

Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**  
etsii UPCT

# Diseño y construcción de un banco de ensayos para la optimización de los procesos de fundición inyectada a alta presión

**Titulación:** Ing. Técnica Industrial  
Esp. Electrónica

**Intensificación:** ---

**Alumno/a:** Joaquín Gómez Serrano

**Director/a/s:** Rosendo Zamora Pedreño

Cartagena, 04 de Diciembre de 2013



# ***Resumen***

---

---

La formación de porosidad por atrapamiento de aire en los procesos de fundición por inyección a alta presión es un problema que en muchas ocasiones resulta muy difícil de evitar. Las especiales características del flujo en la cámara de inyección así como la elevada velocidad del flujo de metal fundido a la entrada de la cavidad del molde pueden producir la ingestión de una elevada masa de aire, lo que daría lugar a altos niveles de formación de burbujas.

En piezas con exigencias de funcionamiento poco severas, la disminución de la calidad por porosidad se ve compensada por las grandes ventajas de estos procesos (velocidades de producción elevadas, excelente precisión dimensional o buen acabado superficial de las piezas fabricadas). Cuando los requerimientos de funcionamiento son mayores, la reducción a un límite admisible del nivel de porosidad es un objetivo esencial que requiere la utilización de tecnología compleja y el conocimiento y control de los factores que determinan el nivel de porosidad de las piezas fabricadas.

La propia naturaleza del proceso de fabricación hace inviable el estudiar de forma experimental y directa lo que realmente ocurre durante el movimiento del metal fundido en la etapa de inyección para lo cual se propone la fabricación de un banco de ensayos que utilizando agua como material de trabajo, y realizado con materiales transparentes como el metacrilato, permita visualizar la evolución del fluido durante las etapas de inyección. Debido a las altas velocidades que alcanza el fluido en estos procesos (entre 1 y 30 m/s), será necesario el uso de cámaras de alta velocidad para registrar los ensayos y su posterior análisis.

Con el fin de desarrollar dichas velocidades y consecuentes aceleraciones, es necesario contar con un sistema de accionamiento con par y potencia suficiente, por lo que se prevé utilizar un motor de tipo “brushless” de 2kW con un par de 6,4 Nm a 3000 rpm. El tiempo de movimiento del pistón es del entorno de unos pocos cientos de milisegundos, lo que obliga a utilizar un sistema de control de altas prestaciones con tiempos de ciclo muy pequeños.

La instalación y puesta en marcha de este tipo de control requerirá de la programación y personalización necesaria de su software de gestión junto con la incorporación de las leyes de movimiento del pistón desarrolladas por el grupo de investigación de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la UPCT.

Finalmente se desarrollarán diferentes pruebas del sistema de control de inyección con diferentes condiciones de operación.



# **Agradecimientos**

Mi más sincero agradecimiento a Rosendo Zamora Pedreño, director del proyecto, con cuyos consejos y ayuda me han servido como guía en la realización de este proyecto.

Quiero agradecer también a Antonio Gabriel Martínez y a Vicente Giménez Campos, de la empresa Omron Industrial por su inestimable colaboración y asesoramiento durante el desarrollo de la programación del sistema.

Agradecer a toda la Universidad Politécnica de Cartagena en general, por los conocimientos y valores que he conseguido tras estos años como alumno, de los cuales me llevo un grandísimo recuerdo.

Agradecer a Pedro Belmonte, por su ayuda inestimable en el taller, y por sus consejos que seguro me serán de ayuda para crecer día a día como profesional.

Por último, agradecimiento va hacia mi familia con los que, sin su apoyo y comprensión a lo largo de todos estos años en la UPCT y, en especial, durante la realización del proyecto, habría sido imposible conseguir los resultados obtenidos, tanto en el ámbito académico como personal. A su vez, agradecer la paciencia que han tenido conmigo durante la realización del proyecto y, sobre todo, en estos últimos meses de trabajo por el tiempo que no he podido disfrutar de ellos tanto como hubiera querido.



# Índice general

---

---

<b>I. RESUMEN</b> .....	I
<b>II. AGRADECIMIENTOS</b> .....	III
<b>III. INDICE DE TABLAS</b> .....	IX
<b>IV. INDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>1. MARCO TEÓRICO. EVOLUCIÓN DE LA FUNDICIÓN</b> .....	1
1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FUNDICIÓN ACTUAL Y LOS DISTINTOS PROCESOS DE FUNDICIÓN .....	4
1.1.1 MOLDE DESECHABLE .....	5
1.1.2 MOLDE PERMANENTE .....	7
1.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA FUNDICIÓN .....	16
1.3 POROSIDAD EN LOS PROCESOS FIAP .....	19
1.3.1 ATRAPAMIENTO DE GASES POR ETAPAS .....	23
1.4 EVALUACIÓN DE LA POROSIDAD .....	26
1.5 ENSAYO EXPERIMENTAL EN BANCO DE PRUEBAS .....	29
1.6 OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	29
<b>2. FUNDAMENTOS DE TRABAJO</b> .....	31
2.1 UNIDAD DE CIERRE Y MOLDE .....	32
2.1.1 CIERRE .....	32
2.1.2 MOLDE .....	34
2.3 UNIDAD DE COLADA .....	36
2.4 UNIDAD DE DESCARGA .....	37
2.4.1 CÁMARA DE INYECCIÓN .....	39
2.5 UNIDAD DE POTENCIA Y CONTROL .....	40
2.5.1 UNIDAD DE POTENCIA .....	40
2.5.2 UNIDAD DE CONTROL .....	43
2.5.2.1 UNIDAD DE CONTROL DE MAQUINAS (PLC) .....	44

2.5.2.2 SERVO CONTROLADOR .....	47
2.5.2.3 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN .....	49
<b>3. DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD). DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE SOLIDWORKS.....</b>	<b>54</b>
3.1 HISTORIA DEL DISEÑO INDUSTRIAL .....	55
3.2 DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR.....	57
3.2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD) .....	58
3.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD) .....	59
3.3 CAD MECÁNICO. SOLIDWORKS.....	63
3.3.1 INTRODUCCIÓN A SOLIDWORKS .....	63
3.3.2 CARACTERÍSTICAS DE SOLIDWORKS.....	64
3.3.3 MÓDULOS DE SOLIDWORKS.....	67
3.4 DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE SOLIDWORKS.....	71
3.4.1 TOLERANCIAS Y SISTEMAS DE AJUSTES .....	78
<b>4. SISTEMA DE CONTROL.....</b>	<b>82</b>
4.1 PROGRAMACIÓN DE UN PLC .....	84
4.1.1 ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO .....	84
4.1.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN .....	85
4.2 CONEXIÓN DEL HARDWARE .....	88
4.3 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE .....	89
4.3.1 CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN .....	91
4.4 CÓDIGO DEL PROGRAMA .....	94
4.5 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO.....	101
4.6 UNIDAD DE CONTROL MANUAL.....	103
4.6.1 CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO DE CONTROL MANUAL .....	106
<b>A. ANEXO A: Hojas de configuración .....</b>	<b>112</b>
<b>B. ANEXO B: Programa de CONTROL.....</b>	<b>129</b>
<b>C. ANEXO C: ley de movimiento. Aplicación sobre Visual Basic.....</b>	<b>137</b>
<b>D. ANEXO D: Relación de materiales del panel de control manual .....</b>	<b>141</b>
<b>E. ANEXO E: Planos .....</b>	<b>145</b>
<b>F. ANEXO F: Resolución de problemas .....</b>	<b>165</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>170</b>



# Índice de tablas

1.1	Propiedades mecánicas del aluminio, acero y latón .....	17
1.2	Comparativa de propiedades mecánicas de magnesio, acero y latón .....	19
2.1	Holguras utilizadas en pistones de inyección.....	39
2.2	Características del servomotor R88M-K2K030F .....	42
2.3	Especificaciones de NJ5-1300 .....	45
2.4	Características del servo controlador KN20F-ECT .....	47
3.1	Calidades de tolerancias según ISO .....	79
3.2	Posiciones de tolerancias para ejes y agujeros .....	79
4.1	Variables de encendido .....	92
4.2	Variables de movimiento .....	93
4.3	Instrucciones de movimiento.....	94
4.4	Variables de lectura.....	95
4.5	Instrucciones de lectura .....	96

# Índice de figuras

1.1	Molde en piedra de hacha de hoja simple.....	2
1.2	Fundición en el antiguo Egipto .....	2
1.3	Armas de bronce de Europa central y hacha de doble filo elaborada en bronce .....	3
1.4	Distribución porcentual del consumo de productos FIAP de aluminio para diferentes sectores industriales .....	4
1.5	Sección de molde de arena.....	6
1.6	Modelo de fundición a la cera perdida.....	7
1.7	Ejemplo de matrices para fundición por gravedad .....	8
1.8	Ejemplo de máquina para fundición al vacío.....	9
1.9	Ciclo de trabajo de la inyección en cámara caliente .....	11
1.10	Esquema de máquina de fundición a presión en cámara fría horizontal (basado en Kalpakjian) .....	13
1.11	Ciclo de trabajo de la inyección en cámara fría.....	14
1.12	Desplazamiento del pistón en función del tiempo .....	15
1.13	Presión del pistón en función del tiempo.....	15
1.14	Bauxita de la sierra de Ponce, Región de Murcia .....	16
1.15	Magnesio en estado natural .....	18
1.16	Ejemplo de porosidad de pieza FIAP .....	20
1.17	Llenado del molde con frente de metal plano.....	24
1.18	Llenado de molde de frente de metal no plano .....	25
1.19	Llenado de un molde por flujo de metal atomizado.....	25

1.20	Esquema de fusión al vacío utilizado por Brevick y Cheng .....	28
2.1	Ejemplo de cierre de Molde.....	33
2.2	Mitades de un molde de fundición.....	35
2.3	Modelo en SolidWorks del molde a utilizar .....	36
2.4	Sección vertical de cuchara de colada fabricada en acero .....	37
2.5	Ejemplo en SolidWorks de sistema de acoplamiento para la transmisión del movimiento.....	38
2.6	Ejemplo de servomotor de la serie R88M .....	40
2.7	Homing con el sistema Direct Drive .....	42
2.8	Esquema de conexión del sistema Sysmac .....	44
2.9	Unidad de control de maquinas NJ501-1300 .....	45
2.10	Topologías de conexión de redes de datos .....	47
2.11	Servo controlador Accurax G5 .....	48
2.12	Software de Programación Sysmac Studio .....	50
2.13	Interfaz del software Sysmac Studio .....	50
2.14	Menú de configuración de hardware .....	51
2.15	Menú de programación de dispositivos .....	51
2.16	Ejemplo de programación modular y ladder.....	52
2.17	Omron CX-Supervisor .....	52
2.18	Interfaz de CX-Supervisor .....	53
3.1	Planos de diseño de piezas .....	55
3.2	Boceto de diseño industrial .....	56
3.3	Bloque de motor de 6 cilindros diseñado mediante CAD .....	59
3.4	Módulos de SolidWorks .....	65
3.5	Asociación de módulos de SolidWorks .....	66
3.6	Pieza en SolidWorks .....	67
3.7	Ensamblaje en SolidWorks .....	78
3.8	Planos de una pieza en SolidWorks.....	69
3.9	Diseño completo del banco de pruebas .....	71
3.10	Cotas de taladro del molde .....	72
3.11	Despiece del molde.....	72
3.12	Detalle de cámara de inyección .....	73

3.13	Ejemplo de vista isométrica de un patín de bolas .....	73
3.14	Ejemplo de Husillo de bolas Bosch .....	74
3.15	Detalle de la placa de transmisión de movimiento .....	75
3.16	Acoplamiento de láminas y tabla de dimensiones.....	75
3.17	Cámara de inyección en SolidWorks .....	76
3.18	Soporte en SolidWorks.....	77
3.19	Detalle de los soportes anti vibraciones en SolidWorks.....	77
3.20	Vistas frontal y lateral acotadas del servo motor R88M-K2K030F-S2.....	78
4.1	Partes del PLC .....	83
4.2	Ejemplo simplificado del algoritmo empleado .....	85
4.3	Programa de encendido y monitorización de comunicación del servo controlador .....	87
4.4	Diagrama de Comunicaciones del Sistema.....	88
4.5	Procedimiento básico para la realización de control de movimiento con la función de control MC.....	89
4.6	Creación de un nuevo programa.....	90
4.7	Comparación de dispositivos de red .....	90
4.8	Establecimiento de red EtherCAT .....	91
4.9	Parámetros de configuración del Nodo .....	92
4.10	Selección de un eje.....	93
4.11	Sincronización del programa con el PLC .....	94
4.12	Ejemplo de bloques de programación de movimiento más significativos.....	97
4.13	Ejemplo de bloques de programación de lectura más significativos.....	100
4.14	Pestaña de Test de prueba .....	101
4.15	Pestaña de Homing.....	102
4.16	Panel de control manual.....	104
4.17	Realización de taladros sobre panel de control.....	107
4.18	Detalle de tarjeta de entradas digitales .....	107
4.19	Soldaduras y montajes en el interior del panel.....	108
4.20	Plano de conexiones del panel de control.....	109

4.21	Simbología electrónica .....	109
4.22	Conjunto del sistema de control al completo.....	110



# ***CAPÍTULO 1***

---

---

## **Marco Teórico. Evolución de la fundición.**

El uso de los metales, es considerado desde la perspectiva antropológica como uno de los descubrimientos más importantes del mundo contemporáneo, de ahí que se considere como la mejor forma de definir las fronteras entre épocas con palabra alusivas: edad de bronce, edad de hierro, etc.

En el periodo neolítico, durante la edad de piedra (6000 a.C.), el hombre empieza a explotar el oro y el bronce, mediante el forjado artesanal, método en el que, el herrero o forjador, calentaba el material en una fragua, para luego golpearlo con un martillo sobre un yunque para darle forma, e ir enfriando las piezas en el interior de un recipiente con agua para así, templarlas.

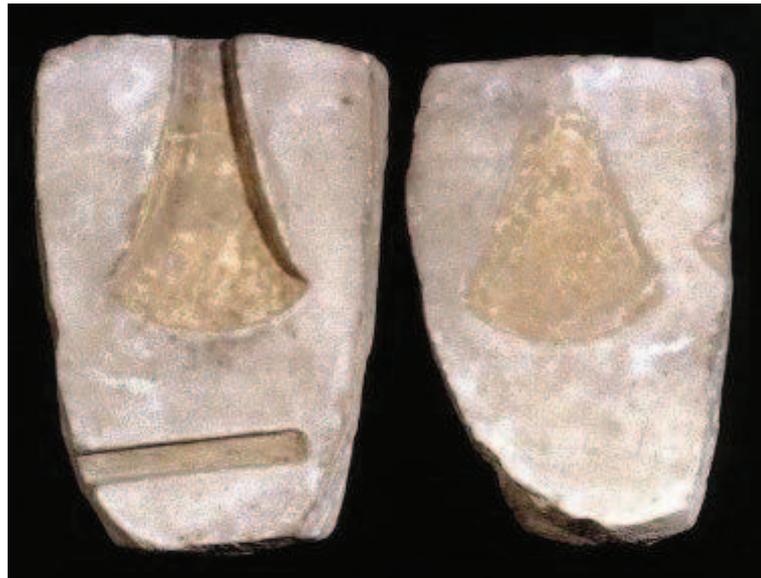


FIG 1.1. Molde en piedra de hacha de hoja simple.

La edad de los metales, comienza con las primeras evidencias de fundición de cobre en el área de los Balcanes del milenio V a.C. Este material se extraía por reducción, se mezclaba el mineral triturado de malaquita con carbón de leña y se fundía en el interior de un horno al que se le insuflaba oxígeno para alcanzar temperaturas cercanas a los 1000°C, reduciendo el mineral a un cobre relativamente puro, que se licuaba, depositándose en la parte inferior del horno, y un orificio en el inferior del horno, permite al líquido candente fluir hacia el exterior, donde se recoge en moldes, quedando las impurezas expuestas flotando en el colado, haciéndolas fácil de eliminar mediante un escoriador.

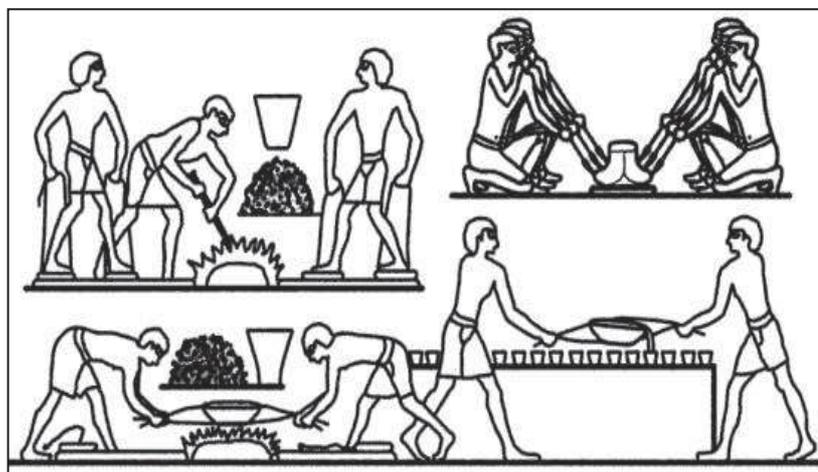


FIG 1.2. Fundición en el antiguo Egipto.

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

En la siguiente edad, la del bronce (200 a.C. aprox.), se descubre esta aleación de cobre y estaño, y se trabaja su fundición a la cera perdida, este método consiste en envolver el modelo previa con una gruesa capa de material blando que se deja solidificar, para luego ser reproducido en cera la pieza a ejecutar.

Posteriormente el modelo de cera se recubre de material cerámico y se mete dentro de un horno, que derrite la cera, haciéndola fluir por unos orificios de fuga, y en su lugar se inyecta el bronce fundido, que adopta la forma exacta del modelo, una vez enfriado se destruye el molde para extraer la reproducción.



FIG 1.3. Armas de bronce de Europa central y hacha de doble filo elaborada en bronce.

El progreso en la fabricación de piezas cada vez más complejas tales como espadas, ruedas, campanas, y otros objetos, desembocan en la aparición del hierro en la antigua Grecia en el I milenio a.C., mas tarde otras culturas trabajarían el hierro, apareciendo piezas aleadas. Sin embargo seria muchos años después cuando se conocería la forma de reducir grandes cantidades de minerales ferrosos.

Con el paso del tiempo, las necesidades creadas por los grandes conflictos armados, han llevado al hombre a desarrollar nuevos materiales y procesos de fabricación. La aparición de nuevas aleaciones de cobre, aluminio

y el desarrollo del conocimiento de los elementos químicos y de nuevos procedimientos de fabricación de modelos, moldes y técnicas de fusión fueron determinantes para lograr el nivel de industrialización de principios del siglo XX. Con la primera guerra mundial y la instauración de la producción en cadena, en estados unidos la industria de la fundición empieza a desarrollar maquinas de fundición a presión, que permiten la fundición en cadena de grandes cantidades de componentes metálicos, de hecho en la actualidad el 65% de la producción de piezas de aluminio mediante procesos de fundición a alta presión, se destina a la industria de la automoción.

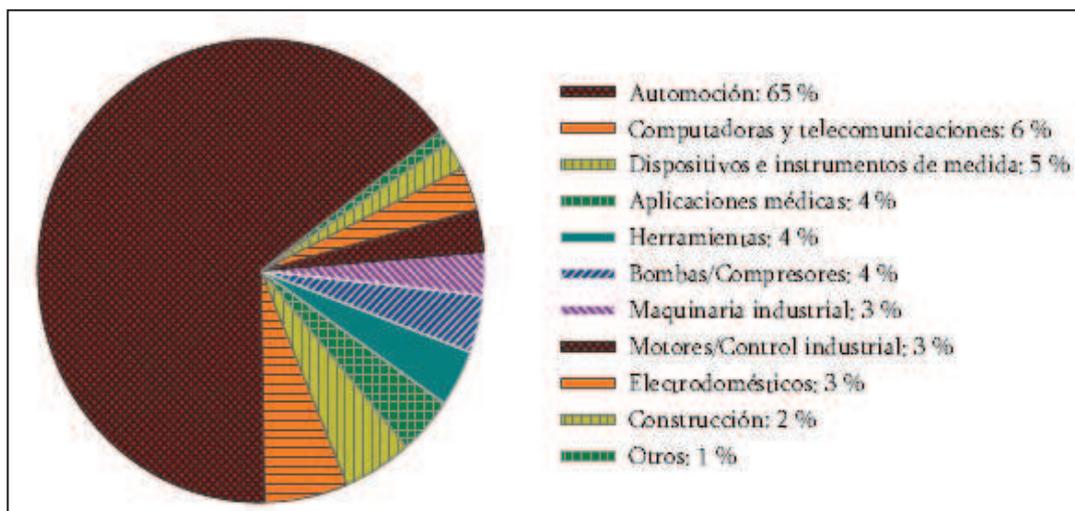


FIG 1.4. Distribución porcentual del consumo de productos FIAP de aluminio para diferentes sectores industriales.

## 1.1 Características de la fundición actual y los distintos procesos de fundición

Los procesos de fundición de metales consisten básicamente, en el vertido del metal líquido en un molde con la geometría de la pieza a fabricar en su superficie interior y su posterior enfriamiento y solidificación en el interior de dicho molde.

Se caracterizan en la actualidad esencialmente por su gran versatilidad para fabricar, a bajo coste, piezas de gran variedad en formas y tamaños, y por

la asequibilidad de trabajo con materiales de difícil manejo mediante otros procesos, la fundición permite la reproducción de multitud de formas geométricas complejas, ya sean macizas o huecas, e incluso en varias superficies. Por otra parte, es necesario tener en cuenta las principales desventajas con las que cuenta este tipo de fabricación, que en su gran mayoría se agrupa entorno al acabado superficial de la pieza y los posibles defectos ocasionados por la acumulación de aire en el interior de las piezas, los cuales son muy difíciles de apreciar.

Cualquier proceso de fundición depende directamente del material del molde en el que se va a realizar el vertido, tanto es así que se agrupan dichos moldes en función de su material de construcción, diferenciando así entre moldes desechables y moldes permanentes.

### **1.1.1 Molde desechable**

Moldes de un solo uso, ya que para poder extraer la pieza, es necesaria su destrucción una vez enfriado. Los materiales más habituales se componen de arena (sílice), yeso, cerámica y otros materiales reutilizables, son económicos con una gran capacidad para resistir altas temperaturas, lo que la hace ideal para este tipo de procesos.

- **Molde de arena**

El molde se compone de dos piezas, una superior y otra inferior, unidas mediante una línea de partición, los moldes se construyen con modelos que reproducen las geometrías de la pieza a fabricar en madera o metal, estos modelos a su vez suelen estar divididos en partes para facilitar la extracción del molde. Los modelos se fabrican sobredimensionados para compensar los efectos del enfriamiento del material de fundición en el interior del molde y las posteriores operaciones de mecanizado para mejorar el acabado superficial que haya que realizarles a los mismos. Los modelos se introducen dentro del molde con cierto grado de inclinación, el cual depende del ángulo que forma la

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

pared del modelo con la dirección de extracción del mismo, para así no dañar el molde antes de la operación de fundición, regido por un valor normalizado según la norma DIN 1511.

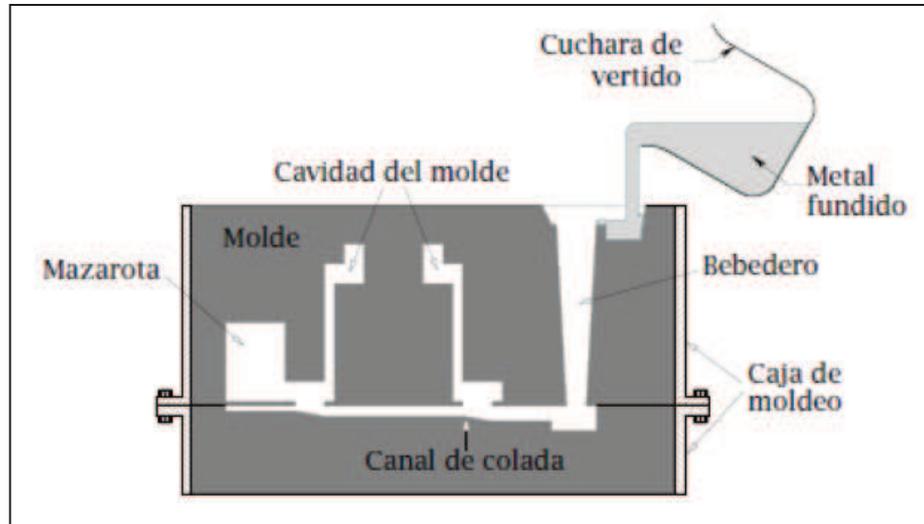


FIG 1.5. Sección de molde de arena.

Para la generación de cavidades internas se utilizan machos, se construyen igualmente con arena, pero deben de tener mejores cualidades frente a las altas temperaturas ya que estarán totalmente rodeados de metal fundido.

- **Molde de cera perdida**

El modelo se fabrica con materiales de bajo punto de fusión, se introduce dentro de la caja o recipiente con la arena para dar la forma deseada al molde, una vez compactada la arena, se eleva la temperatura para licuar el modelo y evitar así el deterioro del molde. Esta técnica permite obtener piezas complejas con buen acabado superficial y mejores tolerancias que en procesos de fundición convencionales.

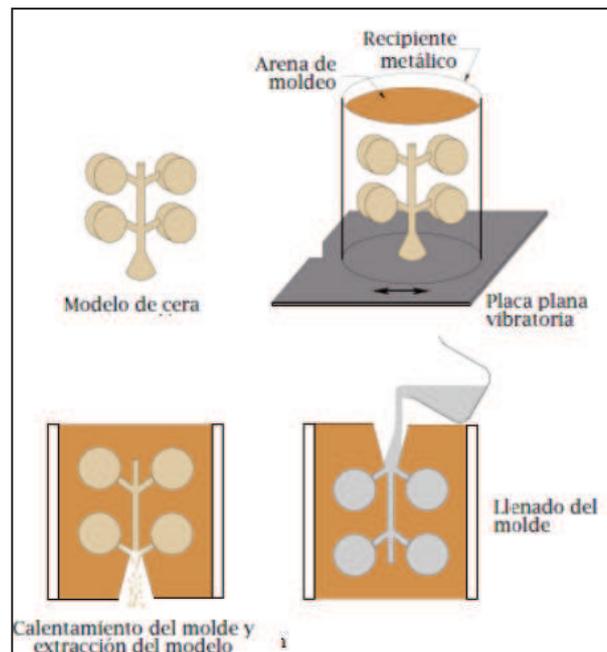


FIG 1.6. Modelo de fundición a la cera perdida.

## 1.1.2 Molde permanente

En este caso, los moldes se suelen construir en metal o grafito, de forma que sean reutilizables, igualmente los machos se fabrican en metal o grafito, o en ocasiones en arena. Se utilizan en largas tiradas para amortizar el elevado coste de la elaboración de los moldes, que se obtienen por mecanizado, las piezas resultantes se elaboran en tiempos menores que en otros procesos de fundición, debido a que el molde es reutilizable sin necesidad de ser tratado o reparado entre cada operación, de esta manera el coste por pieza disminuye igualmente.

Este tipo de proceso permite una calidad de detalle y una tolerancia mucho mejor que la del molde desechable ya que el mismo molde se calienta a una temperatura entorno a los 200°C antes del vertido, para disminuir el salto térmico y se utilizan materiales con bajo punto de fusión como el aluminio, el zinc o el magnesio.

Dentro de los procesos de molde permanente podemos diferenciar entre fundición al vacío, por gravedad, por inyección a baja presión y a alta presión.

- **Fundición por gravedad**

Se utiliza para la fundición de piezas en materiales con bajo punto de fusión como por ejemplo el aluminio, en este proceso el vertido se hace a través de una apertura superior en el molde, rellenando todo el espacio interior del mismo. Las piezas obtenidas cuentan con un buen acabado superficial y una gran precisión, además de tener unas propiedades mecánicas y metalúrgicas mejores a las obtenidas mediante la fundición en arena.

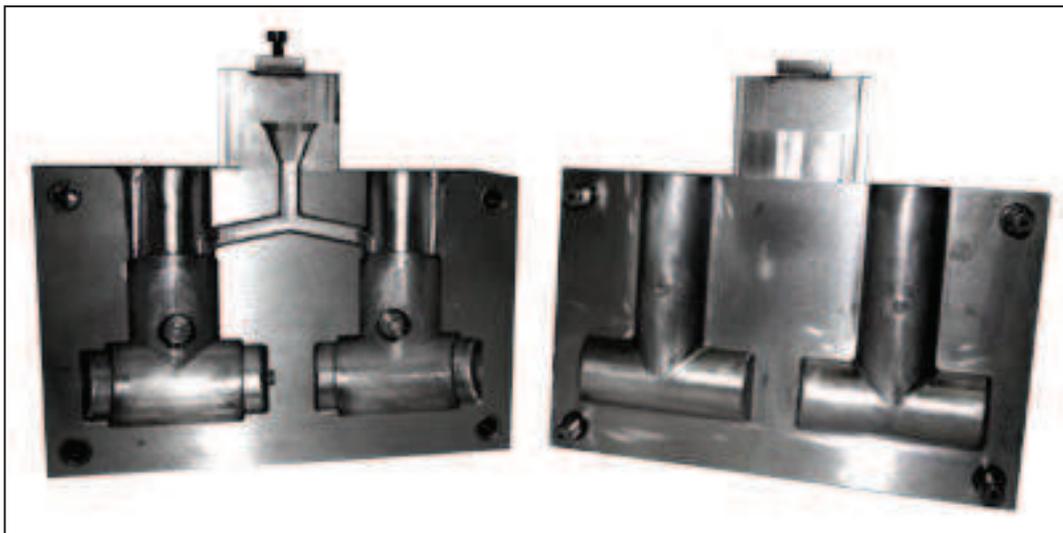


FIG 1.7. Ejemplo de matrices para fundición por gravedad.

Los moldes son de acero aleado de alta calidad, mecanizado a la forma final y dividido en 2 mitades, la solidificación se incentiva mediante un sistema de refrigeración mecanizado en el molde

- **Fundición al vacío**

En este proceso, la unión de las dos mitades del molde se produce mediante presión al vacío en sustitución del aglutinante químico. El molde se sostiene sobre un brazo articulado que lo sumerge parcialmente de forma automática en el metal fundido en el interior de un horno de inducción. El interior del molde se somete a la acción de una bomba de vacío, y la diferencia de presión, es la que succiona el fundido al interior del molde, rellenando todas las cavidades a través de un canal de alimentación en la parte

inferior del molde, una vez completo, se retira del molde la pieza inyectada.

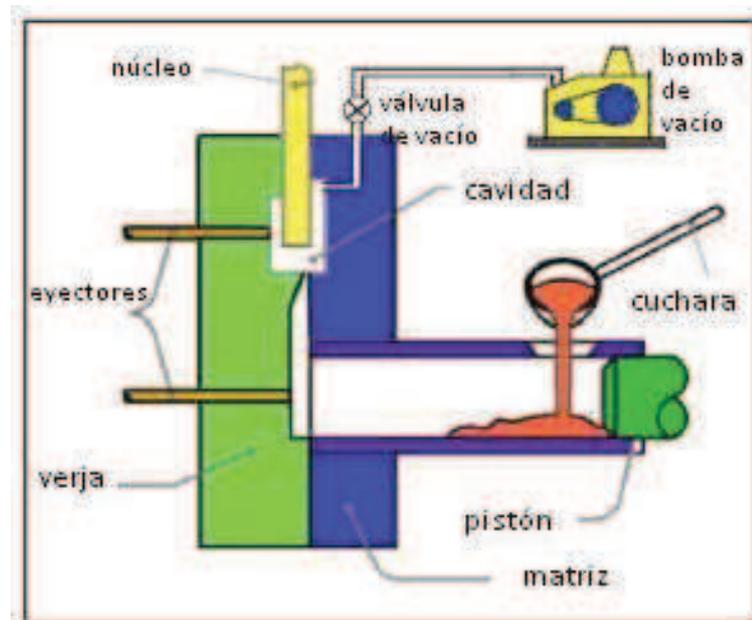


FIG.1.8. Ejemplo de máquina para fundición al vacío.

Este proceso se utiliza para la realización de formas complejas en moldes con pared delgada, este proceso implica el uso de materiales reactivos, como aluminio, titanio, circonio y hafnio. Estas piezas, que a menudo se encuentran en forma de superaleaciones para turbinas de gas, pueden tener paredes de un espesor de hasta 0,5 mm. El proceso puede automatizarse y los costes de producción son similares a los de la fundición en arena verde.

El vacío de la cavidad reduce el gas atrapado durante la inyección de metales y por lo tanto la porosidad en la fundición. El resultado es un moldeo con un mayor nivel de calidad y con una mayor resistencia. La pega que tiene este proceso de fabricación es que es muy complejo, principalmente por lo difícil que se hace de automatizar, y la lentitud con la que se lleva a cabo el proceso hace que no sea rentable.

- **Fundición por inyección a alta presión (FIAP)**

A lo largo del siglo XX, la fundición ha ido evolucionando en busca de la mayor producción y versatilidad posible, dando lugar a los procesos de fundición por inyección a alta presión, en estos procesos encontramos la

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

variedad en la capacidad de producción, obtención de piezas y perforaciones delgadas, difíciles de encontrar en otros muchos métodos. Los grandes volúmenes de producción que ofrece los procesos FIAP, y el buen acabado superficial y su alta precisión en las dimensiones, suponen un importante ahorro en un mecanizado posterior de las piezas fabricadas.

La fundición a presión es un proceso en el cual el metal en estado líquido es inyectado en un molde de acero de dimensiones precisas y en cuyo interior es mantenido bajo presión, hasta completar la solidificación, tras la cual el molde se abre y la pieza es expulsada. La característica de este proceso la constituye la obtención de una presión de llenado elevada para realizar el llenado a alta velocidad. En los moldes, las paredes finas, las aristas, las curvas de las piezas a fundir y demás componentes del molde, presentan una resistencia elevada al llenado del molde, por ello es necesario que la velocidad en el llenado sea relativamente alta, para que no solidifique antes de completar el llenado, pero tampoco demasiado alta como para pulverizar el fundido.

Existen dos procesos básicos de fundición a presión, diferenciados por el método de inyección del metal:

### ➤ **Cámara Caliente**

El procedimiento de fusión en cámara caliente se realiza con aleaciones de bajo punto de fusión, el crisol se encuentra el mecanismo de inyección (embolo y cilindro) sumergido junto con el metal fundido, el horno forma parte del sistema de inyección.

En este tipo de maquinas no se deben fabricar piezas en materiales como aluminio, cobre o magnesio, ya que por encima de su punto de fusión, tienden a deteriorar los elementos féreos que componen el sistema de inyección.

Sus ventajas frente a la cámara fría, es que el fundido se somete a menos oxidación y menos agentes contaminantes al no existir contacto directo con el exterior, los ciclos de llenado son más cortos y esto nos facilita el control

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

de la temperatura del fundido, disminuyendo las presiones de inyección y los esfuerzos a los que están sometidos los equipos.

Un ciclo de inyección se compone de 4 fases:

1- Se cierra el molde y se eleva el embolo, abriendo el orificio y permitiendo que el metal fundido llene el cilindro

2- El embolo desciende y sella el orificio empujando el metal fundido a través del sifón y la tobera, hacia el interior de la cavidad del molde, donde es mantenido bajo presión hasta que solidifica.

3- El molde se abre y se retiran los machos del molde si los hay, la pieza fundida queda solo en una sección del molde, en el mecanismo de eyección. El embolo vuelve a su posición inicial, permitiendo que el metal fundido residual retorne a través de la tobera y el sifón.

4- Los expulsores empujan la pieza fundida y la sacan del molde por el lado del eyector. Según el embolo destapa el agujero de llenado, el metal fundido fluye a través de la entrada para rellenar el sifón como en el primer paso.

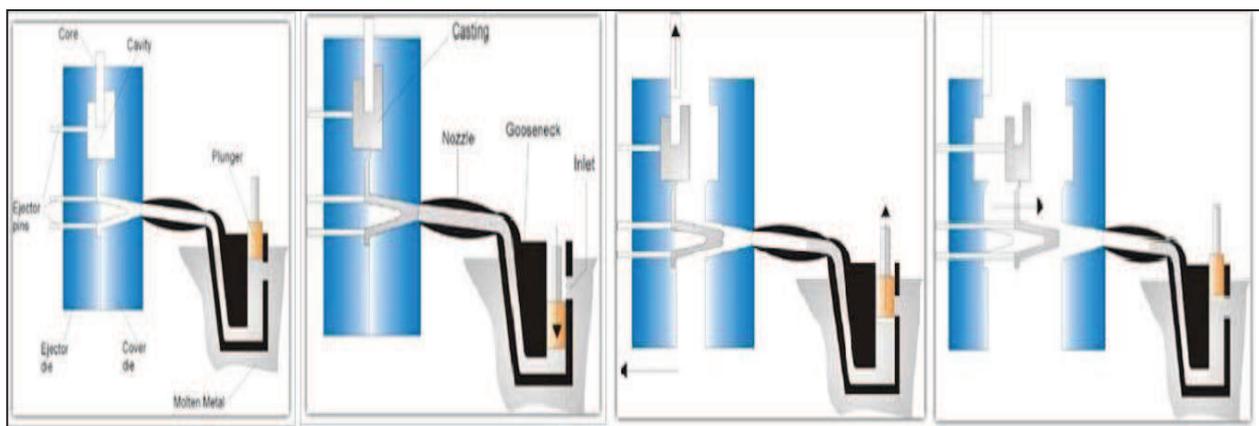


FIG 1.9. Ciclo de trabajo de la inyección en cámara caliente.

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

Las piezas producidas suelen pesar entre 20 y 40 Kg y se llegan a manejar presiones máximas de 35 Mpa. Los ciclos de trabajo son cortos y al encontrarse el sifón sumergido y en disposición de llenarse automáticamente, también se facilita el control de la temperaturas, y por tanto una mejora sustancial en la fluidez, permitiendo trabajar con presiones menores (habitualmente del orden de los 15 Mpa), sometiendo a los equipos a menos esfuerzos y dando la posibilidad de fabricar piezas compactas y de espesores menores a otras técnicas.

La desventaja clara es la limitación de materiales ya que aleaciones como el aluminio o el zinc-aluminio deben ser procesadas solamente en cámara fría debido a su alto punto de fusión y sus altos costes de mantenimiento.

### ➤ **Cámara Fría**

Los procesos de cámara fría tienen el sistema de inyección fuera del fundido, se encuentra a temperatura inferior a la de colada de la aleación y el contacto con ella es breve. La aleación se funde en el interior de un horno, luego se transporta mediante una cuchara de colada desde el crisol a un dispositivo automatizado de alimentación, donde un embolo empuja el fundido necesario para cada pieza hacia el interior del molde. El material adicional se utiliza para introducir mayor cantidad de metal fundido en la cavidad del molde con el objetivo de compensar la contracción que se produce durante la solidificación.

Entre las ventajas de la cámara fría están la posibilidad de trabajar con mayores presiones y mayores velocidades de inyección, lo que apreciamos en piezas más compactas y con mejores propiedades mecánicas, necesitando menos tratamientos posteriores a su fabricación, disminuyendo notablemente el costo general de las piezas.

Este tipo de herramientas se pueden presentar en dos tipologías distintas, con la cámara de inyección en posición vertical y en posición horizontal. Esto habilita la fabricación de piezas con materiales más ligeros y de

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

puntos de fusión mayores en el caso de la cámara vertical, y presiones más altas y menor tiempo de fabricación en máquinas de cámara horizontal.

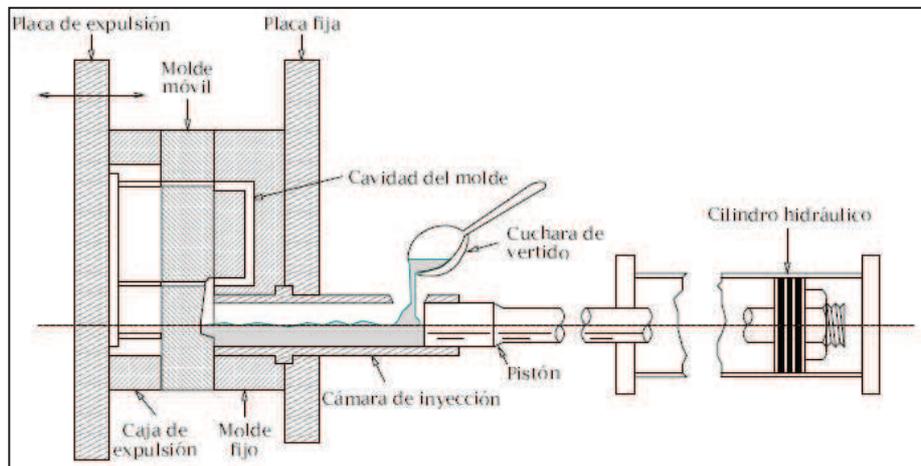


FIG 1.10. Esquema de máquina de fundición a presión en cámara fría horizontal (basado en Kalpakjian).

El ciclo de trabajo empieza una vez que el molde está vacío y preparado para el siguiente ciclo y consta de 3 etapas

1- Etapa lenta: Se cierra el molde, el metal fundido se transporta mediante la cuchara de colada al contenedor de cámara fría, y el pistón empuja el metal fundido hasta que la cámara de inyección esté completamente llena.

2- Etapa rápida: El embolo empuja el metal fundido hacia el interior de la cavidad del molde a gran velocidad.

3- Etapa de sobrepresión: una vez que el molde está completamente lleno, el pistón ejerce una sobrepresión sobre el fundido y la mantiene hasta que la pieza se encuentra solidificada.

Finalmente el molde se abre y el embolo avanza, para garantizar que la pieza fundida permanezca en el molde eyector, al igual que en la cámara caliente, se han de retirar los machos del molde si los hay, los expulsores

empujan la pieza fundida y la extraen del molde eyector, el pistón retorna a su posición original.

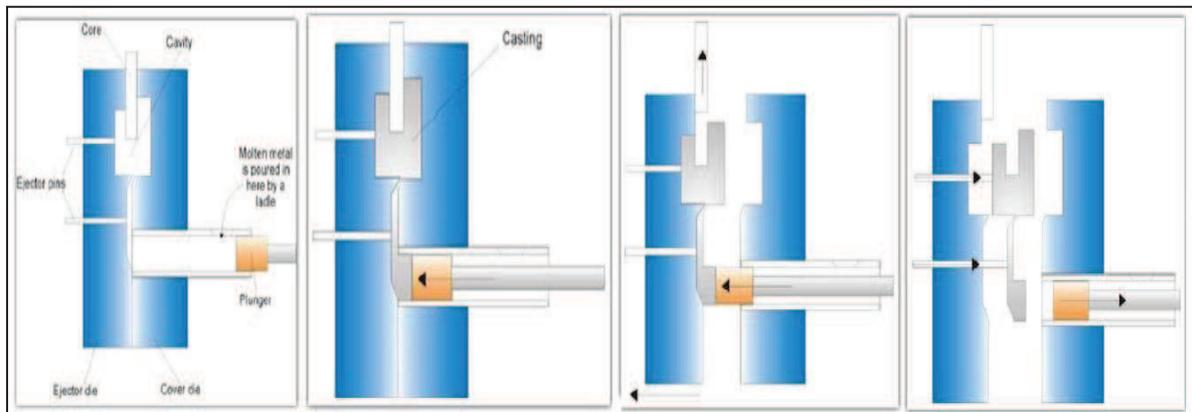


FIG 1.11. Ciclo de trabajo de la inyección en cámara fría.

Durante la inyección en cámara fría, el aire inicial contenido en el molde y en la cámara de inyección puede ser atrapado en el metal fundido, formando pequeñas burbujas que provocarían la aparición de porosidad cuando el metal se solidifique, por ello es necesario evacuar el aire y así evitar que quede atrapado. Normalmente esto lo hace a través de los vientos mecanizados en el molde, a lo largo de la línea de partición y siempre en las zonas que se llenan en último lugar, ya que allí será donde se acumule el aire al elevarse la presión en el interior del molde. Pero en la mayoría de los casos es imposible poder realizar estos vientos en la posición necesaria, por tanto hay que evaluar la geometría de la pieza para hacer lo posible por eliminar el aire dentro del molde, o en su defecto minimizar la porosidad de la pieza.

El sistema de evacuación de aire es mayor según aumenta el tamaño de la pieza, al igual que en ocasiones, las piezas pequeñas no necesitan vientos, ya que la evacuación producida en la línea de partición es suficiente. Cuando trabajamos con piezas de gran tamaño, se colocan pequeños depósitos junto a los vientos, para que en ellos se acumulen los óxidos, las escorias, y las pequeñas burbujas de aire, también sirven como puntos de evacuación de calor en zonas críticas.

En estas máquinas las presiones de inyección pueden alcanzar hasta los 70 Mpa y las piezas obtenidas pueden variar desde 50 gramos hasta un

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

máximo de 10Kg, los costes de mantenimiento de este tipo de maquinarias son más bajos que los equipos de cámara caliente, pero como contrapunto, los ciclos son más largos y la colada calculada de cada ciclo pierde calor antes de la inyección, trabando su fluidez.

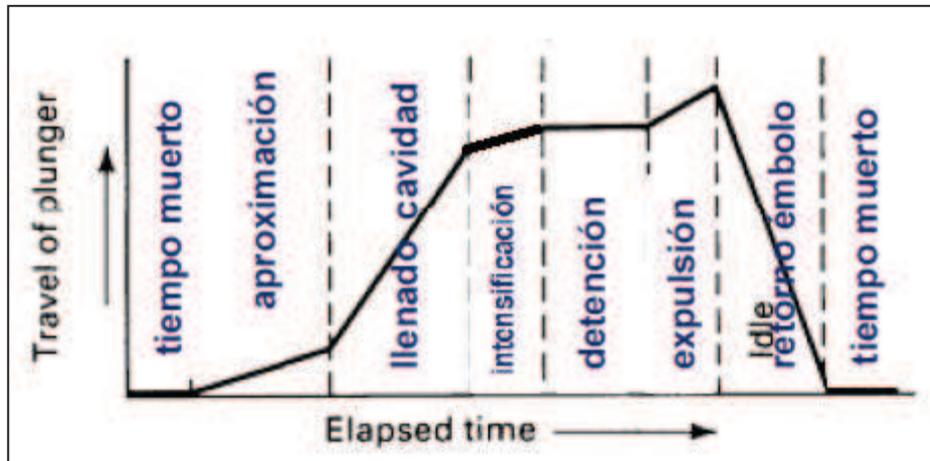


FIG 1.12. Desplazamiento del pistón en función del tiempo.

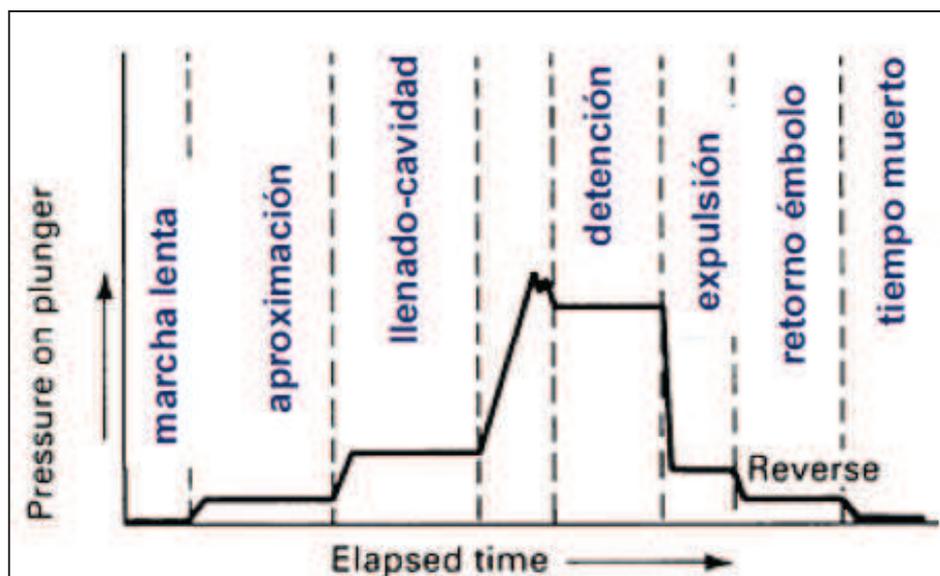


FIG 1.13. Presión del pistón en función del tiempo.

Al igual que posee multitud de ventajas, también conlleva una serie de pega, tales como los altos costos de maquinaria y de moldes, las limitaciones en el tratamiento posterior y la imposibilidad de usar núcleos de arena, debido a la presión ejercida por el inyector.

## 1.2 Materiales utilizados en la fundición

En nuestro caso de estudio, vamos a trabajar en la fabricación de un modelo de banco de trabajo que simula el comportamiento de un sistema de inyección por cámara fría horizontal, en este tipo de proceso se vienen utilizando distintos materiales, según las características que estos nos ofrecen, y su comportamiento ante el proceso al que se someten.

- **Aluminio**

Es el tercer metal más abundante en la corteza terrestre, pero aun así, no se encuentra en estado puro en la naturaleza, para conseguir 1kg de aluminio puro, se necesita aprox. 4,6 kg de bauxita, la cual después del proceso Bayer (disolución de la bauxita en hidróxido de sodio) obtenemos 1,9kg de alúmina, esta se reduce en un baño electrolítico, del que se obtiene aluminio en estado líquido, para luego ser vertido en forma de placas o lingotes.



FIG.1.14. Bauxita de la sierra de Ponce, Región de Murcia.

Una de sus mayores virtudes reside en el que 96% del aluminio de los productos que podemos encontrar hoy día se reciclará cuando acabe su vida útil actual, y así un número indefinido de veces, sin tener pérdida de calidad, además el proceso de reutilización conlleva un gasto significativamente menor de energía, por lo que no sorprende en absoluto que 2/3 del aluminio que podemos encontrar actualmente proviene del reciclado. Las piezas inyectadas

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

de aluminio son ligeras, soportan bien temperaturas más altas que otras aleaciones, y poseen una excelente resistencia a la corrosión.

Es bastante habitual la aleación A380, la cual ofrece mejoras en las características mecánicas y térmicas, tiene buenos resultados en trabajos de inyección por su buena fluidez, hermeticidad y su resistencia al agrietado en caliente, se utiliza en la fabricación de disipadores térmicos, chasis de equipos electrónicos, muebles, herramientas manuales y eléctricas, soportes y estructuras, entre muchas otras. Esta aleación se compone de aluminio, cobre (3-4%), magnesio (0.1%) Hierro (1.3%), Estaño (0.35%), Níquel (5%), Zinc (3%), Manganeso( 5%), y Silicio( 7,5-9,5%)

El tratamiento térmico de las piezas inyectadas no es habitual por la posibilidad de que se produzcan ampollas o abultamientos, debido a porosidades bajo la superficie que se manifiesten cuando se calientan a altas temperaturas. Sin embargo, las propiedades pueden mejorar mediante tratamientos de temple.

Material	Alloy	Tensile Strength		Yield Strength (0.2% Offset)		Impact Strength		Shear Strength		Hardness	Elongation
		MPa	psi	MPa	psi	J	ft. lb.	MPa	psi	Brinell	% in 50mm
Aluminum	A380	325	47	160	23	4	3	185	27	80	3.5
Acero*	SAE1008	290-360	42-52	140-275	20-40	---	---	---	---	125	30
Latón*	CM38000	420-460	61-67	228	33	16	12	---	---	133	20-25
Latón*	C38500	430-530	62-77	228	33	17	12	---	---	143	14-25

TABLA 1.1. Propiedades mecánicas aluminio, acero y latón.

### • Magnesio

Cuarto metal más abundante en la naturaleza, y considerado el octavo en nivel de importancia, en la naturaleza no se encuentra en estado puro, si no como parte de numerosos compuestos, carbonato, silicato, sulfato o cloruro, de los que se extrae por electrolisis o por tostación-reducción.



FIG 1.15. Magnesio en estado natural.

Su densidad es menor que la del aluminio ( $1,74\text{g/cm}^3$ , frente a los  $2,7\text{g/cm}^3$  del aluminio), lo cual, le proporciona importantes ventajas en el campo de las aleaciones ligeras, pero a su vez, sus propiedades mecánicas son inferiores a las del aluminio.

No se considera un buen material estructural, ya que funde a  $650^\circ\text{C}$ , además que su estructura cristalina ( hexagonal compacta) perjudica su comportamiento mecánico, ya que cuando se trabaja en frío, se producen grietas si se reduce su espesor en más de un 10% por laminación, no se considera que tenga buena fluencia, ni un gran resistencia, entre otras características que lo descartan para trabajar en estado puro, pero sin embargo como aleación podemos mejorar sus propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión.

La aleación AZ91D es la más común, de alta pureza con una excelente combinación de propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y colabilidad. Su resistencia a la corrosión se consigue mediante una restricción muy estricta de las impurezas metálicas: Hierro, Cobre y Níquel. Su limitación obliga a utilizar magnesio primario en la fabricación de la aleación, debiendo de tomarse grandes precauciones en la fase de mecanizado, las piezas inyectadas deben trabajar bajo una variedad de condiciones que pueden afectar a sus propiedades mecánicas, el aumento de la temperatura, provoca

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

un decrecimiento de la resistencia a tracción, el límite elástico y la dureza, mientras que la ductilidad aumenta.

Esta aleación se compone de Magnesio, Aluminio (8.3-9,7%), Cobre (0.03% máximo), Hierro (0.005% máx.), Níquel (0.002 máx.), Zinc (0.35-1%), Manganeso (0.15-0.5%), Silicio (0,1% máx.), Otros metales (0.02% máx.)

Material	Alloy	Tensile Strength		Yield Strength (0.2% Offset)		Impact Strength		Shear Strength		Hardness	Elongation
		MPa	psi	MPa	psi	J	ft. lb.	MPa	psi	Brinell	% in 50mm
Magnesium	AZ91D	230	34	160	23	3	2	140	20	63	3
Acero*	SAE1008	290-360	42-52	140-275	20-40	---	---	---	---	125	30
Latón*	CM38000	420-460	61-67	228	33	16	12	---	---	133	20-25
Latón*	C38500	430-530	62-77	228	33	17	12	---	---	143	14-25

TABLA 1.2. Comparativa de propiedades mecánicas de magnesio, acero y latón

### 1.3 Porosidad en los procesos FIAP

El principal defecto en las piezas fabricadas, es la aparición de porosidad originada por el atrapamiento de gas en el interior de la cavidad del molde. La evolución tecnológica en los procesos de fundición por inyección está orientada a minimizar la presencia de la porosidad en las piezas fabricadas y sus efectos derivados. Hay muchos estudios que relacionan la presencia de la porosidad en piezas de aleaciones ligeras y los efectos negativos de sobre determinadas propiedades mecánicas

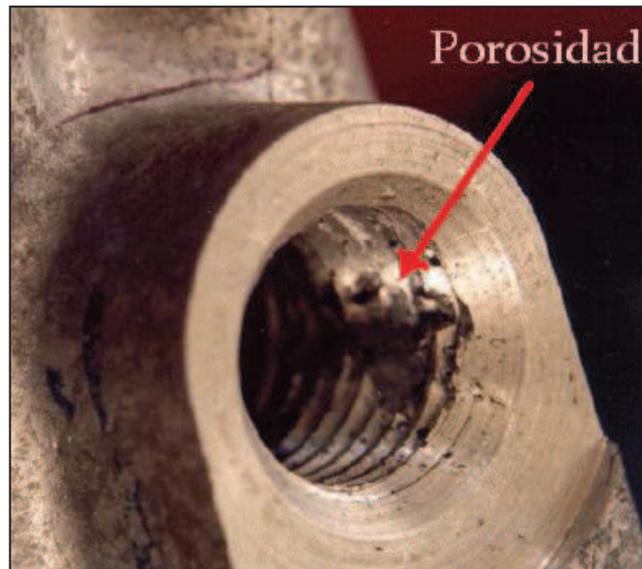


FIG 1.16. Ejemplo de porosidad en pieza FIAP

En piezas con poca exigencia mecánica, la disminución de la calidad ocasionada por la porosidad se ve compensada por las grandes ventajas que le aporta el sistema de inyección por alta presión, pero en piezas con grandes exigencias de trabajo, es necesario de reducir el nivel admisible el nivel de porosidad, lo que requiere la utilización de tecnología compleja y el conocimiento y el control de los factores que determinan el nivel de porosidad de las piezas fabricadas.

De los estudios antes mencionados se ha llegado a la conclusión de que hay dos parámetros fundamentales que controlan la aparición de la porosidad, estos son el tiempo de solidificación y los gradientes de temperatura durante la solidificación del fundido, y a raíz de ellos podemos dividir los orígenes de la porosidad en dos categorías principales:

- ***Porosidad por contracción volumétrica***

La micro porosidad originada por la contracción del volumen del metal en la solidificación puede tener su origen en diversos factores.

Primero por las dificultades en la alimentación líquida, pueden dar lugar a porosidad interna por un mecanismo de nucleación interna, lo que provoca que la fricción interna aumente y se produzcan deformaciones estructurales en la pieza, o pueden generar una porosidad externa, en la superficie de la pieza.

La macro porosidad por contracción es debida a los espacios producidos por el cambio volumétrico que se produce durante la solidificación del fundido. Esta se produce a lo largo del eje de la pieza fundida, donde la temperatura de la aleación en el proceso de solidificación es máxima en este eje, el calor se dirige hacia ambos lados del molde por lo que suele estar situado en la sección central de la pieza, siempre y cuando las dos mitades del molde tengan las mismas propiedades térmicas.

Puede aparecer en la parte que solidifica en último lugar, alejadas del punto de entrada de fundido, donde es más difícil el acceso del metal líquido que ocuparía el hueco debido a la contracción del material. La temperatura de solidificación se relaciona directamente con la porosidad, de hecho se puede apreciar este efecto en aleaciones que poseen un amplio rango de temperaturas de solidificación.

Los efectos de porosidad por contracción son difíciles de evitar, por eso es tan necesario a controlar su formación o intentando llevar la porosidad a las zonas en las que sus efectos no se traduzcan en debilidades mecánicas o en efectos negativos para su funcionamiento, esto se consigue cambiando la geometría de la pieza, evitando grandes espesores y acumulaciones de material o por lo contrario, empleando líneas de enfriamiento en zonas del moldes que mantenga uniformes los gradientes de temperatura a lo largo de todo el volumen de la pieza.

- ***Porosidad por atrapamiento de gases***

Generación de porosidad por la existencia de gases atrapados en el interior del fundido durante el proceso de inyección, esta porosidad se a de tener más en cuenta en los procesos de alta presión ya que se produce con mucha más frecuencia.

El tamaño de los poros suele variar entre 1 y 5 mm de diámetro, por lo que es muy sencillo identificarlos a simple vista cuando la pieza se mecaniza y su distribución no es uniforme, aunque se suele concentrar en las secciones de

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

entrada del fundido al molde, en las partes elevadas o en las últimas zonas a las que accede el fundido.

La porosidad por atrapamiento de gas suele presentar un aspecto suave y redondeado, en cambio en las porosidades generadas por la contracción del metal, las formas de son más rugosas e irregulares.

La porosidad se origina debida al movimiento del fundido en la cámara de inyección y a las turbulencias en el flujo de metal fundido en la entrada del molde, esto puede ocasionar la aparición de burbujas en la aleación, lo cual unido a los cortos tiempos de solidificación y a la dificultad para la evacuación de gases en los moldes mecánicos que actúan como agravantes, favoreciendo la aparición de mas burbujas.

El comportamiento en la dispersión del metal fundido depende directamente de la geometría de llenado, de la colocación y diseño de los vientos y de la velocidad a la que se realiza la inyección en el molde.

El nivel de la porosidad debida a los gases atrapados durante el proceso de inyección es menor si la velocidad de escape de las burbujas a través de los vientos es lo suficientemente grande, por lo menos, que la velocidad de escape sea mayor que la velocidad de solidificación del metal, para hacer posible que todo el gas sea evacuado antes de solidificar la pieza y evitar la formación de poros, pero esta condición es muy difícil de encontrar en los procesos con inyección a alta presión por sus bajos espesores y sus bajos tiempos de solidificación.

Los gases que producen las burbujas se componen habitualmente por los gases que se desprenden de los lubricantes utilizados en la cámara de inyección, el vapor de agua y el aire que ocupa la cámara de inyección y el molde, también encontramos hidrogeno precipitado durante la solidificación del fundido, este se podría disminuir realizando la fusión y la colada del metal en un ambiente de bajo contenido en hidrogeno, aunque no es muy viable debido al alto costo que generaría.

## 1.3.1 Atrapamiento de gases: etapas de la inyección

Analizamos el atrapamiento de gas en función de las etapas de las que consta un ciclo de trabajo, para poder hacer una evaluación correcta de la porosidad en condición de alta presión.

- ***Etapas lentas***

La etapa lenta del ciclo, el pistón empuja el metal fundido hasta llenar completamente la cámara de inyección.

En este movimiento, se forma una ola de metal fundido que puede dar origen a dos tipos de atrapamiento de aire, el que se produce cuando la ola impacta con la parte superior de la cámara y el que se produce cuando la ola impacta con la pared final de la cámara.

Para evitar estos impactos y sus consiguientes atrapamientos, el pistón debe empujar el metal fundido hasta que alcance la parte superior y mantenerse a velocidad constante para evitar que la ola se desmorone, para esto hay una velocidad crítica del pistón, que hace al fundido tocar la parte superior de la cámara, esta velocidad crítica no debe superarse, ya que sino el frente de la ola, se podría romper, atrapando el aire, y si por el contrario la velocidad es inferior a la crítica, la ola alcanzaría el frente de la cámara y antes de alcanzar la parte superior, esto daría como resultado que el gas quede atrapado en la parte superior de la cámara.

En las condiciones óptimas de funcionamiento, el pistón se debe acelerar hasta alcanzar la velocidad crítica de llenado, en muchas ocasiones, el pistón se mueve con una velocidad que aumenta linealmente con la distancia recorrida, debido a que en muchas máquinas los perfiles de velocidad del pistón se suelen programar especificando la velocidad en función de la posición del pistón, y dependiendo de la geometría del molde y una fracción inicial de llenado del mismo, existe una aceleración óptima que minimiza el volumen de aire atrapado en el interior del molde.

- ***Etapa rápida***

El atrapamiento del aire que se puede producir durante el llenado del molde se relaciona directamente con la evolución del flujo de metal fundido por el interior del molde y la evacuación del aire contenido en el molde a través de los vientos. A su vez, la dispersión del fundido se puede ver afectada por distintos factores entre los que destacamos:

- ❖ Las condiciones del flujo a la salida de la cámara de inyección.
- ❖ El diseño del sistema de distribución.
- ❖ La velocidad de inyección.
- ❖ La geometría de la cavidad principal del molde.
- ❖ La geometría y ubicación del sistema de vientos.
- ❖ Las propiedades del metal fundido durante el llenado del molde.

En la fundición a presión el paso de la cámara de inyección al molde, la geometría del sistema de distribución y del propio molde y las velocidades a las que se lleva a cabo el llenado, llevan a la destrucción del frente de metal líquido durante la fase de llenado del molde.

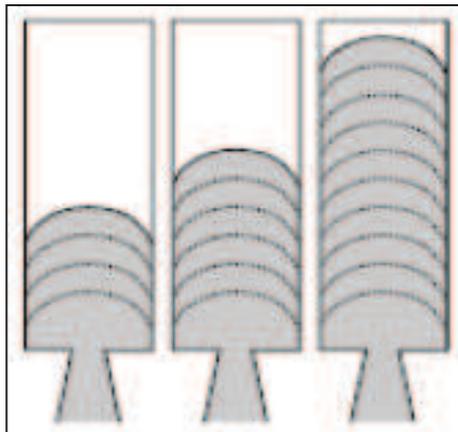


FIG 1.17. Llenado de molde con frente de metal plano

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

La FIG 1.17. Representa el frente de metal plano, se produce un llenado a baja velocidad, la localización de los vientos en los puntos más alejados de la entrada de fundido facilita la eliminación del atrapamiento de gas.

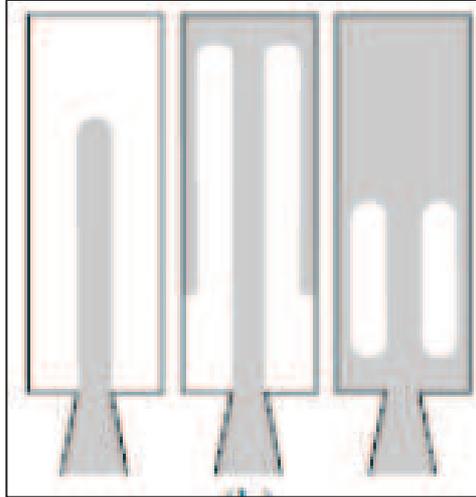


FIG 1.18. Llenado de molde de frente de metal no plano

En la FIG. 1.18, el frente de metal no plano converge y rodea las bolsas de aire, provocando el atrapamiento de gases en la pieza que se está fabricando. En este caso, la correcta ubicación de los vientos, puede no ser suficiente para evitar la formación de porosidades

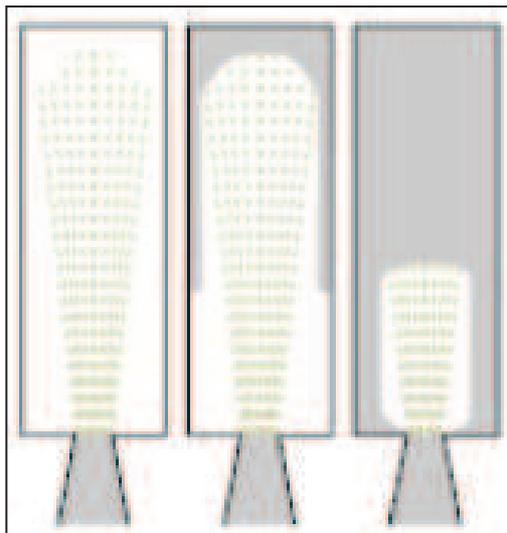


FIG 1.19. Llenado de un molde por flujo de metal atomizado.

Cuando la velocidad de inyección es muy alta, puede provocarse una atomización del fluido, el fundido pasa a convertirse en aerosol rociado en la cavidad principal, provocando el otro tipo de atrapamiento de aire, como vemos en la FIG.1.19.

## 1.4 Evaluación de la porosidad

A la hora de elegir el método a utilizar para evaluar el nivel de porosidad que encontramos en una pieza fundida, tenemos que tener en cuenta la medida en que esa porosidad afecta a las propiedades mecánicas de la pieza fabricada, como la resistencia de tracción, la tensión de rotura, la dureza o la resistencia a la fatiga. La influencia de la porosidad en las piezas, depende de donde se encuentre localizada, su caracterización y el grado de exigencia al que se vaya a someter a la pieza.

Por ello no todos los métodos de ensayo son recomendables para todos los posibles usos de las piezas, lo ideal sería realizar un perfil básico, unas características comunes para todos los métodos a utilizar, que nos aporten unos datos mínimos y conlleven unos costes dentro de un rango racional, y no modifiquen en la medida de lo posible la funcionalidad de la pieza.

Partiendo de esta premisa, podríamos dividir los métodos de evaluación en dos tipos:

### ➤ **Métodos no destructivos:**

Son pruebas que se le pueden practicar a cualquier pieza que no altere de forma permanente las propiedades físicas o mecánicas de las piezas a analizar, intentando dañar lo menos posible o no dañar la pieza estudiada, entre estos tipos destacamos:

- **Radiografía:**

Método muy usado en la industria de la fundición, permiten detectar la porosidad, las grietas y las impurezas permite localizar con mucha precisión las zonas afectadas, pero solo en un solo plano, lo que hace imposible evaluar

correctamente el grado de porosidad. Los resultados dependen del tipo de exposición, el ajuste de las imágenes tomadas, la posición de las piezas respecto del frente de radiación y del material de la pieza.

- **Tomografía por ordenador:**

Se consigue una radiografía por rayos X de la pieza pero generando información tridimensional a partir de una gran cantidad de imágenes generadas en un solo plano desde distintos frentes, de esta manera es posible valorar la porosidad de la pieza fabricada, obtener las medidas de la densidad con elevada precisión cuando se realiza la calibración apropiada

- **Ultrasonidos:**

Medición de la propagación del sonido en la pieza a analizar, utilizado para controlar la calidad y el mantenimiento preventivo interpretando los resultados en un osciloscopio y podemos obtener una medida de la porosidad de manera cualitativa y con cierto grado de incertidumbre.

- **Gravimetría:**

Método analítico para determinar la cantidad de una sustancia presente en una muestra, permite conocer la densidad de un sólido mediante el uso de una balanza hidrostática donde se pesa la pieza primero en el aire, y luego sumergido en agua, la porosidad se calcula en función de la densidad teórica de la muestra sin poros, este es el método más utilizado en la industria de la fundición.

➤ **Métodos destructivos:**

Ensayos que se practican a algunos materiales como el acero, deforman la pieza, dejándola inútil para operar con ella, pero permite inspeccionar mejor las deformaciones que se originan en el interior de las piezas y elaborar técnicas para evitar la formación de imperfecciones.

- **Análisis de imagen por mecanizado:**

Mecanizamos la pieza a estudiar y luego inspeccionamos las superficies seccionadas. El estudio de la porosidad dependerá del tratamiento que se le proporcione a las superficies y los métodos de visualización usados. Mediante una sencilla técnica para relacionar el porcentaje de porosidad de varias imágenes con el porcentaje de porosidad global de una pieza, los porcentajes se ponderan con el volumen de cada sección para calcular el porcentaje medio de toda la pieza, pero solo se recomienda usarlo en casos en los que el estudio de la porosidad se realiza a nivel local.

- **Fusión al vacío:**

Permite cuantificar la cantidad de gas atrapado en una pieza mediante la fusión de la misma en el interior de una cámara en condiciones de presión y volumen controladas, en este método se relacionan las variaciones de presión y temperaturas en el interior de la cámara, con la cantidad de gas atrapado que se libera durante la fusión de la pieza.

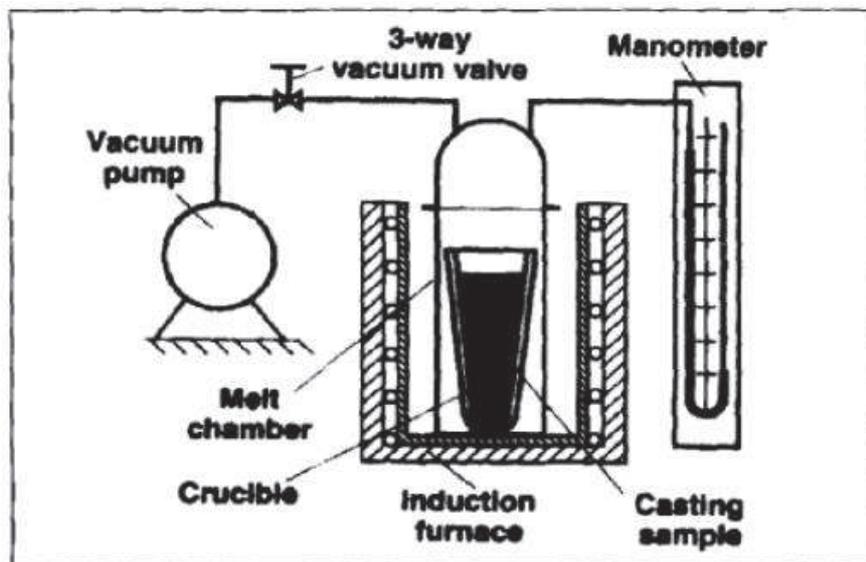


FIG.1.20. Esquema de fusión al vacío utilizado por Brevick y Cheng

## 1.5 Ensayo experimental en banco de pruebas

Uno de los objetivos de este proyecto es el diseño de un banco de pruebas en diversos materiales como aluminio y metacrilato, que nos permita realizar estas pruebas para el análisis de llenado del molde, mediante el uso de la analogía entre el agua y el aluminio.

La principal ventaja de este ensayo es que nos permite visualizar paso a paso el proceso de llenado del molde. Gracias a la transparencia del metacrilato, se puede analizar la dispersión del material mediante el uso de una cámara de alta velocidad, para ver así, el comportamiento de los gases atrapados, así podemos estudiar la forma de mejorar la geometría de los moldes y la correcta posición para los vientos y los rebosaderos, con los resultados obtenidos, tendremos una buena simulación del comportamiento que tendría la fundición real de aluminio en condiciones similares.

## 1.6 Objetivos del estudio

Los objetivos que nos hemos marcado son:

- ✓ Estudiar la problemática y limitaciones que presentan los procesos de fundición por inyección a alta presión identificando los parámetros del proceso que están relacionados con la formación de porosidad en las piezas fabricadas con aleaciones de aluminio en la máquina de fundición industrial de cámara fría disponible en el Dpto. de Ingeniería de Materiales y Fabricación.
- ✓ Diseñar detalladamente un banco de ensayos que, utilizando agua como material de trabajo, permita simular las condiciones que se dan en el interior de los moldes y cámara de inyección durante el llenado de los mismos en máquinas de inyección horizontales de cámara fría.

## Capítulo 1. Marco teórico. Evolución de la fundición.

- ✓ Incluir un diseño modular del banco con el fin de dotarlo de la capacidad de reconfigurarlo fácilmente para diferentes geometrías tanto en la cámara de inyección como en los moldes y sistemas de distribución.
- ✓ Seleccionar los accionamientos y sistema de control necesarios para el manejo del sistema que permitan alcanzar condiciones de trabajo reales.
- ✓ Configurar y programar el sistema de control conforme a las leyes de movimiento estudiadas que permitan verificar la reducción de la porosidad por atrapamiento de aire.

# ***CAPÍTULO 2***

---

## **Fundamentos de trabajo.**

Para el diseño de nuestro banco de pruebas iremos abarcando un amplio marco de condiciones y aspectos a tener en cuenta para garantizar el diseño de una maquina funcional y que cumpla con las condiciones físicas de sistema FIAP.

Las principales razones por las que decidimos realizar ensayos con agua se refieren al cálculo de la cantidad de aire atrapado que se puede apreciar en la misma cámara de inyección a través de un dispositivo de captura de imágenes a alta velocidad. La estimación de la cantidad de aire atrapado en el interior de la cámara de inyección se puede realizar sin necesidad de métodos y equipos adicionales, al tratarse de ensayos experimentales con material frío, el número de variables que intervienen en la formación de porosidades disminuye considerablemente.

El fluido que utilizamos es agua, y hay que tener en consideración que las propiedades físicas son diferentes a las de las aleaciones habitualmente

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

utilizadas, por lo que debemos tener en cuenta las diferencias en cuanto a su comportamiento.

El diseño del banco de pruebas se realizara de acuerdo con la norma DIN 24480-1, la cual nos indica que en una maquina de inyección a presión se distinguen las siguientes partes:

- Unidad de Cierre y Molde.
- Unidad de Colada.
- Unidad de Descarga.
- Unidad de Núcleos.
- Unidad de potencia y control de Maquinaria.

Ya que no existe ninguna norma que regule el diseño y la fabricación de sistemas experimentales, y dado que en ningún momento vamos a utilizar materiales que puedan generar peligro para la propia instalación, llevaremos a cabo el diseño bajo nuestro criterio y siguiendo la norma antes indicada.

## 2.1 Unidad de cierre y molde

### 2.1.1 Cierre

El cierre, además de sujetar de forma correcta las dos partes del molde para extraer con facilidad la pieza fabricada y preparar el molde para una nueva inyección, permite ejercer la fuerza necesaria para que las dos partes permanezcan correctamente unidas durante el proceso de inyección.

En el sistema de cierre se pueden identificar tres elementos fundamentales:

- **Platos de sujeción:** apoyan y sujetan las dos partes del molde mediante unas ranuras que los sujetan con bridas y tornillos, uno de ellos es fijo y cuenta con una compartimento donde se acoplará el contenedor, que junto al casquillo de ajuste compondrá la cámara de inyección.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

Este compartimento permite modificar la altura entre el plato fijo y el contenedor, permitiendo la instalación de moldes de distintas geometrías. El plato móvil es el encargado de alojar la pieza una vez fabricada.

En el prototipo para ensayos la apertura del molde se hará desplazando los platos sobre las columnas de guiado, y no se tendrá en cuenta la carrera del desplazamiento ya que solo trabajaremos con agua.

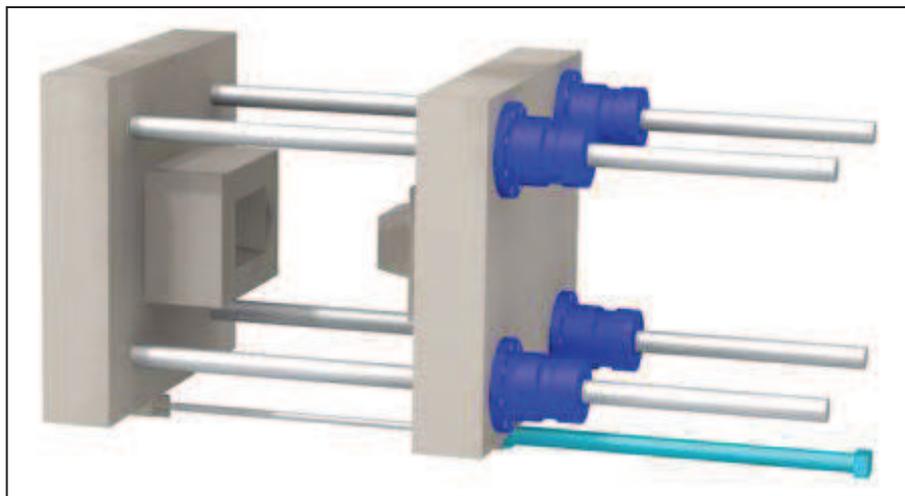


FIG.2.1. Ejemplo de cierre de molde.

- **Sistema hidráulico:** utilizado para el cierre del molde, en las máquinas de fundición se compone de una bomba hidráulica que genera la presión necesaria para accionar el cierre generando presiones de entre 4000 y 8000 kPa.

En nuestro banco de pruebas trabajaremos con presiones inferiores, y podremos cerrar el molde mediante unas guías y unas palometas o tornillos.

- **Sistema mecánico:** Permite la transmisión de movimiento del cierre mediante un conjunto de rodilleras que se bloquean al final de su recorrido, asegurando el cierre de los platos de la máquina. Este sistema es responsable del desplazamiento de la placa de expulsión,

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

utilizados para la extracción de la pieza del molde después de la inyección.

En nuestra maquina no es necesario este sistema mecánico, por que como ya hemos comentado anteriormente, no vamos a tener una pieza resultante después de cada ciclo de inyección.

Finalmente encontramos las barras de guías, las cuales se localizan en las esquinas de los platos de sujeción y servirán para desplazar los moldes a lo largo de las mismas en el momento de cierre y de apertura.

Estas barras deben mantenerse lubricadas para garantizar que el movimiento no degrade las barras prematuramente y el funcionamiento sea el adecuado.

### **2.1.2 Molde**

El diseño y la fabricación de los moldes es una de las actividades más caras de los procesos de fundición a presión, el diseño abarca la geometría de la pieza a fabricar, la información de los canales de colada, vientos, rebosaderos, extractores, radiales y líneas de enfriamiento.

En las maquinas de fundición la parte fija del molde queda orientada con respecto al plato fijo de la maquina mediante el acceso al contenedor de inyección, se puede utilizar un casquillo intercambiable de unión entre el molde y el contenedor, así la cámara de inyección se compondrá por la cavidad interior del contenedor junto con la del casquillo, esto permite usar diferentes diámetros de cámara de inyección.

La complejidad de las piezas y las presiones de trabajo sobre el fundido en el proceso de solidificación, ocasionan problemas a la hora de desmoldar las piezas fabricadas, incluso cuando se utilizan dispositivos de extracción mecánica. Para facilitar la extracción de piezas, se pulveriza en el molde un fluido desmoldante con base de silicona, mediante el uso de una pistola de aire comprimido.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

Una vez abierto el molde, las piezas se mecanizan, manualmente o mediante prensas automatizadas, para eliminar los restos de metal sobrante en la pieza, tales como rebosaderos o canales de llenado. En muchas ocasiones también se trata mecánicamente el acabado superficial.

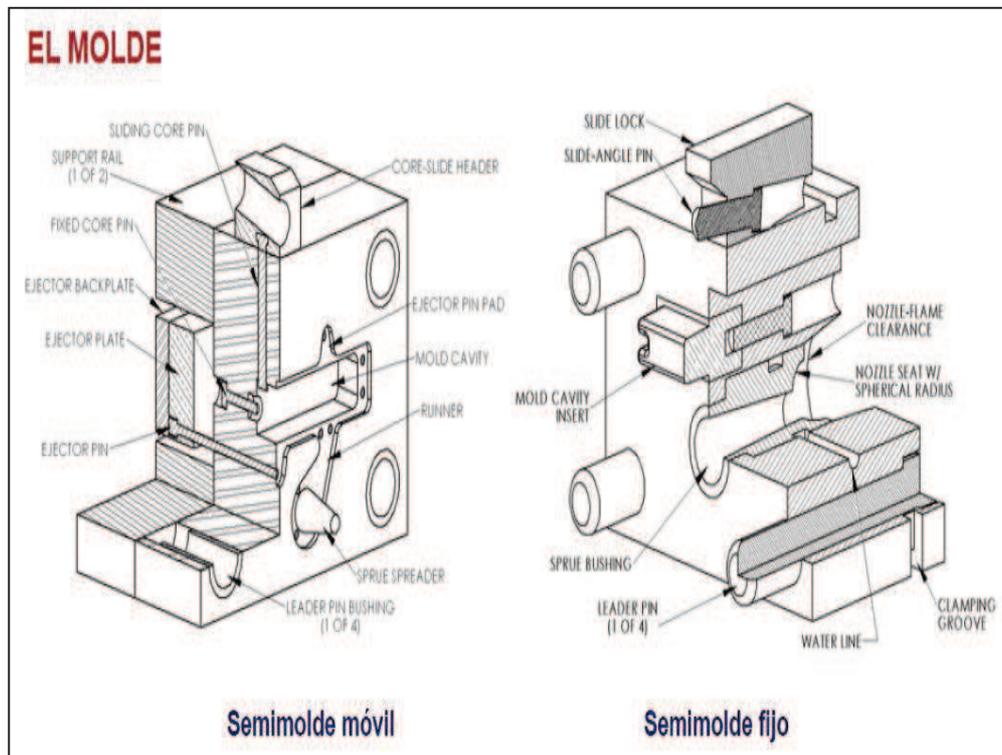


FIG 2.2. Mitades de un molde de fundición.

Cuando la pieza ya está inyectada y se abre el molde, la pieza fabricada se transporta a gran temperatura, hacia los sistemas de transporte o hacia las máquinas de desbarbados utilizadas para separar de la pieza final los canales de llenado, rebosaderos y vientos. En otras ocasiones es necesario un proceso de mecanizado adicional para realizar obtener un mejor acabado superficial. Los moldes y los contenedores se deterioran por fatiga térmica debido al impacto cíclico de una masa de fundido a alta temperatura y presión, eso se incrementa cuando se utiliza de forma continuada, ya que el salto térmico es mayor, esto se puede evitar mediante el precalentamiento de molde y contenedores con circuitos de aceite caliente para alcanzar lo antes posible una temperatura estable para funcionar y así mantener su vida útil por más tiempo.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

En este proyecto solo se tiene en cuenta el diseño del banco de ensayos y utilizaremos moldes previamente fabricados que se utilizaron en otro banco de ensayos de características similares en los que se llevaron a cabo varios estudios anteriores y siempre para la utilización en pruebas con agua y nunca con metal fundido de ningún tipo.

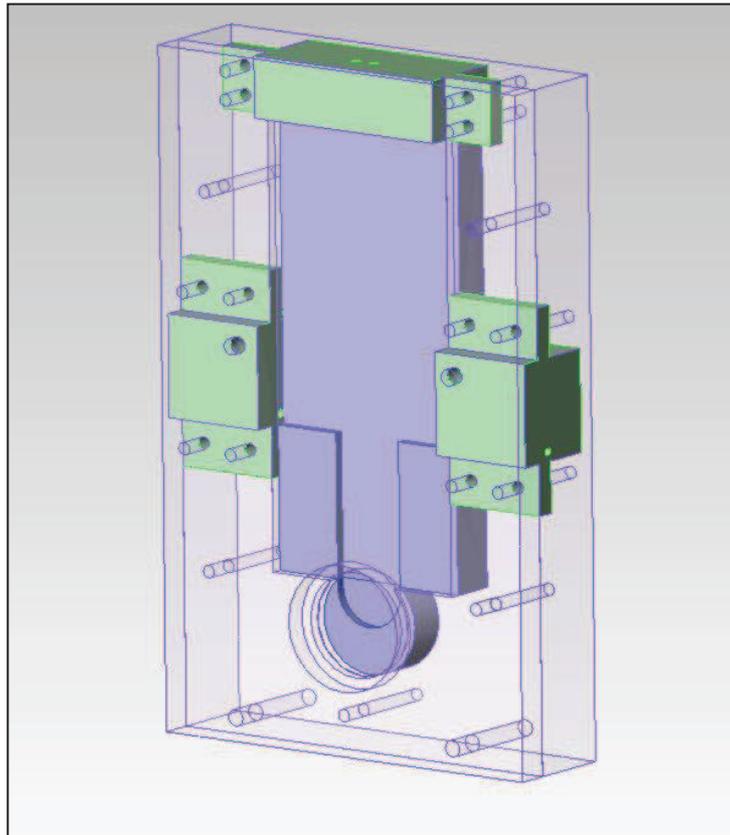


FIG 2.3. Modelo en SolidWorks del molde a utilizar.

## 2.3 Unidad de colada

En la industria de la fundición, el transporte del metal fundido desde el horno hasta el contenedor presenta dos inconvenientes principalmente:

- Trabajar con el fundido a alta temperatura, conlleva riesgo de accidentes por derramamiento, pudiendo infligir daños personales al operador de la cuchara de colada.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

- Es necesario trabajar con la cantidad justa de material, ya que el uso de material en exceso provoca gastos innecesarios.

Por ello en la industria de la fundición a presión, es habitual que este procedimiento se encuentre automatizado, reduciendo el margen de problemas de operación del fundido que podrían sucederse en el proceso y ajustando la dosificación en las cantidades exactas para rentabilizar el proceso al máximo.

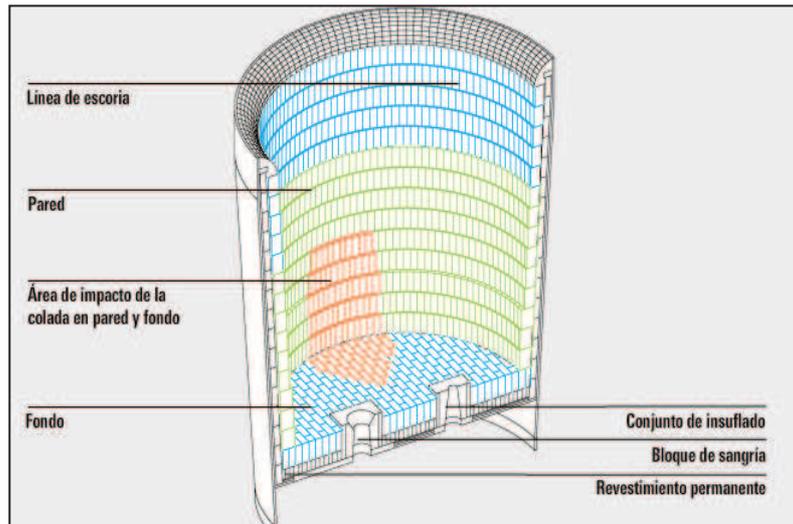


FIG 2.4. Sección vertical de cuchara de colada fabricada en acero.

En nuestro banco de ensayos en ningún caso vamos a utilizar ningún material a alta temperatura, solo agua, por tanto no vamos a enfrentarnos a problemas relacionados con la manipulación del fundido, y por tanto no tendremos ningún problema para medir y emplear la cantidad exacta de agua para la práctica de los ensayos mediante tubos de ensayo y probetas de laboratorio

## 2.4 Unidad de descarga

Es la encargada de accionar el pistón durante el proceso de inyección en las máquinas de fundición más corrientes en la industria actual. La velocidad de dicho pistón se regula mediante el uso de una válvula de descarga hidráulica, un fluido a presión es liberado, con un caudal variable en función de la velocidad que queramos para el pistón, por dicha válvula. El sistema cuenta,

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

además de con el citado circuito de fluido, con un sistema acumulador de nitrógeno seco que permite aumentar la velocidad del pistón en los momentos críticos de la inyección, para así realizar la etapa rápida de llenado con las velocidades necesarias para que la pieza solidifique de manera adecuada. Estos conjuntos pueden mover pistones de grandes dimensiones a grandes velocidades para su tamaño y pudiendo aplicar presiones desde 50 hasta 1000kg por centímetro cuadrado.

Para conseguir esos grandes incrementos de presión necesarios para la etapa rápida en la inyección, las maquinas de fundición cuenta con un cilindro multiplicador que se introduce en la zona posterior del circuito del fluido hidráulico con la válvula anti retorno cerrada, consiguiendo el aumento de presión mediante una disminución del volumen disponible de fluido.

En nuestro banco de pruebas el sistema de descarga funciona por la acción directa del servomotor, no utilizamos un sistema de presión por fluidos ni tampoco un subsistema de gas. El servomotor se conecta al usillo a través de una caja de rodamientos, así se transmitirá el movimiento directamente del eje del motor al usillo, con ese sistema de rodamientos se podría incluir un sistema reductor o multiplicador, para aumentar o disminuir el número de vueltas que le queramos transmitir al husillo por cada revolución que ejecute el servomotor.

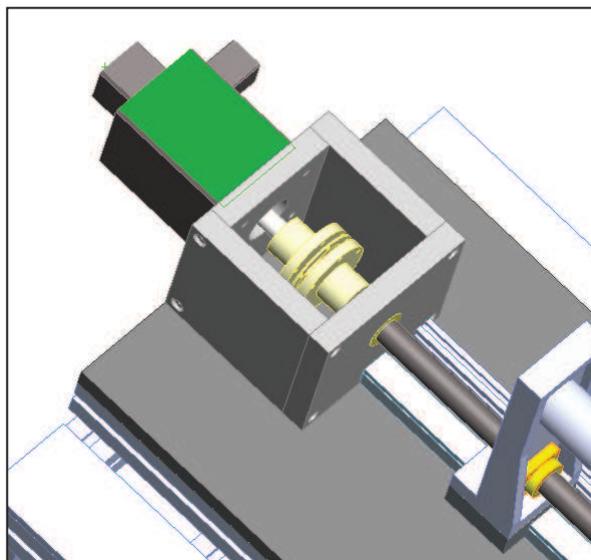


FIG 2.5. Ejemplo en SolidWorks de sistema de acoplamiento para la transmisión del movimiento.

## 2.4.1 Cámara de inyección

En una fundición, la elección apropiada de la cámara de inyección viene determinada principalmente por el volumen de fundido que vamos a inyectar en cada ciclo, además de la capacidad de la maquina, la presión y el tiempo de enfriamiento.

Las pequeñas fracciones de volumen utilizado para el llenado, facilitan el atrapamiento de aire, en grandes fracciones de llenado, se puede producir expulsión de fluidos por la boca de colada o el desperdicio de metal, lo cual se traduce en un sobrecoste.

La cámara de inyección con la que contamos en el taller de fundición de la universidad, se compone de un contenedor unido a un casquillo que permite adaptar el diámetro utilizado en la parte fija del molde. El pistón está fabricado en una aleación de cobre-berilio al 2% y los contenedores y casquillos en acero F-174 templado, revenido y nitrurado.

Las altas presiones que se alcanzan durante el proceso de inyección pueden provocar que el metal escape hacia atrás por entre las paredes del pistón y el contenedor. Para evitar este comportamiento se utilizan ajustes con tolerancias inferiores a 0,03 mm en los diámetros interiores de contenedor y pistón.

Diámetro (mm)	45	50	55	60	65	70	75	80
Holgura (mm)	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06
	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08

Tabla 2.1. Holguras utilizadas en pistones de inyección.

La cámara circular de nuestro banco de pruebas se compondrá de un contenedor de metacrilato de 5 mm de espesor, una longitud de 392 mm y un diámetro de 74mm, preparado para soportar la presión máxima de trabajo que tendremos en el banco de pruebas, el pistón lo fabricaremos en aluminio con un ajuste o junta doble de goma en los laterales del mismos que evitara que el agua escape del contenedor en la inyección.

En la industria de la fundición encontramos el frente del pistón siempre modificado con un pequeño chaflán mecanizado a 45 grados y a su vez la zona

de expulsión de la cámara de inyección un ángulo de salida de 5 grados para facilitar la expulsión del material, no existe ninguna norma que regule estas modificaciones ni ninguna justificación pero es lo que encontramos en todos los equipos de fundición. En nuestro caso eso no es relevante, por tanto no vamos a realizar esas modificaciones y vamos a mantener la geometría del cilindro perfecto.

Como en nuestro caso las pruebas se van a llevar a cabo con agua y no se va a someter a la cámara de inyección a alta temperatura, no es necesario habilitar un sistema de refrigeración real como el que si es necesario en caso de trabajar con un sistema de fundición autentico, a su vez, tampoco es necesario que el conjunto contenedor-pistón se mantenga lubricado.

## 2.5 Unidad de potencia y control

### 2.5.1 Unidad de potencia

La unidad de potencia estará constituida por un servomotor de la marca Omron, el modelo **R88M-K2K030F-S2**.



FIG 2.6. Ejemplo de servomotor de la serie R88M.

Un servomotor es un actuador rotativo, un servomecanismo de operación en lazo cerrado, donde la salida vuelve a retorna como entrada al sistema, para que la diferencia entre el valor real obtenido y el valor deseado

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

pueda ser solventada para obtener el valor más cercano al valor deseado. Esto permite un control absoluto y preciso de la posición angular, la velocidad y la aceleración. El sistema consiste principalmente en un motor conectado a un sensor de posición para obtener una señal sobre la posición del motor. Actualmente se utilizan principalmente para operaciones de control de robots, operaciones de control numérico o procesos de manufactura automatizada.

Un servomotor rotativo como este, es un tipo especial de motor de corriente continua, que cuenta con la capacidad de posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo rotacional de operación ( $90^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ ), para ello recibe las instrucciones de movimiento en forma de tren de pulsos.

El conjunto se realimenta mediante un sistema de encoder incremental, un sistema digital mediante el cual nos informa de los incrementos de posición y a cada vuelta que realiza el eje, nos devuelve una marca especial "Z" que utilizaremos para referenciar la posición o para hacer el homing de la máquina.

El homing es la secuencia inicial para cualquier sistema de posicionamiento en el que, el controlador necesita conocer la posición absoluta del motor respecto a la máquina.

Al poner en marcha la máquina, el controlador necesita saber cuál es la posición actual del eje, respecto de la posición  $0^\circ$  de la máquina, por eso realizara una serie de movimientos hasta pasar por la marca "Z", para así tener una referencia del sistema y conocer el movimiento a realizar para desplazarse hasta el 0 máquina.

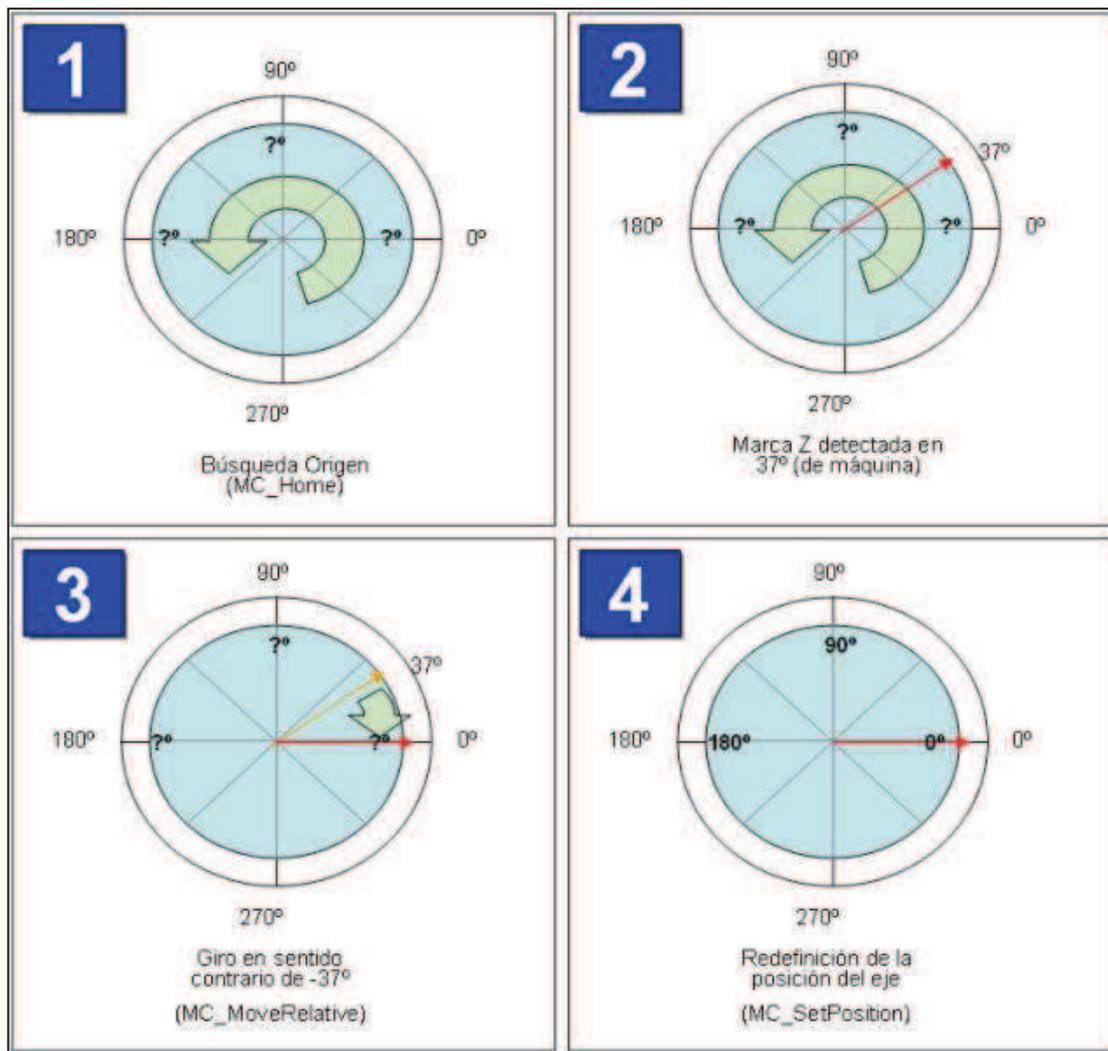


FIG 2.7. Homing en sistema con direct drive.

Model (R88M-)		K2K030F	
Item	Unit		
Rated output <sup>+1</sup>	W		2000
Rated torque <sup>+1</sup>	N · m		6.37
Rated rotation speed	r/min		
Maximum rotation speed	r/min		
Momentary maximum torque <sup>+1</sup>	N · m		19.1
Rated current <sup>+1</sup>	A (rms)		5.7
Momentary maximum current <sup>+1</sup>	A (rms)		24
Rotor inertia	Without brake	kg · m <sup>2</sup>	3.68 × 10 <sup>-4</sup>
	With brake	kg · m <sup>2</sup>	4.01 × 10 <sup>-4</sup>
Applicable load inertia		-	3x. <sup>+2</sup>
Torque constant <sup>+1</sup>		N · mA	0.87
Power rate <sup>+1</sup>	Without brake	kW/s	110
	With brake	kW/s	101
Mechanical time constant	Without brake	ms	0.45
	With brake	ms	0.49
Electrical time constant		ms	6.6
Allowable radial load <sup>+3</sup>		N	490
Allowable thrust load <sup>+3</sup>		N	196
Weight	Without brake	kg	Approx. 5.3
	With brake	kg	Approx. 6.3

TABLA 2.2 Características del servomotor R88M-K2K030F.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

En la Tabla 2.2, observamos las características principales que encontramos en el modelo comercial que estamos utilizando, se trata de un servomotor sin frenos de eje recto que funciona bajo una tensión de 400v, y con una potencia nominal de hasta 2Kw, la velocidad de trabajo medio es de 3000rpm, pudiendo llegar a trabajar en picos de velocidad de 5000rpm, su par de trabajo nominal es de 6,37N/m, aunque es capaz de alcanzar picos de trabajo de 19,1N/m.

### 2.5.2 Unidad de control

El sistema de control instalado permite establecer la lógica de funcionamiento de la maquina y controlar el sistema de inyección. En este banco de pruebas se van a poder emplear cuatro métodos distintos para mover el pistón de la cámara de inyección para realizar las inyecciones de agua sobre el molde de pruebas:

- una ecuación de movimiento obtenida en estudios anteriores para determinar el movimiento del pistón en la etapa lenta y luego una tabla de aceleraciones para controlar la etapa rápida de la inyección.
- Una tabla de aceleraciones como método para controlar todo el proceso, tanto la etapa lenta como la etapa rápida.
- Un control manual sobre la etapa lenta de movimiento y una tabla de aceleraciones para la etapa rápida.
- Un control manual para controlar todo el proceso de inyección.

La unidad de control se compone de tres elementos, dos de ellos componentes de hardware, controlador de automatización de maquinas y servo controlador, y un componente de software instalado en un computador para poder llevar a cabo la programación de dicha maquina.

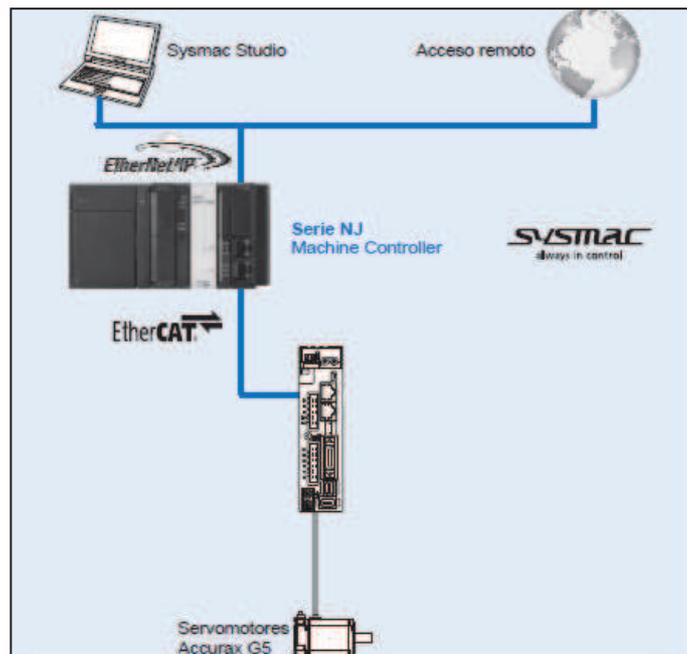


FIG. 2.8. Esquema de conexión del sistema Sysmac.

### 2.5.2.1 Unidad de control de maquinas (PLC)

Una unidad de control de maquinas o PLC, es una unidad utilizada para automatizar procesos electromecánicos, como maquinaria de líneas de producción o sistemas de movimiento de motores, están preparados para trabajar con múltiples señales de entrada y de salida, pudiendo variar su operación dependiendo de la temperatura, la humedad, las vibraciones del sistema, y demás elementos externos que pueden alterar el buen funcionamiento del sistema.

Esta unidad representa el control integral de una maquina mediante una única conexión y un software, de esta manera la integración y el control de un proceso o maquinaria se encuentra centralizada, pudiendo ser muy fácilmente el acceso para trabajar o modificar cualquiera de los puntos del proceso e introduciendo una mejora sustancial en las actividades de control y programación de mismo. Los dispositivos de campo se controlan mediante una única red de maquinas y se programan a través de un único software, facilitando notablemente la integración de las distintas operaciones que conforman el proceso o línea de producción

## Capitulo 2. Fundamentos de trabajo.

Vamos a trabajar con el modelo NJ501-1300 de la marca Omron. Se trata de un controlador logico programable, que conectado a un ordenador personal como interfaz con el usuario, es el elemento principal de control de la maquina. La unidad cuenta con una memoria para la programacion de 20MB fija y una memoria para almacenamientos de variables de 6MB, se puede ampliar hasta con 3 racks, aumentando el numero de entradas y salidas con las que podemos trabajar en el sistema. El PLC utilizado se va a complementar con una tarjeta de expansion de entradas digitales, para poder programar la operación manual de la maquinaria, esta tarjeta es el modelo J211, cuenta con 16 entradas digitales que tendran que ser alimentadas a 24V / 7 mA, de las cuales utilizaremos un total de 9.



FIG. 2.9. Unidad de control de maquinas NJ501-1300.

Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

Performance specifications (common specifications)					
Item		NJ5- CPU Unit			
		NJ501-5-0	NJ501-4-0	NJ501-3-0	
Processing speed	Execution time	Ladder diagram instructions (LD, AND, OR and OUT)	1.9 ns min		
		Math instructions (LREAL)	26 ns min		
Programming	Program capacity <sup>1</sup>	20 MB			
	Memory capacity for variables	Retain attribute <sup>2</sup>	2 MB		
		No retain attribute <sup>2</sup>	4 MB		
	Memory for CJ-Series units (can be specified with AT specifications for variables.)	CI0 area	6,144 words (CI0 0 to CI0 6143)		
		Work area	512 words (W0 to W511)		
		Holding area	1,536 words (H0 to H1535)		
DM area		32,768 words (D0 to D32767)			
EM area	32,768 words x 25 banks (E0_00000 to E18_32767)				
Unit configuration	Maximum number of connectable Units	Maximum per CPU rack or expansion rack: 10 units Entire controller: 40 units			
	Number of expansion racks	3 max.			
	IO Capacity	2,560 points max. plus EtherCAT slave IO capacity			
	Power supply to CPU rack and expansion racks	Model	NJ-PS-3001 Power Supply Unit		
			Power OFF detection time	AC power supply	30 to 45 ms
	DC power supply	22 to 25 ms			
Motion control	Number of controlled axes	Maximum number of axes	64 axes	32 axes	16 axes
		Linear interpolation control	4 axes max. per axes group		
		Circular interpolation control	2 axes per axes group		
	Number of axes groups	32 axes groups max.			
	Position units	Pulses, millimeters, micrometers, nanometers, degrees			
	Override factors	0.00% or 0.01% to 500.00%			
	Motion control period	Same as process data communications period of EtherCAT			
	Cams	Number of cam data points	65,535 points max. per cam table 1,048,560 points max. for all cam tables		
		Number of cam tables	640 tables max.		
	Communications	Peripheral USB port	Supported services	Sysmac Studio connection	
Physical layer			USB 2.0-compliant B-type connector		
Transmission distance			5 m max.		
Built-in EtherNet/IP port		Physical layer	10 Base-T or 100 Base-TX		
		Media access method	CSMA/CD		
		Modulation	Baseband		
		Topology	Star		
		Baud rate	100 Mbps (100 Base-Tx)		
		Transmission media	Shielded, twisted-pair cable (STP): Category 5, 5e or higher		
		Transmission distance	100 m max. (distance between EtherNet switch and node)		
Number of cascade connections	There are no restrictions if an EtherNet switch is used				

TABLA 2.3. Especificaciones de NJ5-1300.

Ventajas que destacamos de este modelo de unidad central de control es contar con la conexión de datos tipo EtherCAT, el estándar para la automatización de maquinas más rápido que actualmente encontramos en el mercado, este sistema integrado en la generación de controladores que estamos usando permite el establecimiento de una red lineal sin tener que depender de estaciones switches para enviar la información hacia cada dispositivo, pudiendo establecer un sistema de comunicación en bus, en árbol o en estrella entre dispositivos, reduciendo notablemente el cableado y con ello aumentando los márgenes de tiempo ya que el delay o retraso entre señales de operación se reduce considerablemente.

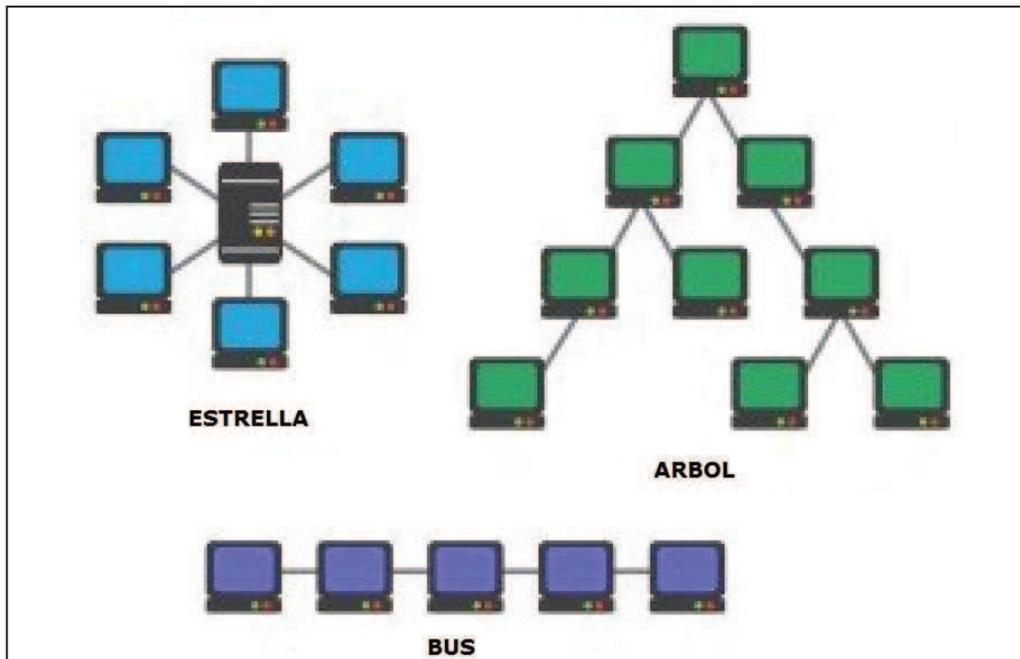


FIG 2.10. Topologías de conexión de redes de datos.

## 2.5.2.2 Servo controlador

Un servo controlador es un amplificador electrónico para alimentar servomecanismos, recibiendo una señal de mando procedente del sistema de control, amplifica la señal y transmite las ordenes en forma de corriente al servomecanismo para producir un movimiento proporcional al de la señal de control, a su vez el dispositivo monitoriza la realimentación procedente del servomecanismo y ajusta de forma continua y en tiempo real el desajuste que se pueda originar durante el funcionamiento.

Habitualmente la señal de control representa una velocidad, un par o una posición, y mediante el uso de sensores podemos transmitir por la realimentación el estado real en el que se encuentre el mecanismo y compararlo con el estado deseado por la señal de control, para así se modificada si fuera necesario hasta ajustarse a esos valores deseados.

El sistema de Servo controlador para el modelo determinado de servomotor que vamos a utilizar es el modelo **R88D-KN20F-ECT** de la marca Omron.

Servo drive type		R88D-K			20F-□
Applicable servo motor	R88M-K □	-	-	-	2K030(F/C)-□
		-	-	-	2K020(F/C)-□
		-	-	-	-
		-	-	-	-
		-	-	-	-
		-	-	-	-
Max. applicable motor capacity		kW			2.0
Continuous output current		Arms			6.7
Input power	Main circuit	3-phase, 380 to 480 VAC + 10 to -15% (50/60Hz)			
	Control circuit	24 VDC ±15%			
Control method		IGBT-driven PWM method, sinusoidal drive			
Feedback		Serial encoder	Incremental or absolute encoder		
Conditions	Usage/storage temperature		0 to +55°C / -20 to +65°C		
	Usage/storage humidity		90% RH or less (non-condensing)		
	Altitude		1000 m or less above sea level		
	Vibration/shock resistance		5.88 m/s <sup>2</sup> 10-60 Hz		
Configuration		Base mounted			
Approx. weight		Kg			2.7

Tabla 2.4 Características del servo controlador KN20F-ECT.



FIG 2.11. Servo controlador Accurax G5.

La unidad de servo control, actúa como el cerebro del sistema de control de movimientos, y calcula cada movimiento a realizar por el motor en función

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

de la orden recibida por parte de la CPU principal, e igualmente realiza las maniobras de ajuste en caso de variación inesperada de algún parámetro que no se ajuste al programado inicialmente, para ello la unidad esta realimentada mediante un lazo de control PID.

La ventaja más inmediata que encontramos en este sistema es la capacidad de autoajuste en tiempo real con la que cuenta el sistema, mediante el establecimiento de valores límite de par de trabajo o de vibración de origen mecánico de los elementos del sistema.

En nuestro caso trabajamos con uno de los sistemas más modernos del mercado, funciona bajo la plataforma de control Sysmac propia de Omron, está habilitado para trabajar en paralelo con hasta 64 controladores con una misma CPU, o trabajar en modo cascada mediante el uso de un sistemas de relojes distribuidos y de un reloj esclavo de funcionamiento mediante el cual se pueden sincronizar todas las operaciones a realizar en una misma cadena con un tiempo de ciclo cercano a los 0,5 ms para tipologías de hasta 32 unidades.

### **2.5.2.3 Software de programación**

La secuencia de control se realizan a través de un programa informático de alto nivel que el fabricante proporciona, a su vez, proporciona también un programa informático para diseñar una interfaz instalable en un sistema de control táctil o para un computador para el control remoto.

En primer lugar contamos con el software de programación del PLC, Sysmac Studio de Omron, en el podemos programar absolutamente todos los parámetros de operación con los que cuenta el PLC, alimentación de sistemas esclavos del PLC como servo actuadores, programación de movimientos, programación de sistemas de adquisición de datos, programación de entradas y salidas, digitales y analógicas, programación de sistemas de realimentación para el control en lazo de cerrado de las operaciones de movimiento.



FIG 2.12. Software de programación Sysmac Studio.

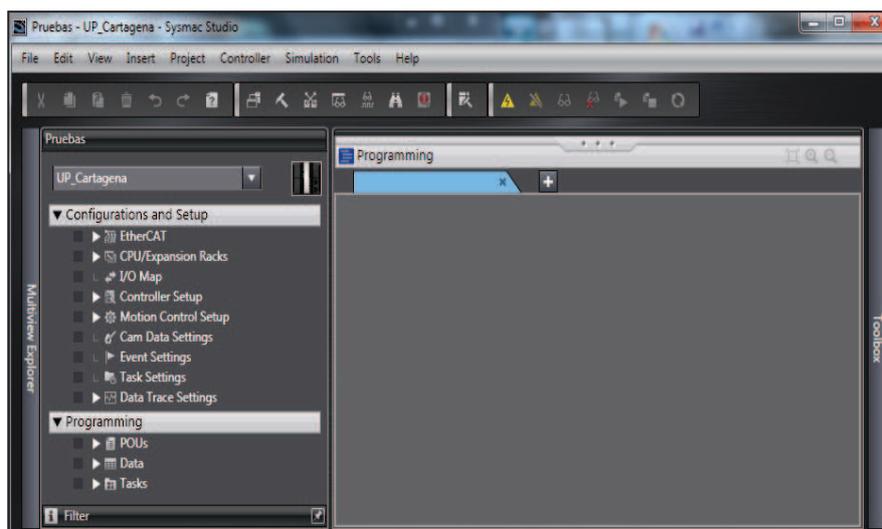


FIG.2.13. Interfaz del software Sysmac Studio.

El programa se divide en dos grupos, configuración de dispositivos de hardware y programación de los dispositivos de hardware.

En la configuración de dispositivos, introducimos en primera instancia los módulos con los que vamos a contar para realizar las distintas operaciones y de programar la comunicación entre ellos. Una vez definidos todos los módulos se procede a determinar las entradas y las salidas que dispondrá el sistema antes de programar cual será su funcionamiento.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

Podemos configurar tablas de datos, para la ejecución de tablas CAM, la programación de eventos puntuales de funcionamiento o de tareas, programación de los ejes y levas, virtuales o reales de los que consta el sistema, así como obtener datos de los trazados que realizan los servomotores o servomecanismos.

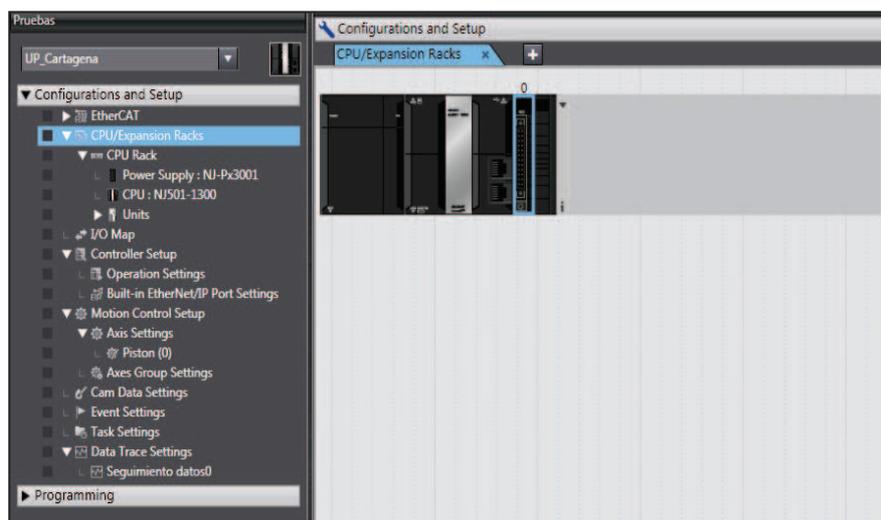


FIG 2.14. Menú de configuración de hardware.

En la programación de dispositivos de hardware, introducimos mediante texto estructurado en Visual Basic o mediante diagramas de contactos. En esta sección se redactan los programas de funcionamiento, las variables de las que se va a valer el sistema y las tareas que estas tienen que realizar.

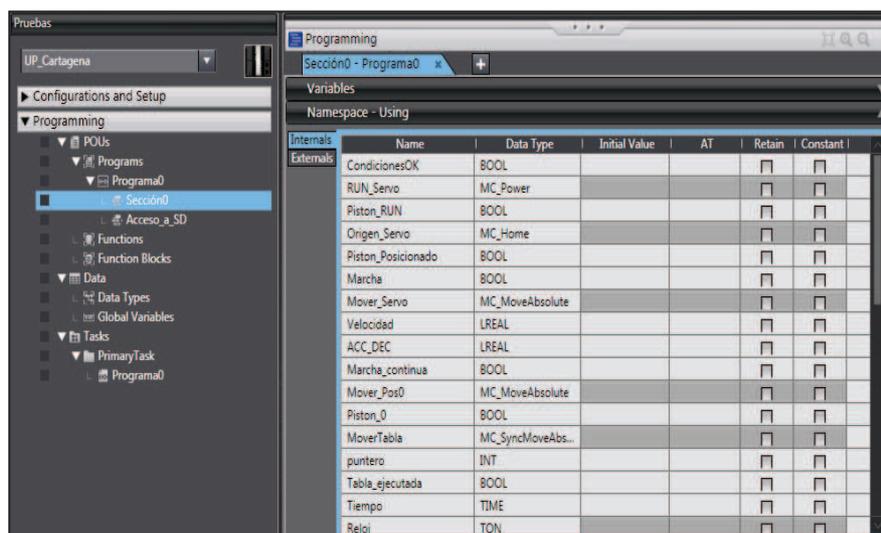


FIG 2.15. Menú de programación de dispositivos

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

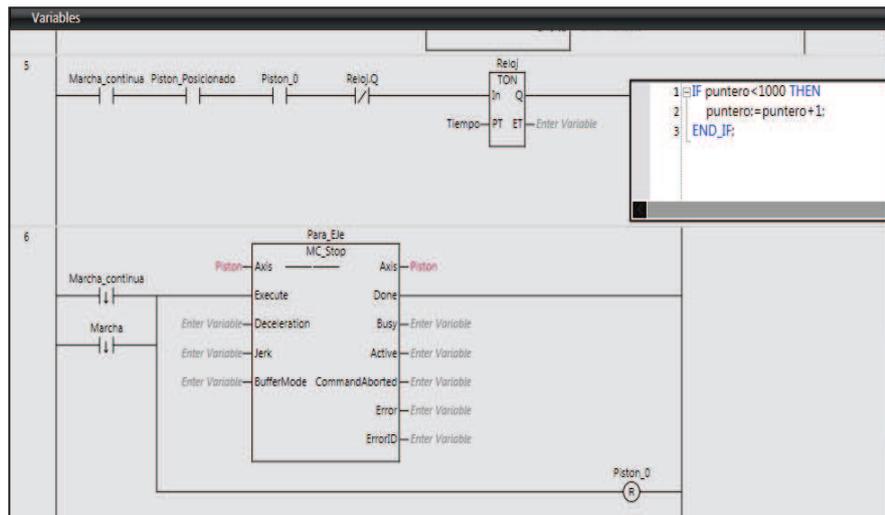


FIG.2.16. Ejemplo de programación modular y *ladder*.

Por otra parte, el fabricante proporciona un software para poder generar una interfaz grafica que facilite el uso de los sistemas una vez programados, para no tener que recurrir así al software de programación, este software se llama CX-Supervisor, aquí podemos crear una interfaz digital para controlar el banco de ensayos a través de un sistema táctil de control como una pantalla táctil o una tableta electrónica.



FIG 2.17. Omron CX-Supervisor.

## Capítulo 2. Fundamentos de trabajo.

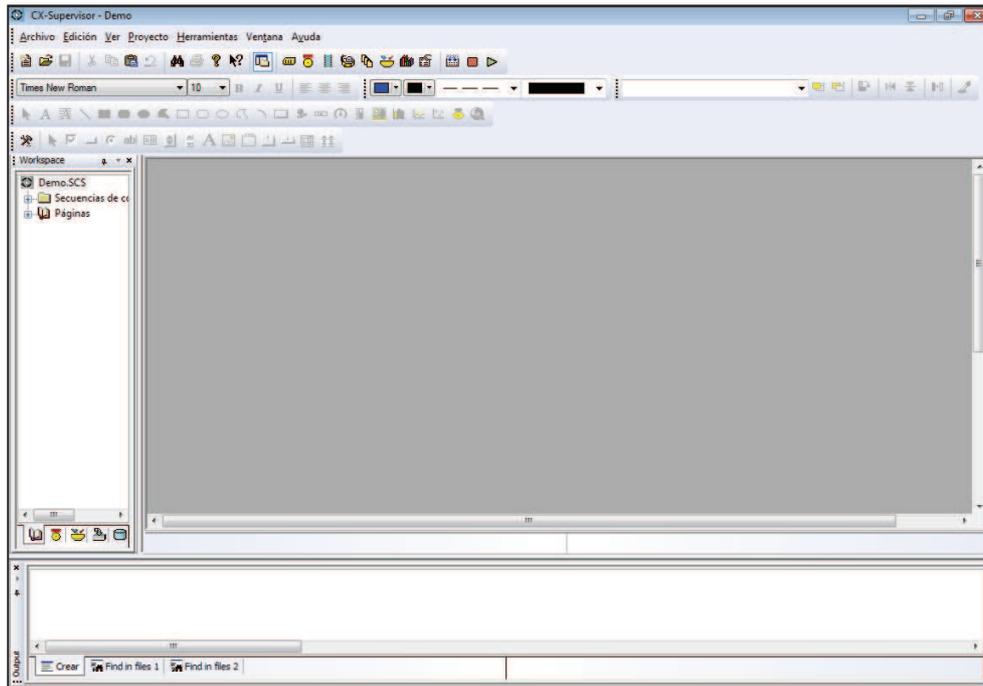


FIG. 2.18. Interfaz de CX-Supervisor.

La versión preliminar del software creado, permite controlar el movimiento del inyector, la programación de tablas y leyes de movimiento, la ejecución de tablas calculadas previamente insertadas mediante tarjetas de almacenamiento y la monitorización y seguimiento de las operaciones ejecutadas, eso se explicará más adelante en un capítulo dedicado al software.

Este software no permite la creación de interfaces para controlar sistemas SCADA permite realizar control de procesos continuos en el tiempo.

# ***CAPÍTULO 3***

---

## ***Diseño Asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante SolidWorks.***

El diseño industrial es una disciplina orientada a la creación y desarrollo de productos industriales, en la que se representa gráficamente, de acuerdo a una idea creativa, un dispositivo u objeto funcional para su futura fabricación y distribución. En la actualidad el diseño industrial representa un sector fundamental en todos los productos de consumo de la sociedad, como la telefonía móvil, la automoción, los electrodomésticos, etc.

El diseñador no es un creador de artículos únicos, sino de productos que se fabrican en serie, tiende a trabajar en equipos multidisciplinarios y

### Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante Solidworks.

dependiendo del ámbito del producto, se puede ocupar de la estética, la interfaz con el usuario o de la satisfacción de necesidades del consumidor.

Definida como una actividad creativa, que establece las cualidades polifacéticas del objetos, de procesos, servicios y de sus sistemas en ciclos vitales enteros, el diseño es el factor central de la humanización innovadora de tecnologías. El diseñador adquiere los conocimientos necesarios para producir los artículos de acuerdo a las necesidades del mercado y de la sociedad. Además, con la aparición de nuevas tecnologías se ha producido la aparición de un amplio número de aplicaciones informáticas para, que de una manera sencilla, eficaz y con resultados muy atractivos los diseñadores sean capaces de plasmar proyectos y propuestas.

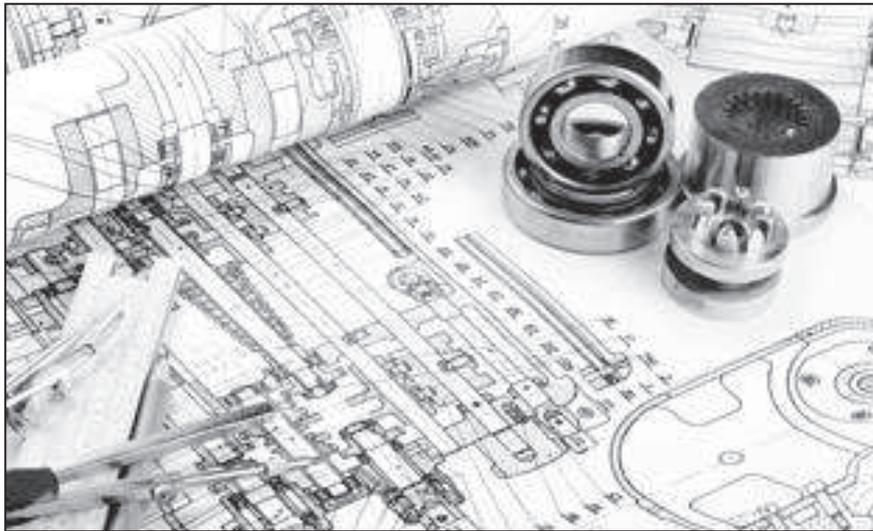


FIG 3.1. Planos de diseño de piezas.

## 3.1 Historia del diseño industrial

La concepción de la forma de los objetos y la elección de sus características se remonta al origen del ser humano, que a lo largo de su existencia idea y construye herramientas que utiliza como extensiones de su propio cuerpo. Hasta principio del siglo XIX, la concepción y construcción de objetos, el proceso productivo, recaía sobre una única persona, el artesano, pero con la revolución industrial (1760-1830) en Inglaterra, se introduce de forma sistemática la máquina en el proceso de producción, comienza la

### Capitulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante Solidworks.

mecanización del trabajo y se instaura un nuevo sistema productivo, que separa las tareas de concepción y las de fabricación.

Para la fabricación industrial es necesario haber definido previamente con precisión sus características, se deben definir todos los detalles a fin de descartar posibles cambios que puedan complicar el desarrollo del proceso con el correspondiente aumento de costos. También hay que tener en cuenta, que en el diseño de objetos, no es suficiente con resolver problemas sobre la función que cumplen y el modo en que lo hace, sino que hay que armonizar ambos aspectos con los aspectos formales, tecnológicos, estéticos, ergonómicos, etc., de manera que el objeto se adapte de la mejor manera a las exigencias de quienes van a usarlo.

La expresión “Diseño Industrial” está vinculada a la concepción de objetos para ser producidos por medios industriales y mecánicos, lo cual permita su producción en serie para que respondan a las demandas de la sociedad, teniendo en cuenta, las características exteriores, las relaciones funcionales y estructurales que hacen del objeto un conjunto coherente.

En el diseño industrial se plantea la necesidad de conciliar los aspectos técnicos y los estéticos. Los factores estéticos están vinculados con la forma, el color, el tratamiento de las superficies, etc., es decir, con todo lo que pone en relación el objeto con los diversos sentidos del hombre, la vista, el tacto, etc. Estos aspectos estéticos cobran su mayor importancia en los objetos destinados a la sociedad. Mientras que en el campo industrial suele dejarse en un segundo lugar, ciñéndose, sobre todo, a las exigencias técnicas y así poder minimizar el coste económico.

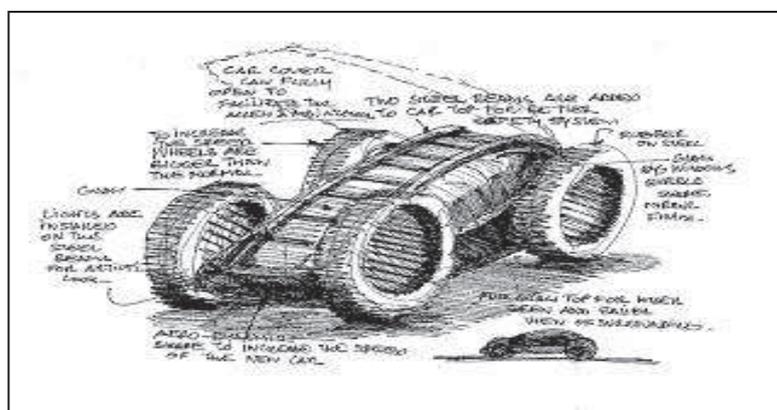


FIG 3.2: Boceto de diseño industrial.

El campo del diseño industrial sintetiza conocimientos, métodos, técnicas, creatividad, y tiene como meta la concepción de objetos de producción industrial, atendiendo sus funciones, sus cualidades estructurales y formales (estético-simbólicas), así como todos los valores y aspectos que hacen a su producción, comercialización y utilización, teniendo en cuenta al ser humano como usuario.

En el diseño industrial se manejan fundamentalmente tres conceptos: **la forma, la función y la tecnología**, dentro del marco que fijan los factores económicos y socioculturales.

La función (ligada a la existencia misma del objeto) y la tecnología ejercen una influencia determinante en la génesis de la forma. En el concepto de tecnología está implícito tanto el proceso constructivo como el(los) material(es). Normalmente el material sugiere y posibilita la forma, que por otro lado depende también de los requerimientos que plantea el uso.

## 3.2 Diseño asistido por ordenador

Se pueden encontrar precursores de las técnicas CAD en dibujos de antiguas civilizaciones como las de Egipto, Grecia o Roma. Los trabajos de Leonardo da Vinci muestran técnicas actuales como el uso de perspectivas. Sin embargo, el desarrollo de estas técnicas está ligado a la evolución de los ordenadores que se produce a partir de los años 50. Hace tan sólo 40 años, casi todos los dibujos se ejecutaban utilizando lápiz y papel. Cuando se precisaba realizar cambios, era necesario borrar y volver a dibujar. Si el cambio era importante, se repetía el dibujo por completo. Si un cambio afectaba a otros documentos (planos de montaje, planos de conjunto, etc.) se tenía que buscar a mano en cada uno de ellos y modificarlos.

## 3.2.1 Evolución histórica del diseño asistido por ordenador (CAD)

A principios de 1950 se crea la primera pantalla gráfica en el MIT (*Instituto Tecnológico de Massachusetts*) capaz de representar dibujos simples de forma no interactiva. En esta época y también se desarrolla el concepto de programación de control numérico, aparecen las primeras máquinas herramienta y General Motors comienza a usar técnicas basadas en el uso interactivo de gráficos para sus diseños.

En la década de los 80 se generaliza el uso de las técnicas CAD/CAM propiciada por los avances en hardware y la aparición de aplicaciones en 3D capaces de manejar superficies complejas y modelado sólido. Aparecen multitud de aplicaciones en todos los campos de la industria que usan técnicas CAD/CAM, y se empieza a hablar de realidad virtual. Un dato relevante es que en 1982 John Walker funda Autodesk junto a otros 12 fundadores. Compuesto por 70 personas, querían producir un programa CAD para PC con un coste inferior a los 1000 US\$. En el Comdex de Noviembre de Las Vegas se presenta el primer AutoCAD.

A principios del siglo X se caracteriza por una automatización cada vez más completa de los procesos industriales en los que se va generalizando la integración de las diversas técnicas de diseño, análisis, simulación y fabricación. La evolución del hardware y las comunicaciones hacen posible que la aplicación de técnicas CAD/CAM esté limitada tan solo por la imaginación de los usuarios. En la actualidad, el uso de estas técnicas ha dejado de ser una opción dentro del ámbito industrial para convertirse, fundamentalmente, en la única opción de diseño existente. Podemos afirmar por tanto que el CAD/CAM es una tecnología de supervivencia. Solo aquellas empresas que lo usan de forma eficiente son capaces de mantenerse en un mercado cada vez más competitivo.

## 3.2.2 Características del diseño asistido por ordenador (CAD)

El diseño asistido por ordenador (*CAD – Computer Aided Desing*) es una técnica que puede definirse como "el proceso de automatización del diseño que emplea técnicas de gráficos informáticos junto con programas de cálculo y documentación del producto".

Estos sistemas se fundamentan en una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante multitud de geometrías. La base de datos asocia a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades o conjuntos de éstas, otro tipo de propiedades como el coste, material, etc., que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción. De los modelos pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica.

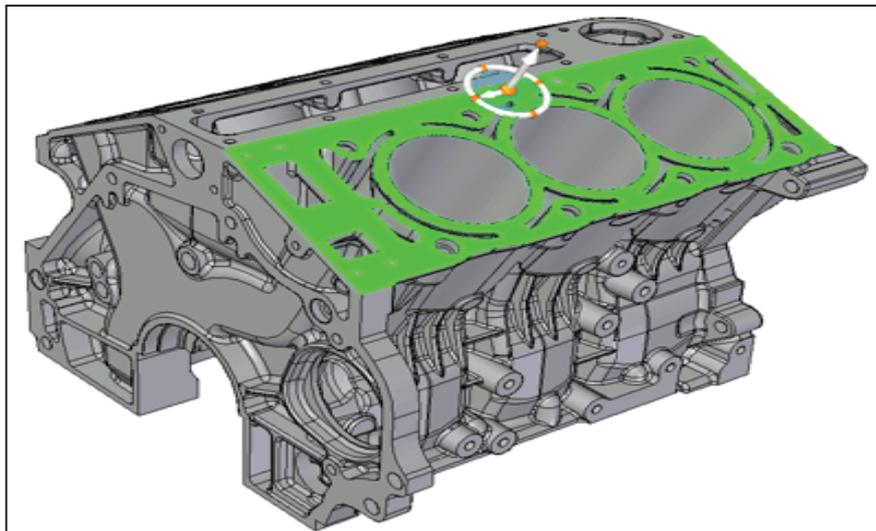


FIG 3.3: Bloque de motor de 6 cilindros diseñado mediante CAD

Los fundamentos de los sistemas de diseño asistidos por ordenador son muy amplios, abarcando múltiples y diversas disciplinas, entre las que cabe destacar las siguientes:

- **Modelado geométrico:** se ocupa del estudio de métodos de representación de entidades geométricas. Existen tres tipos de modelos: alámbricos, de superficies y sólidos, y su uso depende del objeto a modelar y la finalidad para la que se construya el modelo. Se utilizan modelos alámbricos para modelar perfiles, trayectorias, redes u objetos que no requieran disponibilidad de propiedades físicas (áreas, volúmenes, masa).
- **Técnicas de visualización:** son esenciales para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo, abarcando desde simples técnicas de dibujo 2D para el esquema de un circuito eléctrico, hasta la visualización realista usando trazado de rayos o radiosidad para el estudio de la iluminación de un edificio.
- **Técnicas de interacción gráfica:** son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema de diseño. Entre ellas, las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de coordenadas 2D o 3D.
- **Interfaz de usuario:** es uno de los aspectos más importantes de una aplicación CAD, ya que de él depende en gran medida la eficiencia de la herramienta.
- **Base de datos:** es el soporte para almacenar toda la información del modelo, desde los datos de diseño, los resultados de los análisis que se realicen y la información de fabricación.
- **Métodos numéricos:** son la base de los métodos de cálculo empleados para realizar las aplicaciones de análisis y simulación típicas de los sistemas de CAD/CAM.

- **Conceptos de comunicaciones:** necesarios para interconectar todos los sistemas, dispositivos y máquinas de un sistema.

Los sistemas CAD pueden clasificarse de varias maneras, siendo una de ellas la que realizamos en función de los parámetros que emplea el sistema. De esta manera se distinguen dos grupos de sistemas CAD:

- **CAD analítico:**

Usa procedimientos analíticos para definir sus límites o acciones. Los programas del tipo CAD analítico surgieron después de los primeros métodos gráficos por la necesidad de cuantificar y permitir evaluar los resultados de las variables que involucra el diseño industrial. En este tipo de CAD el dibujo o trazado permanece en la memoria del ordenador como una serie de relaciones de puntos y coordenadas, sentido y dirección en programas vectoriales o como un grupo de píxeles, en programas de renderizado y tratamiento de imágenes.

- **CAD paramétrico:**

Usa parámetros para definir sus límites o acciones. Un programa paramétrico de CAD difiere, básicamente, de cualquier otro tradicional en un aspecto clave: la información visual es parte de la información disponible en el banco de datos, o sea, una representación de la información como un objeto, en la memoria del ordenador. Cada elemento del dibujo es tratado como un “objeto”, que no es definido únicamente por sus coordenadas espaciales, sino también por sus parámetros, pudiendo ser estos gráficos o funcionales.

En la actualidad el CAD paramétrico ha sustituido, casi por completo, a las técnicas clásicas de diseño en tres dimensiones mediante el modelado de sólidos y superficies, y se ha convertido en un conocimiento imprescindible para cualquier profesional de la ingeniería. La introducción del ordenador

### Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante Solidworks.

dentro del proceso constructivo ha contribuido a mejorar notablemente la fase de diseño. Se han reducido los costes y tiempos de diseño, y también ha disminuido el tiempo de respuesta ante los cambios de producción. Pero manejar un sistema CAD no es tan solo dominar un conjunto de instrucciones de un programa informático, sino que exige también el conocimiento del proceso de diseño y de las tareas que conlleva. Es el conocimiento del proceso de diseño y del sistema de CAD, lo que nos proporciona el método de trabajo más eficiente.

Así, algunas de las numerosas ventajas que supone la utilización de un programa de diseño asistido por ordenador son las siguientes:

- Es posible utilizar librerías de elementos comunes.
- Se elimina la distinción entre plano original y copia.
- El almacenamiento de los planos es más reducido, fiable (tomando ciertas medidas de seguridad) y permite realizar búsquedas rápidas y precisas mediante bases de datos.
- Aumenta la uniformidad en los planos.
- La calidad de los planos es mayor. No hay tachones, ni líneas más gruesas que otras.
- El tiempo invertido en las modificaciones se reduce enormemente.
- Reducción del tiempo empleado en operaciones repetitivas. Por ejemplo en los sombreados.
- Los datos pueden exportarse a otros programas para obtener cálculos, realizar informes, presentaciones...
- Se puede obtener un modelo en 3D para visualizarlo desde cualquier punto de vista.
- Pueden exportarse los datos a programas de CAE, CAM y a máquinas de CNC.
- Obtener simulaciones, animaciones y hacer análisis cinemáticas.
- Facilitan el trabajo en equipo.

## 3.3 CAD mecánico. SolidWorks

El Diseño Asistido por Ordenador (*Computer Aided Design, CAD*), y en particular aquel orientado al Diseño Mecánico 3D, es una herramienta esencial en el ciclo de vida de los productos industriales. No se trata sólo de una herramienta de diseño, sino también de transmisión de información (mediante modelos digitales 3D y planos 2D) entre equipos de trabajo, clientes y proveedores. Además, en la mayor parte de los productos, el CAD Mecánico 3D es una tecnología necesaria para la introducción de otras herramientas de diseño y fabricación, como la simulación numérica y el CAM.

En resumen, el CAD Mecánico 3D es una tecnología que permite mejorar la productividad y competitividad de las empresas dedicadas al diseño y fabricación de productos industriales.

Dentro del CAD mecánico, tenemos multitud de software para realizar nuestros diseños. En el caso particular de este proyecto, el diseño se ha llevado a cabo con el software de diseño asistido por ordenador SolidWorks en su versión 2008. Esta elección se debe a que la familiarización con el programa ya se había realizado anteriormente en la asignatura optativa de Fabricación Asistida por Ordenador. De esta manera hemos podido ahorrar tiempo de aprendizaje para el manejo de las funciones básicas y hemos podido profundizar aún más en las funciones más relevantes para nuestro propósito.

### 3.3.1 Introducción a SolidWorks

SolidWorks es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Es una solución de diseño tridimensional completa que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable.

SolidWorks se caracteriza por su entorno intuitivo y por disponer de herramientas de diseño fáciles de utilizar. Todo integrado en un único programa de diseño con más de 45 aplicaciones complementarias para facilitar el desarrollo de sus proyectos. Las principales características que hace de SolidWorks una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados.

Junto con las herramientas de diseño de Pieza, Ensamblajes y Dibujo, SolidWorks incluye Herramientas de Productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación y de Análisis y Simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado. En nuestro caso únicamente hemos utilizado las herramientas de pieza, ensamblajes y dibujo, siendo vital para la realización del proyecto la utilización de los ensamblajes en el diseño de los moldes.

### 3.3.2 Características de SolidWorks

La definición de **parámetros clave**, la **Asociatividad**, las **Funciones geométricas inteligentes** y el **Gestor de diseño**, son las principales características de SolidWorks:

#### ➤ Definición de parámetros clave

Los parámetros clave son las dimensiones (cotas) y las Relaciones Geométricas que definen un modelo tridimensional. SolidWorks asocia a cada una de las cotas un croquis así como a las operaciones tridimensionales un nombre que permite modificarla en cualquier momento y su actualización en el resto de documentos asociados.

➤ **Asociatividad**

SolidWorks contiene tres módulos: Pieza, Ensamblaje y Dibujo. La creación de un documento en cada uno de ellos genera un fichero con distinta extensión. Los documentos, aunque no pueda observarse, están asociados y vinculados entre ellos.

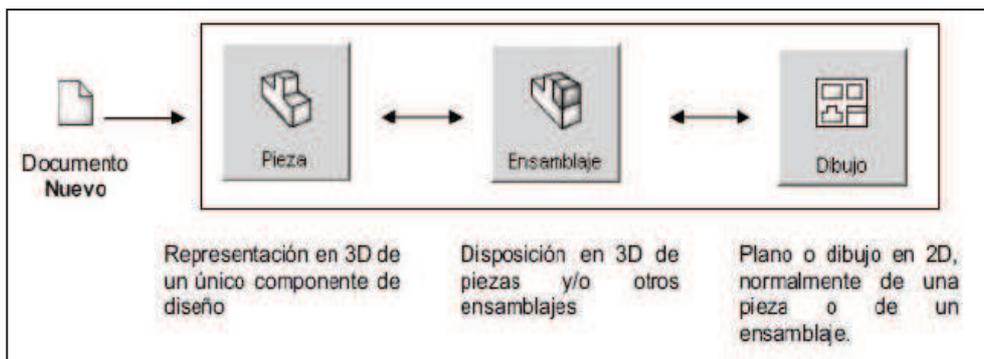


FIG 3.4. Módulos de SolidWorks.

Para realizar un conjunto o ensamblaje se debe diseñar cada una de las piezas que lo conforman y guardar como ficheros de pieza distintos (cada uno con un nombre distinto). El módulo de ensamblaje permite insertar cada una de las piezas y asignar relaciones geométricas de posición para definir tridimensionalmente el ensamblaje. Finalmente, puede obtener los planos de las piezas o del propio ensamblaje de forma automática.

De esta manera en el diseño de los moldes del proyecto se ha procedido en el orden indicado. En primer lugar se diseñaron las distintas piezas que conforman el molde, en segundo lugar se unen formando el ensamblaje que supone el molde y por último, se extraen los planos de las piezas por separado y/o los ensamblajes creados.

Cuando se dice que SolidWorks es asociativo quiere decir que todos los documentos (Pieza, Ensamblaje o Plano) están vinculados y que la modificación de un fichero de pieza modifica el ensamblaje y los planos asociados de forma automática, sin la participación del usuario (únicamente requiere la confirmación del usuario). Los ficheros se actualizan aunque se encuentren cerrados.

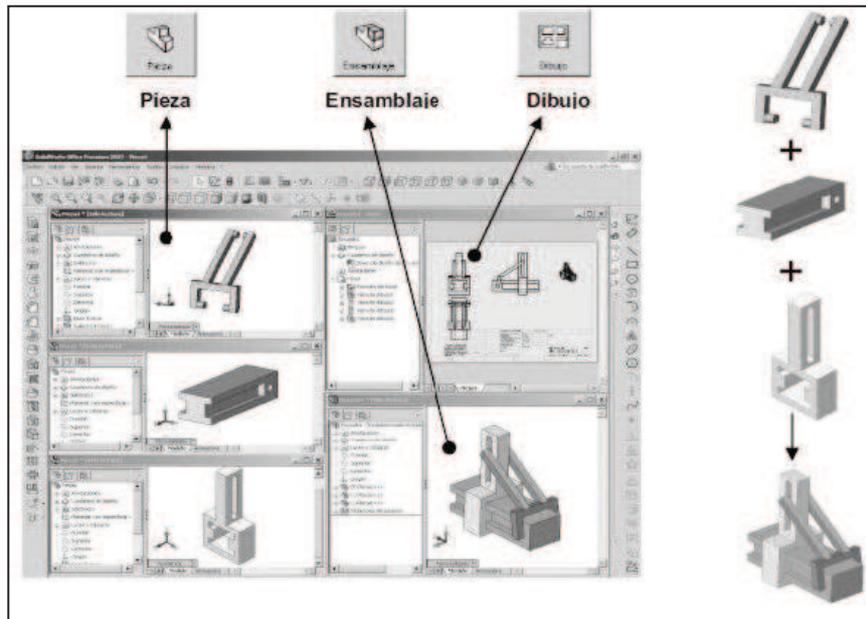


FIG. 3.5. Asociación de módulos de SolidWorks

### ➤ Funciones Geométricas Inteligentes

La creación de Taladros, Chaflanes, Redondeos, Vaciados o la creación de Nervios entre otras operaciones, son creadas de forma rápida, ágil e intuitiva. En muchas operaciones el proceso de definición está guiado y puede pre visualizar la operación antes de su aceptación definitiva. Esta herramienta es bastante útil a la hora de realizar nuevas operaciones y proporciona un considerable ahorro de tiempo en pruebas y evitar tener que estar deshaciendo los cambios realizados.

### ➤ Gestor de diseño

También es conocido como árbol de operaciones o Feature Manager. En él se incluyen de forma histórica todas las operaciones que han sido necesarias efectuar para conformar la pieza durante su diseño. Las operaciones recientes se encuentran al final del árbol mientras que las más antiguas son las primeras en aparecer.

El Gestor de Diseño permite visualizar/ocultar operaciones, suprimirlas o eliminarlas, cambiar el color y, lo que es más importante, modificar sus parámetros de definición. Puede establecer nuevas relaciones de posición geométrica o modificar la dimensión de una cota de croquis u operación.

### 3.3.3 Módulos de SolidWorks

SolidWorks contiene tres módulos: Pieza, Ensamblaje y Dibujo. En cada uno de ellos se disponen de múltiples herramientas de productividad, comunicación y análisis-simulación.

#### Pieza

El módulo de Pieza constituye un entorno de trabajo dónde se puede diseñar modelos mediante el empleo de herramientas de diseño de operaciones ágiles e intuitivas. Su facilidad de uso se debe al empleo de un entorno basado en Microsoft Windows y en el uso de funciones clásicas como arrastrar y colocar, cortar y pegar o marcar y seleccionar con el ratón.

El conjunto de funciones e iconos permiten crear modelos tridimensionales (3D) partiendo de geometrías de croquis (2D) y obtener sólidos, superficies, estructuras metálicas, piezas de chapa, piezas multicuerpo, etc.

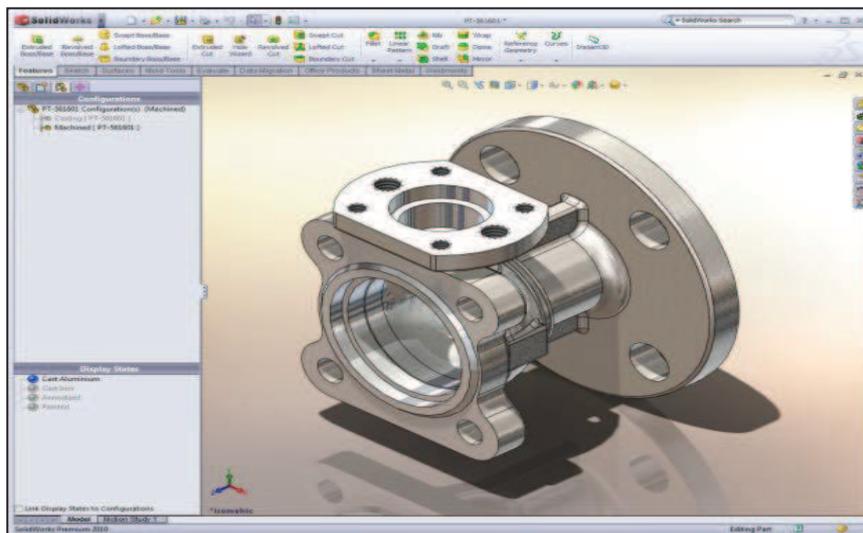


FIG.3.6. Pieza en SolidWorks.

Los modelos creados se gestionan mediante el Gestor de Diseño dónde se incluyen todas las operaciones 3D y 2D utilizadas en la obtención de la pieza. Puede modificar operaciones sin necesidad de eliminar y volverlas a crear. Este módulo está totalmente integrado con el resto de módulos y

funcionalidades de forma que cualquier cambio en su modelo 3D se actualiza en el resto de ficheros asociados (ensamblajes, dibujo, etc.) de forma bidireccional.

### Ensamblaje

El módulo de Ensamblaje está formado por un entorno de trabajo preparado para crear conjuntos o ensamblajes mediante la inserción de los modelos 3D creados en el módulo de Pieza. Los ensamblajes se definen por el establecimiento de relaciones geométricas entre las piezas integrantes. La creación de ensamblajes permite analizar las posibles interferencias o choques entre los componentes móviles insertados así como simular el conjunto mediante motores lineales, rotativos, resortes y gravedad y evaluar la correcta cinemática del conjunto.

La herramienta **Configuraciones**, nos permite tener dentro de un mismo ensamblaje, distintas configuraciones de las piezas que lo componen mediante las relaciones de posición correspondientes. De esta manera, en un único archivo puedes activar o desactivar las piezas que te convengan para crear multitud de configuraciones de dicho ensamblaje. Así, con solo seleccionar puedes visualizar las distintas opciones de ensamblaje de las piezas que hemos definido.

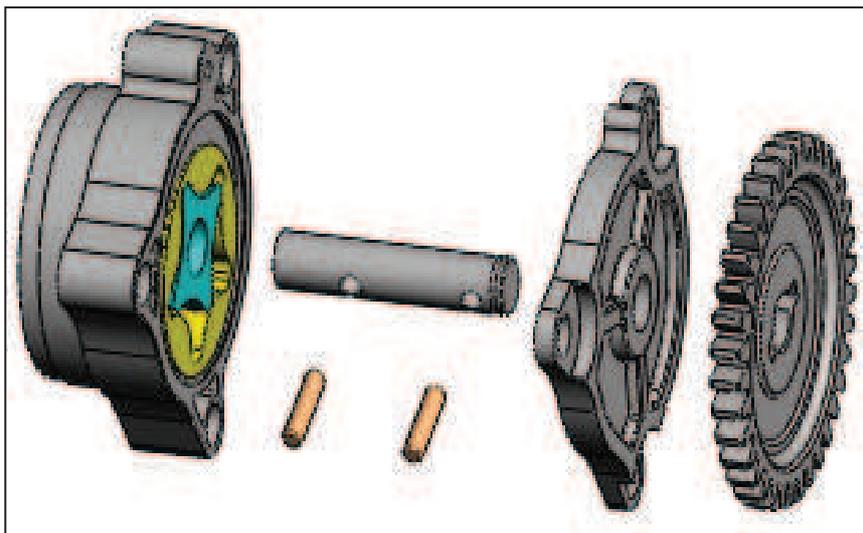


FIG.3.7. Ensamblaje en SolidWorks.

### Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante Solidworks.

Esta herramienta ha sido de mucha utilidad, ya que nuestro proyecto se basa en diseñar varias opciones para el mismo molde, es decir, combinar las piezas de manera que podamos trabajar con el molde con distintas geometrías del canal de colada o de evacuación del aire, por ejemplo. Así una vez completada la fase de diseño, solo nos queda visualizar todas las opciones de ensamblaje de nuestro molde y seleccionar aquellas piezas que vamos a fabricar para poder conseguir aquellas configuraciones que más se ajusten a nuestros objetivos de ensayos.

SolidWorks permite crear una familia de piezas con diferentes configuraciones mediante la creación de una hoja de cálculo en Microsoft Excel y su vinculación a SolidWorks.

#### **Plano o dibujo**

Es el tercer módulo integrado en SolidWorks y nos permite crear planos con las vistas de los modelos o ensamblajes de forma automática y en muy poco tiempo. La obtención de las vistas, alzado, planta y perfil requiere únicamente pulsar sobre un icono o arrastrar la pieza 3D desde su ventana hasta la ventana del dibujo.

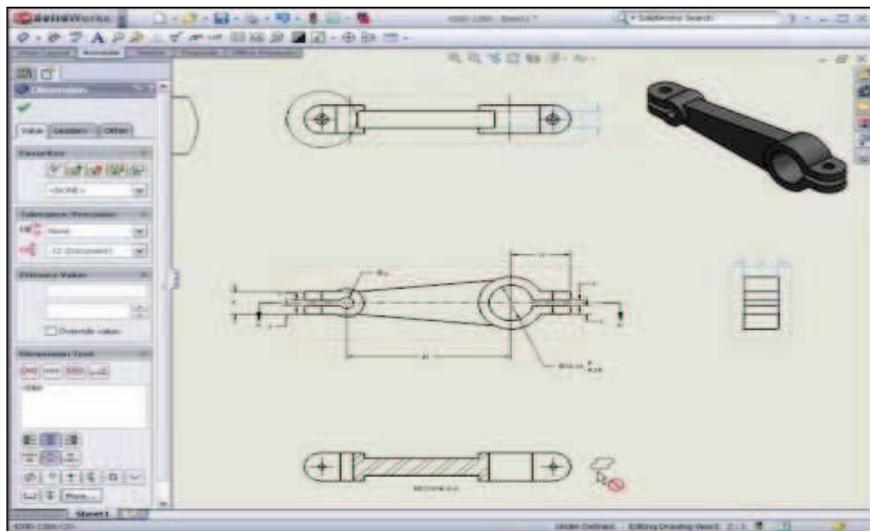


FIG.3.8. Planos de una pieza en SolidWorks.

El módulo de Dibujo permite obtener proyecciones ortogonales (Vistas Estándar), Secciones y Cortes, Perspectivas, Acotación, Lista de materiales,

### Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante Solidworks.

Vistas Explosionadas, entre otras muchas funciones. Los documentos de dibujo están totalmente asociados a las piezas y ensamblajes de forma que cualquier cambio en ellas se actualizan en tiempo real en sus planos, sin tener que modificarlos de forma manual.

Estas características y módulos que hemos descrito son los que se han empleado para la realización del proyecto. Además, SolidWorks cuenta con otra gran cantidad de aplicaciones que se aplican según el campo de trabajo en que se utilice el programa. Las más destacadas pueden ser:

- Simulación y movimiento.
- Análisis de interferencia.
- Creación de superficies.
- CosmosXpress.
- Lista de materiales.

Cabe mencionar que uno de los módulos que ofrece SolidWorks está destinado al diseño de moldes. Este módulo de moldes contiene un conjunto de herramientas que permiten obtener la cavidad de un molde de inyección a partir de una pieza en 3D.

## 3.4 Diseño del banco de pruebas mediante SolidWorks

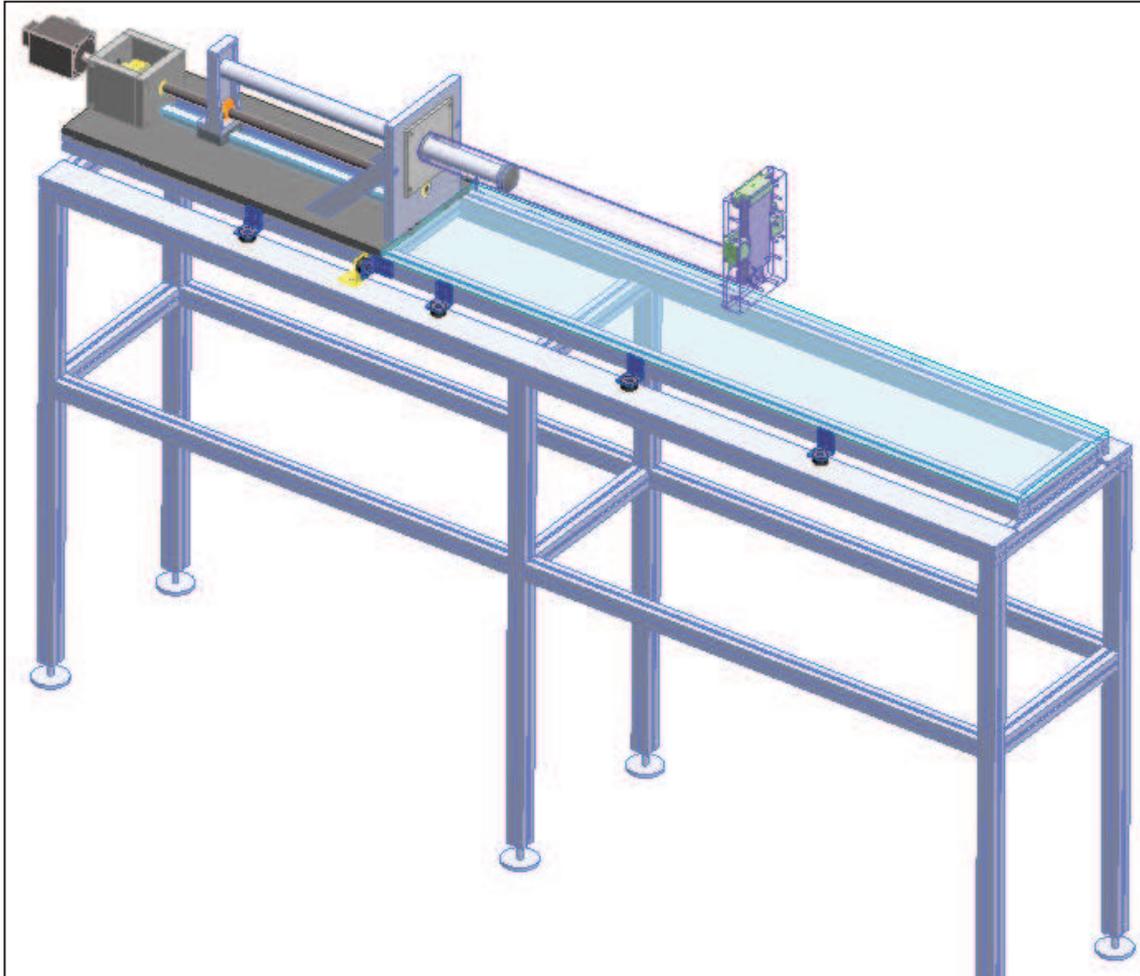


FIG.3.9. Diseño completo del banco de pruebas.

El primer diseño del proyecto consiste en la unidad de cierre de molde. Esta unidad se compondrá de 4 barras guía que sustituirán al plato de sujeción, estas barras estarán ancladas al frente del sistema de inyección, atravesaran las dos mitades del molde y lo aseguraran mediante un sistema de tornillería por ambos lados del molde, así se mantendrá fijo y estable, para ello el molde cuenta con 4 orificios de 8 mm de diámetro, por los cuales atraviesan dichas barras, además el sistema experimental contara con un acoplamiento mecanizado en el molde, en el cual podremos encajar el molde y la cámara de inyección, de esta manera el ajuste entre ambos será perfecto, facilitando la observación y evitando la perdida de material en cada ciclo de inyección, esta

Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD).  
Diseño mediante Solidworks.

mecanización es un circunferencia con un diámetro 61 mm y una profundidad sobre la superficie del molde de 10 mm.

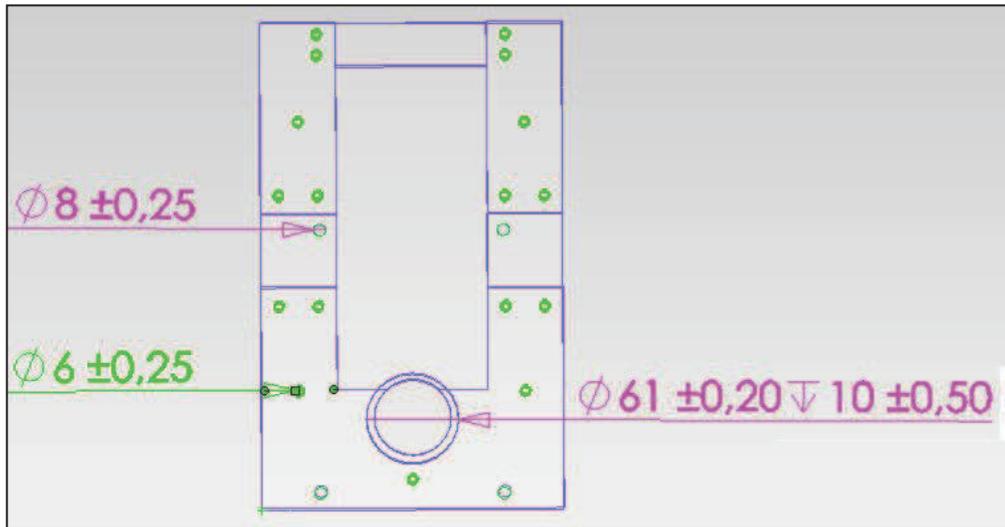


FIG. 3.10. Cotas de taladro del molde.

Sustituiremos los sistemas mecánicos e hidráulicos de cierre por un sistema de tornillería que como en el caso anterior, atravesara el molde y lo asegurara por ambas caras exteriores del mismo, los orificios utilizados para esta acción serán de 6 mm de diámetro, los tornillos utilizados serán de métrica M6 y el ajuste se realizara mediante arandelas de presión y tornillos de la métrica correspondiente.

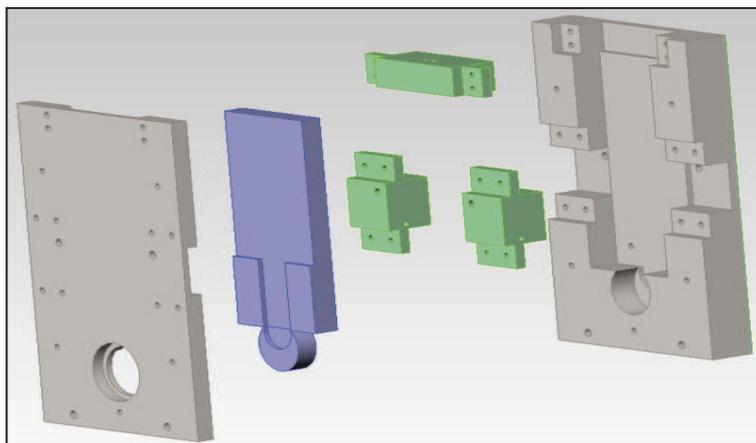


FIG.3.11. Despiece del molde.

La siguiente parte a diseñar es la unidad de colada, esta tendrá como cuchara de colada un vaso de precipitado de laboratorio de 300 ml, la cámara

Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD).  
Diseño mediante Solidworks.

de inyección cuenta con un volumen total de  $1685,93 \text{ cm}^3$ , pero para las inyecciones emplearemos un volumen considerablemente menor, solamente  $250 \text{ cm}^3$ , por tanto con 300 ml tenemos fluido de sobra para llevar a cabo las pruebas que queremos realizar y no será necesario emplear ningún sistema de seguridad ya que el fluido utilizado no conlleva ningún riesgo de manipulación.

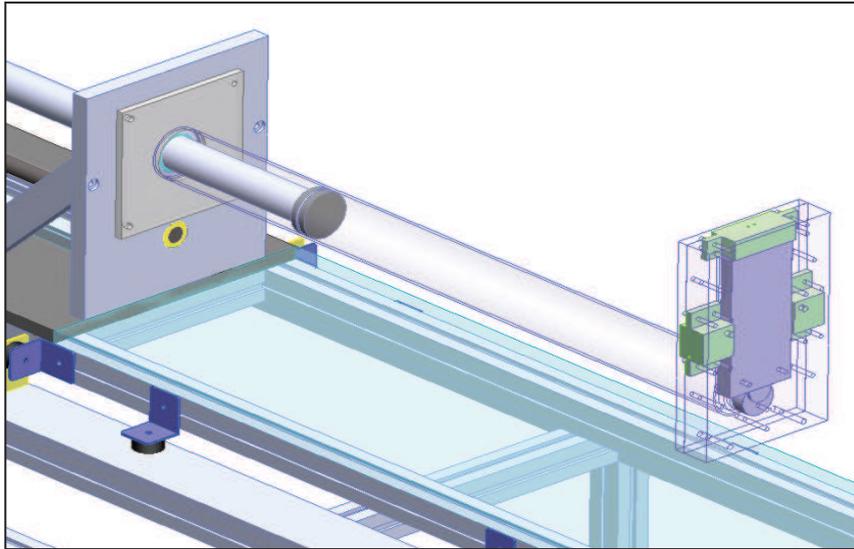


FIG. 3.12. Detalle de cámara de inyección.

La tercera unidad a diseñar corresponde con el sistema de descarga. Se compondrá de un husillo de bolas de paso 32mm, montado sobre un eje de una longitud de 900 mm, que ira montado a una caja de acoplamientos en un extremo para que se le pueda transmitir el movimiento desde el servomotor, y en el otro extremo se fijara a un rodamiento en el frente de inyección, para poder girar libremente con la acción que le transmite la caja de acoplamientos.

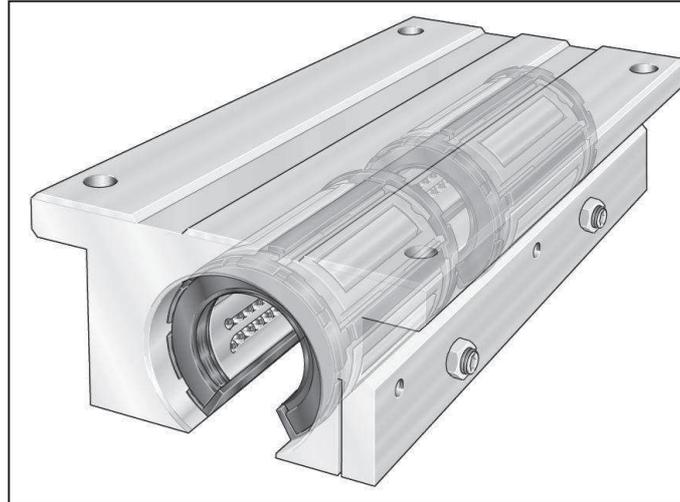


FIG.3.13. Ejemplo de Vista isométrica de un patín de bolas.



FIG.3.14 Ejemplo de Husillo de Bolas Bosch

El patín de bolas va montado sobre una placa de 250x90mm con una base de 75mm a la que le transmite un movimiento lineal, sobre el frente de esta placa se encuentra fijado el pistón, con el movimiento rotatorio del motor, la placa avanza o retrocede según el sentido, y por tanto el pistón avanza o retrocede, esta placa a su vez está montada sobre una guía en la parte inferior, de esta manera aseguramos que la placa de avance y retroceda sin generar vibraciones que puedan afectar al movimiento del pistón en el interior de la cámara.

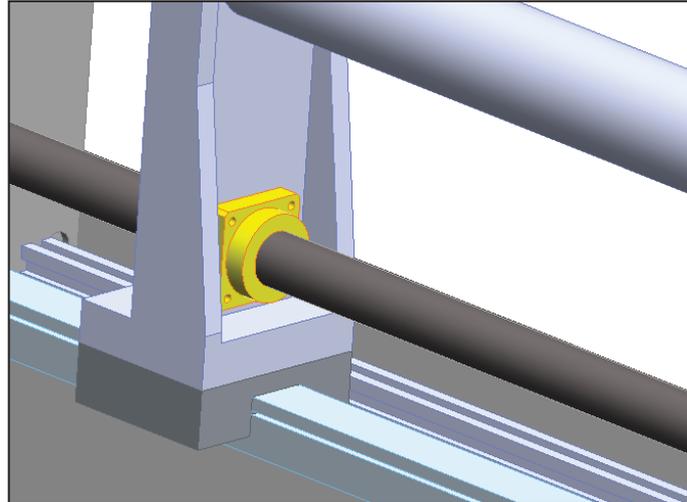


FIG 3.15. Detalle de la placa de transmisión de movimiento.

La caja de acoplamientos se compone de un acoplamiento de láminas formado por dos cubos de acero unidos por un juego de láminas flexibles de acero inoxidable de alta resistencia.

El par se transmite rígidamente por medio de pernos alternados conducidos y conductores desplazados sobre un mismo diámetro primitivo. No requieren lubricación ni mantenimiento, mientras que permiten un desalineamiento axial, radial y angular, con posibilidad de trabajar en ambos sentidos de rotación en ausencia de juego torsor, incluso en las condiciones de temperatura más exigentes.

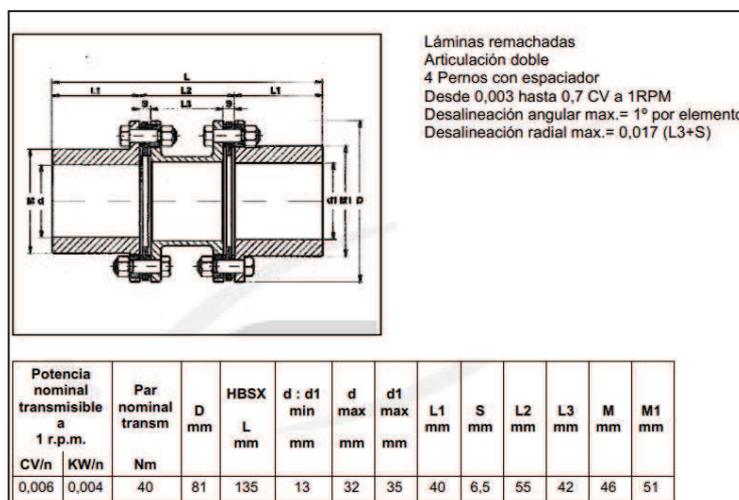


FIG. 3.16. Acoplamiento de láminas y tabla de dimensiones.

### Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD). Diseño mediante Solidworks.

La cámara de inyección cuenta con un orificio en la zona superior junto a la pared final de la misma. Este orificio, con un diámetro de 10mm, permite la correcta evacuación de aire durante la etapa lenta del proceso de inyección. El diámetro interior de la cámara de inyección (H) sería de 74mm y la longitud total de la cámara que se instalara será elegida para respetar la relación  $L/H = 5.3$  que es utilizada en los experimentos con aluminio bajo condiciones reales de operación, por ello la longitud seleccionada es de 392 mm.

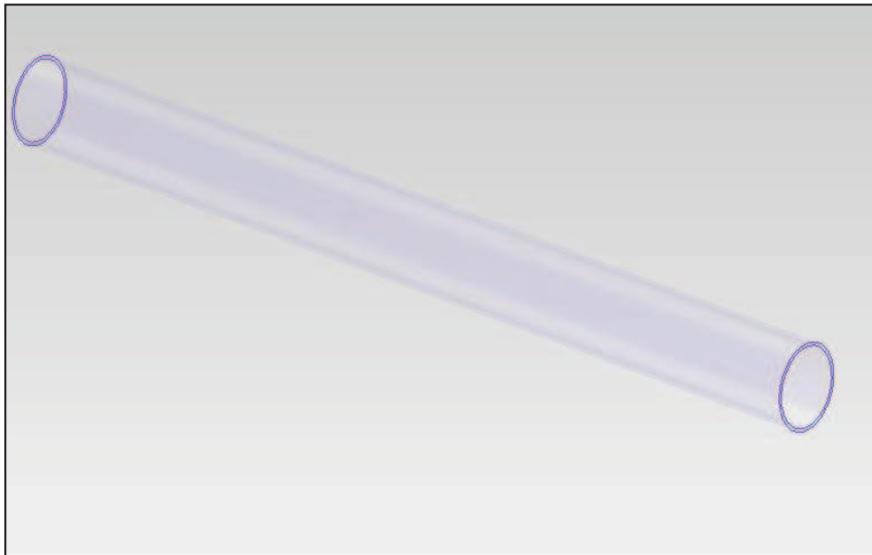


FIG. 3.17. Cámara de inyección en SolidWorks.

El soporte del sistema se compone de un banco de aluminio de 1000mm de alto por 3000 mm de largo y 300mm de ancho, compuesto de perfiles cuadrados de aluminio de 50mm de lado soldados, los pies serán de goma con rosca para poder regular la altura y evitar que el banco quede desnivelado, en la parte superior se encuentra una placa de vidrio de 2000x300x50mm en el interior de un perfil de aluminio de 3000x300x50, dejando 1000x300x50mm libre para colocar la placa sobre la que descansará la guía del soporte de la tuerca del husillo, la caja de acoplamiento y el servomotor. Las placas se apoyan en el banco mediante unos soportes en forma de escuadras con pies de goma para evitar las vibraciones.

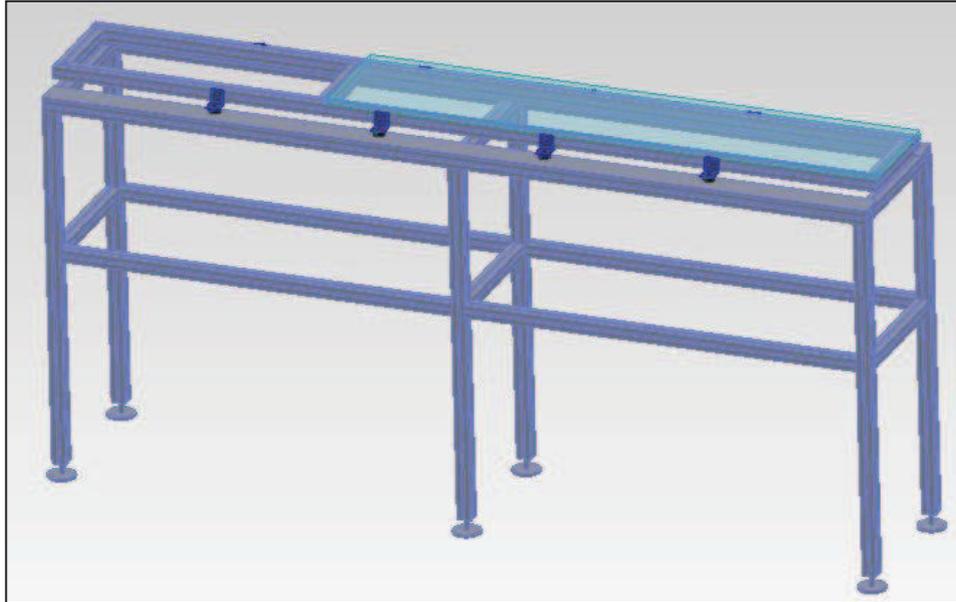


FIG. 3.18. Soporte en SolidWorks.

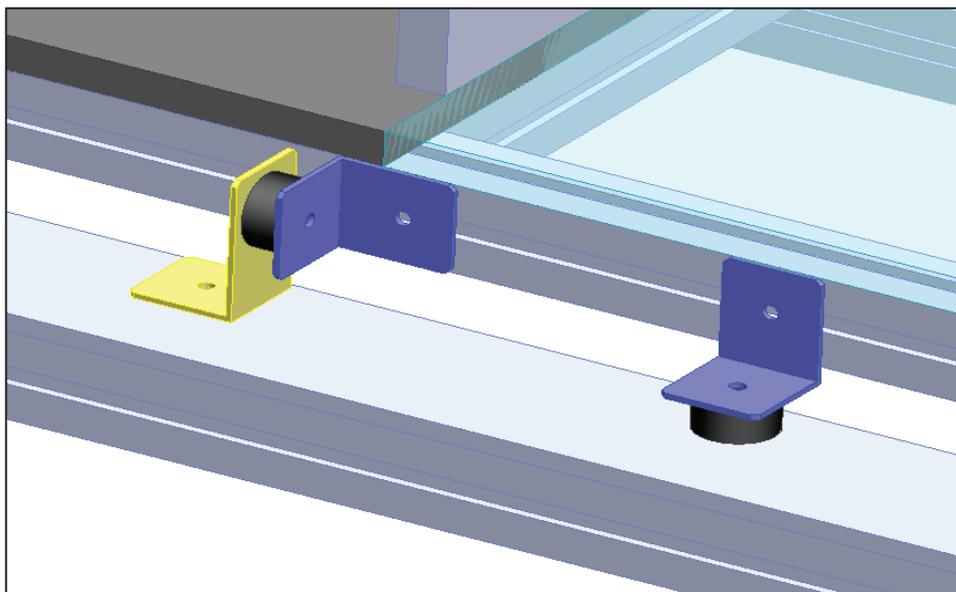


FIG. 3.19. Detalle de los soportes anti vibraciones en SolidWorks.

La unidad de potencia se compondrá por el servomotor R88M-K2K030F-S2 que hemos presentado anteriormente, con un peso de 5,4 Kg, se encontrará unido a la caja de acoplamiento por la parte frontal y anclado a la placa inferior que se encontrará también en el interior del perfil de aluminio junto con la placa de cristal.

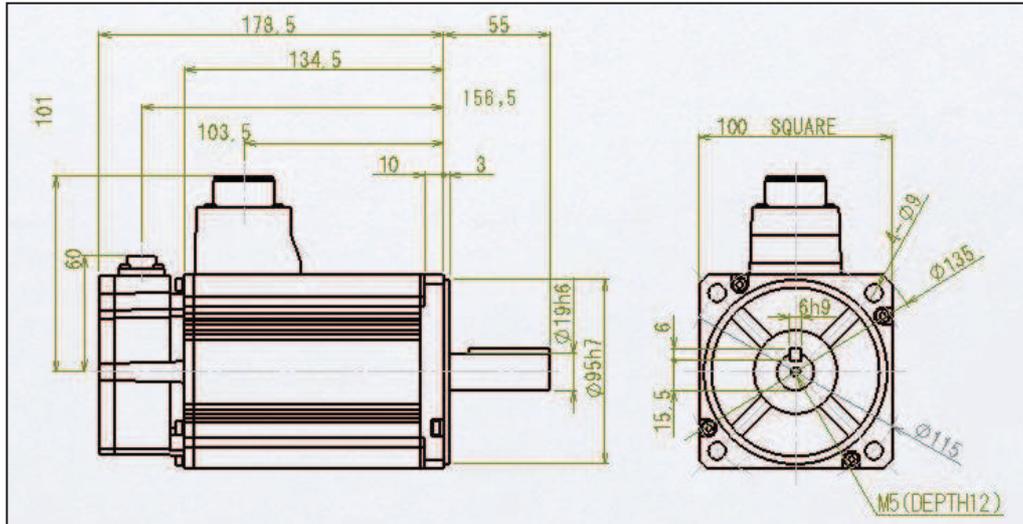


FIG.3.20. Vistas frontal y lateral acotadas del servomotor R88M-K2K030F-S2.

### 3.4.1 Tolerancias y sistemas de ajustes

El sistema de tolerancias garantiza que se pueda obtener una pieza correcta y con las medidas adecuadas. En los controles de calidad de muchos productos, se utilizan dichas tolerancias. Cuanto más estricta sea la tolerancia, más exigencia a la hora de realizar el producto y, por tanto, más costosa será su fabricación.

Las tolerancias están reguladas por diferentes normas UNE: las tolerancias de medida, UNE 1120:1996 equivalente a la norma ISO 406:1987. Las tolerancias lineales (distancias entre dos puntos), UNE 1149:1990 equivalente a la norma ISO 8015:1985.

Las desviaciones de medida nominal, límites máximos y mínimos de variación de la tolerancia, deben expresarse con el mismo número de decimales, excepto cuando una de ellas sea cero. Las distintas opciones de indicación de la tolerancia de una magnitud en un dibujo técnico se muestran en la siguiente imagen.

El grado de calidad de la tolerancia (IT) está directamente relacionado con la calidad del acabado de la pieza fabricada. La norma UNE-EN 20286:1996 que equivale a la norma ISO 286:1988 recoge un conjunto de 18 niveles de calidad, de forma que el acabado disminuye cuando aumenta el

Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD).  
Diseño mediante Solidworks.

número de la tolerancia. En nuestro diseño del molde, el grado de calidad en los ajustes de las piezas es de IT 7.

Grupos de diámetros (mm.)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
$d \leq 3$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$3 < d \leq 6$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
$6 < d \leq 10$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
$10 < d \leq 18$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
$18 < d \leq 30$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
$30 < d \leq 50$	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
$50 < d \leq 80$	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
$80 < d \leq 120$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
$120 < d \leq 180$	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
$180 < d \leq 250$	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
$250 < d \leq 315$	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultraprecisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar						Piezas o elementos que no han de ajustar						

TABLA 3.1. Calidades de tolerancias según ISO

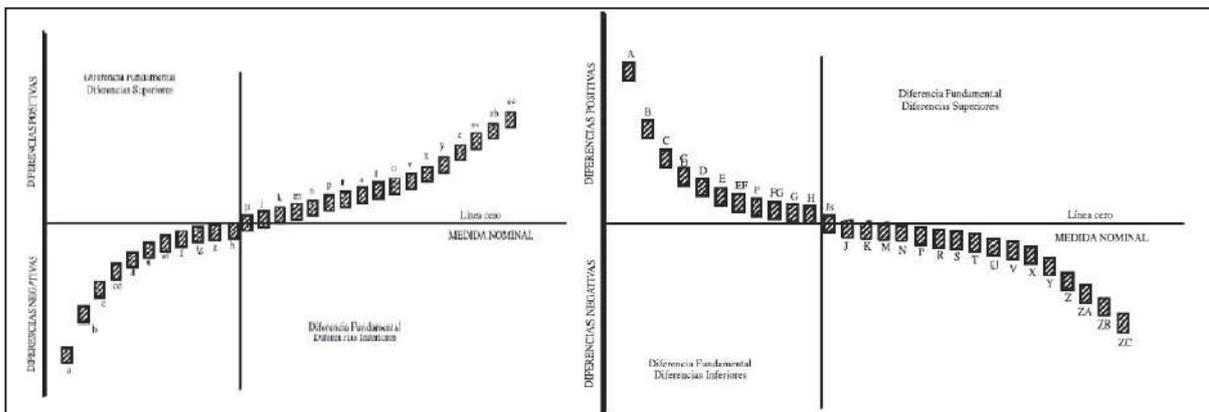


TABLA 3.2. Posiciones de tolerancias para ejes y agujeros.

La norma ISO también regula las diferentes posiciones de la zona de tolerancia respecto a la línea cero. Las letras minúsculas corresponden a los ejes y las mayúsculas a los agujeros. En total existen 28 situaciones diferentes, siendo el paso de las letras h a j, o H a J, el que marca el uso de las diferencias superiores o inferiores para situar la zona de la tolerancia. Para el ajuste de los

Capítulo 3. Diseño asistido por ordenador (CAD).  
Diseño mediante Solidworks.

postizos con la parte móvil del molde, se ha definido una posición de ajuste de agujero único (H), tal y como se indica en los planos del proyecto.

# ***CAPÍTULO 4***

---

## Sistema de Control.

Un PLC ó Programmable Logic Controller, es un computador especialmente diseñado para la automatización industrial, el control de maquinas o procesos industriales.

A diferencia de un ordenador personal tradicional, el PLC no tiene teclado ni pantalla, ni tampoco disco duro. Pero internamente es un computador, cuenta con procesadores, memoria, puertos de comunicación, su software propio (Firmware) y una programación, especifica para la aplicación o el caso particular en que se está usando. La principal diferencia entre PC y PLC, es que el PLC contienen múltiples canales para medir distintas señales provenientes de sensores instalados en la maquina o proceso que controlan. Y también tienen canales de salida de señal que actúan sobre la maquina o proceso que controlan.

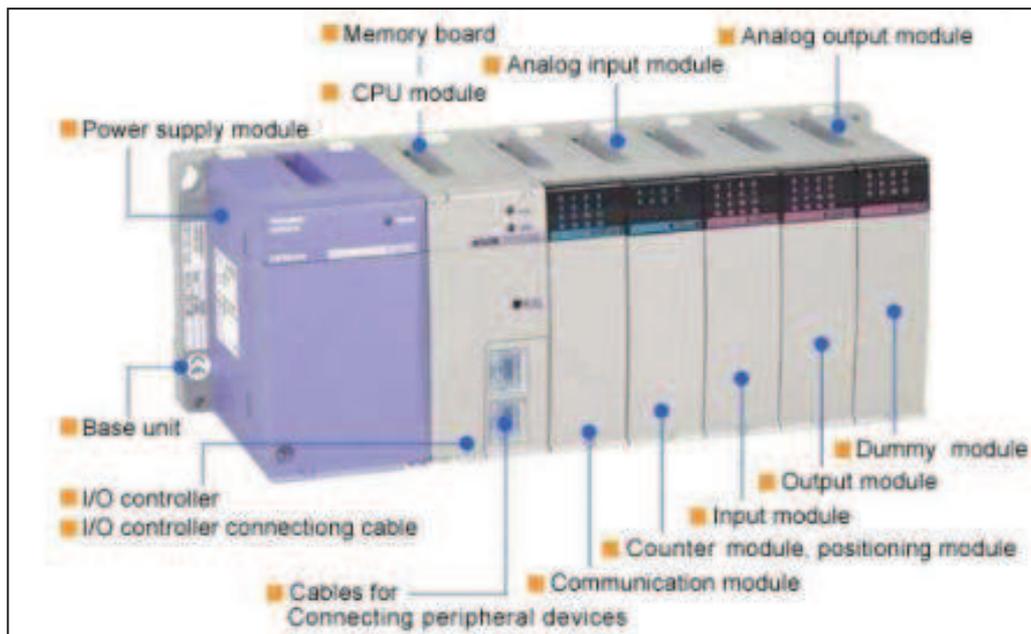


FIG.4.1. Partes del PLC.

Un PLC permite controlar o proteger un proceso industrial, posibilitando además las opciones de monitoreo y diagnóstico de condiciones (alarmas), presentándolas en un HMI (Human-Machine Interface) o pantalla de operación, o presentándolas a una red de control superior, es un ejemplo de control en tiempo real, pues reacciona automáticamente ante las condiciones variables que está vigilando.

Un PLC puede ser parte de un sistema de control distribuido (DCS), un sistema de control de proceso formado por una red de controladores, están orientados al control en tiempo real, parte de un SCADA, si el sistema está orientado al monitoreo de equipo distantes y no al control del proceso en tiempo real, ó en cambio un Sistema de seguridad, como protección para cuando el proceso se sale de control.

En conclusión, no debe usarse el mismo PLC que se usa para el control o monitorización de un proceso y como parte del sistema de seguridad del mismo. Pues, la finalidad de un sistema de seguridad, es justamente llevar el proceso hacia una condición segura, cuando su control se sale de los límites de seguridad.

## 4.1 Programación de un PLC

Un programa es un conjunto de instrucciones que producirán la ejecución de una determinada tarea. En esencia, un programa es una respuesta predeterminada a todas las posibles combinaciones de estados de la información que recibe. La programación de un PLC es, un proceso en cuyo desarrollo se requieren cada una de las siguientes pautas:

- 1- Definición y análisis del problema.**
- 2- Definición de la arquitectura del hardware necesario.**
- 3- Diseño de los algoritmos.**
- 4- Programación del código, en los lenguajes de programación.**
- 5- Pruebas efectivas de funcionamiento.**

En nuestro caso ya hemos definido el problema al que nos enfrentamos con la creación del banco de pruebas para simular el funcionamiento de una maquina de fundición en cámara fría y el equipo físico con el que vamos a contar, por tanto pasamos a comentar el algoritmo que vamos a utilizar.

### 4.1.1 Algoritmo de funcionamiento

Es una secuencia de pasos o instrucciones para llevar a cabo de una tarea especificada, son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan, como de la maquina que los ejecuta. El diseño del algoritmo es un método que nos permita llevar a cabo una toma de decisiones de la forma correcta.

Los algoritmos deben estar definidos en tres etapas: Entrada, Proceso y Salida, deben ser precisos e indicar el orden de realización de cada paso, estar siempre bien definido, para que ante unas condiciones de entrada determinadas siempre se obtenga el mismo resultado y por ultimo ha de tener un numero finito de pasos, para que en ningún caso entre en un bucle infinito.

En nuestro caso contamos una entrada primaria que será la que habilitará el sistema, dando paso a tres posibles subrutinas de movimiento, el

movimiento por control manual, el movimiento hacia una posición absoluta determinada o la ejecución de un movimiento definido por una curva de aceleraciones previa, en caso de que las condiciones sean favorables para llevar a cabo alguna de dichas subrutinas la salida que generaran en todo caso será el movimiento del servomotor, esto lo podemos ver en el ejemplo simplificado de la FIG.4.2.

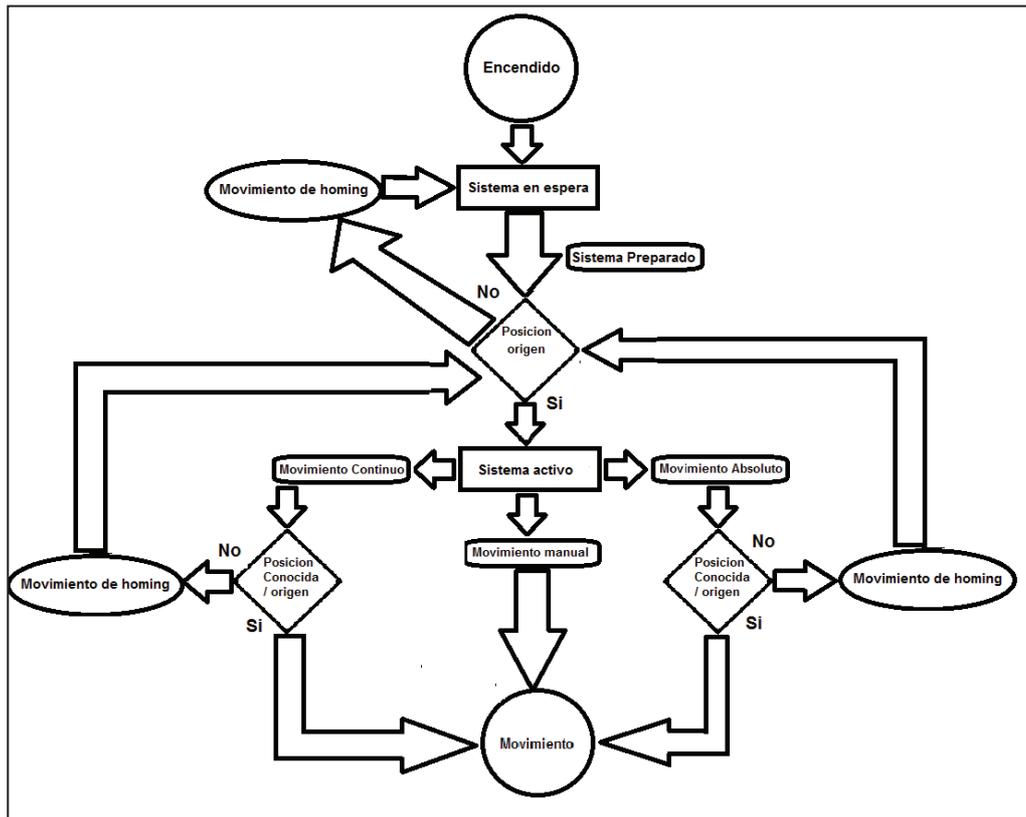


Fig.4.2. Ejemplo simplificado del algoritmo empleado.

## 4.1.2 Lenguaje de programación

El software de control del PLC trabaja bajo una jerarquía peculiar, permite realizar una programación mediante texto estructurado o bien, utilizando diagramas de contactos y programación modular en un mismo conjunto de instrucciones.

La programación estructurada es la forma clásica de programar en forma secuencial, en ella se emplean tres tipos de estructuras: secuencias, selecciones e interacciones. Cada una de estas estructuras a su vez puede

## Capítulo 4. Sistema de control.

contener otra de estas mismas estructuras mediante anidamiento. Los programas son fáciles de comprender y se pueden leer de forma secuencial para entender la lógica, las instrucciones siempre están ligadas entre sí. El inconveniente principal es que se obtiene un único bloque de programa, que cuando se hace demasiado grande, puede resultar problemático para el manejo de su código fuente por su gran extensión.

Una solución para esta situación es la del uso de la programación modular, esta consiste dividir un programa en módulos o sub-programas, esto nos lleva a reducir los problemas a un estado lo suficientemente simple como para poder ser resuelto.

Tradicionalmente se denomina como “Función” al sub-programa que devuelve un resultado. Podemos alimentar una función” con datos y esta nos entregará un resultado, sin necesitar tener que ocuparnos de su funcionamiento interno. La ventaja de utilizar una función es que podemos aplicar muchas veces el mismo algoritmo para distintos datos, escribiendo una sola vez el código.

La función solo se ejecuta cuando es llamada desde dentro de otro programa, y hace que el programa principal se detenga, por que transfiere la ejecución a la subrutina, así el programa principal solo continuara su ejecución cuando la subrutina haya finalizado y “devuelva” el resultado.

Estas funciones se controlan a través de variables, un espacio reservado en la memoria, que pueden cambiar de contenido a lo largo de la ejecución del programa. Las variables pueden ser de dos tipos:

- **Variable Global:** Variable accesible desde todos los subprogramas de una misma aplicación.
- **Variable Local:** Variable solo accesible desde el subprograma al que pertenece, no pudiendo ser leída o modificada desde otro subprograma de la aplicación.

En un PLC todas sus entradas y salidas son variables globales, sus variables internas solo serán globales si específicamente se las define como tales, la ventaja de las variables locales, es que evitaremos tener un gigantesco listado de variables globales difícil de manejar.

## Capítulo 4. Sistema de control.

Las variables pueden ser de 4 tipos:

- **Booleano** (Lógica): Verdadero o falso.
- **Entero**: Un valor entero entre 0 y n. Donde n, depende de la cantidad de bytes con que trabaje el sistema, y si usa o no, un bit para representar el signo.
- **Real**: El rango valido y su exactitud varía según la cantidad de bytes con que trabaje el sistema.
- **String**: Es una secuencia de números enteros, que representa una secuencia de caracteres (Letras o signos) de un determinado alfabeto.

Esta programación modular se integra en el lenguaje *ladder*, un lenguaje de programación grafico muy popular basado en los clásicos esquemas de control eléctricos con relés, facilitando aun más si cabe su comprensión.

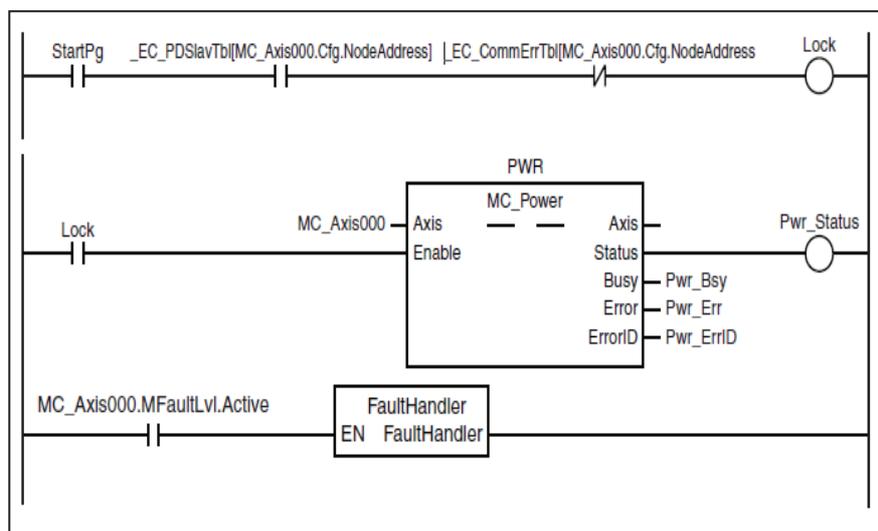


FIG.4.3. Programa de encendido y monitorización de comunicaciones del servo controlador.

## 4.2 Conexión del Hardware

Antes de comenzar la programación del PLC conectaremos todos los elementos físicos del sistema a la toma de tensión correspondiente. El PLC se alimenta a 230V, el servo controlador se alimenta mediante un transformador de continua a 24V, y el servomotor una tensión de 380V. Una vez conectados a tensión de red, mediante cable de conexión RJ45 se establecerá la comunicación entre el Computador y el PLC, y entre este y el servo controlador, posteriormente y mediante un cable de tres fases aisladas de 2,5mm de sección suministrado por el fabricante llevaremos a cabo la conexión entre el servo controlador y el servomotor.

Sabemos que todas las conexiones realizadas se han realizado de forma satisfactoria ya que los equipos cuentan con un sistema de aviso de errores mediante pilotos leds intermitentes y pantallas BCD de siete segmentos. Cuando se lleva a cabo el encendido de los equipos, automáticamente se hace una revisión del estado de las comunicaciones, en el caso de que no se pueda realizar la conexión con los equipos, el sistema alerta con las señales ópticas mencionadas, devolviendo un código que indicara el error producido y que podemos consultar en el manual, o en la hoja de errores comunes que hemos elaborado para el equipo [ANEXO F].

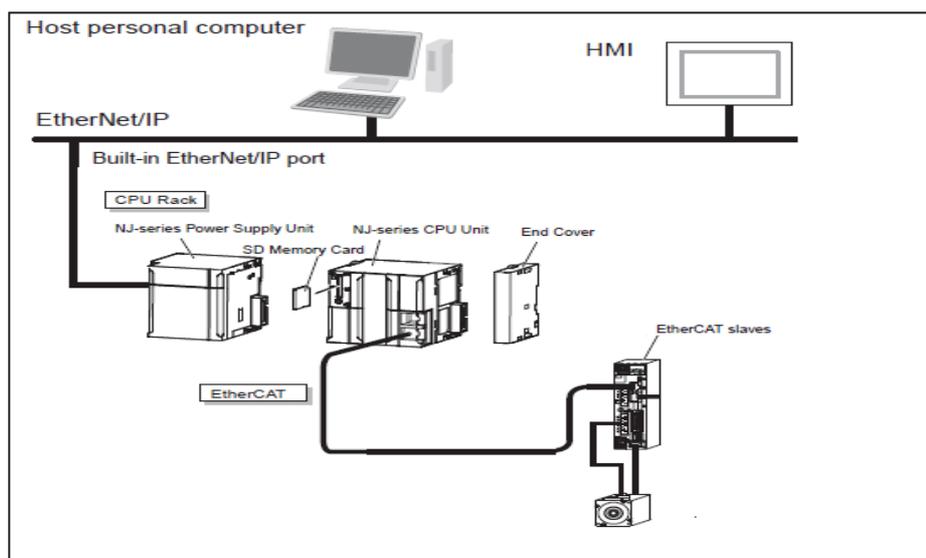


FIG.4.4. Diagrama de comunicaciones del sistema.

## 4.3 Configuración del software

El entorno de programación que vamos a emplear es el presentado anteriormente, la plataforma propia de Omron, Sysmac Studio, desde este programa vamos a realizar la configuración de las comunicaciones, la configuración de los parámetros de operación del hardware, la programación de los movimientos del servo, así como la monitorización del proceso y la obtención de graficas comparativas entre las salidas que obtenemos del sistema y nuestras salidas objetivo.

Como podemos observar en la FIG.4.5. La compañía que desarrolla el software recomienda en sus manuales un procedimiento básico para la configuración y programación de las funciones de control de movimientos, y nos vamos a ceñir a ella para intentar obtener el mejor resultado posible dentro de las posibilidades que nos brinda el equipo.

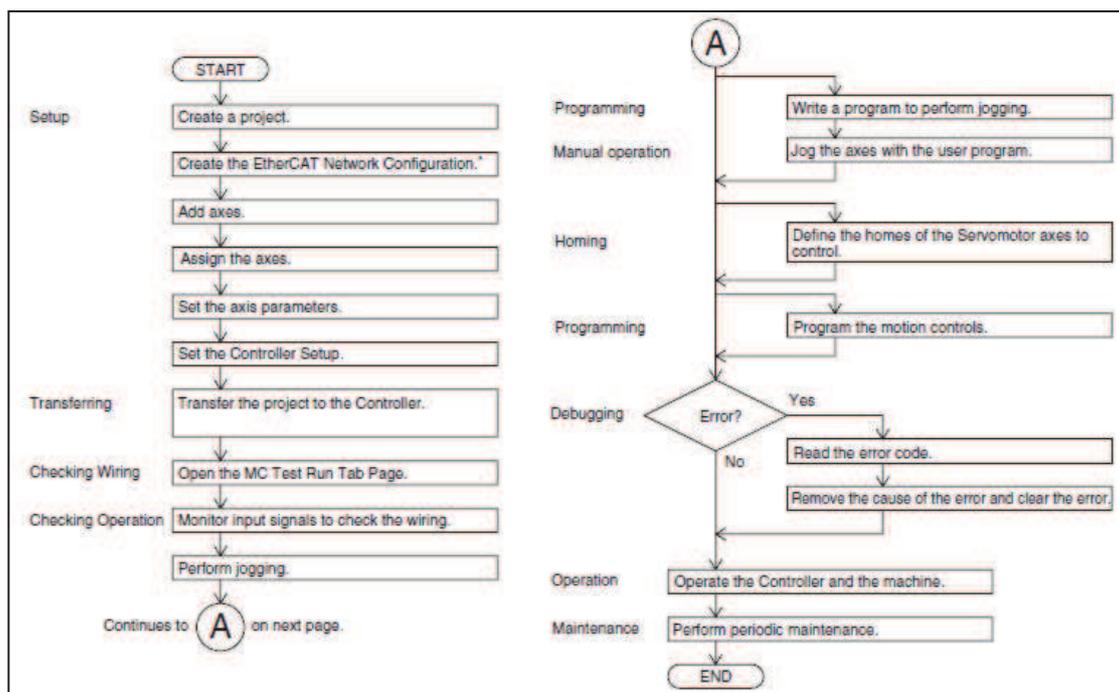


FIG.4.5. Procedimiento básico para la realización de control de movimiento con la función de control MC.

Por tanto y para empezar vamos a proceder a crear un proyecto nuevo. Para ello inicializamos el programa, seleccionamos en el botón de **Nuevo Proyecto**, definimos las propiedades del proyecto y seleccionamos **Crear**.

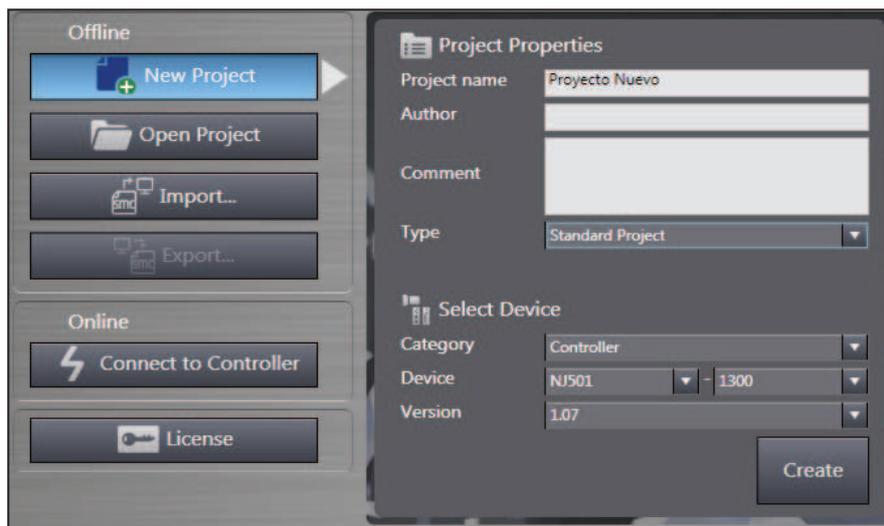


FIG.4.6. Creación de un nuevo programa.

Ahora procedemos a solicitar al sistema que realice un reconocimiento de los dispositivos que se encuentran conectados en la red de comunicación Ethercat que une la unidad de control de maquinas y los nodos que tenemos conectados. Para ello, seleccionamos **EtherCAT** en el explorador múltiple para visualizar la tabla del editor de página, luego seleccionamos la opción **Online**, para conectar el programa al controlador. Una vez que se realiza la conexión, hacemos selección con el botón derecho sobre el icono de elemento maestro y seleccionamos la opción **Compare and Merge with Actual Network Configuration**.

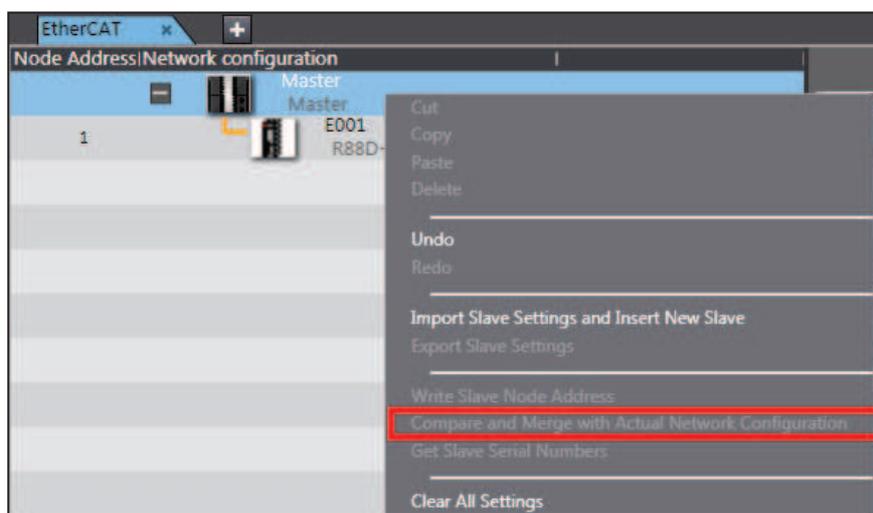


FIG.4.7. Comparación de dispositivos de red.

Cuando el software recopila toda la información, podemos ver que aparece un nuevo icono en la tabla que identifica al nodo esclavo, haciendo selección con botón derecho sobre este icono y pulsando la opción **Apply actual network configuration**, aceptamos la configuración que el software toma de la red y la aplicamos.

Este procedimiento también se puede realizar de forma manual si tenemos llevar a cabo la programación del sistema sin tener presentes los componentes del mismo, para ello en el explorador múltiple de la pestaña EtherCAT, en el cuadro de herramientas o **toolbox** seleccionamos el nodo que queremos introducir como esclavo en el sistema y lo seleccionamos con el botón derecho para desplegar el menú de opciones y lo añadimos seleccionado la opción **Insert**.

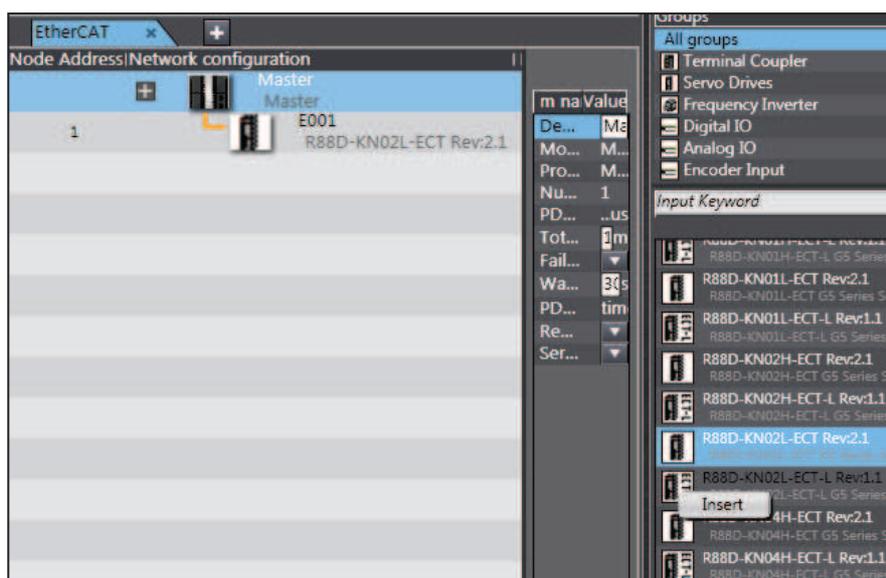


FIG. 4.8. Establecimiento de red EtherCAT.

### 4.3.1 Configuración de los parámetros de operación

En primera instancia introducimos y variaremos los parámetros de operación del nodo del servomotor, en este caso deshabilitamos los

## Capítulo 4. Sistema de control.

parámetros referentes a las medidas digitales de seguridad, ya que el control manual nos permite suspender la operación en cualquier instante. Deshabilitamos el control digital de límites de operación ya que es considerablemente costoso, porque es necesario el uso de componentes especiales y lo podríamos sustituir fijando el límite de operación por defecto y manteniéndolo fijo, ya que no necesitaremos forzar las operaciones hasta puntos que nos obliguen a variar los límites de las mismas. Configuramos los parámetros de ganancia del sistema, para que en función de la rigidez y de las vibraciones que se generen, la CPU modifique los valores de velocidad, de posición y de par de motor de forma automática sin superar los límites de operación preestablecidos.

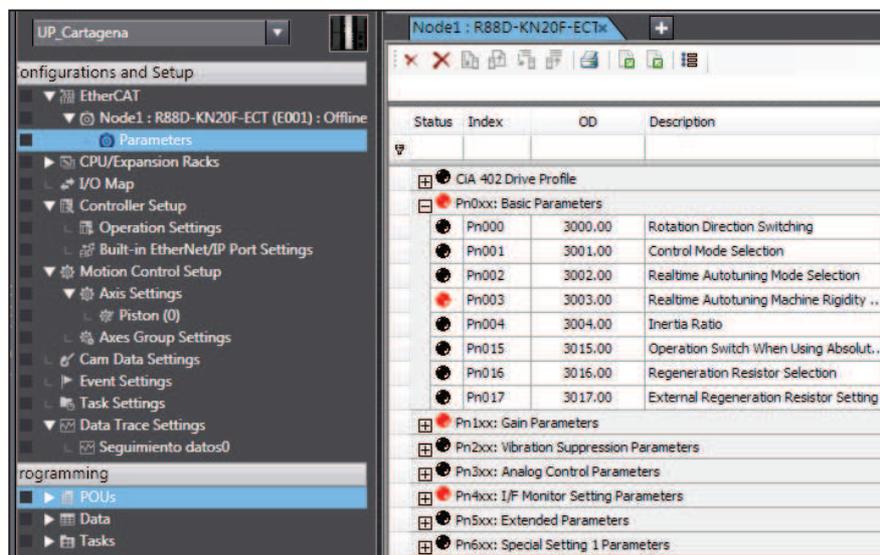


FIG.4.9. Parámetros de configuración del Nodo.

Ahora que hemos definido el nodo del servomotor, vamos a declarar las operaciones que podrá realizar el eje del mismo, para ello, desplegamos la pestaña **Motion Control Setup**, hacemos selección con botón derecho sobre la opción **Axis Settings**, desplegamos la opción **Add**, y seleccionamos **Axis Settings**.

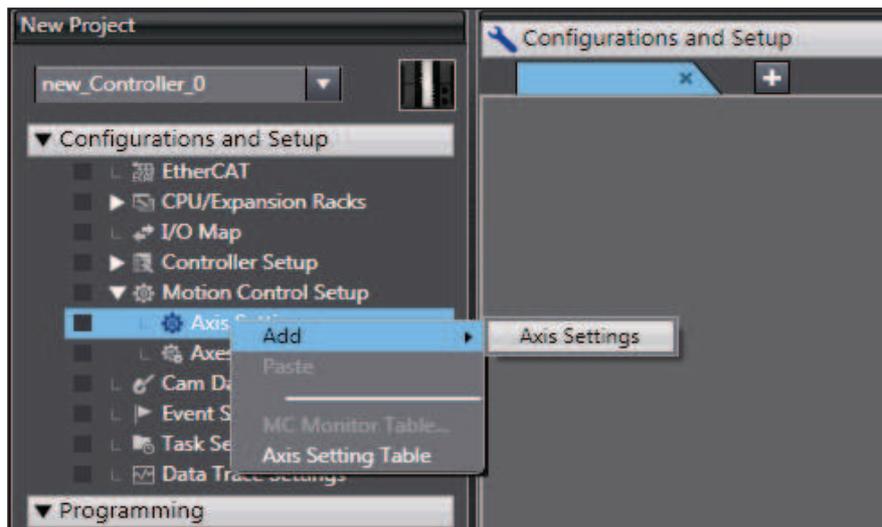


FIG.4.10. Selección de un eje.

Nombramos el eje como **Pistón**, y procedemos a configurarlo, la primera pestaña que hay que configurar es la de **Axis Basic Settings**, en ella seleccionaremos el tipo de eje, pudiendo seleccionar entre ejes reales y virtuales de tipo servo y de tipo encoder, en nuestro caso trabajamos con un **eje real de tipo servo**, sin control de feedback y la salida a la que está ligado es el servomotor **R88D-KN20F-ECT**.

La siguiente pestaña a configurar es la de **Unit Conversion Settings**, aquí configuramos la relación entre los pulsos de control que el servo controlador transmite al servomotor para que el eje de una vuelta completa, cada pulso se compone por un bit de información disponiendo en este caso de un encoder de 20 bits en el motor, por lo que cada revolución se divide en de 1.048.576 pulsos. El desplazamiento lineal del pistón por cada revolución se define por el paso que tenga la tuerca del husillo, en nuestro caso el desplazamiento lineal será de 32mm por cada vuelta. En la siguiente pestaña **Operation Settings**, definimos la velocidad máxima que podrá adquirir el motor limitada por programación, esta velocidad en ningún caso debe ser mayor que la velocidad limite de operación por hardware o mayor que la establecida como límite en los parámetros de operación del nodo, nosotros trabajamos con una velocidad máxima de 360 mm/s.

Ahora que hemos configurado los parámetros del hardware, transferimos la programación al controlador, para ello desplegamos la pestaña **Controller**, y seleccionamos la opción **Online**, una vez que se establece la comunicación

## Capítulo 4. Sistema de control.

con la CPU, volcamos toda la información en el controlador seleccionando la opción **synchronice** desde el mismo menú desplegable.

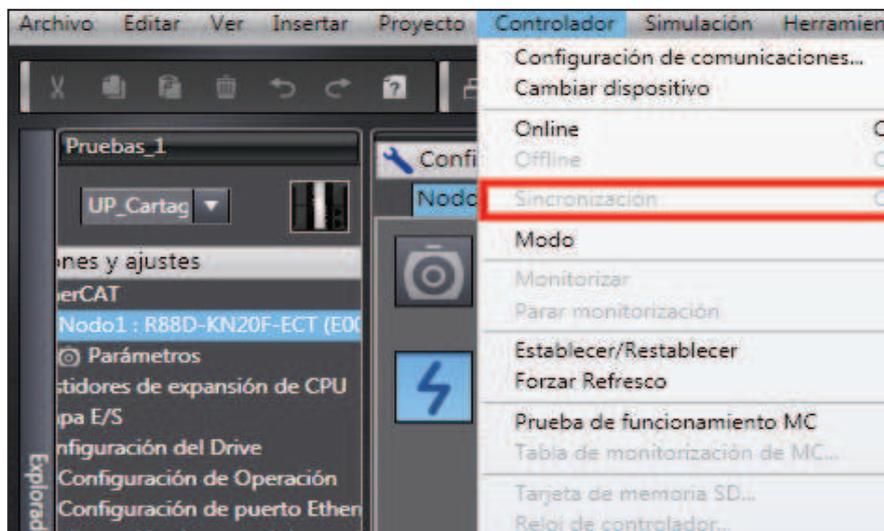


FIG.4.11. Sincronización del programa con el PLC.

## 4.4 Código del programa

El primer paso es escribir el código para la monitorización de las comunicaciones Ethercat y el encendido de nuestros servos. Para ello utilizaremos las siguientes variables.

Nombre de la variable	Tipo de Dato	Valor por Defecto	Comentario
MC_Axiss000	_sAXIS_REF	---	Variable eje
MC_Axis000.MFault.vl.Active	Booleano	Falso	Verdadero, si hay un error de nivel inferior para el eje creado
MC_Axis000.Cfg.NodeAddresses	Entero	---	Dirección del nodo
_EC_PDSlavTbl[N]	Booleano	Falso	Verdadero, cuando el proceso de comunicación Ethercat para el nodo N esta operativo

Capítulo 4. Sistema de control.

StartPg	Booleano	Falso	Cuando pasa a ser verdadero, el servo se enciende si el proceso de comunicación
---------	----------	-------	---

TABLA 4.1. Variables de encendido.

Cuando **STARTPG** es **Verdadero**, se comprueba el status del proceso de comunicación de datos, para comprobar que todo está activo y normal, activando en caso afirmativo la señal **lock**, la cual en la siguiente línea de comando, habilita el encendido del servo. Si se produjera un error en cualquiera de los niveles de comunicación para el Eje declarado, el controlador de errores para el dispositivo se activaría, deteniendo la posible operación que esté realizando la maquina.

Una vez que encendemos el servo, procedemos a programar las operaciones de movimiento, para ello utilizamos las siguientes variables.

Nombre de la variable	Tipo de Dato	Valor por Defecto	Comentario
Sistema preparado	Booleano	Falso	Verdadero, habilita la alimentación del servomotor
Piston Run	Booleano	Falso	Verdadero, el pistón se encuentra preparado para iniciar la operación
BotonMarcha	Booleano	Falso	Verdadero, permite realizar movimiento manual
BotonContinuo	Booleano	Falso	Verdadero, junto con Marcha, permite mover a la posición 0 y ejecutar una tabla CAM
Pulsador Adelante	Booleano	Falso	Verdadero, permite realizar movimiento de manual en el sentido contrario de las agujas del reloj
Pulsador atrás	Booleano	Falso	Verdadero, permite realizar movimiento de manual en el sentido de las agujas del reloj
VelocidadRapida	Booleano	Falso	Verdadero, habilita el movimiento a una segunda velocidad, superior a la definida por defecto
Pos 1	Booleano	Falso	Si Pos1 Falso y Pos2 Falso, habilita mov a posición 0.

Capitulo 4. Sistema de control.

Pos 2	Booleano	Falso	Si Pos1 verdadero y Pos2 Falso, Habilita mov a posición 1. Si Pos1 Falso y Pos2 Verdadero, habilita mov a posición 2.
Stop	Booleano	Falso	Si Verdadero, se detiene el movimiento del sistema y se resetean los registros de posición

TABLA 4.2. Variables de movimiento.

Nombre de instruccion	Tipo de Dato	Comentario
RUN_Servo	MC_power	La instrucción conecta el servodrive y lo deja listo para operar
Origen_Servo	MC_Home	La instrucción habilita al motor a determinar su posición respecto del origen, para ello utiliza las señales de los limites, la señal de proximidad al origen y la señal de origen
Mover_Servo	MC_MoveAbsolute	La instrucción mueve el eje tomando como referencia una posición absoluta especificada
Mover_Tabla	MC_SyncMoveAbsolute	Emite cíclicamente la posición de destino especificada para el eje
Para_Eje	MC_Stop	La instrucción decelera el eje hasta pararlo
MovimientoManual1	MC_MoveJog	La instrucción mueve un eje de acuerdo con la velocidad de destino especificado.

TABLA 4.3. Instrucciones de movimiento.

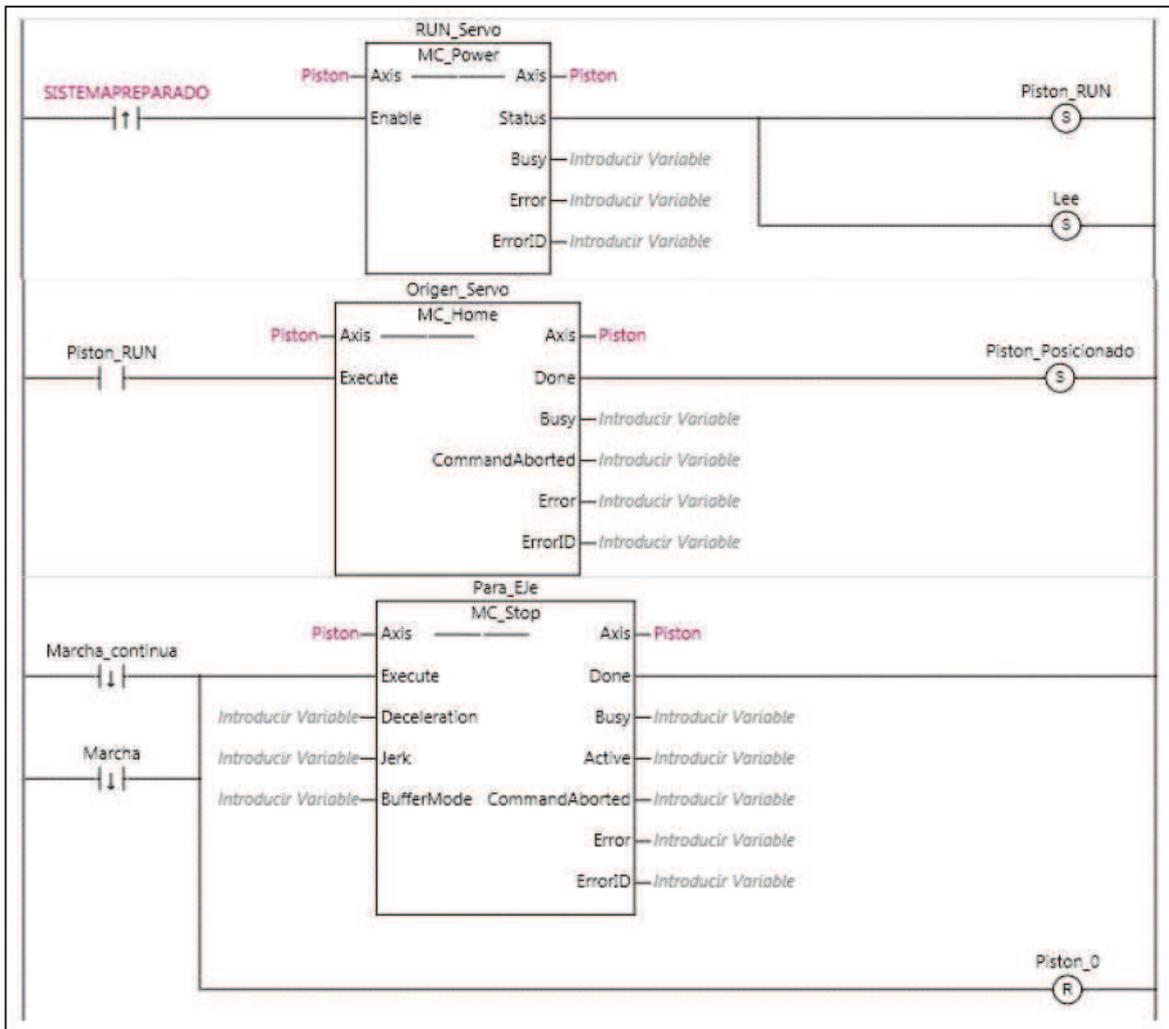


FIG.4.12. Ejemplo de bloques de programación de movimiento más significativos.

Cuando **SistemaPreparado** es **verdadero**, el controlador alimenta el motor y este devuelve una señal de estado, esta señal habilita el reconocimiento de la posición actual respecto del origen, si no se encuentra en la posición de home, se realiza el movimiento necesario hasta alcanzarla. Una vez que el sistema ha reconocido que se encuentra en la posición de origen, podemos actuar de dos maneras.

La primera es activando la operación **Movimiento absoluto**, la instrucción permite el movimiento del eje hasta una posición absoluta de operación determinada, en nuestro caso contamos con 3 posibles posiciones seleccionables desde el panel de control de manual mediante un selector de palanca, en caso de que quisiéramos pasar de una de estas posiciones a otra debemos desplazar el pistón hasta el origen y llevarlo a la posición deseada.

#### Capítulo 4. Sistema de control.

Aunque esta operación no parezca practica se ha introducido como medida de seguridad, en caso de que por error o accidente se le solicitara al sistema realizar este cambio de posición de operación, el sistema no obedecería, así evitamos que se puedan producir atrapamientos o posibles averías derivadas de forzar el movimiento de la maquina hasta una situación crítica.

La otra opción **Mover Tabla** es la de **movimiento absoluto sincronizado**, esta operación reconoce en primera instancia la posición en la que se encuentra el eje, sí la posición en la que se encuentra el husillo no corresponde con ninguna de las 3 anteriores, el sistema ejecuta un movimiento para situarse en el cero de operación más cercano al origen, a la espera de ser situado mediante un movimiento manual o mediante la ejecución de la operación movimiento absoluto, si la posición es correcta, el sistema ejecuta una tabla CAM previamente cargada en la tarjeta de memoria de la CPU.

La primera operación correspondería a la preparación de una maquina de fundición para realizar una inyección, concretamente posiciona el pistón a la espera de que la unidad de colada introduzca en la cámara de inyección el fundido, y lo desplaza hasta el origen de inyección. La segunda operación abarca la etapa lenta, donde el pistón empuja el fundido hasta llenar completamente la cámara de inyección, y la etapa rápida, el embolo empuja el fundido hacia el interior de la cavidad del molde a gran velocidad.

Una vez concluidas las operaciones, se inicia la instrucción **Para\_Eje**, esta desacelera el eje hasta detenerlo, luego podemos continuar operando la maquina o bien ejecutamos la operación stop, que corta el suministro de corriente del motor, y resetea el registro de posición y la instrucción de adquisición de datos de la tabla CAM.

El movimiento manual se realiza mediante la instrucción **MC\_MoveJog**, mientras se mantengan activas las entradas de movimiento hacia adelante o hacia atrás, el eje se moverá con una velocidad determinada en la propia instrucción, pero además, hemos introducido una opción de movimiento rápido, mediante un contacto de tipo switch, cuando este se activa, se mantiene la instrucción del movimiento manual, únicamente variando la variable de velocidad por una diez veces superior.

#### Capítulo 4. Sistema de control.

Ahora definimos, las instrucciones necesarias para que el plc lea el archivo de texto, y lo vuelque sobre el programa generando un trazado con todas las posiciones.

Nombre de la variable	Tipo de Dato	Comentario
Lee	Booleano	Si verdadero, se inicia la lectura del archivo de posiciones.
_CardReady	Booleano	Si verdadero, hay una tarjeta de memoria en la ranura de PLC
FileClose_Instance.Done	Booleano	Si verdadero, lectura finalizada satisfactoriamente
FileOpen_Instance.Error FileClose_Instance.Error FileGets_Instance.Error	Booleano	Si verdadero, errores en la ejecución de la lectura
Leyendo	Booleano	Si Verdadero, archivo abierto

TABLA 4.4. Variables de Lectura.

Nombre de la instrucción	Tipo de Dato	Comentario
Move	Move	Desplaza los datos leídos al nuevo índice
FileOpen_Instance	FileOpen	Abre un archivo especificado en el tarjeta SD
FileGets_Instance	FileGets	Lee una cadena de caracteres de una línea del archivo especificado en la tarjeta SD
STRING_TO_REAL	---	Convierte una cadena de caracteres en un numero real
INC	---	Incrementa un valor integral
FileClose_Instance	FileClose	Cierra el archivo especificado en la tarjeta SD

TABLA 4.5. Instrucciones de lectura.

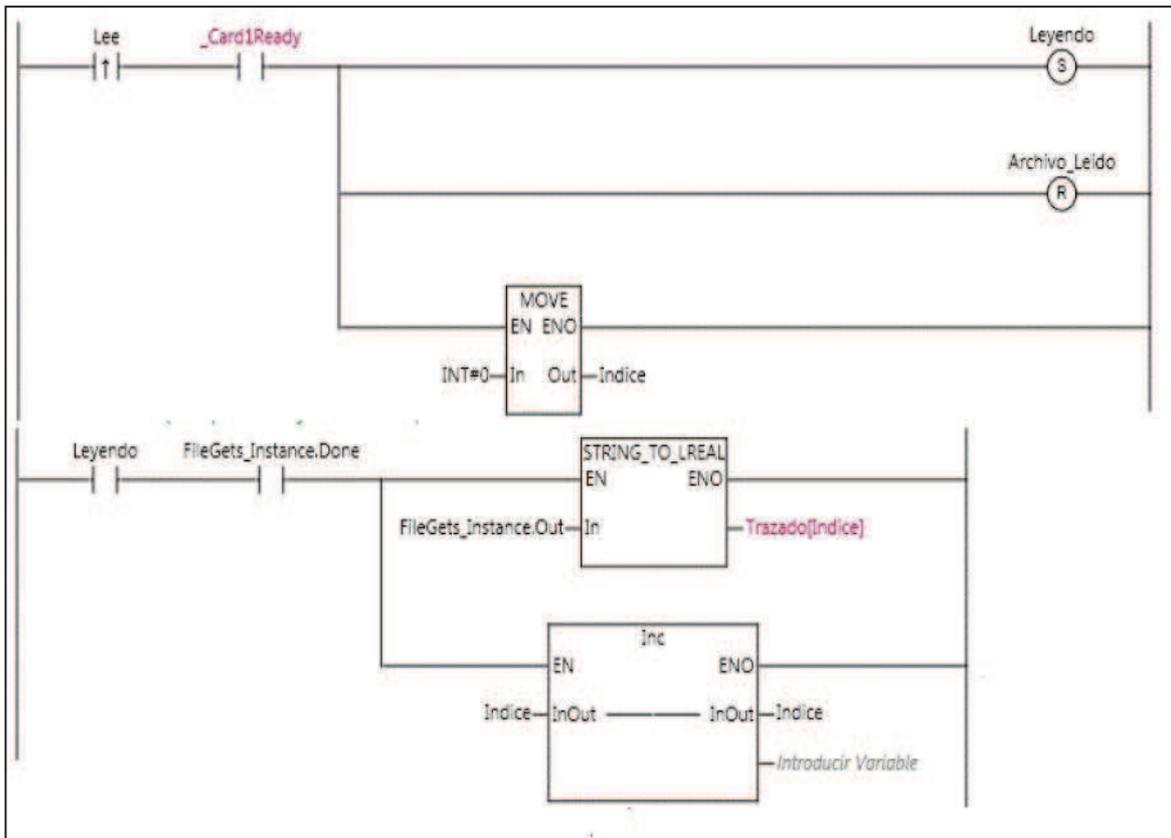


FIG.4.13. Ejemplo de bloques de programación de lectura más significativos.

La tabla de datos se compone de un archivo en formato de hoja de cálculo o un archivo de texto, en la cual cada fila corresponde con la posición del pistón en la operación de inyección para cada 10ms, activando la entrada **Lee**, se inicia la operación de lectura mediante la instrucción **FileOpen\_Instance**, una vez abierto se leen y extraen todas las filas y se copian al caché de la memoria del PLC, mediante las instrucciones **STRING\_TO\_REAL e INC**, cada fila de la hoja de cálculo se convierte en un numero real y se almacena en un array de datos que denominamos Índice, una vez que se ha convertido una fila, la función **INC** incrementa el contador en el índice para continuar almacenando las posiciones en orden hasta que terminar de transferir todas las filas. Una vez hecho esto, la instrucción **FileClose\_Instance** cierra el archivo.

El banco de pruebas también contará con un sistema de finales de carrera para evitar que la maquina realice sobre esfuerzos una vez llegados a

puntos donde continuar el movimiento sería imposible, como por ejemplo el cero maquina.

## 4.5 Prueba de funcionamiento

Es básico llevar a cabo un test de funcionamiento antes de introducir los parámetros definitivas en las operaciones de movimiento, con este test probamos los movimientos a realizar por los ejes declarados, configuramos las características básicas del movimiento con referencias absolutas y relativas y las operaciones de movimiento manual, y monitoriza el funcionamiento y las conexiones establecidas en el sistema. Nos mantenemos conectados al controlador o si por el contrario hubiéramos roto la conexión repetimos el procedimiento anterior y la restablecemos. Una vez hecho esto y en el mismo menú desplegable, seleccionamos la opción **MC Test Run – Start**, y nos aparece la pagina multi pestaña de pruebas.

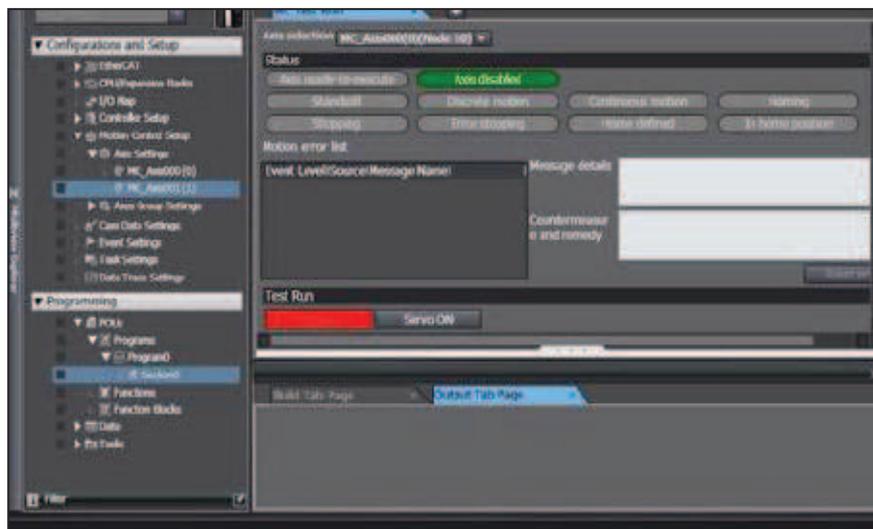


FIG.4.14. Pestaña de Test de prueba.

Para comenzar esta prueba chequeamos la conexión del servo, poniéndolo en funcionamiento, seleccionando el eje asociado y seleccionando en el botón **Servo ON**. En caso de que se detectara algún fallo en los protocolos de comunicación del sistema, los indicadores del panel de status se

## Capítulo 4. Sistema de control.

volverían de color rojo, y pulsando sobre ellos se abre una ventana de información con un registro del fallo detectado y en el punto en el que se encuentra.

El siguiente paso en el test se trata de comprobar el movimiento manual mediante la función **jogging**, para ello volvemos a seleccionar el eje asociado seleccionando con el botón derecho, y en el menú desplegable elegimos la opción **Jogging Tab Page-Axis to jog** y luego reactivar el servo mediante el botón **Servo ON**. En la pestaña que nos aparece introducimos los valores de velocidad objetivo y los valores máximos de aceleración y deceleración que queremos emplear en esta operación, una vez definidos estos valores pulsamos el botón **TON** para activar el control. Ahora solo tendremos que mantener pulsados los botones de avance y retroceso que aparecen en la pestaña para que se lleve a cabo el movimiento.

El siguiente paso es definir la función de homing, la secuencia inicial para cualquier sistema de posicionamiento, seleccionamos sobre la pestaña **Homing** en la pantalla múltiple sobre la que estamos trabajando y aparecen un botón para introducir los parámetros y un botón de inicio de operación. En primer lugar mediante la función de joggin, desplazamos el husillo hasta el que será nuestro cero maquina, y lo marcamos como referencia, cuando se produzca un movimiento, el PLC cuenta las vueltas por el punto Z que ha realizado el servo, y respecto de ese punto Z, los pulsos de encoder ha partir de la última señal Z, así, en cualquier momento que se solicite el homing, retrocederá tantas veces como pasos por el punto Z haya contado, y una vez superado el ultimo, girar los pulsos de encoder que ha contabilizado hasta la primera señal Z.

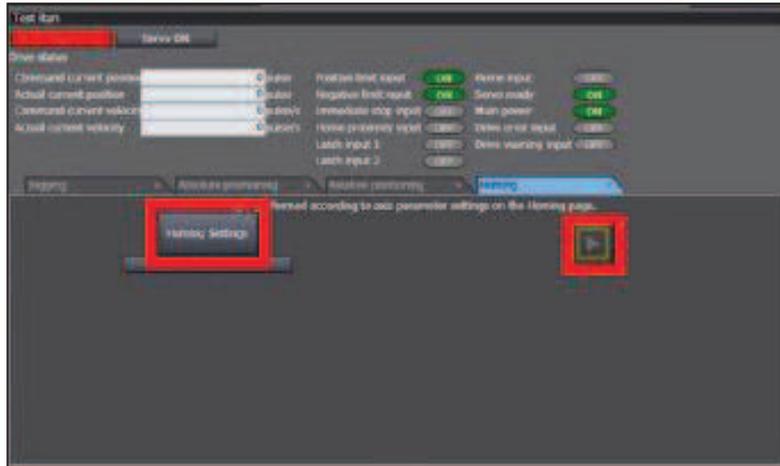


FIG.4.15. Pestaña de homing.

Cuando definimos los parámetros a través del botón de **Homing Settings**, estos se transfieren automáticamente a la tabla de datos referenciada al eje, ajustándolos como parámetros por defecto para el proyecto creado, accediendo a esta tabla desde la opción **Axis configuration**, del menú desplegable de **configuration and setup**, podemos editarlos y modificarlos.

## 4.6 Unidad de control manual

El control manual se ejecuta en el mismo lugar en que está colocada la maquina. Es el más sencillo y común, generalmente utilizado para la puesta en marcha y parada de maquinaria. Se caracteriza por el hecho de que el operador debe mover un interruptor o pulsador para efectuar un cambio en una variable del sistema, para generar o variar el funcionamiento del equipo

En nuestro banco de pruebas, el control manual se realizara a través de un pequeño panel de control compuesto por una caja de polipropileno (Material plástico resistente al calor y a los golpes aunque tiene poca densidad, suele emplearse en carcasas de baterías de automóviles, electrodomésticos, etc.), a la cual se le han realizado una serie de taladros para la inserción de distintos componentes:

- 2 interruptores de tipo switch, uno controla la alimentación de tensión de todo el panel, el otro interruptor actúa como selector de las dos posibles velocidades a las que trabaja el

## Capitulo 4. Sistema de control.

sistema en los movimientos de avance y retroceso, en concreto a 30mm/s y 300mm/s.

- 6 pulsadores para el control de las instrucciones manuales de avance y retroceso, la maniobra de homing, la parada del sistema, el movimiento a una posición absoluta predeterminada y para activar el movimiento determinado por la tabla CAM.
- Un selector de 3 posiciones, utilizado para elegir entre tres posibles posiciones absolutas que utilizaremos como cero operación
- 5 indicadores luminosos de tipo led, 4 color verde, 1 color rojo. El indicado de color rojo nos muestra que el panel está alimentado, los 4 restantes se utilizan como indicadores de avance, retroceso, movimiento automático y parada.

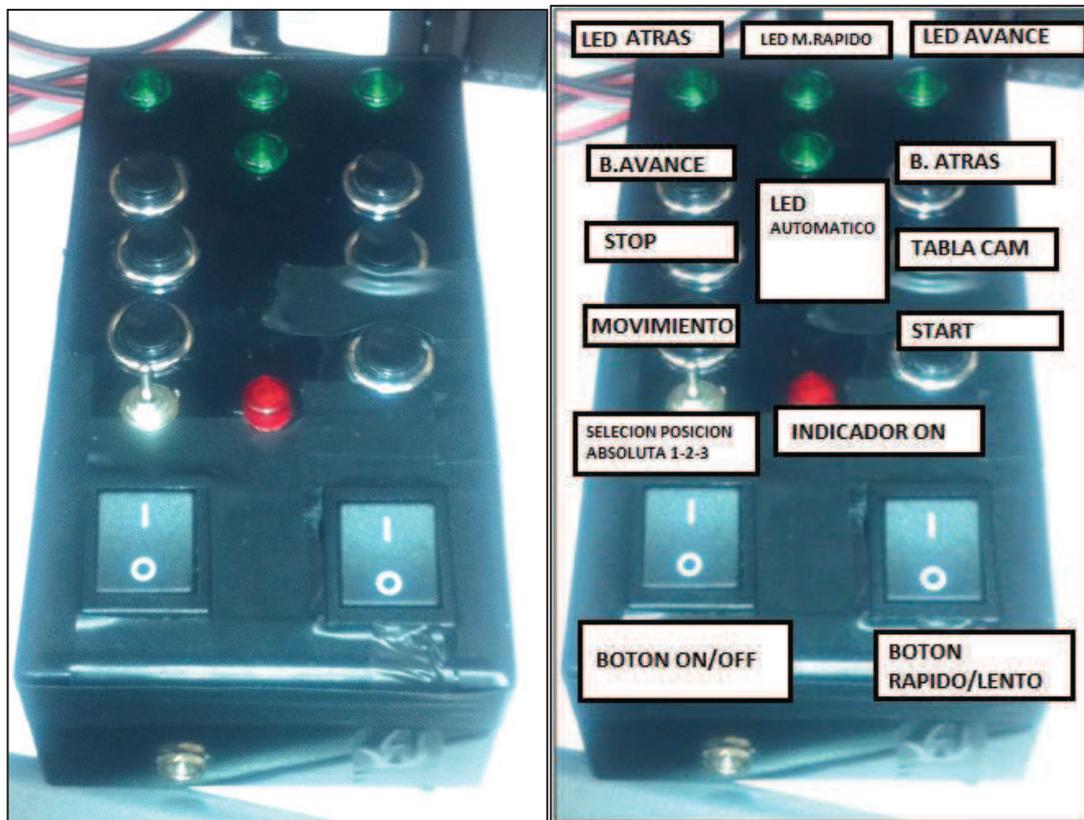


FIG.4.16. Panel de control manual y sus instrucciones asignadas.

## Capítulo 4. Sistema de control.

La tarjeta de entradas de PLC funciona bajo una tensión de 24V de corriente continua con un mínimo 0.07 mA por señal. Por ello hemos orientado el diseño del dispositivo para que funcione bajo estas condiciones, los pulsadores e interruptores empleados funcionan a una tensión de entre 12 y 220 Voltios en alterna o continua indistintamente y los indicadores bajo una tensión de 24 voltios en continua.

Por ello utilizamos una fuente de alimentación externa que transforma los 230 voltios en alterna de la red en 24 voltios de continua a 1 amperio. Para integrar la fuente de alimentación al panel de control, hemos añadido un conector de alimentación tipo hembra que ira montado sobre uno de los laterales del panel.

Los cables con los que se realizaran las conexiones serán cables tipo RV-K, cables sin armadura ni pantalla, con conductor de cobre flexible, de sección 1.5mm de tipo unipolar, reglados por la norma UNE 21123-2 para el transporte y distribución de energía eléctrica en instalaciones fijas protegidas o no. Adecuados para instalaciones exteriores e interiores, sobre soportes al aire, en tubos o enterrados.

En esta máquina introducimos un pulsador de parada en detrimento de un actuador de parada de emergencia que sería lo habitual en un panel de control en una maquina de fundición real como medida de seguridad para abortar la operación en cualquier situación que lo requiera. En las instalaciones de fundición a presión los problemas de seguridad que principalmente podemos encontrar son:

- El atrapamiento del operario en la zona de cierre del molde.
- Vertido incontrolado de metal fundido fuera de la maquina.

En nuestro banco de pruebas no vamos a tener estos problemas, ya que el sistema de cierre va a ser completamente manual y el vertido de agua en caso de accidente, no conlleva ningún peligro para el operario o para la integridad de la instalación, por tanto solo el pulsador de parada que aborte el movimiento en cualquier caso es suficiente.

## Capítulo 4. Sistema de control.

Aun así, la unidad de descarga contará con una cámara de metacrilato que envolverá la unidad de inyección, de esa manera si se produce algún vertido quedara recogido en el interior de la cámara sin proyectarse sobre el resto de la instalación.

Este se mando se situará cercano al banco de pruebas, para poder operar la maquina manteniendo el contacto visual de forma directa, en vez de encontrarse junto con el PLC y el computador de programación que se encontraran en el interior de armario de control.

### **4.6.1 Construcción del dispositivo de control manual**

Para comenzar sobre la caja de Polipropileno que utilizamos como panel, realizamos sobre la cara superior de la misma:

- 6 taladros de métrica 6mm para la realización de los orificios en los que se insertaran los pulsadores.
- 5 taladros de métrica 9mm para los orificios de los indicadores led.
- 2 taladros de para realizar los huecos rectangulares necesarios para la inserción de los dos interruptores de tipo switch con dimensiones de 19,6x13mm.
- 1 taladro de métrica 6mm para el orificio en el que se insertara la palanca del selector de posición.
- 1 taladro de métrica 8mm para el orificio donde se fijara la base de alimentación.

Sobre la cara lateral correspondiente al lado superior, realizamos un taladro de métrica 10, para utilizarlo como punto de salida de los cables de conexión del panel con la tarjeta de entradas digitales del PLC.



FIG.4.17. Realización de taladros sobre panel de control.

Una vez realizados todos los taladros introducimos todos los componentes en sus orificios correspondientes, todos cuentan con una rosca y una tuerca para ser sujetados y ajustados a la superficie del panel, a excepción de los interruptores que cuenta con un sistema de ajuste por presión. Cuando todos los componentes se encuentran en el interior del panel, giramos este retirando la tapa posterior para llevar a cabo las soldaduras de los distintos componentes y el cable de conexión.

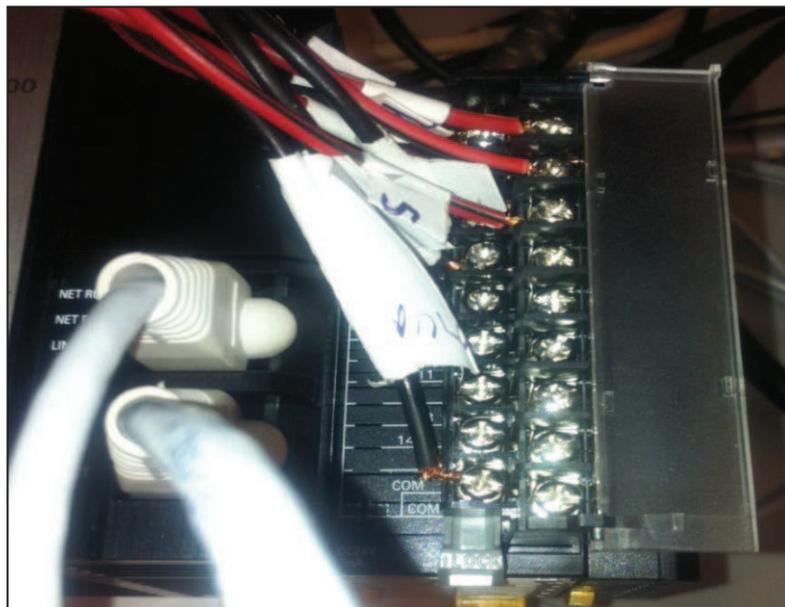


FIG.4.18. Detalle de tarjeta de entradas digitales.



FIG.4.19. Soldaduras y montajes en el interior del panel.

El cable ha sido numerado e identificado mediante el uso de tiras adhesivas, y siguiendo el plano de la FIG.4.20, comenzamos el proceso de soldadura con estaño, el sistema más utilizado para garantizar la circulación de corriente entre los diferentes componentes de un circuito, consiguiendo uniones fiables y definitivas, soportando golpes y vibraciones.

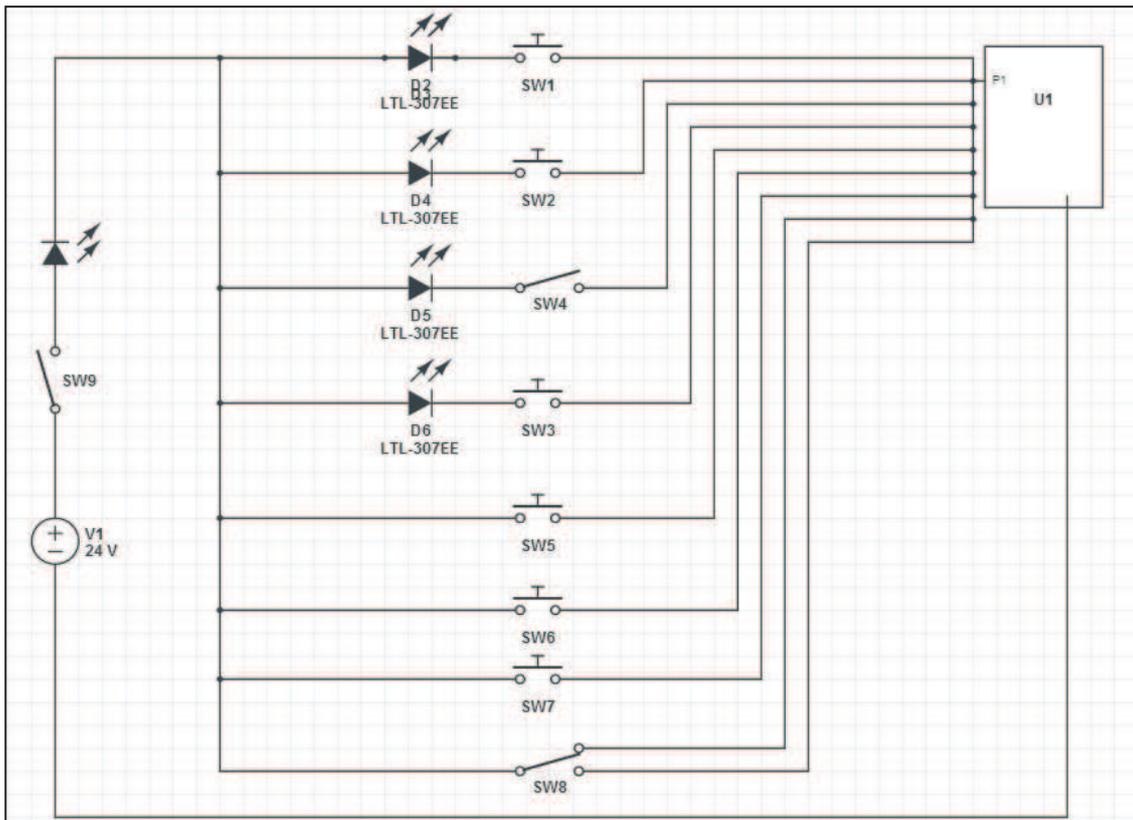


FIG.4.20. Plano de conexiones del panel de control.

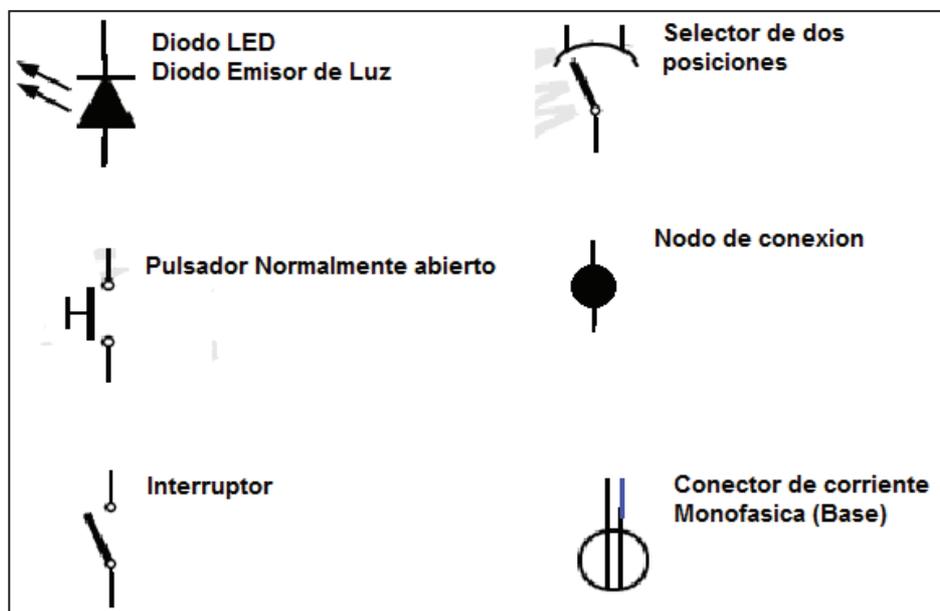


FIG.4.21. Simbología electrónica.

Es importante comprobar que se todas las conexiones se han realizado de forma correcta, ya que en caso de producirse un cortocircuito, la fuente de alimentación se desconecta por mediación de un pequeño interruptor magneto

#### Capítulo 4. Sistema de control.

térmico integrado, pero aun así, ponemos en riesgo la integridad de los componentes que conforman el sistema, muy especialmente la tarjeta de entradas digitales del PLC.



FIG. 4.22. Conjunto del sistema de control al completo.



# **ANEXO A**

---

Hojas de configuración

## EtherCAT

### Maestro

Conectarse desde	---
Modelo	Maestro
Nombre del producto	Maestro
Número de esclavos	1
Tiempo del ciclo de comunicaciones de PDO	1000us
Longitud total del cable	1000m
Configuración de funcionamiento con fallo leve	Funcionamiento con fallo leve
Tiempo de espera para el inicio del esclavo	30s
Recuento de detección del tiempo de espera de las comunicaciones de PDO	2veces
Método de comprobación de la revisión	Configuración <= Dispositivo real
Método de comprobación del número de serie	Sin comprobar

### E001

Conectarse desde	Maestro (puerto PortB)
Modelo	R88D-KN20F-ECT
Nombre del producto	R88D-KN20F-ECT G5 Series ServoDrive/Motor
Revisión	2.1
Dirección de nodo	1
Configuración de activación/desactivación	Activado
Número de serie	0x00000000
Configuración de asignación de PDO	0x6040:00 261th receive PDO Mapping/ Controlword 0x607A:00 261th receive PDO Mapping/Target position 0x60FF:00 261th receive PDO Mapping/Target velocity 0x6071:00 261th receive PDO Mapping/Target torque 0x6060:00 261th receive PDO Mapping/Modes of operation 0x60B8:00 261th receive PDO Mapping/Touch probe function 0x607F:00 261th receive PDO Mapping/Max profile velocity 0x60E0:00 261th receive PDO Mapping/Positive torque limit value 0x60E1:00 261th receive PDO Mapping/Negative torque limit value 0x603F:00 259th transmit PDO Mapping/Error code 0x6041:00 259th transmit PDO Mapping/ Statusword 0x6064:00 259th transmit PDO Mapping/Position actual value 0x6077:00 259th transmit PDO Mapping/Torque actual value 0x6061:00 259th transmit PDO Mapping/Modes of operation display

	0x60B9:00 259th transmit PDO Mapping/Touch probe status
	0x60BA:00 259th transmit PDO Mapping/Touch probe pos1 pos value
	0x60BC:00 259th transmit PDO Mapping/Touch probe pos2 pos value
	0x60FD:00 259th transmit PDO Mapping/Digital inputs
	0x2002:01 512th transmit PDO Mapping/Sysmac Error Status
Activar Reloj Distribuido	Habilitado (DC Sync0)
Reloj de referencia	Existe
Parámetros de configuración	0x10F3:05 Diagnosis History/Flags 0 0x60FE:02 Digital outputs/Bit mask 0
Configuración de parámetros de copia de seguridad (Configuración de parámetros del controlador)	Pn000 Cambio de dirección de rotación 1 Pn001 Selección de modo de control 0 Pn002 Selección del modo de ajuste automático en tiempo real 3 Pn003 Configuración de la rigidez de máquina en el ajuste automático en tiempo real 16 Pn004 Índice de inercia 250 Pn015 Interruptor de operación cuando se usa encoder absoluto 2 Pn016 Selección de la resistencia de regeneración 0 Pn017 Configuración de resistencia de regeneración externa 0 Pn100 Ganancia de lazo de posición 1 90 Pn101 Ganancia de lazo de velocidad 1 50 Pn102 Constante de tiempo de integración del lazo de velocidad 1 12 Pn103 Constante de tiempo de filtro de retroalimentación de velocidad 1 0 Pn104 Constante de tiempo de filtro de comando de par 1 0.45 Pn105 Ganancia de lazo de posición 2 105 Pn106 Ganancia de lazo de velocidad 2 50 Pn107 Constante de tiempo de integración del lazo de velocidad 2 1000 Pn108 Constante de tiempo de filtro de retroalimentación de velocidad 2 0 Pn109 Constante de tiempo de filtro de comando de par 2 0.45 Pn110 Ganancia de realimentación positiva de velocidad 30 Pn111 Filtro de comando de realimentación positiva de velocidad 0.5 Pn112 Ganancia de realimentación positiva de par 0 Pn113 Filtro de comando de realimentación positiva de par 0 Pn114 Selección de modo de FUNCIONAMIENTO DE ENTRADA DE CONMUTACIÓN DE GANANCIA 1 Pn115 Modo de CONMUTACIÓN en el control de posición 10

Pn116 Tiempo de retardo de conmutación de ganancia en el modo de control de posición 5  
Pn117 Nivel de conmutación de ganancia en el modo de control de posición 50  
Pn118 Histéresis de conmutación de ganancia en el modo de control de posición 33  
Pn119 Tiempo de conmutación de ganancia de posición 3.3  
Pn120 Modo de CONMUTACIÓN en el control de velocidad 0  
Pn121 Tiempo de retardo de conmutación de ganancia en el modo de control de velocidad 0  
Pn122 Nivel de conmutación de ganancia en el modo de control de velocidad 0  
Pn123 Histéresis de conmutación de ganancia en el modo de control de velocidad 0  
Pn124 Modo de CONMUTACIÓN en el control de par 0  
Pn125 Tiempo de retardo de conmutación de ganancia en el modo de control de par 0  
Pn126 Nivel de conmutación de ganancia en el modo de control de par 0  
Pn127 Histéresis de conmutación de ganancia en el modo de control de par 0  
Pn200 Selección de filtro de adaptación 0  
Pn201 Configuración de frecuencia de rechazo 1 5000  
Pn202 Configuración de anchura de rechazo 1 2  
Pn203 Configuración de profundidad de rechazo 1 0  
Pn204 Configuración de frecuencia de rechazo 2 5000  
Pn205 Configuración de anchura de rechazo 2 2  
Pn206 Configuración de profundidad de rechazo 2 0  
Pn207 Configuración de frecuencia de rechazo 3 5000  
Pn208 Configuración de anchura de rechazo 3 2  
Pn209 Configuración de profundidad de rechazo 3 0  
Pn210 Configuración de frecuencia de rechazo 4 5000  
Pn211 Configuración de anchura de rechazo 4 2  
Pn212 Configuración de profundidad de rechazo 4 0  
Pn213 Selección de filtro de amortiguación 0  
Pn214 Frecuencia de amortiguación 0  
Pn215 Configuración del filtro de amortiguación 1 0  
Pn216 Frecuencia de amortiguación 2 0  
Pn217 Configuración del filtro de amortiguación 2 0  
Pn218 Frecuencia de amortiguación 3 0  
Pn219 Configuración del filtro de amortiguación 3 0  
Pn220 Frecuencia de amortiguación 4 0

Pn221 Configuración del filtro de amortiguación 4  
0

Pn222 Constante de tiempo del filtro de comando  
de posición 0

Pn312 Tiempo de aceleración de arranque suave  
0

Pn313 Tiempo de deceleración de arranque suave  
0

Pn314 Configuración de tiempo de aceleración/  
deceleración de curva S 0

Pn317 Selección de límite de velocidad 1

Pn321 Configuración de valor de límite de  
velocidad 20000

Pn323 Selección de tipo de impulso de  
retroalimentación externa 0

Pn324 Selección de numerador de división de  
impulso de retroalimentación externa 0

Pn325 Denominador de división de impulso de  
retroalimentación externa 10000

Pn326 Cambio de dirección de impulsos de  
retroalimentación externa 0

Pn327 Configuración de fase Z de impulsos de  
retroalimentación externa 0

Pn328 Híbrido tras nivel de desbordamiento de  
contador de errores 16000

Pn329 Híbrido tras restablecimiento de contador  
de errores 0

Pn400.0 Selección de señal de entrada 1: control  
de posición/control de cierre completo 0

Pn400.1 Selección de señal de entrada 1: control  
de velocidad 0

Pn400.2 Selección de señal de entrada 1: control  
de par 0

Pn401.0 Selección de señal de entrada 2: control  
de posición/control de cierre completo 0

Pn401.1 Selección de señal de entrada 2: control  
de velocidad 0

Pn401.2 Selección de señal de entrada 2: control  
de par 0

Pn402.0 Selección de señal de entrada 3: control  
de posición/control de cierre completo 0

Pn402.1 Selección de señal de entrada 3: control  
de velocidad 0

Pn402.2 Selección de señal de entrada 3: control  
de par 0

Pn403.0 Selección de señal de entrada 4: control  
de posición/control de cierre completo 34

Pn403.1 Selección de señal de entrada 4: control  
de velocidad 34

Pn403.2 Selección de señal de entrada 4: control  
de par 34

Pn404.0 Selección de señal de entrada 5: control  
de posición/control de cierre completo 43

Pn404.1 Selección de señal de entrada 5: control  
de velocidad 43

Pn404.2 Selección de señal de entrada 5: control

de par 43

Pn405.0 Selección de señal de entrada 6: control de posición/control de cierre completo 33

Pn405.1 Selección de señal de entrada 6: control de velocidad 33

Pn405.2 Selección de señal de entrada 6: control de par 33

Pn406.0 Selección de señal de entrada 7: control de posición/control de cierre completo 32

Pn406.1 Selección de señal de entrada 7: control de velocidad 32

Pn406.2 Selección de señal de entrada 7: control de par 32

Pn407.0 Selección de señal de entrada 8: control de posición/control de cierre completo 46

Pn407.1 Selección de señal de entrada 8: control de velocidad 46

Pn407.2 Selección de señal de entrada 8: control de par 46

Pn410.0 Selección de señal de salida 1: control de posición/control de cierre completo 3

Pn410.1 Selección de señal de salida 1: control de velocidad 3

Pn410.2 Selección de señal de salida 1: control de par 3

Pn411.0 Selección de señal de salida 2: control de posición/control de cierre completo 2

Pn411.1 Selección de señal de salida 2: control de velocidad 2

Pn411.2 Selección de señal de salida 2: control de par 2

Pn416 Selección de monitor analógico 1 0

Pn417 Configuración de escala de monitor analógico 1 0

Pn418 Selección de monitor analógico 2 4

Pn419 Configuración de escala de monitor analógico 2 0

Pn421 Configuración de salida de monitor analógico 0

Pn432 Selección de condiciones de finalización de posicionado 0

Pn433 Tiempo de retención de finalización de posicionamiento 0

Pn434 Detección de velocidad cero 50

Pn435 Ancho de detección de conformidad de velocidad 50

Pn436 Velocidad de movimiento para la detección del movimiento del motor 1000

Pn437 Temporización de freno durante la parada 0

Pn438 Temporización de freno durante el funcionamiento 0

Pn439 Velocidad de umbral de freno durante el funcionamiento 30

Pn440 Selección de salida de alerta 1 0

Pn441 Selección de salida de alerta 2 0

Pn442 Rango 2 de finalización de posicionado 10

Pn504 Selección de entrada prohibida del controlador 1  
Pn505 Selección de parada de entrada prohibida del controlador 0  
Pn508 Selección de errores de tensión baja 1  
Pn509 Tiempo de retención instantánea 70  
Pn511 Configuración de par de parada inmediata 0  
Pn512 Configuración del nivel de detección de sobrecarga 0  
Pn513 Configuración del nivel de detección de exceso de velocidad 0  
Pn514 Configuración de límite de desbordamiento 1  
Pn515 Configuración de lectura de señal de entrada de control 0  
Pn520 Selección de unidad de configuración de posición 0  
Pn521 Selección de límite de par 6  
Pn602 Configuración de error de velocidad excesiva 20000  
Pn605 Tiempo real de ganancia 3 0  
Pn606 Configuración de relación de ganancia 3 100  
Pn607 Desplazamiento de valor de comando de par 0  
Pn608 Desplazamiento de par de dirección directa 0  
Pn609 Desplazamiento de par de dirección inversa 0  
Pn610.0 Habilidad de observador de velocidad 0  
Pn610.1 Habilidad de observador de perturbación 0  
Pn610.2 Configuración de observador de perturbación 0  
Pn610.4 Ajuste de respuesta de lazo de corriente 0  
Pn610.6 Compensación de comandos en el error de comunicaciones del modo CSP 1  
Pn611 Configuración de respuesta de corriente eléctrica 100  
Pn614 Configuración de tiempo permisible de detección de errores 200  
Pn615 Configuración del nivel de detección de exceso de velocidad en parada inmediata 0  
Pn618 Tiempo de inicialización de alimentación ON 0  
Pn623 Ganancia de compensación de par de perturbación 0  
Pn624 Configuración de filtro de observador de perturbación 0.53  
Pn631 Selección de velocidad estimada de ajuste automático en tiempo real 1  
Pn632.0-1 Estimación de inercia de carga 0  
Pn632.2-3 Actualización de inercia de carga estimada 0  
Pn632.4-6 Interruptor de habilitación de

compensación de par 0  
Pn632.7 Habilitación de configuración de rigidez 0  
Pn632.8 Bloque de filtro de ganancias de realimentación directa y detección de velocidad 0  
Pn632.9-10 Bloque de parámetros de conmutación de ganancia 0  
Pn634 Ganancia de supresión de vibración híbrida 0  
Pn635 Filtro de supresión de vibración híbrida 0.1  
Pn637 Umbral de detección de vibraciones 0  
Pn638 Configuración de máscara de alerta 4  
Pn700 Selección de display LED 0  
Pn701 Configuración de duración de visualización de la dirección al encender 0  
Pn703 Configuración de salida de indicación de límite de par 1  
Pn704 Selección de compensación de holgura 0  
Pn705 Compens. vibrac. mecán. 0  
Pn706 Constante de tiempo de compensación de holgura 0  
Pn730 Límite de par externo directo 300  
Pn731 Límite de par externo inverso 300  
Pn735 Código de opción de apagado -1  
Pn736 Inhabilitar código de opción de funcionamiento -1  
Pn737 Código de opción de detención 1  
Pn738 Código de opción de reacción de fallo -1  
Pn739 Ventana del error siguiente 100000  
Pn740 Ventana de posición 10  
Pn742 Desplazamiento de inicio 0  
Pn743 Límite de posición mín. -500000  
Pn744 Límite de posición máx. 500000  
Pn745 Aceleración de perfil 1000000  
Pn746 Deceleración de perfil 1000000  
Pn748 Revoluciones del motor 1  
Pn749 Revoluciones del eje 1  
Pn750 Método de desplazamiento a posición inicial 0  
Pn751 Velocidad durante búsqueda de interruptor 5000  
Pn752 Velocidad durante búsqueda de cero 5000  
Pn753 Límite de par nº 1 300  
Pn754 Límite de par nº 2 300  
Pn758.0 Selección de trigger de enclavamiento 1  
0  
Pn758.1 Selección de trigger de enclavamiento 2  
1  
Pn759 Selección de mantenimiento de alerta 0  
Pn776 Recuentos de errores de comunicaciones en una misma transmisión 1  
Pn777 Configuración de tiempo de espera de sincronización no recibida 0  
Pn781 Configuración de detección de advertencia de configuración de datos 1  
Pn800.0 Máscara de comprobación de comunicaciones - 1 0

Pn800.1 Máscara de comprobación de alerta 0  
Pn800.3 Máscara de comprobación de  
comunicaciones - 2 4  
Pn801 Límite de software 3  
Pn803 Rango de origen 10  
Pn818 Constante de tiempo del filtro de comando  
de posición FIR 0

---

## Parámetros del eje

Nombre de eje	Piston (0)
<b>Configuración básica del eje</b>	
Uso de eje	Eje utilizado
Tipo de eje	Servoeje
Control de realimentación	Sin lazo de control
Dispositivo de entrada 1	<No asignado>
Canal	
Dispositivo de entrada 2	<No asignado>
Canal	
Dispositivo de entrada 3	<No asignado>
Canal	
Dispositivo de salida 1	Nodo: 1 R88D-KN20F-ECT(E001)
Canal	1
Dispositivo de salida 2	<No asignado>
Canal	
Dispositivo de salida 3	<No asignado>
Canal	
<b>Configuración de Conversión de Unidades</b>	
Unidad de visualización	mm
Contador de impulsos de comando por rotación del motor	1048576 pulso/rev
Distancia de recorrido de trabajo por rotación del motor	25 mm/rev
<b>Configuración de Operación</b>	
Velocidad máxima	3000 mm/s
Valor de advertencia de velocidad	0 %
Inicio de velocidad	0 mm/s
Velocidad máxima de jog	100 mm/s
Aceleración máxima	0 mm/s <sup>2</sup>
Valor de advertencia de aceleración	0 %
Deceleración máxima	0 mm/s <sup>2</sup>
Valor de advertencia de deceleración	0 %
Exceso de aceleración/deceleración	Usar la deceleración/aceleración rápida (Blending es cambiado a Buffered)
Selección de operación para Inversión	Parada de deceleración
Valor de advertencia de par positivo	0 %
Valor de advertencia de par negativo	0 %
Rango de posiciones	10 mm
Tiempo de comprobación de posiciones	0 ms
Constante de tiempo de filtro de velocidad real	0 ms
Rango de posiciones cero	10 mm
<b>Configuración de Otras Operaciones</b>	
Método de parada de entrada de parada inmediata	Parada inmediata

Límite del método de parada de entrada	Parada inmediata
Tiempo de monitorización de reset de error de la unidad	200 ms
Límite de par positivo máximo	300.0 %
Límite de par negativo máximo	300.0 %
Inversión de lógica de entrada de parada inmediata	No invertir
Inversión de lógica de entrada de límite positivo	No invertir
Inversión de lógica de entrada de límite negativo	No invertir
Inversión de lógica de entrada de proximidad de inicio	No invertir
<b>Configuración de límites</b>	
Límites de software	Desactivado
Límite de software positivo	2147483647 mm
Límite de software negativo	-2147483648 mm
Valor en exceso de desviación de posición	0 mm
Valor de advertencia de desviación de posición	0 mm
<b>Configuración de Homing</b>	
Método de homing	Preconfiguración de posición cero
Señal de entrada de inicio	Usar entrada de fase Z como origen
Dirección de inicio de homing	Dirección positiva
Selección de operación para entrada de límite positivo	Giro inverso/Parada inmediata
Dirección de detección de entrada de inicio	Dirección positiva
Selección de operación para entrada de límite negativo	Giro inverso/Parada inmediata
Velocidad de homing	10000 mm/s
Velocidad de aproximación de homing	1000 mm/s
Aceleración de homing	0 mm/s <sup>2</sup>
Deceleración de desplazamiento a posición inicial	0 mm/s <sup>2</sup>
Homing Jerk	0 mm/s <sup>3</sup>
Distancia de máscara de entrada de inicio	10000 mm
Offset de inicio	0 mm
Tiempo de retardo a la desconexión de homing	100 ms
Valor de compensación de homing	0 mm
Velocidad de compensación de homing	1000 mm/s
<b>Configuración de contador de posición</b>	
Modo Contador	Modo Lineal
Valor de configuración de posición máxima del módulo	2147483647 mm
Valor de configuración de posición mínima del módulo	-2147483648 mm
Tipo de encoder	Encoder incremental

Puerto	Descripción	R/W	Tipo de datos	Variable	Comentario de Variable	Tipo de Variable
<b>Configuración de red EtherCAT</b>						
<b>EtherCAT Master Maestro</b>						
<b>Nodo1 R88D-KN2oF-ECT</b>						
Controlword	Controlword	W	WORD			
Target position	Target position	W	DINT			
Target velocity	Command speed for the csv mode	W	DINT			
Target torque	Target torque	W	INT			
Modes of operation	Modes of operation	W	SINT			
Touch probe function	Touch probe function	W	WORD			
Max profile velocity	Max profile velocity	W	UDINT			
Positive torque limit value	Positive torque limit value	W	UINT			
Negative torque limit value	Negative torque limit value	W	UINT			
Error code	Error code	R	WORD			
Statusword	Statusword	R	WORD			
Position actual value	Position actual value	R	DINT			
Torque actual value	Torque actual value	R	INT			
Modes of operation display	Modes of operation display	R	SINT			
Touch probe status	Touch probe status	R	WORD			
Touch probe pos1 pos value	The latch for position Latch 1	R	DINT			
Touch probe pos2 pos value	The latch for position Latch 2	R	DINT			
Digital inputs	Digital inputs	R	DWORD			
Sysmac Error Status	Sysmac error status	R	BYTE			
Observation	Observation levels of information	R	BOOL			
Minor Fault	Minor Fault levels of information	R	BOOL			
<b>Bastidores de expansión de CPU</b>						
<b>Bastidor de CPU o Bastidor de CPU o</b>						
<b>[00] CJ1W-ID211 (DC Input Unit)</b>						
Ch1_In	Input CH1	R	WORD			

Ch1_In00	Input CH1 bit 00	R	BOOL	PulsadorAdelante		Variables globales
Ch1_In01	Input CH1 bit 01	R	BOOL	PulsadorAtras		Variables globales
Ch1_In02	Input CH1 bit 02	R	BOOL	VelocidadRapida		Variables globales
Ch1_In03	Input CH1 bit 03	R	BOOL	SISTEMAPREPARADO		Variables globales
Ch1_In04	Input CH1 bit 04	R	BOOL	BOTONMARCHA		Variables globales
Ch1_In05	Input CH1 bit 05	R	BOOL	BOTONCONTINUO		Variables globales
Ch1_In06	Input CH1 bit 06	R	BOOL	POS1		Variables globales
Ch1_In07	Input CH1 bit 07	R	BOOL	POS2		Variables globales
Ch1_In08	Input CH1 bit 08	R	BOOL	STOP		Variables globales
Ch1_In09	Input CH1 bit 09	R	BOOL			
Ch1_In10	Input CH1 bit 10	R	BOOL			
Ch1_In11	Input CH1 bit 11	R	BOOL			
Ch1_In12	Input CH1 bit 12	R	BOOL			
Ch1_In13	Input CH1 bit 13	R	BOOL			
Ch1_In14	Input CH1 bit 14	R	BOOL			
Ch1_In15	Input CH1 bit 15	R	BOOL			

## Configuración de puerto Ethernet/IP integrado

<b>Configuración de TCP/IP</b>	
Configuración de dirección IP	Configuración fija
Dirección IP	192.168.250.1
Máscara de subred	255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada	
DNS	No utilizar
Servidor DNS prioritario	
Servidor DNS secundario	
Nombre de dominio	
Nombre de host - Dirección IP	Sin configuración
Keep Alive	Utilizar
Tiempo de monitorización de Keep Alive	300 seg
Linger option	No especificar
Tabla IP de router	Sin configuración
<b>Configuración de LINK</b>	
Configuración de LINK	Auto
<b>Configuración de FTP</b>	
Servidor FTP	Utilizar
N.º de puerto	21
Nombre de inicio de sesión	omron
Contraseña	12345678
<b>Configuración de NTP</b>	
Información del reloj de servidor NTP	No obtener
N.º de puerto	123
Método de especificación de servidor	Dirección IP
Dirección IP	
Nombre de host	
Tiempo de operación de NTP	Especifique un tiempo.
Tiempo	00:00:00
Intervalo	60 min
Tiempo de espera	10 seg
<b>Configuración de SNMP</b>	
Servicio SNMP	No utilizar
N.º de puerto	161
Dirección	
Posición	
Enviar trampa de reconocimiento.	FALSO
Método de reconocimiento	Dirección IP
Dirección IP	0.0.0.0
Nombre de host	
Nombre de comunidad	public
Reconocimiento 2	No utilizar
Método de reconocimiento	Dirección IP

Dirección IP	0.0.0.0
Nombre de host	
Nombre de comunidad	public
<b>Configuración de trampas SNMP</b>	
Trampa SNMP	No utilizar
N.º de puerto	162
Método de especificación	Dirección IP
Dirección IP	
Nombre de host	
Nombre de comunidad	public
Versión	SNMPv2C
Trampa 2	No utilizar
Método de especificación	Dirección IP
Dirección IP	
Nombre de host	
Nombre de comunidad	public
Versión	SNMPv2C
<b>Configuración de FINS</b>	
Dirección de nodo de puerto Ethernet/IP integrado	1
Nº. de puerto UDP/FINS	9600
Método de conversión de dirección FINS-dirección IP	Generación automática
Tabla de direcciones IP	Sin configuración
Cambiar dinámicamente IP remota	Convertir
Nº. de puerto FINS/TCP	9600
Configuración de conexión FINS/TCP	
Servidor/Cliente1	Servidor
Dirección IP conectada1	0.0.0.0
Asignación automática1	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente1	239
Servidor/Cliente2	Servidor
Dirección IP conectada2	0.0.0.0
Asignación automática2	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente2	240
Servidor/Cliente3	Servidor
Dirección IP conectada3	0.0.0.0
Asignación automática3	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente3	241
Servidor/Cliente4	Servidor
Dirección IP conectada4	0.0.0.0
Asignación automática4	True
Dirección de nodo FINS asignada	242

automáticamente4	
Servidor/Cliente5	Servidor
Dirección IP conectada5	0.0.0.0
Asignación automática5	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente5	243
Servidor/Cliente6	Servidor
Dirección IP conectada6	0.0.0.0
Asignación automática6	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente6	244
Servidor/Cliente7	Servidor
Dirección IP conectada7	0.0.0.0
Asignación automática7	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente7	245
Servidor/Cliente8	Servidor
Dirección IP conectada8	0.0.0.0
Asignación automática8	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente8	246
Servidor/Cliente9	Servidor
Dirección IP conectada9	0.0.0.0
Asignación automática9	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente9	247
Servidor/Cliente10	Servidor
Dirección IP conectada10	0.0.0.0
Asignación automática10	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente10	248
Servidor/Cliente11	Servidor
Dirección IP conectada11	0.0.0.0
Asignación automática11	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente11	249
Servidor/Cliente12	Servidor
Dirección IP conectada12	0.0.0.0
Asignación automática12	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente12	250
Servidor/Cliente13	Servidor
Dirección IP conectada13	0.0.0.0
Asignación automática13	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente13	251

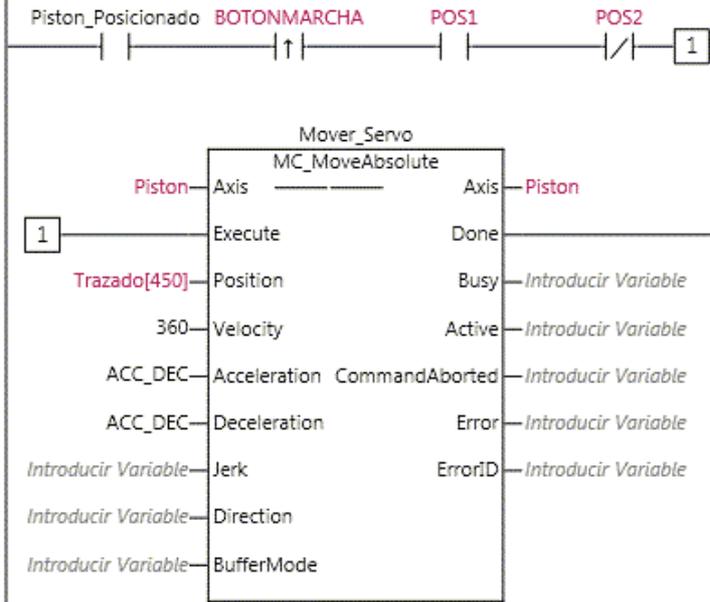
Servidor/Cliente14	Servidor
Dirección IP conectada14	0.0.0.0
Asignación automática14	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente14	252
Servidor/Cliente15	Servidor
Dirección IP conectada15	0.0.0.0
Asignación automática15	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente15	253
Servidor/Cliente16	Servidor
Dirección IP conectada16	0.0.0.0
Asignación automática16	True
Dirección de nodo FINS asignada automáticamente16	254
Proteger con dirección IP	FALSO

# **ANEXO B**

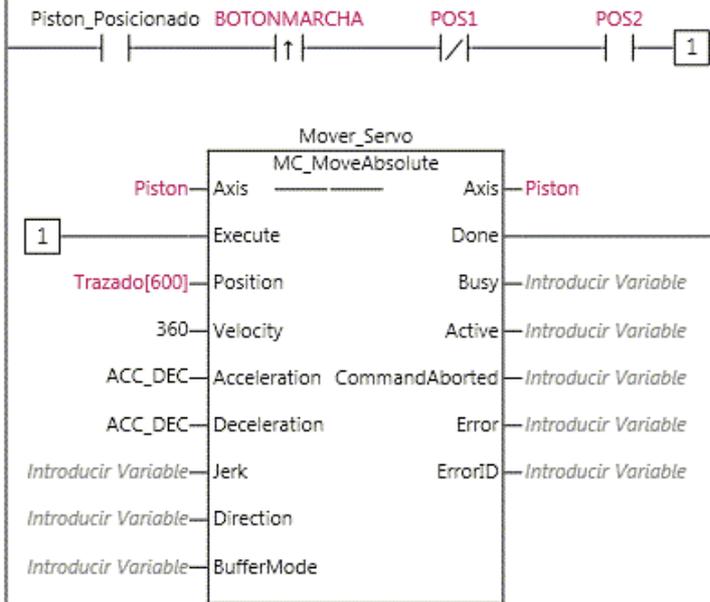
Programa de control

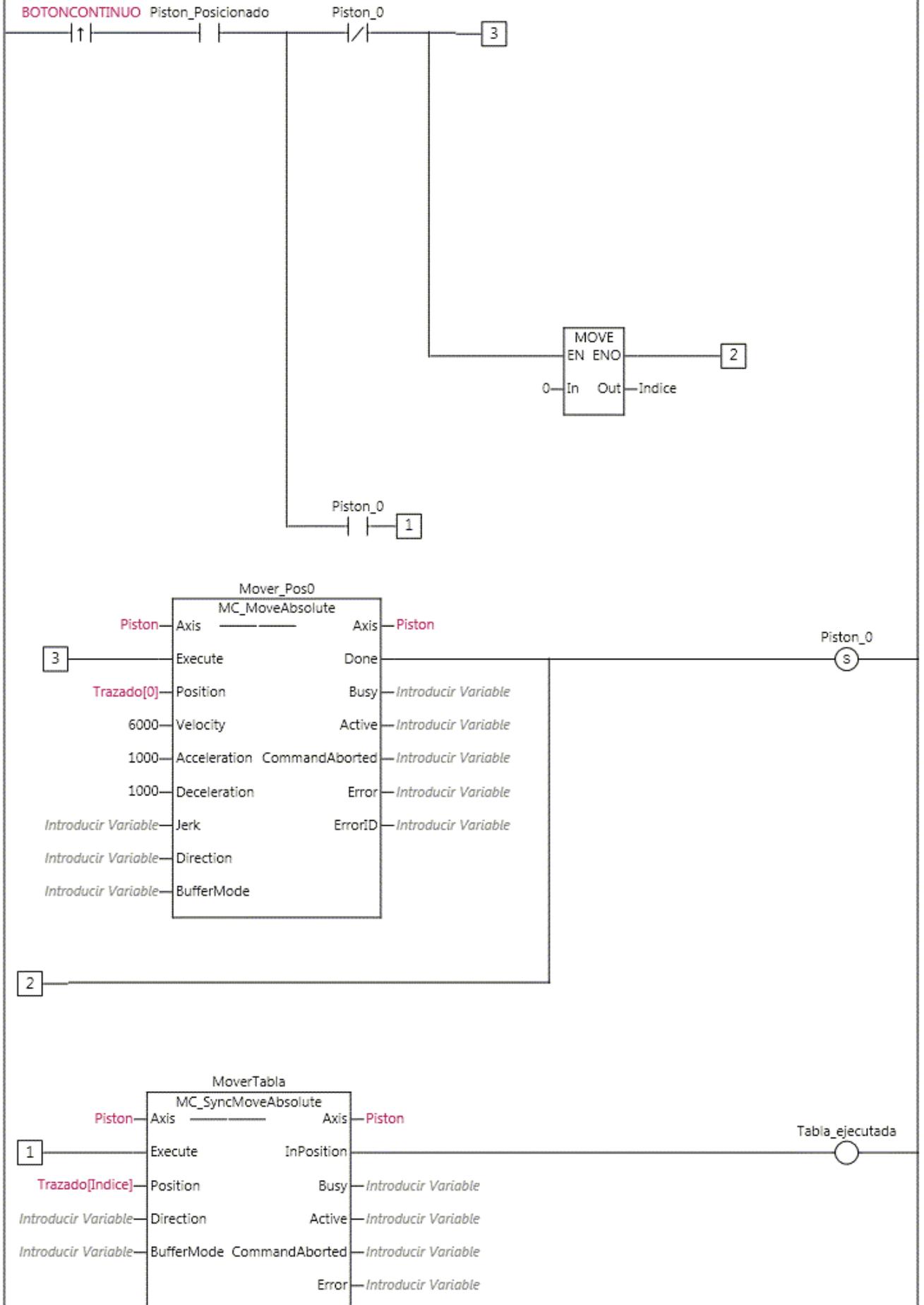


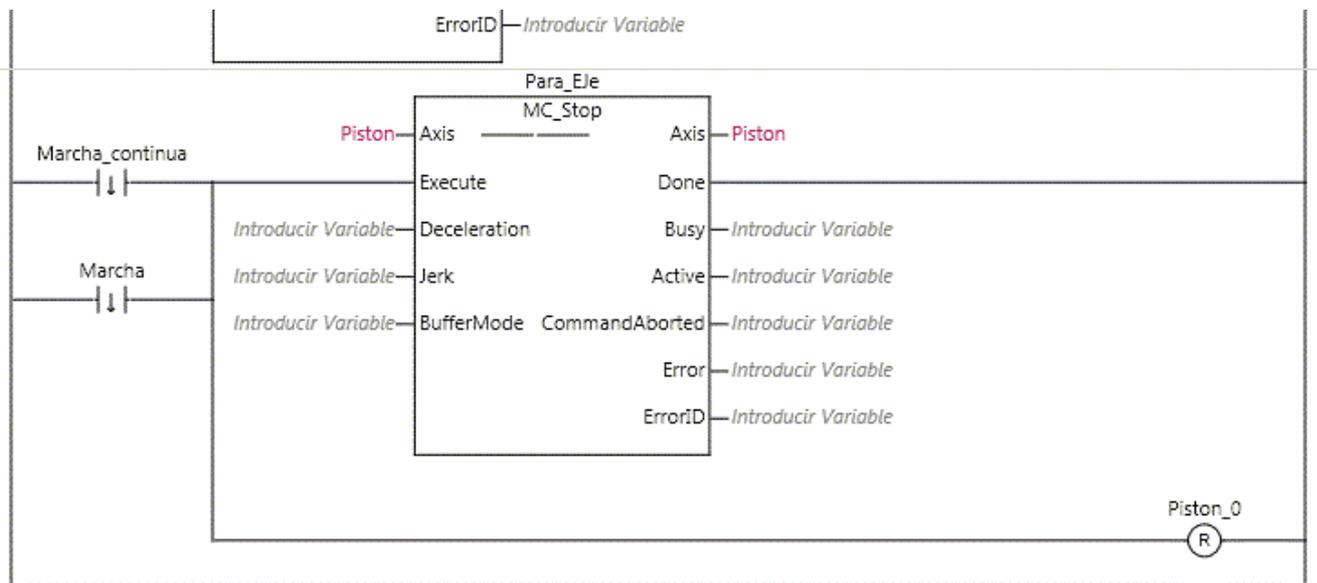
5

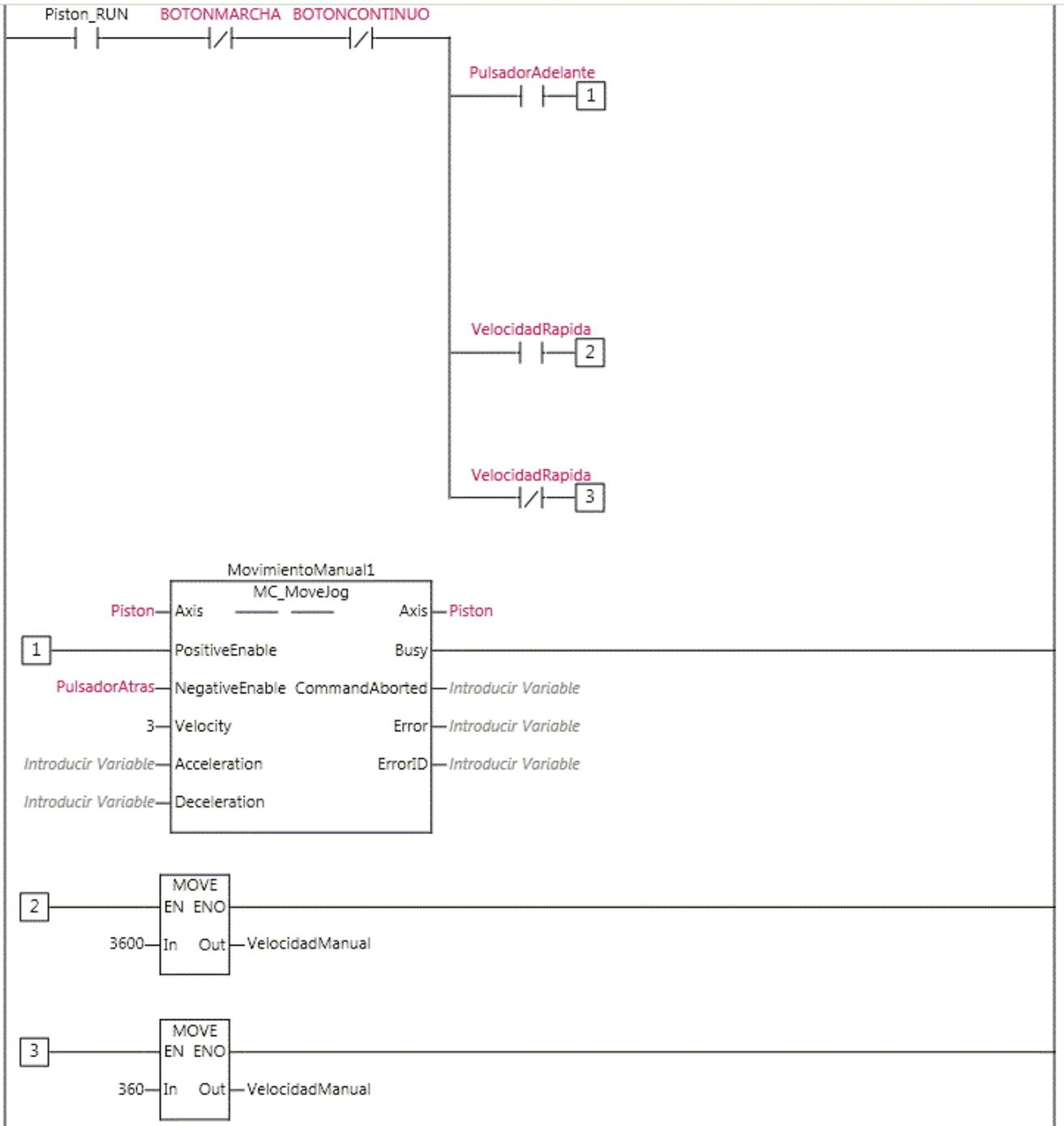


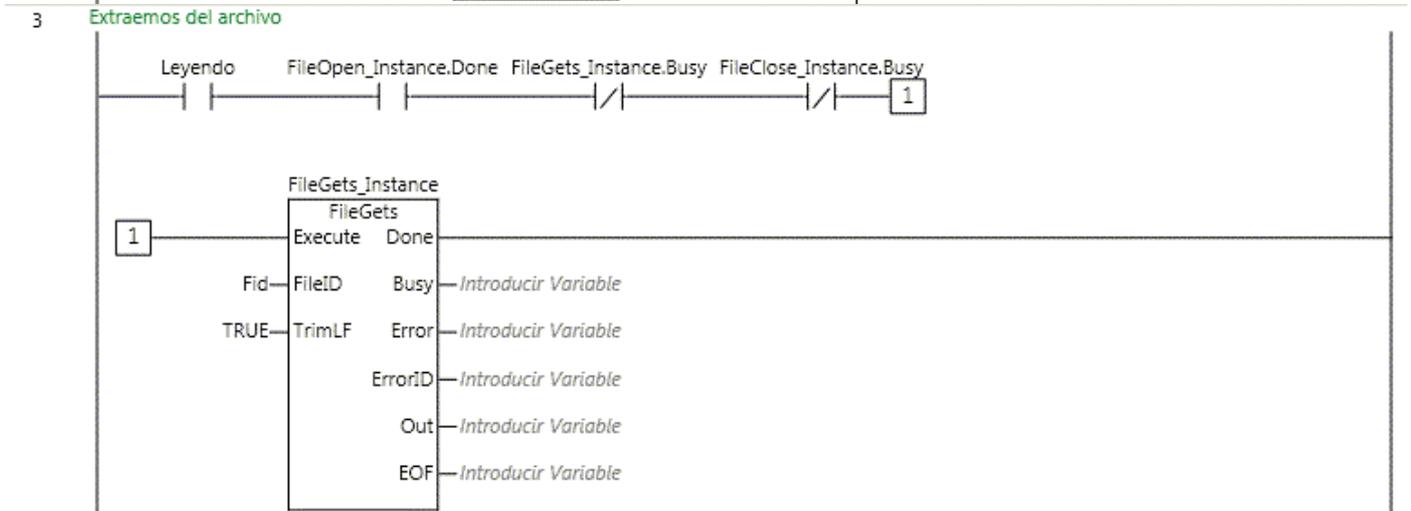
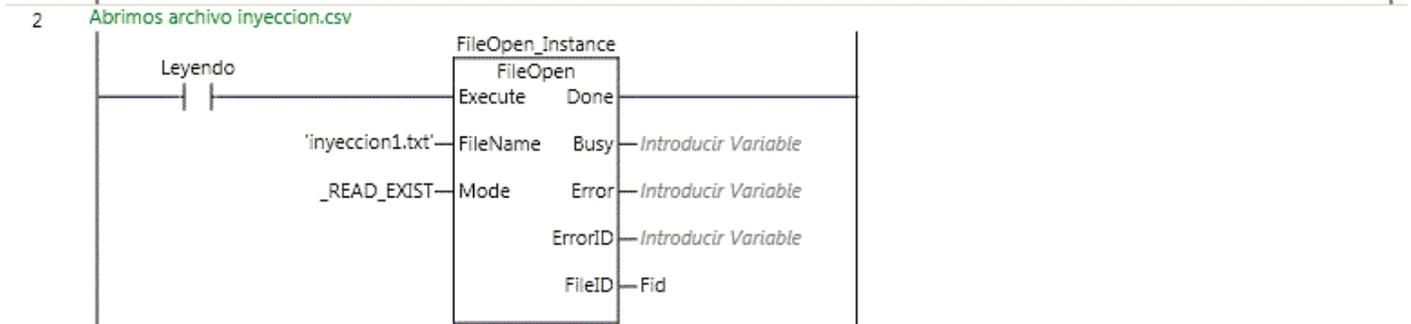
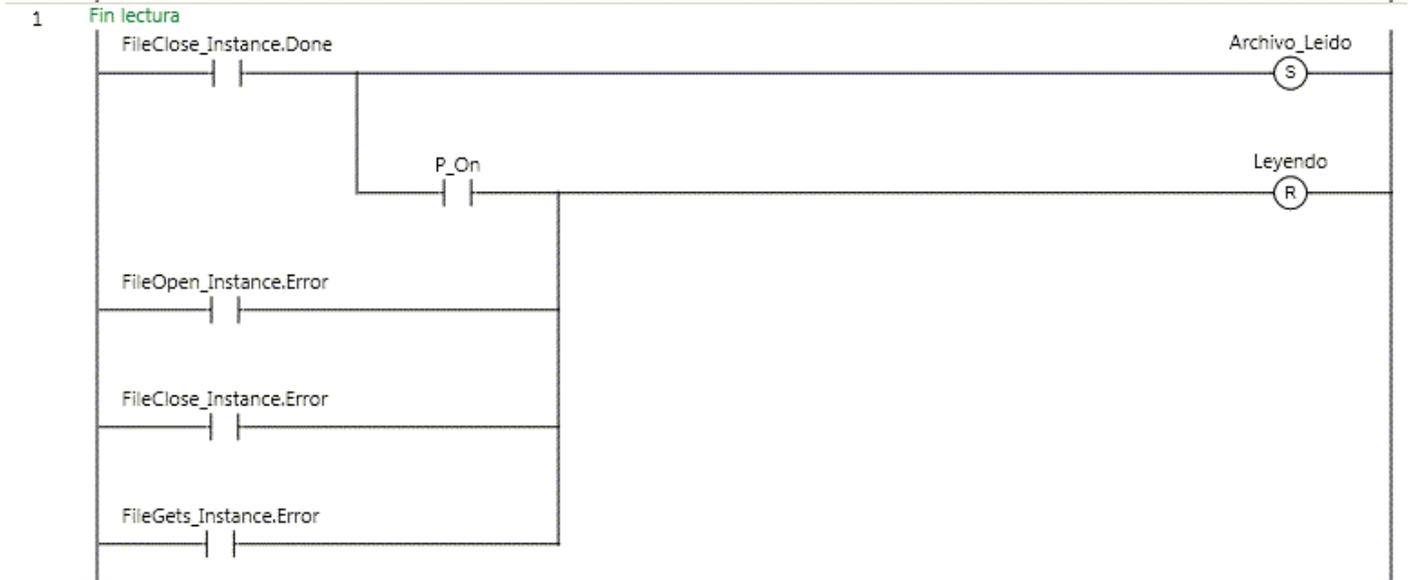
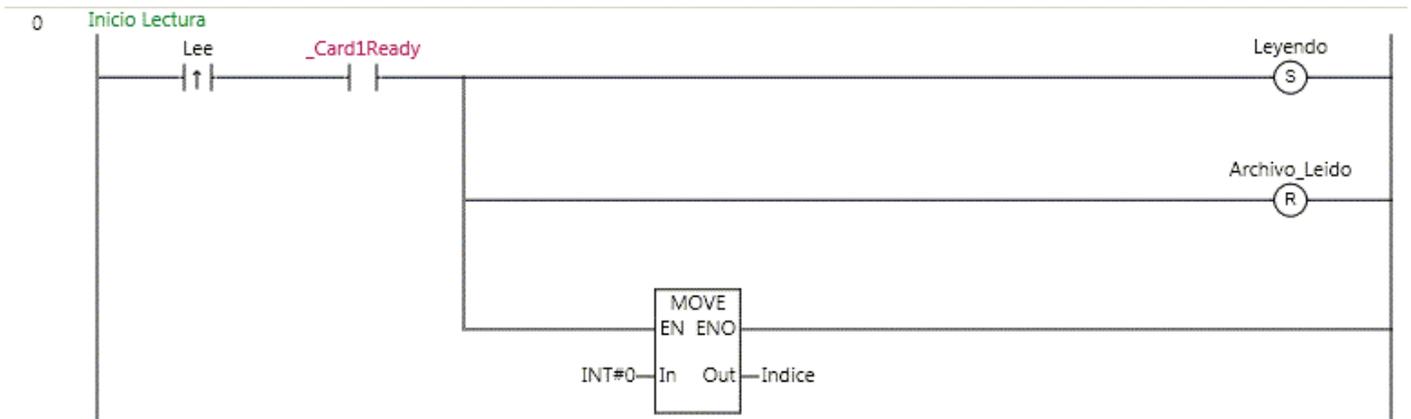
6



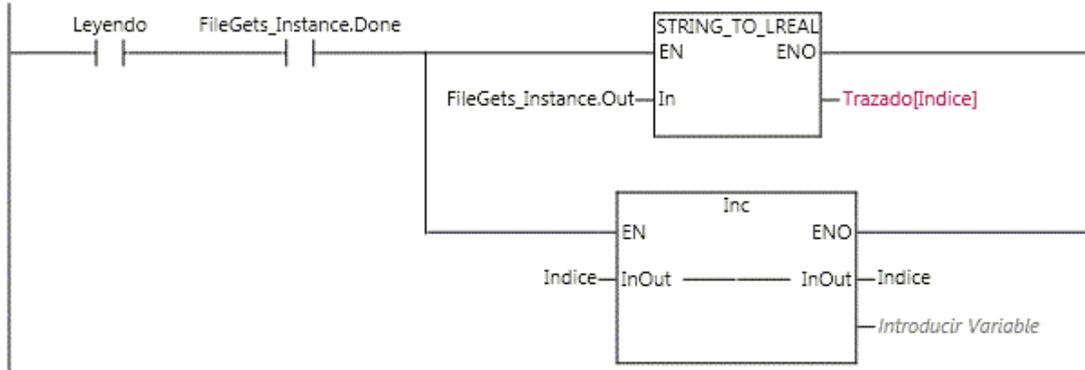




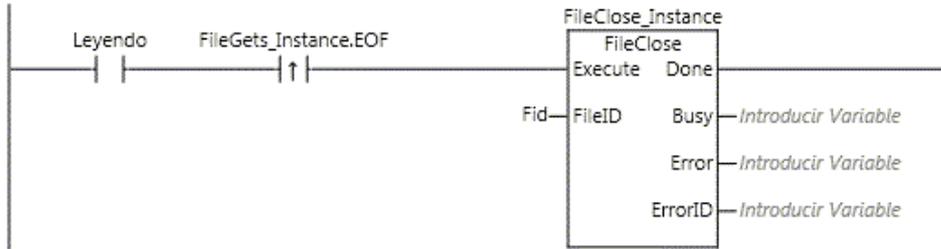




4 Pasamos dato leído (ASCII) al ARRAY y aumentamos puntero



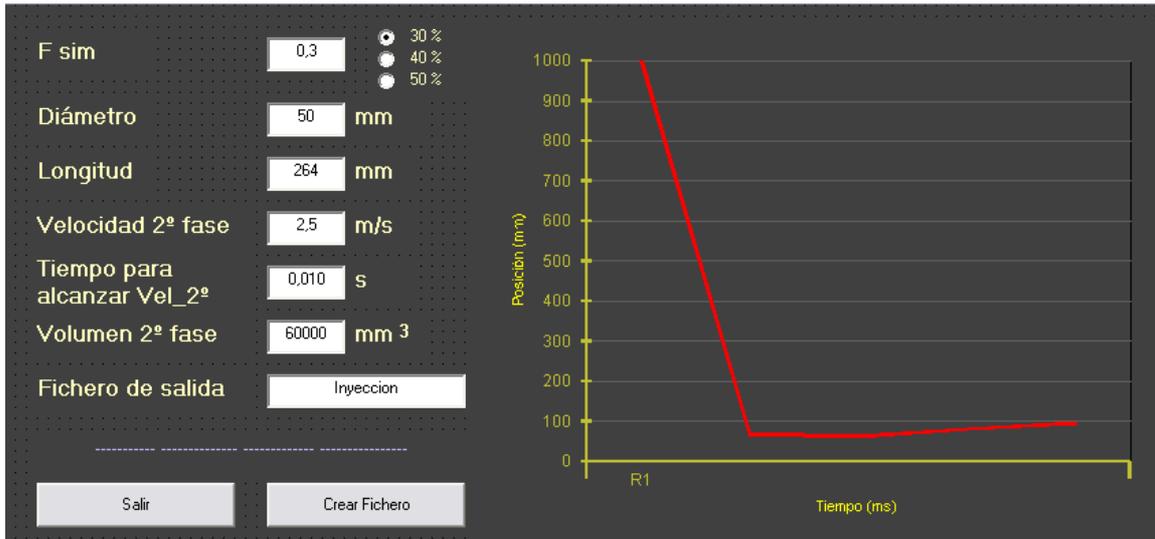
5 Si hemos terminado de leer cerramos archivo



# **ANEXO C**

---

Ley de movimiento. Aplicación sobre Visual Basic



Ejemplo de interfaz.

'f simetria (fsim) Usaremos 0.3 , 0.4 o 0.5  
'fraccion volumetrica (fvol)

```

fsim = Text1.Text
var = 1 - 2 * fsim
akos = Atn(-var / Sqr(-var * var + 1)) + 2 * Atn(1)
fvol = 1 / pi * (akos - 2 * (1 - 2 * fsim) * Sqr(1 - fsim) * Sqr(fsim))

```

' diametro y longitud de camara en mm

```

diametro_c = Text2.Text
radio_c = diametro_c / 2
long_c = Text3.Text

```

'Ho altura de líquido (altura\_l)

```

altura_l = diametro_c * fsim

```

' c0

```

c0 = Sqr((9810 * (pi / 4) * diametro_c ^ 2 * fvol) / (2 * Sqr((diametro_c * altura_l) - altura_l ^ 2)))

```

' Velocidad Critica (V\_CRITICA)

```

Select Case fsim
  Case 0.3
    v_critica = 624
  Case 0.4
    v_critica = 488
  Case 0.5
    v_critica = 376
End Select

```

' Velocidad 2º fase

```

v_2 = valor(Text5.Text)

```

' L efectiva (L)

l = long\_c

' Tiempo de v\_critica (t)

t = (l / c0) \* (1 - (1 / ((v\_critica / (2 \* c0)) + 1) ^ 3))

' Posicion para v critica (pos\_vcritica)

pos\_vcritica = (3 \* l \* (1 - (1 - (c0 / l) \* t) ^ (2 / 3)) - (2 \* c0 \* t))

' volumen camara (vol\_camara)

vol\_camara = long\_c \* (radio\_c ^ 2 \* pi)

' volumen galleta liquida (vol\_g\_liq)

vol\_g\_liq = vol\_camara \* fvol

' stop piston (stop\_piston\_1)

stop\_piston\_1 = long\_c - (vol\_g\_liq / (pi \* radio\_c ^ 2))

Dim i As Integer

Dim parada As Integer

' Calculamos en MAX el mayor componente que da velocidad positiva para que no degeneren los valores de velocidad

i = 1            'i =milisegundos

Do While (1 - (c0 / l) \* (i / 1000)) >= 0

    i = i + 1

Loop

Max = i - 1

ReDim recorrido(Max \* 2)            'añado más componentes para la segunda fase

' Finalmente calculamos el vector de posiciones => recorrido()

i = 1

Do While (3 \* l \* (1 - (1 - (c0 / l) \* (i / 1000)) ^ (2 / 3)) - (2 \* c0 \* (i / 1000))) < pos\_vcritica

    recorrido(i) = 3 \* l \* (1 - (1 - (c0 / l) \* (i / 1000)) ^ (2 / 3)) - (2 \* c0 \* (i / 1000))

    Print #1, Format(recorrido(i), "##,##0.000")

    i = i + 1

Loop

Do While recorrido(i - 1) < stop\_piston\_1

```
    recorrido(i) = recorrido(i - 1) + (v_critica / 1000) 'recorrido en 1 ms con velocidad = v_critica
    Print #1, Format(recorrido(i), "##,##0.000")
    i = i + 1
```

Loop

stop\_piston\_2 = stop\_piston\_1 + (valor(Text6.Text) / (pi \* radio\_c ^ 2)) 'añadimos el volumen del molde al recorrido

Do While recorrido(i - 1) < stop\_piston\_2

```
    recorrido(i) = recorrido(i - 1) + v_2
    Print #1, Format(recorrido(i), "##,##0.000")
    i = i + 1
```

Loop

ndatos = i - 1 'datos para el vector de recorrido

Close #1

# **ANEXO D**

---

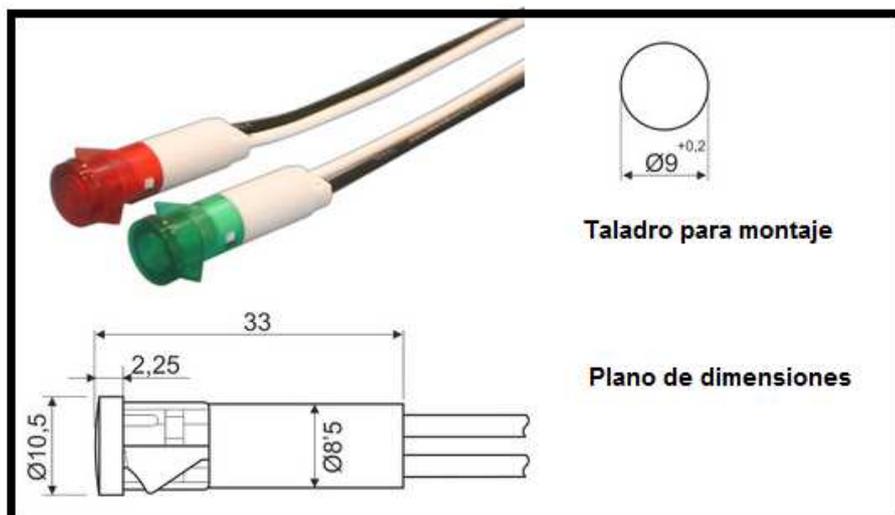
---

Relación de materiales del panel de control manual

## Piloto LED 24 VDC

Fabricante: Electro DH

Ref: 31.221



## FUENTE DE ALIMENTACION

Fabricante: Electro DH

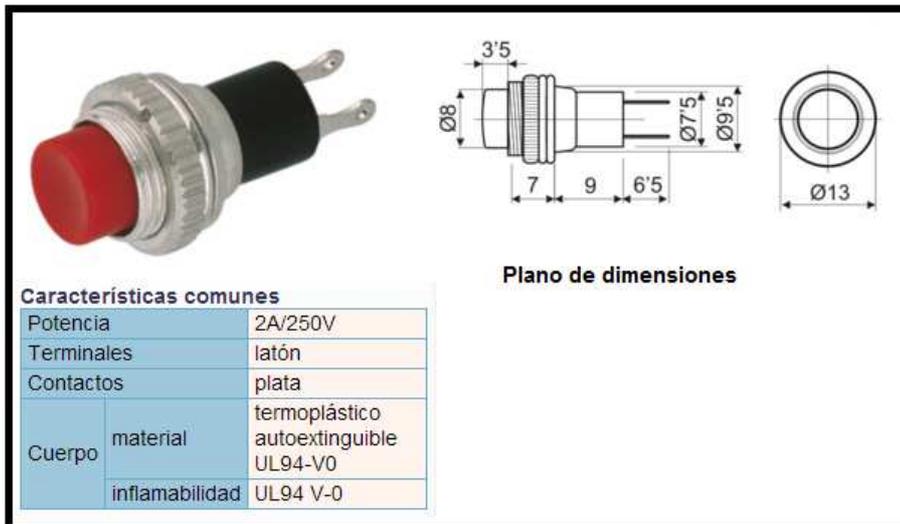
Ref: 12.004



## Pulsador empotrable con fijación a rosca

Fabricante: Electro DH

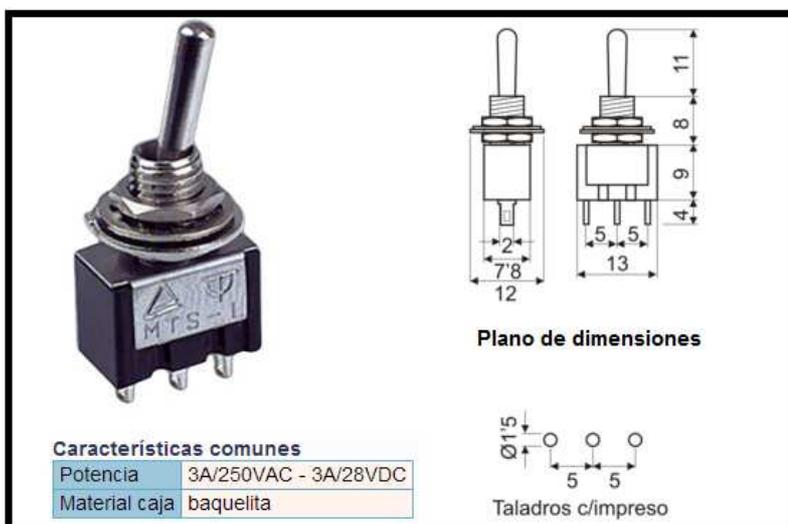
Ref: 11.535



## Selector unipolar de 3 posiciones

Fabricante: electro DH

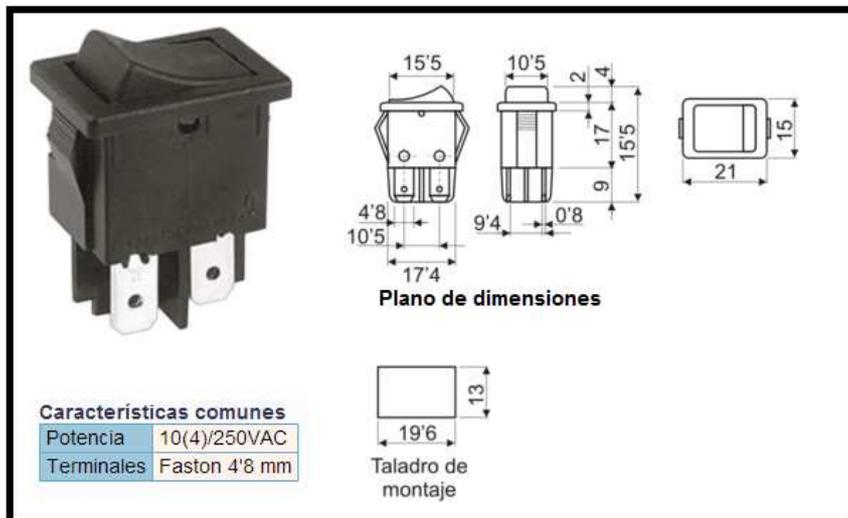
Ref: 11.435



## Interruptor bipolar

Fabricante: electro dh

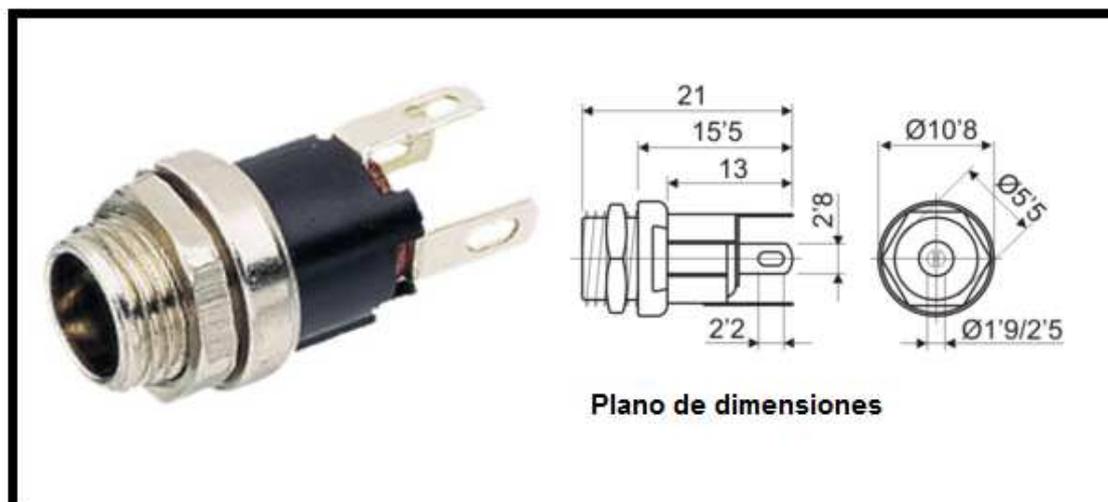
Ref: 11.188



## Base de alimentación para fijación a chasis

Fabricante: Electro DH

Ref: 15.462

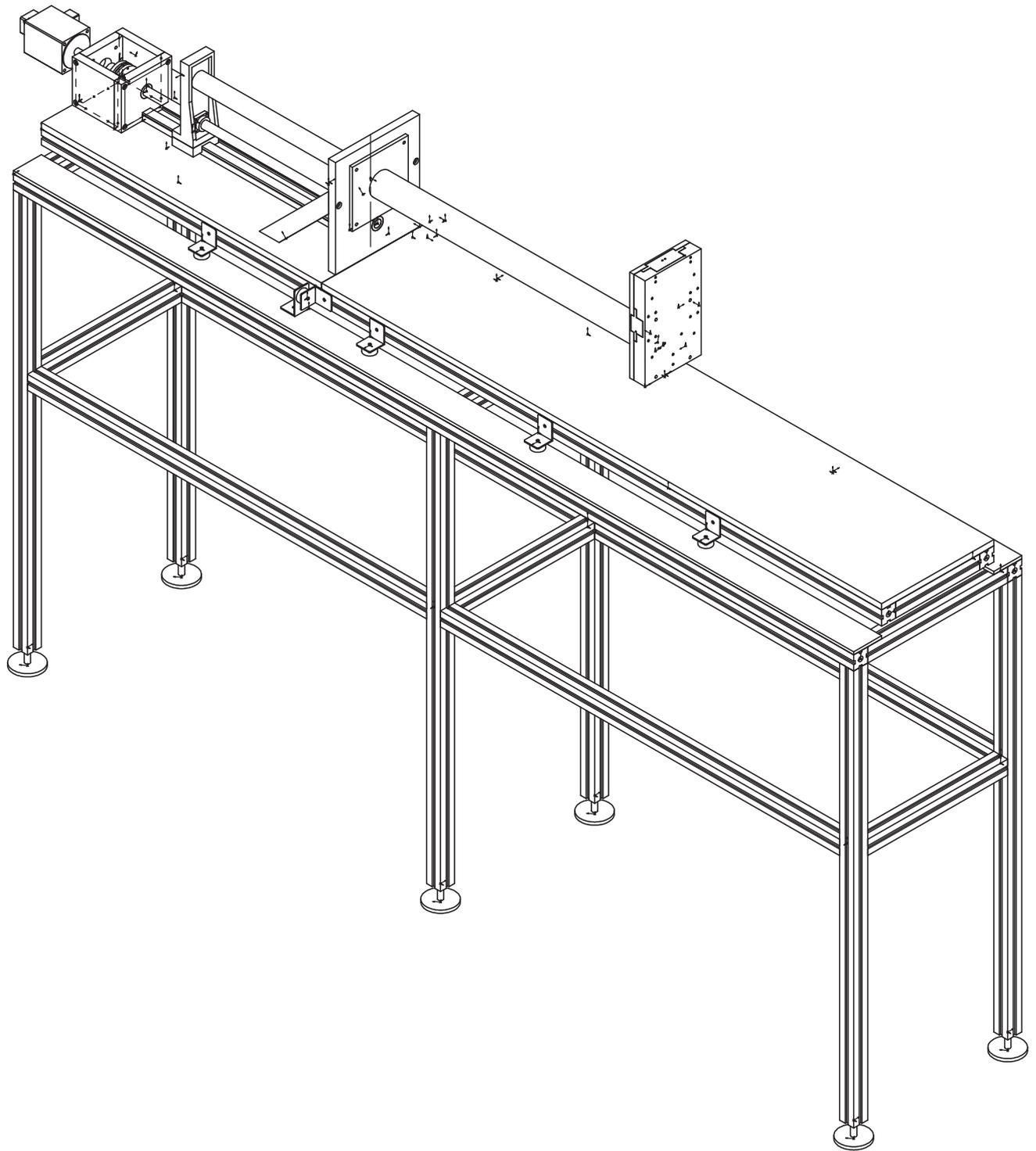


# **ANEXO E**

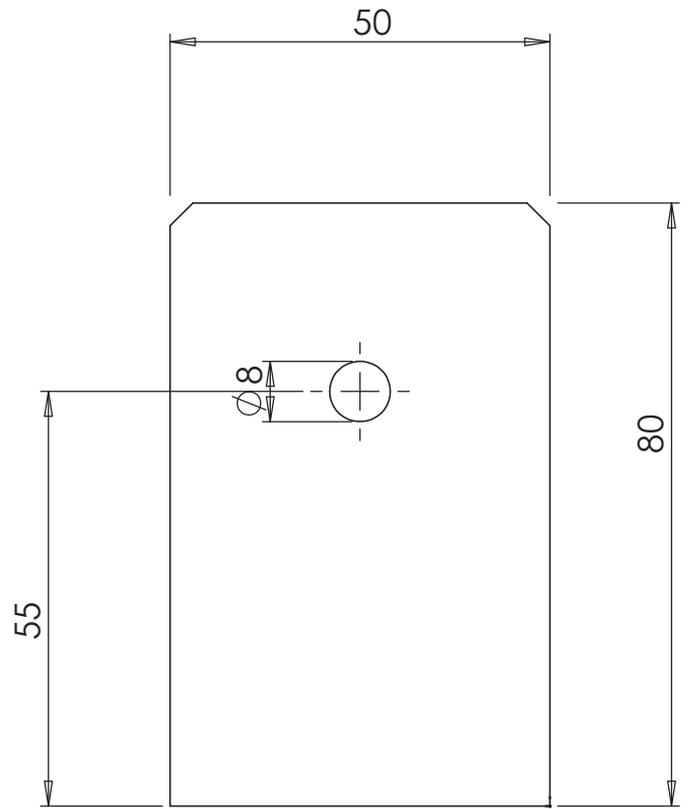
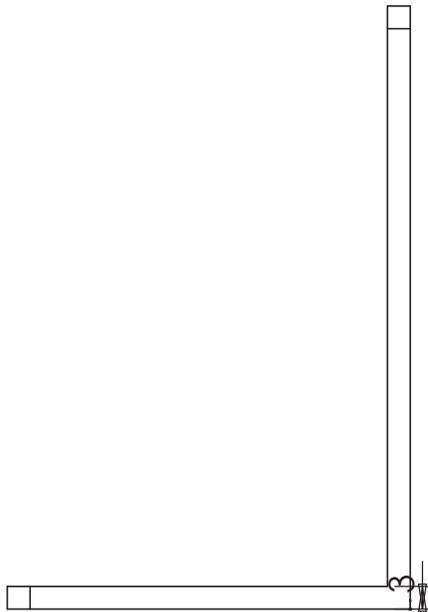
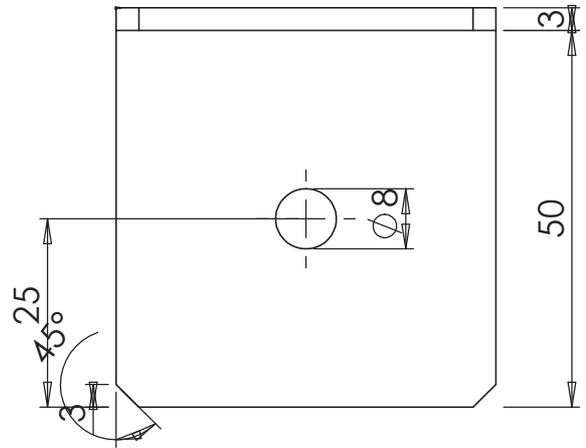
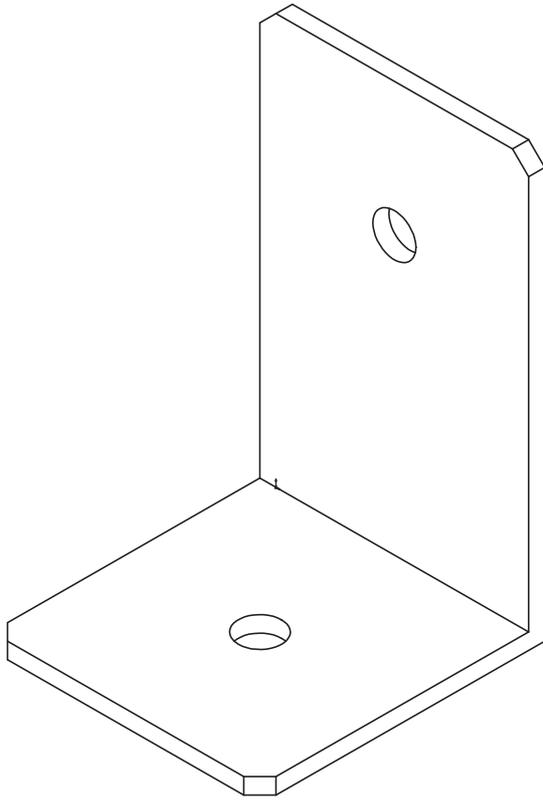
---

---

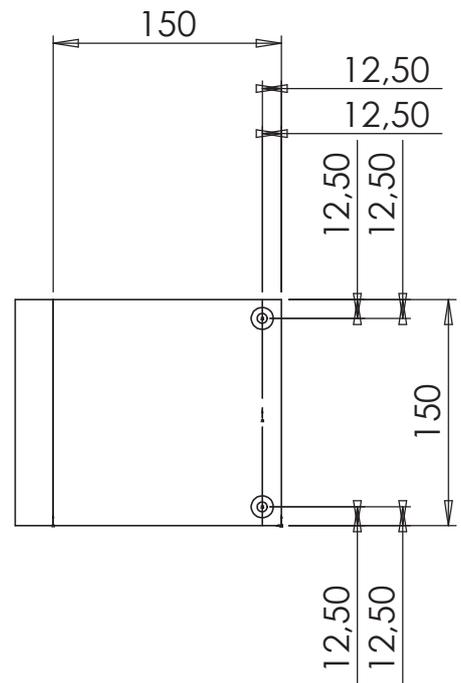
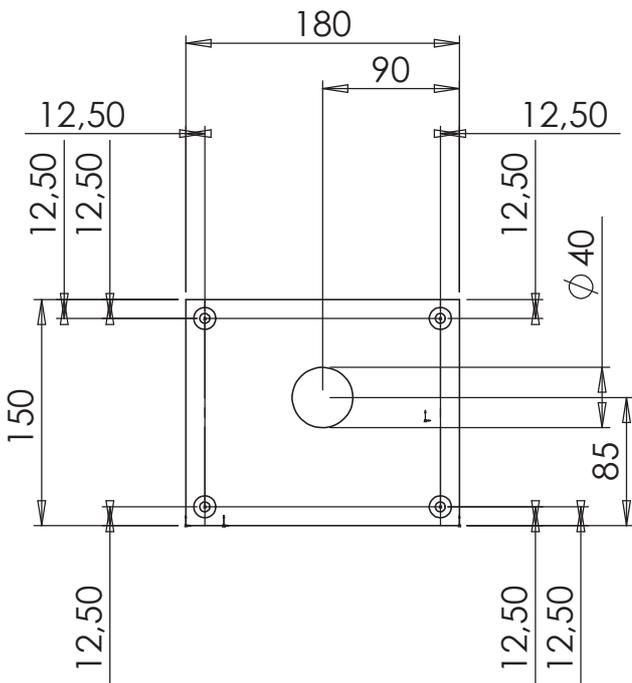
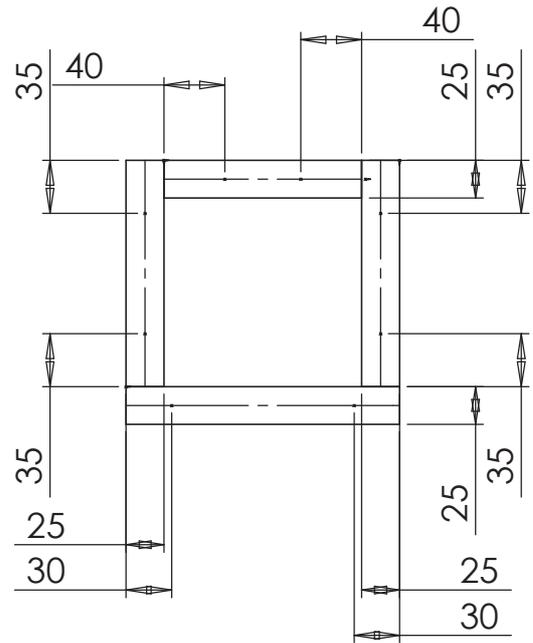
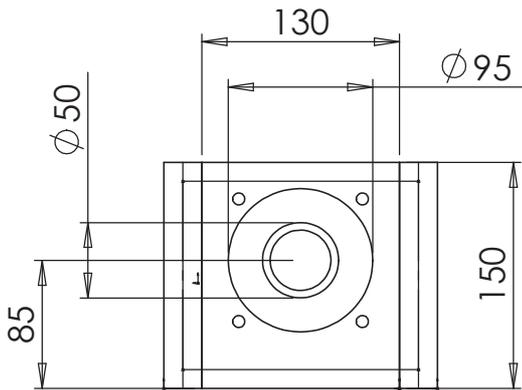
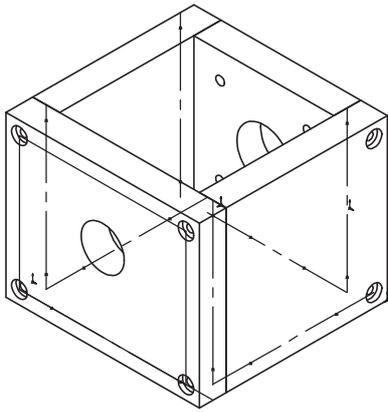
Planos



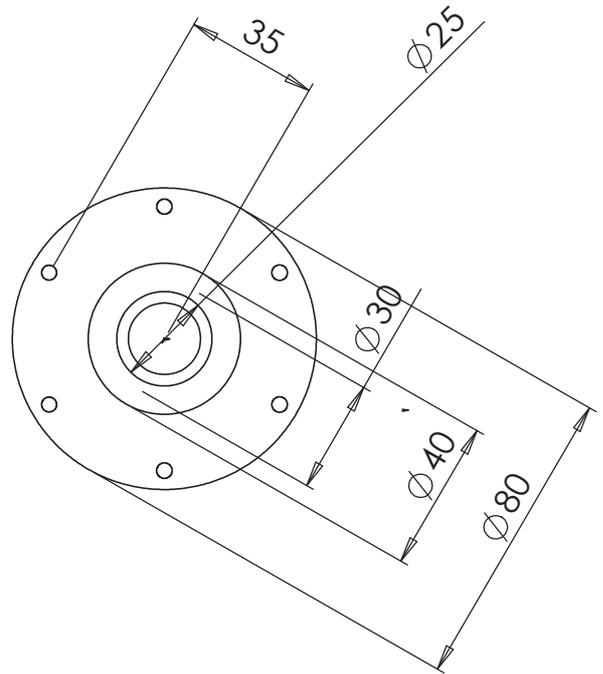
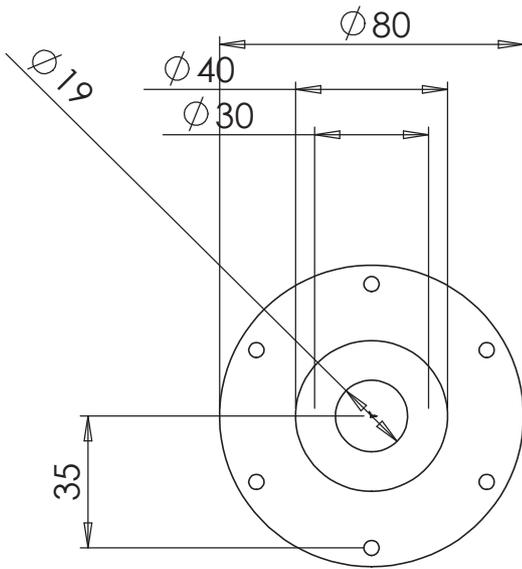
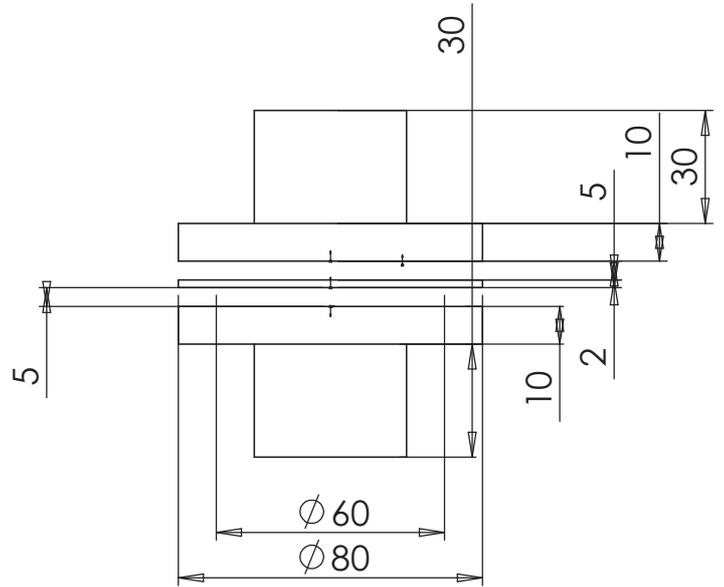
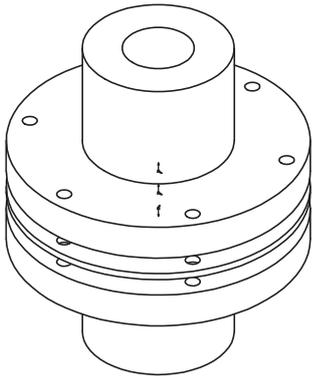
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1:15</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>VISTA GENERAL</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 1</b>



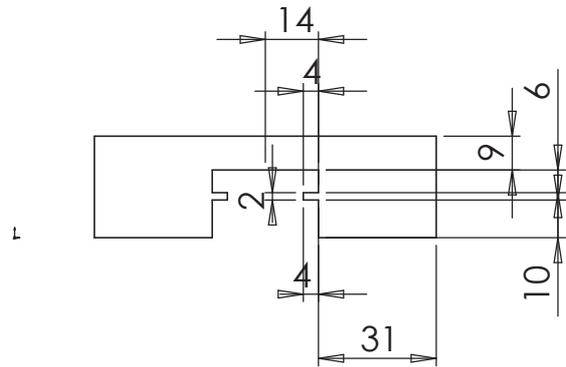
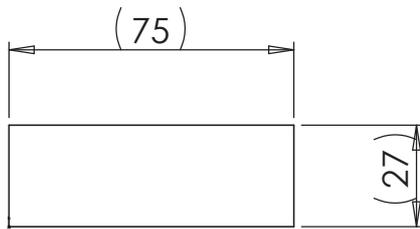
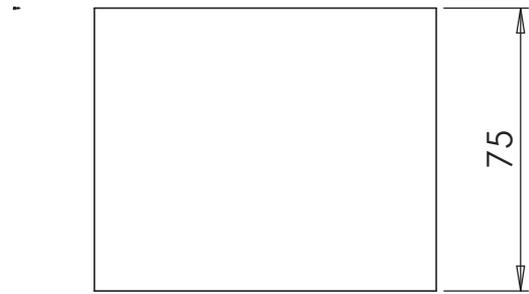
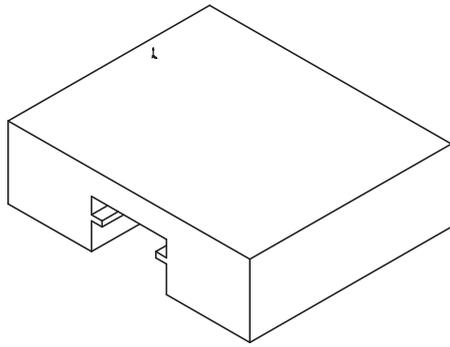
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1:1</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 2</b>



	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1: 5</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>CAJA DE ACOPLAMIENTOS</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 3</b>

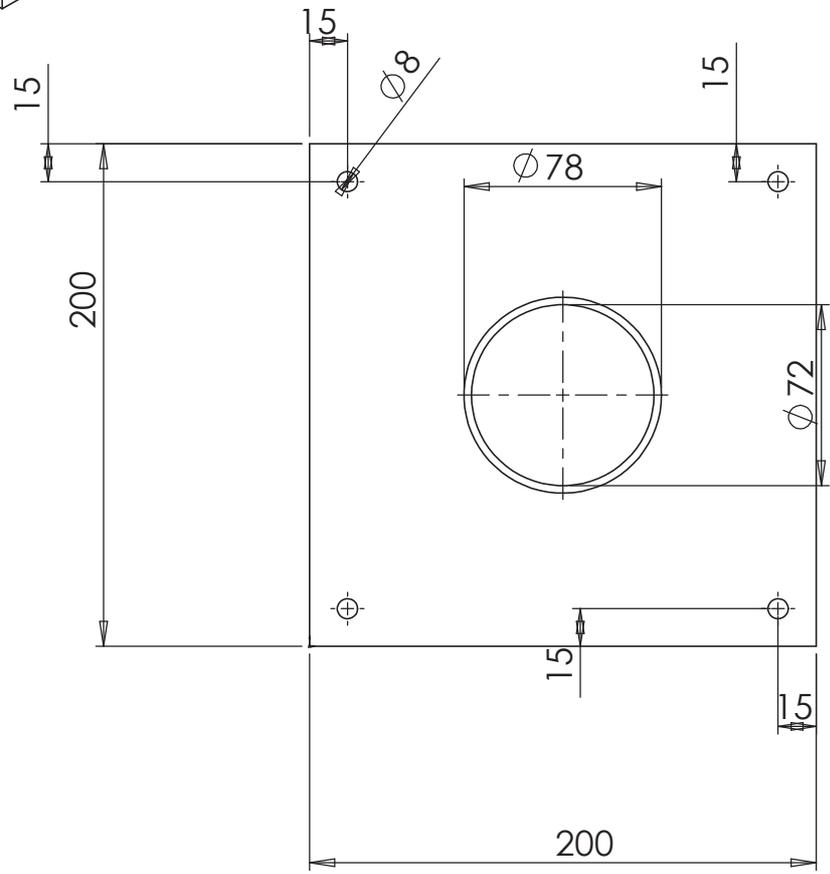
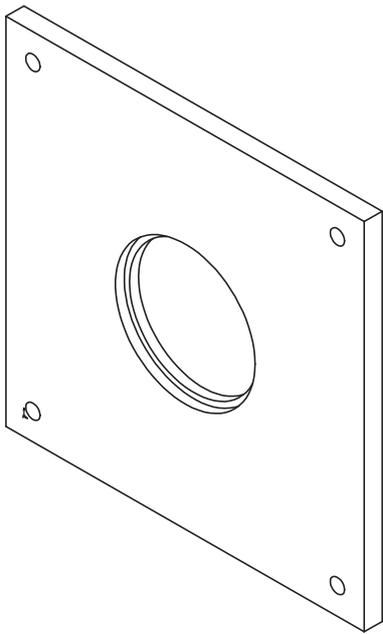


	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1: 2</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>ACOPLAMIENTO</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 4</b>

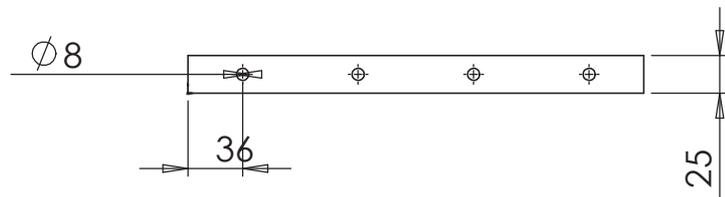
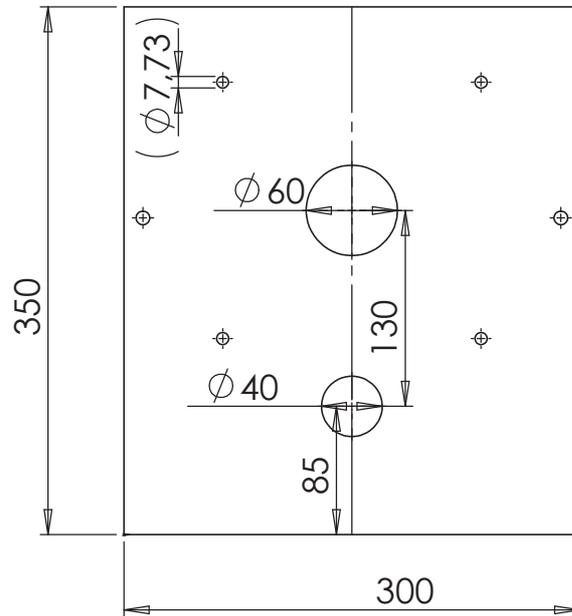
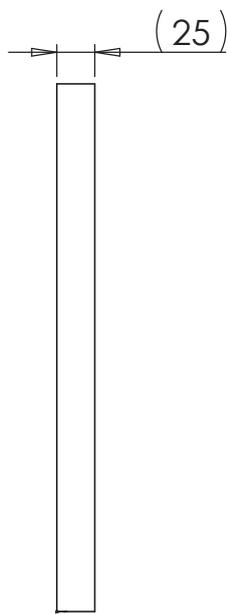
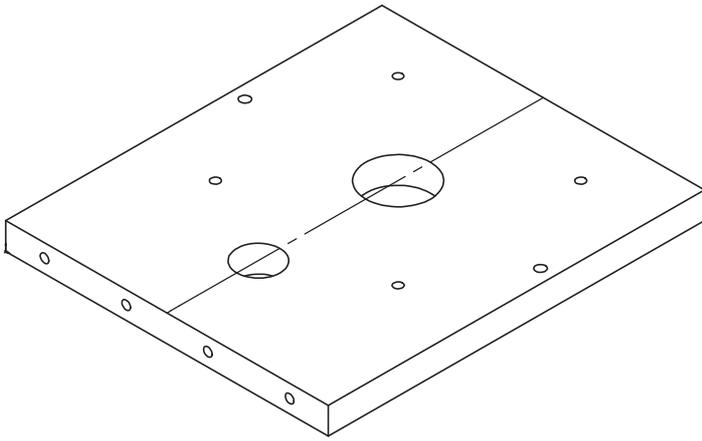


	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1: 2</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>APOYO DE GUIA</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 5</b>

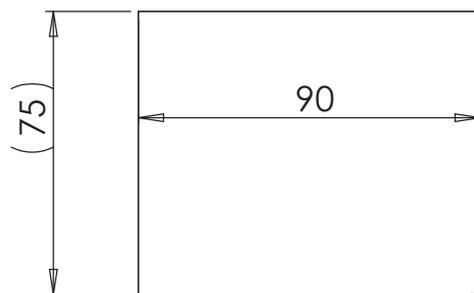
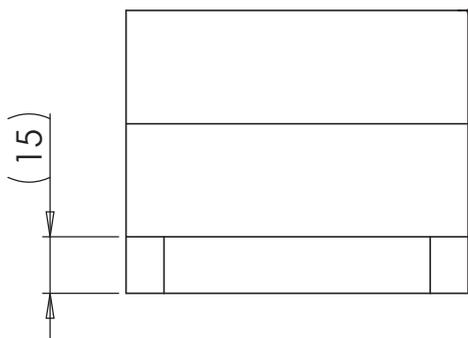
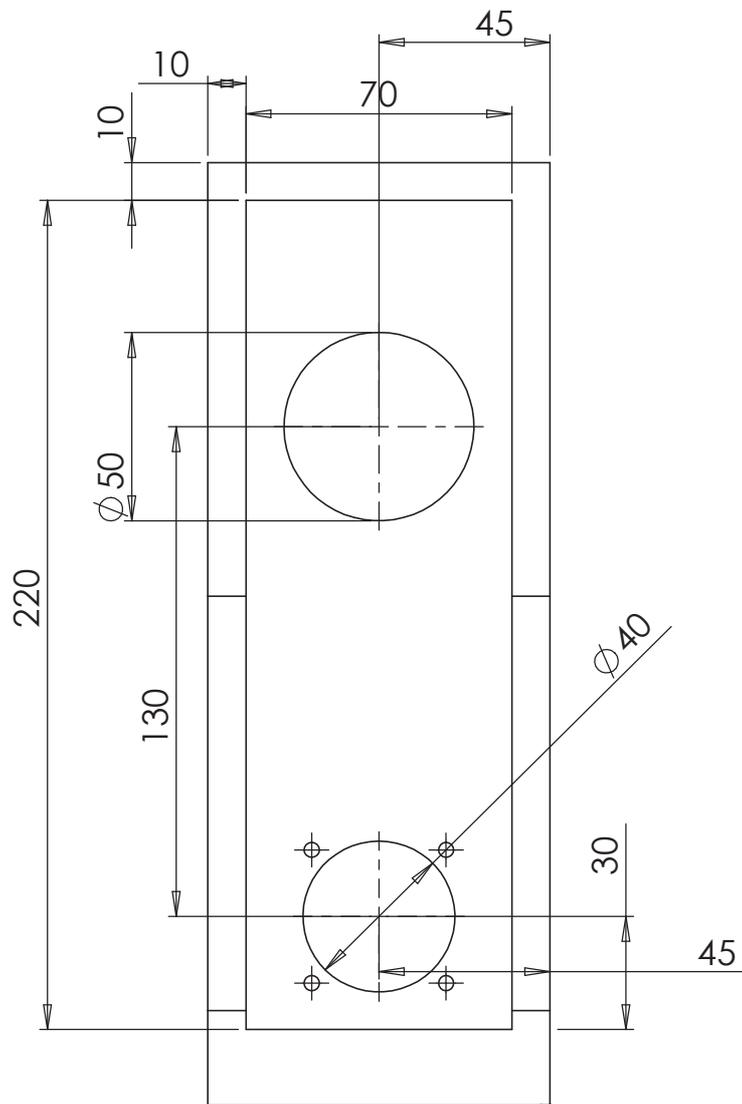
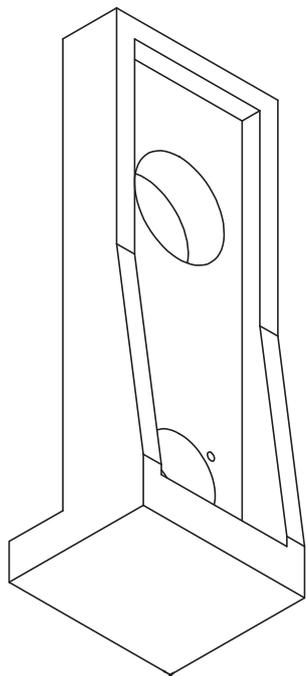




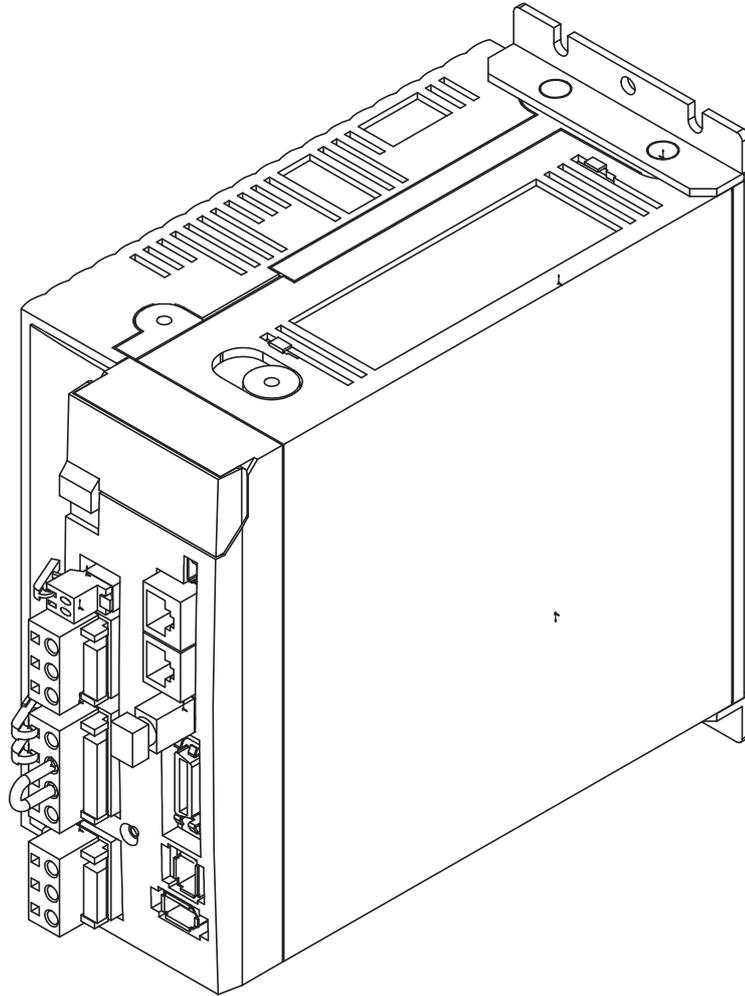
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 3</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>PLACA APOYO CAMARA</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 7</b>



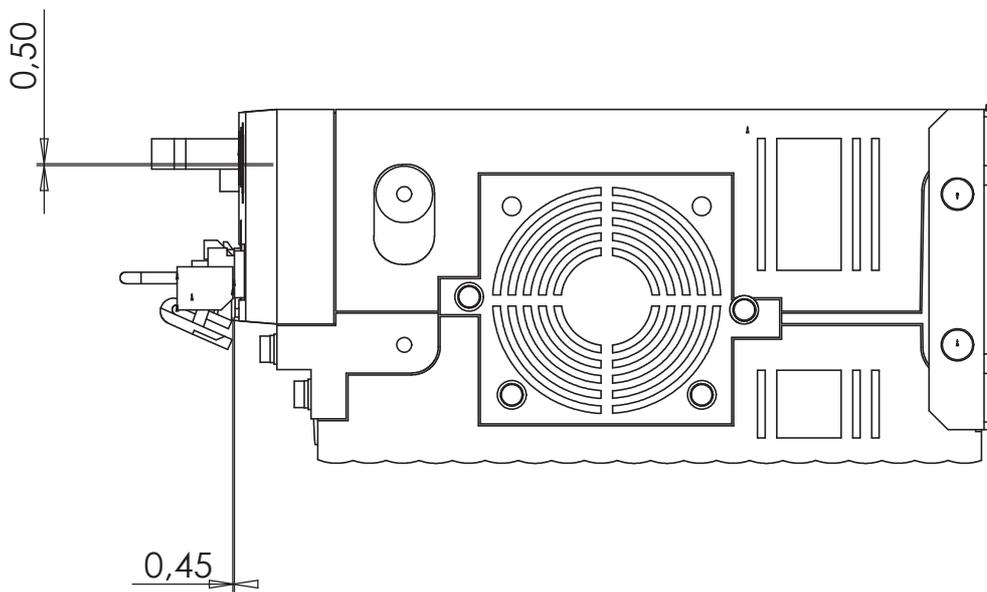
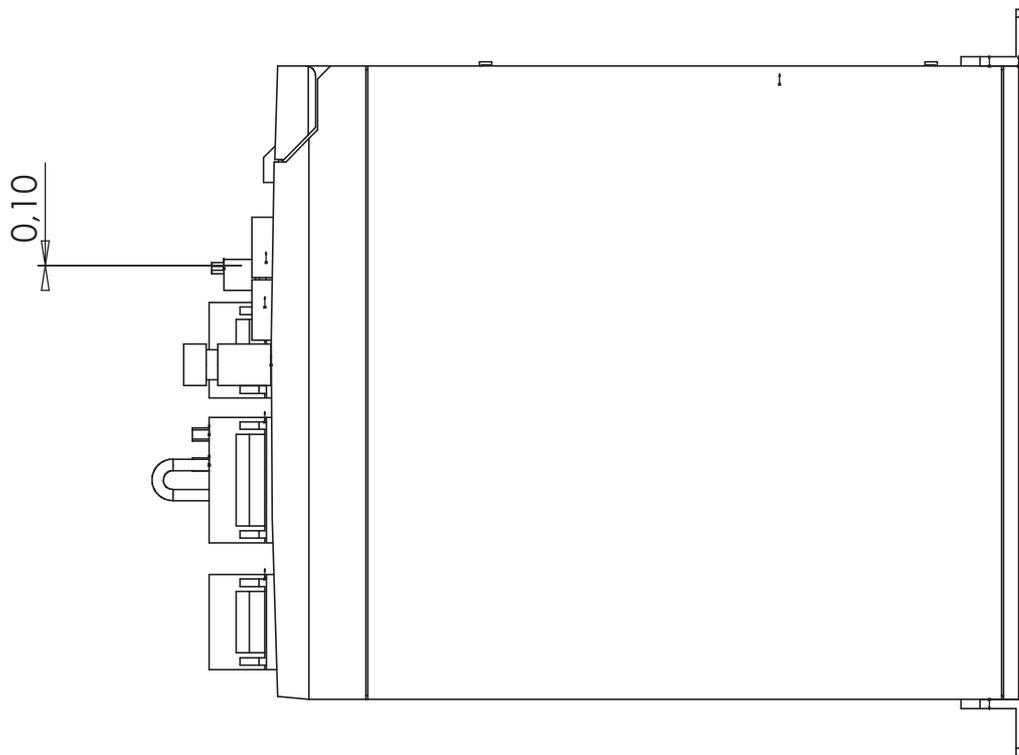
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 5</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>PLACA DE SOPORTE HUSILLO</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 8</b>



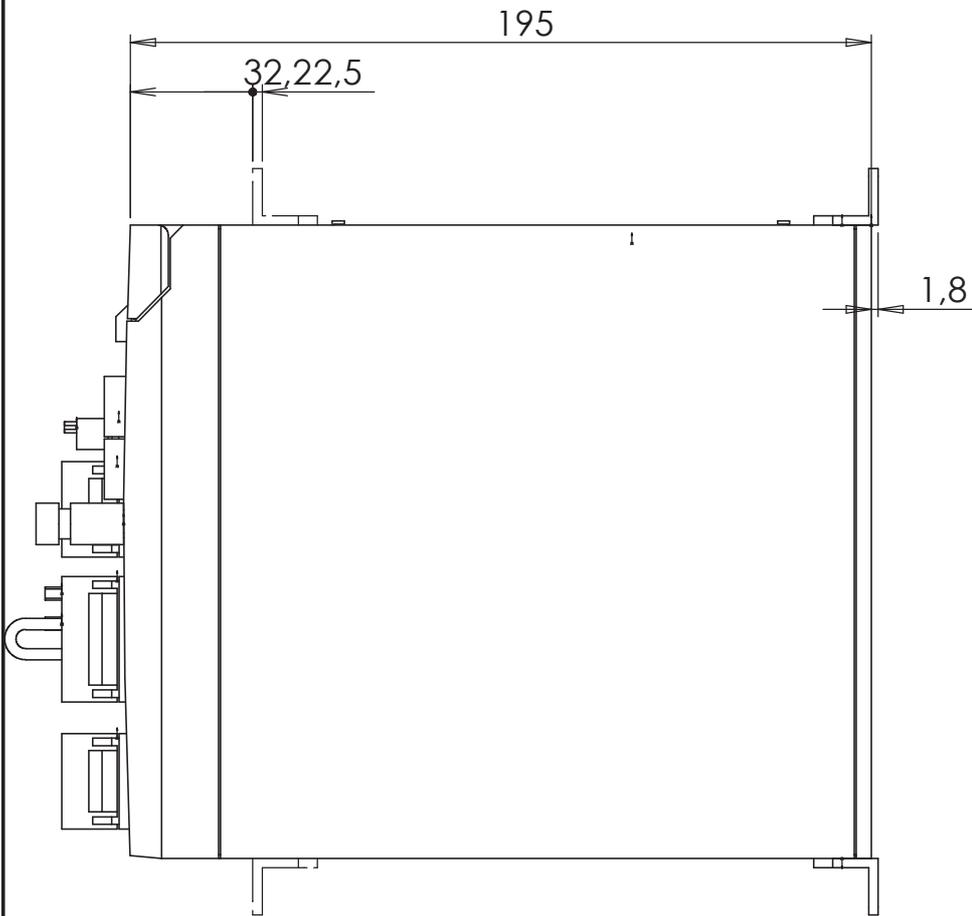
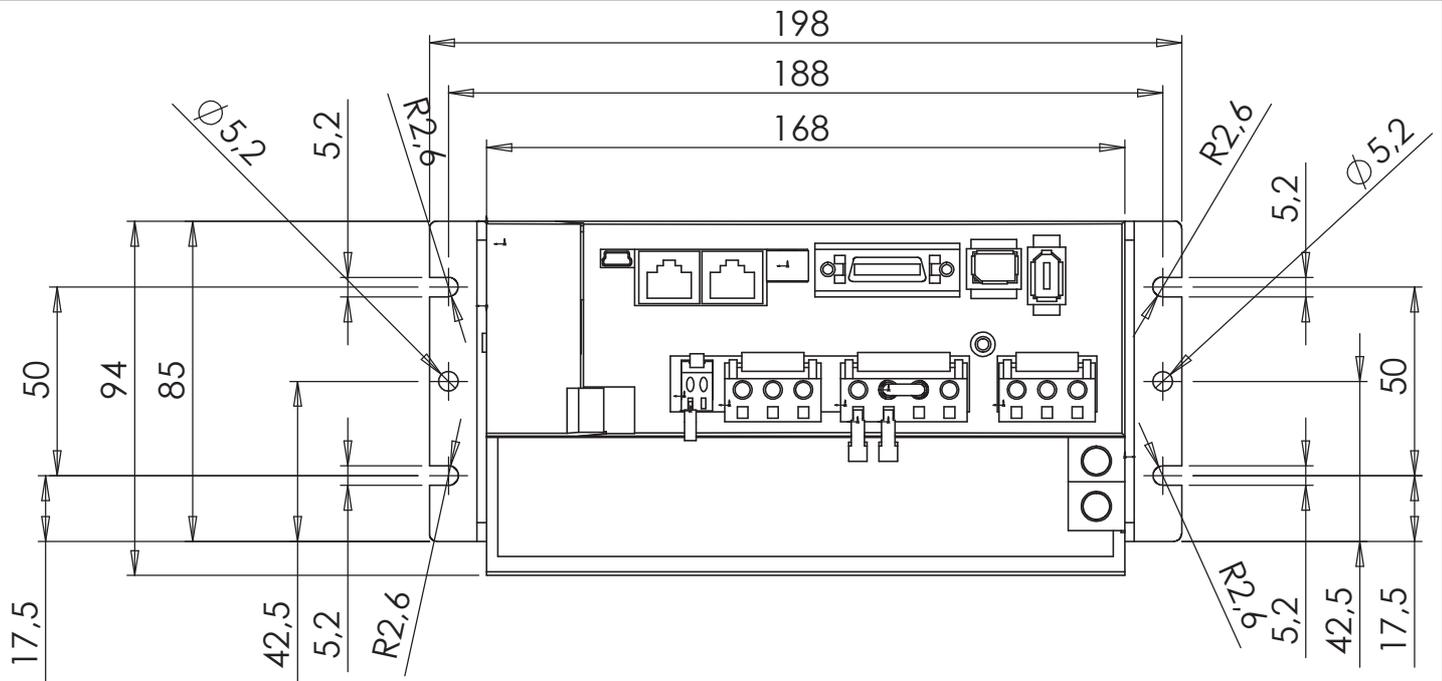
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 2</b>	<b>BANCO DE PRUEBAS</b>  <b>SOPORTE DE TUERCA DE HUSILLO</b>		<b>Numero de Plano: 1</b>  <b>Hoja: 9</b>



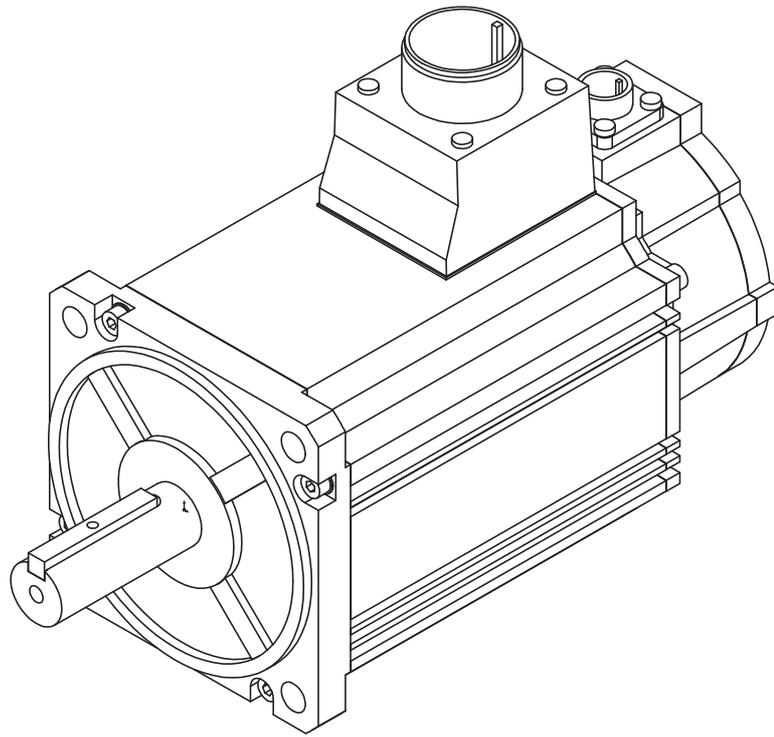
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  1 : 2	<b>SERVO CONTROLADOR</b>  <b>R88D-KN20-ECT</b>		<b>Numero de Plano: 2</b>  <b>Hoja: 1</b>



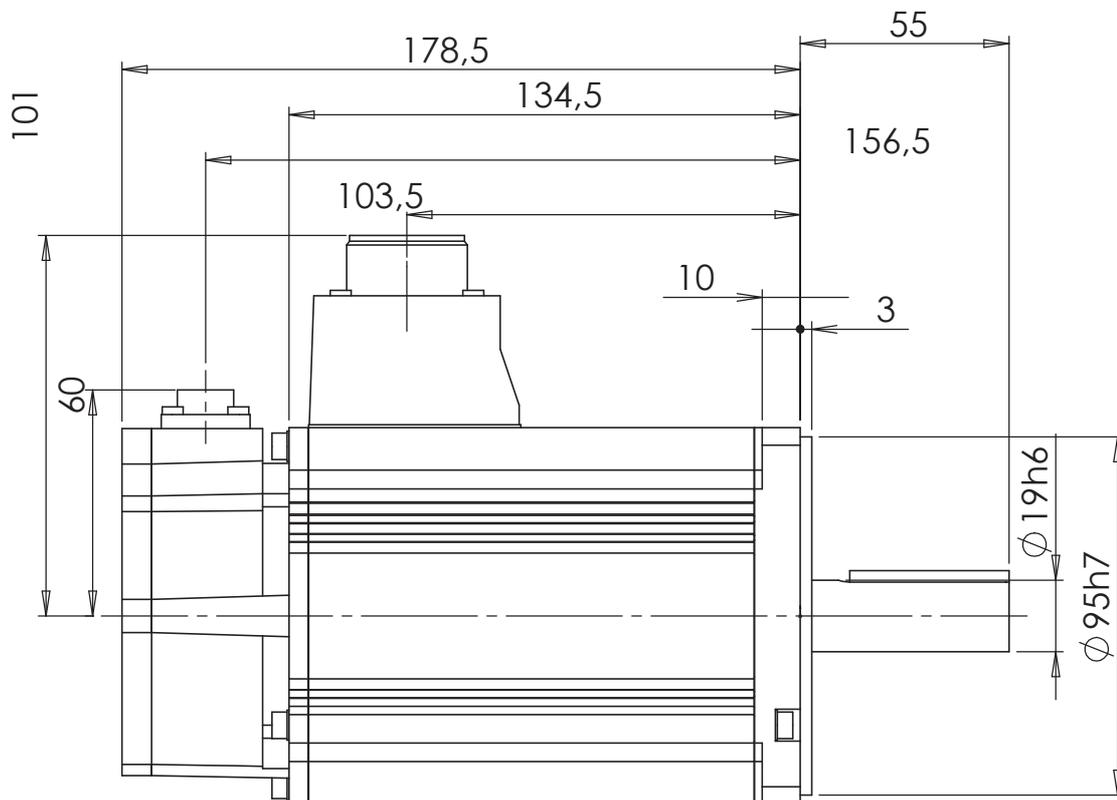
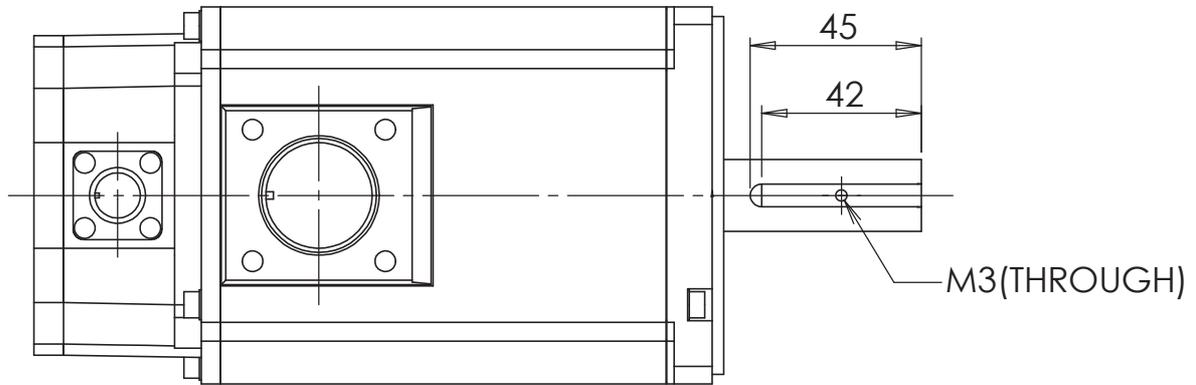
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  1 : 2	<b>SERVO CONTROLADOR</b>  <b>R88D-KN20-ECT</b>		<b>Numero de Plano: 2</b>  <b>Hoja: 2</b>



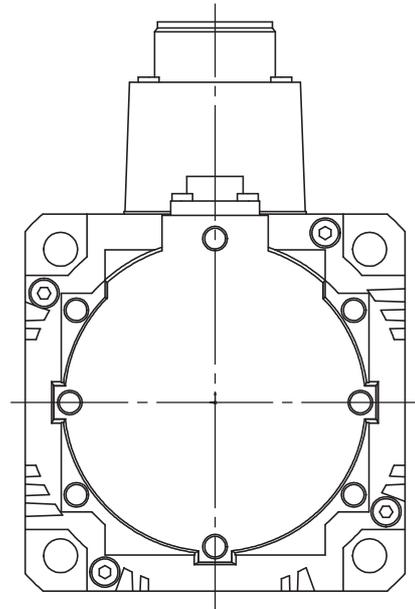
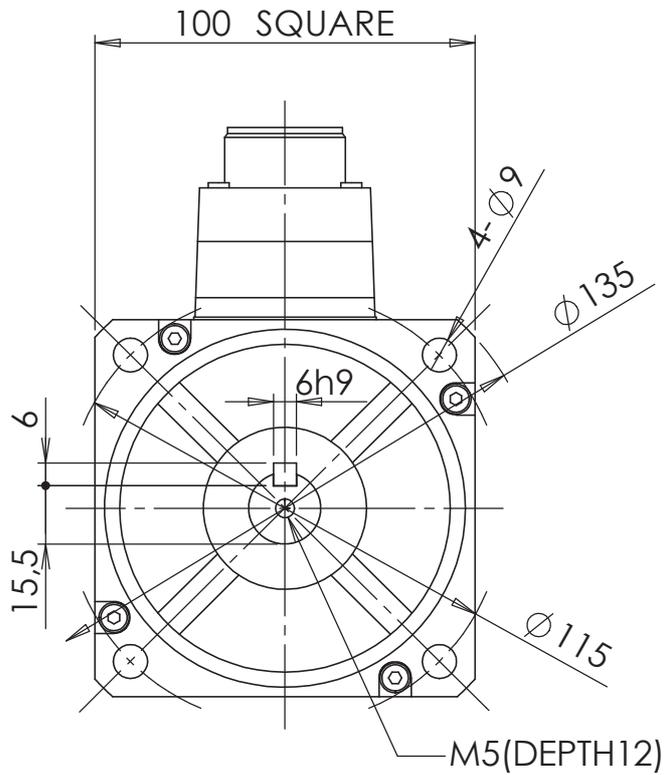
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 2</b>	<b>SERVO CONTROLADOR</b>  <b>R88D-KN20-ECT</b>		<b>Numero de Plano: 2</b>  <b>Hoja: 3</b>



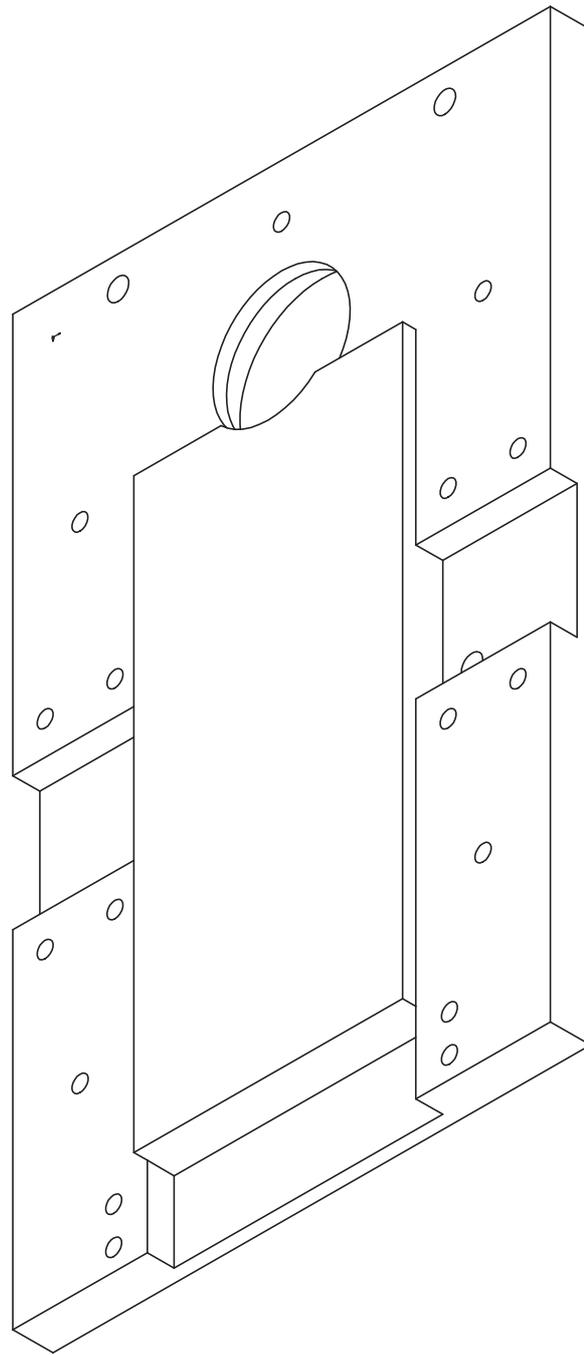
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 2</b>	<b>SERVO MOTOR</b>  <b>R88M-K2K-030F</b>		<b>Numero de Plano: 3</b>  <b>Hoja: 1</b>



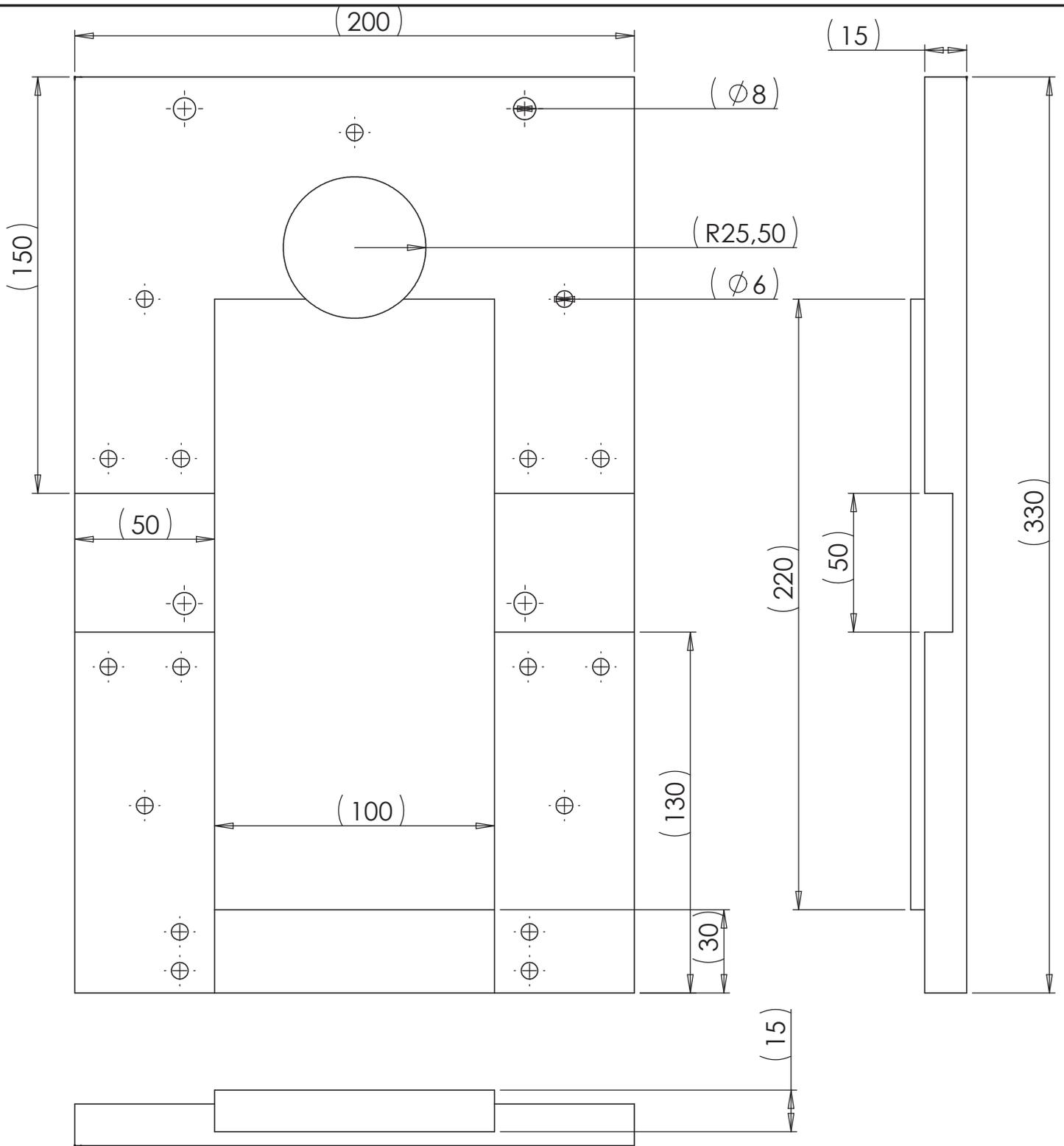
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>	<b>SERVO MOTOR</b>		<b>Numero de Plano: 3</b>
<b>1 : 2</b>	<b>R88M-K2K-030F</b>		<b>Hoja: 2</b>



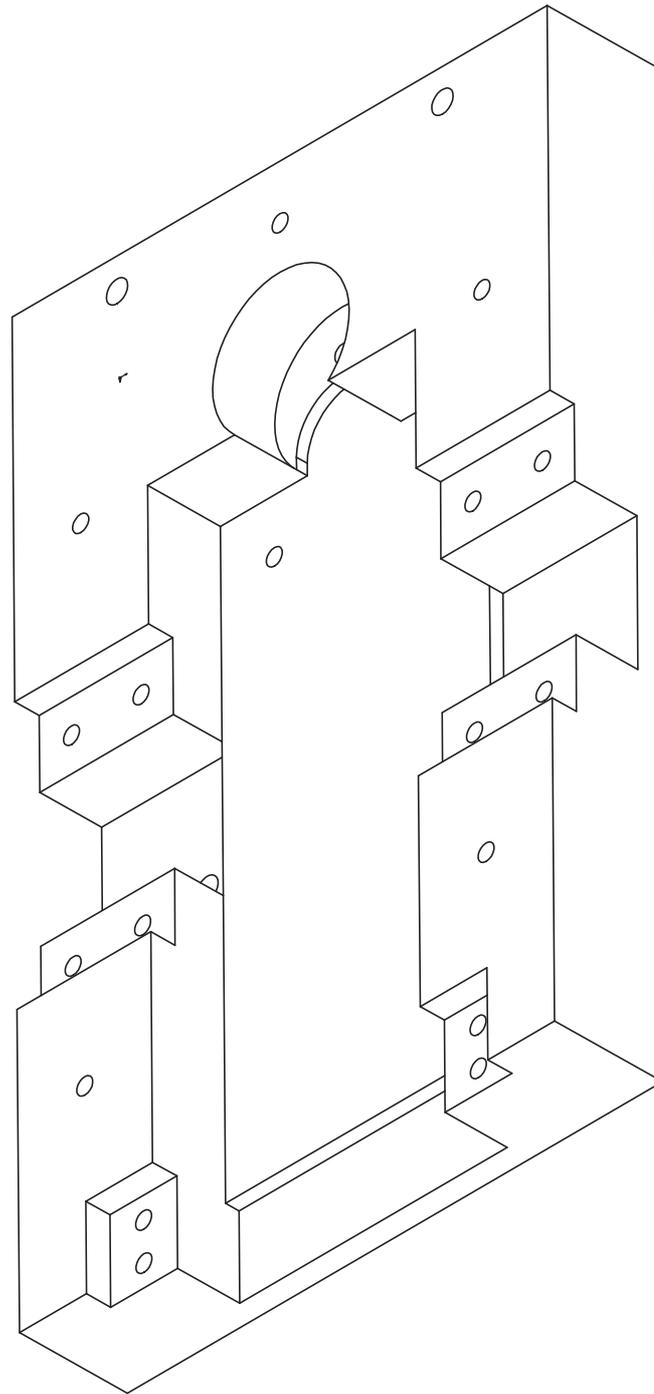
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  1 : 2	<b>SERVO MOTOR</b>  <b>R88M-K2K-030F</b>		<b>Numero de Plano: 3</b>  <b>Hoja: 3</b>



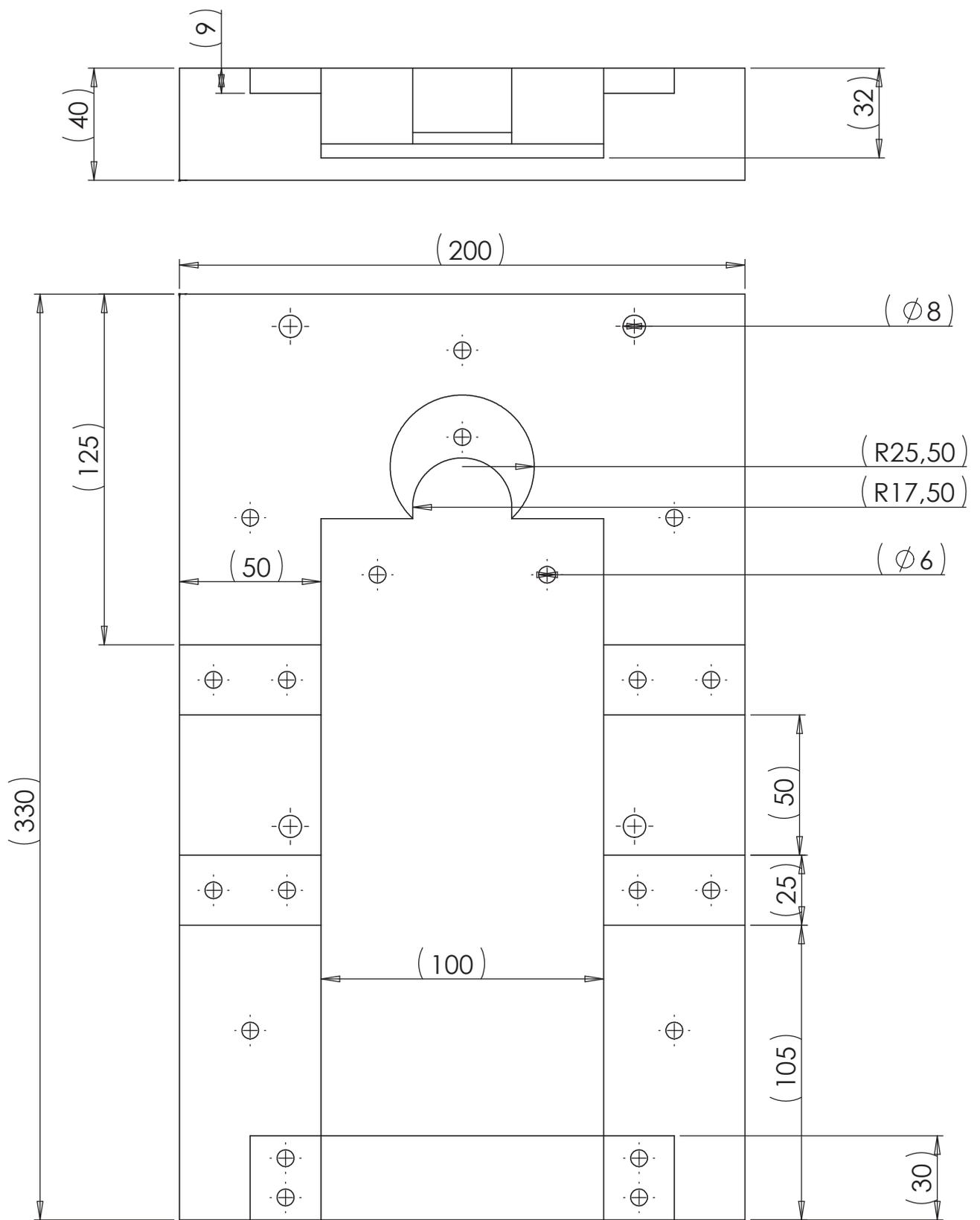
	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 2</b>	<b>MOLDE</b>  <b>PARTE FIJA</b>		<b>Numero de Plano: 4</b>  <b>Hoja: 1</b>



	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  <b>1 : 2</b>	<b>MOLDE</b>  <b>PARTE FIJA</b>		<b>Numero de Plano: 4</b>  <b>Hoja: 2</b>



	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  1 : 2	<b>MOLDE</b>  <b>PARTE MOVIL</b>		<b>Numero de Plano: 4</b>  <b>Hoja: 3</b>



	Fecha	Nombre	UPCT - ETS Ingenieria Industrial - Departamento de Ingenieria de Materiales y Fabricacion - Proyecto Final de Carrera - Joaquín Gómez Serrano
Dibujado	2/12/2013	Joaquín Gómez	
<b>Escala:</b>  1 : 2	<b>MOLDE</b>  <b>PARTE MOVIL</b>		<b>Numero de Plano: 4</b>  <b>Hoja: 4</b>

# **ANEXO F**

---

---

Resolución de Problemas

## Como comprobar errores.

Método de comprobación	Que se puede comprobar
Comprobación de indicadores	Estatus de operación de la unidad cpu
Solucionador de problemas del Sysmac Studio	Podemos comprobar los errores del controlador, el registro de errores anteriores, sus fuentes, causas y correcciones
Comprobación con el solucionador de problemas de PLC	Podemos comprobar los errores del controlador, el registro de errores anteriores, sus fuentes, causas y correcciones
Comprobación de las variables definidas en el sistema	Podemos comprobar el estatus actual del controlador de errores para una función determinada del modulo

## Comprobación de indicadores

Indicador				Status de la operación de CPU	Confirmación del error mediante el Sysmac Studio
POWER	RUN	ERROR			
Apagado	Apagado	Apagado		Error en la fuente de Tensión	Sin Confirmación
Encendido	Apagado	Apagado		Unidad CPU reiniciada	Sin Confirmación
Encendido	Intermitente	Encendido		Fuente de tensión conectada incorrecta	Sin Confirmación
Encendido	Apagado	Encendido		Error en el temporizador de vigilancia de la CPU	Sin Confirmación
Encendido	Apagado	Encendido		Error a nivel total	Confirmación por software
Encendido	Encendido	intermitente		Error a nivel parcial	Confirmación por software
Encendido	Encendido	intermitente		Error a nivel inferior	Confirmación por software
Encendido	Encendido	Apagado		Observación	Confirmación por software
Encendido	Encendido	Apagado		Operación normal en modo RUN	---
Encendido	Apagado	Apagado		Operación normal en modo PROGRAM	---
Encendido	Intermitente	Intermitente		Operación normal en modo conexión	---

## Comprobación con variables definidas del sistema.

Nombre de la variable	Tipo de Dato	Significado	Función
_MC_ErrSta	WORD	MC Error Status	Nos da el listado de status de errores para todos los errores del modulo de funcionamiento del control de movimiento
_MC_ComErrSta	WORD	MC Common Error Status	Nos da el listado de status de errores para todos ocurridos en los procesos comunes del modulo de funcionamiento del control de movimiento
_MC_AX_ErrSta	ARRAY[0..63] OF WORD	Axis Error Status	Nos da el listado de status de errores para ese eje
_MC_GRP_ErrSta	ARRAY[0..63] OF WORD	Axes Group Error Status	Nos da el listado de status de errores para ese grupo de ejes

## Significado de los bits individuales en las variables de estado.

Bit	Nombre	Descripción	Valor	Significado
15	Detección Maestra	Indica cuando la unidad maestra detecta un error en la unidad secundaria que controla	VERDADERO	ERROR
			FALSO	SIN ERROR
14	Sumario Secundario	Nos da el listado para todos los estatus de error de los esclavos Ethercat asignados a los ejes en la función de control de movimiento	VERDADERO	ERROR
			FALSO	SIN ERROR
8 – 13	Sin uso	---	---	---
7	Falta mayor	Indica que hay un error a nivel superior en el código	VERDADERO	ERROR
			FALSO	SIN ERROR
6	Falta Parcial	Indica que hay un error a nivel parcial en el código	VERDADERO	ERROR
			FALSO	SIN ERROR
5	Falta Menor	Indica que hay un error a nivel menor en el código	VERDADERO	ERROR
			FALSO	SIN ERROR
4	Observación	Indica que una observación en el código	VERDADERO	ERROR

			FALSO	SIN ERROR
0-3	SIN USO	---	---	---

## Errores en los esclavos y las comunicaciones EtherCAT

Nombre de Error	Código de Evento	Causa	Operación
Error en las comunicación con el esclavo del EtherCAT	8440 0000 hex	Un error de comunicación ocurre para el esclavo EtherCAT localizado para un eje en el modulo de función de control de movimiento	El servo se apaga para el eje con errores hasta resolverlos, el reseteo no está permitido
Error en el esclavo detectado	742F 0000 hex	Error detectado en el esclavo EtherCAT localizado en un eje en el modulo de función de control de movimiento	El servo se apaga para el eje con errores hasta resolverlos, el reseteo no está permitido

## Tabla de errores más comunes

Codigo de Evento	Nombre de evento	Significado	Causa Asumida
10200000 hex	Error en la transferencia de programa al controlador	No se ha transferido de forma correcta el programa	Posible fallo de comunicación, revisar conexiones
14600000 hex	Error de lectura en la posición de offset del home del encoder absoluto	La posición actual del encoder absoluto se ha perdido por una pérdida de tensión	Agotamiento de la batería de la unidad cpu Fallo de la memoria de backup
14610000 hex	Error en la configuración de los parámetros del control de movimiento	Parámetros guardados en memoria no volátil inaccesibles	Corte de energía o de comunicaciones con el software en el pc Fallo en la memoria volátil
	Error de lectura de	Datos cam en	Corte de energía o de

14620000 hex	datos cam	memoria no volátil inaccesibles	comunicaciones con el software en el pc  Fallo en la memoria no volátil
34630000 hex	Eje esclavo desactivado	Esclavo al que se le asigna el eje esta desactivado	Esclavo desactivado
44200000 hex	Error en la inicialización del control de movimiento	Error en el sistema y prevención de inicialización del modulo de movimiento	Fallo del hardware
54850000 hex	Instrucción de parada inmediata ejecutada	Instrucción de parada inmediata ejecutada	Pulsación de parada de emergencia
644X0000 hex	Limite de software excedido	La posición actual sobrepasa el límite por software programado	La posición actual sobrepasa el límite por software programado
644A0000 hex 644B0000 hex	Limites de entrada positivo/negativo detectado	Limite de entradas activado	Mala conexión de las entradas digitales
64570000 hex	Error de servo apagado	El servo se apaga debido a un error en el grupo de ejes	Fallo en el grupo de ejes
74210000 hex	Circuito de alimentación principal del servo apagado	Circuito de alimentación principal se apaga con el servo encendido	Fallo en el circuito de alimentación principal

**Para cualquier otro error que pudiera aparecer, dirigirse al manual W507E101 NJ CPU Motion control Manual, sección 10- TroubleShooting.**

# **REFERENCIAS**

# **BIBLIOGRÁFICAS**

---

- F Faura, J López, J Hernández, On the optimum plunger acceleration law in the slow shot phase of pressure die casting machines, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 41, Issue 2, January 2001, Pages 173-191, ISSN 0890-6955, [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(00\)00079-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(00)00079-1).
- Hernández Ortega, Juan José. “Estudio Numérico y Experimental de los Procesos de Fundición a Presión. Mecanismos de Formación de Porosidad durante el Llenado del Molde”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería de Materiales y Fabricación, Cartagena, Julio 2010.
- John L. Jorstad. High integrity Die Casting Process Variations International conference on structured Aluminium Casting. Noviembre 2003
- López Rodríguez, Joaquín. *Fundamentos de Conformación por Fusión de Metales*. 1ª Edición. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2012.
- Navarro Saldaña, Alfredo. *Introducción a la historia del diseño industrial*. 1ª Edición. Universidad de Palermo.
- Omron Industrial. CPU Unit. Motion Control. User Manual. 2011
- Omron industrial. CPU Unit. Software. User Manual. 2011
- Omron Industrial. Startup Guide. Motion Control. User Manual. 2011

- OTEA. Observatorio Tecnológico del Metal. Fundición a presión de aluminio. Nuevos procesos y aleaciones especiales. Febrero 2010
- Zamora Pedreño, Rosendo. “Estudio Experimental de la Formación de Porosidad por Atrapamiento de Aire durante la Etapa Lenta de Inyección en Máquinas de Fundición a Alta Presión”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería de Materiales y Fabricación, Cartagena, Julio 2005.

## Artículos consultados por Internet.

- Autor desconocido. Aluminio 380. Disponible en: <http://www.dynacast.es/aluminio/a380>
- Autor desconocido. Aluminio: ligero, moderno de gran calidad. Disponible en: [http://www.kalzip.com/kalzip/es/home/industry\\_information\\_aluminium.html](http://www.kalzip.com/kalzip/es/home/industry_information_aluminium.html)
- Autor desconocido. Elementos de un servo controlador. Disponible en: <http://www.infopl.com/blog4/2010/08/04/elementos-de-un-servo-drive/>
- Autor desconocido. Magnesio y sus aleaciones. Disponible en: [http://www.obtesol.es/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=4&id=70&temid=30](http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=4&id=70&temid=30)
- Autor desconocido. Procesos de fundición. Disponible en: <http://www.comosehace.cl/procesos/>
- autor desconocido. Vaciado en arena. Disponible en: <http://www.fundirmetal.es/en/ver-menu/fundicion/tecnicas/item/150.html>
- Edagar Mamani Canaviri. Máquina de fundición a presión “diseño y cálculo”. <http://tesis.dpuc.edu.bo/facultad-nacional-de-ingenieria/47-ingenieria-mecanica/389-maquina-de-fundicion-a-presion-diseno-y-calculo.html>
- Solidworks. “Acerca de Solidworks”. Disponible en: [http://www.solidworkslatinamerica.com/sw/6453\\_ESM\\_HTML.htm](http://www.solidworkslatinamerica.com/sw/6453_ESM_HTML.htm)

Se han citado los textos y webs más importantes que se han utilizado en la redacción y realización de este proyecto.