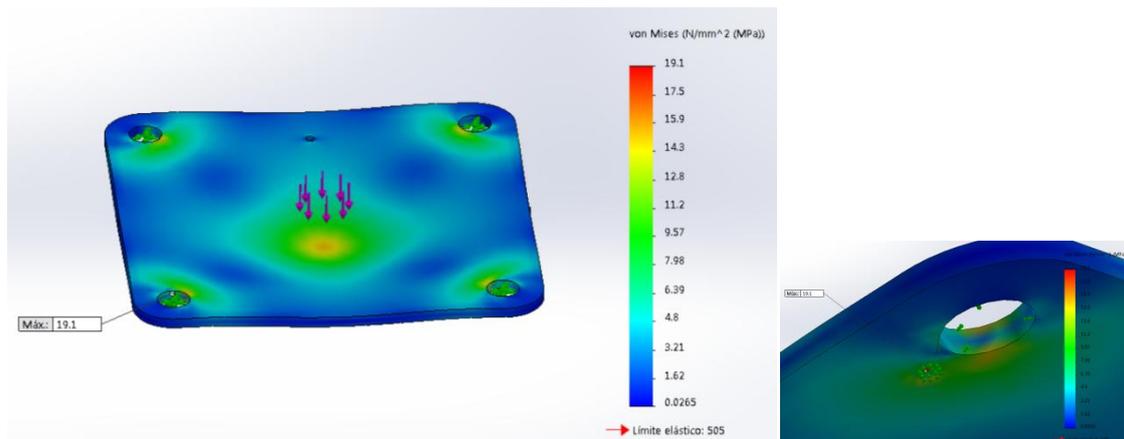


Figura 52: Tensiones Caso 2 con 12mm de espesor.

El desplazamiento máximo en el centro de la plataforma es de 0.247 mm.

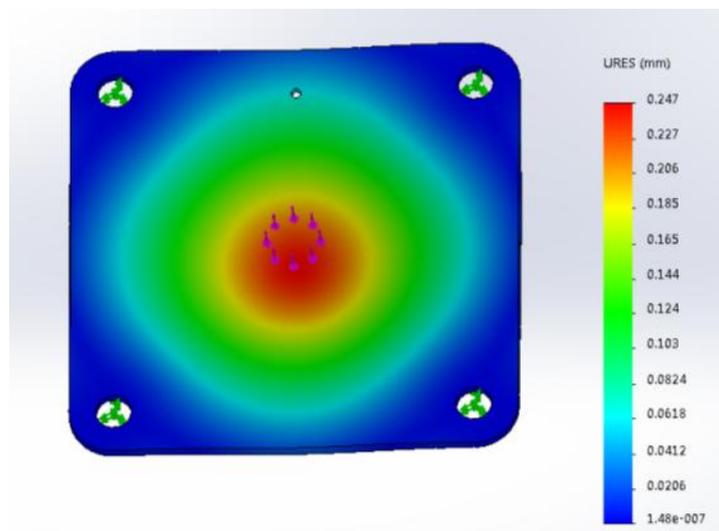
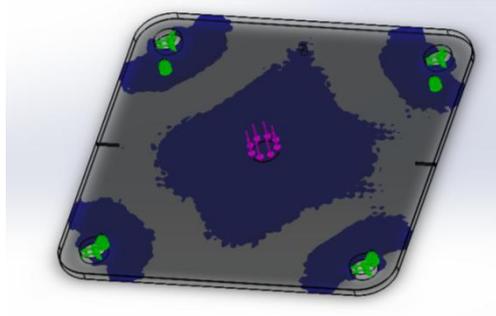


Figura 53: Desplazamientos caso 2, espesor 12 mm.

El coeficiente de seguridad es de 26.4 y con el estudio de percepción de diseño pueden sentarse las bases para mejorar esta pieza y reducir peso en un futuro.



*Figura 54: Percepción de diseño caso 2, espesor 12 mm.*

Como posible mejora, se propone mecanizar la cara inferior de la placa para que tenga una estructura nervada. Esta opción no se ha tenido en cuenta ya que suponía un gran aumento del coste en la fabricación.

## 16.2 CÁLCULO DE ESTABILIDAD.

Como puede comprobarse en el listado de requisitos de diseño, es importante comprobar que la plataforma no pueda volcar. Hay que saber que el peso máximo que debe soportar es de un usuario de 150 kg y el peso de la plataforma es de 14 Kg.

Para ello se realiza un sencillo cálculo de vuelco. En él consideramos la plataforma como una viga biapoyada dónde las placas, las células de carga y las guías se comportan como un sólido rígido y las patas son apoyos puntuales en el suelo.

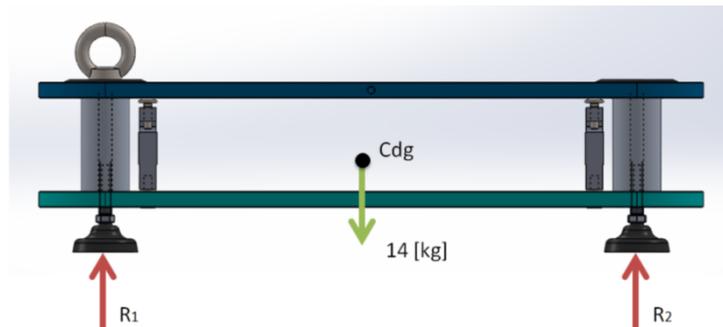


Figura 55: Hipótesis plataforma viga biapoyada.

Una vez sintetizado el problema, y siguiendo con este esquema, pasamos a plantear la hipótesis de vuelco. Primeramente habrá que ver cuál es la situación más crítica en la que los momentos estabilizadores son menores y los momentos desestabilizadores son de mayor envergadura. Esta situación ocurre cuando un paciente coloca todo su peso en una de las aristas laterales. Esto puede ocurrir al subir o bajar del aparato.

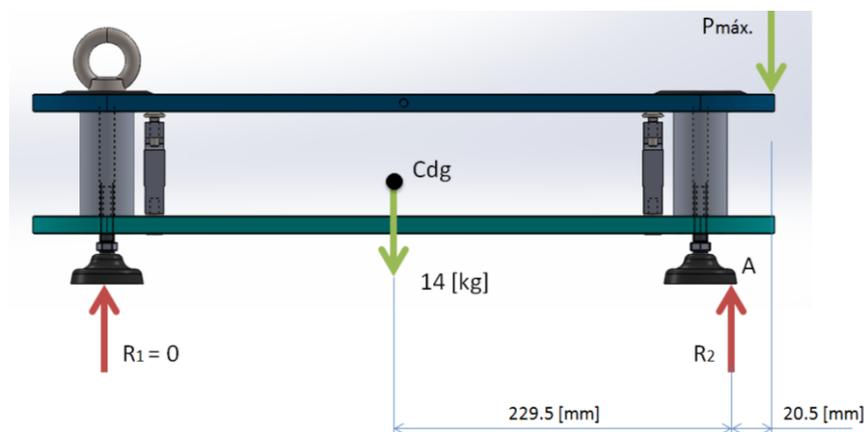


Figura 56: Condición de vuelco.

Hay que darse cuenta de varios detalles: en primer lugar, la línea de vuelco está situada justamente donde termina la pata de la derecha (Punto A), por ello  $R_2$  está colocada justamente ahí.  $R_1$  por su parte tiene valor cero, ya que en el instante anterior a producirse el vuelco, esta reacción se anula.

Como los momentos se toman desde la línea de vuelco (Punto A), el momento estabilizador consta únicamente del peso de la plataforma y de su brazo, y el momento desestabilizador del peso del paciente y de su brazo, que es mucho menor.

Con toda esta información ya se puede proceder a realizar los cálculos y conocer cuál es el peso máximo de un paciente para que no se produzca vuelco.

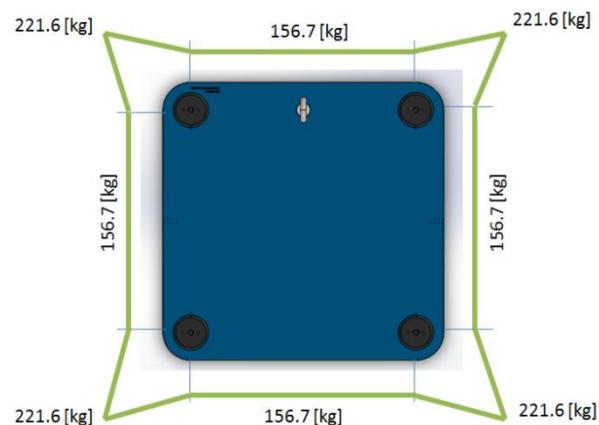
Momentos respecto el punto A:

$$14 \text{ [kg]} * 229.5 \text{ [mm]} = P_{max} * 20.5 \text{ [mm]}$$

$$P_{max} = 156,7 \text{ [kg]} < 150 \text{ kg} \rightarrow OK$$

El peso máximo que puede soportar la plataforma para que no vuelque es mayor que 150 kg, por lo que cumple las características de diseño necesarias.

Para completar el estudio queda por representar el polígono de estabilidad.



*Figura 57: Polígono de estabilidad.*

Debido al polígono de estabilidad representado, se recomendará al paciente subir o bajar por las esquinas de la misma para reducir todavía más la posibilidad de vuelco.

	1	2	3	4	
A					A
B					B
C					C
D					D
E					E
F					F

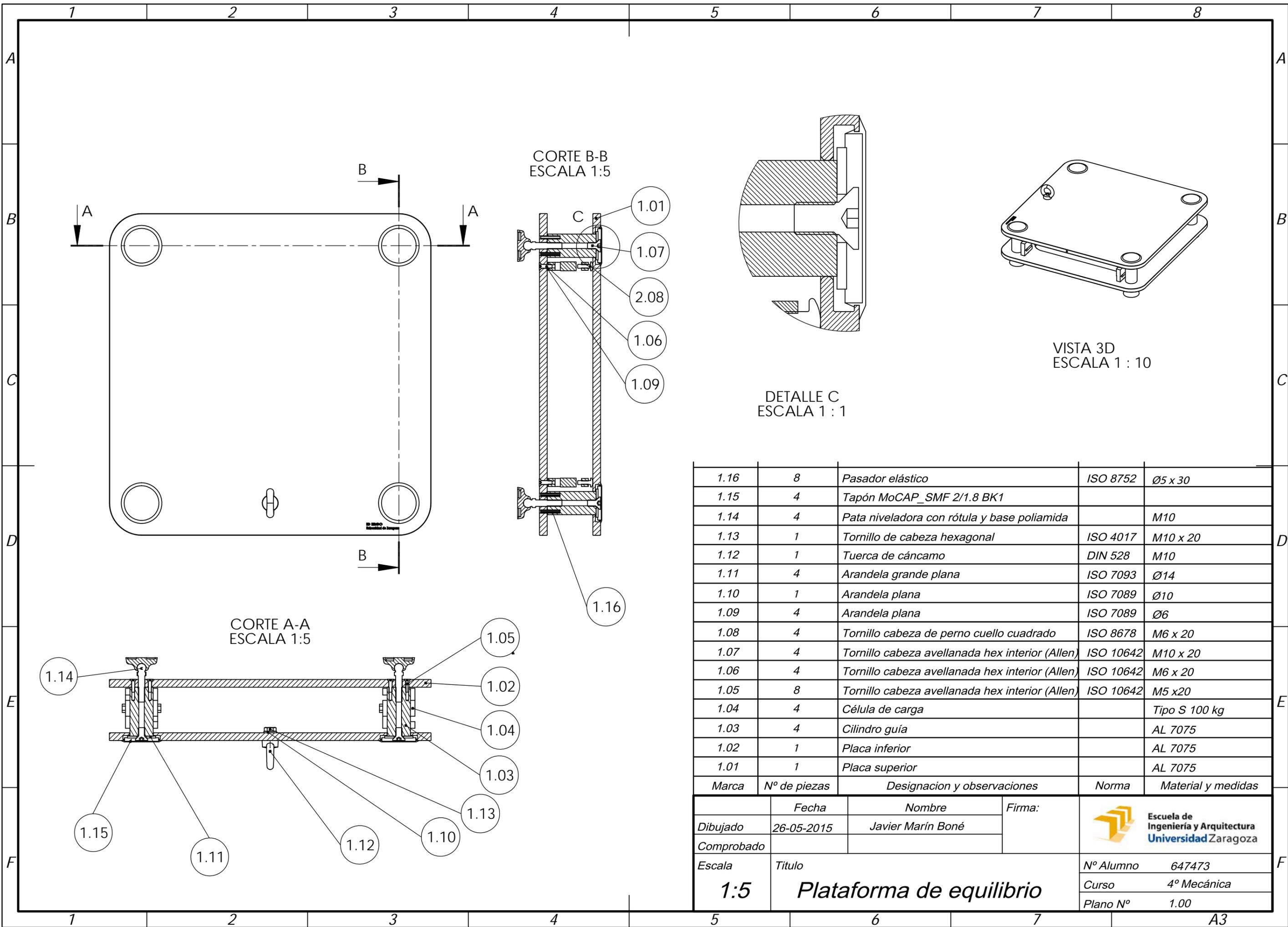
3.02	<i>Pletina pulgar</i>
3.01	<i>Carcasa</i>
3.00	<i>Dinamómetro dedos</i>
2.05	<i>Base</i>
2.04	<i>Eje</i>
2.03	<i>Traba</i>
2.02.03	<i>Pletina</i>
2.02.02	<i>Tubo</i>
2.02.01	<i>Agarre interior</i>
2.02.00	<i>Subconjunto agarre interior</i>
2.01.02	<i>Guía</i>
2.01.01	<i>Agarre exterior</i>
2.01.00	<i>Subconjunto agarre exterior</i>
2.00	<i>Dinamómetro mano</i>
1.03	<i>Cilindro guía</i>
1.02	<i>Placa inferior</i>
1.01	<i>Placa superior</i>
1.00	<i>Conjunto plataforma</i>
Nº Plano	Título

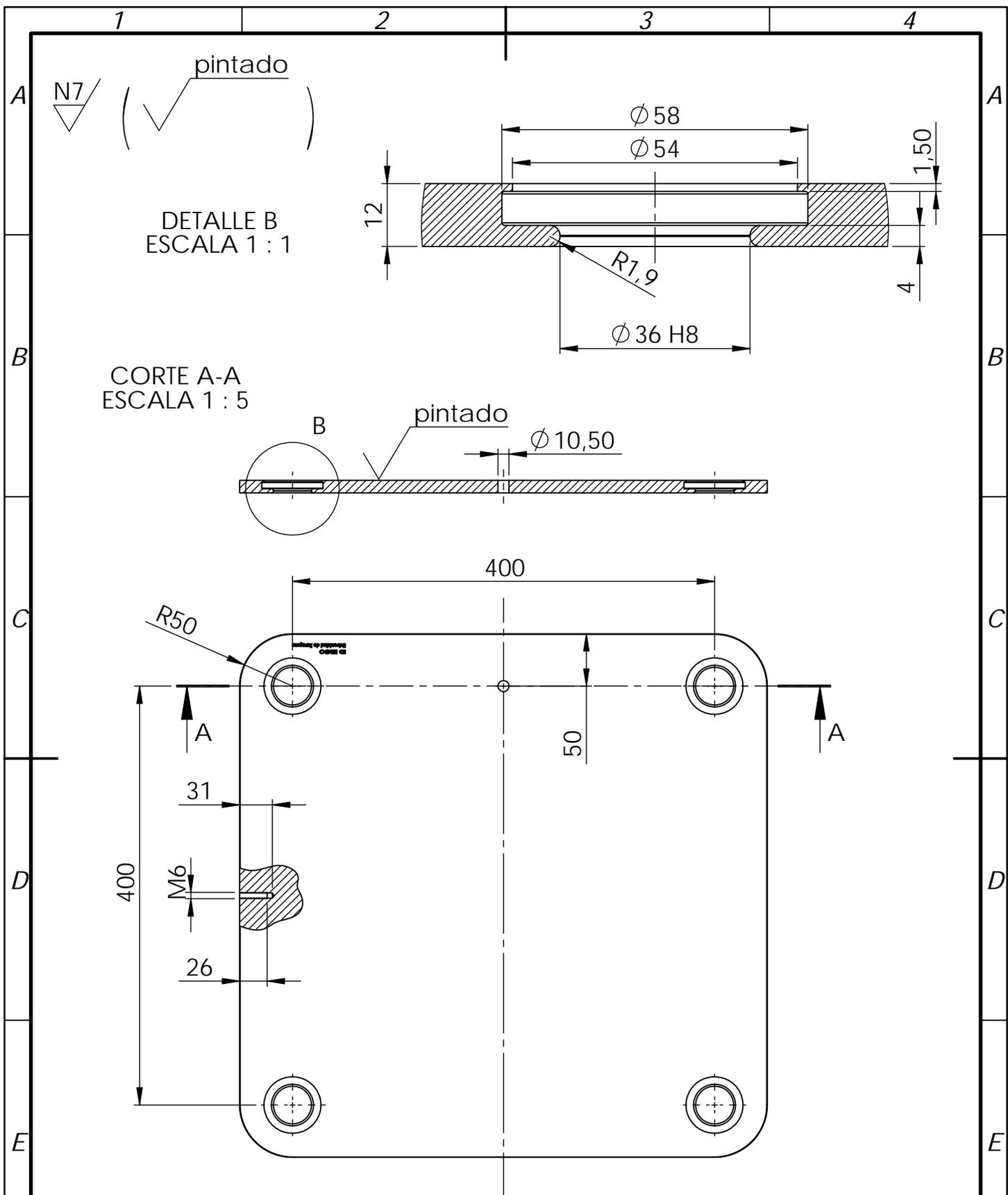
  

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	 <b>Escuela de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Universidad Zaragoza</b>
<i>Dibujado</i>	15-06-2015	Javier Marín Boné		
<i>Comprobado</i>				
<i>Escala</i>	<i>Título</i>	<b>Índice de planos</b>		Nº Alumno 647473
				Curso 4º Mecánica
				Plano Nº 0.00

1	2	3	A4
---	---	---	----





Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°  
 Tapar agujeros antes de pintar.  
 Pintura Electrostatica Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

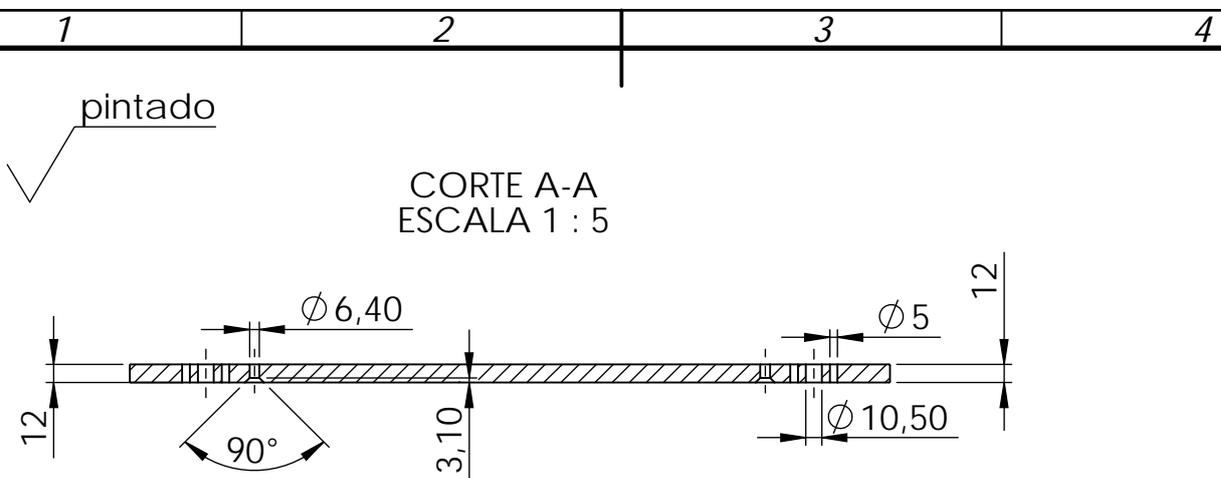
	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	22-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
F	Escala	Titulo		Nº Alumno 647473
	1:5	Placa superior		Curso 4º Mecánica
				Plano Nº 1.01

1

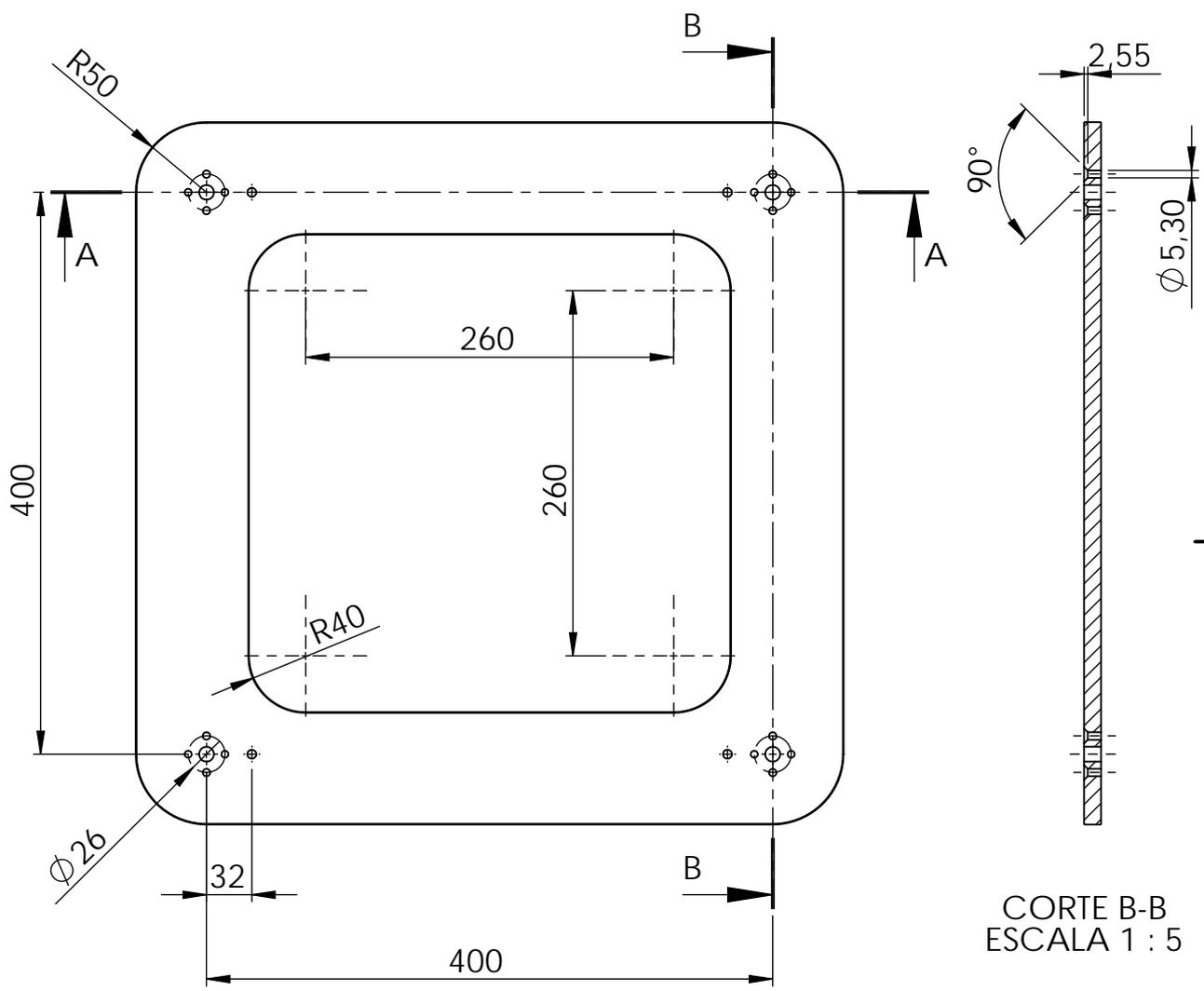
2

3

A4



CORTE A-A  
ESCALA 1 : 5



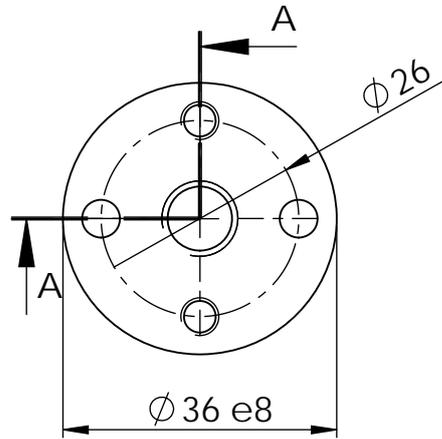
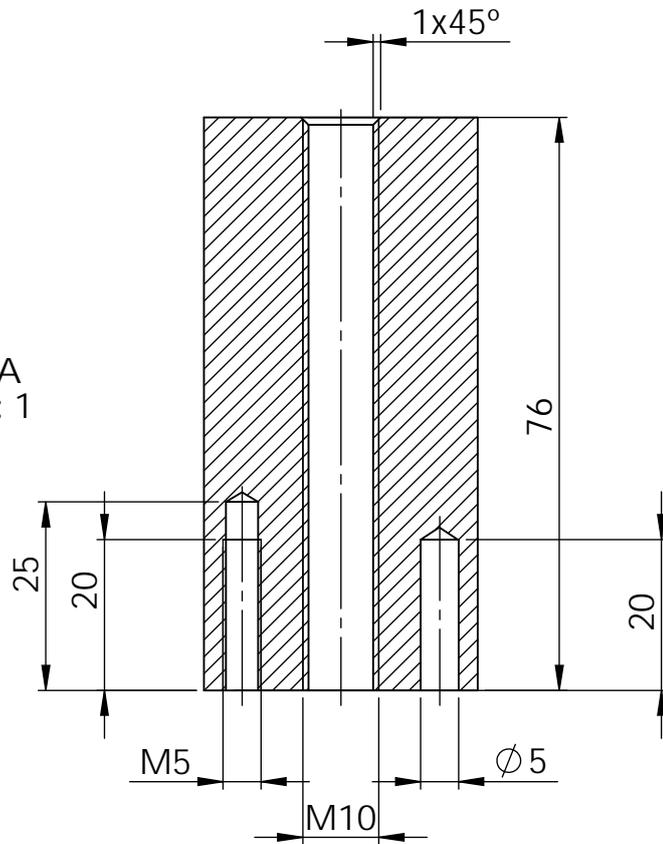
CORTE B-B  
ESCALA 1 : 5

Material AL 7075 Chaflanes  $0.5 \times 45^\circ$   
Pintura Electrostatica Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	22-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:5	Placa inferior		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	1.02

N7/

CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1



Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°

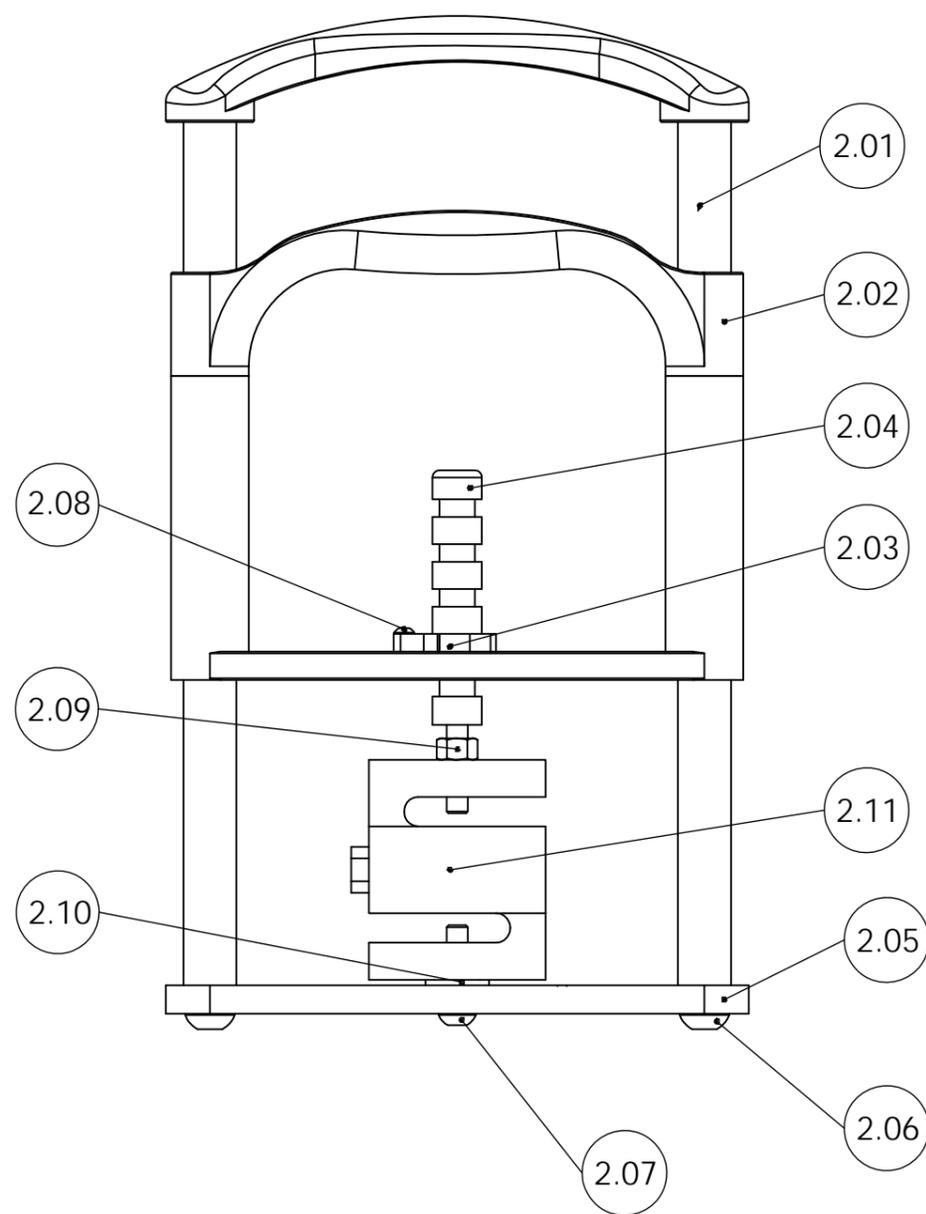
	Fecha	Nombre	Firma:	 <p>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</p>
Dibujado	22-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:1	Cilindro guía		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	1.03

1

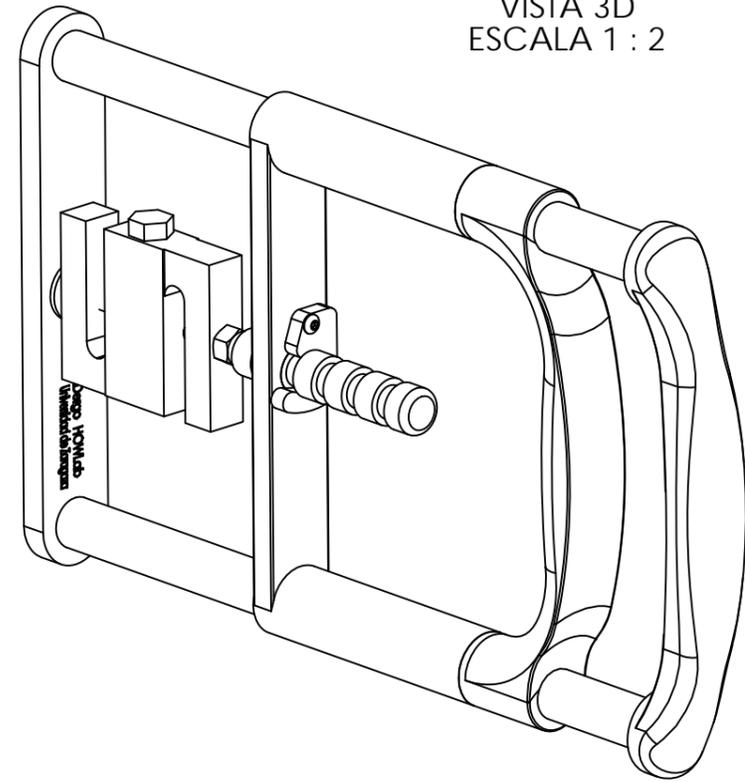
2

3

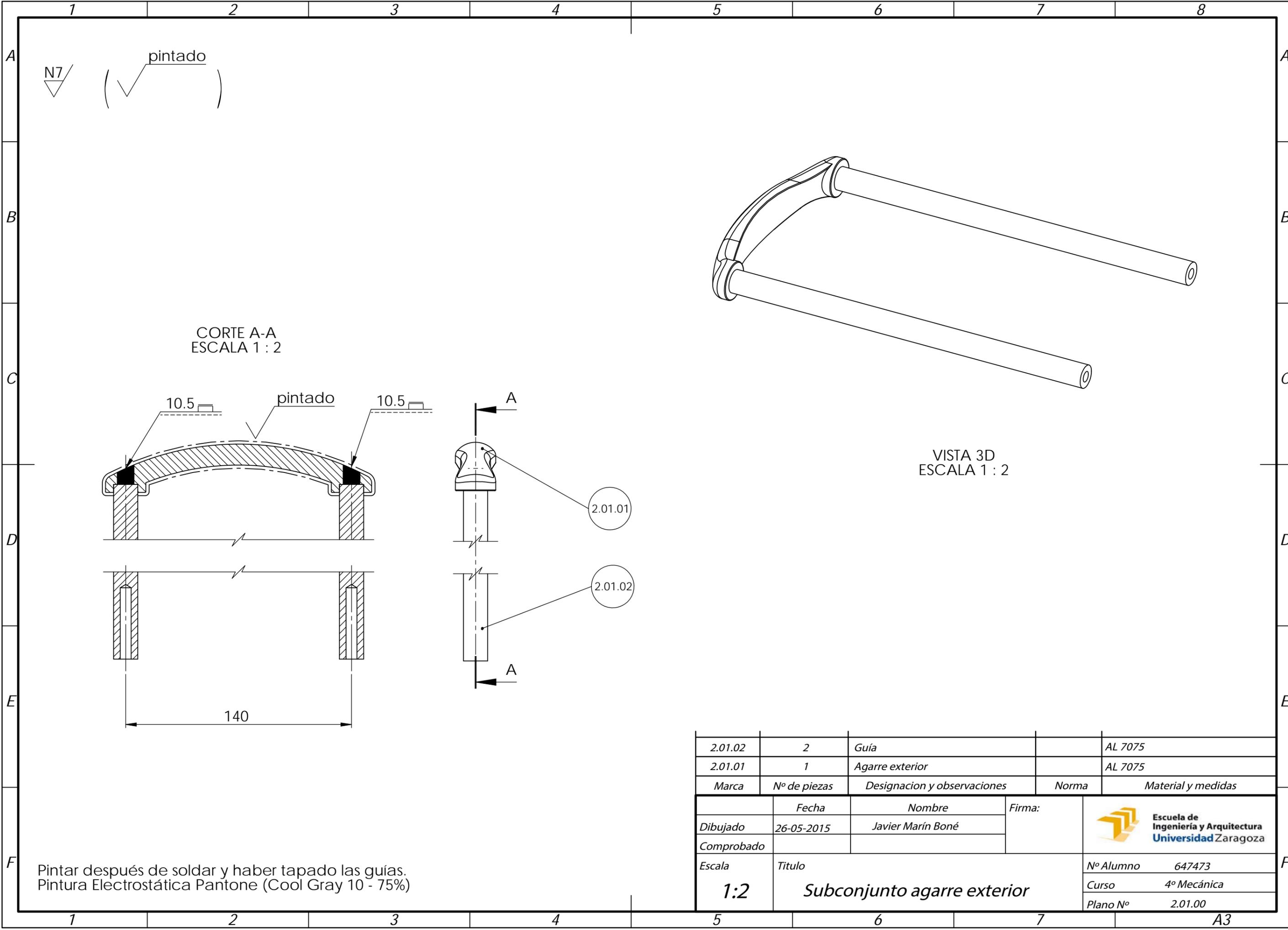
A4



VISTA 3D  
ESCALA 1 : 2

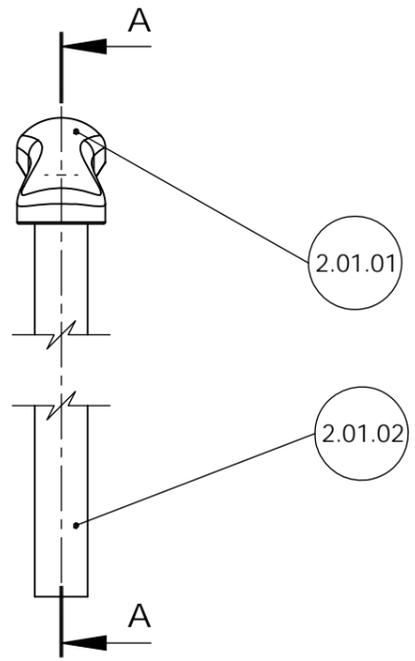
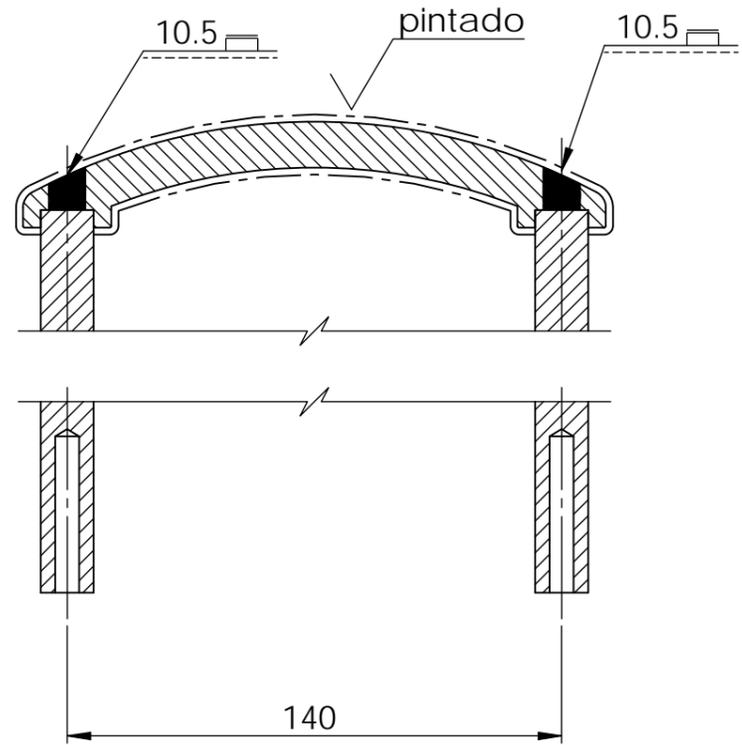


2.11	1	Célula de carga		Tipo S 100Kg
2.10	1	Arandela plana	ISO 7093	Ø6
2.09	1	Tuerca hexagonal	ISO 4034	M6
2.08	1	Tornillo cabeza botón hex. interior	ISO 7380	M3 x 16
2.07	1	Tornillo cabeza botón hex. interior	ISO 7380	M6 x 25
2.06	2	Tornillo cabeza botón hex. interior	ISO 7380	M8 x30
2.05	1	Base		AL 7075
2.04	1	Eje		F-1110
2.03	1	Traba		AL 7075
2.02	1	Subconjunto agarre interior		
2.01	1	Subconjunto agarre exterior		
Marca	Nº de piezas	Designacion y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre	Firma:	 <b>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</b>
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado				
Escala	Titulo			Nº Alumno 647473
1:2	<b>Dinamómetro mano</b>			Curso 4º Mecánica
				Plano Nº 2.00



N7 (✓) pintado

CORTE A-A  
ESCALA 1 : 2

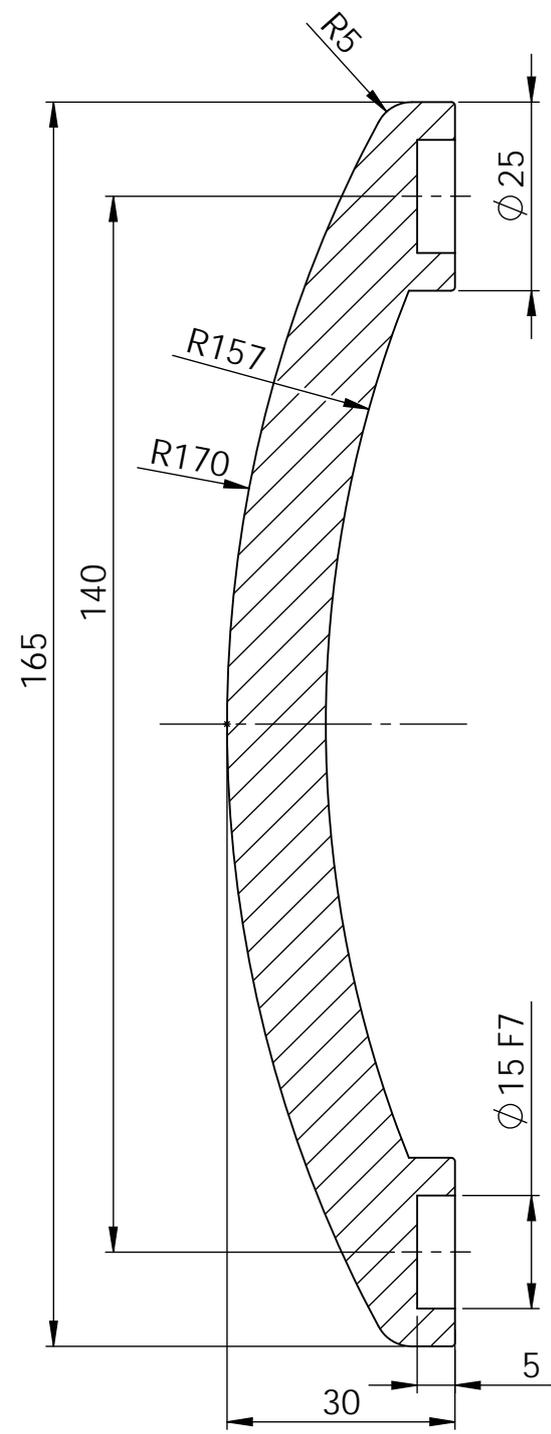


VISTA 3D  
ESCALA 1 : 2

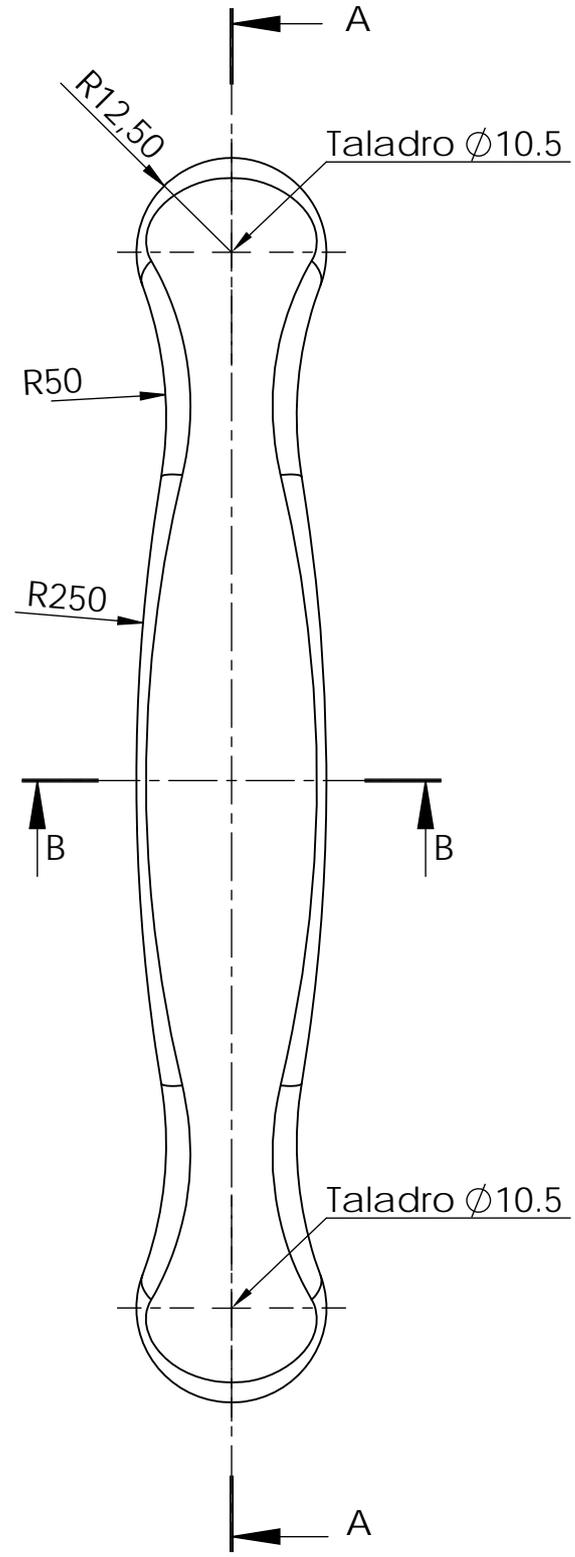
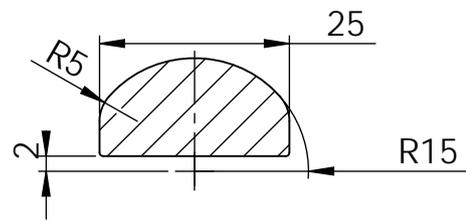
Pintar después de soldar y haber tapado las guías.  
Pintura Electroestática Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

2.01.02	2	Guía	AL 7075
2.01.01	1	Agarre exterior	AL 7075
Marca	Nº de piezas	Designacion y observaciones	Norma Material y medidas
	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné	
Comprobado			
Escala	Titulo		Nº Alumno 647473
1:2	Subconjunto agarre exterior		Curso 4º Mecánica
			Plano Nº 2.01.00

CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1



Material AL 7075    Chaflanes 0.5 x 45°

	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné	
Comprobado	00-00-2015		



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

Escala	Título
1:1	Agarre exterior

Nº Alumno	647473
Curso	4º Mecánica
Plano Nº	2.01.01

1

2

3

A4

1

2

3

4

A

A

CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1

B

B

C

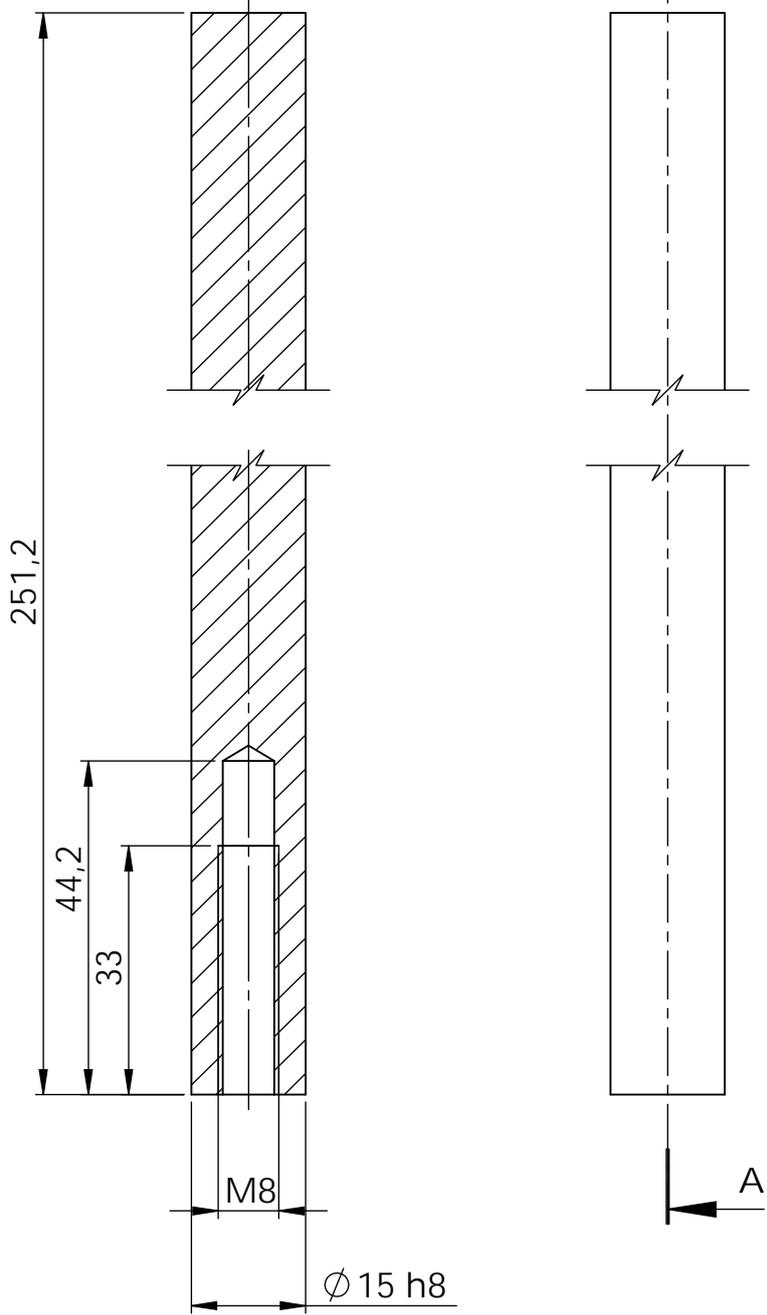
C

D

D

E

E



Material AL 7075    Chaflanes 0.5 x 45°

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:1	Guía		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	2.01.02

1

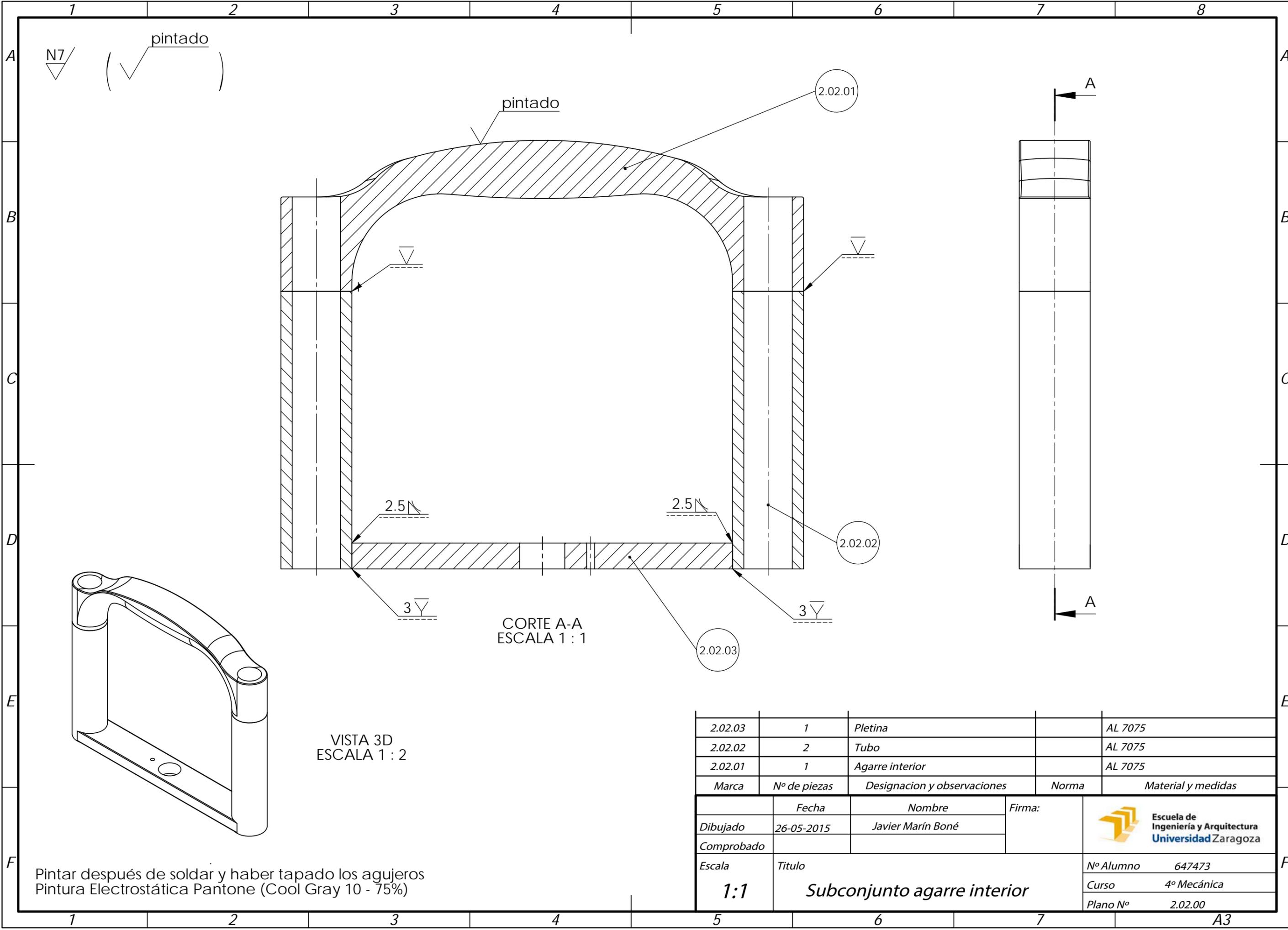
2

3

A4

F

F



N7/ (✓) pintado

pintado

2.02.01

2.02.02

2.02.03

CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1

VISTA 3D  
ESCALA 1 : 2

Pintar después de soldar y haber tapado los agujeros  
Pintura Electroestática Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

2.02.03	1	Pletina		AL 7075
2.02.02	2	Tubo		AL 7075
2.02.01	1	Agarre interior		AL 7075
Marca	Nº de piezas	Designacion y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado				
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:1	Subconjunto agarre interior		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	2.02.00

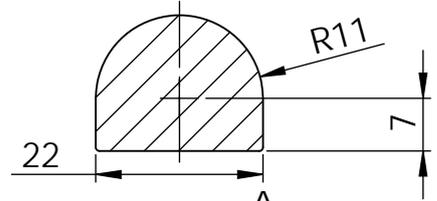


1 2 3 4

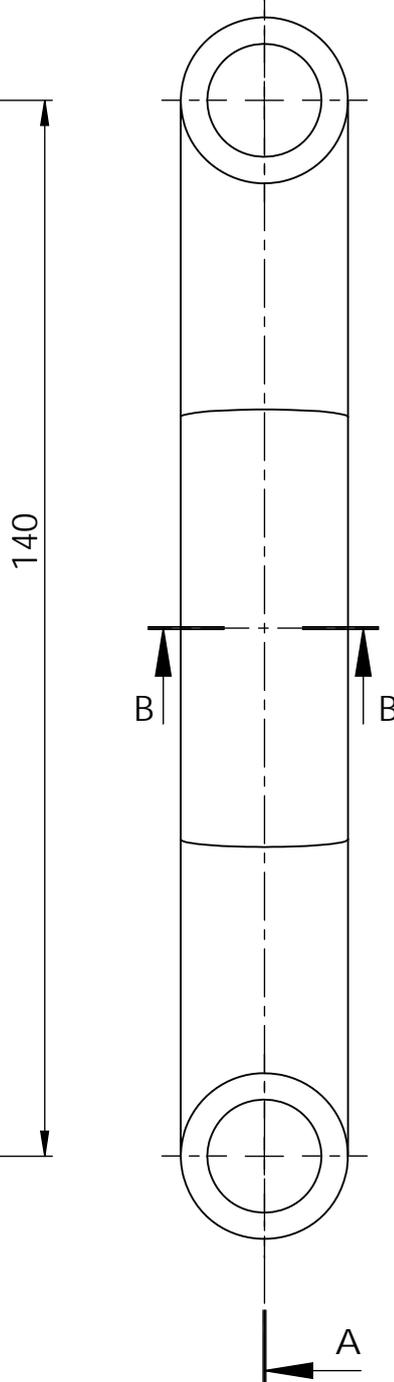
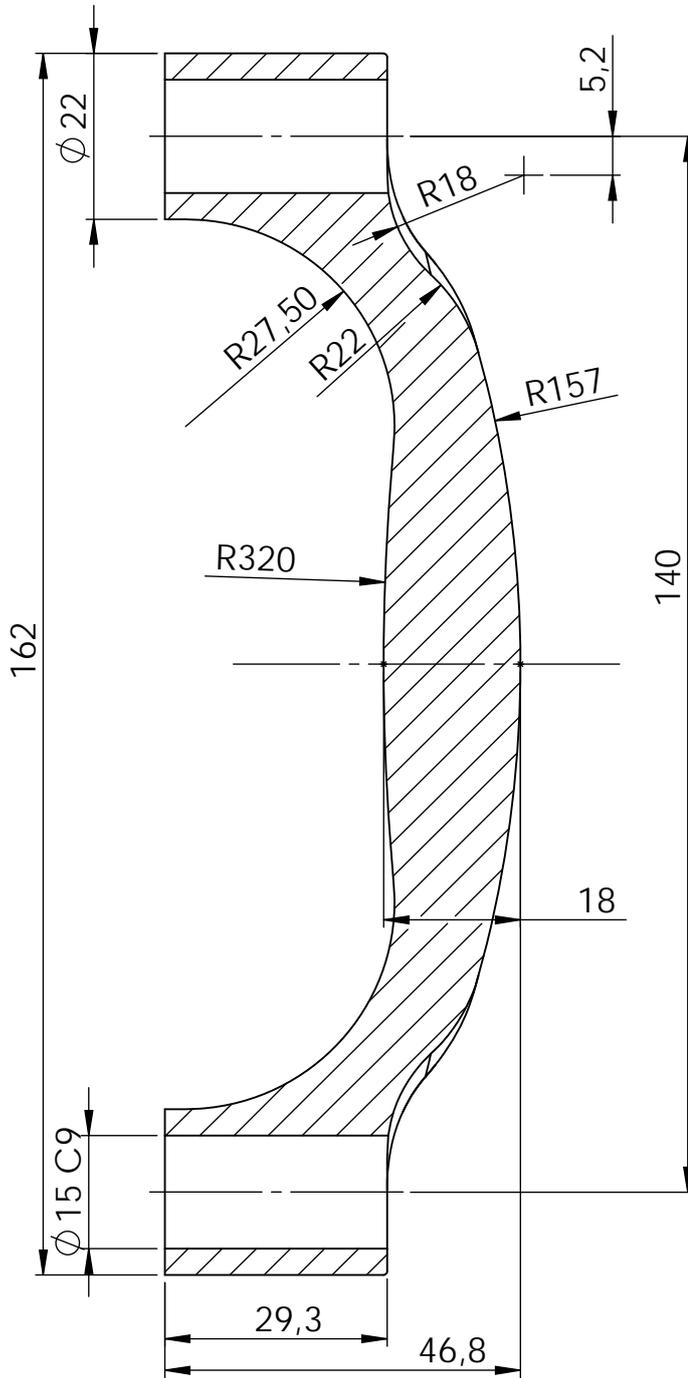
A

A

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1



CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1



B

B

C

C

D

D

E

E

Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°

	Fecha	Nombre	Firma:	 <p>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</p>
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:1	Agarre interior		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	2.02.01

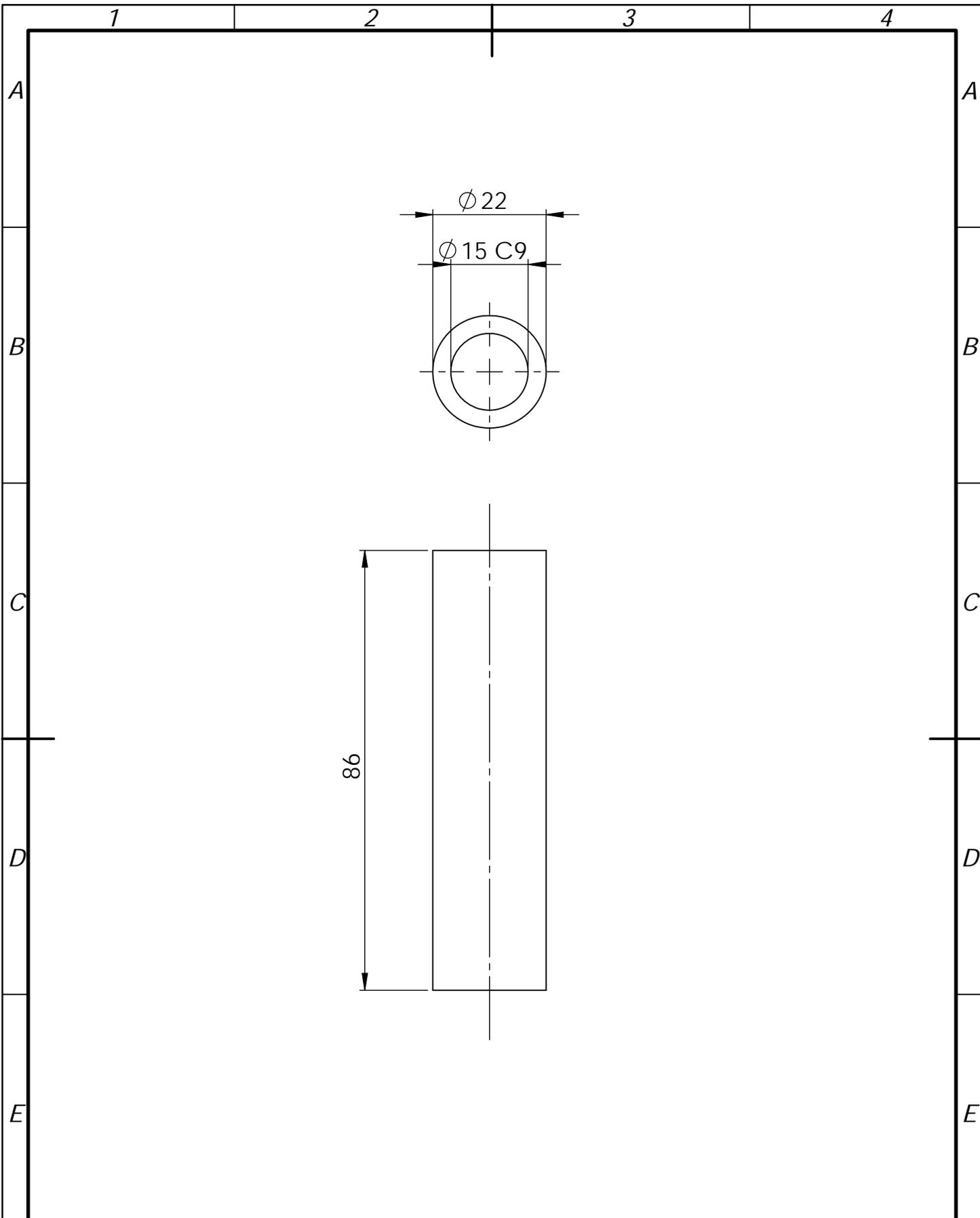
1

2

3

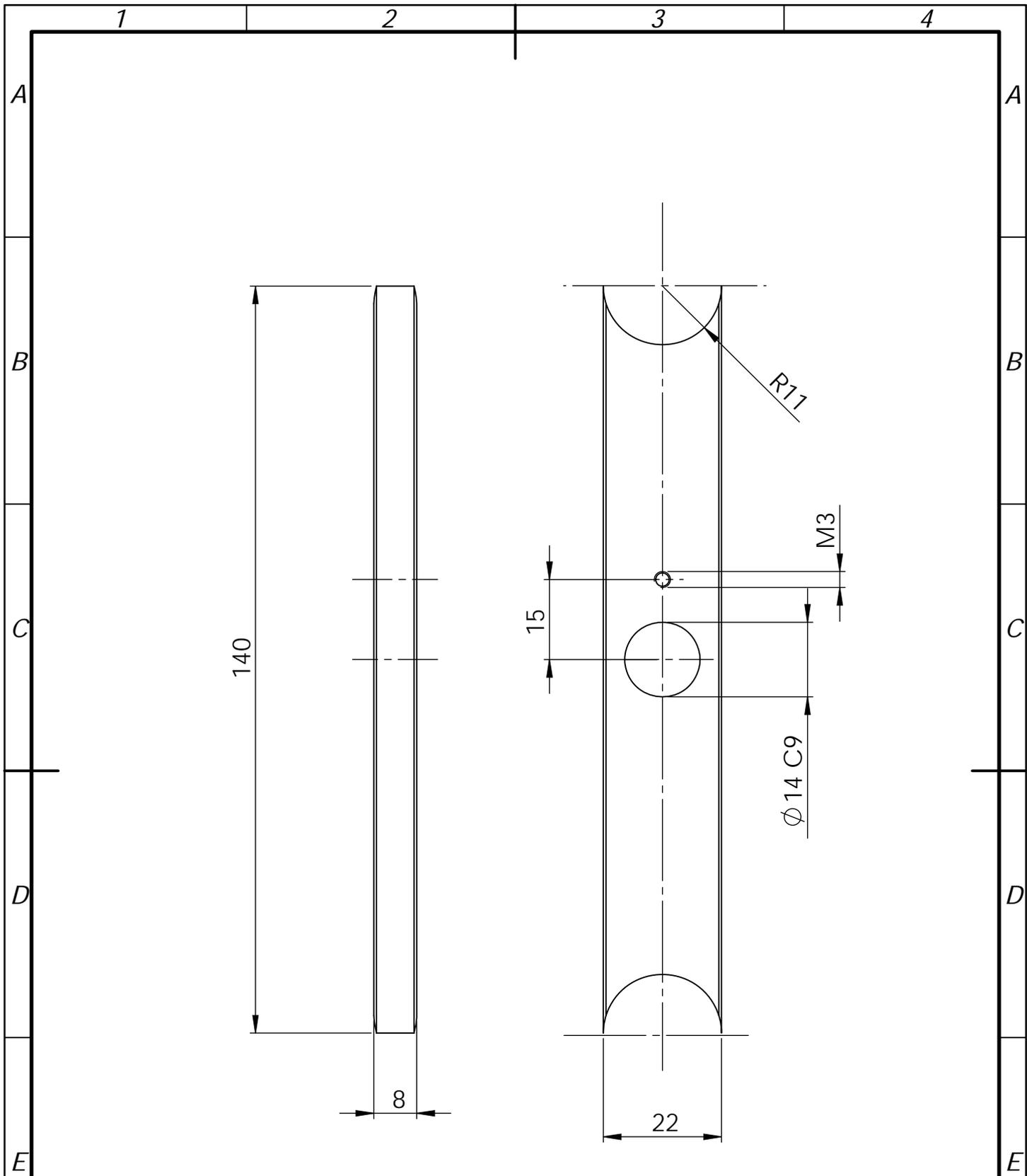
A4

F



Material AL 7075    Chaflanes 0.5 x 45°

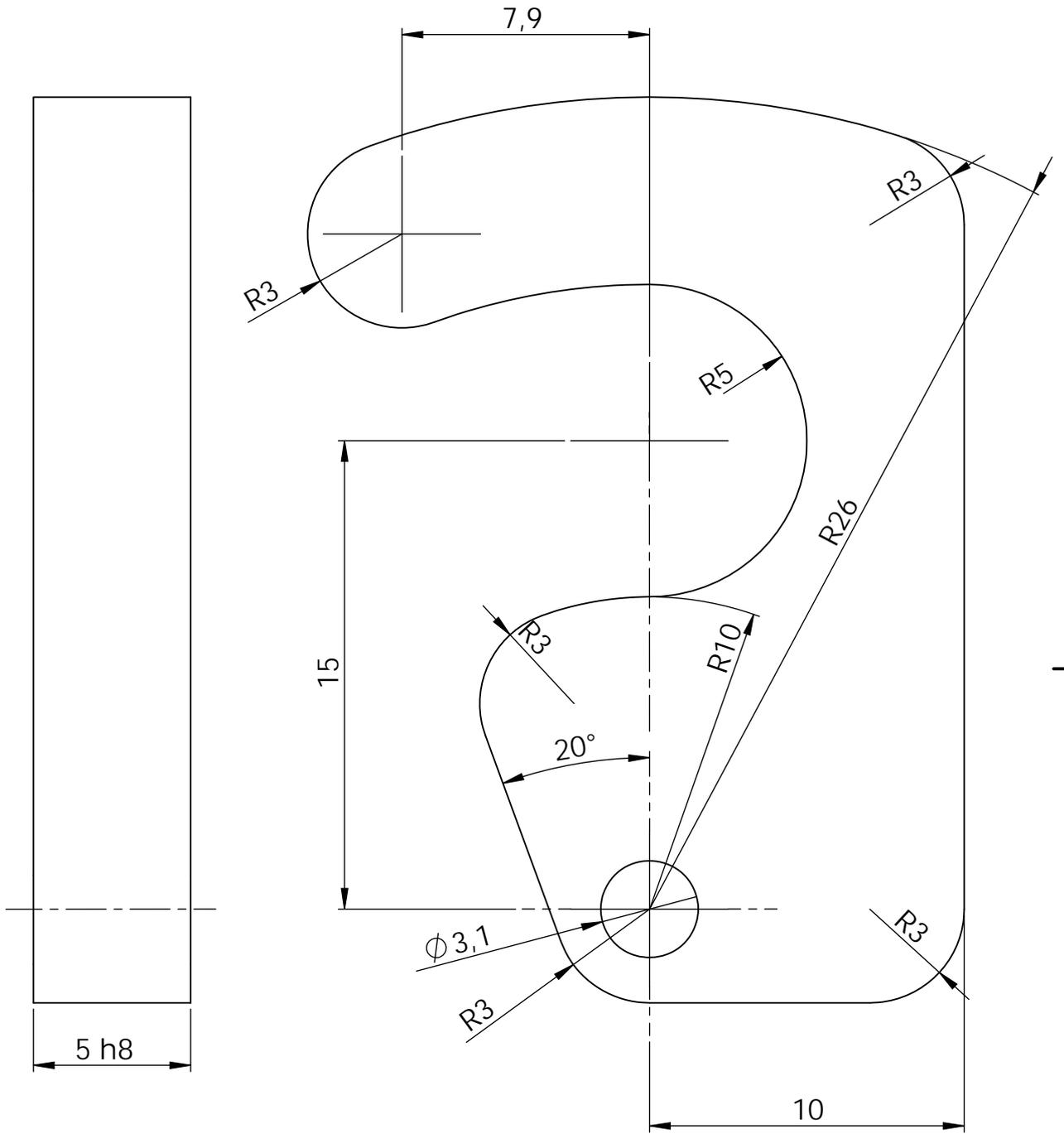
	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura <b>Universidad Zaragoza</b>
<i>Dibujado</i>	26-05-2015	Javier Marín Boné		
<i>Comprobado</i>	00-00-2015			
<i>Escala</i>	<i>Título</i>	<b>1:1</b> <b>Tube</b>		<i>Nº Alumno</i> 647473
				<i>Curso</i> 4º Mecánica
				<i>Plano Nº</i> 2.02.02



Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura <b>Universidad Zaragoza</b>
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
<b>1:1</b>	<b>Pletina</b>		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	2.02.03

N7



Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
5:1	Traba		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	2.03

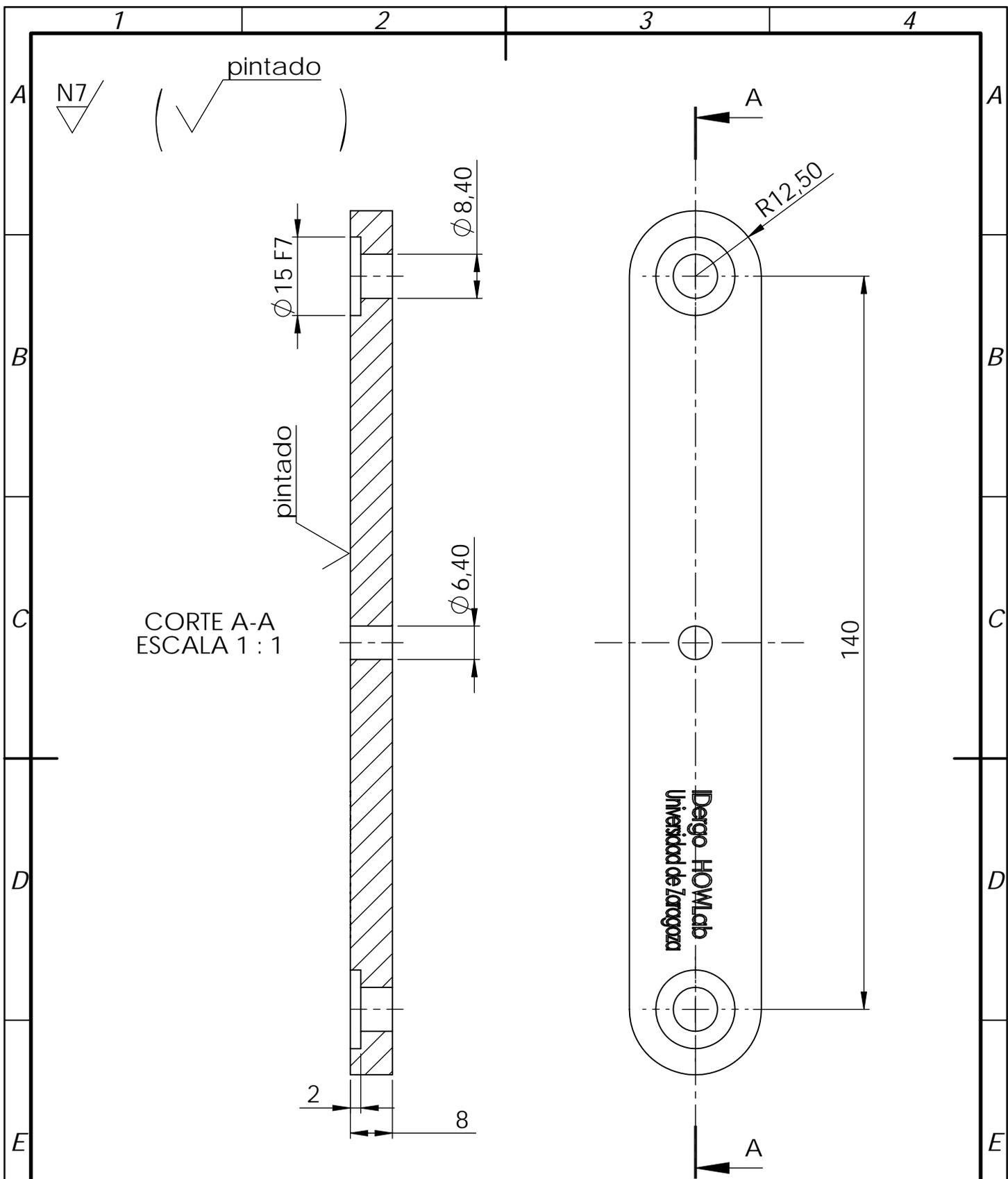
1

2

3

A4





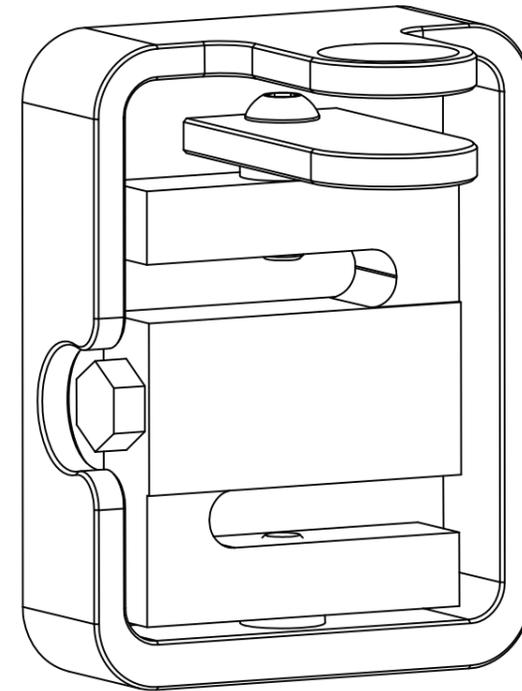
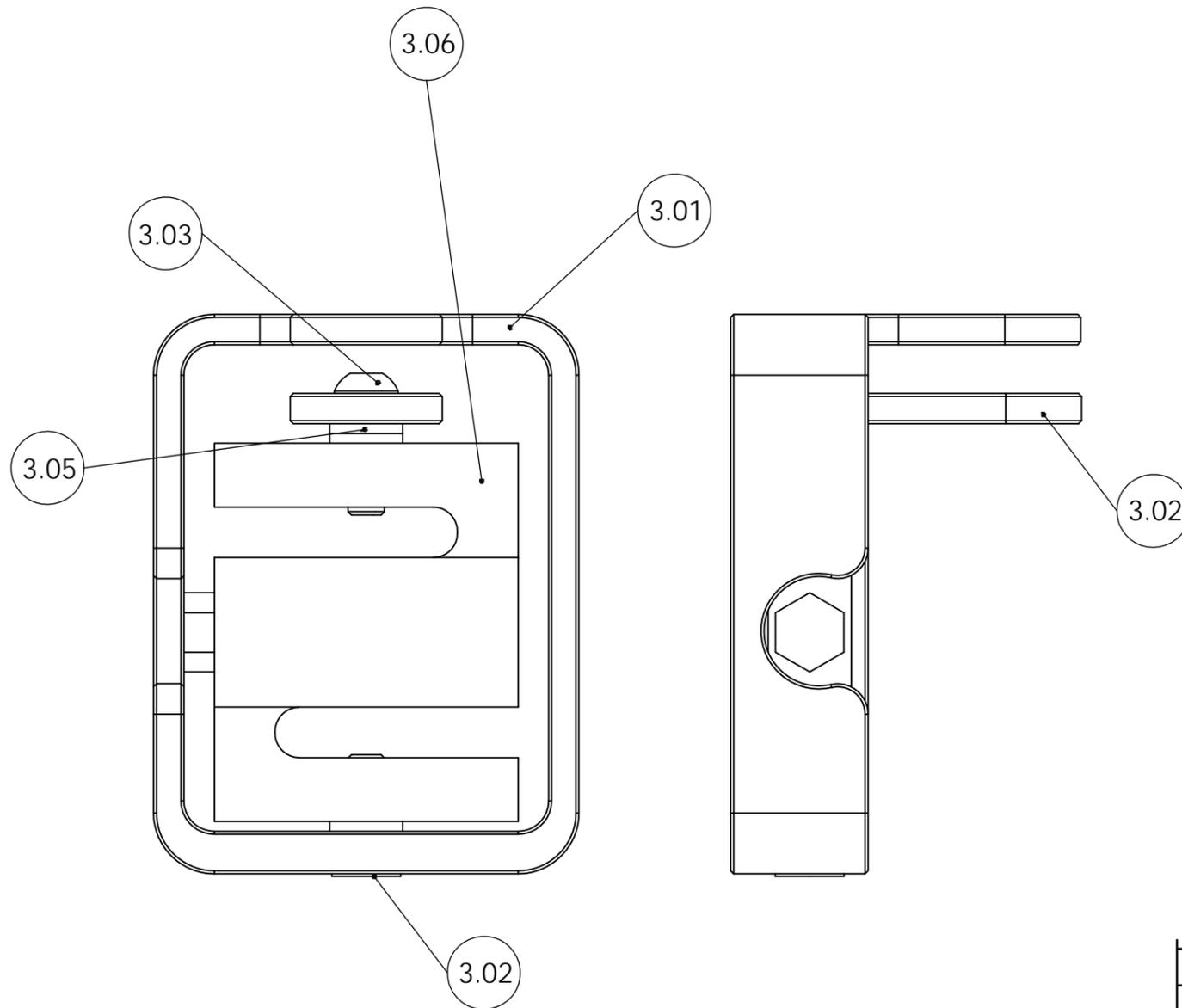
CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1

Material AL 7075    Chaflanes 0.5 x 45°  
 Pintar después de tapar los agujeros.  
 Pintura Electroestática Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

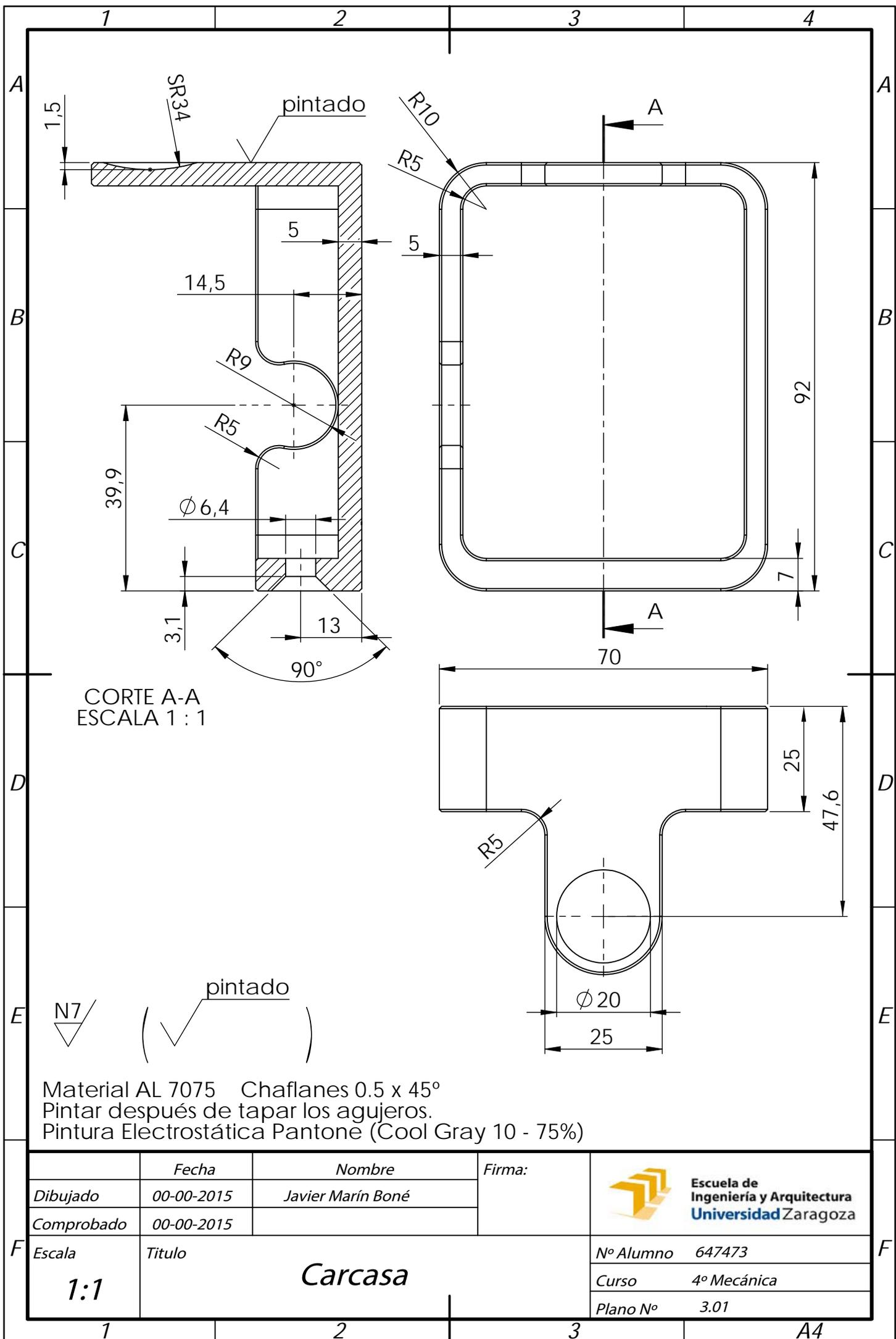
Dergo HOWLab  
 Universidad de Zaragoza

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26-05-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:1	<h1>Base</h1>		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	2.05

VISTA 3D  
ESCALA 1:1



3.06	1	Celula de carga		Tipo S 100Kg		
3.05	3	Arandela plana	ISO 7089	Ø6		
3.04	1	Tornillo cab. avellanada hex. interior	ISO 10642	M6 x 20		
3.03	1	Tornillo cab. botón hex. interior	ISO 7380	M6 x 20		
3.02	1	pletina pulgar		AL 7075		
3.01	1	Carcasa		AL 7075		
Marca	Nº de piezas	Designacion y observaciones	Norma	Material y medidas		
	Fecha	Nombre	Firma:			
Dibujado	00-00-2015	Javier Marín Boné				
Comprobado			 <b>Escuela de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Universidad Zaragoza</b>			
Escala	Titulo				Nº Alumno	647473
<b>1:1</b>	<b>Dinamómetro dedos</b>				Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	3.00		



CORTE A-A  
ESCALA 1 : 1

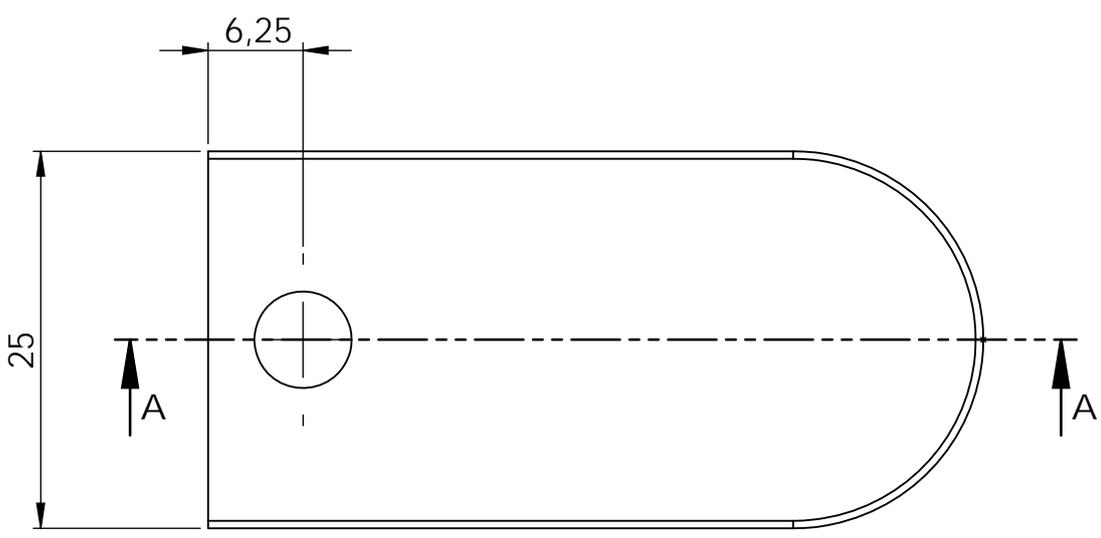
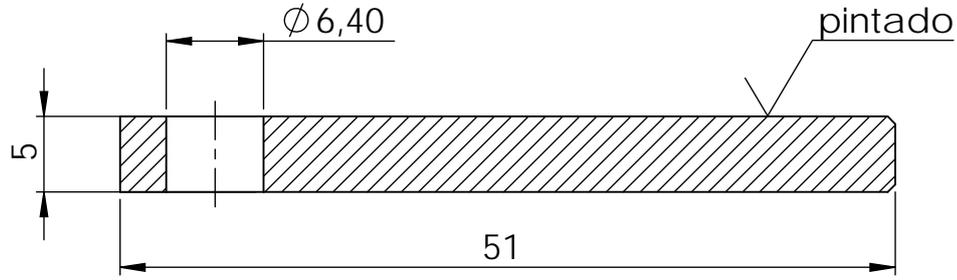
Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°  
 Pintar después de tapan los agujeros.  
 Pintura Electrostatica Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	00-00-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
1:1	Carcasa		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	3.01

1 2 3 4

A N7/ (  $\surd$  pintado ) A

CORTE A-A  
ESCALA 2:1



Material AL 7075 Chaflanes 0.5 x 45°  
 Pintar después de tapan los agujeros.  
 Pintura Electroestática Pantone (Cool Gray 10 - 75%)

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	00-00-2015	Javier Marín Boné		
Comprobado	00-00-2015			
F Escala	Titulo		Nº Alumno	647473
2:1	Pletina pulgar		Curso	4º Mecánica
			Plano Nº	3.02
1	2	3	A4	

## 16.4 PROTOCOLO DE MEDIDA PLATAFORMA.

En este apartado se describe cómo y en qué condiciones se realiza la medición del equilibrio sobre la plataforma. Además se plantean los cálculos que tiene que realizar el sistema informático y se plasma aquella información que debe ser trasladada al informe que reciben los médicos. Finalmente se adjuntan los primeros datos obtenidos en la primera medición real.

### 16.4.1 INTRODUCCIÓN.

#### Sistemas sensoriales y su relación con la postura y balance de una persona.

Existen principalmente tres sistemas sensoriales, los cuales son: el sistema visual, sistema vestibular y sistema somato sensorial. Mediante el uso del sistema visual la persona puede evadir los obstáculos que encuentre al caminar; el sistema vestibular permite obtener aceleraciones lineales y angulares del cuerpo lo que permite a una persona mantenerse en equilibrio y controlar su posición. Por último, con el sistema somato sensorial se obtienen los datos de velocidad, posiciones de las diferentes partes del cuerpo. (1)



Figura 58: Sistemas sensoriales: visual, vestibular y somato sensorial.

#### Ejes del cuerpo humano.

Los dos ejes principales en los que se moverá el cuerpo cuando se encuentre sobre la plataforma son: el eje medio lateral, que atraviesa el cuerpo lateralmente y el eje antero posterior, que lo atraviesa de atrás a delante.

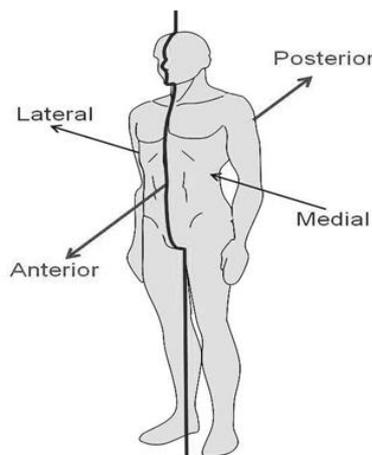


Figura 59: Ejes del cuerpo humano.

### **Estrategia de movimiento para mantener el equilibrio.**

Es el tipo de movimiento realizado para mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación. Existen tres tipos de estrategia: de tobillo, de cadera y de paso. La elección de una o de otra depende del grado de desplazamiento del centro de gravedad en relación con los límites de estabilidad, de la velocidad del desplazamiento y de la superficie de soporte sobre la que se encuentra la persona.

**1. Estrategia de tobillo.** El movimiento del cuerpo para mantener el equilibrio se realiza alrededor de la articulación de tobillo, por lo tanto en dirección antero posterior. El movimiento del centro de gravedad va a ser lento y alejado de los límites de estabilidad. Este tipo de estrategia suele producirse cuando la superficie de soporte donde se encuentra la persona es estable y mayor que la de los pies.

**2. Estrategia de cadera.** El movimiento del cuerpo se realiza alrededor de la articulación de la cadera. Van a ser movimientos medio laterales. El centro de gravedad se mueve rápidamente y se desplaza cerca de los límites de estabilidad. Este tipo de estrategia suele ocurrir cuando la superficie de sustentación es inestable y menor que la de los pies.

**3. Estrategia de paso.** El desplazamiento del centro de gravedad va más allá de los límites de estabilidad lo que hace que se tenga que desplazar un pie para evitarla caída.

Lo habitual en una persona sin ningún tipo de trastorno o patología del equilibrio es utilizar una estrategia de tobillo para las superficies estables y, a medida que la superficie se hace más inestable, ir incluyendo la estrategia de cadera en su movimiento. Por otro lado, las personas con un trastorno del equilibrio utilizarán mayor estrategia de cadera que las normales. (5)

#### **16.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO PARA REALIZAR LA PRUEBA.**

- El tamaño mínimo de la habitación debe ser de 3x4 [m]. Esto es de gran importancia para evitar la orientación espacial acústica. Fenómeno que es extremadamente notable en personas ciegas. (6)

- Por el mismo motivo, no debe haber fuentes de ruido fijas. El nivel de ruido debe ser inferior a 40 dB (ISO). (6)

- Hay que situar la plataforma a más de 1 [m] de la pared. (6)

- Se debe colocar una diana de diámetro 5 [cm] a una distancia inferior a 5 [m] del dispositivo. Esto es útil para mantener la concentración y estandarizar las pruebas. Lógicamente la diana se utilizará en las pruebas de ojos abiertos y en las que la interfaz gráfica no requiera de la atención del paciente. (6)

- El campo de visión periférica debe proporcionar información sobre la vertical, es suficiente con la arista de la habitación. Cabe destacar que, por ejemplo, una habitación cilíndrica no cumpliría este requisito. Una posible solución podría ser pintar una línea vertical sobre la pared. (6)

- En el caso de la medicina legal, dónde la colaboración del paciente puede ser puesta en duda, es recomendable en las pruebas con ojos cerrados, tapar la vista con algún antifaz o máscara para evitar el falseo de la captura.

- La gomaespuma utilizada debe tener un espesor de 9 cm, una densidad  $56.7 \text{ Kg/m}^3$  , y una resistencia a deformación del 25% de 247 N. (7)

- Hay que tener en cuenta que debe usarse una regla para medir la longitud del pié.

#### 16.4.3 POSICIÓN DEL CUERPO NECESARIA PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- Brazos pegados al cuerpo.

- Cuello posición neutra.

- Sin calzado, con calcetines.

- Durante todas las pruebas los tobillos juntos y el ángulo que formen los pies debe ser de  $30^\circ$ . En este tema hay una gran discrepancia entre autores, pero los analistas aconsejan esta posición por ser la más empleada (8), (9), (5).

- Al comenzar la captura es muy importante estar completamente erguido y con el peso centrado. Cuando se hace clic en el botón desplegable para empezar la prueba, se mide el lugar donde se encuentra en centro de gravedad y a partir de ese momento se tomará este punto como origen. Si el paciente no está completamente alineado se conseguirá menos alcance en la dirección hacia la cual está desviada en el momento de inicio.



Figura 60: Entorno virtual para pruebas de estabilidad. Con Motion Capture.

Como se observa en la imagen hay un entorno virtual con distintos escenarios dónde se realiza la prueba. El avatar se desplaza respecto de la plataforma para que los movimientos se puedan representar con claridad.

#### 16.4.4 TIEMPOS Y REPETICIONES DE LAS PRUEBAS.

Según la recomendación de las distintas publicaciones, los tiempos mínimos para las capturas son de (8):

- 5 [seg] para adaptarse.
- 30 [seg] de captura.
- 1 [min] descanso entre captura y captura, en este periodo se puede ir explicado la siguiente prueba.

Además, por la experiencia obtenida con otras pruebas de valoración funcional es muy recomendable:

- Repetir los movimientos, en una misma captura o en capturas distintas, sin que el paciente se dé cuenta. De esta manera se puede comprobar la coherencia de los resultados, y verificar la colaboración activa del sujeto.
- Para obtener unos datos coherentes, la prueba debe terminar cuando (a) el participante abre los ojos en una condición ojos cerrados, (b) levanta los brazos para equilibrarse, o (c) pierde el equilibrio.

#### **16.4.5 RESUMEN DE LAS PRUEBAS A REALIZAR.**

Las pruebas que se realizan son las siguientes.

##### **1 Evaluación sensorial dinámica (ROMBERG).**

Con esta prueba se analiza el equilibrio en situación estática. El paciente trata de mantenerse sobre su posición neutral sin moverse. Para llevarla a cabo se hacen cuatro capturas, según se haga con ojos abiertos o cerrados y según se use gomaespuma o no.

##### **2 Valoración y control de habilidad.**

El objetivo es medir la capacidad y eficacia del movimiento del centro de masas.

###### **2.1 Límites de estabilidad.**

Mediante una interfaz gráfica, el sujeto debe seguir unas esferas que se mueven alrededor de él. Según el alcance que haya conseguido en cada dirección se obtiene el polígono de estabilidad o de sustentación.

###### **2.2 Control rítmico direccional.**

Una esfera se mueve aumentando la velocidad y el paciente debe intentar seguirla moviendo su cuerpo. Primero la trayectoria va de lado a lado (dirección medio lateral) y después de atrás a delante (dirección antero posterior).

Por lo tanto para un paciente se realizan seis capturas, cuatro de Romberg, una para hallar los límites de estabilidad y otra para analizar el control rítmico direccional.

#### **16.4.6 EVALUACIÓN SENSORIAL DINÁMICA (ROMBERG).**

##### **PRUEBA.**

Se divide en cuatro pruebas que van de menor a mayor dificultad (5):

1. Test de Romberg ojos abiertos (ROA): el paciente, situado con sus pies encima de la plataforma, mantiene el equilibrio durante mínimo 30 seg.
2. Test de Romberg ojos cerrados (ROC): el paciente en la misma posición, cierra los ojos y mantiene en equilibrio por 30 seg como mínimo.
3. Test de Romberg sobre gomaespuma (RGA): con los ojos abiertos y sobre una superficie inestable (gomaespuma), el paciente deberá mantener el equilibrio durante 30 seg mínimo.

4. Test de Romberg sobre gomaespuma y ojos cerrados (RGC): el paciente cierra los ojos y mantiene el equilibrio sobre una gomaespuma durante al menos 30 s.

Como se ha explicado, el cuerpo tiene tres mecanismos para mantenerse estable. Si se bloquea uno de ellos, se puede analizar cómo funcionan los demás. Por ejemplo, una persona ciega, no tiene capacidad visiva, pero puede controlar su equilibrio gracias a el sistema vestibular y el sistema somato sensorial, de hecho acaba desarrollando estos receptores más de lo normal. Así que con estas pruebas se intenta valorar la capacidad de cada uno de ellos.

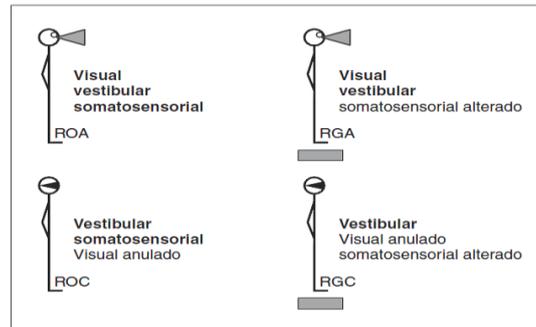


Figura 61: Condiciones de exploración del análisis sensorial (5).

Tras cada una de las cuatro capturas, el software realiza una serie de cálculos que dan como resultado diferentes índices. Esto se explica con detalle, unos cuantos párrafos más adelante, en el apartado de cálculos.

Los índices de cada captura se comparan con los índices del primer test (ROA), con ojos abiertos y sin gomaespuma. De esta manera se puede obtener una valoración de cada receptor. Por lo tanto, en la siguiente fórmula ROA no es un solo valor, sino un conjunto de índices que resultan de una captura. Esto es igual para ROC, RGA y RGC.

### Índice somatosensorial.

En la prueba de Romberg con ojos cerrados (ROC) se anula la vista, así se comprueba si el componente somato sensorial y el vestibular funciona correctamente.

Si el valor es anormalmente bajo, el paciente depende de la visión para mantener un correctamente equilibrio, es decir, su información somato sensorial unida a la vestibular no es suficiente para mantener el equilibrio. Se denomina **patrón de disfunción somato sensorial**.

$$\text{Valoración somato sensorial} = \frac{ROC}{ROA}$$

### Índice visual.

Anulando la información somato sensorial con una superficie de gomaespuma (RGA), se comprueba que el pacientes capaz de estabilizarse con la vista y la información vestibular.

Si el índice es anormalmente bajo, indica que el paciente depende de la información somato sensorial para mantener el equilibrio, por lo tanto, la información visual unida a la vestibular no es suficiente para mantener un equilibrio correcto. Estamos ante lo que se denomina **un patrón de disfunción visual**. El paciente tiene dificultades para caminar sobre superficies no firmes o irregulares.

$$\text{Valoración visual} = \frac{RGA}{ROA}$$

### Índice vestibular.

Si se elimina la vista y la información somato sensorial (RGC) se puede analizar el sistema vestibular.

Si el cociente RGC/ROA es anormalmente bajo, la información que el sujeto recibe del sistema vestibular no es suficiente para mantener un equilibrio adecuado. Se denomina **patrón de disfunción vestibular**.

$$\text{Valoración vestibular} = \frac{RGC}{ROA}$$

El médico que analiza los resultados debe saber que, cuando el sujeto depende únicamente de la información vestibular no es capaz de obtener unos resultados normales, pero cuando puede utilizar las otras informaciones, visual y somato sensorial, solas o en conjunto, es capaz de compensar la información vestibular alterada. El patrón vestibular, aunque sea típico de la patología vestibular periférica, no garantiza la existencia de esta patología, ya que puede darse tanto en lesiones periféricas como centrales (5).

### CÁLCULOS.

#### Peso del sujeto. [*PesoSujeto*]

Hay que sumar el valor que registra cada célula ( $F_i$ ). (3) (1)

$$\text{PesoSujeto} = F_0 + F_1 + F_2 + F_3$$

#### Centro de gravedad. [ $X_{CDG}, Z_{CDG}$ ]

Para realizar todos los cálculos hay que fijar cómo están orientados los ejes y dónde están colocadas exactamente las células. Como puede comprobarse, el eje Z crestones a la dirección antero posterior del paciente y la X a la medio lateral. (3) (1)

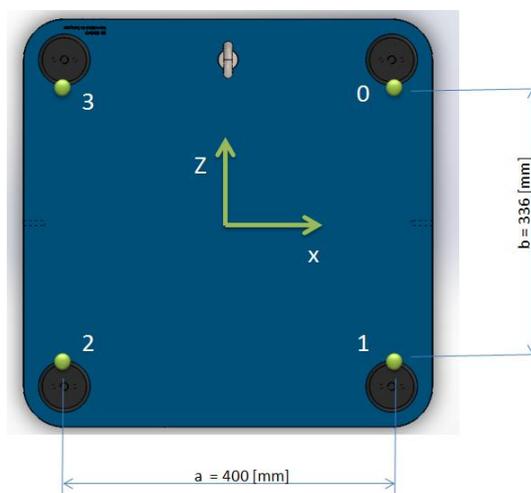


Figura 62: Ejes de la plataforma y coordenadas de la posición de las células de carga.

Con estos parámetros ya se puede calcular las coordenadas del centro de gravedad en las direcciones X y Z.

$$X_{CDG} = \frac{a}{2} * \frac{[(F_0 + F_1) - (F_2 + F_3)]}{F_0 + F_1 + F_2 + F_3}$$

$$Z_{CDG} = \frac{b}{2} * \frac{[(F_0 + F_3) - (F_2 + F_1)]}{F_0 + F_1 + F_2 + F_3}$$

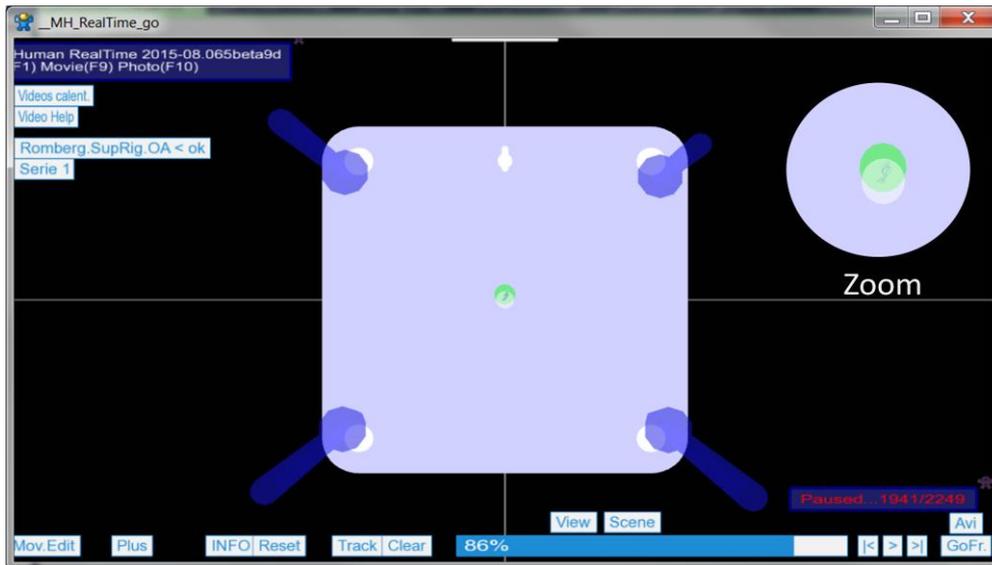


Figura 63: Centro de gravedad representado sobre la plataforma

### Estatocinesiograma.

Es un grafico que representa las coordenadas de las posiciones sucesivas del centro de gravedad. Es el mismo grafico que ve el usuario en la pantalla al realizar la prueba.

Como se ha explicado, cada célula recoge 50 valores de fuerza por segundo. Así, que hay también 50 valores del centro de gravedad por segundo. Uniendo cada punto, se puede representar la trayectoria que se ha seguido.

### Estabilograma.

Es la representación de las coordenadas X y Z en función del tiempo.

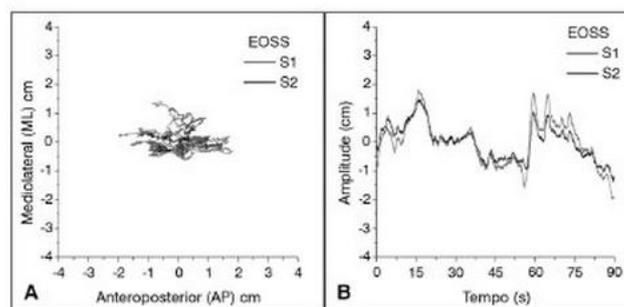


Figura 64: Estatocinesiograma (A) y Estabilograma (B).

### Media de X y media de Z. [ $X_{med}, Z_{med}$ ]

Nos informa a cerca de cuál es el punto representativo de toda la nube de puntos.

Hay que calcular la media de todos los puntos grabados (N). (3) (6)

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \bar{Z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i$$

### Superficie. [S]

A partir del gráfico “Estatocinesiograma”, se puede observar que cuanto más pequeña es la superficie recorrida por el CDG, menos se habrá movido el sujeto durante la prueba. Por su simplicidad y fácil interpretación, se considera que la superficie de la trayectoria es uno de los parámetros más importantes en la valoración de la estabilidad.

Algunos autores calculan el máximo alcance obtenido durante la prueba y representan un círculo que pasa por este punto y tiene su centro en el origen de coordenadas (3).

Pero en nuestro caso, para obtener una mayor precisión, primero se divide el plano XZ en ocho zonas. Cada una de estas zonas abarca 45°. Posteriormente se calcula el máximo en cada zona y se guarda su valor. Uniendo los máximos de cada sector, se obtiene un polígono irregular de ocho lados, con una superficie determinada.

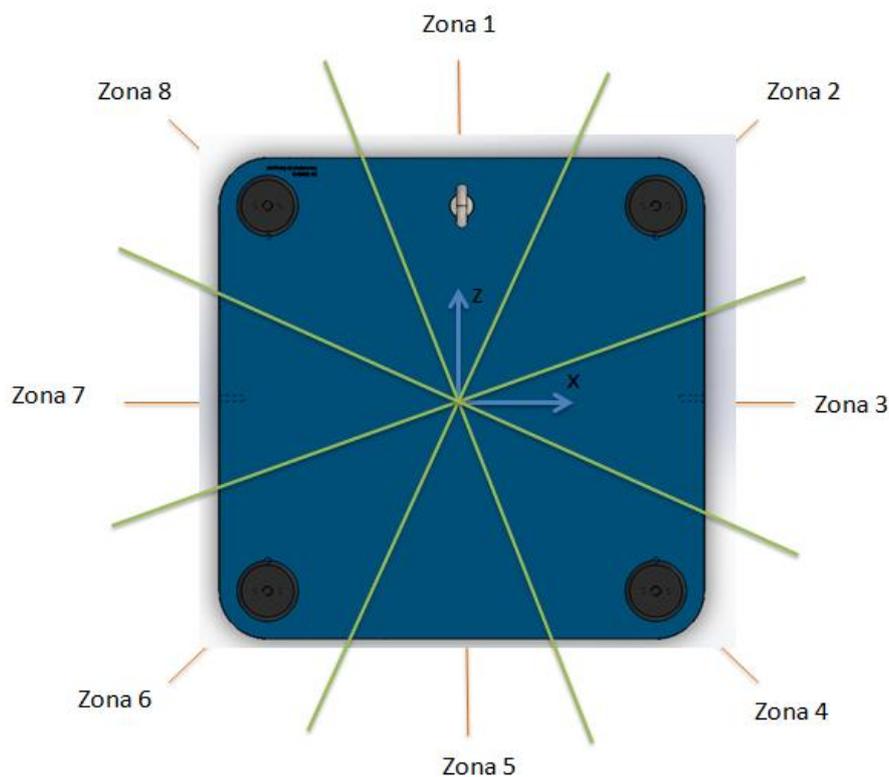


Figura 65: Zonas de la plataforma para realizar los cálculos.

Para poder realizar los siguientes cálculos, hay que destacar, que cada zona tiene una dirección fundamental (línea naranja). Esto es importante tenerlo en cuenta, ya que será de gran ayuda para llevar a cabo la programación.

### Distancia total recorrida recorrida. [D]

La distancia que recorre el CDG durante toda la captura es la siguiente (3), (6):

$$D = \sum_{i=1}^N \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2}$$

### Velocidad media del centro de gravedad. [L]

Dividiendo la distancia total recorrida entre el tiempo de duración de la prueba (T) se obtiene la velocidad media (L), (3) (6):

$$L = \frac{D}{T}$$

### Distancia en función de la superficie. [DS]

Es la relación entre la longitud total recorrida y la superficie. Da información a cerca de la energía necesaria para amntener el equilibrio. Cuanto mayor sea el valor, peor será la eficiencia y se supondrá una peor gestión de la energía por parte del paciente.

$$DS = \frac{D}{S}$$

### Raiz cuadrada media. [RMS]

Esta medida permite obtener, una distancia promedio del camino recorrido por el CDG durante la prueba. Se calcula con la siguiente expresión (6) (3):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{i+1} - X_i)^2 + \sum_{i=1}^N (Z_{i+1} - Z_i)^2}{N}}$$

### Desplazamiento máximo. [DZ<sub>max</sub> , DX<sub>max</sub>]

En cada uno de los ejes se calcula el desplazamiento total, es decir, se suma el punto con la coordenada más positiva con el de la coordenada más negativa.

$$DZ_{max} = Z_{max} + |Z_{min}|$$

$$DX_{max} = X_{max} + |X_{min}|$$

### Porcentaje de tobillo cadera. [%Tb<sub>z</sub> , %Cd<sub>x</sub>]

Según los artículos analizados, la estrategia de tobillo ya comentada, se da cuando los movimientos se producen en la dirección anteroposterior. La estrategia de cadera, en cambio, se produce, cuando el movimiento del cuerpo se realiza en la dirección mediolateral. Por lo tanto, dicho de otra manera, las fuerzas antero-posteriores se corresponden con la utilización de la articulación de tobillo, debido a que la articulación tibio-astragalina faculta en mayor medida el movimiento en dicha dirección. Las fuerzas medio-laterales se corresponden con los movimientos originados en la cadera. (5)

$$[\%Tb_z] = \frac{DZ_{max}}{DZ_{max} + DX_{max}} \times 100 \quad [\%Cd_x] = \frac{DX_{max}}{DZ_{max} + DX_{max}} \times 100$$

**Desplazamiento máximo angular.** [ $\alpha_{X(\text{antero posterior})}$ ,  $\alpha_{Z(\text{medio lateral})}$ ]

Con la intención de independizar la altura del paciente del análisis y poder comprar una captura con otra, se calcula el ángulo que se desplaza el centro de gravedad utilizando el modelo de péndulo invertido definido por F. Passariello.

Se calcula a partir del desplazamiento máximo y de suponer que la altura del centro de gravedad es el 55% de la altura de un individuo. (7). Hay que aclarar que la nomenclatura  $\alpha_{X(\text{antero posterior})}$  significa que alfa es el ángulo girado alrededor del eje X en la dirección antero posterior.

$$\alpha_{X(\text{antero posterior})} = \frac{180 * \arctg \left( \frac{DZ_{max}}{Estatura * 0.55} \right)}{\pi}$$

$$\alpha_{Z(\text{medio lateral})} = \frac{180 * \arctg \left( \frac{DX_{max}}{Estatura * 0.55} \right)}{\pi}$$

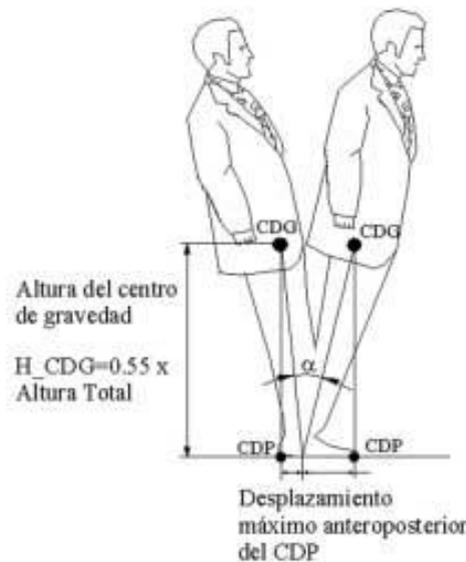


Figura 66: Modelo de péndulo invertido definido por F. Passariello.

**Porcentaje del movimiento del centro de gravedad respecto al tamaño del pie.** [%FootZ]

El objetivo es independizar el tamaño del pie para poder comparar diferentes estudios. Este cálculo se realiza sólo para el eje Z (antero posterior).

$$\%FootZ = \frac{DZ_{max}}{LongPie} * 100$$

**Par máximo.** [ParMax]

Es una medida de la fuerza máxima recibida en cada célula pero en vez de expresarlo en términos de fuerza, se expresa como un par. Para ello, hay que multiplicarla por la distancia del centro de gravedad a la célula. Posteriormente el valor se divide por el peso de la persona. Así se obtiene un coeficiente que será independiente de esta dimensión antropométrica.

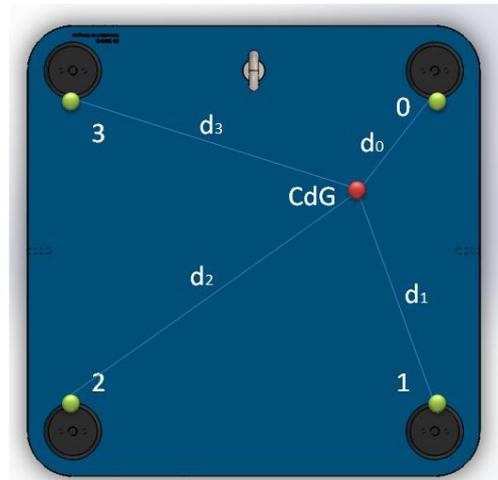


Figura 67: Par máximo.

Hay que tener en cuenta que la fuerza máxima de cada célula se produce en un momento distinto. Por ello se utiliza un array que guarda los valores de fuerza máxima y los multiplica por su distancia al centro de gravedad en ese instante.

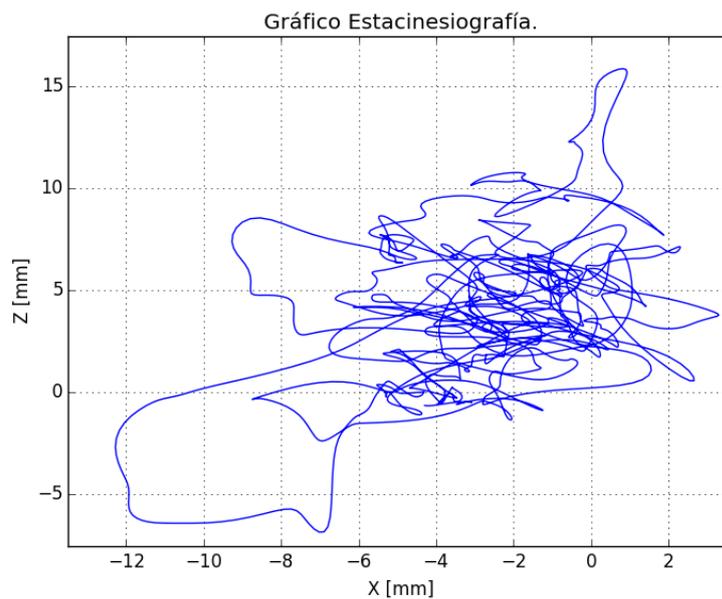
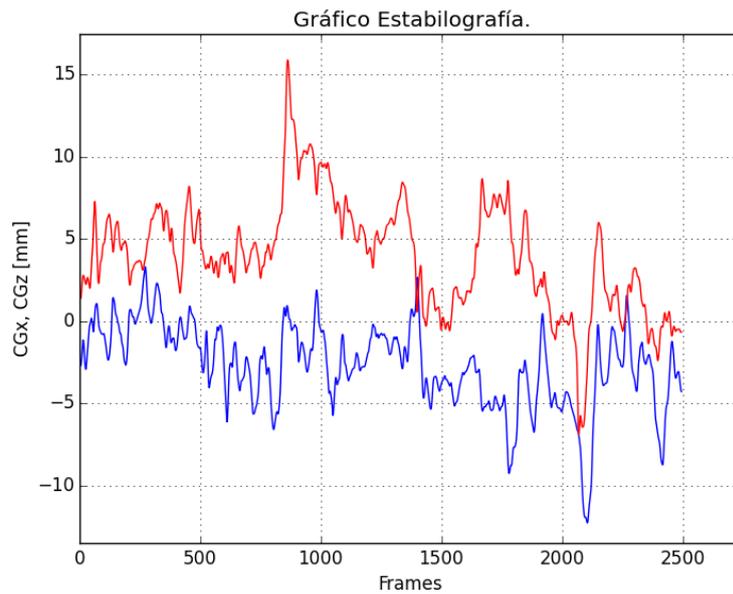
$$ParMax = array \left[ \frac{F_{0max} * d_0}{Weight}, \frac{F_{1max} * d_1}{Weight}, \frac{F_{2max} * d_2}{Weight}, \frac{F_{3max} * d_3}{Weight} \right]$$

### EJEMPLO DE INFORME.

En la pruebas de Romberg hay cuatro informes, uno para cada tipo de prueba. Todos ellos tienen la misma estructura, con diferentes valores. Para no extenderse excesivamente aquí se presenta uno de ellos a modo de ejemplo. Informe de Romberg con superficie blanda y ojos abiertos (RGA). Posteriormente se incluye una tabla comparativa de los cuatro informes.

### FCE\_Romberg\_Bla\_OA.

Capturado a 50 Hz.





#### Media de X y media de Z.

XMed [mm] = -2.6

ZMed [mm] = 3.9

#### Superficie.

S [cm<sup>2</sup>] = 1.67

#### Distancia total recorrida.

D [mm] = 416

#### Velocidad media del centro de gravedad.

L [mm/s] = 8.3

#### Distancia en función de la superficie.

DS (Dist/Area) [mm/cm<sup>2</sup>] = 249

#### Raíz cuadrada media.

RMS [mm] = 4

#### Desplazamiento máximo.

DZ max [mm] (antero posterior) = 23

DX max [mm] (mediolateral) = 16

#### Porcentaje de tobillo cadera.

Tb\_z [%] = 59

Cd\_x [%] = 41

#### Desplazamiento máximo angular.

$\alpha_X$  [°] (antero posterior) = 1.4

$\alpha_Z$  [°] (medio lateral) = 1.0

#### Porcentaje del movimiento del centro de gravedad respecto al tamaño del pié.

FootZ [%] = 8.7

#### Par máximo.

ParMax [kg x m / kg] = array ([0.07, 0.08, 0.09, 0.09])

Como se ha explicado, los cuatro informes de Romberg se comparan con la siguiente tabla:

	ROA	ROC	Valoración Somato sensorial (ROC/ROA)	RGA	Valoración Visual (RGA/ROA)	RGC	Valoración vestibular (RGC/ROA)
Xmed[mm]	0.8	3.9	4.9	-2.6	-3.3	2.4	3.0
Zmed[mm]	7.2	5.7	0.8	3.9	0.5	-3.3	-0.5
S[cm <sup>2</sup> ]	1.53	1.95	1.3	1.67	1.1	9.1	5.9
D[mm]	305	480	1.6	416	1.4	1106.0	3.6
L[mm/s]	6.8	10.1	1.5	8.3	1.2	21.9	3.2
DS[mm/cm <sup>2</sup> ]	200	247	1.2	449	2.2	122.0	0.6
RMS[mm]	5	4	0.8	4	0.8	10.0	2.0
Dzmax[mm]	19	14	0.7	23	1.2	122.0	6.4
Dxmax[mm]	18	22	1.2	16	0.9	36.0	2.0
Tb_z [%]	51	39	0.8	59	1.1	77.2	1.5
TCd_x[%]	49	61	1.3	41	0.8	22.8	0.5
$\alpha_X$ [°]	1.2	0.9	0.8	1.4	1.2	2.8	2.3
$\alpha_Z$ [°]	1.1	1.4	1.3	1	0.9	2.2	2.0
FootZ[%]	7.2	5.4	0.8	8.7	1.2	17.2	2.4

Tabla 6: Comparación de las cuatro pruebas de Romberg.

#### INTERPRETACIÓN PARA MEDICINA LEGAL.

La existencia de comportamientos ansiosos o incluso el intento por parte del paciente de exagerar o simular una patología, puede detreminarse por:

- Los resultados obtenidos en las pruebas más difíciles de los Romberg, por ejemplo RGC, son mejores que en las más fáciles (ROA).
- Datos que indican patologías contradictorias.
- Falta de consistencia entre las medidas de una misma prueba.
- El movimiento registrado no se corresponden con el grado de alteración funcional.

### 16.4.7 VALORACIÓN DEL CONTROL Y HABILIDAD.

Una vez estudiada la situación estática, se pretende determinar cómo se comporta el centro de gravedad del paciente al realizar sencillos ejercicios.

#### 16.4.7.1 Límites de estabilidad.

Al estudiar el alcance que consigue el paciente en cada dirección al mover el centro de gravedad se puede hallar el polígono de estabilidad. Cuanto más amplio y más simétrico sea, mejor.

#### PRUEBA.

Tras haber tomado un respiro, el sujeto se sitúa de nuevo en la plataforma, con la misma posición que tenía en las pruebas anteriores. Enfrente, tiene una pantalla con un escenario virtual.



Figura 68: Escenario virtual límites de estabilidad. Utilizando Motion Capture.

En la escena, se sitúan 8 dianas, una norte y las demás en sentido horario a 45°. Una esfera roja aparecerá en la imagen e irá recorriendo las dianas, el paciente tratará de seguirla con su cuerpo.

La separación de estas dianas depende de los límites de estabilidad fijados según la edad del paciente en el estudio de normalidad. Inicialmente, como este estudio no se ha realizado todavía, se colocan a una distancia inalcanzable para tratar de llegar al máximo.

Cada vez que la esfera roja llega a una diana, se para durante 8 segundos. (5) (7)

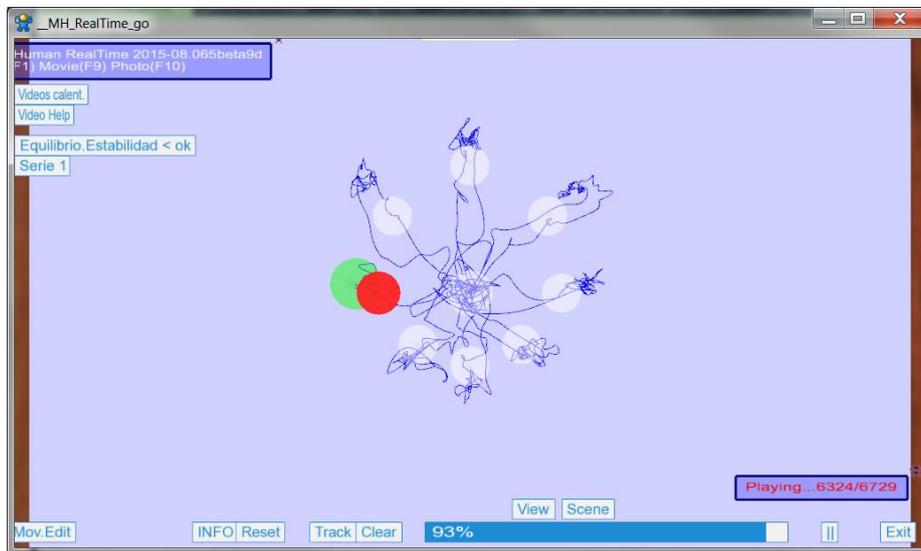


Figura 69: Prueba de límites de estabilidad.

### CÁLCULOS.

Para realizar los cálculos se continúa con la división en ocho sectores de la zona de medida. Las dianas comentadas, se encuentran en las direcciones fundamentales (Líneas naranjas).

En esta prueba se utilizan también todos los cálculos realizados para las pruebas de Romberg pero además se realizan otros, que se explican a continuación.

El método seguido para comprobar el acierto o la cercanía del centro de gravedad a la esfera roja, consiste en guardar la trayectoria de esta esfera y suponer un círculo imaginario alrededor de ella, que implica el acierto o el desacierto según se esté dentro o fuera de él. Este círculo por lo tanto está definido por dos parámetros: su centro, que coincide con los sucesivos puntos de la trayectoria  $(X_{i\ esfera}, Z_{i\ esfera})$  de la esfera y su diámetro  $(\emptyset_{esfera})$ .

En cada punto se calcula la distancia del centro de gravedad a la esfera roja.

$$d_i = \sqrt{(X_{i\ esfera} - X_i)^2 + (Z_{i\ esfera} - Z_i)^2}$$

### Porcentaje de acierto total. [%OK\_All]

Para calcular este parámetro, hay que guardar los datos que se consideran exitosos. Estos serán los puntos del centro de gravedad que se encuentran dentro del círculo de diámetro  $(\emptyset_{esfera})$ . Por ello cuando un punto cumple la siguiente expresión se considera exitoso (5):

$$d_i(X_i, Z_i) \leq \emptyset_{esfera}$$



El porcentaje de éxito será el cociente entre el número de valores exitosos ( $N_{ok}$ ) y el número de valores totales ( $N$ ).

$$\%OK_{All} = \frac{N_{OK}}{N} * 100$$

Esto se calcula para cada una de las ocho zonas.

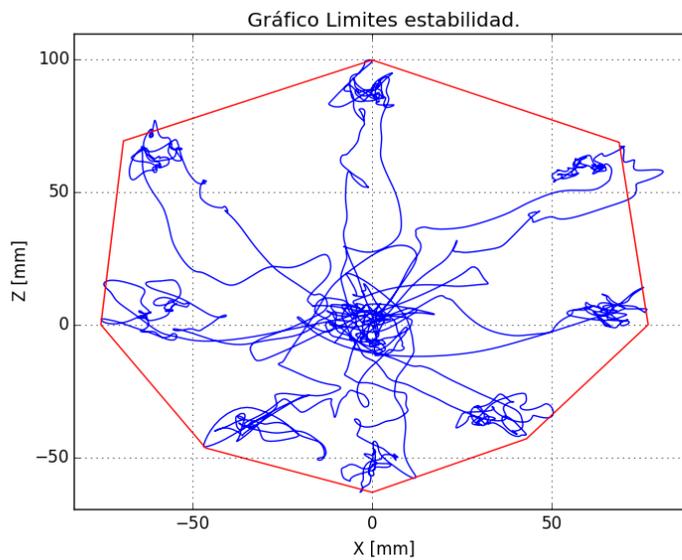
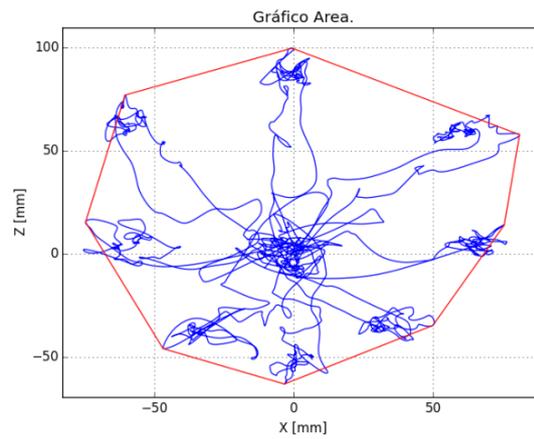
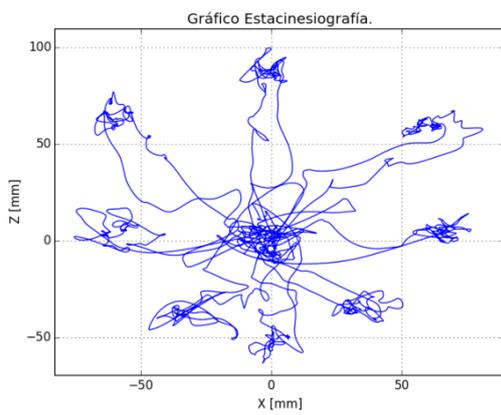
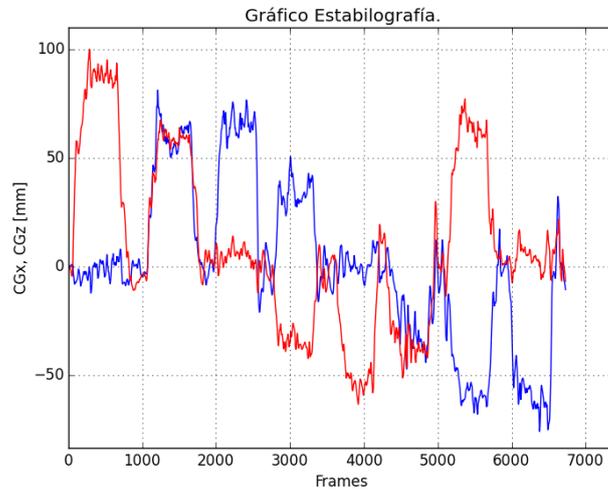
**Porcentaje de acierto cuando la esfera está parada. [ $\%OK_{Stop}$ ]**

Para tener más información acerca del movimiento, se calcula también el porcentaje de acierto que corresponde a los momentos en los que la esfera roja está parada. El cálculo es el mismo, pero teniendo solo en cuenta los puntos de esos periodos.

## EJEMPLO DE INFORME.

### FCE\_Equilibrio\_Estabilidad.

Capturado a 50 Hz.





### Media de X y media de Z.

XMed [mm] = -1

ZMed [mm] = 3

### Superficie.

S [cm<sup>2</sup>] = 178.96

### Distancia total recorrida.

D [mm] = 3322

### Velocidad media del centro de gravedad.

L [mm/s] = 24.7

### Distancia en función de la superficie.

DS (Dist/Area) [mm/cm<sup>2</sup>] = 19

### Raíz cuadrada media.

RMS [mm] = 7

### Desplazamiento máximo.

DZ max [mm] (antero posterior) = 163

DX max [mm] (mediolateral) = 157

### Porcentaje de tobillo cadera.

Tb\_z [%] = 51

Cd\_x [%] = 49

### Desplazamiento máximo angular.

$\alpha_X$  [°] (antero posterior) = 10.0

$\alpha_Z$  [°] (medio lateral) = 9.6

### Porcentaje del movimiento del centro de gravedad respecto al tamaño del pié.

FootZ [%] = 62.0

### Par máximo.

ParMax [kg x m / kg] = array ([0.14, 0.11, 0.11, 0.15])

### Porcentaje de acierto total.

Ok\_All [%] = [ 85.1 74.9 74.8 74.4 75.9 58.1 76.3 74. ]

### Porcentaje de acierto cuando la esfera está parada.

Ok\_Stop [%] = [100. 99.5 100. 96.2 92. 78.4 95.5 92.2]

### 16.4.7.2 Control rítmico direccional.

#### PRUEBA.

Situándose de la misma manera que en la prueba anterior, con la pantalla delante, se sigue una esfera que se mueve aumentando su velocidad durante un tiempo determinado.

Esta esfera se mueve primero en la dirección antero posterior y después en la dirección medio lateral.

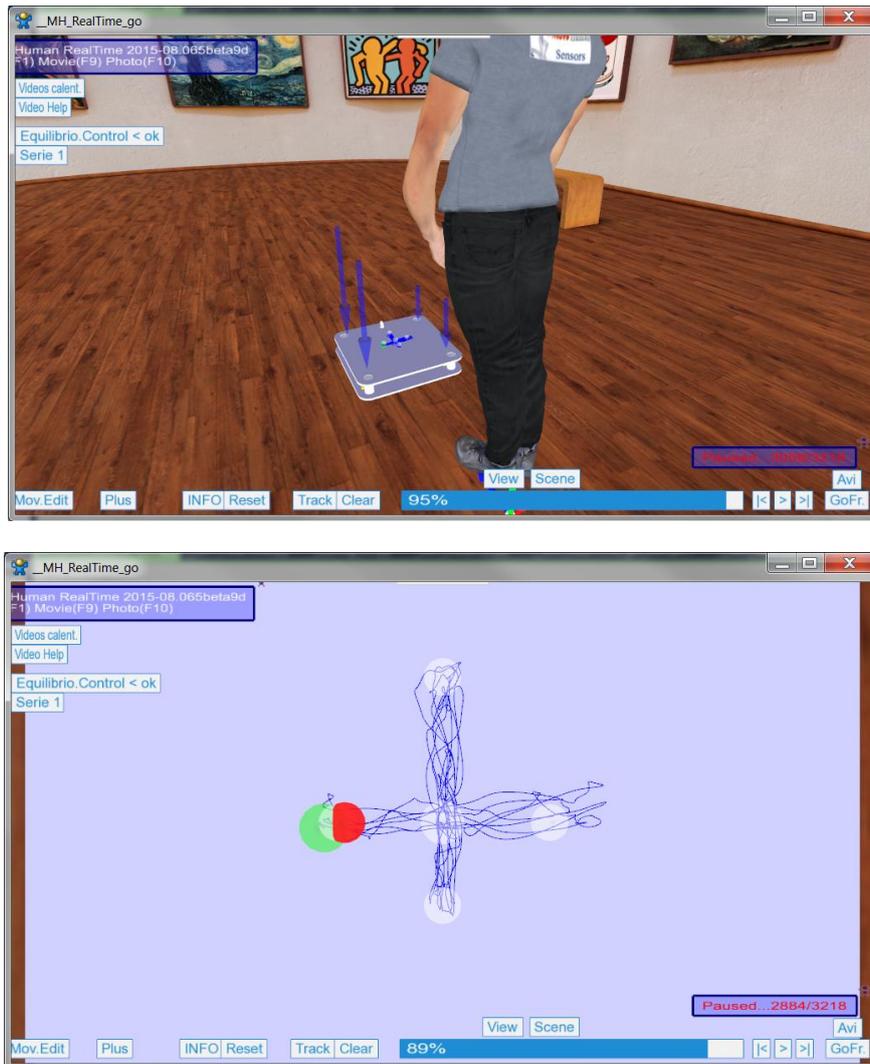


Figura 70: Prueba de control rítmico direccional. Utilizando Motion Capture.

Para saber cuales la amplitud de movimiento de la diana se recurre a los datos obtenidos de la prueba anterior (Límites de estabilidad). (7) (5)

## CÁLCULOS.

En esta prueba se utilizan también todos los cálculos realizados para las pruebas de Romberg y el cálculo del porcentaje de acierto total. Además se añaden los siguientes:

### Habilidad rítmico-direccional . [HDR]

Con este parámetro adimensional se cuantifica el promedio de la diferencia que existe entre el movimiento de la esfera roja y el movimiento que realiza el paciente en la dirección que sigue la diana y se obtiene mediante la aplicación de la siguiente ecuación (5):

$$HDR = \frac{1}{A} * \sqrt{\sum \frac{(d_i)^2}{N}}$$

Siendo (di) la distancia entre el centro de gravedad y la esfera roja, (A) la amplitud de movimiento en cada dirección y (N) el número de muestras tomadas

Se aplica en cada una de las zonas de movimiento.

### Control y eficacia del movimiento. [CEM<sub>X</sub>, CEM<sub>Z</sub>]

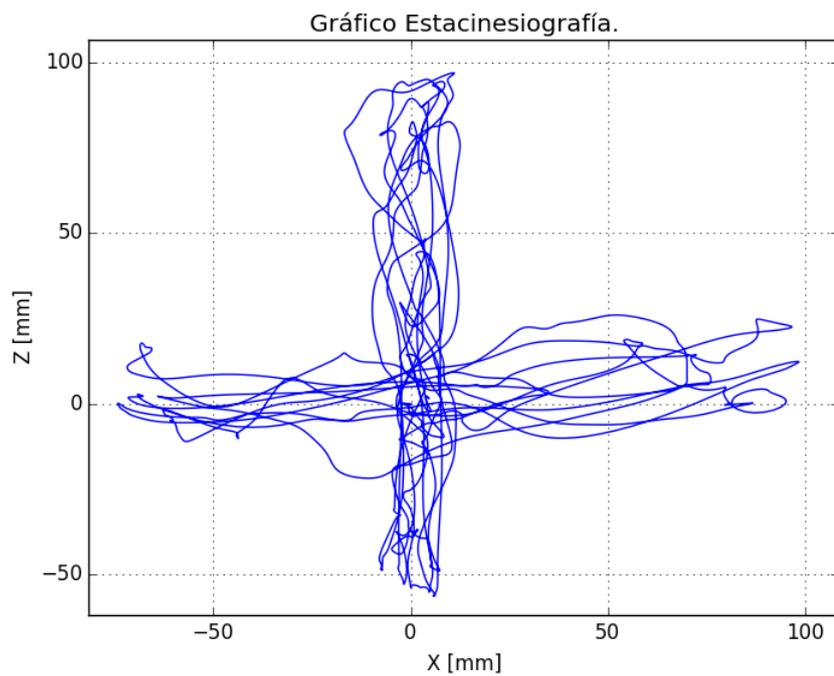
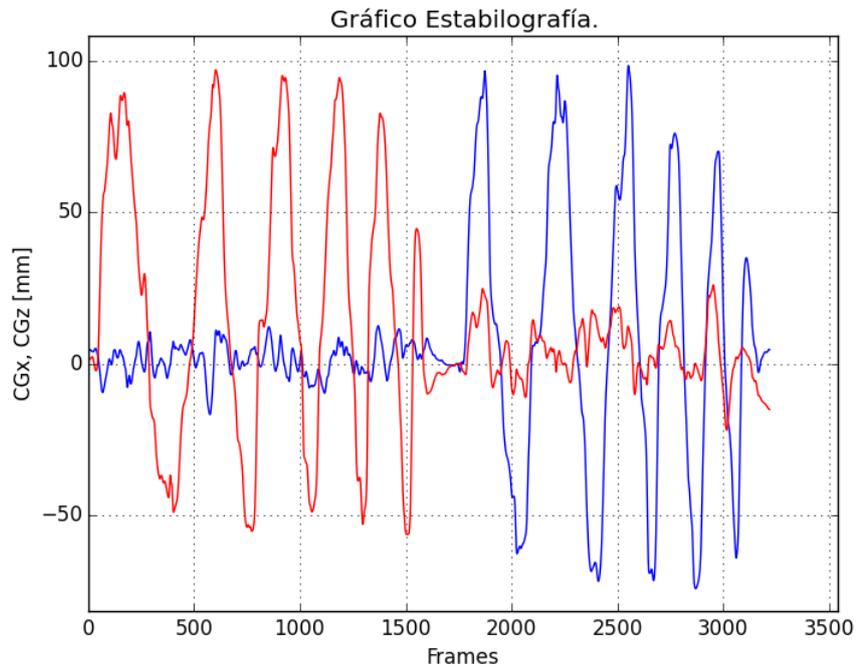
Este parámetro tiene el propósito de cuantificar el movimiento que realiza el paciente voluntariamente en la dirección perpendicular al movimiento de la diana, o dicho de otra manera, la anchura de cada lado de la cruz que forma la trayectoria al finalizar la prueba. Se calcula mediante la expresión (5):

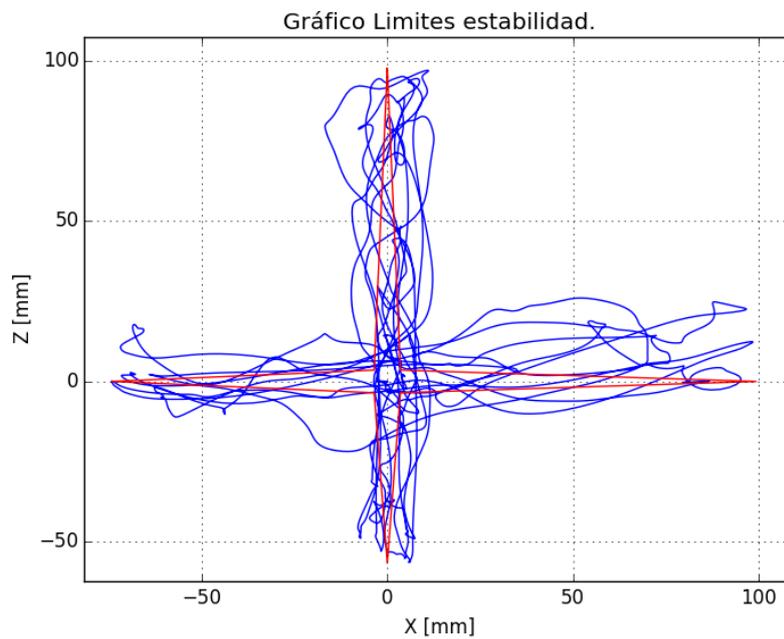
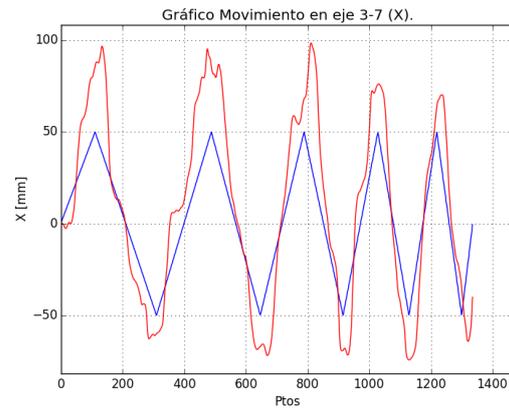
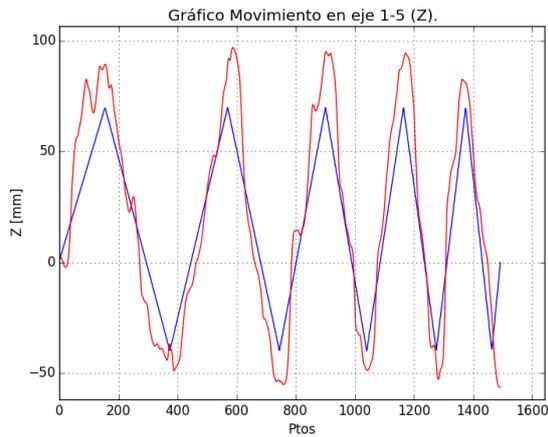
$$CEM_x = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{N}} \quad CEM_z = \sqrt{\frac{\sum Z_i^2}{N}}$$

## EJEMPLO DE INFORME.

### FCE\_Equilibrio\_Control.

Capturado a 50 Hz.





**Media de X y media de Z.**

XMed [mm] = 3

ZMed [mm] = 4

**Superficie.**

S [cm<sup>2</sup>] = 75.16

**Distancia total recorrida.**

D [mm] = 3372

**Velocidad media del centro de gravedad.**

L [mm/s] = 52.4

**Distancia en función de la superficie.**

DS (Dist/Area) [mm/cm<sup>2</sup>] = 45



#### **Raíz cuadrada media.**

RMS [mm] = 6

#### **Desplazamiento máximo.**

DZ max [mm] (antero posterior) = 153

DX max [mm] (mediolateral) = 173

#### **Porcentaje de tobillo cadera.**

Tb\_z [%] = 47

Cd\_x [%] = 53

#### **Desplazamiento máximo angular.**

$\alpha_X$  [°] (antero posterior) = 9.4

$\alpha_Z$  [°] (medio lateral) = 10.5

#### **Porcentaje del movimiento del centro de gravedad respecto al tamaño del pié.**

FootZ [%] = 58.3

#### **Par máximo.**

ParMax [kg x m / kg] = array ([0.12, 0.11, 0.1, 0.13])

#### **Porcentaje de acierto total.**

Ok\_All [%] = [ 45.7 22.7 41.2 29.4]

#### **Control y eficacia del movimiento.**

HRD = [ 0.25 0.54 0.39 0.38]

#### **Habilidad rítmico-direccional.**

CEM\_Z = [ 5.8 0. 4.5 0. ]

CEM\_X = [ 0. 11.3 0. 8.2]

## 16.5 CALIBRACIÓN CÉLULA DE CARGA.

### INTRODUCCIÓN.

La electrónica la proporciona el grupo de investigación How Lab. Está formada por: La placa base, las células de carga, los cables y el software que controla el dispositivo.

Se hacen dos versiones, una con dos células de carga y otra con cuatro. La placa base es la misma para las dos configuraciones, pero se conectan más o menos células según el caso.

Las células de carga son sensores que convierten una fuerza en una señal eléctrica. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica. La galga convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas. Una célula de carga, por lo general, se compone de cuatro galgas extensiométricas conectadas en una configuración tipo puente de Wheatstone. La señal obtenida son voltios.

Para poder transformar el voltaje de salida a kilogramos hay que hallar las constantes que relacionan estos dos parámetros. Como su relación es lineal, la ecuación que los relaciona es la ecuación de una recta:

$$P[kg] = a * V[Volts] + b$$

Para obtener estas constantes es necesario realizar una calibración. Algunos fabricantes proporcionan estos valores, pero si se adquiere un sensor no calibrado, se ahorra una gran cantidad de dinero. Como se pretende usar estos sensores en varios dispositivos, se ha decidido optar por la opción más económica y llevar a cabo una calibración muy precisa y en un futuro certificar el producto.

## MONTAJE.

La calibración es un proceso que consiste en aplicar pesos conocidos al sensor y guardar el valor en voltios que se obtiene. Cuando se repite este proceso con varios pesos se representa una grafica de Voltios-Kilogramos. Entonces, se calcula la ecuación de la recta, y se obtienen las dos constantes (a) y (b) que nos interesan.

Es necesario conseguir una gran precisión, por lo que cada sensor se carga hasta su máximo, que son 100 Kg. Esto se hace en tracción y en compresión. En ese rango de pesos se colocan todas las subdivisiones que sean posibles.

Para realizar el pesaje, se utiliza una estructura de perfiles de acero que se conserva de un proyecto anterior. El montaje puede observarse en las siguientes imágenes.



*Figura 71: Montaje para calibración.*

Con una cadena se cuelga de la célula de carga un soporte para pesas de disco. En la toma de datos se van añadiendo pesas al soporte hasta que se llega a 100 kg.



*Figura 72: Soporte discos olímpicos. Con carga y sin carga.*

Para que la célula trabaje a tracción o compresión existen dos montajes distintos:

- Montaje a compresión.
- Montaje a tracción.

En el montaje a compresión se coloca la célula encima de la estructura de acero, mediante el sistema que aparece en las imágenes, se rodea la célula para colocar en la parte inferior el peso que nos interese.



*Figura 73: Montaje para compresión.*

El ensamblaje necesario para este proceso consta de dos pletinas de acero perforadas unidas mediante dos varillas roscadas de métrica 10. Una de las pletinas irá unida a la célula de carga y la otra a la cadena con una anilla de cáncamo.

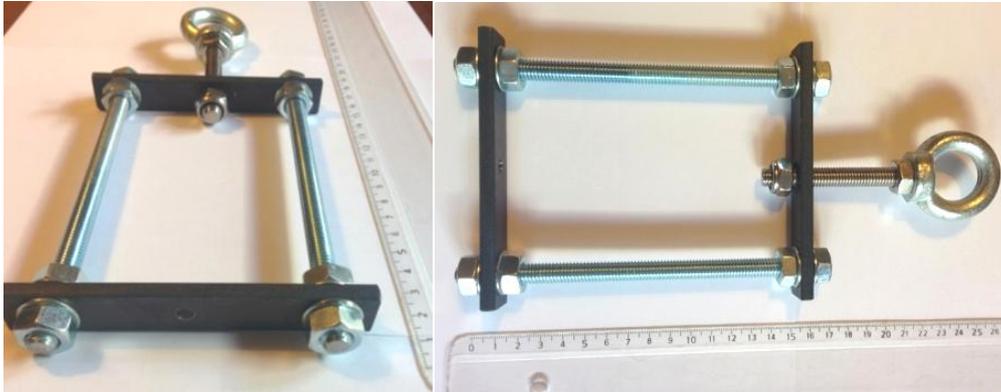


Figura 74: Conjunto compresión.

Los materiales que han sido necesarios para fabricar el conjunto de compresión se recogen en la siguiente tabla:

Lista materiales necesarios para compresión.		
Nombre	Dimensiones	Uds.
<b>Conjunto compresión</b>		
Pletina perforada modelo 1	125 x 20 x 6	1
Pletina perforada modelo 2	125 x 20 x 6	1
Varilla roscada	L = 170 mm	2
Varilla roscada	L = 80 mm	1
Tuerca	M10	10
Arandela Plana	∅10	8
Tuerca de cáncamo	M10	1
<b>Tornillería</b>		
Tornillo cabeza hexagonal	M6 x 55	1
Tornillo cabeza hexagonal	M6 x 25	1
Arandela plana	∅6	3
<b>Elementos sujeción de discos</b>		
Cadena	L = 2000 mm	1
Mosquetón	∅8 x 230 kg	1
Soporte discos olímpicos		1
Pesas de disco		23

Tabla 7: Lista de materiales para compresión.

El montaje para tracción es más sencillo. La célula se coloca en la parte inferior del perfil de acero y mediante un gancho roscado se transmite el esfuerzo.



Figura 75: Montaje para tracción.

En la siguiente tabla se recogen los materiales que ha sido necesario adquirir para realizar el montaje.

<b>Lista materiales necesarios para tracción.</b>		
Nombre	Dimensiones	Uds.
<b>Tornillería</b>		
Tornillo cabeza hexagonal	M6 x 55	1
Arandela plana	∅6	2
Arandela plana extra grande	∅10	1
Tuerca hexagonal	M6 x 55	1
Gancho roscado	M6 x 55	1
<b>Elementos sujeción de discos</b>		
Cadena	L = 2000 mm	1
Mosquetón	∅8 x 230 kg	1
Soporte discos olímpicos		1
Pesas de disco		23

Tabla 8: Lista de materiales para tracción.

## RESULTADOS.

Como ya se ha comentado, durante la toma de datos, se van colocando discos para aumentar el peso progresivamente. Es muy importante conocer exactamente el peso que hay en cada momento, por ello, hay que pesar cada disco en una balanza de precisión y apuntar su valor. Además, cuando se comienza la prueba, hay que conocer la masa de las piezas que sujetan los discos. Como hay que hacer dos montajes, se hace una captura para tracción y otra para compresión.

Las células de carga trabajan a 50 Hz, lo que significa que en un segundo toman 50 datos. Así que puede representarse para cada instante de tiempo el valor de fuerza registrado en voltios:

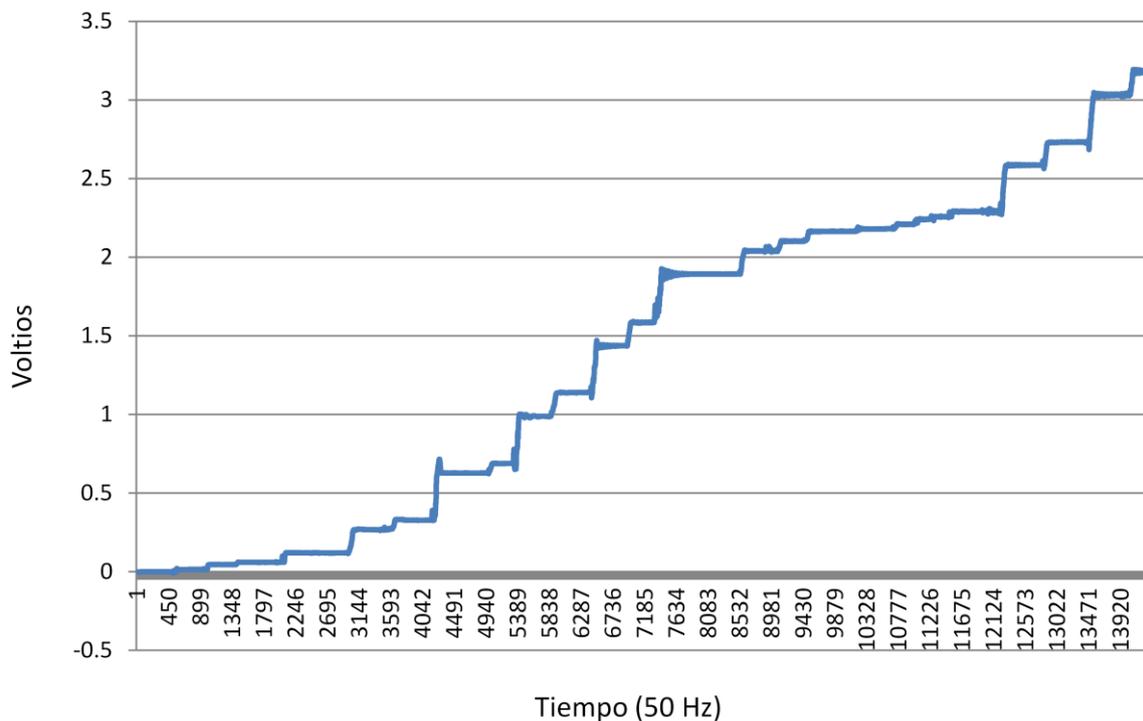


Figura 76: Grafica de voltios - Tiempo a 50 Hz (Captura de tracción).

Las zonas horizontales corresponden con instantes de tiempo en los que la carga era constante. Puede observarse como la tendencia es creciente ya que cada vez se añade más peso.

Ahora hay que detectar en la lista de datos, las zonas con valores constantes y hacerlos corresponder con una carga conocida. Para aumentar la precisión, se toman todos los valores posibles de una zona horizontal y se calcula su media. Como puede comprobarse la desviación típica de una de estas zonas es mínima.

	B	C	D	E	F	G
83	82	-0.0613818				
84	83	-0.1239344				
85	84	-0.1225518			Num	5
86	85	-0.1255195			Promedio	-0.12426555
87	86	-0.123777			Desv. Típica	0.00107152
88	87	-0.1249176				
89	88	-0.1235524				
90	89	-0.1250147				
91	90	-0.1223666				
92	91	-0.1237279				
93	92	-0.1224013				
94	93	-0.1250644				
95	94	-0.1239452				
96	95	-0.1251723				
97	96	-0.123192				

Figura 77: Extracción de datos.

En la parte izquierda de la imagen se pueden observar los valores de voltaje en cada momento, los que están resaltados en otro color corresponden a una zona con carga constante. A la izquierda de la ilustración se calcula la media la desviación típica de estos valores.

Cuando se repite esto para todas las zonas, se confeccionan las siguientes tablas:

	P [Kg] [Acumulado]	P [Kg]	Volts
<b>Compresión</b>	-99.730	-4.859	-3.018
	-94.871	-9.913	-2.873
	-84.958	-1.107	-2.576
	-83.851	-0.504	-2.542
	-83.347	-1.066	-2.527
	-82.281	-0.982	-2.494
	-81.299	-0.506	-2.464
	-80.793	-2.042	-2.448
	-78.751	-2.038	-2.387
	-76.713	-4.901	-2.325
	-71.812	-10.260	-2.177
	-61.552	-4.932	-1.869
	-56.620	-9.964	-1.722
	-46.656	-5.041	-1.425
	-41.615	-10.015	-1.275
	-31.600	-2.028	-0.976
	-29.572	-10.102	-0.915
	-19.470	-2.028	-0.615
	-17.442	-4.937	-0.554
	-12.505	-2.016	-0.407
-10.489	-0.508	-0.346	
-9.981	-0.993	-0.331	
-8.988	-0.510	-0.301	
-8.478	-8.478	-0.283	

Tracción			
	7.856	7.856	0.226
	8.366	0.510	0.240
	9.359	0.993	0.271
	9.867	0.508	0.285
	11.883	2.016	0.345
	16.820	4.937	0.493
	18.848	2.028	0.554
	28.950	10.102	0.853
	30.978	2.028	0.914
	40.993	10.015	1.213
	46.034	5.041	1.365
	55.998	9.964	1.662
	60.930	4.932	1.810
	71.190	10.260	2.119
	76.091	4.901	2.265
	78.129	2.038	2.327
	80.171	2.042	2.390
	80.677	0.506	2.405
	81.659	0.982	2.435
	82.725	1.066	2.466
	83.229	0.504	2.484
	84.336	1.107	2.516
	94.249	9.913	2.811
	99.108	4.859	2.957

Tabla 9: Calibración Kg-Volts.

A partir de estas tablas se representan los datos en una gráfica.

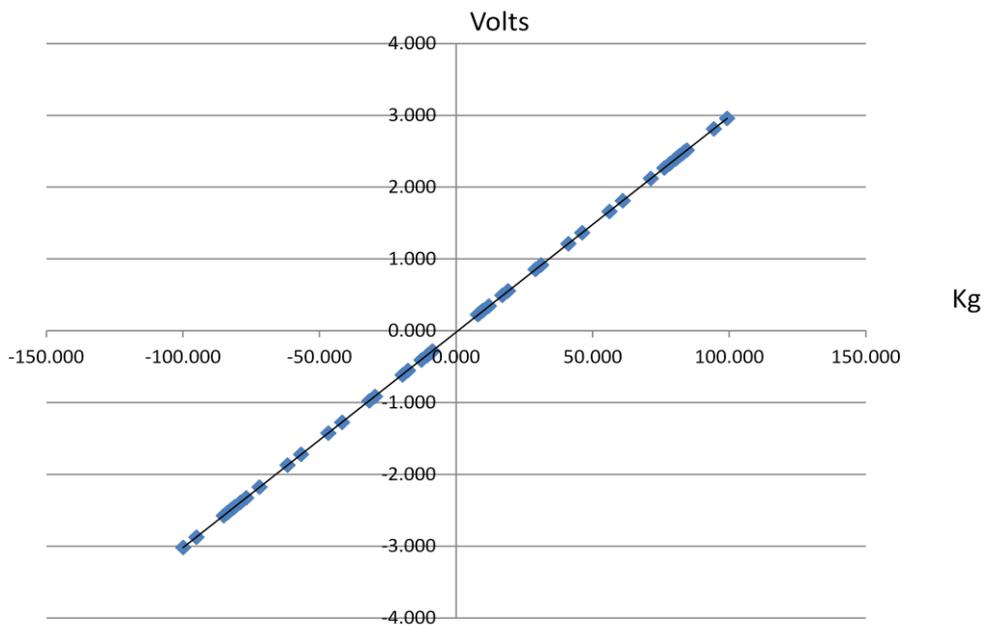


Figura 78: Gráfica Kg- Volts.



Los valores, efectivamente forman una recta perfecta, la linealidad es del 100 % (R=1). Para calcular la ecuación de la recta con mayor precisión se recurre al método de los mínimos cuadrados, que calcula las constantes (a) y (b) para una recta que pasa por varios puntos.

$$P[kg] = 33,253 * V[Volts] + 0.687$$

Esta ecuación nos permite conocer los kilogramos que está soportando la célula a partir del voltaje de salida. De esta manera si la célula nos devuelve por ejemplo -0.4 [V] estará soportando -12.614 Kg a compresión.

Este proceso hay que repetirlo para cada célula. Queda, por lo tanto, como tarea pendiente, programar una sencilla aplicación para automatizar el proceso de detectar las zonas con carga constante. Esto aligerará mucho el proceso.

## 16.6 ESTUDIO ECONÓMICO.

El estudio económico incluido en este capítulo consta de dos partes:

- Por un lado se recopila la información del coste material que ha supuesto para el grupo, el diseño de los componentes. Esto servirá para poder fijar un precio de venta al público (PVP) mínimo. En este estudio no se considera el coste por tiempo trabajado o personal implicado ya que resulta difícil definirlo con exactitud, pero habría que tener en cuenta una aproximación del mismo, para definir un PVP real.
- Por otra parte se realiza un análisis de viabilidad, asumiendo la hipótesis de que una empresa se muestra interesada en adquirir el desarrollo hecho por el grupo y quiere comercializar el producto. Este estudio está hecho siempre desde el punto de vista de la empresa interesada.

### 16.6.1 COSTE MATERIAL PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.

La empresa GAMEC fabricó la plataforma por un precio de 500 €, además se encargó de darle el acabado superficial y de retocar algunos aspectos que impedían su correcto funcionamiento.

Para el montaje de la misma, se adquirió diferentes elementos normalizados en la Tornillería Aragonesa, S.A. y en Rodamientos Zaragoza SL. Como puede observarse el coste final de la plataforma ha sido de unos 550 €.

Plataforma de equilibrio ( Producto A).					
Nombre	Normativa	Dimensiones	Uds.	€/Ud.	€
<b>Fabricación</b>					
Empresa GAMEC			1	500.00 €	500.00 €
<b>Tornillería</b>					
Tornillo cabeza avellanada hex interior (Allen)	ISO 10642	M5 x 20	8	0.25 €	2.00 €
Tornillo cabeza avellanada hex interior (Allen)	ISO 10642	M6 x 20	4	0.25 €	1.00 €
Tornillo cabeza avellanada hex interior (Allen)	ISO 10642	M10 x 20	4	0.25 €	1.00 €
Tornillo cabeza de perno cuello cuadrado	ISO 8678	M6 x 20	4	0.28 €	1.12 €
Arandela plana	ISO 7089	∅6	4	0.05 €	0.20 €
Arandela plana	ISO 7089	∅10	1	0.07 €	0.07 €
Arandela grande plana	ISO 7093	∅14	4	0.20 €	0.80 €
Tuerca de cáncamo	DIN 528	M10	1	1.27 €	1.27 €
Tornillo de cabeza hexagonal	ISO 4017	M10 x 20	1	0.15 €	0.15 €
Pata niveladora con rótula y base poliamida			4	8.25 €	33.00 €
Tapón MoCAP_SMF 2/1.8 BK1			4	1.10 €	4.40 €
Pasador elástico	ISO 8752	∅5 x 30	8	0.20 €	1.60 €
<b>Precio total</b>					<b>546.61 €</b>

Tabla 10: Coste materiales de plataforma de equilibrio.

El presupuesto de la fabricación del dinamómetro fue de 200 € y el de dedos 100€. Como se necesitan pocos elementos para su montaje, este ha sido prácticamente el coste total por estos dos dispositivos.

<b>Dinamómetro de manos (Producto B).</b>					
Nombre	Normativa	Dimensiones	Uds.	€/Ud.	€
<b>Fabricación</b>					
Empresa GAMEC			1	200.00 €	200.00 €
<b>Tornillería</b>					
Tornillo cabeza botón hex interior (Allen)	ISO 7380	M8 x 30	2	0.25 €	0.50 €
Tornillo cabeza botón hex interior (Allen)	ISO 7380	M6 x 25	1	0.25 €	0.25 €
Tornillo cabeza botón hex interior (Allen)	ISO 7380	M3 x 16	1	0.25 €	0.25 €
Tuerca hexagonal	ISO 4034	M6	1	0.10 €	0.10 €
Arandela plana	ISO 7093	∅6	1	0.05 €	0.05 €

Precio total	201.15 €
--------------	----------

Tabla 11: Coste materiales del dinamómetro de manos.

<b>Dinamómetro de dedos (Producto C).</b>					
Nombre	Normativa	Dimensiones	Uds.	€/Ud.	€
<b>Fabricación</b>					
Empresa GAMEC			1	100.00 €	100.00 €
<b>Tornillería</b>					
Tornillo cabeza botón hex interior (Allen)	ISO 7380	M6 x 20	1	0.25 €	0.25 €
Tornillo cabeza avellanada hex interior (Allen)	ISO 10642	M6 x 20	1	0.25 €	0.25 €
Arandela plana	ISO 7089	∅6	3	0.05 €	0.15 €

Precio total	100.65 €
--------------	----------

Tabla 12: Coste materiales del dinamómetro de dedos.

El dinamómetro de hombros y lumbar se acoplan a la plataforma de equilibrio por lo que no hace falta fabricar nada más, todos los componentes son productos comerciales.

<b>Dinamómetro de hombros + lumbar (Producto D).</b>					
Nombre	Normativa	Dimensiones	Uds.	€/Ud.	€
<b>Productos comerciales</b>					
Bobina de cuerda		∅3 x 75 Kg	1/3	4.95 €	1.65 €
Tensor de hilo			2	6.00 €	12.00 €
Gancho roscado		M6	6	0.30 €	1.80 €

Tuerca hexagonal	ISO 4034	M6	6	0.10 €	0.60 €
Empuñadura para una mano			2	6.00 €	12.00 €
Cadena		400 mm	1	2.56 €	2.56 €
Mosquetón		∅8 x 230 Kg	3	1.69 €	5.07 €
<b>Carcasa célula de carga</b>					
Carcasa de elaboración propia			2	3.00 €	6.00 €

Precio total	41.68 €
--------------	---------

*Tabla 13: Coste materiales del dinamómetro de hombros + lumbar.*

La parte electrónica se le ha encargado al grupo de investigación How lab, el precio por dos placas electrónicas, el software que las controla, las células de carga y su instalación ha sido de 1700 €.

<b>Placa electrónica (Producto E).</b>					
Nombre	Normativa	Dimensiones	Uds.	€/Ud.	€
<b>Electrónica</b>					
Placa base electrónica + células grupo HOW Lab.		4 cells	1	1,000 €	1,000 €
Placa base electrónica + células grupo HOW Lab.		2 cells	1	700 €	700 €

Precio total	1,700 €
--------------	---------

*Tabla 14: Coste electrónica.*

Finalmente el precio de todo el material ha sido de 2,590.09 €

### 16.6.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA EXPLOTACIÓN COMERCIAL DEL PRODUCTO.

Para este estudio de viabilidad se ha considerado la hipótesis de que una empresa privada se interesara por la explotación comercial del producto desarrollado por la Universidad de Zaragoza. Dicha empresa podría ser de nueva creación o ya existente. Este estudio está dirigido a dicha empresa.

Este apartado se puede dividir en varios análisis:

- Gastos materiales, con ello se obtienen los gastos variables.
- Gastos fijos.
- Inversión inicial.
- Ingresos por ventas.
- Ingresos por soporte y mantenimiento.
- Estudio de viabilidad a partir de los datos obtenidos.

Lo primero, por lo tanto, es plantear cuales son los **gastos materiales** durante el ejercicio comercial.

En esta síntesis hay que tener en cuenta el hecho de que el grupo de investigación ha trabajado durante un año en el desarrollo de la tecnología y esto hay que abonárselo. Mantener un grupo de estas características supone, aproximadamente, un coste de 10,000 € al mes.

I + D Universidad de Zaragoza.	
€/mes	€/año
10,000 €	120,000 €

Tabla 15: Coste del desarrollo tecnológico de un año en la universidad.

Además de este pago, cada producto que se encarga a la universidad supone un coste individual. Así, cada plataforma cuesta 5,000 €. En la siguiente tabla puede observarse como este precio se separan en varios conceptos: Mecánica, electrónica y software.

Plataforma (A).	
	Valoración [€/ Ud.] para UZ
<b>Mecánica</b>	2,000 €
<b>Electrónica</b> ( 1 hub, 4 cables, 4 células y software)	1,500 €
<b>Software</b> (control células, Análisis de equilibrio y de resultados e informe de evaluación )	2,000 €
<b>TOTAL</b>	5,500 €

Tabla 16: Coste de cada plataforma.

Para cuantificar el coste de la dinamometría, hay que tener en cuenta que una sola placa electrónica con dos células de carga, sirve para realizar todas las medidas, según se utilice un accesorio u otro. De esta manera el coste de la electrónica, 1,000€, es el mismo tanto si se quiere adquirir un solo componente o todos ellos.

El precio del dinamómetro de manos es de 1,000€, el del dinamómetro de manos 820€, y el dinamómetro hombros + lumbar 650€. Siempre se utilizan dos dinamómetros para medir, uno para cada mano. Así que hay que adquirir siempre dos dispositivos mecánicos.

<b>Dinamometría.</b>	
<b>Electrónica</b> ( 1 hub, 2 cables, 2 células y software)	1,000 €

#### **Accesorios.**

<b>Dinamometría mano (B).</b>	
	[€ / Ud.] UZ
<b>Mecánica x 2</b>	500 €
Software (control células, Análisis de fuerza y de resultados e informe de evaluación )	500 €
<b>TOTAL</b>	<b>1,000 €</b>

<b>Dinamometría dedos (C).</b>	
	[€ / Ud.] UZ
<b>Mecánica x 2</b>	320 €
<b>Software</b> (control células, Análisis de fuerza y de resultados e informe de evaluación )	500 €
<b>TOTAL</b>	<b>820 €</b>

<b>Dinamometría lumbar + hombro (D).</b>	
	[€ / Ud.] UZ
<b>Mecánica x 2</b>	150 €
<b>Software</b> (control células, Análisis de fuerza y de resultados e informe de evaluación )	500 €
<b>TOTAL</b>	<b>650 €</b>

Tabla 17: Coste de dinamometría, electrónica + accesorios.

Hasta ahora se ha analizado cuánto nos cuesta cada producto, ahora se puede realizar una estimación de los **costes variables**. Estos costes son aquellos que dependen de las unidades vendidas. En este ejercicio se supone que la empresa trabaja siempre bajo pedido, por lo que siempre adquiere un producto cuando ya tiene un cliente interesado en él, nunca almacena ningún artículo.

Por las características de los productos a comercializar, la mayoría de ventas se realizan en packs ya definidos. Estas combinaciones son las representadas en la tabla y suponen la mayoría de las ventas. Hay que recordar que la plataforma es el producto (A) y los dinamómetros de manos, dedos y hombros + Lumbar, son (B), (C) y (D), respectivamente.

**Costes variables ( Función de las unidades vendidas).**

Combinaciones posibles	Ud. /año	Costes individuales	Costes generales
[Tipo 1 ] A + B + C + D	4	8,970 €	35,880 €
[Tipo 2 ] A	6	5,500 €	33,000 €
[Tipo 3 ] B + C	3	2,820 €	8,460 €
[Tipo 4 ] A + D	2	7,150 €	14,300 €
[Tipo 5 ] A + B + C	4	8,320 €	33,280 €
TOTAL			124,920 € €/año

Tabla 18: Costes variables.

Por ejemplo, se compran 4 unidades del pack [tipo 1] que contiene a todos los dispositivos, como se trabaja bajo pedido, se supone que hay 4 clientes interesados en ese conjunto a lo largo de un año. La compra de estas 4 unidades supone un desembolso de 35,880€.

El siguiente paso es conocer los **gastos fijos**, aquellos, que no están relacionados con las unidades vendidas y que serán los mismos durante la realización del ejercicio comercial.

Estos gastos están compuestos por gastos mensuales o anuales como el alquiler del local, los servicios de agua gas seguridad y limpieza, el seguro de la empresa, la contrata de una gestoría, etc. Además se incluyen los costes por los tres empleados que tiene la empresa.

**Costes fijos.**

	€/mes	€/año
Alquiler local 100 m <sup>2</sup>	700 €	8,400 €
Servicios luz /agua/gas/segur/limpieza	600 €	7,200 €
Seguro empresa	200 €	2,400 €
Asesoría gestoría		1,200 €
Contratación servicio nube		900 €
Publicidad		2,000 €
Mantenimiento de licencias		800 €

Sueldo empleados (Incluido SS.SS)	número	Salario[€/año]
Gestión	1	34,000 €
Ingeniero	2	29,000 €
Total sueldos		92,000 €

TOTAL	114,900 €	€/año
-------	-----------	-------

Tabla 19: Costes fijos de la empresa.

Por otra parte hay que pensar que arrancar la empresa supone un **gasto inicial** muy fuerte. Sobre todo porque hay que pagar el desarrollo que ha hecho la universidad durante un año, que supone un coste de 120,000€.

Además el gasto por la constitución de una nueva empresa, o por la puesta a punto del local, entre otros, suponen una cantidad total de 148,000 € de inversión inicial.

### Inversión inicial.

I+D UZ	120,000 €
Constitución nueva sociedad	3,000 €
Gastos de contratación de personal	500 €
Estudio de mercado y publicidad	3,000 €
Página web y software de soporte en la nube	2,500 €
Acondicionamiento del local	8,000 €
Mobiliario	3,000 €
Equipos + Ud. de almacenamiento	4,000 €
Solicitud y gestión de certificaciones	4,000 €
<b>TOTAL</b>	<b>148,000 €</b>

Tabla 20: Inversión inicial.

Hasta aquí la recopilación de todos los gastos que tiene la empresa. Como se sabe la rentabilidad de la empresa depende en cierta medida de los **ingresos**. Hay dos tipos:

- Ingresos por ventas, suponen la gran mayoría.
- ingresos por mantenimiento y soporte, es un servicio, que lo contratan aproximadamente un 35% de los clientes.
- 

### Ingresos por ventas (Producción bajo pedido).

Combinaciones posibles	Ud. /año	PVP / Tipo	Ingresos por ventas / Tipo
[Tipo 1 ] A + B + C + D	4	20,300 €	81,200 €
[Tipo 2 ] A	6	12,600 €	75,600 €
[Tipo 3 ] B + C	3	6,400 €	19,200 €
[Tipo 4 ] A + D	2	16,000 €	32,000 €
[Tipo 5 ] A + B + C	4	18,500 €	74,000 €
<b>TOTAL</b>			<b>282,000 €</b>

€/año

### Ingresos por mantenimiento y soporte.

El servicio es contratado por un : 35%		de los clientes
Nº clientes que contratan el servicio	Precio [€/año]	TOTAL [€/año]
7	800 €	5,600€

Tabla 21: Ingresos por ventas y por mantenimiento y soporte.

En las tablas se observa cómo se gana por ventas unos 280,000 € al año y por soporte y mantenimiento 5,600€.

Ya se han analizado todos los gastos y todos los ingresos, por lo que ya se tiene la información necesaria para llevar a cabo el análisis de viabilidad propiamente dicho. Este estudio nos dirá cuanta rentabilidad tiene nuestra empresa. Se ha realizado en una hoja de cálculo de Excel para que al modificar cualquier valor pueda observarse como se modifica la rentabilidad. Así puede analizarse como una disminución en los costes y materias primas supone un aumento de los beneficios.

Para afrontar la inversión inicial se pide un préstamo al banco del 60% de este pago, lo que suma un total de 88,800€. Las condiciones de este préstamo son las siguientes:

Préstamo:		Total solicitado:
% solicitado:	60%	<b>88,800 €</b>
Interés Anual:	6.5%	
Nº años:	6	
Pago anual:	18,343.27 €	

Tabla 22: Préstamo bancario.

El resto de la inversión inicial se paga con capital propio.

Lo que se abona en la inversión inicial es amortizado en varios años. Cada concepto se amortiza en un número de años concreto. Finalmente tenemos una cuota de amortización anual total que se representa en la siguiente tabla:

Amortización											
Inversión Inicial:		148,000 €									
		Amort.	Total año:	22,500 €	22,000 €	18,500 €	18,500 €	16,875 €	16,875 €	16,375 €	16,375 €
Concepto	Cant. [€]	Años	€/año	1	2	3	4	5	6	7	8
I+D UZ	120,000 €	8	15,000 €	15,000 €	15,000 €	15,000 €	15,000 €	15,000 €	15,000 €	15,000 €	15,000 €
Constitución nueva sociedad	3,000 €	8	375 €	375 €	375 €	375 €	375 €	375 €	375 €	375 €	375 €
Gastos de contratación de personal	500 €	1	500 €	500 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Estudio de mercado y publicidad	3,000 €	2	1,500 €	1,500 €	1,500 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Página web y soft. en la nube	2,500 €	4	625 €	625 €	625 €	625 €	625 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Acondicionamiento del local	8,000 €	8	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €
Mobiliario	3,000 €	6	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	0 €	0 €
Equipos + ud de almacenamiento	4,000 €	4	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	1,000 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Solicitud y gestión de certificaciones	4,000 €	2	2,000 €	2,000 €	2,000 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €

Tabla 23: Amortización separado por conceptos.

Ahora se calculan los flujos de caja de la empresa durante los próximos 8 años. Para ello se supone un incremento en las ventas del 4% anual. Esto supone más ingresos para la empresa y más gastos variables ya que también dependen de las ventas. Además los primeros seis meses no se realiza ninguna venta.

Estudio económico
Consideramos que los ingresos (ventas y soporte) aumenta un: 4% anual

Ingresos 6 meses

Año:	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos:	88,800 €	143,800 €	287,600 €	299,104 €	311,068 €	323,511 €	336,451 €	349,909 €	363,906 €
Inversiones:	148,000 €								
Gastos variables		62,460 €	124,920 €	129,917 €	135,113 €	140,518 €	146,139 €	151,984 €	158,064 €
Gastos fijos		114,900 €	114,900 €	114,900 €	114,900 €	114,900 €	114,900 €	114,900 €	114,900 €
Amortización:		22,500 €	22,000 €	18,500 €	18,500 €	16,875 €	16,875 €	16,375 €	16,375 €
BAIT:	- 59,200 €	- 56,060 €	25,780 €	35,787 €	42,555 €	51,218 €	58,538 €	66,650 €	74,567 €
Préstamo:		18,343 €	18,343 €	18,343 €	18,343 €	18,343 €	18,343 €	- €	- €
BAT:	- 59,200 €	- 74,403 €	7,437 €	17,444 €	24,211 €	32,875 €	40,194 €	66,650 €	74,567 €
Impuestos (20%):		- €	1,487 €	3,489 €	4,842 €	6,575 €	8,039 €	13,330 €	14,913 €
Beneficio neto (BDT):		- 74,403 €	5,949 €	13,955 €	19,369 €	26,300 €	32,155 €	53,320 €	59,654 €
Flujos de caja:	- 59,200 €	- 51,903 €	27,949 €	32,455 €	37,869 €	43,175 €	49,030 €	69,695 €	76,029 €

Descuento a aplicar cada año	6.0%
VAN	127,203 €
TIR	26.0%

Tabla 24: Flujos de caja.

Puede notarse que para 8 años tenemos un valor actual neto (VAN) positivo de 127,200€ y una tasa interna de rentabilidad (TIR) de 26%. Unas expectativas rentables y bastante realistas.

Además de saber que la compañía tiene beneficios para este periodo, conviene conocer cuánto tiempo se tarda en obtenerlos. Esto se consigue calculando el VAN y el TIR, siempre que sea posible, con un horizonte de: un año, dos, tres, etc. Así se obtiene la siguiente tabla:

años	VAN	TIR
1	-102,043 €	
2	-78,576 €	
3	-52,868 €	-26%
4	-24,570 €	-5%
5	5,866 €	8%
6	38,474 €	16%
7	82,202 €	22%
8	127,203 €	26%

Tabla 25: Análisis de sensibilidad.

En la tabla se observa cómo tras el año 4 los valores de VAN y TIR cambian de signo y se vuelven positivos. Esto significa que a partir de este año la empresa es rentable. En las siguientes gráficas se representa la tabla y puede verse como entre finales del cuatro año y principios de 5 la empresa tiene beneficios.

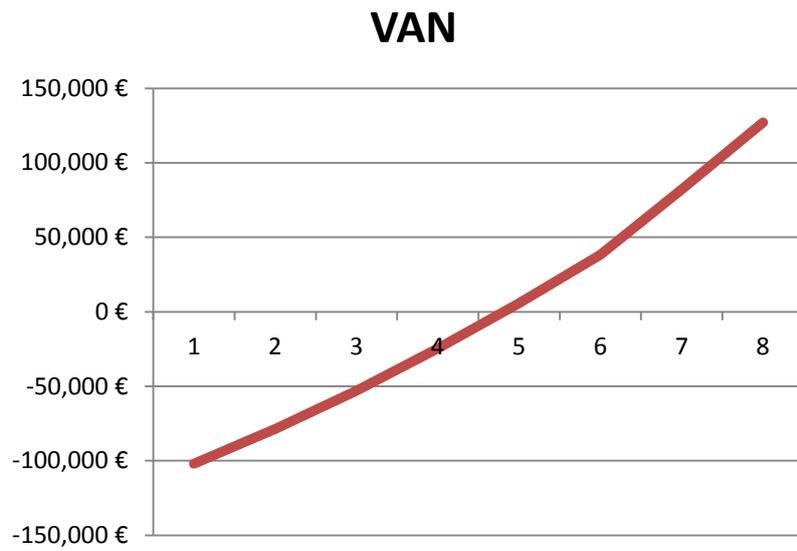


Figura 79: Gráfica del análisis de sensibilidad, VAN.

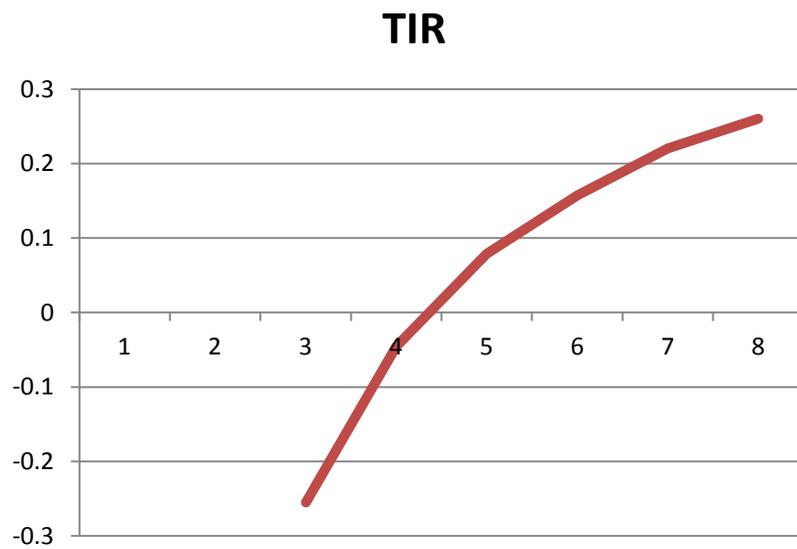


Figura 80: Gráfica del análisis de sensibilidad, TIR.

