

# ANEXO A

## DOSSIER

# ÍNDICE

|  |        |
|--|--------|
| FASE 1 INTRODUCCIÓN AL PROYECTO                  | 7      |
| 1.1 Introducción                                 | 8      |
| 1.2 Objetivos                                    | 8      |
| 1.3 Metodología utilizada                        | 9      |
| 1.4 Planificación                                | 9      |
| <br>FASE 2 CONTEXTO INICIAL                      | <br>10 |
| 2.1 Introducción                                 | 11     |
| 2.2 Contexto inicial                             | 12     |
| 2.2.1 Microfluídica                              | 12     |
| 2.2.2 Cultivo celular                            | 12     |
| <br>FASE 3 DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA            | <br>13 |
| 3.1 Descripción del prototipo inicial            | 14     |
| 3.1.1 Análisis usuario y entorno                 | 15     |
| 3.1.2 Materiales y Procesos de fabricación       | 16     |
| 3.1.3 Análisis formal                            | 17     |
| 3.1.4 Análisis funcional                         | 22     |
| 3.1.4.1 Equipo utilizado                         | 23     |
| 3.1.4.2 Montaje bloque fluídico                  | 28     |
| 3.1.4.3 Montaje bloque de conexiones eléctricas  | 29     |
| 3.1.4.4 Interactar bloques                       | 29     |
| 3.2 Chip de microválvulas                        | 30     |
| 3.2.1 Caracterizaciones resistencia pegado chips | 31     |
| 3.2.1.1 Equipo utilizado                         | 32     |
| 3.2.1.2 Proceso de caracterización               | 33     |
| 3.3 Caracterizaciones del sistema inicial        | 34     |
| 3.3.1 Proceso de caracterización                 | 34     |
| 3.3.2 Resultados                                 | 34     |
| 3.4 Problemas de diseño                          | 35     |
| 3.5 Conclusiones prototipo inicial               | 39     |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| FASE 4 PROPUESTAS REDISEÑO        | 40     |
| 4.1 EDP's                         | 41     |
| 4.2 Mejoras generales             | 42     |
| 4.3 Líneas de desarrollo          | 43     |
| 4.4 Propuestas nuevo diseño       | 44     |
| 4 . 4 . 1 Propuesta Fase 1        | 44     |
| 4 . 4 . 2 Propuesta fase 2        | 47     |
| 4 . 4 . 3 Propuesta fase 3        | 52     |
| <br>FASE 5 DISEÑO FINAL           | <br>53 |
| 5.1 Evolución                     | 54     |
| 5.2 Diseño final                  | 55     |
| 5.3 Análisis usuario y entorno    | 56     |
| 5.4 Análisis formal               | 56     |
| 5.5 Análisis funcional            | 56     |
| 5.6 Fabricación prototipo         | 57     |
| 5.7 Caracterizaciones del sistema | 59     |
| 5.8 Conclusiones                  | 62     |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Flujo laminar  | 10 |
| Figura 2 – Prototipo inicial (a) Vista isométrica delantera (b) Vista isométrica trasera    | 12 |
| Figura 3 – Puesto de trabajo en el laboratorio  | 13 |
| Figura 4 – Propiedades RGD 525  | 14 |
| Figura 5 – Sistema microválvulas  | 15 |
| Figura 6 – Base Conectores fluídicos  | 15 |
| Figura 7 – Conector inicial   | 16 |
| Figura 8 – Detalle conexiones fluídicas lateral izquierdo                                   | 16 |
| Figura 12 – Corte canales fila 1  | 16 |
| Figura 13 – Corte canales fila 2  | 16 |
| Figura 9 – Juntas tóricas   | 16 |
| Figura 10 – Detalle conexiones fluídicas lateral derecho                                    | 16 |
| Figura 14 – Corte canales fila 3  | 16 |
| Figura 11 – Perno de bisagra  | 16 |
| Figura 15 – Sistema partes (a) Sistema cerrado (b) Sistema abierto                          | 17 |
| Figura 17 – Soporte pines (a) Base Unilat Contactor (b) Detalle pines                       | 18 |
| Figura 16 – Vista frontal sistema   | 18 |
| Figura 19 – Niveles contactor   | 19 |
| Figura 18 – Grupo conexiones  | 19 |
| Figura 20 – Recorrido flujo (a) Plano corte fila 1 (b) Detalle recorrido                    | 20 |
| Figura 21 – Montaje <i>setup</i> fluídico   | 21 |
| Figura 22 – Toma de aire comprimido.  | 21 |
| Figura 23 – Limitador de presión conectado al manómetro                                     | 22 |
| Figura 24 – Tubos conexión aire comprimido  | 22 |
| Figura 25 – Agua destilada  | 22 |
| Figura 26 – Tubos conexión fluídica   | 23 |
| Figura 28 – Sistema de microválvulas  | 23 |
| Figura 27 – Conector fluídico verde   | 23 |
| Figura 29 – Chip de microválvulas   | 24 |
| Figura 30 – Juntas tóricas  | 24 |
| Figura 31 – Pinza de papelería  | 24 |
| Figura 32 – Contenedor Placa de petri.  | 25 |
| Figura 33 – Bloque fluídico   | 26 |
| Figura 34 – Montaje conexiones eléctricas   | 27 |
| Figura 35 – Chip de microválvulas   | 28 |
| Figura 36 – Modelos chip microválvulas  | 28 |
| Figura 37 – Encapsulado caracterizaciones (a) Interior encapsulado (b) Exterior encapsulado | 29 |
| Figura 38 – Chip caracterización pegado   | 29 |
| Figura 39 – Caracterización resistencia pegado  | 30 |
| Figura 40 – Encapsulado de caracterización  | 30 |
| Figura 41 – Cierre bisagra  | 33 |
| Figura 42 – Alojamientos juntas   | 33 |
| Figura 43 – Detalles pines  | 34 |
| Figura 44 – Cables rígidos  | 34 |
| Figura 45 – Medida pinza  | 35 |
| Figura 46 – Detalle tornillos diferentes  | 35 |
| Figura 47 – Distribución canales inicial  | 36 |
| Figura 48 – Incertidumbre piezos-pines  | 41 |
| Figura 49 – Alineación chip-pines (a) Detalle chip-tóricas (b) Detalle pines                | 41 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 50 – Cierre del sistema   | 41 |
| Figura 51 – Vista isométrica (a) Delantera (b) Trasera   | 42 |
| Figura 52 – Vista isométrica canales (a)Vista planta inferior (b) Distribución canales vista alámbrica | 43 |
| Figura 53 – Vista alámbrica recorrido canales (a) Laterales (b) Frontales (c) Laterales                | 43 |
| Figura 54 – Conector fluídico inicial  | 43 |
| Figura 55 – Nuevo conector fluídico  | 43 |
| Figura 56 – Detalle alojamientos tóricas   | 44 |
| Figura 57 – Apoyo independiente  | 44 |
| Figura 58 – Ensamblaje posicionadores  | 44 |
| Figura 59 – Propuesta fase 2   | 45 |
| Figura 60 – Base Unilat Contactor  | 45 |
| Figura 61 – Posicionador metálico plataformas  | 45 |
| Figura 63 – Posicionador metálico chip   | 45 |
| Figura 62 – Detalle alojamientos posicionador  | 45 |
| Figura 64 – Alojamientos posicionador chip   | 45 |
| Figura 65 – Colocación microválvulas original  | 46 |
| Figura 67 – Alojamientos tuercas   | 46 |
| Figura 68 – Detalle pinzas   | 46 |
| Figura 66 –Colocación microválvulas alto contraste   | 46 |
| Figura 69 – Base Conectores Fluídicos  | 47 |
| Figura 70 – Detalle topes  | 47 |
| Figura 71 – Separación plataformas   | 47 |
| Figura 72 – Detalle plano posicionadores (a) Plano corte (b) Corte 180°                                | 47 |
| Figura 73 – Base Contactor Nivel 3   | 48 |
| Figura 74 – Base Contactor Nivel 2   | 48 |
| Figura 75 – Base Contactor Nivel 1   | 48 |
| Figura 76 – Tapa Contactor   | 49 |
| Figura 77 – Propuesta fase 3   | 50 |
| Figura 78 – Vista ensamblada (a) Unión atornillada (b) Alojamientos tornillos (c) Apoyo                | 50 |
| Figura 79 – Detalle hueco pinza  | 50 |
| Figura 80 – Diseño final   | 53 |
| Figura 81 – Vista Prototipo final  | 55 |
| Figura 82 – Vista perfil   | 55 |
| Figura 83 – Vista planta   | 55 |
| Figura 84 – Vista posicionadores chip  | 56 |
| Figura 85 – Vista posicionadores plataforma  | 56 |
| Figura 87 – Contactor Nivel 1 juego tolerancias  | 56 |
| Figura 88 – Contactor Nivel 3 juego tolerancias  | 56 |
| Figura 89 – Contactor Nivel 2 juego tolerancias  | 56 |
| Figura 86 – Vista chip colocado  | 56 |
| Figura 89 – Montaje sistema nuevo caracterización  | 57 |
| Figura 90 – Eppendorf  | 57 |

# ÍNDICE DE TABLAS

|                      |    |
|----------------------|----|
| Tabla 1 - 0.1744 bar | 60 |
| Tabla 2 - 0.2675 bar | 60 |
| Tabla 3 - 0.4155 bar | 60 |
| Tabla 4 - 0.5441 bar | 60 |

# FASE 1

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

# 1 ■ 1 Introducción

---

El trabajo de fin de grado en cuestión tiene por título “Desarrollo de un sistema de microválvulas para el cultivo celular”, consiste en la continuación del “Nuevo diseño de válvula microfluídica basada en la actuación de elementos piezoeléctricos sobre un chip con membrana de silicona” y se enmarca dentro de uno más que es el proyecto de Plan Nacional de I+D “CELLMICROCART” cuyo objetivo es desarrollar nuevas herramientas de cultivo celular basadas en sistemas microfluídicos.

En este proyecto, uno de los protagonistas es el chip de SU8 y PDMS. El SU8 es un material fotomoldeable con la luz ultravioleta, por eso su fabricación se realiza en una sala blanca de luz amarilla. Se utiliza una máscara o plantilla para determinar las zonas que se quieren polimerizar.

La tecnología utilizada para la fabricación del prototipo en cuestión es prototipado rápido por deposición de material y después curado. La máquina utilizada tiene una precisión de 50 micras.

## 1 ■ 2 Objetivos

---

El objetivo principal del proyecto es plantear un desarrollo de las mejoras sobre el trabajo fin de máster dado. Estas mejoras se basan en los problemas de funcionamiento iniciales del sistema de válvulas, por lo que se evalúan y se proponen una serie de propuestas que servirán como base en todo el desarrollo del prototipo.

A nivel general este trabajo forma parte de una de las fases de desarrollo que contribuirán a obtener el producto final. Para que toda la fase de desarrollo sea viable tanto a nivel económico como a nivel experimental es vital la fabricación del prototipo, en este caso se utilizará un método barato y rápido de fabricación, con el que se realizarán las pruebas necesarias.

## 1.3 Metodología utilizada

---

La metodología de trabajo sigue un proceso lógico: análisis del prototipo dado, obtención de conclusiones con la información analizada y propuestas de mejora para su desarrollo. La fase de generación de mejoras está dirigida a la evaluación de las mismas de acuerdo con las especificaciones de diseño y funcionamiento del producto requerido. Para el desarrollo del proyecto se utilizará el laboratorio de Ingeniería de tejidos del grupo GEMM, ubicado en las instalaciones del I3A y el programa de diseño asistido por ordenador, Autodesk Inventor 2015.

## 1.4 Planificación

---

Las fases del trabajo se organizan de la siguiente forma:

- Análisis del proyecto y prototipo ya existente con fin de obtener datos que sirvan como base para el desarrollo de fases posteriores
- Propuestas de desarrollo y mejora del prototipo
- Fabricación del mismo con las mejoras incorporadas
- Finalmente, análisis del prototipo para verificar las mejoras
- Planteamiento de parámetros del producto final

# FASE 2

## CONTEXTO INICIAL

## 2.1 Introducción

El trabajo de fin de grado en cuestión tiene por título “Desarrollo de un sistema de microválvulas para el cultivo celular”, está basado en un trabajo anterior [1] centrado en el desarrollo electrónico. Ambos se enmarcan dentro de un proyecto más amplio de Plan Nacional de I+D “CELLMICROCART”, cuyo objetivo es desarrollar nuevas herramientas de cultivo celular basadas en sistemas microfluídicos.

El desarrollo de dicho trabajo se realiza dentro del grupo *GEMM (Group of Structural Mechanics and Modeling Materials)*, de investigación de la Universidad de Zaragoza en colaboración con el ITA (Instituto Tecnológico de Aragón). La instalación utilizada es el laboratorio de tejidos, ubicado en el edificio I3A.

El objetivo principal es el rediseño del prototipo de un componente, llamado sistema de microválvulas, que forma parte de un *setup* fluídico en el que se desarrolla el cultivo celular. Dicho elemento se ocupa de suministrar y canalizar el medio de cultivo necesario para la ejecución del cultivo.

Para abordar el nuevo diseño, se analizan los problemas del trabajo fin de máster anterior [1], y posteriormente se plantearán una serie de modificaciones durante la evolución de la propuesta, basadas en líneas de actuación concretas con el objeto de incidir en las mejoras funcionales. Por último se realizará una fase de análisis del rediseño a fin de verificar las mejoras realizadas.

La planificación llevada a cabo se apoya en una primera instancia en la ejecución y observación de unas caracterizaciones experimentales del prototipo. Tanto la recogida de los datos obtenidos, como el análisis del comportamiento del modelo inicial son cruciales para el progreso del proyecto, para ello se utiliza como metodología un desglose funcional y formal. En el siguiente paso se actúa sobre el planteamiento de mejoras, que están directamente relacionadas con los problemas del diseño inicial. Se utiliza una metodología de basada en tres líneas de actuación principales desde las cuáles se abordarán los cambios necesarios, que darán lugar a una propuesta y su evolución hasta llegar al nuevo diseño. Será modelado en 3D y analizado con el software paramétrico, Autodesk Inventor. Por último se procederá a la fabricación del prototipo y la evaluación de las mejoras implementadas, con las que se propondrán los puntos de trabajo futuro en el próximo prototipo.

## 2.2 Contexto inicial

### 2.2.1 Microfluídica

Para situar el contexto en el que se engloba el proyecto se va a dar una explicación de la ciencia llamada microfluídica. Se trata del estudio basado en el comportamiento de todo tipo de fluidos a muy pequeña escala y comprende disciplinas de Física, Química, Ingeniería y Biotecnología [2].

Posee gran importancia a nivel de biología molecular, debido a los estudios basados en ensayos microfluídicos en chips. La idea básica es recrear situaciones donde poder observar la reacción de tratamientos sobre células.

A nivel comercial ya existen en el mercado plataformas donde se utilizan microfluidos dedicados al cultivo celular, un caso específico son los llamados *Lab-On-a-Chip*[3]. Las ventajas que ofrecen son mayor rapidez y menor consumo de reactivos, es de decir, menor volumen muerto del medio de cultivo. Dispositivos como el del presente proyecto se enmarcan dentro de este funcionamiento. Se trata al final de simular unas condiciones reales en un dispositivo ajeno al entorno de origen.

Conviene señalar la importancia de los fluidos a escalas tan pequeñas. A continuación se ve en la Figura 1, la actuación del flujo laminar, cuyo comportamiento es previsible y fácil de modelar.

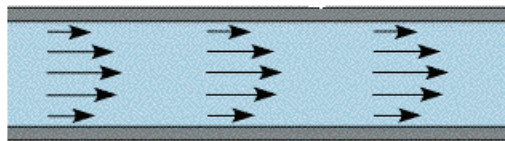


Figura 1 – Flujo laminar

### 2.2.2 Cultivo celular

El cultivo celular se da a unas condiciones específicas que se deben tener en cuenta con el fin de obtener resultados fiables. Aspectos cruciales como mantener una humedad al 100%, una temperatura de 37°C y una cantidad de CO<sub>2</sub> del 5%



# FASE 3

## DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA

### 3.1 Descripción del prototipo inicial

El trabajo de partida sirve como base para el rediseño y condiciona en una primera instancia las restricciones exigidas para que el producto final se lleve a cabo.

Se trata pues de un diseño que sirve para dirigir el nutriente o nutrientes por los canales deseados dependiendo de la aplicación del dispositivo. Por su versatilidad y dado que aún está en fase de desarrollo son amplias las posibilidades de uso que van ligadas a la presión que es capaz de soportar.

Básicamente se compone de dos módulos funcionales: uno destinado a la función eléctrica y el otro destinado a la función fluidica.

La situación de uso en el futuro es para un entorno de laboratorio, donde se realizan experimentos dedicados al cultivo celular. El objetivo último de este sistema es administrar uno o varios nutrientes a un entorno de cultivo celular con unas condiciones controladas. Los chips utilizados son de forma cuadrada con unas dimensiones de 1 x 1 cm, la solución más compacta de aunar las 9 válvulas requeridas. Tanto la forma como la función del chip retringen las condiciones del sistema que actúa sobre el mismo, de tal manera que el líquido es suministrado en pequeñas cantidades, al ritmo y frecuencia deseados.

Para tener una buena base de partida y como fundamento del posterior desarrollo, se realiza una fase previa experimental con la denominación de caracterizaciones, que sirve para obtener los datos numéricos y conclusiones sobre las limitaciones del dispositivo, además de evaluar su comportamiento ante diversas condiciones.

Todos los ensayos han sido realizados con agua destilada, pero en una situación de uso real se utilizaría el nutriente o nutrientes deseados.

A pesar de ser un prototipo, no deja de ser una versión lo más parecida posible al producto final, de forma que en los próximos apartados se realizarán los análisis para conocer mejor todos sus aspectos. En las imágenes de la Figura 2 se muestra el modelo 3D del prototipo inicial.

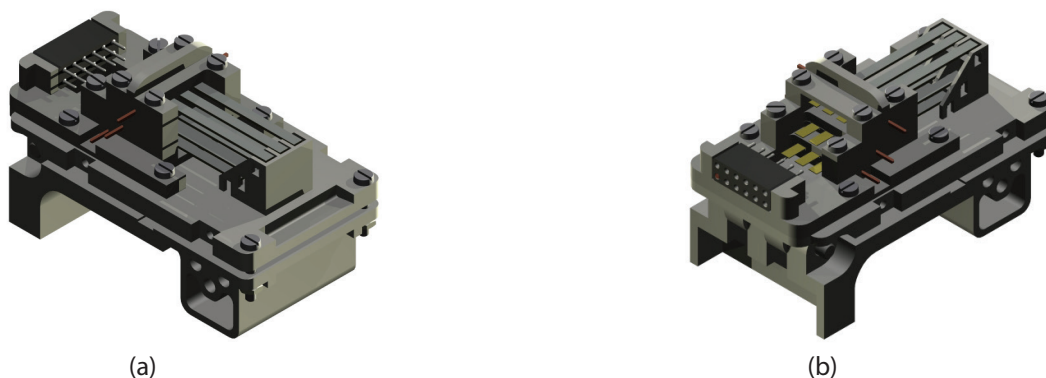


Figura 2 – Prototipo inicial (a) Vista isométrica delantera (b) Vista isométrica trasera

### 3.1.1 Análisis usuario y entorno

Los usuarios potenciales tienen un perfil técnico, especializados en ciencias y habituados a manejar aparatos análogos. El entorno de estos usuarios potenciales se desenvuelve en laboratorios de investigación o empresas farmacéuticas, como se ve en la imagen de la Figura 3. Son entornos limpios, ordenados, con alto grado de iluminación, ambiente perfectamente acondicionado de temperatura a 21°C, amplio espacio de trabajo con multitud de mesas de propósito general y específico, herramientas de trabajo y estrictas normas de uso para el personal, procedimientos y vestimenta.

El usuario ideal de laboratorio debe poder manejar con facilidad el producto a pesar de sus pequeñas dimensiones, porque se tiene que adaptar lo mejor posible a las condiciones de uso como estanqueidad. El producto tiene que ser lo más preciso e intuitivo posible.

El rango de edad varía entre los 25-45 años y su formación está vinculada con el área científica, ya sea un empleado de laboratorio, personal efectuando formación de máster o doctorado. En cualquier modalidad, siempre es una persona altamente cualificada.

En este tipo de entornos y concretamente en el sector de la microfluídica, el usuario está habituado a manejar objetos de tamaño minúsculo y en ocasiones frágiles.



Figura 3 – Puesto de trabajo en el laboratorio

## 3.1.2 Materiales y Procesos de fabricación

A la hora de realizar el prototipo y en especial las piezas no normalizadas, hay una serie de materiales muy similares entre sí que cumplen los requisitos para hacer las pruebas. Se fabricó en RGD 525, de características muy similares al ABS, como se puede observar en la Figura 4, y es además, uno de los 7 materiales vendidos por la empresa Stratasys, concretamente con maquinaria de tecnología PolyJet 3D, de prototipado rápido.

Es una tecnología barata, rápida y práctica para la construcción de prototipos. Además, el modelo utilizado ofrece una precisión de 0.05 mm, necesaria para recrear hasta los detalles más pequeños del prototipo. Como característica a destacar las piezas fabricadas no son macizas, salen con menos material porque se elabora una estructura parecida a un tejido de celdas alternas.

El proceso consiste en fabricación por deposición, es decir, se deposita el material alojado en el cabezal sobre una bandeja, de dimensiones limitadas al modelo de maquinaria utilizado. Posteriormente se cura cada pasada con luz ultravioleta y se va realizando el mismo proceso capa a capa hasta que se completa la geometría de la pieza requerida. Lo normal en cualquier geometría es que tenga huecos o necesite un material de soporte. En el mismo proceso aplica una resina que sirve para dicho propósito y que una vez construída la pieza, se procede a la limpieza y separación de este material adicional en una cabina mediante un chorro de agua a presión.

Comentar que en este método es muy importante configurar mediante el software de la máquina, la colocación de la pieza durante la fabricación. Si en posición horizontal o vertical, cuanto menos pasadas realice el cabezal menos tiempo tarda el proceso, o al principio de la bandeja o al final, colocar la pieza estratégicamente cerca del comienzo de carrera del cabezal es otro factor que reduce el tiempo de producción.

| High Temperature Material (RGD525)                         |                     |                   |           |            |                 |
|--|---------------------|-------------------|-----------|------------|-----------------|
|  | ASTM                | Units             | Metric    | Units      | Imperial        |
| Tensile strength   | D-638-03            | MPa               | 70-80     | psi        | 10,000-11,500   |
| Elongation at break  | D-638-05            | %                 | 10-15     | %          | 10-15           |
| Modulus of elasticity                                      | D-638-04            | MPa               | 3200-3500 | psi        | 465,000-510,000 |
| Flexural Strength  | D-790-03            | MPa               | 110-130   | psi        | 16,000-19,000   |
| Flexural Modulus   | D-790-04            | MPa               | 3100-3500 | psi        | 450,000-510,000 |
| HDT, °C @ 0.45MPa  | D-648-06            | °C                | 63-67     | °F         | 145-163         |
| HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure A | D-648-06            | °C                | 75-80     | °F         | 167-176         |
| HDT, °C @ 1.82MPa  | D-648-07            | °C                | 55-57     | °F         | 131-135         |
| Izod Notched Impact  | D-256-06            | J/m               | 14-16     | ft lb/inch | 0.262-0.300     |
| Water Absorption, %  | D-570-98 24hr       | %                 | 1.2-1.4   | %          | 1.2-1.4         |
| Tg   | DMA, E <sub>g</sub> | °C                | 62-65     | °F         | 144-149         |
| Shore Hardness D   | Scale D             | Scale D           | 87-88     | Scale D    | 87-88           |
| Rockwell Hardness  | Scale M             | Scale M           | 78-83     | Scale M    | 78-83           |
| Polymerized density  | ASTM D792           | g/cm <sup>3</sup> | 1.17-1.18 |            |                 |
| Ash content  | USP281              | %                 | 0.38-0.42 | %          | 0.38-0.42       |

Figura 4 – Propiedades RGD 525

### 3.1.3 Análisis formal

Se compone de una serie de piezas fabricadas en prototipado rápido y unidas mediante componentes normalizados. La estructura más básica se organiza en torno a dos grandes bloques funcionales, un bloque fluídico y un bloque eléctrico, como se observa en la foto real de la Figura 5. Cada uno de ellos está compuesto de piezas con geometrías básicas en sí mismas que a su vez establecen relaciones complejas geométricas con los elementos periféricos.

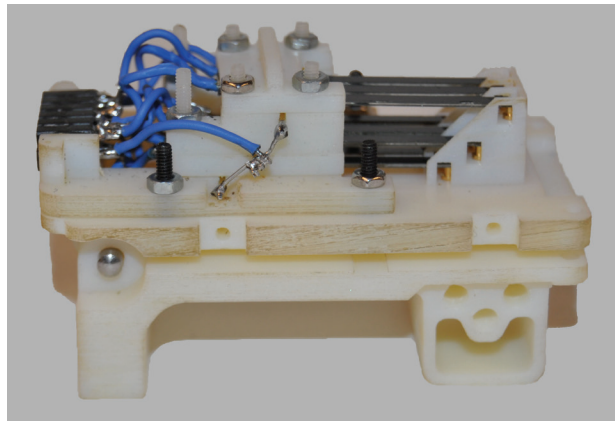


Figura 5 – Sistema microválvulas

#### DESCOMPOSICIÓN DEL BLOQUE FLUÍDICO

Un único nivel con dos zonas de apoyo que confieren estabilidad a la pieza y se comportan como un soporte para el resto de niveles, como se observa en la Figura 6. Se compone de una bisagra que sirve de unión al bloque superior, además de un total de 9 alojamientos para conexiones fluídicas, tres a un lado y seis al otro.

Los elementos adicionales con los que la pieza completa su función y establece interacciones con otros elementos son el pasador, normalizado de acero inoxidable, 9 juntas tóricas y 9 conectores fluídicos.

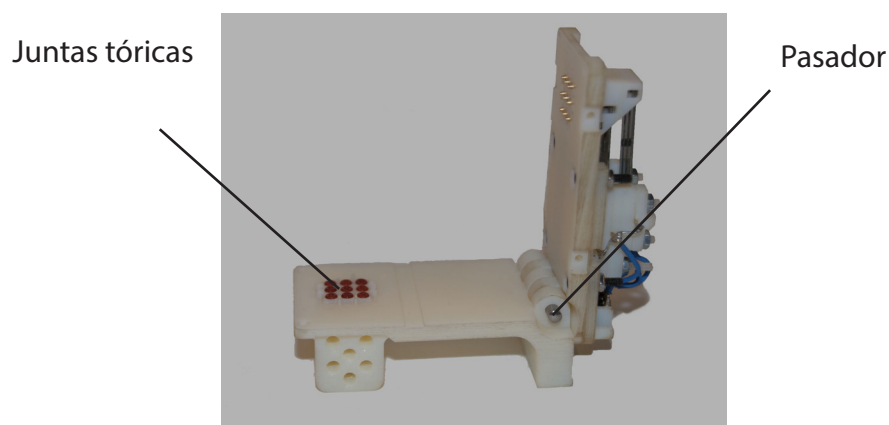


Figura 6 – Base Conectores fluídicos

En las siguientes imágenes se observan los componentes por separado, Figuras de la 7 a la11.



Figura 7 – Conector inicial



Figura 9 – Juntas tóricas



Figura 11 – Perno de bisagra

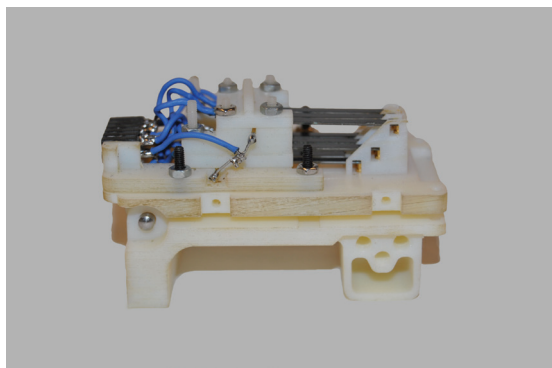


Figura 8 – Detalle conexiones fluidicas lateral izquierdo

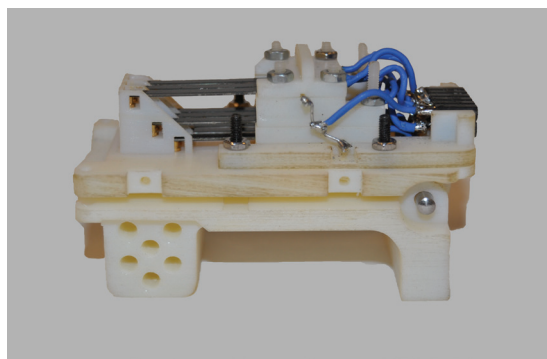


Figura 10 – Detalle conexiones fluidicas lateral derecho

En el interior contiene una distribución de canales y cada uno de ellos está asociado a una microválvula del chip. Al residir en el interior de la pieza no son visibles, por lo tanto serán mostrados mediante planos de corte del diseño 3D, en la Figura 12, 13 y 14.

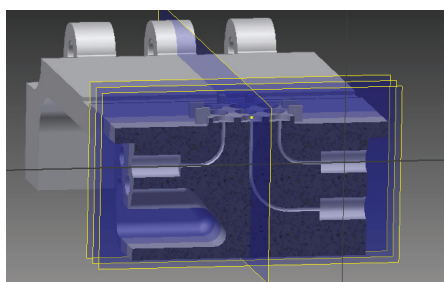


Figura 12 – Corte canales fila 1

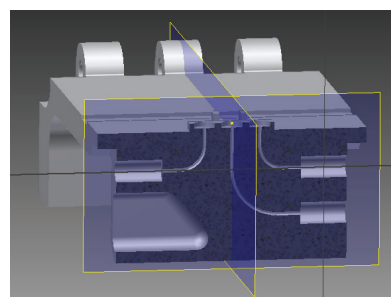


Figura 14 – Corte canales fila 3

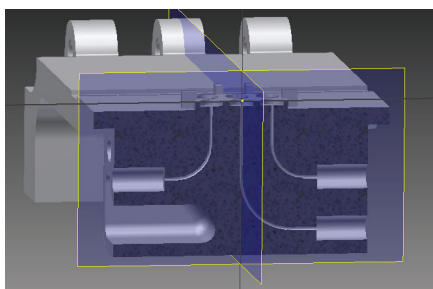


Figura 13 – Corte canales fila 2



## DESCOMPOSICIÓN BLOQUE ELÉCTRICO

Tal y como se observa en las imágenes de la Figura 15, están desglosados todos y cada uno de los componentes que lo constituyen.

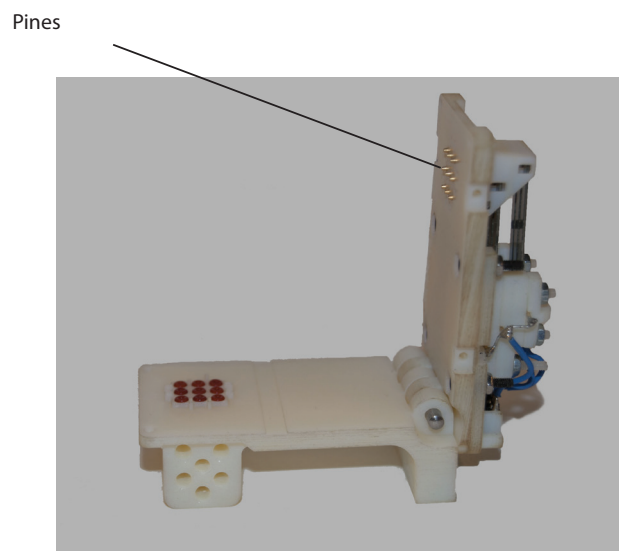
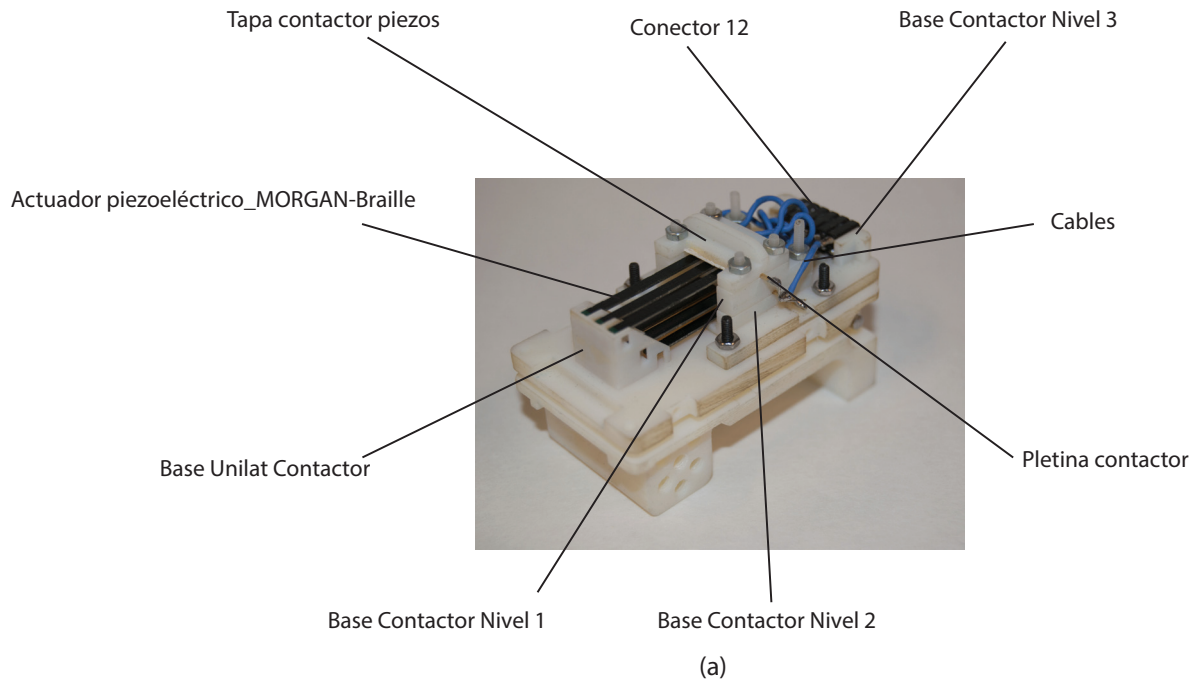


Figura 15 – Sistema partes (a) Sistema cerrado (b) Sistema abierto

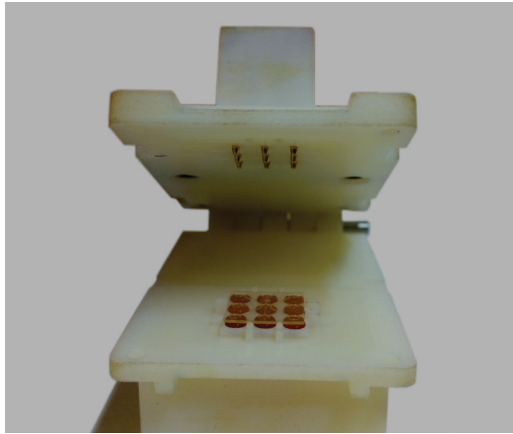


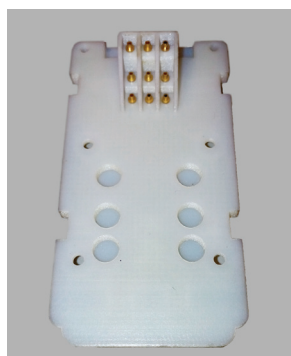
Figura 16 – Vista frontal sistema

La pieza Base Unilat Contactor es la que está en contacto directo con el chip cuando el sistema está cerrado. Teniendo en cuenta que los pines sobresalen como se indica en la Figura 16, en el momento que el sistema se cierra con la pinza, suben ejerciendo una interferencia con el piezo.

Dicha pieza tiene una serie de alojamientos con juego destinados a los pines, como se ve en la Figura 17. La idea es que suban y bajen libremente con el estímulo que reciban de los piezos. Los pines se organizan en tres tamaños, así la primera fila de microválvulas del chip interactúa con los pines más largos, la segunda con los medios y la tercera con los más cortos.

Cada grupo de pines están colocados sobre una escalera de apoyo y los piezos son todos del mismo tamaño, pero posicionados con el extremo más o menos saliente de su caja dependiendo de cada nivel, dispuestos a actuar sobre cada nivel del pines.

Es la organización más compacta posible que se ajusta a la forma cuadrada del chip. De hecho es el propio diseño del chip el que restringe totalmente la disposición del sistema eléctrico y como consecuencia directa de los piezoeléctricos.



(a)



(b)

Figura 17 – Soporte pines (a) Base Unilat Contactor (b) Detalle pines



Otra de las partes importantes es toda la estructura que compone de los contactos eléctricos dentro del dispositivo que se ve en la Figura 18, dividida a su vez en las 4 piezas que se describen a continuación y que necesitan de elementos normalizados para completar su función: piezoeléctricos, cables, tornillos, tuercas y conector.

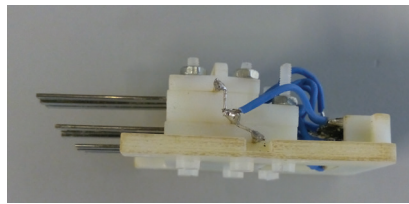


Figura 18 – Grupo conexiones

#### Base Contactor Nivel 3

Se trata del nivel más bajo que sirve de soporte a los piezos, con su cajera y además su alojamiento para uno de los polos. Soporta la estructura superior y además el conector eléctrico al que van a parar los cables soldados desde los piezos. Tiene en total 10 agujeros para tornillos de métrica 2

#### Base Contactor Nivel 2

El nivel intermedio, también con su soporte para los piezos, su cajera y además su alojamiento para uno de los polos. Tiene 6 agujeros para tornillos de métrica 2

#### Base Contactor Nivel 1

El más alto de los niveles con la misma descripción que los dos anteriores, con 4 agujeros de métrica 2.

#### Tapa Contactor Piezos

Hace la función de tapa para los niveles que soportan los piezos y además contiene un alojamiento para uno de los polos del nivel superior. Con 4 agujeros de métrica 2.

Estas cuatro piezas se aprecian en la Figura 19.

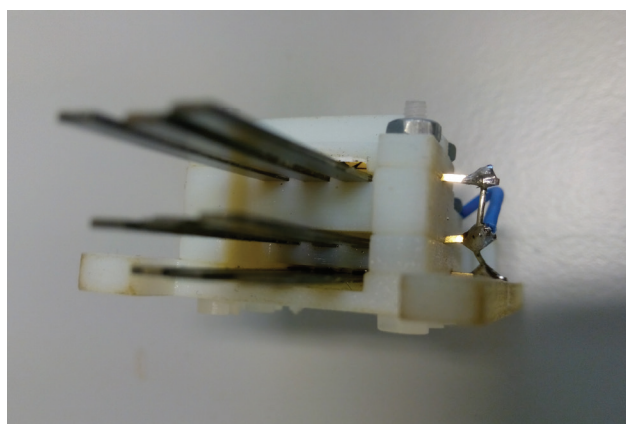


Figura 19 – Niveles contactor

### 3.1.4 Análisis funcional

El análisis funcional consiste en desglosar cada una de las funciones del prototipo en cuestión. Para ello es necesario establecer una jerarquía y desgranar su esencia desde los grupos más complejos hasta las entidades más simples.

A nivel general se observan dos grupos funcionales bien diferenciados: el bloque fluidoico y el bloque eléctrico. Atendiendo la secuencia de uso, en primer lugar se encuentra el bloque eléctrico, del cuál depende entre otras la función del bloque fluidoico. En cuanto al bloque fluidoico se refiere, tiene una complejidad funcional susceptible de la alineación del chip respecto a los pines.

En este apartado se explican los pasos a seguir para realizar un correcto montaje del prototipo en una situación típica de uso. Uno de los objetivos es encontrar problemas de diseño teniendo en cuenta el punto de vista del usuario, de tal forma que intervenir en esas interacciones sea vital para las fases de rediseño posteriores.

Teniendo en cuenta que el sistema se compone de un total de 9 válvulas, puede haber diferentes configuraciones de entradas y salidas que dependen directamente del diseño del chip, ya que hay 4 modelos. Por lo que será necesario fijarse en la necesidad del usuario para elegir el diseño óptimo. Para describir su funcionamiento se elige un caso cualquiera con un condicionante, por ejemplo una válvula de entrada y otra de salida, es decir, una única entrada de nutriente y su respectiva salida, como se ve en la Figura 20.

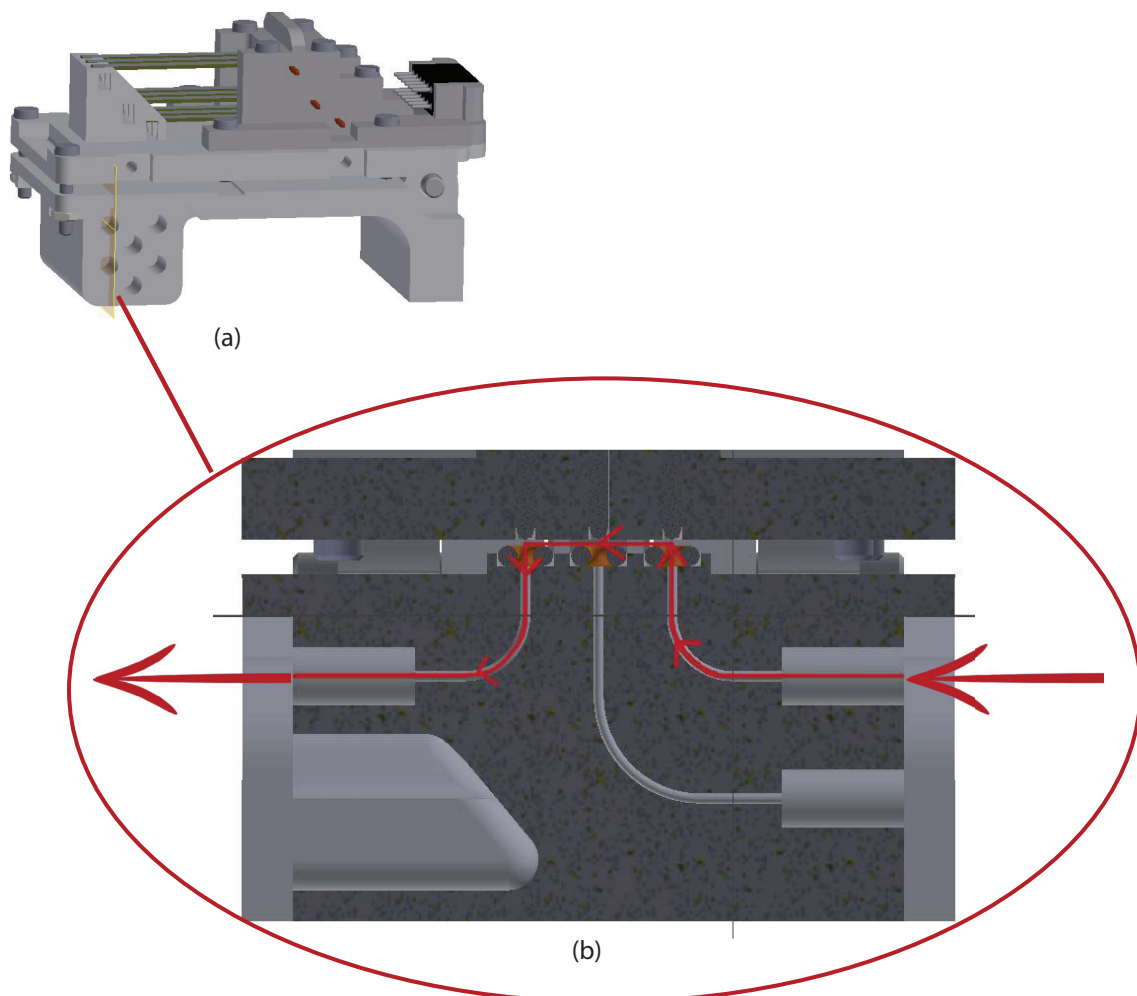


Figura 20 – Recorrido flujo (a) Plano corte fila 1 (b) Detalle recorrido

### 3.1.4.1 Equipo utilizado

En este apartado se describe minuciosamente el equipo utilizado, para posteriormente comprender los elementos necesarios para el montaje en una situación de uso.

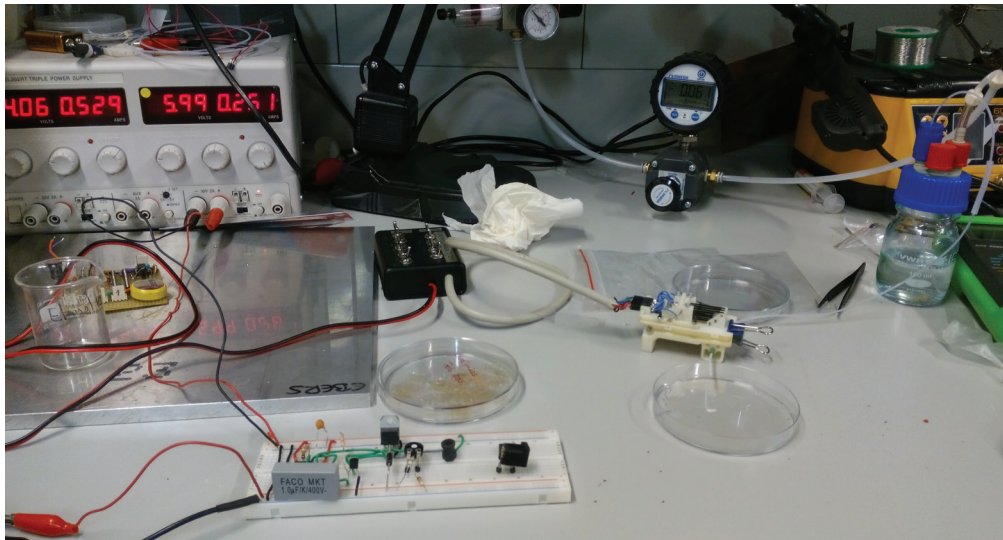


Figura 21 – Montaje *setup* fluidoico

A continuación se enumeran e ilustran los componentes necesarios:

Una toma de aire comprimido, el medio gracias al cuál el agua es impulsada a recorrer todo el *setup*



Figura 22 – Toma de aire comprimido.

En la imagen se observa un manómetro previo situado a la izquierda de la Figura 23, que no tiene la suficiente precisión, y de ahí la necesidad de un segundo manómetro para regular la presión más exacta posible con la que sale el aire comprimido.



Figura 23 – Limitador de presión conectado al manómetro

Tubos de conexión necesarios para comunicar el aire comprimido desde la toma de aire hasta la botella de contención. Se pueden observar en la Figura 24.

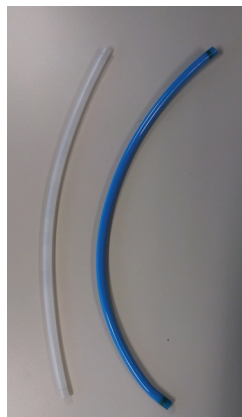


Figura 24 – Tubos conexión aire comprimido

Una botella de contención con agua destilada. Se puede observar en la Figura 25.



Figura 25 – Agua destilada

Tubos de conexión fluidica de sección 0.5 mm para la entrada y salida del medio al sistema. Se puede observar en la Figura 26.

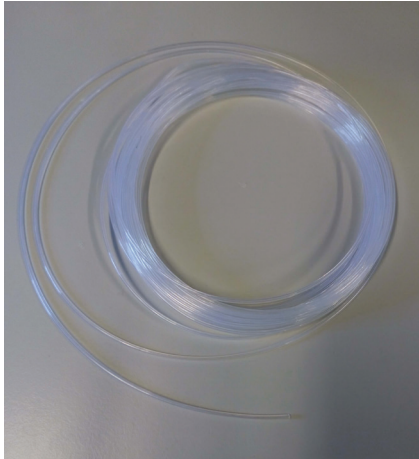


Figura 26 – Tubos conexión fluidica

Dos conectores fluidicos para la entrada y la salida del fluido al sistema. Se puede observar en la Figura 27.

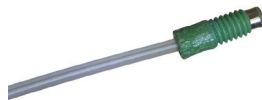


Figura 27 – Conector fluidico verde

El prototipo inicial de material RGD 525. Se puede observar en la Figura 28.

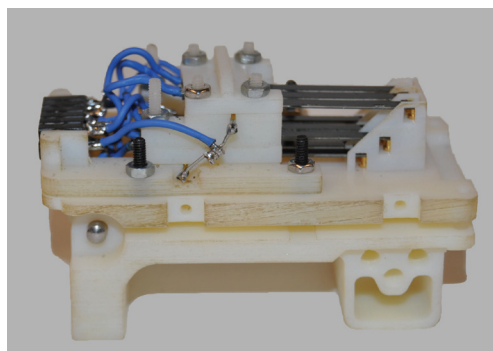


Figura 28 – Sistema de microválvulas



Un chip de microválvulas con el diseño deseado. Se puede observar en la Figura 29.

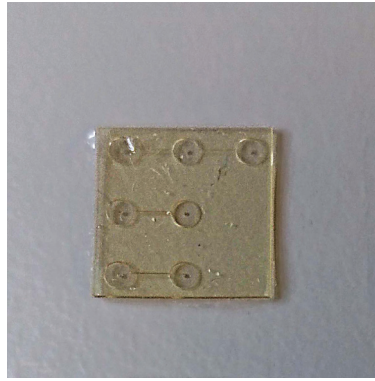


Figura 29 – Chip de microválvulas

Nueve juntas tóricas de silicona para asegurar la estanqueidad sobre el chip microfluídico. Se puede observar en la Figura 30.



Figura 30 – Juntas tóricas

Una pinza de papelería para el cierre del sistema. Se puede observar en la Figura 31.

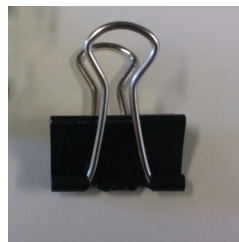


Figura 31 – Pinza de papelería

Un contenedor de residuos, en este caso se ha seleccionado una placa de petri. Se puede observar en la Figura 32.

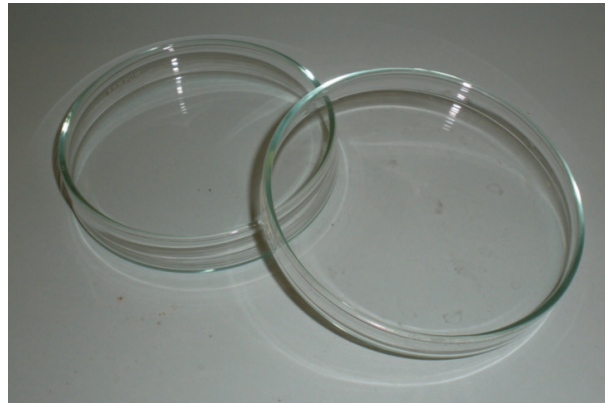


Figura 32 – Contenedor Placa de petri.

### 3 . 1 . 4 . 2 Montaje bloque fluídico

En primer lugar, se encuentra el montaje del bloque fluídico, Figura 33 y por otro la conexión del bloque eléctrico.

- Ensamblar el manómetro compuesto por: manómetro previo, configurado a 2 bares de presión máxima, que se incorpora a una toma de aire comprimido. Éste a su vez y por medio de un tubo al manómetro de precisión.
- Poner en contacto con otro tubo el bote de vidrio que contiene agua destilada.
- Agregar al bote un tubo de sección interna 0.5 mm y enroscar el conector fluídico que lleva en un extremo como último tramo de conexión fluídica hasta la estructura lista para su uso.
- El chip debe estar previamente cebado con una pipeta para verificar su buen estado y así evitar futuros problemas de canalización del nutriente. Debe colocarse sobre las nueve juntas tóricas. Finalmente cerrar la estructura con dos pinzas de papelería a ambos lados.
- Se coloca otro conector con otro tubo de 0.5 mm a la válvula de salida deseada.
- El conector de salida, va conectado al resto del setup fluídico donde se realizaría el cultivo celular con los nutrientes pertinentes.

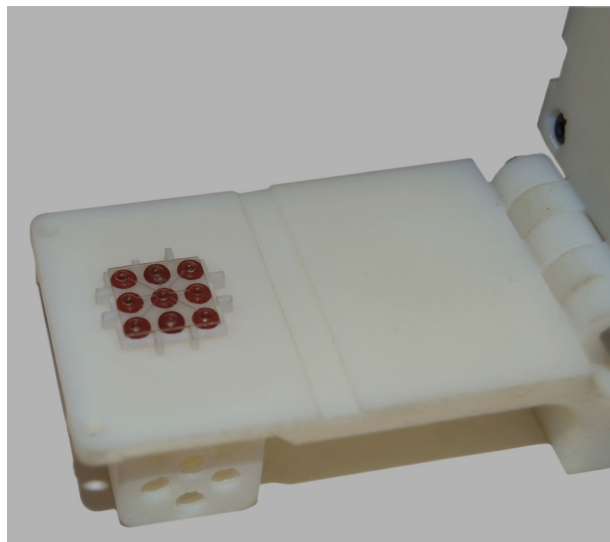


Figura 33 – Bloque fluídico



### 3.1.4.3 Montaje bloque de conexiones eléctricas

Para activar el movimiento de las válvulas y actúen sobre el chip abriendo o cerrando el paso del nutriente, es necesario conectar el dispositivo a una fuente de alimentación, como se ve en la Figura 34. Para ello se ha diseñado, en un trabajo anterior, una protoboard que regula dicha fuente y controla manualmente el funcionamiento de las válvulas. Comentar que también se dispone de una configuración automática de las válvulas, pero para el presente trabajo se va a utilizar el control manual con el que se interactúa directamente.

Los pasos para el montaje de este bloque son los siguientes:

- Encender la fuente de alimentación
- Configurarla para que entren 6 V y 0,252 A.
- Conectar los cables a la protoboard, que contiene la configuración electrónica del control manual de las válvulas
- Después conectar la protoboard al control manual de las válvulas.
- Por último proporcionar la electricidad al prototipo por medio del conector que ofrece el control manual.

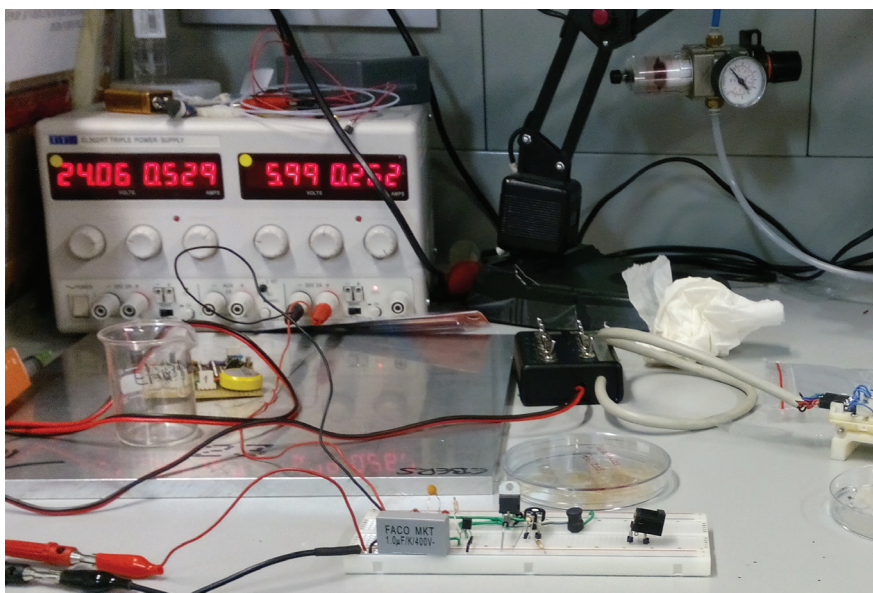


Figura 34 – Montaje conexiones eléctricas

### 3.1.4.4 Interactar bloques

- Seleccionar en el control manual el interruptor que corresponda a la válvula deseada para accionarla
- Abrir el paso del aire a presión empezando con el regulador de presión al mínimo
- Ir aumentando el valor de presión hasta un valor dentro del rango estimado entre 0 y 2 bares y mantener el valor durante su funcionamiento.
- Interactuar abriendo y cerrando la válvula con el interruptor.

## 3.2 Chip de microválvulas

Los chips utilizados para el sistema de microválvulas, son de forma cuadrada de un tamaño de 1 x 1 cm y 0,4 mm de espesor. Están fabricados de dos materiales, PDMS y SU8. El SU8 es un material rígido sobre el que se traza una distribución de canales, como se ve en la Figura 35, su fabricación se realiza capa a capa, por lo que el método de fabricación ideal es en planos horizontales, sin ninguna pendiente. Los extremos de estos canales conectan, en la cara superior con agujeros no pasantes, que terminan, en la cara inferior, en otros de menor diámetro que sí que son pasantes. Sobre la cara superior del SU8 se adhiere una lámina de PDMS. La lámina de PDMS genera una cámara de contención para el fluido comprendido en los canales y su condición elástica contribuye a abarcar zonas de taponamiento periféricas, no solo puntuales.

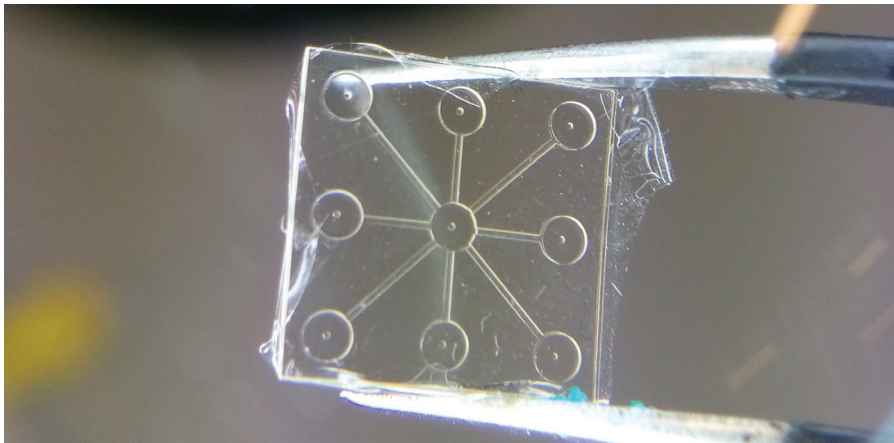


Figura 35 – Chip de microválvulas

Su función es la de canalizar el fluído en el momento que entra por ellos. Hay 4 diseños, cada uno de ellos con una combinación diferente de canales según la necesidad del usuario, según se aprecia en la Figura 36.



Figura 36 – Modelos chip microválvulas

Su diseño es bidireccional de tal manera que el fluído puede entrar o salir por cualquier extremo de los canales, según se elija.

## 3.2.1 Caracterizaciones resistencia pegado chips

Para optimizar la fabricación del chip, se hace un paso previo que consiste en caracterizar la resistencia del pegado del PDMS (lámina elástica) con el SU8 (lámina rígida), por lo que se utilizan unos chips de características especiales. El objetivo final es averiguar cuántos bares de presión son capaces de aguantar permaneciendo intactos y observar la reacción del chip en cuestión, antes y durante la obtención de ese valor. El ensayo se realiza con un encapsulado específico de dos piezas unido mediante tornillos, que se puede observar en la Figura 37, e impulsando el agua destilada con un manómetro. El rango de presión máxima contemplada es de entre 0 y 2 bares.

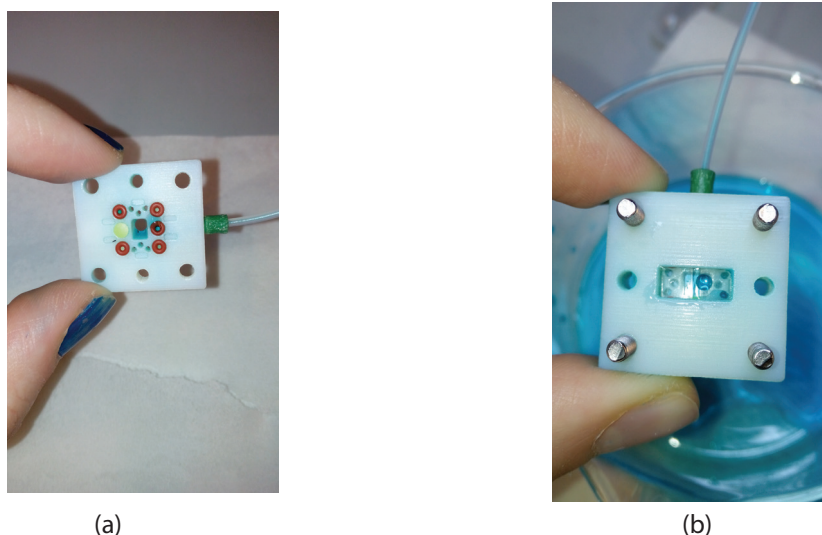


Figura 37 – Encapsulado caracterizaciones (a) Interior encapsulado (b) Exterior encapsulado

El chip se compone de una lámina de SU8 que contiene tres canales gruesos y alargados, uno en el centro y dos a cada lado, simétricos uno respecto del otro.

La lámina de PDMS se adhiere al SU8 por diversos métodos de pegado o bien por contacto o mediante el uso de un porcentaje de pegamento, llamado aptes. Un ejemplo del chip utilizado se observa en la Figura 38.

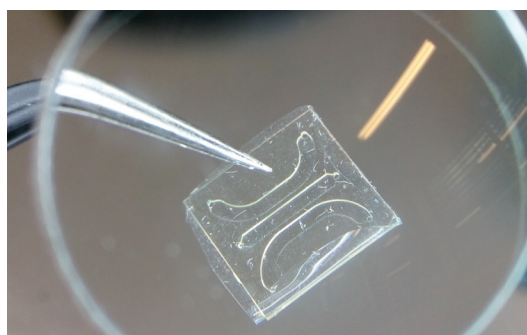


Figura 38 – Chip caracterización pegado

El proceso de una caracterización es muy minucioso, en el que hay que tener en cuenta diversos aspectos para no alterar la naturaleza del chip en ningún momento y se mantenga en buen estado durante su manipulación. El tamaño tan ínfimo, en ocasiones, hace costosa esta tarea.

### 3.2.1.1 Equipo utilizado

El conjunto del equipo utilizado se puede observar en la siguiente imagen y se explica a continuación:

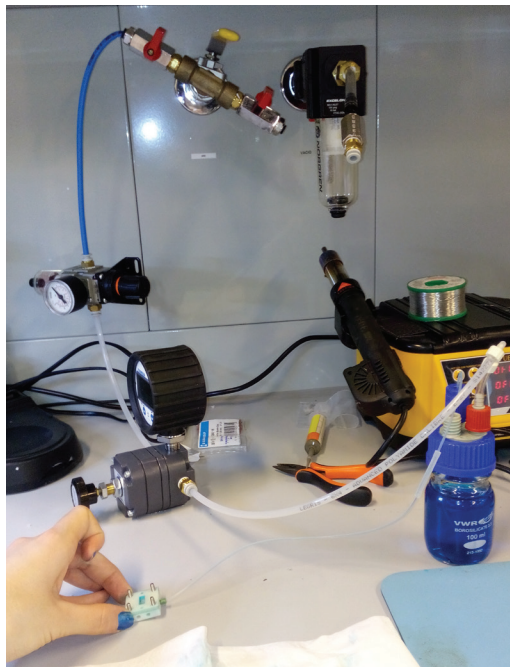


Figura 39 – Caracterización resistencia pegado

- Se conectan los manómetros en el orden correcto a la toma de aire comprimido
- Se utiliza agua destilada tintada, su uso es fundamental para observar el ensayo claramente.
- Un chip con el método de pegado deseado para hacer la caracterización
- Un encapsulado de RGD 720, un tapón de poliestireno verde para bloquear la salida del fluido y contenerlo en el chip hasta que reaccione y cinco juntas tóricas. Como se ve en la Figura 40

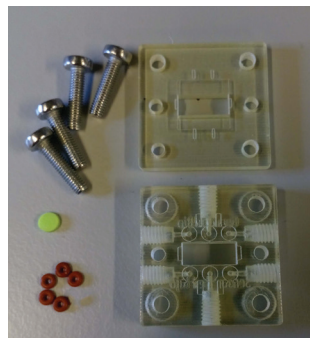


Figura 40 – Encapsulado de caracterización

### 3 . 2 . 1 . 2 Proceso de caracterización

---

- Se conecta el manómetro a la toma de aire con los tubos correspondientes
- Se conecta el bote de agua destilada tintada al manómetro
- Se monta el encapsulado con las juntas tóricas en su interior y el tapón en una de las salidas para ofrecer resistencia al fluído e impedir su salida, se coloca el chip y se cierra con los tornillos a los extremos.
- Por último se conecta el encapsulado al bote de agua tintada por medio de un conector fluídico que va dirigido al canal central del chip.
- Se activa la entrada de aire con el regulador de presión al mínimo y poco a poco se va a aumentando hasta que el chip sufre alguna reacción visible, o bien se infla hasta que explota o se despega y se sale el líquido por la periferia.



## 3. 3 Caracterizaciones del sistema inicial

---

La forma de realizar las caracterizaciones del sistema es siguiendo el montaje descrito en el apartado 3.1.4, tanto del bloque fluídico como del bloque de conexiones eléctricas y variar la interacción de los bloques.

### 3.3.1 Proceso de caracterización

---

El objetivo es averiguar el valor más alto de presión con la que el sistema es capaz de cerrar la microválvula. El proceso de caracterización del sistema, una vez montado todo el equipo, consiste en:

- Abrir el paso del aire a presión empezando con el regulador de presión al mínimo, hasta que el nutriente comience a circular
- Ir aumentando la presión poco a poco hasta ver la máxima que es capaz de soportar el sistema, concretamente las válvulas. Es decir, el mayor valor con el cuál las microválvulas se mantienen cerradas al paso de fluido.
- En un momento determinado se interrumpe su paso, cerrando la microválvula mediante el control manual y se anota la presión de ese momento.

Como resultado final se espera una presión considerable con la que se conseguirá un sistema versátil y como consecuencia servirá para multitud de aplicaciones.

### 3.3.2 Resultados

---

En cuanto a los resultados obtenidos, desafortunadamente con la acumulación de problemas, sólo se pudieron tomar dos datos de presión 0.33 bares y 0.275 bares, ya que posteriormente el sistema no volvió a funcionar. Este es el motivo que lleva a acometer el nuevo diseño, con el fin de poder obtener más de un valor para asegurar sus límites y para ello se deben analizar los problemas que presenta con el fin de poder subsanarlos.

Entre otros factores cuando se deseaba cerrar una válvula, no cerraba lo suficiente como para impedir el paso del fluido y seguía pasando hasta la válvula de salida.

### 3.4 Problemas de diseño

Teniendo en cuenta toda la información recopilada es necesario proceder a un análisis para evaluar la situación adoptar las mejoras pertinentes. Para ello se va a empezar con las observaciones extraídas durante las pruebas. El orden de análisis comienza por el elemento central del dispositivo, el chip, desde este elemento se seguirá con la plataforma superior y por último con la plataforma inferior.

Durante las caracterizaciones había fugas de agua si el sistema no estaba bien sellado, sobre todo en la zona que el chip está en contacto con las juntas tóricas y los pines. Problema que se acentuaba todavía más cuando las microválvulas del chip no estaban alineadas correctamente con los pines que las debían bloquear cuando se accionasen. Entre tanto, el chip no tenía una posición fija debido a que sus limitadores eran muy pequeños y prueba tras prueba se iban rompiendo, de tal forma que su alineación eran prácticamente imposible de conseguir. Otro elemento que favorece esa desalineación es el perno de unión entre plataformas, provoca un desplazamiento en el proceso de cierre entre ambas que descoloca al chip de su posición óptima, como se ve en la Figura 41.

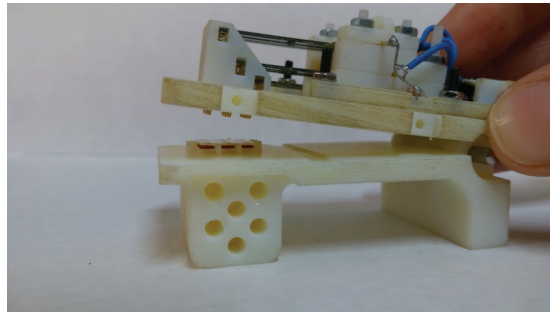


Figura 41 – Cierre bisagra

Siguiendo con otros elementos cercanos al chip, las juntas tóricas están ubicadas en un pedestal sobre la plataforma y a su vez los alojamientos sobre el mismo. De tal forma que no terminan de estar seguras en su posición.

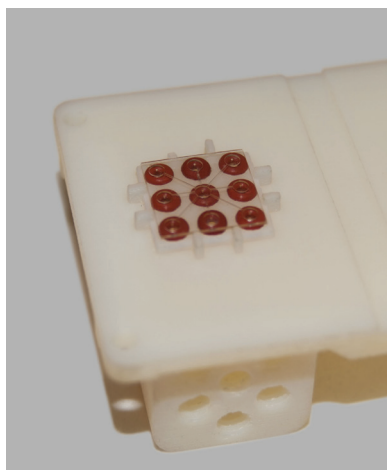


Figura 42 – Alojamiento juntas

Los pines son de tres tamaños diferentes, son elementos normalizados y tienen un escalón de apoyo para cada tamaño. Es conveniente que tengan juego de subida y bajada sobre las microválvulas en respuesta al estímulo recibido por el piezoeléctrico. Por este motivo hay que tener en cuenta las tres alturas de este elemento: la cabeza, el anillo y vástago. Las medidas de la cabeza y el anillo son cruciales porque se apoyan sobre el escalón diseñado en la pieza Base unilat contactor, como se ve en la Figura 43, y de este escalón depende la interferencia que debe hacer el pin con el piezo, que oscila en un rango de amplitud de -0,5 y +0,5 mm. La interferencia elegida en esta ocasión es de 0.25mm. El problema surge cuando los pines, que reciben el estímulo eléctrico del piezo, no taponan lo suficiente el paso del fluido cuando se acciona el cierre de la válvula o ejerzan tal fuerza que nunca permitan el paso del fluido.

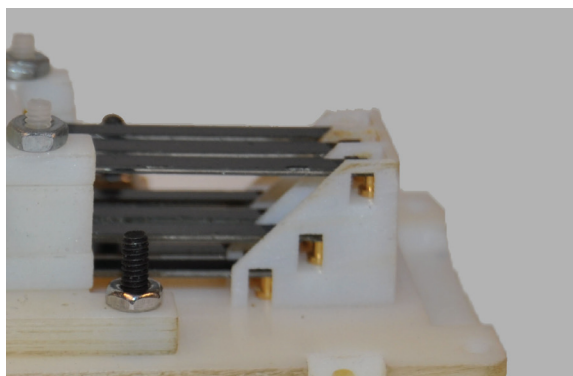


Figura 43 – Detalles pines

En este punto es cuando interviene el piezoeléctrico, cuya altura debe estar perfectamente ajustada a la cabeza del pin y con la interferencia estipulada. El problema se presenta cuando unos piezos tienen más recorrido que otros o no llegan a tocar la cabeza del pin, lo que significa que no todos hacen la misma interferencia con su pin y como consecuencia repercute en una menor bajada del pin y una menor fuerza para bloquear la cámara de la microválvula. Por lo que es necesario buscar una forma de regular las alturas de los piezos para alcanzar un mayor ajuste. La solución ideal sería un cambio en la distribución de los piezoeléctricos, pero tal modificación conlleva a un diseño de chip diferente, que en este proyecto es una restricción fija.

Los cables soldados a los piezos son demasiado rígidos e impiden que el piezo oscile con libertad, como se ve en la Figura 44. Si estos cables fueran más blandos permitirían el movimiento más libre y necesario de los piezos.

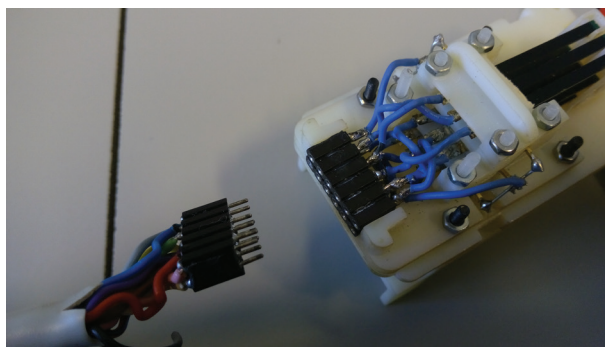


Figura 44 – Cables rígidos



La pinza de papelería utilizada, que se observa en la Figura 45, es una opción que sirve para implementar siempre la misma fuerza de cierre, cualidad que interesa, pero en este tipo de configuración no es del todo acertada ya que con el perno al otro extremo hace que se presione mucho en el extremo de la pinza y en el contrario se abra más la estructura.



Figura 45 – Medida pinza

Los conectores fluidicos utilizados son pequeños, compactos, con un alto coste y difíciles de manipular. Al roscar un conector no se llega a asegurar el cierre hasta que se utiliza un alicate y finalmente se puede llegar a pasar de rosca o incluso romper el conector.

Los tornillos en diferentes uniones son de diferentes materiales, plástico o acero, lo cuál sería ideal utilizarlos todos de un mismo material como el acero y tener un fuerza de cierre parecida en todos de manera que se evite el desgaste de rosca. Evitar que sobresalgan de la estructuran y se compacten lo máximo posible.



Figura 46 – Detalle tornillos diferentes

El bloque de conexiones fluidicas no tiene una distribución de canales intuitiva, como se observa en la Figura 47, lo que genera desconcierto en el usuario potencial y una pérdida de tiempo durante su uso. El hecho de que cada nivel de piezas esté diferenciado facilita su manejo.

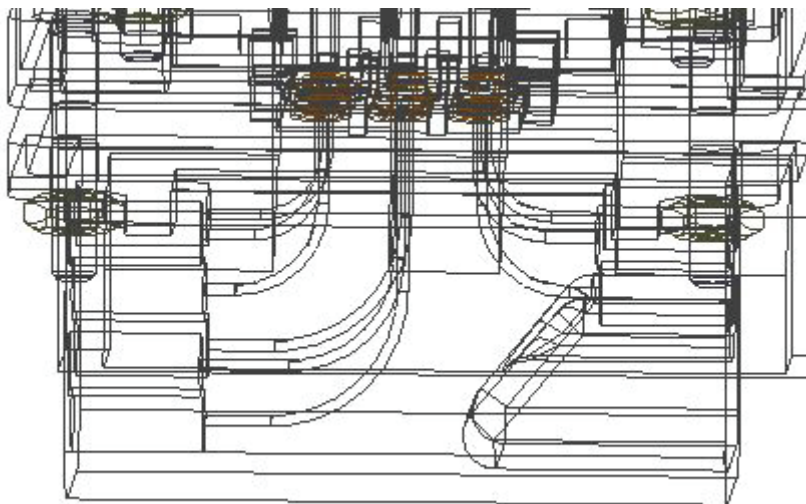


Figura 47 – Distribución canales inicial

La estabilidad del dispositivo es importante y evitar tener que estar sujetándolo con la otra mano durante su uso. Una de las observaciones durante los ensayos es que la plataforma superior tiene un peso mayor que la inferior, por contener multitud de elementos, de tal manera que al situarse a una determinada altura de la superficie de apoyo utilizada, una mesa por ejemplo, se genera un cierto balanceo e incluso en ocasiones vuelco.

## 3.5 Conclusiones prototipo inicial

---

El diseño debe ser más compacto en todas y cada una de sus partes, intentando conservar un pequeño tamaño, además de mejorar la incertidumbre de los piezos con sus respectivos pines. Aquí es donde interviene la alternativa de poder regular la altura de los piezos con respecto a los pines.

Sobre todo es crucial incidir en los cambios de posicionamiento del chip, interacción de piezos y cierre del sistema. Son las tres partes fundamentales para afinar su funcionamiento hasta llegar a la versión óptima y sólida del producto.

Cada matiz en cada una de las observaciones es importante y cualquier mínimo cambio implica el cambio en el resto de elementos, con lo cual en el próximo apartado de desarrollo de propuestas se evaluará la viabilidad y repercusión de cada una de ellas.

Corregir la alineación del chip es crucial para la interacción entre el bloque fluídico y el bloque de conexiones eléctricas.

Conseguir el máximo estancamiento posible y evitar que el fluido se salga de los límites del dispositivo.

Mejorar la experiencia del usuario durante su manejo con un diseño más intuitivo de conductos, que rápidamente se asocien al interruptor correspondiente.

# FASE 4

## PROPUESTAS REDISEÑO

## 4. 1 EDP's

Teniendo en cuenta todo el apartado anterior, es necesario establecer unas especificaciones de diseño que marcarán la dirección de desarrollo y establecerán las características del producto en potencia.

### Facilidad de montaje y desmontaje

Para que el usuario final intervenga lo mínimo posible en el entramado interno y se limite a hacer un uso externo de sus componentes

### Estabilidad

Necesaria para el equilibrio del dispositivo por sí mismo y sin ayuda de otros elementos ajenos.

### Estanqueidad

De forma que el fluido se dirija hacia los conductos correspondientes sin desviar su trayectoria fuera de los límites ya que puede provocar un cortocircuito.

### Estructura compacta

Procurar una mínima presencia de desniveles en cada una de las partes.

### Mínimas dimensiones

Ya que es un dispositivo que se integra dentro de un setup microfluídico y por el propio sector en el que se utiliza. Diseño adaptado a las dimensiones del chip.

### Facilidad de limpieza

Tanto a la hora de fabricación como durante su uso.

### Posicionamiento del chip y juntas tóricas

Una estructura que permita su correcta colocación sin desviaciones, que posteriormente podrían provocar un mal funcionamiento.

Restringir la incertidumbre de los piezos.

De forma que se pueda afinar su colocación óptima para su funcionamiento.

### Cierre de la plataforma con una presión controlada.

Se utilizan pinzas de papelería ya que siempre ejercen la misma fuerza sobre el sistema, pero debe ser compensada con otro tipo de cierre distinto al de tipo bisagra del otro extremo ya que ejerce otra presión diferente y es perjudicial a la hora de obtener resultados. Debe ser un cierre en dirección vertical.

### Normalizados económicos

Tratar de utilizar los componentes normalizados con una relación calidad-precio asumible para dispositivo en pruebas y constante proceso de cambio. Todos los tornillos utilizados del mismo material para conseguir la misma presión en todos los puntos de cierre.

### Organización estructural

Cada uno de los componentes debe estar organizado de forma lógica de cara al usuario. De tal forma que su uso sea lo más intuitivo posible y sin necesidad de ser un técnico especializado en el desarrollo de dispositivos similares.

### Condiciones del entorno

Deben darse unas condiciones controladas sin ser excesivas, pero tratando siempre de que varíen lo mínimo posible entre las distintas intervenciones para que el producto conserve sus propiedades iniciales al máximo. Debe ser un espacio limpio evitando polvo ya que sus partículas pueden atascarse en su interior y a una temperatura óptima de 21°C.

### Chip

Aprovechar al máximo sus dimensiones y versatilidad ya que es el diseño más compacto y que hasta ahora reúne menor volumen muerto. En este punto es también cuando se incide en la economía de recursos, tratando de reducir al máximo el consumo de reactivos de precio elevado.

Después de enumerar todas las características necesarias para el desarrollo del prototipo, se van a describir una serie de mejoras iniciales que darán lugar a posteriores fases de creatividad y por consiguiente a un total de 3 fases de rediseño hasta llegar al desarrollo final.

## 4. 2 Mejoras generales

---

A priori se realiza un brainstorming como previa fase de creatividad para obtener unas primeras ideas:

Tratar de utilizar los elementos normalizados similares del mismo tipo.

Evaluar más tipos de elementos normalizados para adaptar las necesidades del dispositivo.

Cambiar el tipo de cierre de la plataforma para conseguir mayor precisión y ajuste entre las dos partes principales.

Los cables de unión entre el conector y los piezas deben tener mayor flexibilidad para dejar libertad en el movimiento de los piezas.

Ajustar el posicionamiento del chip cambiando el modelo inicial.

La curva de los canales debe ser más abierta para facilitar la limpieza después de la fabricación ya que si es muy cerrada como en el modelo inicial, además de su diminuto diámetro impide su limpieza.

Buscar otro conector para los cables, que no sea tan difícil de soldar.

Aportar una pieza de silicona para contribuir a la estanqueidad.

Valorar un cambio en la distribución de los piezoeléctricos con el que se mantenga el diseño del chip de microválvulas inicial.

## 4. 3 Líneas de desarrollo

El diseño inicial, al igual que el nuevo diseño, consta de numerosas piezas y cada una de ellas necesita de unos cambios particulares.

Por lo tanto, lo mejor es establecer una metodología por líneas de actuación. Más concretamente, estas líneas se van a establecer alrededor de las EDP's y mejoras generales, vistos en apartados anteriores.

Se determinan tres importantes:

- Incertidumbre piezos - pines

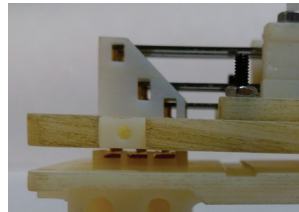


Figura 48 – Incertidumbre piezos-pines

- Alineación chip - pines

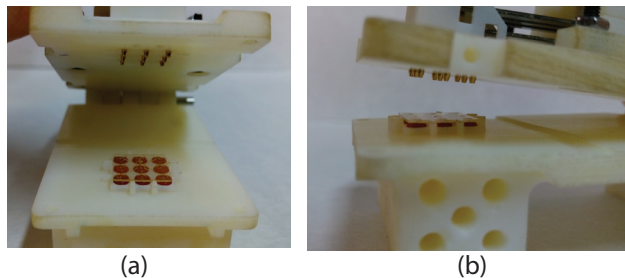


Figura 49 – Alineación chip-pines (a) Detalle chip-tóricas (b) Detalle pines

- Cierre del sistema

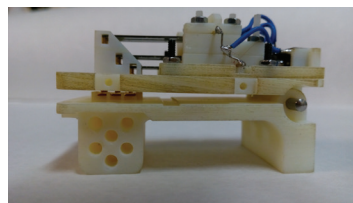


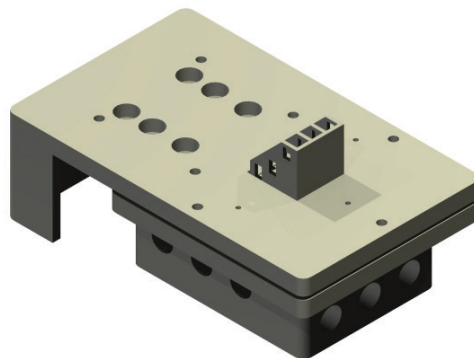
Figura 50 – Cierre del sistema

## 4. 4 Propuestas nuevo diseño

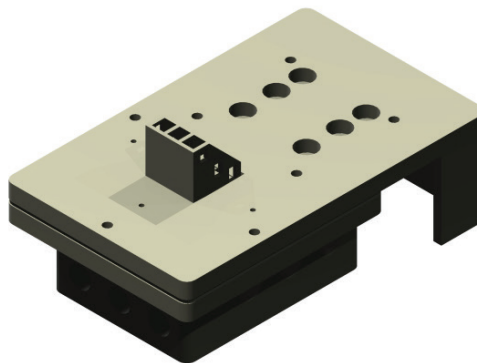
### 4.4.1 Propuesta Fase 1

Para esta primera fase solo se evalúa el rediseño de la plataforma inferior o Base Conectores Fluídicos y la plataforma superior o Base Unilat Contactor.

La idea inicial era realizar un primer prototipo en una primera fase, realizar pruebas y en base a ellas desarrollar otro definitivo más preciso.



(a)



(b)

Figura 51 – Vista isométrica (a) Delantera (b) Trasera



Reorganización de los canales en torno a las 3 caras exteriores de la pieza. En las siguientes imágenes se observa la distribución de los canales desde la planta posterior. Uno de los inconvenientes es la minuciosa limpieza después de la fabricación por prototipado rápido, ya que el recorrido se desarrolla en 3D y no 2D como sería ideal.

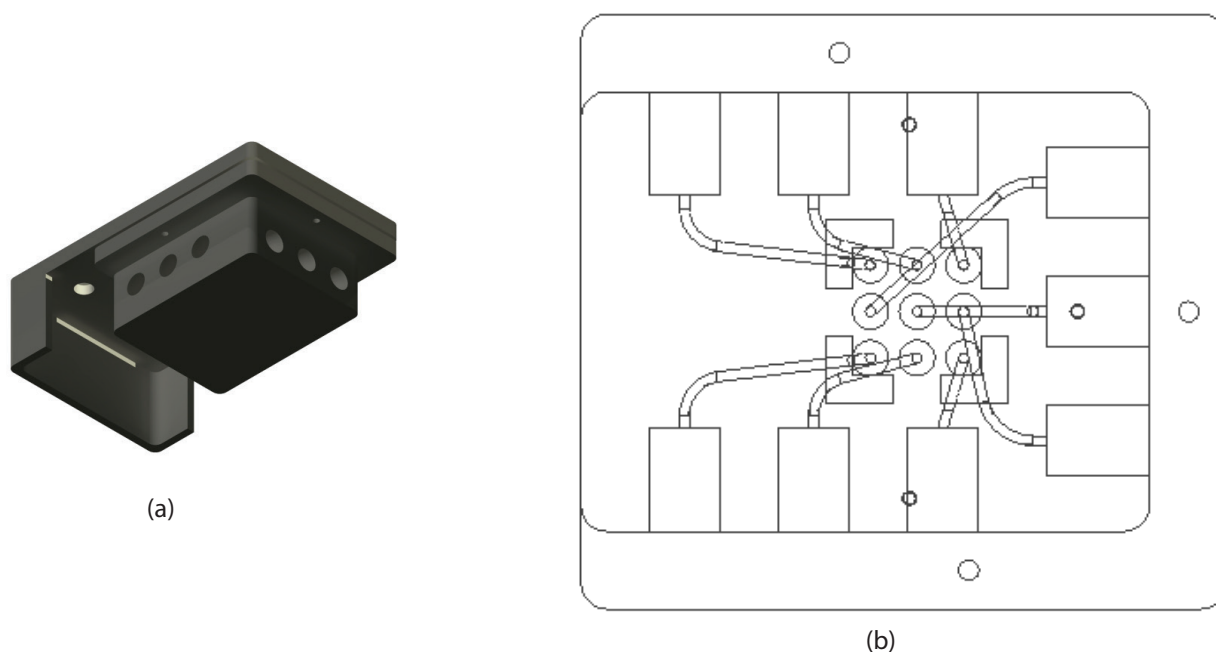


Figura 52 – Vista isométrica canales (a)Vista planta inferior (b) Distribución canales vista alámbrica

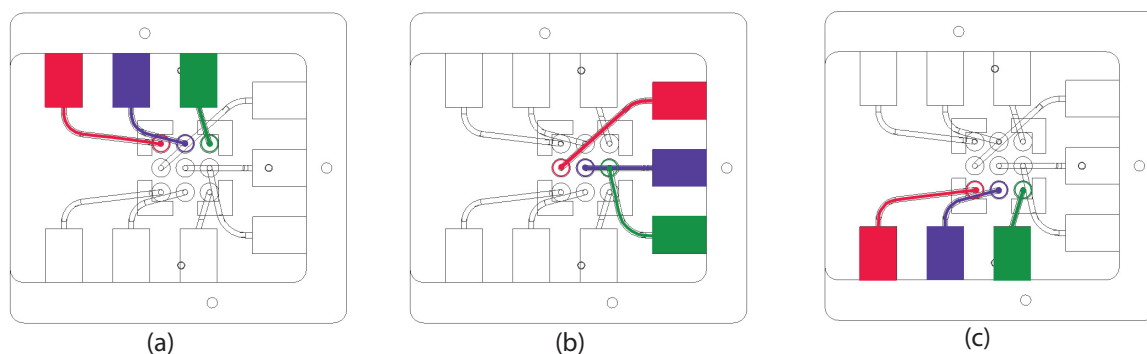


Figura 53 – Vista alámbrica recorrido canales (a) Laterales (b) Frontales (c) Laterales

Sustitución por otros conectores de mayor tamaño, más económicos y manejables. Lo que conlleva a un aumento de tamaño también del dispositivo.

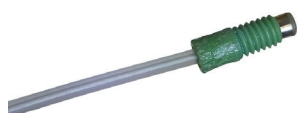


Figura 54 – Conector fluido inicial



Figura 55 – Nuevo conector fluido

Tóricas integradas en la plataforma inferior.

Posicionadores metálicos para la alineación de plataforma superior e inferior.

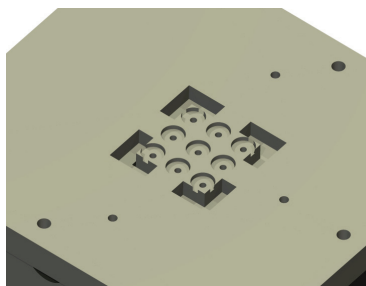


Figura 56 – Detalle alojamientos tóricas

Sustitución del cierre tipo bisagra por un apoyo independiente de la pieza superior, por lo que genera un cambio en la forma de montaje, más precisa y beneficiosa para evitar desviación del chip.

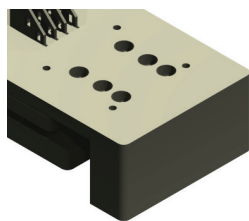


Figura 57 – Apoyo independiente

Posicionadores de mayor tamaño que los iniciales del mismo material que la pieza. El modo de montaje sería colocando el chip en la pieza Base Unilat Contactor y por otro lado, las juntas tóricas dispuestas en la Base Conectores Fluídicos. Estos cambios están directamente relacionados con la forma de ensamblaje de ambas piezas en cuestión, colocando la primera sobre la segunda verticalmente sin depender de un cierre de tipo bisagra.

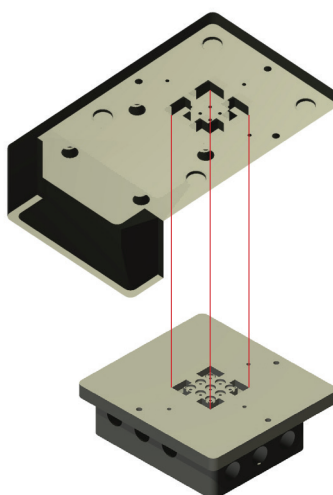


Figura 58 – Ensamblaje posicionadores

Después de analizar el prototipo en esta fase, se optó por seguir desarrollando el resto de piezas y realizar los ensayos con una propuesta más completa.

## 4.4.2 Propuesta fase 2

En esta fase los cambios se realizan en todas las piezas y por esta razón se van a enumerar por cada una de ellas, además de establecer diferentes colores para su comprensión y visualización.

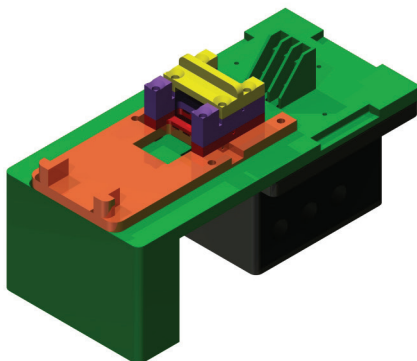


Figura 59 – Propuesta fase 2

Pieza: Base Unilat Contactor

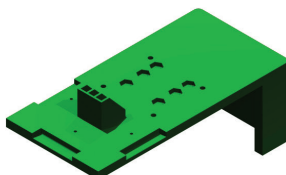


Figura 60 – Base Unilat Contactor

Se mantienen los alojamientos pasantes para posicionadores metálicos entre plataformas 1x12 mm



Figura 61 – Posicionador metálico plataformas

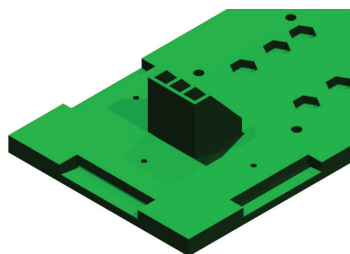


Figura 62 – Detalle alojamientos posicionador

Se deciden realizar alojamientos no pasantes para utilizarlos como posicionadores metálicos para el chip, cuyas bases son encajadas en esta pieza. Son un total 8, de tamaño 1x6 mm en la periferia del chip. El motivo de elegir integrar posicionadores de otro material, acero inoxidable y que no formen parte de la pieza es la tolerancia que ofrecen los distintos materiales y, por supuesto, su calidad superficial. Los posicionadores metálicos ofrecen precisión, tanto en su colocación como en su resistencia al desgaste durante el uso, al contrario que el material RGD 525, que no es tan preciso, tiene mayor amplitud de tolerancias y se puede romper tanto en su limpieza, antes del uso, como durante el mismo.



Figura 63 – Posicionador metálico chip

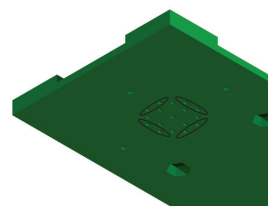


Figura 64 – Alojamientos posicionador chip

El objetivo final es conseguir una alineación lo más exacta posible para que coincidan los pines con las microválvulas y taponen perfectamente la entrada de fluido cuando convenga. Se hizo una prueba de alineación para poder ver lo que ocurriría cuando el chip se ponía al servicio de los pines. Se colocó lo más centrado posible el chip sobre los pines, invertir la forma de montaje para poder ver realmente cuál era el margen de error. En las imágenes siguientes se puede apreciar el experimento realizado con una lupa de aumento y su posterior manipulación con el software Adobe Photoshop para poder distinguir la ubicación de las microválvulas. Realmente se observa la dificultad para centrar las microválvulas sobre los pines

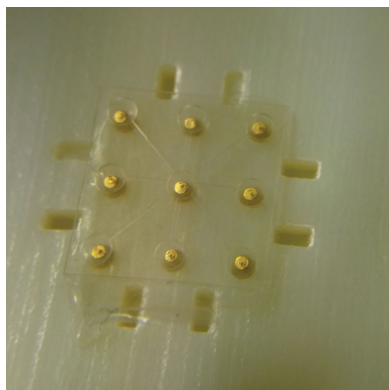


Figura 65 – Colocación microválvulas original

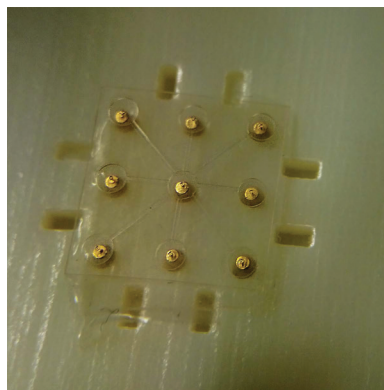


Figura 66 – Colocación microválvulas alto contraste

Alojamientos 1,6 mm para tuercas de tornillos M2x16 mm. Los agujeros de los tornillos no irán roscados, sino que unirán las distintas piezas intermedias a través de tuercas.

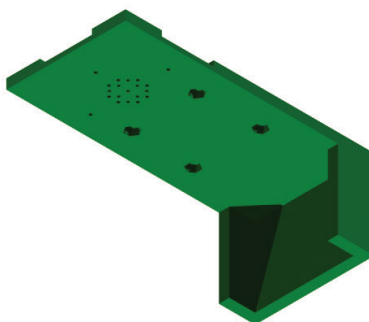


Figura 67 – Alojamiento tuercas

Huecos para poner hasta 3 pinzas para el cierre seguro y estanco del sistema.

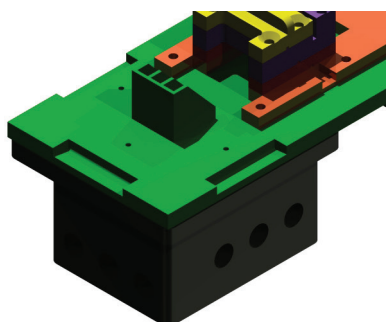


Figura 68 – Detalle pinzas

Pieza: Base Conectores Fluídicos

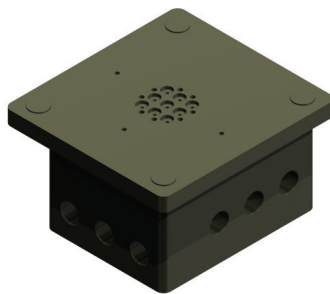


Figura 69 – Base Conectores Fluídicos

Aumento de altura a 30 mm para poder poner las pinzas sin interferir con conectores fluídicos

Topes de 0,3 mm en las esquinas, para evitar desequilibrios al poner las pinzas. Alojamiento tóricos au-



Figura 70 – Detalle topes

Separación entre plataformas es 0,4 mm, justo el espesor del chip para que los pines hagan presión y suban hacia arriba.

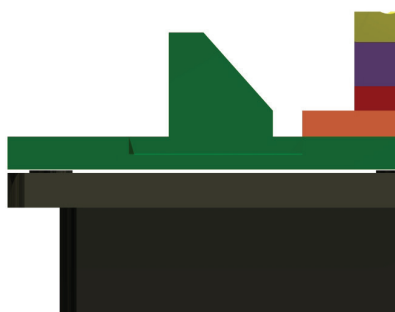
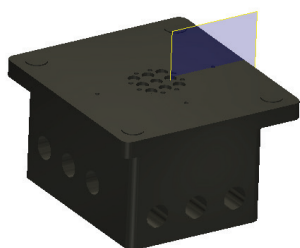


Figura 71 – Separación plataformas

Posicionadores plataformas encajados en esta parte



(a)



(b)

Figura 72 – Detalle plano posicionadores (a) Plano corte (b) Corte 180°

Pieza: Base Contactor Nivel 3

Aumento de longitud en 20 mm

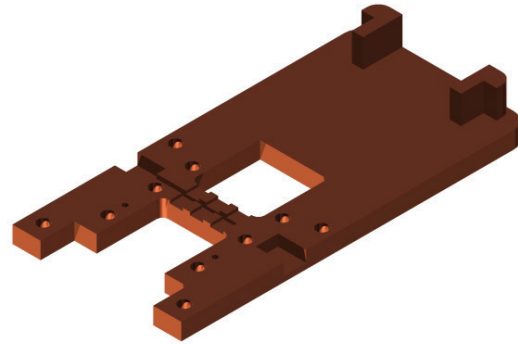


Figura 73 – Base Contactor Nivel 3

Pieza: Base Contactor Nivel 2

Sin modificaciones con respecto a la fase anterior

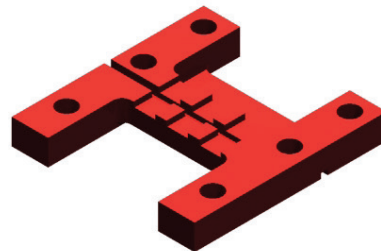


Figura 74 – Base Contactor Nivel 2

Pieza: Base Contactor Nivel 1

Alojamiento para cabeza avellanada de los tornillos

Aumentan de altura dos módulos para llegar a cubrir toda la longitud de los tornillos.

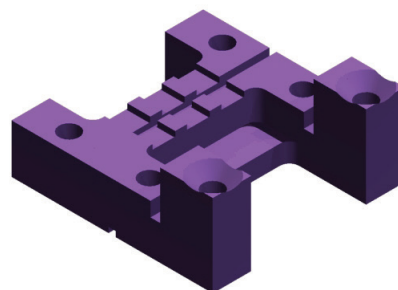


Figura 75 – Base Contactor Nivel 1

Pieza: Tapa Contactor

Aumenta de altura

Alojamiento para cabeza avellanada de los tornillos

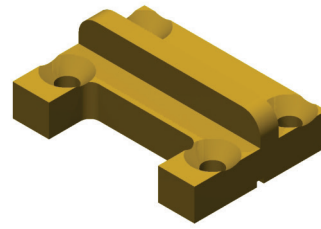


Figura 76 – Tapa Contactor



## 4.4.3 Propuesta fase 3

En esta fase del prototipo los cambios ya son mínimos y se aproximan a la propuesta definitiva.

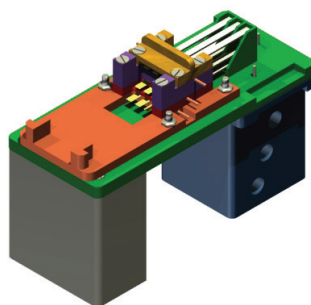


Figura 77 – Propuesta fase 3

En general es mucho más estrecho y más alto porque los canales se vuelven a distribuir de nuevos con los conectores elegidos, se ponen en escalera a los laterales y los canales frontales uno debajo de otro, de manera que se aprovecha mucho más el espacio y se utiliza menos material.

La pieza Base Unilat Contactor se divide en dos para una fabricación más eficiente. Para que las piezas no sean demasiado altas colocadas en la bandeja de la máquina, lo que requeriría numerosas capas y a su vez, multitud de pasadas del cabezal, se realiza entonces el apoyo independiente y se adapta con sus respectivos agujeros para luego ensamblarlo con tuercas y tornillos.

Los tornillos serían de cabeza avellanada para poder integrarlos en la pieza Base Unilat Contactor sin causar interferencia con las superiores.

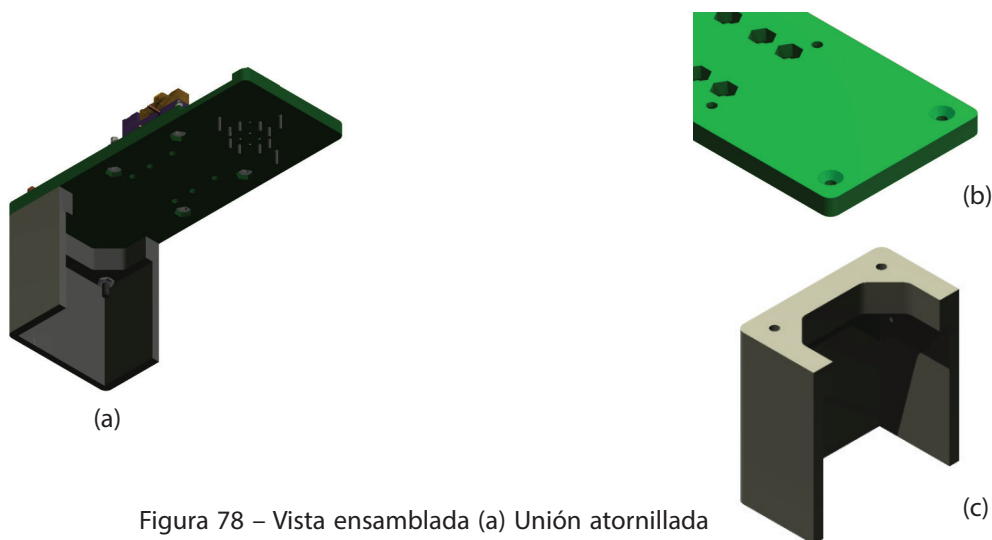


Figura 78 – Vista ensamblada (a) Unión atornillada  
(b) Alojamiento tornillos (c) Apoyo

Se valora la presencia de 3 pinzas en la fase anterior ya que puede causar flexión, concretamente por la presencia de la pinza en la zona frontal. Finalmente se decide dejar 2 pinzas que equilibren la presión en los laterales.

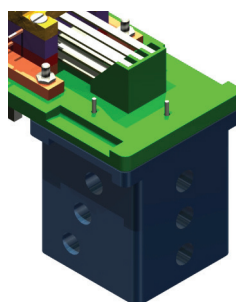


Figura 79 – Detalle hueco pinza

# FASE 5

## DISEÑO FINAL

## 5.1 Evolución

---

En un primer lugar se han prestado atención a los canales y las bases, porque eran decisivas en el funcionamiento, el problema de la interacción entre las partes fluidicas y eléctricas (pasador, chip, posicionadores). Por tiempo disponible para fabricar y porque el bloque eléctrico era suficiente para hacer las pruebas y solo había que replantearlos.

En un segundo lugar y como las conexiones eléctricas iban, en el rediseño del bloque de conexiones eléctricas se ha dejado para el final: soporte piezos, disposición conectores, cables)

Uno de los factores en los que se es fiel en cada fase de mejora es en el cambio de montaje del chip. En el modelo inicial se colocan las juntas tóricas y el chip sobre la pieza Base Conectores Fluídicos, pero con la sensibilidad a la desalineación que tiene esta propuesta se procede a otro modo de montaje. Por un lado, el chip sujeto previamente con una serie de posicionadores metálicos dispuestos en la cara interior de la pieza Base Unilat Contactor y por otro lado las juntas tóricas colocadas en la pieza Base Conectores Fluídicos.

La interferencia nominal establecida entre la cabeza de los pines y los piezos, es de 0.2 mm, lo que quiere decir que cuando esté todo el dispositivo ensamblado, los pines deben estar forzando los piezos una distancia de 0.2 mm, por encima de su altura de reposo. Este dimensionamiento debería garantizar el bloqueo de las microválvulas, pero sólo se puede averiguar con el método prueba-error. En vista de este inconveniente, se fabrica un mismo grupo de piezas en diferentes tolerancias que permitan ajustar a la medida más exacta posible la altura de los piezos.

## 5.2 Diseño final

La propuesta final sigue la línea del apartado, pero para averiguar la incertidumbre de interferencia entre los piezoeléctricos y los pines, lo más útil es aplicar el método prueba-error. Para optimizar esta prueba se trata de incidir sobre todo en 4 piezas fundamentales: Base Contactor Nivel 1, Base Contactor Nivel 2, Base Contactor Nivel 3 y Tapa Contactor Piezos. Lo más eficiente, dado el tiempo que hay que invertir para diseñar y fabricar la propuesta, es realizar varios grupos de tolerancias en torno a las piezas mencionadas y que durante el ensamblaje y posteriores pruebas de verificación se combinen para ajustar a la medida óptima.

Concretamente se diseña un primer grupo piezas de interferencia nominal, tomando como tal  $+0.2\text{ mm}$ , un segundo grupo con tolerancia  $+0.2\text{ mm}$  sobre la medida nominal y un tercer grupo con  $-0.2\text{ mm}$ , por debajo de la medida nominal.

La aportación de equilibrio a la plataforma, es gracias a los salientes, contribuyendo así a unas bases más grandes. Además, se generan agujeros en las bases de cada pieza, por si se necesitara más apoyo sobre otro soporte, al que sería atornillado el nuevo diseño.

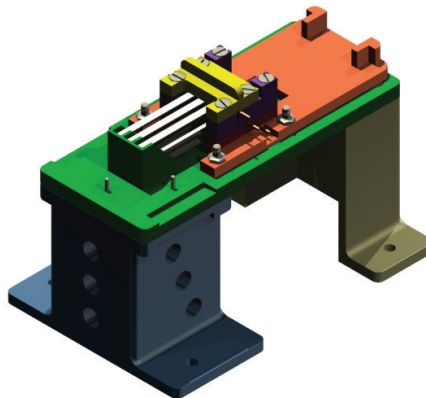


Figura 80 – Diseño final

Así como en el modelo inicial se describe un análisis de usuario y entorno, materiales y procesos, formal y funcional. En este nuevo diseño sólo se van a realizar los análisis que requieren un cambio en algún aspecto, concretamente el análisis de usuario sigue siendo el mismo, al igual que el análisis de materiales y procesos.

## 5.3 Análisis usuario y entorno

---

A pesar de la evolución del dispositivo el usuario objetivo sigue siendo el mismo que se describió en el modelo de partida. Se trata pues de una evolución para adaptar de la mejor forma posible los requerimientos a las necesidades de consumidor final.

## 5.4 Análisis formal

---

Formalmente las diferencias respecto al modelo anterior son notables.

En general es un conjunto alto y esbelto que se debe a las dimensiones de los nuevos conectores, ya que plantean una organización más eficiente, tanto para el manejo del usuario como para el ensamblaje.

Consigue su estabilidad agrandando las bases inferiores e incluso con la opción de poder generar un empotramiento a otra superficie mayor, mediante uniones atornilladas.

El conjunto conserva su simetría al igual que su versión inicial.

La distribución de canales es más ordenada e intuitiva y la zona donde se extiende los cables ha aumentado, para conseguir más área de trabajo durante su soldadura tanto al conector como a los pines, es una tarea tediosa.

## 5.5 Análisis funcional

---

A nivel funcional conserva los mismos aspectos, aunque en ocasiones se abordan de diferente manera. Es decir, el orden de montaje es exactamente el mismo que antes, únicamente cambia en los puntos descritos a continuación.

La alineación del chip con respecto a los pines se consigue con un total de ocho posicionadores internos. Todos ellos tangentes al contorno del chip, cuatro de ellos con una tolerancia más ajustada al chip y los otros cuatro con un mínimo juego. Esta organización contribuye a la perfecta sujeción del chip

El montaje cambia ya que el chip no se monta sobre el bloque fluidoico sino que los hace sobre el eléctrico. Consiguiendo mayor precisión y visualización directa de su posición con respecto a los pines.

En el caso del montaje del bloque eléctrico sobre el fluídico. Gracias a los posicionadores que facilitan la alineación, no sólo del chip con los pines, sino también de la plataforma superior con respecto a la inferior

## 5.6 Fabricación prototipo

El prototipo finalmente se fabrica con la tecnología de prototipado rápido descrita en un apartado anterior.

A continuación se pueden observar las imágenes del aspecto final, que se corresponde con la simulación generada con el software Autodesk Inventor 2015. Todas las piezas ensamblan tal y como se ha diseñado, incluso se realiza el montaje con todos los elementos normalizados como: posicionadores, juntas tóricas, pinzas, cables, piezoeléctricos, conector, tornillos y tuercas.

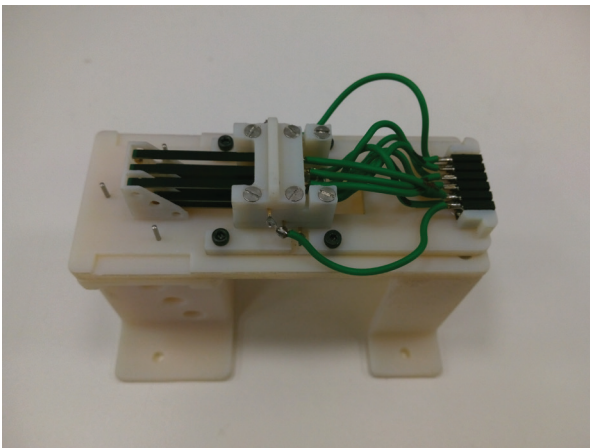


Figura 81 – Vista Prototipo final

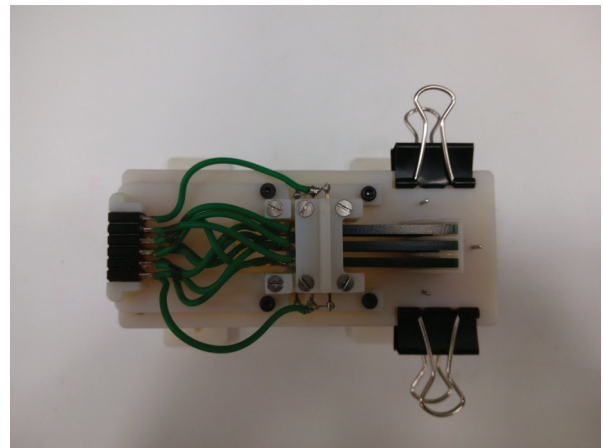


Figura 83 – Vista planta

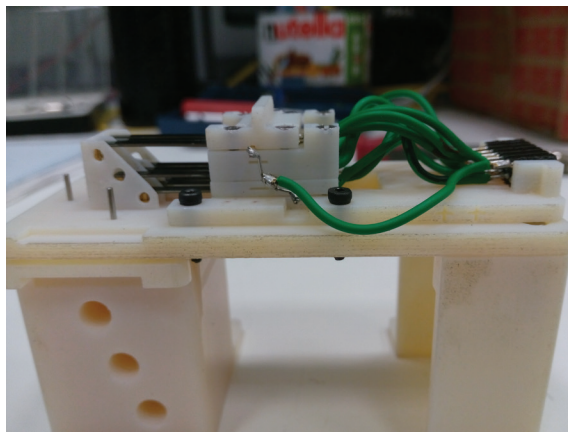


Figura 82 – Vista perfil

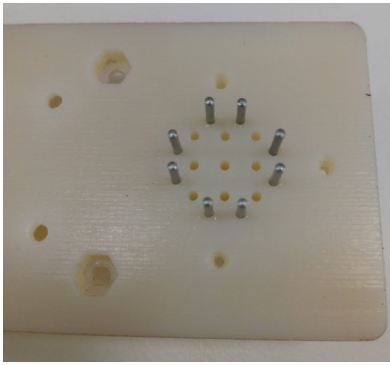


Figura 84 – Vista posicionadores chip

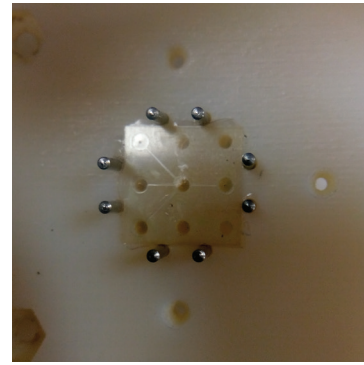


Figura 86 – Vista chip colocado

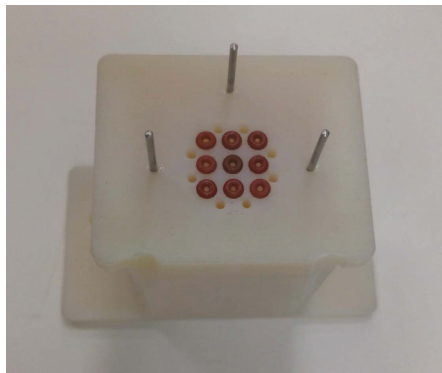


Figura 85 – Vista posicionadores plataforma

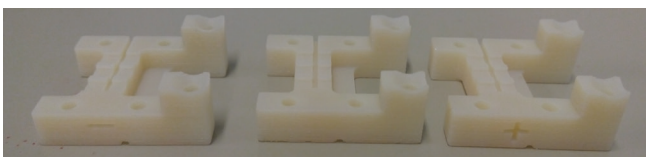


Figura 87 – Contactor Nivel 1 juego tolerancias



Figura 89 – Contactor Nivel 2 juego tolerancias

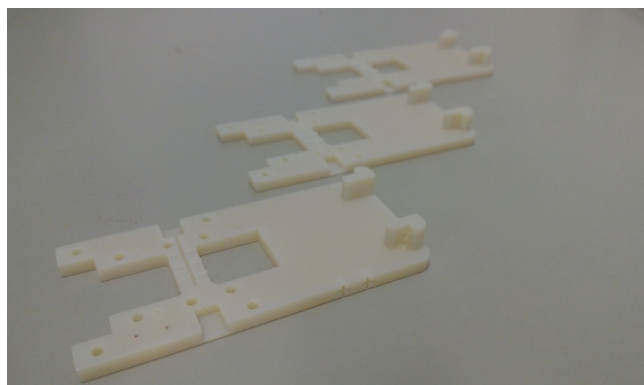


Figura 88 – Contactor Nivel 3 juego tolerancias



## 5.7 Caracterizaciones del sistema

En vista de los resultados satisfactorios de la fabricación del prototipo, se procede a realizar una serie de caracterizaciones para la comprobación final de las mejoras con respecto al modelo inicial.

El objetivo de estas caracterizaciones es obtener valores de presión con los que es bloqueada la microválvula seleccionada y de esta manera recoger el caudal vertido por el sistema en un tiempo estimado, concretamente un minuto.

El sistema se monta con el equipo de presión, pero en lugar de colocar un contenedor de residuos a la salida de la microválvula, se coloca un *ependorf*.

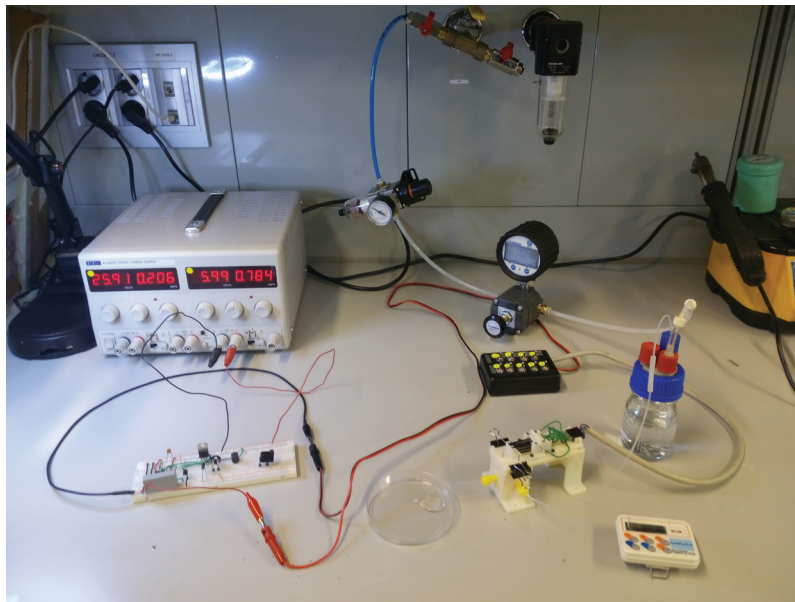


Figura 89 – Montaje sistema nuevo caracterización



Figura 90 – Ependorf

El método a seguir es utilizando un recipiente llamado ependorf, que previamente será pesado vacío y se volverá a tomar su peso una vez recogido el caudal. Siempre se procurará utilizar el mismo *ependorf* ya que hay pequeñas variaciones de peso entre ellos, por el margen de error en su fabricación, y que puede afectar directamente en la medida a recoger.

El momento en el que se toma el caudal debe ser a flujo constante y nunca después de abrir o cerrar la válvula, ya que en el tiempo en el que la válvula abre, el flujo tarda en adquirir y mantener su caudal.

Para medir el tiempo se utiliza un *timer* y se activa la cuenta atrás. En el momento que da el aviso se retira el *ependorf*.

| P= 0.1744 bar    P <sub>eppendorf vacío</sub> = 903 µl    t= 1 min |        |                |           |
|--|--------|----------------|-----------|
| medida 1   | 907 µl | Q <sub>1</sub> | 4 µl/min  |
| medida 2   | 907 µl | Q <sub>2</sub> | 4 µl/min  |
| medida 3   | 908 µl | Q <sub>3</sub> | 5 µl/min  |
| medida 4   | 914 µl | Q <sub>4</sub> | 11 µl/min |

Tabla 1 - 0.1744 bar

| P= 0.2675 bar    P <sub>eppendorf vacío</sub> = 903 µl    t= 1 min |         |                |            |
|--|---------|----------------|------------|
| medida 1   | 1486 µl | Q <sub>1</sub> | 583 µl/min |
| medida 2   | 1524 µl | Q <sub>2</sub> | 621 µl/min |
| medida 3   | 1529 µl | Q <sub>3</sub> | 626 µl/min |
| medida 4   | 1595 µl | Q <sub>4</sub> | 692 µl/min |

Tabla 2 - 0.2675 bar

En las siguientes tablas, dado su elevado caudal consecuente de la alta presión, se necesita un recipiente mayor y se selecciona un contenedor de borosilicato.

| P= 0.4155 bar    P <sub>eppendorf vacío</sub> = 18806 µl    t= 1 min |          |                |             |
|--|----------|----------------|-------------|
| medida 1   | 20925 µl | Q <sub>1</sub> | 2119 µl/min |
| medida 2   | 20869 µl | Q <sub>2</sub> | 2063 µl/min |
| medida 3   | 20935 µl | Q <sub>3</sub> | 2129 µl/min |
| medida 4   | 20919 µl | Q <sub>4</sub> | 2113 µl/min |

Tabla 3 - 0.2675 bar

| P= 0.5441 bar    P <sub>eppendorf vacío</sub> = 18806 µl    t= 1 min |          |                |             |
|--|----------|----------------|-------------|
| medida 1   | 22070 µl | Q <sub>1</sub> | 3264 µl/min |
| medida 2   | 22057 µl | Q <sub>2</sub> | 3251 µl/min |
| medida 3   | 22061 µl | Q <sub>3</sub> | 3255 µl/min |
| medida 4   | 22035 µl | Q <sub>4</sub> | 3229 µl/min |

Tabla 4 - 0.5441 bar

Dada la aplicación a la que se destina este sistema de microválvulas, la microfluídica, los valores que más interesan son los de menores presiones ya que aportan un caudal alrededor de 10  $\mu\text{l}/\text{min}$ , que es el valor con el que se suele trabajar en este ámbito.

Los valores más altos de presión pueden ser para aplicaciones de otros ámbitos, de ahí la versatilidad del nuevo prototipo diseñado.

Por motivos de falta de tiempo, sólo se llegaron a tomar medidas de las presiones de cierre mencionadas en las tablas, pero realmente se comprobó que el sistema llega a cerrar las microválvulas con una presión de 0,9 bar.

## 5. 8 Conclusiones

---

Como valoración del diseño final, se ha adaptado a todos los aspectos exigidos. Desde unas dimensiones lo más compactas posibles, intentando mantener aspectos prefijados desde el principio como es el diseño del chip, el cuál, condiciona toda la arquitectura de la estructura.

Prever la reacción ante potenciales problemas, con el modelado de dos grupos de tolerancias positiva y negativa sobre la nominal y su posterior combinación durante las pruebas.

Además, las tolerancias se han tenido muy en cuenta de cara a la fabricación y su precisión de 50 micras. Teniendo en cuenta el entorno microfluídico, cualquier distancia por ínfima que sea repercute en las medidas, por lo que se tuvo especial cuidado para que todo se ensamblase correctamente.

La fijación de su estabilidad con el objeto de mejorar la seguridad del prototipo de cara al usuario y también, el cambio en la situación de uso que le permite prestar atención completa al experimento y observar todo lo que ocurre.

El progreso abordado durante todo el proyecto, permite un acercamiento a la versión del producto industrial. Con ayuda de los ajustes sugeridos y la nueva configuración, se estudian todos los cambios posibles y sus consecuencias en un entorno de uso real.

La ejecución de los experimentos en un entorno de las mismas condiciones al real, es un punto a favor en todos los aspectos que repercuten al contexto del diseño.

El hecho de que se utilice un mismo tornillo para fijar los 3 niveles de piezoeléctricos no permite controlar su posición, por lo que el nivel más bajo es el que queda más ajustado y los dos superiores quedan más libres, el motivo es su posición y de ahí el peso que soporta, ambos hacen que quede más . De cada a futuros desarrollos sería ideal poder ajustar cada nivel independientemente de los otros.

# ANEXO B

## ESTUDIO MECÁNICO

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| 1 Introducción                                       | 3  |
| 2 Descripción del modelo                             | 3  |
| 2 . 1 Descripción de mecanismos                      | 3  |
| 2 . 2 Materiales a emplear con propiedades mecánicas | 4  |
| 2 . 3 Planteamiento del problema                     | 5  |
| 3 Cálculos y Resultados                              | 7  |
| 4 Conclusiones                                       | 11 |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Prototipo sistema microválvulas  | 4  |
| Figura 2 – Especificaciones RDG 525         | 5  |
| Figura 4 – Valores material símil RGD 525   | 6  |
| Figura 3 – Síntesis modelo                  | 6  |
| Figura 5 – Cargas y empotramientos          | 6  |
| Figura 6 – Malla                            | 7  |
| Figura 7 – Resultados caso 1                | 8  |
| Figura 8 – Materiales caso 1                | 8  |
| Figura 10 – Primera tensión caso 1          | 8  |
| Figura 11 – Tercera tensión caso 1          | 8  |
| Figura 9 – Propiedades físicas caso 1       | 8  |
| Figura 12 – Coeficiente seguridad caso 1    | 9  |
| Figura 13 – Tensión de Von Mises caso 1     | 9  |
| Figura 14 – Resultados caso 2               | 10 |
| Figura 15 – Materiales caso 2               | 10 |
| Figura 17 – Primera tensión caso 2          | 10 |
| Figura 18 – Tercera tensión caso 2          | 10 |
| Figura 16 – Propiedades físicas caso 2      | 10 |
| Figura 19 – Coeficiente de seguridad caso 2 | 11 |
| Figura 20 – Tensión de Von Mises caso 2     | 11 |



# 1 Introducción

---

El objetivo del estudio mecánico del dispositivo consiste en evaluar la resistencia mecánica de la propia estructura para conocer sus límites. Asegurar que durante su uso se mantiene en equilibrio y que es capaz de soportar los esfuerzos a los que es sometido.

El método utilizado es evaluar las cargas aplicadas en casos extremos con el programa Autodesk Inventor 2015, de tal forma que si resiste los casos más desfavorables quiere decir que el resto de casos también es capaz de soportarlos.

Los factores a tener en cuenta son el peso real del prototipo, el módulo de Young y la densidad del material. Se hace referencia al peso real y no al peso estimado por el software, porque la fabricación por prototipado rápido condiciona la densidad de material.

Se establecen dos casos extremos para la evaluación de las cargas y en cada uno de ellos se evalúa la tensión Von Mises, los puntos de concentración máxima de tensiones, el coeficiente de seguridad en los puntos de concentración máxima de tensiones y coeficiente de seguridad general.

## 2 Descripción del modelo

---

### 2.1 Descripción de mecanismos

---

El modelo que ocupa el siguiente estudio, está formado por dos bloques funcionales bien diferenciados, por un lado un bloque fluidoico y por otro un bloque de conexiones eléctricas.

En general se trata de una estructura con dos apoyos principales sobre la superficie de uso, una mesa, un apoyo y se podría decir el principal, que se corresponde con el bloque fluidoico, concretamente la pieza "" y el otro apoyo se correspondería con el bloque de conexiones eléctricas.

No posee en sí mismo ningún mecanismo, pero sí agentes externos que actúan sobre el mismo y generan una serie de reacciones a evaluar. La unión entre ambos bloques depende de la presión ejercida por dos pinzas de papelería colocadas a ambos lados del dispositivo. Teniendo en cuenta que se trata de un prototipo se eligió esta solución porque era una forma útil y barata de ejercer y controlar siempre la misma cantidad de presión, factor a tener muy en cuenta ya que de lo contrario, el hecho de ejercer diversas presiones condicionaría la funcionalidad. Otro agente externo que actúa sobre el dispositivo son los conectores fluidoicos y la fuerza que ejerce el fluido cuando circula por los mismos.

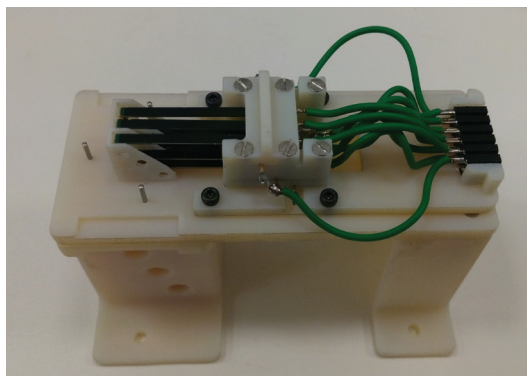


Figura 1 – Prototipo sistema microválvulas

## 2.2 Materiales a emplear con propiedades mecánicas

Los materiales seleccionados para fabricar el nuevo prototipo deben caracterizarse por ofrecer resistencia a tracción, aislante de la electricidad, resistente a la temperatura y duro.

En este caso, las piezas no normalizadas destinadas a fabricar se realizan por un proceso de prototipado rápido y todas en el mismo material, RGD 525, propio de la casa Stratasys para fabricación de tecnología PolyJet.

| High Temperature Material (RGD525)                         |                     |                   |           |            |                 |
|--|---------------------|-------------------|-----------|------------|-----------------|
|  | ASTM                | Units             | Metric    | Units      | Imperial        |
| Tensile strength   | D-638-03            | MPa               | 70-80     | psi        | 10,000-11,500   |
| Elongation at break  | D-638-05            | %                 | 10-15     | %          | 10-15           |
| Modulus of elasticity                                      | D-638-04            | MPa               | 3200-3500 | psi        | 465,000-510,000 |
| Flexural Strength  | D-790-03            | MPa               | 110-130   | psi        | 16,000-19,000   |
| Flexural Modulus   | D-790-04            | MPa               | 3100-3500 | psi        | 450,000-510,000 |
| HDT, °C @ 0.45MPa  | D-648-06            | °C                | 63-67     | °F         | 145-163         |
| HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure A | D-648-06            | °C                | 75-80     | °F         | 167-176         |
| HDT, °C @ 1.82MPa  | D-648-07            | °C                | 55-57     | °F         | 131-135         |
| Izod Notched Impact  | D-256-06            | J/m               | 14-16     | ft lb/inch | 0.262-0.300     |
| Water Absorption, %  | D-570-98 24hr       | %                 | 1.2-1.4   | %          | 1.2-1.4         |
| Tg   | DMA, E <sub>9</sub> | °C                | 62-65     | °F         | 144-149         |
| Shore Hardness D   | Scale D             | Scale D           | 87-88     | Scale D    | 87-88           |
| Rockwell Hardness  | Scale M             | Scale M           | 78-83     | Scale M    | 78-83           |
| Polymerized density  | ASTM D792           | g/cm <sup>3</sup> | 1.17-1.18 |            |                 |
| Ash content  | USP281              | %                 | 0.38-0.42 | %          | 0.38-0.42       |

Figura 2 – Especificaciones RDG 525

Los datos necesarios para abordar el estudio del propio material son el módulo de Young o elasticidad, coeficiente de Poisson

El análisis será realizado con el programa Autodesk Inventor 2015 con el fin de obtener valores para unas propiedades determinadas, que garantizarán la resistencia de la estructura. Las mediciones se resolverán alrededor de la Tensión de Von Mises para averiguar la máxima tensión admisible del material sin deformaciones permanentes (MPa), cuyo valor debe ser menor que la tensión máxima admisible del material, zonas de concentración de tensiones como áreas más sensibles y con mayor riesgo a deformación o rotura de toda la estructura, coeficiente de seguridad en esa zona concreta y coeficiente seguridad de toda la plataforma para que no plastifique.

## 2.3 Planteamiento del problema

El dispositivo no ejerce más movimiento que el de su configuración electrónica, por lo que en definitiva es estático y sólo se va a analizar la resistencia de la estructura que lo compone.

En primer lugar se debe preparar el modelo, concretamente el archivo del ensamblaje, evitando cualquier elemento externo que distorsione las medidas reales. Se sintetiza el modelo en sólo tres piezas, Base Conectores Fluídicos, Pata Base y Base Contactor, que son las que soportan todo el peso y se eliminan también todos los elementos normalizados.

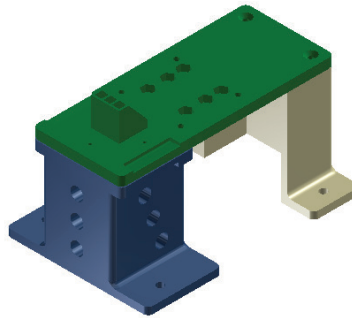


Figura 3 – Síntesis modelo

En segundo lugar se configura el material de cada una de ellas, en este caso RGD 525, pero al no estar registrado en el software utilizado, se selecciona un material predeterminado del software de características similares al real, el motivo es que para el análisis buscado sólo se necesitan ciertos valores del material, pero el programa para ejecutar ciertas operaciones internas necesita de otros que a priori no parece necesario introducirlos.

|                    |   |                        |
|--------------------|---|------------------------|
| Nombre             | Nilón, bisulfuro de molibdeno   |                        |
| General            | Densidad de masa  | 1,13 g/cm <sup>3</sup> |
|                    | Límite de elasticidad   | 82,75 MPa              |
|                    | Resistencia máxima a tracción   | 82,68 MPa              |
| Tensión            | Módulo de Young   | 2,93 GPa               |
|                    | Coefficiente de Poisson   | 0,35 su                |
|                    | Módulo cortante   | 1,08519 GPa            |
| Nombre(s) de pieza | F4 BaseContactor.ipt<br>F4 BaseContactorNivel1_Proto_GoldPins.ipt<br>F4 BaseConectoresFluídicos.ipt<br>F4 Pata Base Contactor.ipt |                        |

Figura 4 – Valores material símil RGD 525

La estructura debe tener ubicados los empotramientos (en los agujeros de las bases de las piezas que apoyan en la superficie de trabajo) y cargas puntuales (equivalente a la fuerza que hace el conector fluídico, es decir,  $F=m \cdot g = 1.186 \cdot 10^{-3} \times 9.8 = 0.012\text{N}$ ) según en las zonas que correspondan.

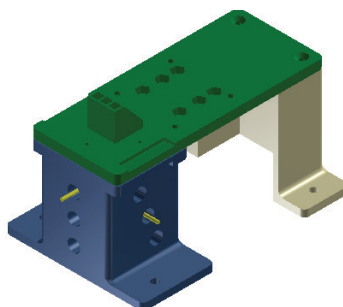


Figura 5 – Cargas y empotramientos

El siguiente paso es configurar la malla, a priori se selecciona una malla genérica y en función de la desviación de los resultados de un régimen normal se aplicarán mallas en zonas puntuales para afinar los valores.

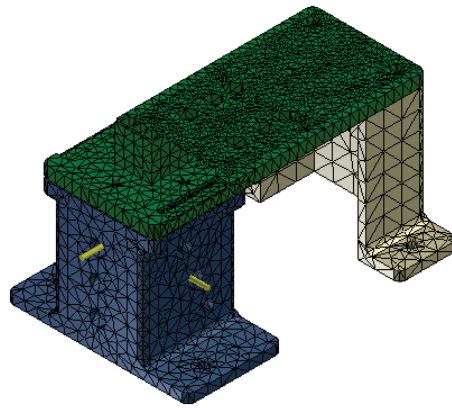


Figura 6 – Malla

Por último se establece un protocolo de actuación con dos casos diferentes. En el caso 1 analizar el comportamiento de la estructura y en el caso 2 su comportamiento, con la aplicación de cargas puntuales que representen una situación real de uso, es decir, la fuerza que realiza el conector de entrada de nutriente por un lado y su salida por el otro lado y a diferente altura, también se tiene en cuenta la fuerza que genera el líquida y se suma a la del conector

## 3 Cálculos y Resultados

### CASO 1:

Sin ninguna fuerza aplicada para comprobar que la plataforma de verdad está en equilibrio por sí sola.

### RESULTADOS

| Nombre                    | Mínimo                  | Máximo |
|---------------------------|-------------------------|--------|
| Volumen                   | 66987,6 mm <sup>3</sup> |        |
| Masa                      | 0,0756959 kg            |        |
| Tensión de Von Mises      | 0 MPa                   | 0 MPa  |
| Primera tensión principal | 0 MPa                   | 0 MPa  |
| Tercera tensión principal | 0 MPa                   | 0 MPa  |
| Desplazamiento            | 0 mm                    | 0 mm   |
| Coefficiente de seguridad | 15 su                   | 15 su  |

Figura 7 – Resultados caso 1

### Materiales

|                    |   |                        |
|--------------------|---|------------------------|
| Nombre             | Nilón, bisulfuro de molibdeno   |                        |
| General            | Densidad de masa  | 1,13 g/cm <sup>3</sup> |
|                    | Límite de elasticidad   | 82,75 MPa              |
|                    | Resistencia máxima a tracción   | 82,68 MPa              |
| Tensión            | Módulo de Young   | 2,93 GPa               |
|                    | Coefficiente de Poisson   | 0,35 su                |
|                    | Módulo cortante   | 1,08519 GPa            |
| Nombre(s) de pieza | F4 BaseContactor.ipt<br>F4 BaseContactorNivel1_Proto_GoldPins.ipt<br>F4 BaseConectoresFluídicos.ipt<br>F4 Pata Base Contactor.ipt |                        |

Figura 8 – Materiales caso 1

### Propiedades físicas modelo de estudio

|                    |   |
|--------------------|---|
| Masa               | 0,0785487 kg                                  |
| Área               | 36287 mm <sup>2</sup>                         |
| Volumen            | 69512,2 mm <sup>3</sup>                       |
| Centro de gravedad | x=-7,51919 mm<br>y=-2,21871 mm<br>z=10,622 mm |

Figura 9 – Propiedades físicas caso 1

En qué zona se concentra las tensiones mínima (primera tensión principal) y máxima (tercera tensión principal)

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Primera tensión principal  
Unidad: MPa  
16/09/2015, 1:21:49

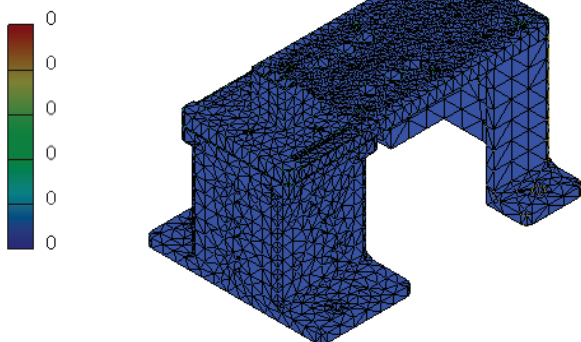


Figura 10 – Primera tensión caso 1

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Tercera tensión principal  
Unidad: MPa  
16/09/2015, 1:21:49

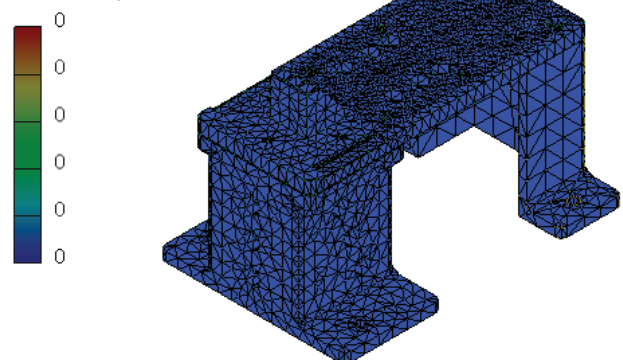


Figura 11 – Tercera tensión caso 1



## Coeficiente seguridad (rango para que no plastifique)

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Coeficiente de seguridad  
Unidad: ul  
16/09/2015, 1:21:50

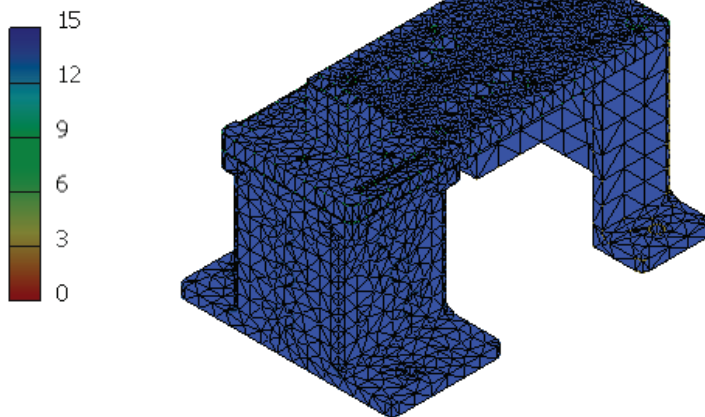


Figura 12 – Coeficiente seguridad caso 1

## Tensión de Von Mises - Máxima tensión admisible (MPa)

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Tensión de Von Mises  
Unidad: MPa  
16/09/2015, 1:21:49

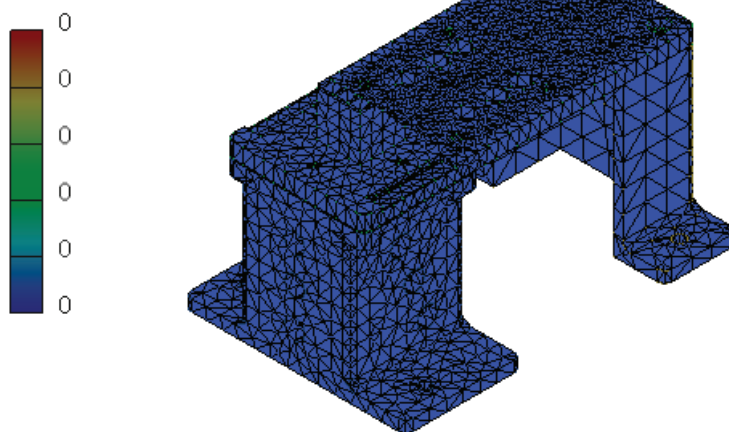


Figura 13 – Tensión de Von Mises caso 1

## CASO 2:

Fuerzas aplicadas descompensadas (unos conectores conectados y otros no, recreando una situación de uso)

## RESULTADOS

| Nombre                    | Mínimo                  | Máximo           |
|---------------------------|-------------------------|------------------|
| Volumen                   | 66987,6 mm <sup>3</sup> |                  |
| Masa                      | 0,0756959 kg            |                  |
| Tensión de Von Mises      | 0 MPa                   | 0,000673336 MPa  |
| Primera tensión principal | -0,000463204 MPa        | 0,000606671 MPa  |
| Tercera tensión principal | -0,000917691 MPa        | 0,000103386 MPa  |
| Desplazamiento            | 0 mm                    | 0,00000142374 mm |
| Coefficiente de seguridad | 15 su                   | 15 su            |

Figura 14 – Resultados caso 2

## Materiales

|                    |   |                        |
|--------------------|---|------------------------|
| Nombre             | Nilón, bisulfuro de molibdeno   |                        |
| General            | Densidad de masa  | 1,13 g/cm <sup>3</sup> |
|                    | Límite de elasticidad   | 82,75 MPa              |
|                    | Resistencia máxima a tracción   | 82,68 MPa              |
| Tensión            | Módulo de Young   | 2,93 GPa               |
|                    | Coefficiente de Poisson   | 0,35 su                |
|                    | Módulo cortante   | 1,08519 GPa            |
| Nombre(s) de pieza | F4 BaseContactor.ipt<br>F4 BaseContactorNivel1_Proto_GoldPins.ipt<br>F4 BaseConectoresFluídicos.ipt<br>F4 Pata Base Contactor.ipt |                        |

Figura 15 – Materiales caso 2

## Propiedades físicas modelo de estudio

|                    |   |
|--------------------|---|
| Masa               | 0,0785487 kg                                  |
| Área               | 36287 mm <sup>2</sup>                         |
| Volumen            | 69512,2 mm <sup>3</sup>                       |
| Centro de gravedad | x=-7,51919 mm<br>y=-2,21871 mm<br>z=10,622 mm |

Figura 16 – Propiedades físicas caso 2

En qué zona se concentra las tensiones mínima (primera tensión principal) y máxima (tercera tensión principal)

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Primera tensión principal  
Unidad: MPa  
16/09/2015, 0:56:12  
6,067e-004 Máx.

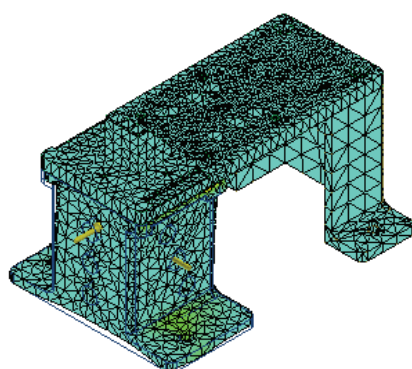
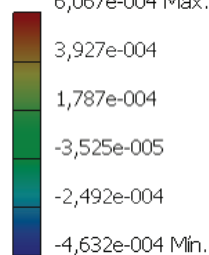


Figura 17 – Primera tensión caso 2

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Tercera tensión principal  
Unidad: MPa  
16/09/2015, 0:56:13  
1,034e-004 Máx.

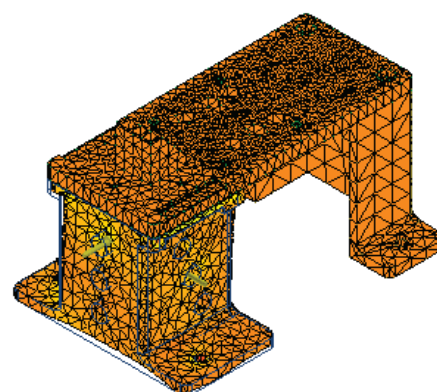
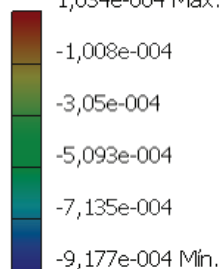


Figura 18 – Tercera tensión caso 2

## Coeficiente seguridad (rango para que no plastifique)

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Coeficiente de seguridad  
Unidad: ul  
16/09/2015, 0:56:13

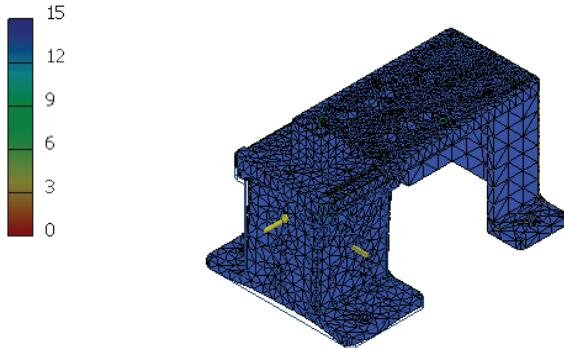


Figura 19 – Coeficiente de seguridad caso 2

## Tensión de Von Mises - Máxima tensión admisible (MPa)

Nodos:209363  
Elementos:140614  
Tipo: Desplazamiento  
Unidad: mm  
16/09/2015, 0:56:13  
1,424e-006 Máx.

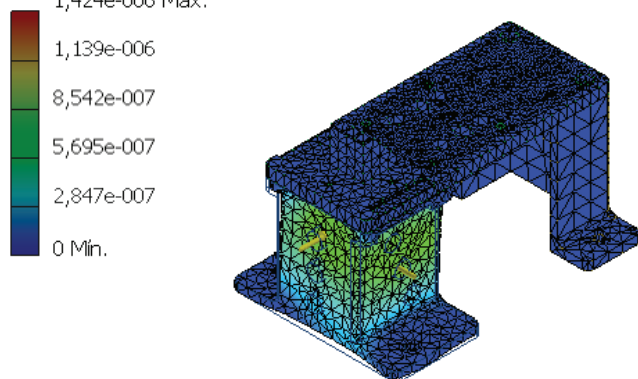


Figura 20 – Tensión de Von Mises caso 2



## ■ 4 Conclusiones

---

Después de realizar el análisis mecánico y teniendo en cuenta las favorables condiciones iniciales del prototipo, los resultados han sido positivos.

Se han obtenido en ambos casos unos altísimos coeficientes de seguridad y unas escasas tensiones de Von Mises debido a las bajas fuerzas que se implementan en sólido, la propia geometría del mismo proporciona la estabilidad necesaria para conseguir el equilibrio a pesar de las cargas aplicadas.

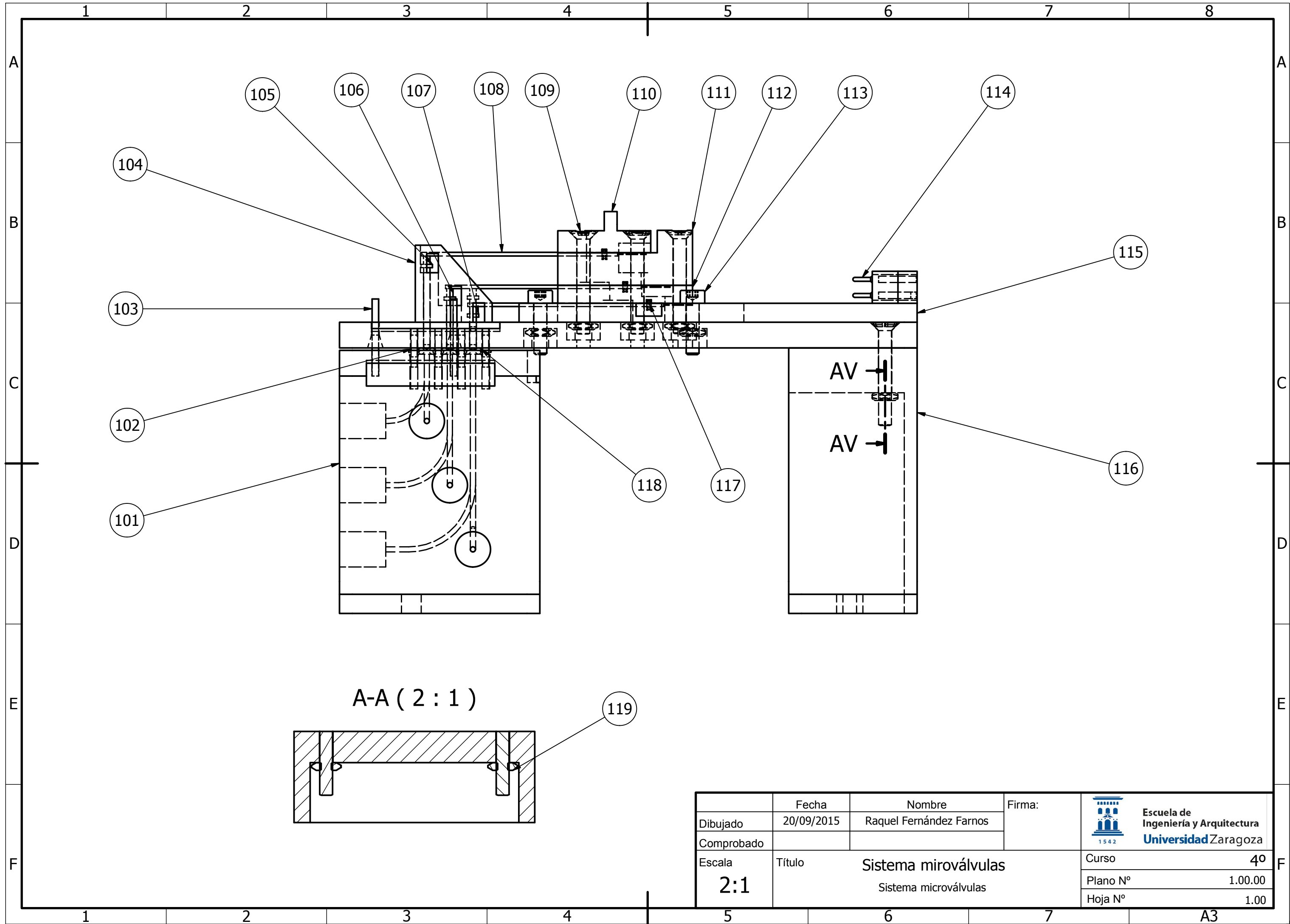
Es necesario seguir un protocolo de actuación como el que se ha desarrollado y tener claros los términos para estudiar correctamente la situación.

# ANEXO C

## PLANOS TÉCNICOS

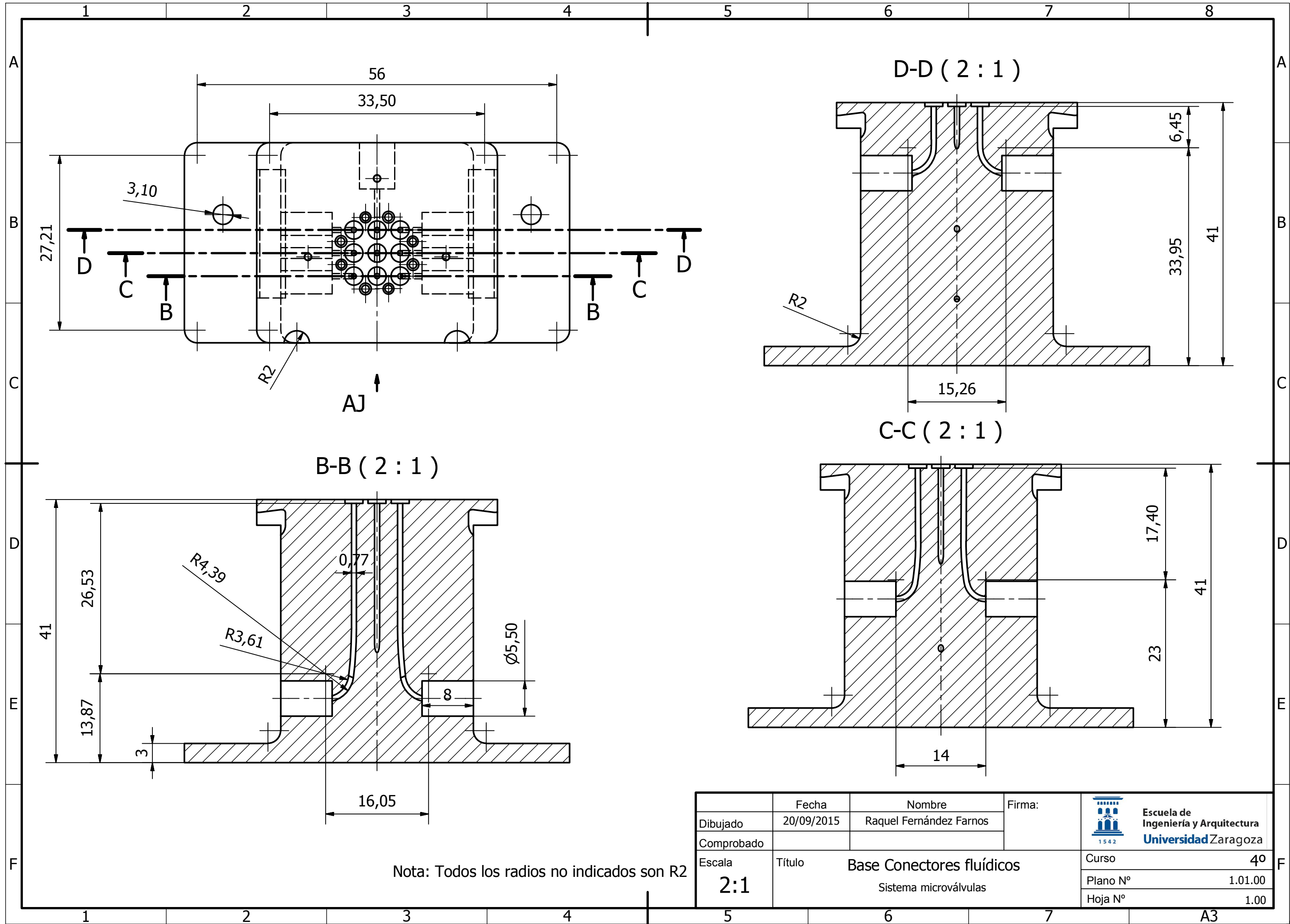
# ÍNDICE DE PLANOS

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1.00.00 Sistema microválvulas     | 3  |
| 1.00.00 Lista elementos           | 4  |
| 1.01.00 Base Conectores Fluídicos | 5  |
| 1.04.00 Base Contactor            | 7  |
| 1.12.00 Base Contactor Nivel 2    | 8  |
| 1.11.00 Base Contactor Nivel 3    | 9  |
| 1.10.00 Tapa Contactor Piezos     | 10 |
| 1.15.00 Base Contactor Nivel 1    | 11 |
| 1.16.00 Pata Base Contactor       | 12 |
| 2.00.00 Grupo Tolerancia Negativa | 13 |
| 2.01.00 Contactor Nivel 1 -0.2    | 14 |
| 2.02.00 Contactor Nivel 2 -0.2    | 15 |
| 2.03.00 Contactor Nivel 3 -0.2    | 16 |
| 3.00.00 Grupo Tolerancia Positiva | 17 |
| 3.01.00 Contactor Nivel 1 +0.2    | 18 |
| 3.02.00 Contactor Nivel 2 +0.2    | 19 |
| 3.03.00 Contactor Nivel 3 +0.2    | 20 |




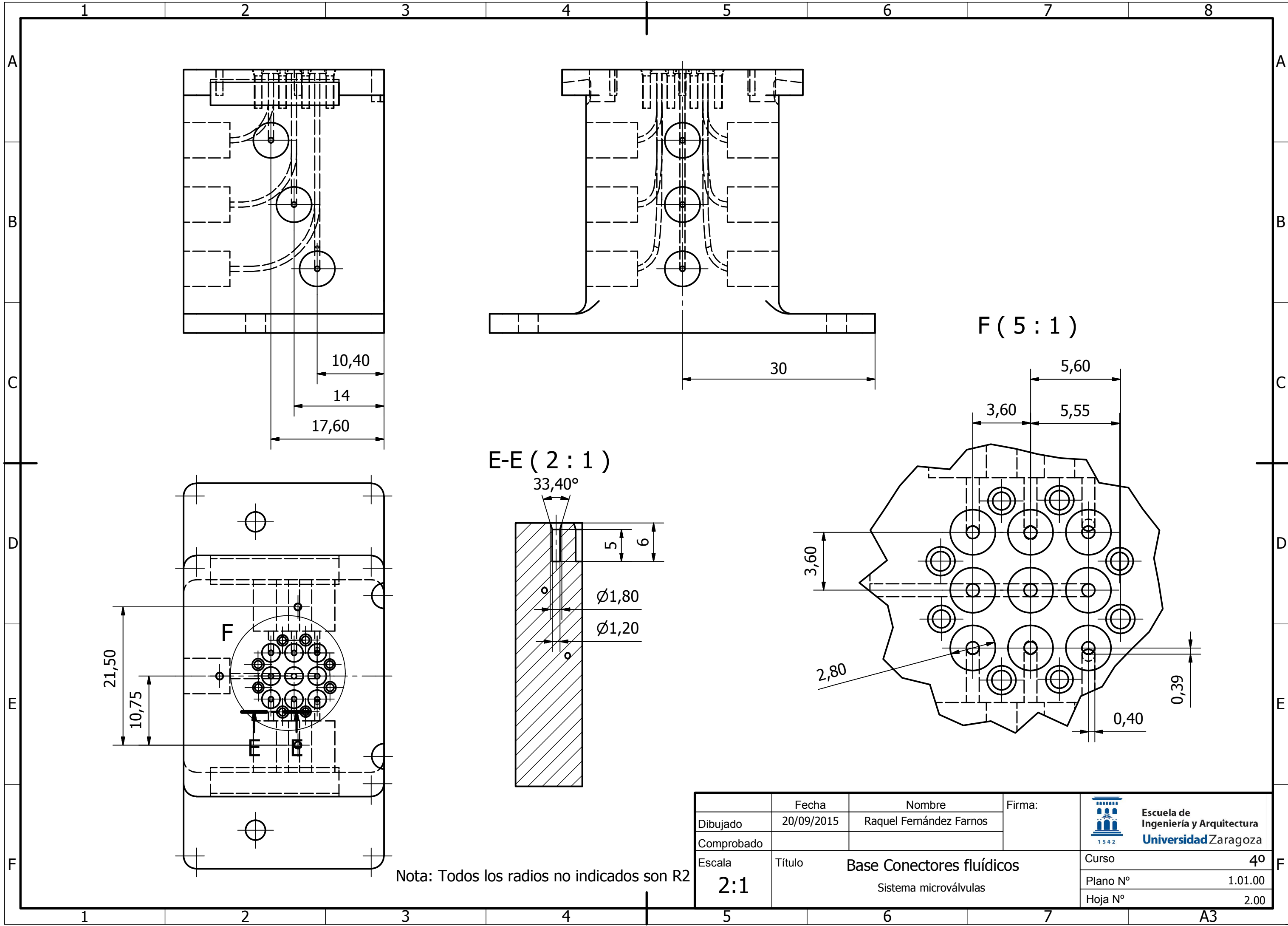
|            |                       |                         |        |  |
|------------|-----------------------|-------------------------|--------|--|
|            | Fecha                 | Nombre                  | Firma: |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/>Universidad Zaragoza</div> |
| Dibujado   | 20/09/2015            | Raquel Fernández Farnos |        |  |
| Comprobado |                       |                         |        |  |
| Escala     | Título                |                         |        | Curso  |
| 2:1        | Sistema miroválvulas  |                         |        | 4º   |
|            | Sistema microválvulas |                         |        | Plano Nº 1.00.00   |
|            |                       |                         |        | Hoja Nº 1.00   |

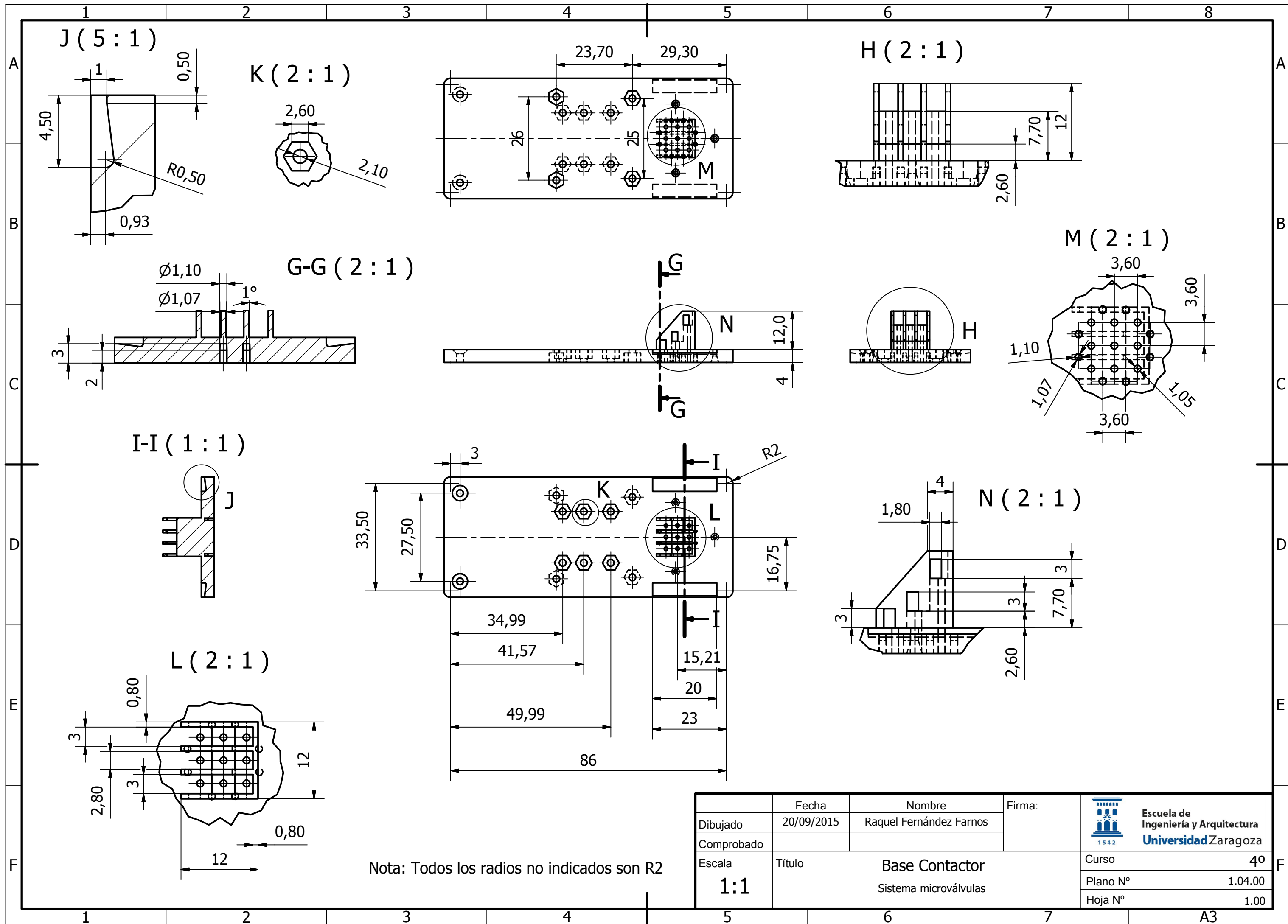
|     |            |                       |   |              |   |
|-----|------------|-----------------------|---|--------------|---|
|     | 1          | 2                     | 3   | 4            |   |
| A   |            |                       |   |              | A   |
| B   | 119        | 12                    | DIN 439 - M2                                    | Acero, suave |   |
|     | 118        | 9                     | Torica  | Silicona     |   |
|     | 117        | 6                     | PletinaContactor_L1                             | Cobre        |   |
| B   | 116        | 1                     | Pata Base Contactor                             | RGD 525      | 1.16.00   |
|     | 115        | 1                     | Base Contactor Nivel 3                          | RGD 525      | 1.15.00   |
|     | 114        | 1                     | Conector12                                      | Genérico     |   |
|     | 113        | 4                     | DIN 912 - M2 x 8                                | Acero, suave |   |
| C   | 112        | 1                     | Base Contactor Nivel 2                          | RGD 525      | 1.12.00   |
|     | 111        | 1                     | Base Contactor Nivel 1                          | RGD 525      | 1.11.00   |
|     | 110        | 1                     | Tapa Contactor Piezos                           | RGD 525      | 1.10.00   |
|     | 109        | 8                     | DIN 963 - M2 x 16                               | Acero, suave |   |
| D   | 108        | 9                     | ActuadorPiezoelectrico_MORGAN<br>-Braille-corto | Acero, suave |   |
|     | 107        | 3                     | GoldPin_460-2976-01__L2                         | Latón        |   |
|     | 106        | 3                     | GoldPin_460-2970-01__L4                         | Latón        |   |
|     | 105        | 3                     | GoldPin_460-2946-01__L5                         | Latón        |   |
| E   | 104        | 1                     | Base Unilat Contactor                           | RGD 525      | 1.04.00   |
|     | 103        | 3                     | Posicionador plataformas                        | Acero, suave |   |
|     | 102        | 8                     | Posicionador chip                               | Acero, suave |   |
|     | 101        | 1                     | Base Conectores Fluídicos                       | RGD 525      | 1.01.00   |
| F   | Marca      | Cantidad              | Designación                                     | Material     | Referencia  |
|     |            | Fecha                 | Nombre  | Firma:       | <div></div> <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura<br/>Universidad Zaragoza</div> |
|     | Dibujado   | 20/09/2015            | Raquel Fernández Farnos                         |              |   |
|     | Comprobado |                       |   |              |   |
|     | Escala     | Título                | Lista de elementos                              |              | Curso   |
| S/E |            | Sistema microválvulas |   | Plano Nº     | 1.00.00   |
|     |            |                       |   | Hoja Nº      | 1.00  |
|     | 1          | 2                     | 3   | A4           |   |



Nota: Todos los radios no indicados son R2

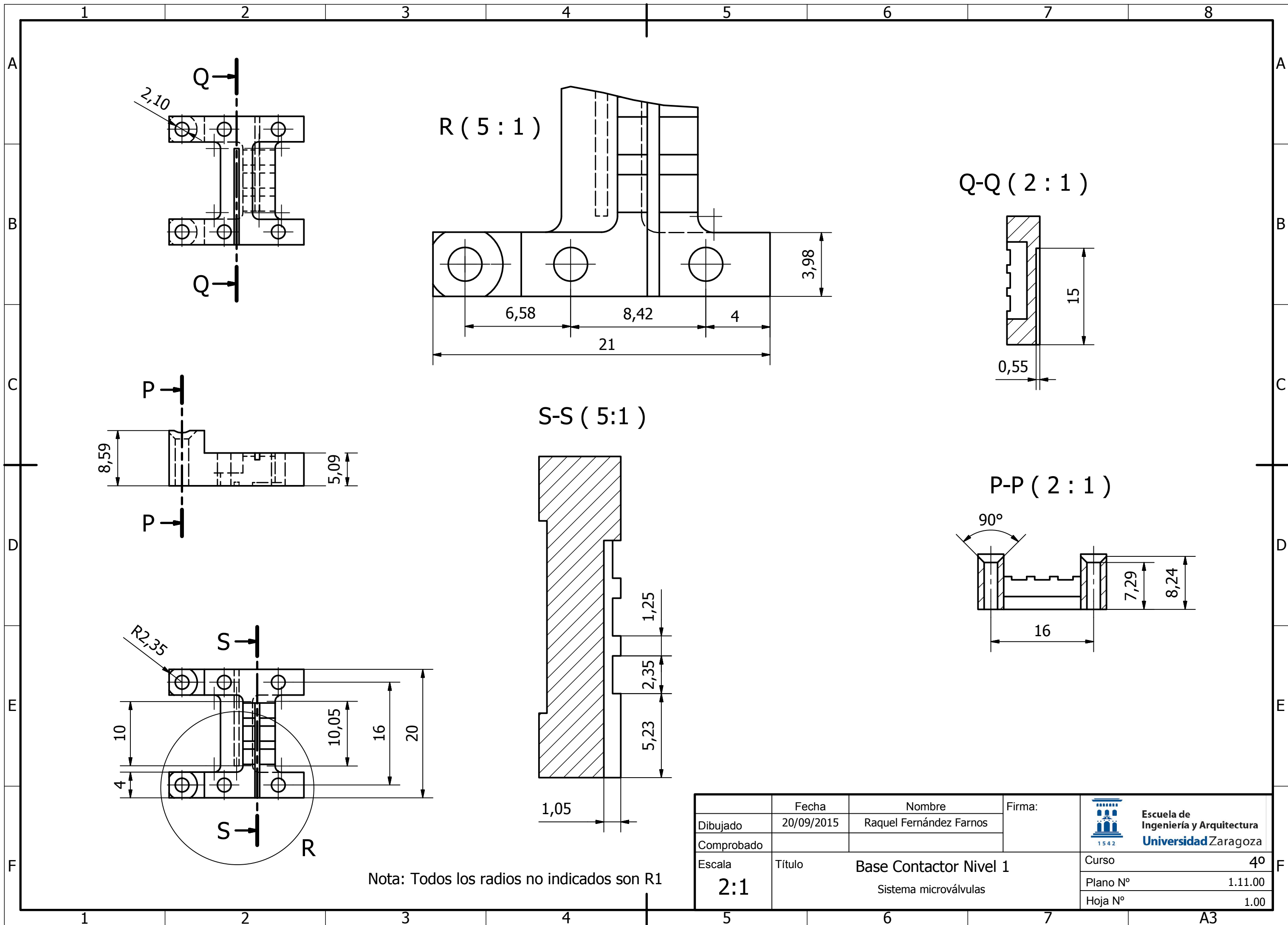
|                      |   |                         |          |   |
|----------------------|---|-------------------------|----------|---|
|                      | Fecha   | Nombre                  | Firma:   |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/><b>Universidad</b> Zaragoza</div> |
| Dibujado             | 20/09/2015  | Raquel Fernández Farnos |          |   |
| Comprobado           |   |                         |          |   |
| Escala<br><b>2:1</b> | Título<br><b>Base Conectores fluídicos</b><br>Sistema microválvulas |                         | Curso    | <b>4º</b>   |
|                      |   |                         | Plano Nº | 1.01.00   |
|                      |   |                         | Hoja Nº  | 1.00  |




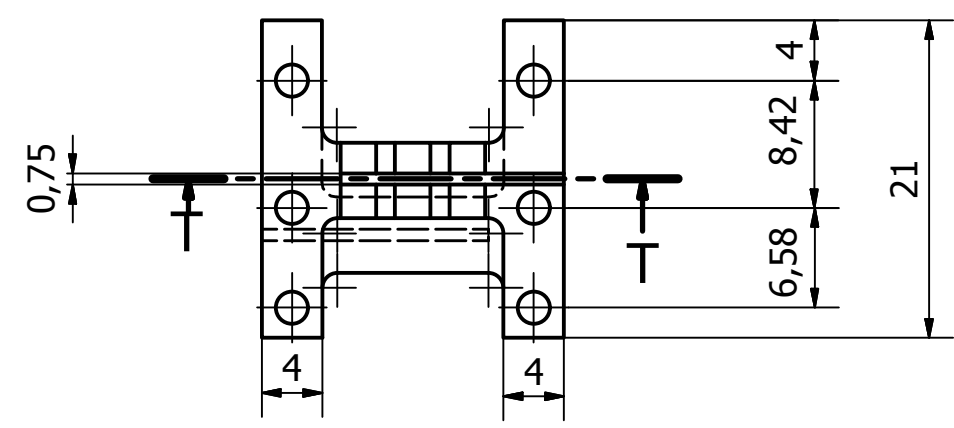
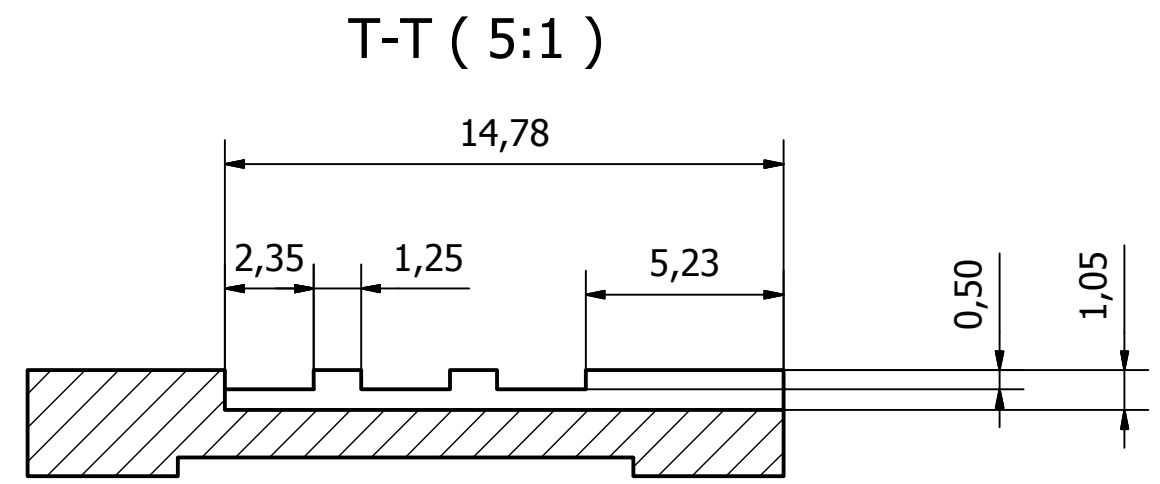
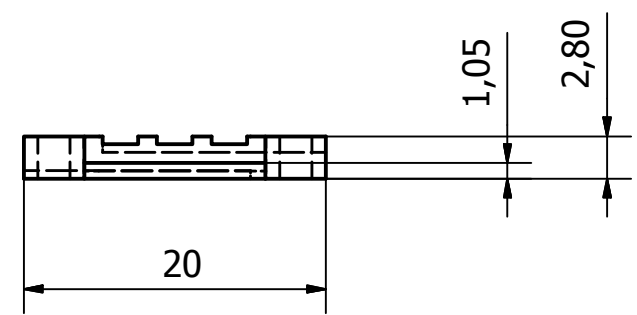
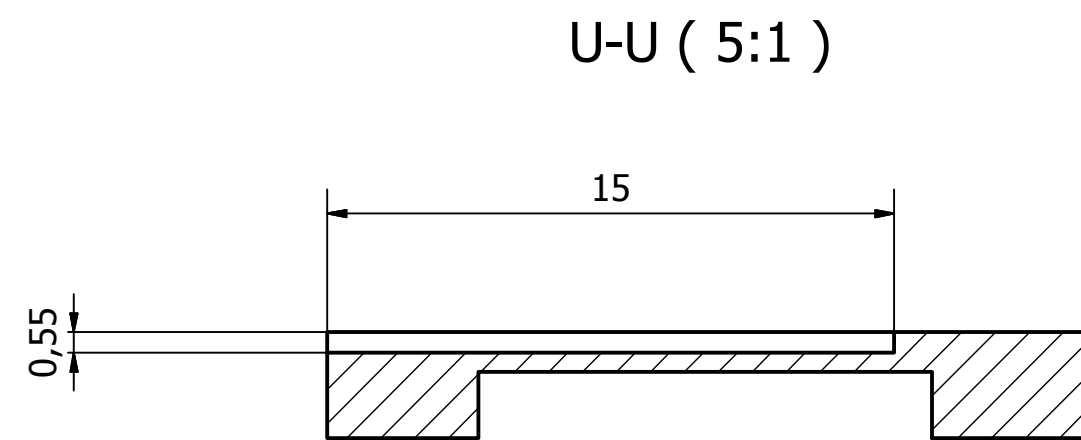
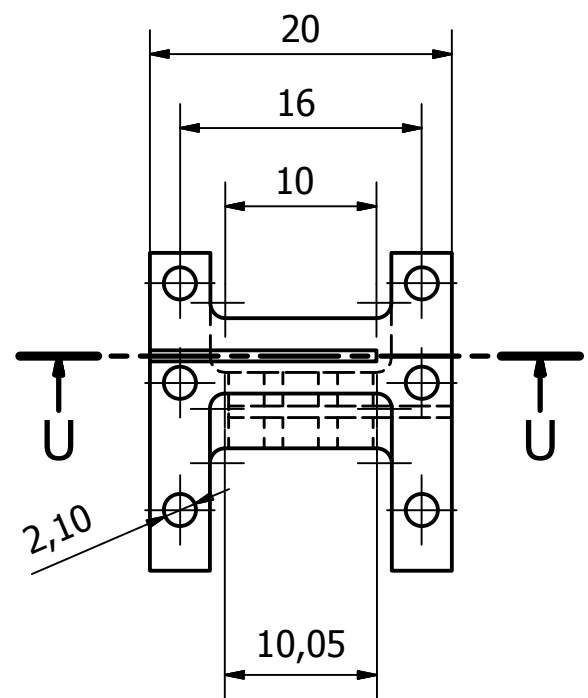







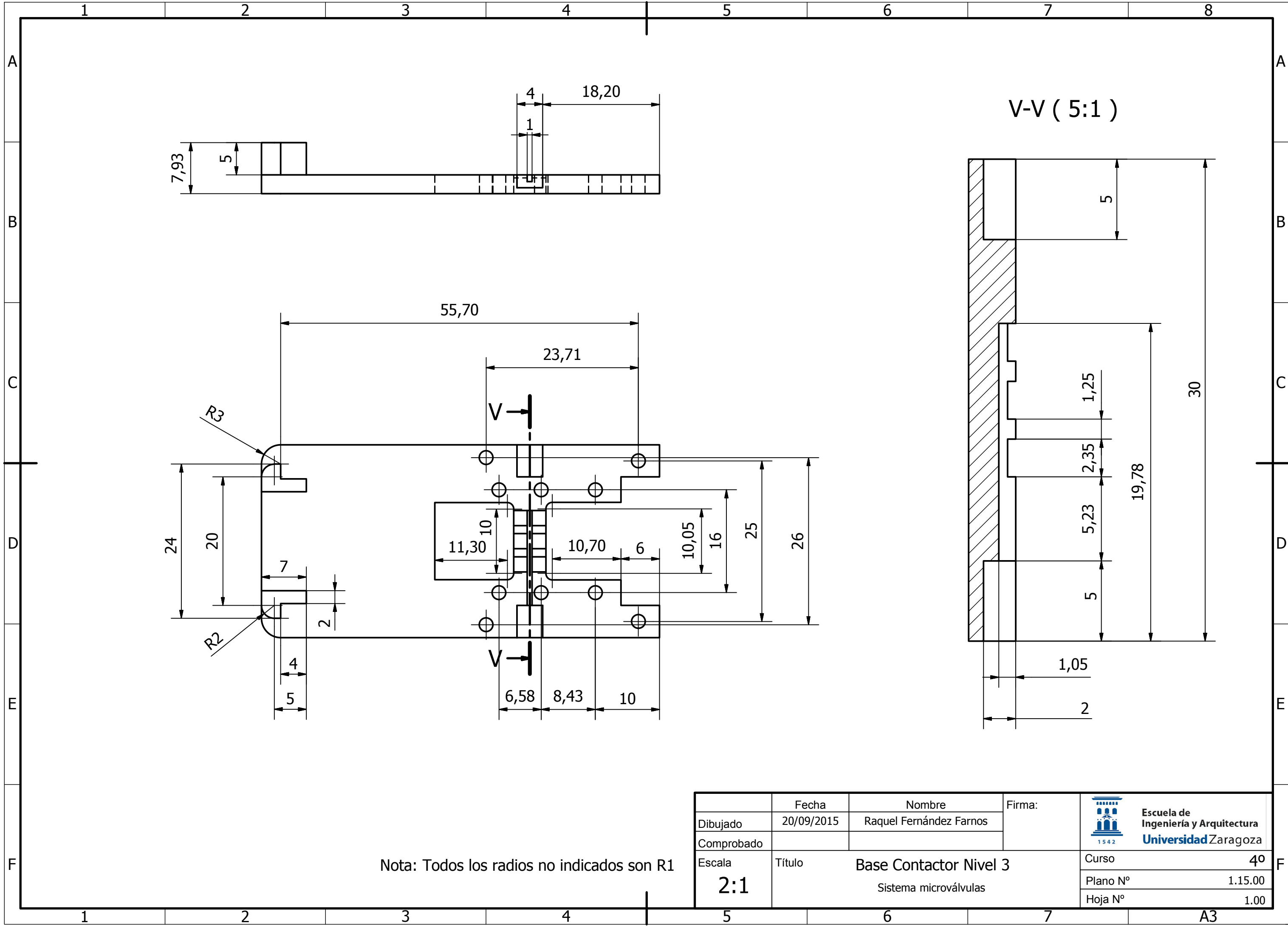


|                      |            |   |        |   |
|----------------------|------------|---|--------|---|
|                      | Fecha      | Nombre  | Firma: |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/><b>Universidad</b> Zaragoza</div> |
| Dibujado             | 20/09/2015 | Raquel Fernández Farnos                           |        |   |
| Comprobado           |            |   |        |   |
| Escala<br><b>2:1</b> | Título     | Base Contactador Nivel 1<br>Sistema microválvulas |        | Curso<br><b>4º</b>  |
|                      |            |   |        | Plano Nº<br>1.11.00   |
|                      |            |   |        | Hoja Nº<br>1.00   |




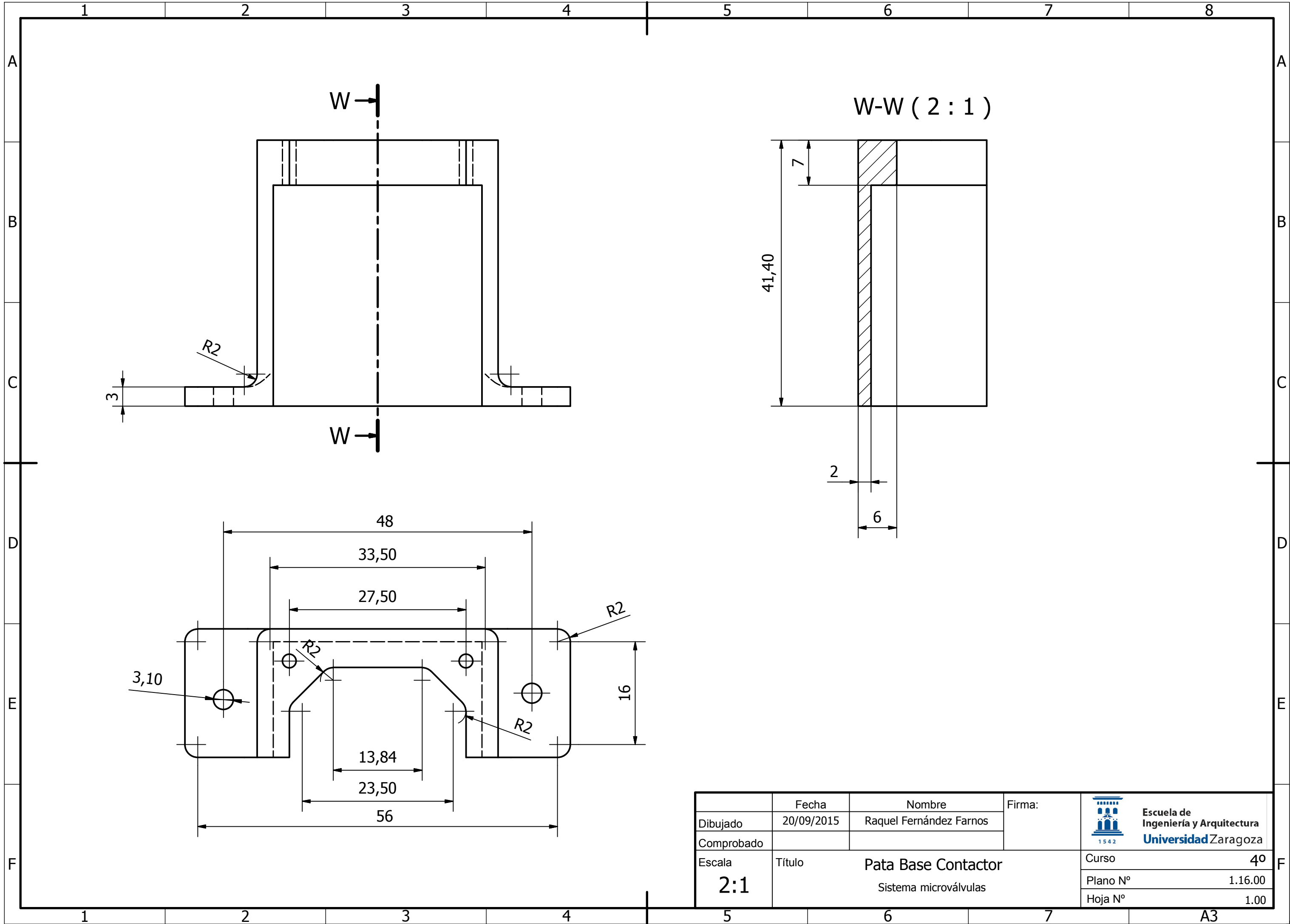
Nota: Todos los radios no indicados son R1

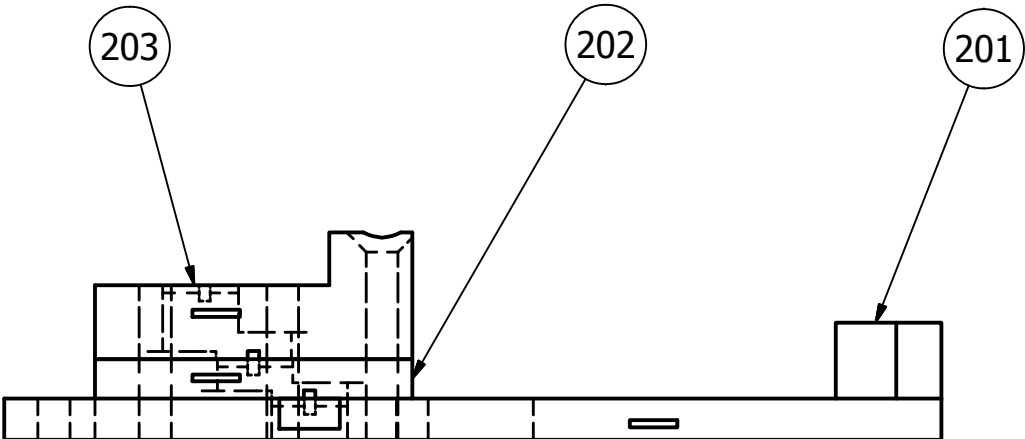
|                   |            |   |        |   |                               |
|-------------------|------------|---|--------|---|-------------------------------|
|                   | Fecha      | Nombre  | Firma: |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/><b>Universidad</b> Zaragoza</div> |                               |
| Dibujado          | 20/09/2015 | Raquel Fernández Farnos                             |        |   |                               |
| Comprobado        |            |   |        |   |                               |
| Escala<br><br>2:1 | Título     | Base Contactor Nivel 2<br><br>Sistema microválvulas |        | Curso<br><br>Plano Nº<br><br>Hoja Nº  | 4º<br><br>1.12.00<br><br>1.00 |

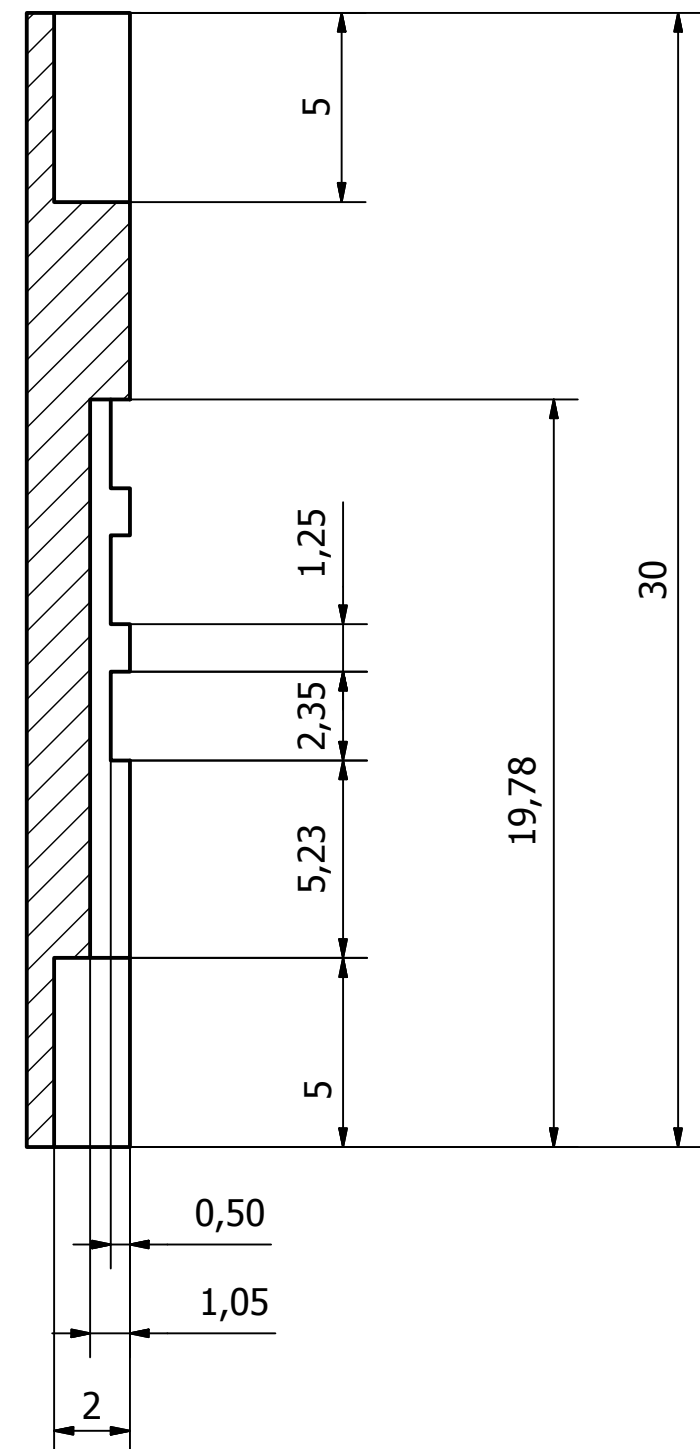
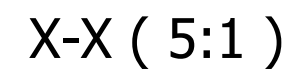



Nota: Todos los radios no indicados son R1

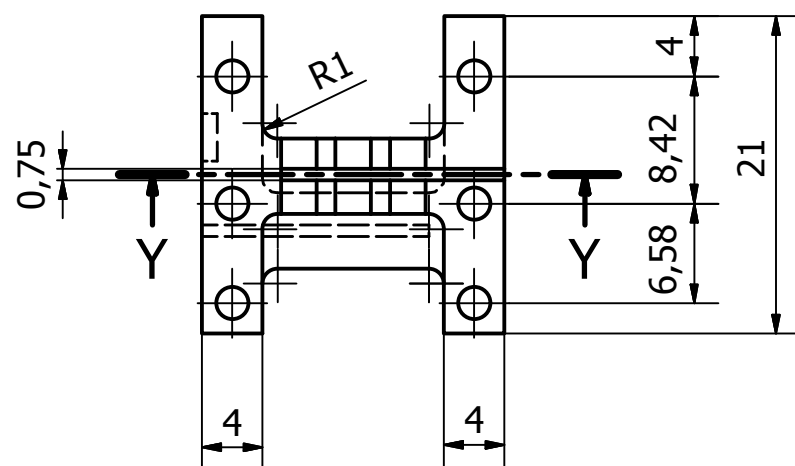
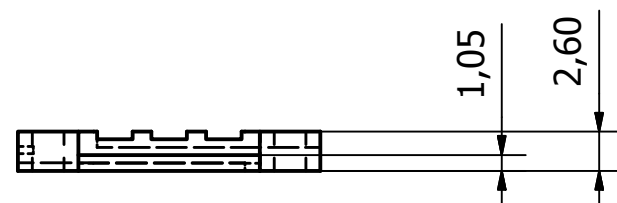
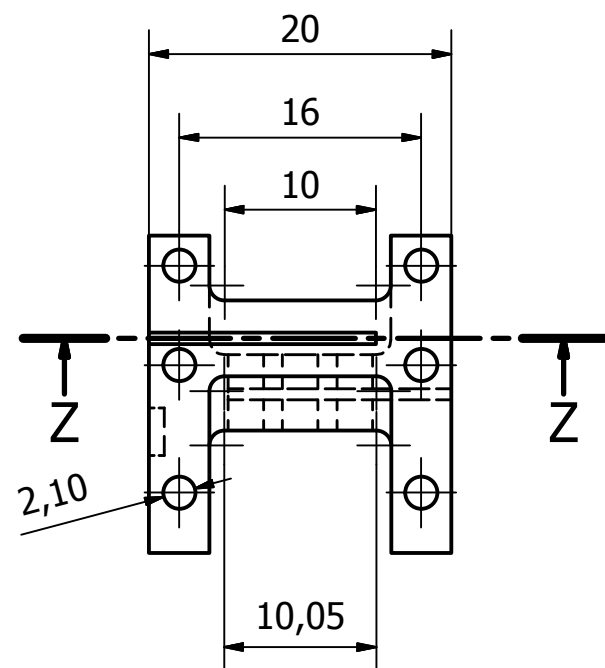
|            |                        |                         |        |  |
|------------|------------------------|-------------------------|--------|--|
|            | Fecha                  | Nombre                  | Firma: |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/>Universidad Zaragoza</div> |
| Dibujado   | 20/09/2015             | Raquel Fernández Farnos |        |  |
| Comprobado |                        |                         |        |  |
| Escala     | Título                 |                         |        | Curso  |
| 2:1        | Base Contactor Nivel 3 |                         |        | 4º   |
|            | Sistema microválvulas  |                         |        | Plano Nº   |
|            |                        |                         |        | 1.15.00  |
|            |                        |                         |        | Hoja Nº  |
|            |                        |                         |        | 1.00   |



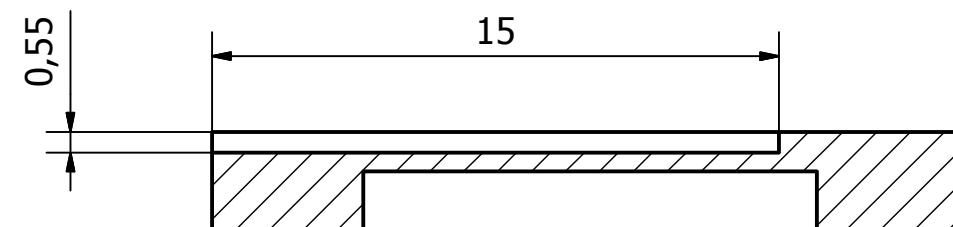
|        |  |                             |          |            |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
|--------|--|-----------------------------|----------|------------|--------|--------|-----------------------------|---------|---------|-----|---|-----------------------------|----------|---------|---------|------|-----------------------------|---------|---------|-------|----------|-------------|----------|------------|---|
| 1      | 2  | 3                           | 4        |            |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| A      |  |                             |          | A          |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| B      |    |                             |          | B          |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| C      |  |                             |          | C          |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| D      |  |                             |          | D          |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| E      | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">203</td> <td style="width: 10%;">1</td> <td style="width: 35%;">Base Contactor Nivel 1 -0.2</td> <td style="width: 20%;">RGD 525</td> <td style="width: 20%;">2.03.00</td> </tr> <tr> <td>202</td> <td>1</td> <td>Base Contactor Nivel 2 -0.2</td> <td>RGD 525</td> <td>2.02.00</td> </tr> <tr> <td>201</td> <td>1</td> <td>Base Contactor Nivel 3 -0.2</td> <td>RGD 525</td> <td>2.01.00</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>Cantidad</td> <td>Designación</td> <td>Material</td> <td>Referencia</td> </tr> </table> |                             |          |            | 203    | 1      | Base Contactor Nivel 1 -0.2 | RGD 525 | 2.03.00 | 202 | 1 | Base Contactor Nivel 2 -0.2 | RGD 525  | 2.02.00 | 201     | 1    | Base Contactor Nivel 3 -0.2 | RGD 525 | 2.01.00 | Marca | Cantidad | Designación | Material | Referencia | E |
| 203    | 1  | Base Contactor Nivel 1 -0.2 | RGD 525  | 2.03.00    |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| 202    | 1  | Base Contactor Nivel 2 -0.2 | RGD 525  | 2.02.00    |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| 201    | 1  | Base Contactor Nivel 3 -0.2 | RGD 525  | 2.01.00    |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| Marca  | Cantidad   | Designación                 | Material | Referencia |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| F      | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Escala</td> <td style="width: 10%;">Título</td> <td style="width: 35%;">Grupo Tolerancia Negativa</td> <td style="width: 20%;">Curso</td> <td style="width: 20%;">4º</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">2:1</td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Grupo Tolerancia Negativa</td> <td>Plano Nº</td> <td>2.00.00</td> </tr> <tr> <td>Hoja Nº</td> <td>1.00</td> </tr> </table>                               |                             |          |            | Escala | Título | Grupo Tolerancia Negativa   | Curso   | 4º      | 2:1 |   | Grupo Tolerancia Negativa   | Plano Nº | 2.00.00 | Hoja Nº | 1.00 | F                           |         |         |       |          |             |          |            |   |
| Escala | Título   | Grupo Tolerancia Negativa   | Curso    | 4º         |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| 2:1    |  | Grupo Tolerancia Negativa   | Plano Nº | 2.00.00    |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
|        |  |                             | Hoja Nº  | 1.00       |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |
| 1      | 2  | 3                           | A4       |            |        |        |                             |         |         |     |   |                             |          |         |         |      |                             |         |         |       |          |             |          |            |   |



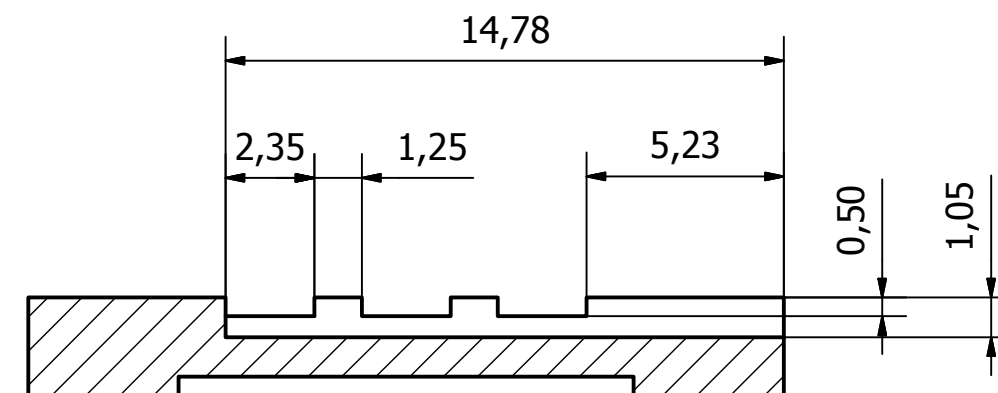
|                      |  |                         |                            |   |
|----------------------|--|-------------------------|----------------------------|---|
|                      | Fecha  | Nombre                  | Firma:                     | <br><b>Escuela de Ingeniería y Arquitectura</b><br><b>Universidad Zaragoza</b> |
| Dibujado             | 20/09/2015   | Raquel Fernández Farnos |                            |   |
| Comprobado           |  |                         |                            |   |
| Escala<br><b>2:1</b> | Título<br><b>Contactor Nivel 3 -0.2</b><br>Grupo Tolerancia Negativa | Curso<br><b>4º</b>      | Plano Nº<br><b>2.01.00</b> | Hoja Nº<br><b>1.00</b>  |



Z-Z ( 5 : 1 )



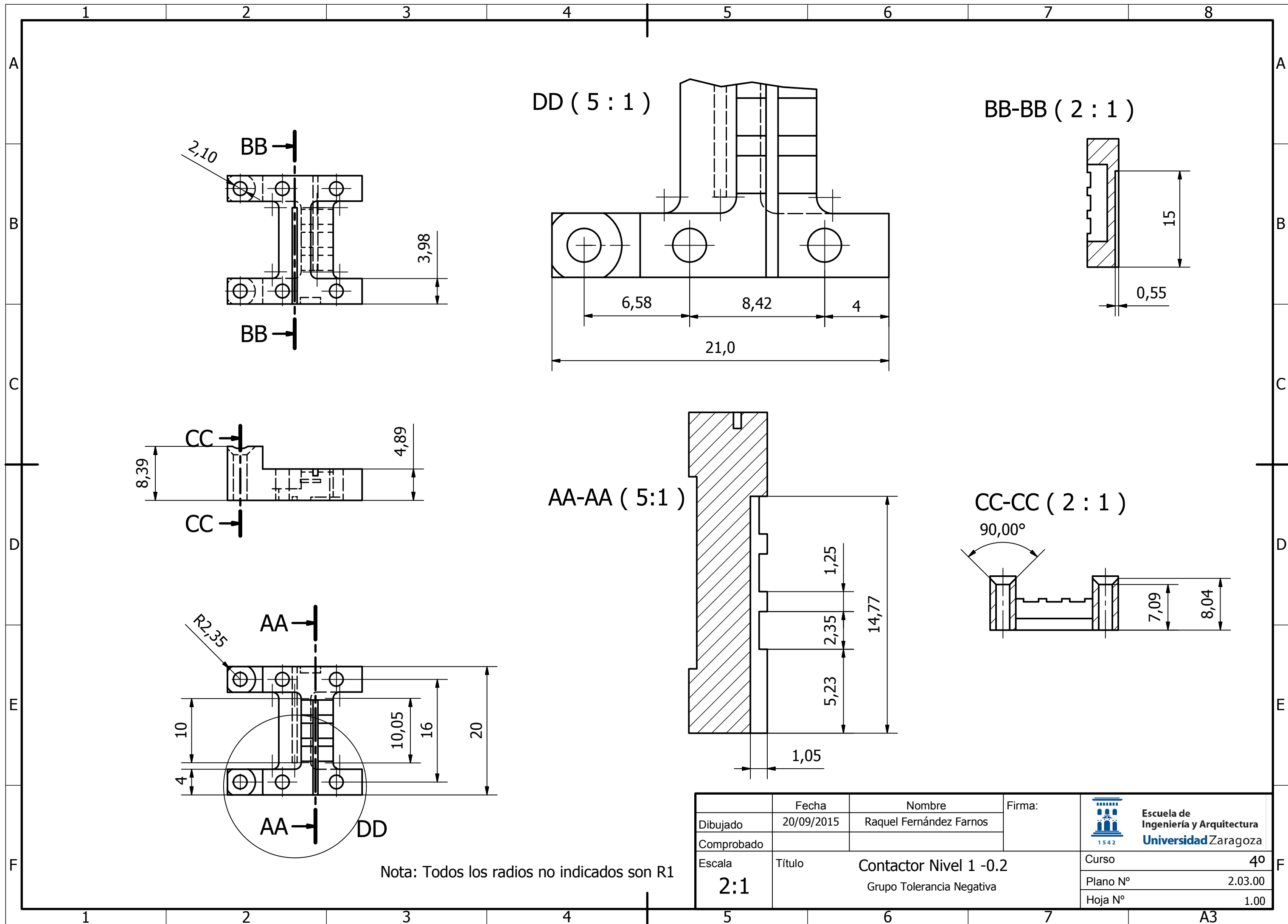
Y-Y ( 5:1 )

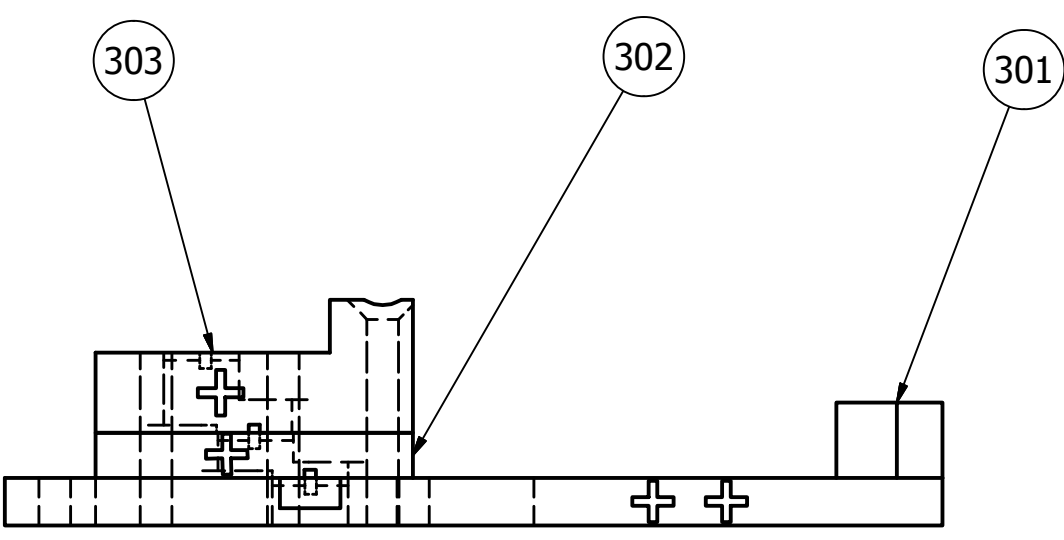


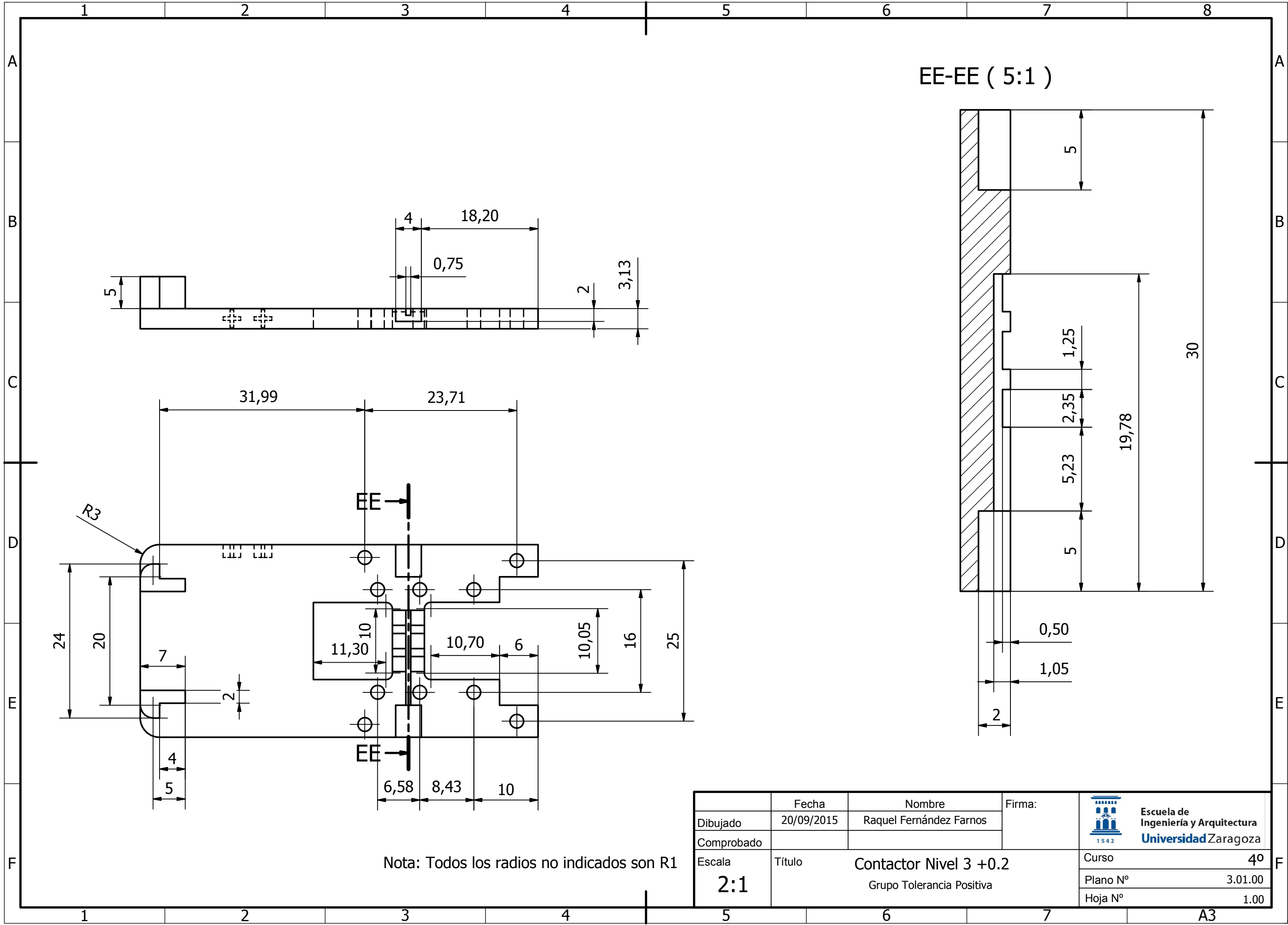
Nota: Todos los radios no indicados son R1

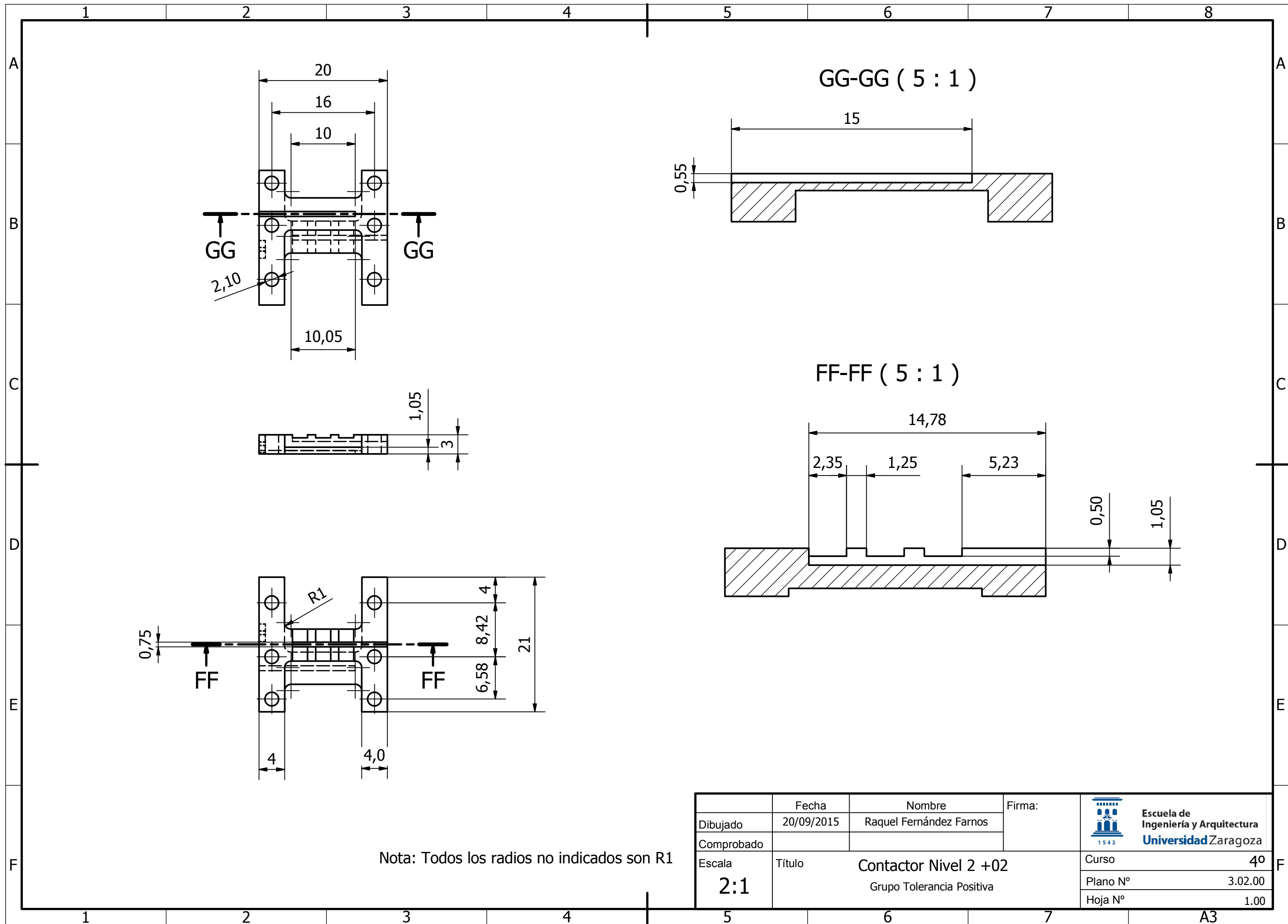
|                      |  |                         |        |   |
|----------------------|--|-------------------------|--------|---|
|                      | Fecha  | Nombre                  | Firma: |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/><b>Universidad</b> Zaragoza</div> |
| Dibujado             | 20/09/2015   | Raquel Fernández Farnos |        |   |
| Comprobado           |  |                         |        |   |
| Escala<br><b>2:1</b> | Título<br><b>Contactor Nivel 2 -0.2</b><br>Grupo Tolerancia Negativa |                         |        | Curso<br><b>4º</b>  |
|                      |  |                         |        | Plano Nº<br>2.02.00   |
|                      |  |                         |        | Hoja Nº<br>1.00   |




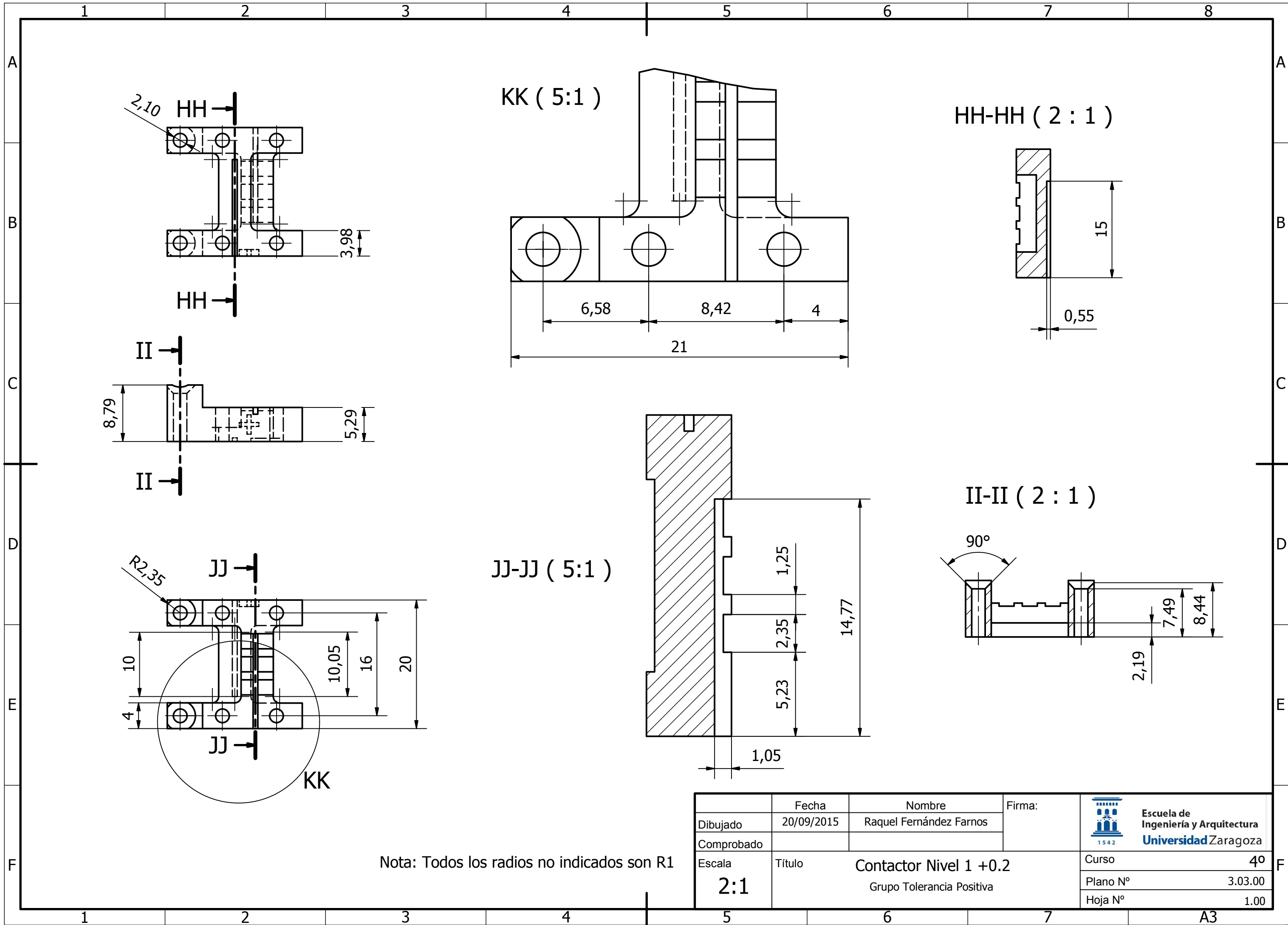



|        |  |                             |                  |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
|--------|--|-----------------------------|------------------|------------|--------|-----------------------------|---------|---------|-----|---------------------------|-----------------------------|---------|---------|-----|------------------|-----------------------------|---------|---------|--------------|----------|-------------|----------|------------|---|
| 1      | 2  | 3                           | 4                |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| A      |  |                             |                  | A          |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| B      |    |                             |                  | B          |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| C      |  |                             |                  | C          |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| D      |  |                             |                  | D          |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| E      | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">303</td> <td style="width: 10%;">1</td> <td style="width: 35%;">Base Contactor Nivel 1 +0.2</td> <td style="width: 20%;">RGD 525</td> <td style="width: 20%;">3.03.00</td> </tr> <tr> <td>302</td> <td>1</td> <td>Base Contactor Nivel 2 +0.2</td> <td>RGD 525</td> <td>3.02.00</td> </tr> <tr> <td>301</td> <td>1</td> <td>Base Contactor Nivel 3 +0.2</td> <td>RGD 525</td> <td>3.01.00</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>Cantidad</td> <td>Designación</td> <td>Material</td> <td>Referencia</td> </tr> </table>                   |                             |                  | 303        | 1      | Base Contactor Nivel 1 +0.2 | RGD 525 | 3.03.00 | 302 | 1                         | Base Contactor Nivel 2 +0.2 | RGD 525 | 3.02.00 | 301 | 1                | Base Contactor Nivel 3 +0.2 | RGD 525 | 3.01.00 | Marca        | Cantidad | Designación | Material | Referencia | E |
| 303    | 1  | Base Contactor Nivel 1 +0.2 | RGD 525          | 3.03.00    |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| 302    | 1  | Base Contactor Nivel 2 +0.2 | RGD 525          | 3.02.00    |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| 301    | 1  | Base Contactor Nivel 3 +0.2 | RGD 525          | 3.01.00    |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| Marca  | Cantidad   | Designación                 | Material         | Referencia |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| F      | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Escala</td> <td style="width: 15%;">Título</td> <td style="width: 35%;">Grupo Tolerancia Positiva</td> <td style="width: 35%;">Curso</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; font-size: 1.2em;">2:1</td> <td></td> <td style="text-align: center;">Grupo Tolerancia Positiva</td> <td style="text-align: right;">4º</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Plano Nº 3.00.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Hoja Nº 1.00</td> </tr> </table> |                             |                  | Escala     | Título | Grupo Tolerancia Positiva   | Curso   | 2:1     |     | Grupo Tolerancia Positiva | 4º                          |         |         |     | Plano Nº 3.00.00 |                             |         |         | Hoja Nº 1.00 | F        |             |          |            |   |
| Escala | Título   | Grupo Tolerancia Positiva   | Curso            |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| 2:1    |  | Grupo Tolerancia Positiva   | 4º               |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
|        |  |                             | Plano Nº 3.00.00 |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
|        |  |                             | Hoja Nº 1.00     |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |
| 1      | 2  | 3                           | A4               |            |        |                             |         |         |     |                           |                             |         |         |     |                  |                             |         |         |              |          |             |          |            |   |





|            |                           |                         |        |  |
|------------|---------------------------|-------------------------|--------|--|
|            | Fecha                     | Nombre                  | Firma: |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/>Universidad Zaragoza</div> |
| Dibujado   | 20/09/2015                | Raquel Fernández Farnos |        |  |
| Comprobado |                           |                         |        |  |
| Escala     | Título                    |                         |        | Curso  |
| 2:1        | Contactor Nivel 2 +02     |                         |        | 40   |
|            | Grupo Tolerancia Positiva |                         |        | Plano Nº   |
|            |                           |                         |        | 3.02.00  |
|            |                           |                         |        | Hoja Nº  |
|            |                           |                         |        | 1.00   |



|                      |  |                         |          |  |
|----------------------|--|-------------------------|----------|--|
|                      | Fecha  | Nombre                  | Firma:   |  <div>Escuela de<br/>Ingeniería y Arquitectura<br/><b>Universidad</b>Zaragoza</div> |
| Dibujado             | 20/09/2015   | Raquel Fernández Farnos |          |  |
| Comprobado           |  |                         |          |  |
| Escala<br><b>2:1</b> | Título<br><b>Contactor Nivel 1 +0.2</b><br>Grupo Tolerancia Positiva |                         | Curso    | <b>4º</b>  |
|                      |  |                         | Plano Nº | 3.03.00  |
|                      |  |                         | Hoja Nº  | 1.00   |