



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

DOCUMENTO I: MEMORIA

Introducción

Objeto del proyecto

Justificación

Objetivos

Marco del proyecto

Herramientas

Antecedentes

Diseño y modelo matemático del robot cartesiano

Construcción del manipulador

Evaluación del sistema

Mejoras realizables en trabajos futuros

Conclusiones

Bibliografía

DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

Introducción

Mediciones

Precio y rendimientos

Resumen del presupuesto

DOCUMENTO III: PLANOS

DOCUMENTO IV: ANEXOS

LEFS40A-500/LEFS32B-500

LEY25A-200B

MHY2-16D

LECP6P

Cables

Neumática

CJ1

Resumen

El presente trabajo de fin de máster, engloba el diseño, construcción y evaluación de prototipo de robot manipulador de tres ejes, utilizando actuadores eléctricos programables y una pinza neumática. El trabajo ha sido realizado en la empresa *SMC España S.A.*, utilizando el material de su marca homónima.

La selección de los componentes se ha realizado mediante catálogos, gráficas y fichas técnicas de los distintos elementos, corroborando la elección mediante un software descargable, libre acceso, propiedad de la empresa.

El diseño de todas las piezas mecánicas adicionales, necesarias para el ensamblaje final, se ha realizado mediante el software comercial *Solidworks*. La fabricación de estas piezas se ha realizado con una impresora 3D, utilizando plástico *PLA* azul.

Después de la construcción, se realizará una evaluación del comportamiento del robot. Esta evaluación constará de una prueba de repetibilidad, una prueba de velocidad, y un estudio del tiempo de ciclo.

La finalidad del manipulador es disponer de un prototipo, que sirva como herramienta de demostración para los posibles clientes de la empresa, así como para formar a los empleados, propios y de distribuidores, en la programación de los ejes eléctricos. Con esto se pretende lograr que se extienda en la industria la implantación de actuadores eléctricos, dadas sus posibilidades de control y flexibilidad.

Para finalizar se presentará un presupuesto del total si se requiere construir una estación similar en una empresa ajena, añadiendo los planos de las piezas diseñadas, y los anexos donde figuran las tablas de características más importantes de los componentes.

Palabras clave: Robot, Manipulador, Pick and place, Neumática, Electrónica, Electroneumática, Repetibilidad, Tiempo de ciclo, Actuador eléctrico, Pinza neumática, Electroválvula, SMC, Automatización industrial.

Resum

El treball fi de màster present, compren el disseny, construcció i avaluació d'un prototip de robot manipulador de tres eixos, utilitzant actuadors elèctrics programables i una pinça neumàtica. El treball ha sigut realitzat a l'empresa *SMC España S.A.*, amb el material de la seua marca homònima.

La selecció dels components s'ha realitzat mitjançant gràfiques, fitxes i dades tècniques dels distints elements, comprovant l'elecció mitjançant un software descarregable, de lliure accés, propietat de l'empresa.

El disseny de totes les peces mecàniques addicionals, necessàries per a l'acoblament final, s'ha realitzat mitjançant el software comercial *Solidworks*. La fabricació d'aquestes peces s'ha realitzat amb una impressora 3D, utilitzant plàstic *PLA* blau.

Després de la construcció, es realitzarà una avaluació del comportament del robot. Aquesta avaluació constarà d'una prova de repetibilitat, una prova de velocitat, i un estudi del temps de cicle.

La finalitat del manipulador es disposar d'un prototip, que aprofite com a ferramenta de demostració per als possibles clients de l'empresa, així com per a permetre la formació en programació dels eixos elèctrics a treballadors, propis i de la distribució. Amb açò es pretén aconseguir que s'amplie a la indústria la implantació d'actuadors elèctrics, degut a les seues possibilitats de control i flexibilitat.

Per a finalitzar es presentarà un pressupost total, necessari si es requerix construir una estació semblant en una empresa aliena, afegint els plànols de les peces dissenyades i els annexos on es disposen les taules de característiques més importants dels components.

Paraules claus: Robot, Manipulador, Pick and place, Neumàtica, Electrònica, Electroneumàtica, Repetibilitat, Temps de cicle, Actuator elèctric, pinsà neumàtica, Electrovàlvula, SMC, Automatització industrial.



DOCUMENTO I: MEMORIA

Índice

Introducción

Objeto del proyecto8

Justificación9

Objetivos10

Objetivo principal 10

Objetivos secundarios 10

Marco del proyecto11

Herramientas.....12

Solidworks 12

SMC Selector de actuadores eléctricos 13

A360 Viewer 13

Software de selección de pinza neumática SMC..... 14

CX-Programmer 15

LEC Data Writer 15

LE ACT Controler..... 15

Antecedentes17

Automatización 17

Robótica..... 18

Tipos de robots..... 20

Electroneumática 22

SMC..... 23

Diseño y modelo matemático del robot cartesiano.....	24
Tipo de manipulador	24
Modelo matemático – Denavit-Hartenberg.....	25
Selección neumática.....	27
<i>Actuador.....</i>	<i>27</i>
<i>Válvula</i>	<i>32</i>
<i>Conexiónado neumático</i>	<i>36</i>
Selección Electrónica.....	38
<i>Eje Z.....</i>	<i>39</i>
Actuador.....	39
Controlador	42
Software de selección	44
<i>Eje Y.....</i>	<i>47</i>
Actuador.....	47
Controlador	50
Software de selección	51
<i>Eje X.....</i>	<i>52</i>
Actuador.....	52
Controlador	54
Software de selección	54
PLC.....	54
<i>Conexiónado eléctrico.....</i>	<i>55</i>
Construcción del manipulador	58
Elementos mecánicos auxiliares.....	58
Estructura	64
<i>Conexiónado neumático</i>	<i>66</i>
Cableado.....	68
Programación	70

Evaluación del sistema.....	77
Repetibilidad.....	77
Velocidad	79
Tiempo de ciclo.....	80
Mejoras realizables en trabajos futuros	83
Sustituir pinza neumática por electrónica	83
Comunicación bus de campo	84
Introducción de múltiples programas	84
Introducción de la visión artificial	84
Reducción de peso y tamaño para demostraciones en casa del cliente.	85
Conclusiones.....	86
Bibliografía	87

Introducción

El presente proyecto de fin de máster abarca la creación de un prototipo de un robot cartesiano para la manipulación de distintos elementos. Este manipulador se ha diseñado y fabricado con el objetivo de realizar las funciones de una estación de pick and place (sistemas de agarre y colocación). Este robot contará de tres ejes eléctricos, que realizarán los movimientos en los tres ejes cartesianos, y un sistema de agarre, que consiste en una pinza neumática.

Todas las fases que se describen en el presente trabajo se han realizado durante la estancia en la delegación de Levante, de la empresa SMC España S.A.

Para la selección de los componentes de la máquina se han estudiado los distintos productos que tiene la empresa para la posible solución del robot. Estos incluyen las distintas familias de productos, tanto electrónicos como neumáticos, así como sus distintos controladores y válvulas. Además, adicionalmente se han usado diversos programas de selección de actuadores. Este *software* es de uso libre, y puede ser proporcionado por la propia empresa, o bien descargados desde su web ("www.smc.eu" y "www.smcworld.com").

Posterior a la selección de los componentes que debe llevar el robot, se ha procedido al diseño en 3D de la estación. Los 3D de los elementos mecánicos comerciales se han descargado de la propia página web de la empresa. En cambio, las distintas piezas necesarias en el amarre de los ejes eléctricos, así como los dedos para la pinza, han sido diseñados mediante el programa SOLIDWORKS.

Seguidamente, para poder obtener una visión más amplia de la máquina a construir, se ha definido el modelo matemático que se pretende construir.

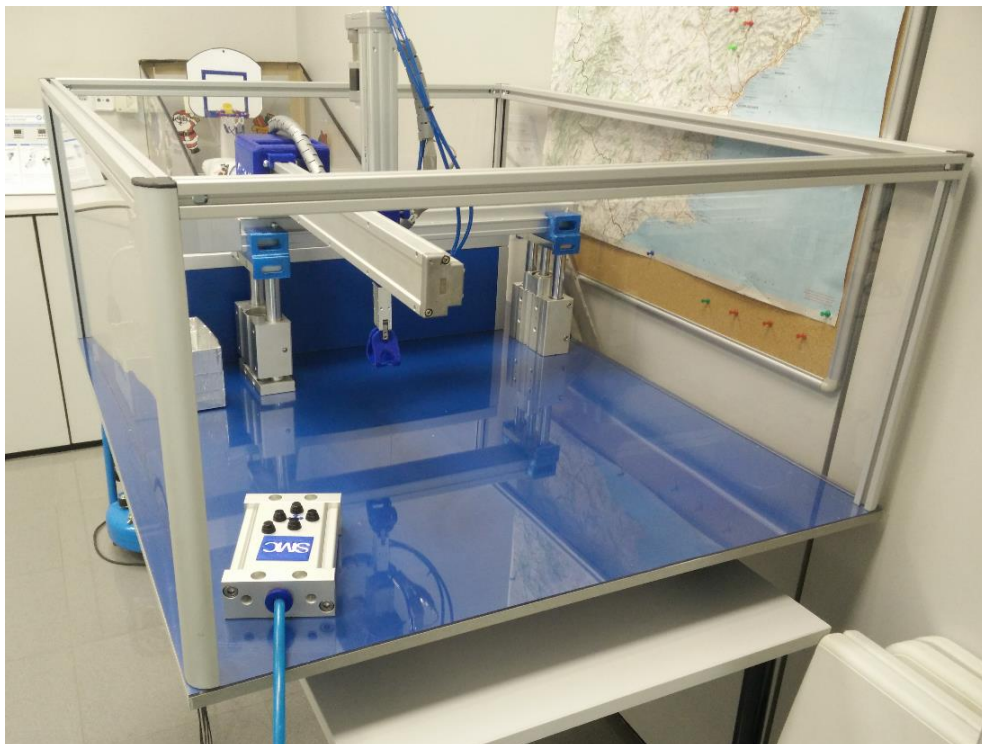
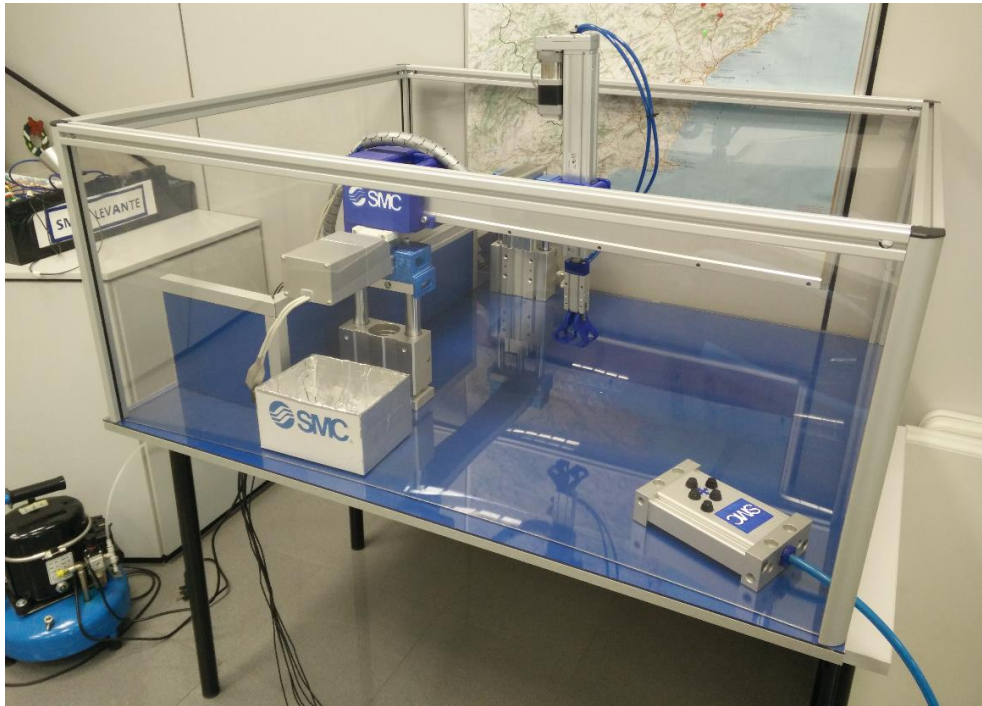
A continuación, se ha procedido a la construcción de la estación en sí, donde se han realizado distintos cambios y/o ajustes, con la finalidad de conseguir una máquina que funcione, no solo correctamente, sino también óptimamente.

Junto con la construcción se ha realizado el cableado y la programación necesaria. Esto incluye el correspondiente cableado entre los ejes y drivers, así como el cableado entre el autómatas y los drivers. También se ha realizado en esta fase el conexionado neumático de los distintos elementos.

En cuanto a la programación, se ha establecido una tabla de posiciones, con los distintos parámetros necesarios para los ejes (modo de actuación, posición, velocidad...). Además, se ha realizado un pequeño graficet del programa en el PLC, realizado mediante el software CX PROGRAMER, para poder poner en funcionamiento la estación.

Para concluir se han realizado distintas pruebas al mecanismo, a modo de obtener si el funcionamiento es correcto. Estas pruebas incluyen principalmente dos modos de evaluación. El primero es el correspondiente a las posiciones, y se trata de una prueba de repetitibilidad (tanto de un eje por separado, como del mecanismo completo). El segundo modo de evaluación es el correspondiente a la velocidad, midiendo si la velocidad del manipulador es la correspondiente a la programada (también por separado y con el mecanismo completo). Estas pruebas nos permitirán saber si la construcción y el ensamblaje han sido hechos correctamente.

Se pretende normalizar el uso de actuadores eléctricos en las empresas, ya que se trata de un avance a los sistemas neumáticos, debido al control que ofrecen. Aun así, al finalizar el documento se ha considerado oportuno dar pie a una serie de mejoras que se pretende establecer en un futuro, bien en el mismo manipulador, o bien construyendo uno nuevo, donde se pretenda dar todavía un paso más adelante, tecnológicamente hablando.



Objeto del proyecto

La construcción de esta estación parte de la necesidad de la empresa *SMC España S.A.* (más concretamente en la zona de Levante) de tener un manipulador ensamblado. Esto se debe a que se necesita disponer de él con dos fines diferenciados.

El primero de ellos es la presentación, a los distintos clientes y distribuidores, de un producto que está en alza en las industrias, cómo son los ejes eléctricos (similares a los cilindros neumáticos, pero con control electrónico). Estos nos permiten tener control total de la posición, velocidad y fuerza de distintas maniobras.

El segundo fin se trata de tener un elemento que nos permita la formación, tanto para internos de la empresa como para externos, en la programación de estos ejes. No se pretende abarcar la formación de la programación de la unidad PLC, que escapa de los productos propios de la empresa SMC, sino a la programación de los ejes en sí. Esta puede ser tanto en posiciones finales, como en velocidades y aceleraciones.

El presente manipulador, debe de asegurar la integración de todos los elementos que intervienen, correctamente, bien sean mecánicos, electrónicos, neumáticos o estructurales. Además, una vez esté construido, se debe aislar correctamente estos elementos, así como asegurar la seguridad.

Justificación

La justificación del proyecto realizado se enfoca desde dos puntos de vista distintos. Por una parte, se hablará de la justificación a nivel industrial, o a nivel de la empresa, y por otra parte se hablará de la justificación a nivel personal.

Por parte de la empresa se tiene la necesidad, como se ha comentado anteriormente, de construir esta máquina para poder usarla en distintos puntos. Además, también se tiene interés por parte de la empresa en que el alumno aprenda lo máximo posible, de los productos relacionados con la empresa, tanto a nivel neumático, como electrónico e informático.

A nivel personal, el presente trabajo pretende ser el medio para la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial, aplicando y validando los conocimientos adquiridos tanto en el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales como en el Máster en Ingeniería Industrial, que otorgan las competencias equivalentes a Ingeniero Industrial.

Estos conocimientos y competencias se han obtenido en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, perteneciente a la Universitat Politècnica de València.

Objetivos

Para lograr realizar el proyecto eficientemente, se han definido una serie de objetivos a los que se pretende llegar durante la construcción del manipulador. Uno de ellos se ha definido como objetivo principal, mientras que todos los demás se han propuesto como objetivos secundarios.

Objetivo principal

Como objetivo principal se propone, realizar el proceso de construcción de un prototipo de un robot cartesiano para aplicaciones de *pick and place*, comprendiendo las distintas fases del proyecto: diseño, construcción y evaluación.

Objetivos secundarios

Además de un objetivo principal, también se han definido una serie de objetivos secundarios:

- Aprender a identificar los distintos productos de la empresa SMC y conocer su aplicación en un sistema completo.
- Conocer y usar los distintos modos de programar los ejes del robot mediante el software de SMC, así como conocer el programa del PLC de CX Programmer.
- Saber, a través de un enfoque completo, todas las fases a la hora de realizar un proyecto en una empresa industrial.
- Aprender a realizar un trabajo en un equipo con unos objetivos y plazos fijados.
- Aplicar los conocimientos y aptitudes adquiridas durante la enseñanza.

Marco del proyecto

El manipulador realizado en este proyecto ha sido construido en la delegación de Levante de la empresa SMC España S.A., filial de SMC Corporation (o simplemente, SMC).

SMC Corporation es una multinacional japonesa, dedicada a la investigación, fabricación y venta de productos para la automatización industrial. Se trata de una empresa que está especializada en el campo de la neumática, productos con los que nace, aunque en la actualidad tiene actuadores neumáticos, eléctricos, sensórica, y distintos productos para el tratamiento del aire comprimido.

SMC España nace como filial de SMC, en el año 1990, para lograr dar servicio al mercado español y portugués. La sede central, y donde se tiene la fabricación estatal, está emplazada en la ciudad de Vitoria.

Más concretamente el presente TFM está realizado íntegramente en la delegación de Valencia, dentro del departamento de ingeniería de aplicación.



Fig. 1 Logo de SMC

Herramientas

En este apartado se presentarán las herramientas de software empleadas para la realización completa del robot. Se distinguirán tres tipos de herramientas software, las de diseño, las de apoyo y las de control.

En las primeras, las herramientas de diseño, se ha considerado tanto las herramientas de selección de componentes como las de diseño 3D. Entre ellas se encuentran el *software de selección de actuadores eléctricos* de SMC y el *SOLIDWORKS*.

En las herramientas de apoyo se ha incluido un software de selección de pinzas neumáticas y un visor online de CAD 3D de *Autodesk*.

Las herramientas que se han utilizado para el control del manipulador son el *CX Programmer* para la programación del PLC, un software para la parametrización de los drivers de los ejes eléctricos y el *LE ACT controler*, de SMC, para la programación de estos.

Solidworks

El Solidworks es un programa ampliamente conocido en el mundo industrial. Se trata de un software para el diseño 3D, con un formato usado en la mayoría de las empresas dedicadas al diseño y fabricación de maquinaria.

En nuestro caso se ha utilizado este software para el diseño de las piezas de anclaje entre los distintos ejes, los dedos de la pinza, y piezas auxiliares y de decoración.

Además, se ha utilizado este software en concreto ya que posteriormente al diseño, se han utilizado los archivos creados para fabricarlos en una impresora 3D.

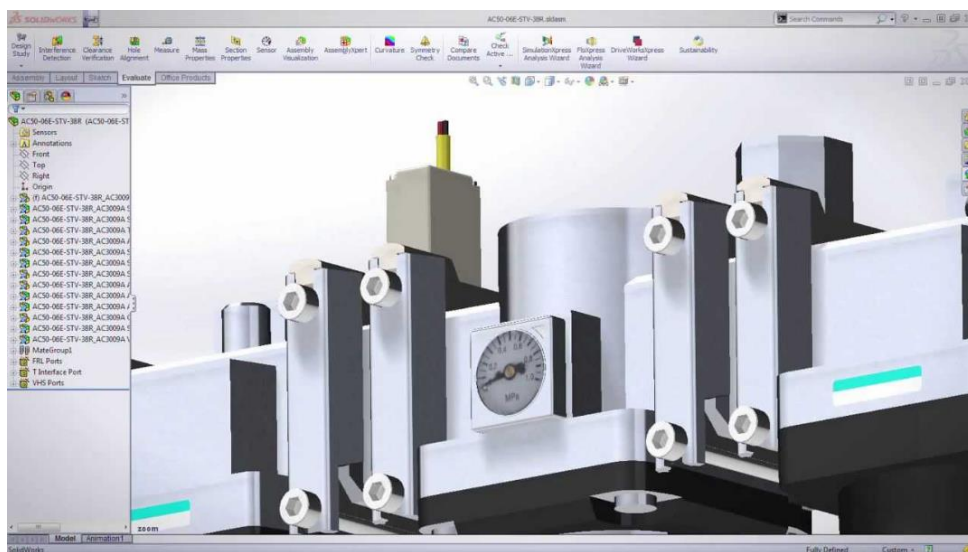


Fig. 2 Ejemplo de pantalla del Solidworks. Fuente: SMC

SMC Selector de actuadores eléctricos

Este software es un programa de uso libre, para la selección de actuadores eléctricos de la marca SMC. Se trata de una herramienta donde se han de introducir una serie de datos relativos a la aplicación (como pueden ser el tipo de actuador, la carga, los momentos que crea esta carga) y te devuelve el tamaño y las características del actuador idóneo a escoger.

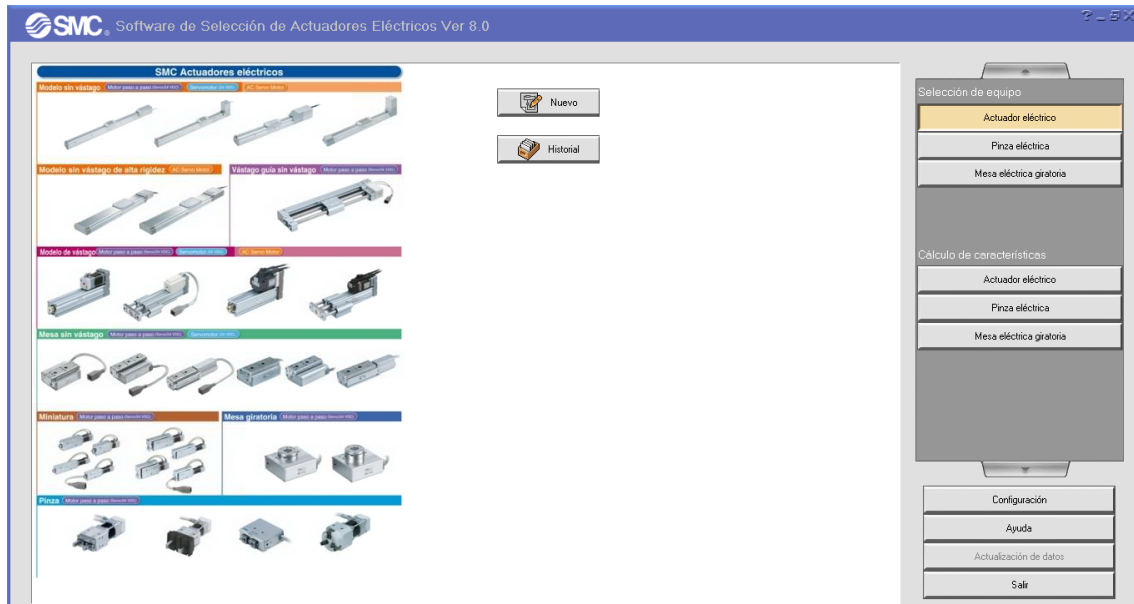


Fig. 3 Pantalla principal del software de selección de actuadores eléctricos de SMC

La Fig. 3 presenta un recorte de la pantalla principal de este software donde podemos observar una foto de todos los tipos de actuadores eléctricos disponibles, dentro de la gama de SMC.

Este software se puede usar, descargar y actualizar gratuitamente desde la página de SMC.

A360 Viewer

Se trata de una página web online, donde se pueden subir ciertos tipos de formato 2D y 3D (entre ellos .dwg, .dxf, .rvt, solidworks y .stp). Una vez la página carga el archivo seleccionador (desde el ordenador, o desde la nube), permite visualizar y medir la pieza realizada en el programa de diseño. Además, te permite compartir e imprimir los diseños subidos.

Se trata de un software promovido por el grupo Autodesk.

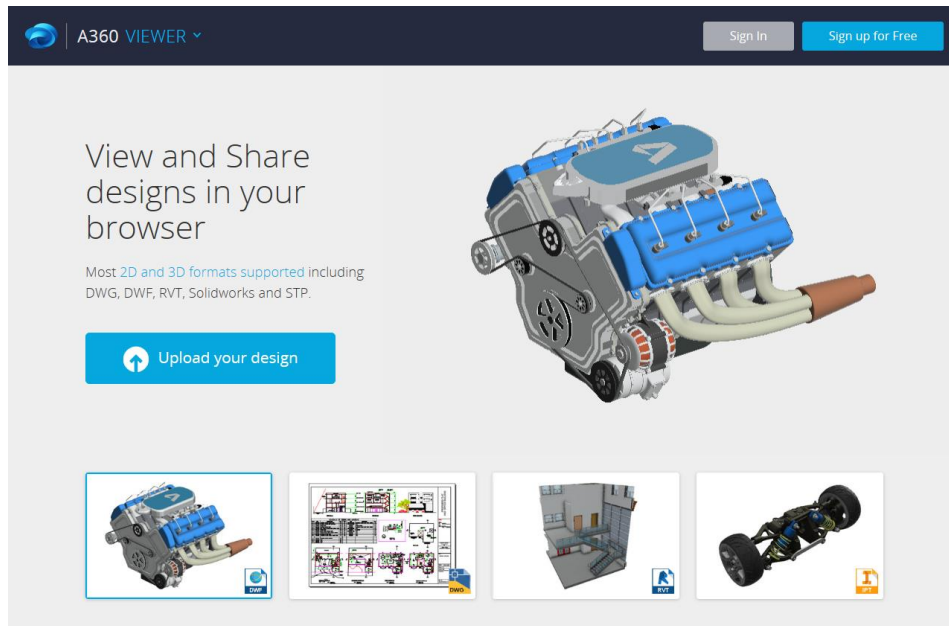


Fig. 4 Pantalla principal del visor online de Autodesk

En la Fig. 4 se puede ver la página principal del software de visualización 3D donde nos permite subir el archivo que se quiera.

Software de selección de pinza neumática SMC

Se trata de un programa para la selección de un actuador neumático de tipo pinza, donde se introducen una serie de parámetros (de forma similar al selector de actuadores eléctricos) y devuelve las series más recomendables para la aplicación señalada.

Este software está disponible en la página de Japón de SMC, sin necesidad de descarga.

Series incluidas

- MHZ2: Pinza neumática de apertura paralela (2 dedos)
- MHF2: Pinza neumática de perfil plano (2 dedos)
- MHL2: Pinza neumática de apertura paralela de gran apertura (2 dedos)
- MHR: Pinza neumática de apertura paralela. Actuación por giro (2 dedos, 3 dedos)
- MHK2: Pinza neumática de apertura paralela, mecanismo de guiado por cuña (2 dedos)
- MHS: Pinza neumática de apertura paralela (2 dedos, 3 dedos, 4 dedos)
- MHC2: Pinza neumática apertura angular (2 dedos)
- MHT2-Z: Pinza neumática apertura angular con mecanismo de palanca con enclavamiento (2 dedos)
- MHY2: Pinza neumática apertura angular 180°, Modelo leva (2 dedos)
- MHW2: Pinza neumática apertura angular 180°, plíñón-cremallera (2 dedos)

Precauciones

1. Los resultados de cálculo y dimensionamiento obtenidos con este Software podrán diferir de los obtenidos utilizando el método existente.
2. Cuando utilice cualquier equipo contenido en este Software, lea las "Instrucciones de seguridad", "Precauciones", "Precauciones específicas de producto" y "Características técnicas" descritas en el manual del equipo.
3. Este Software y el equipo en él contenido están sujetos a cambios sin previo aviso.
4. SMC no garantiza la calidad de este Software, incluyendo la precisión de los resultados de cálculo y dimensionamiento obtenidos con él.
5. SMC no se responsabiliza de ningún daño resultante del uso de este Software.

Fig. 5 Pantalla principal del software online de selección de pinza neumática

En la *Fig. 5* tenemos la página principal del software online de selección de pinzas neumáticas de SMC. Como se ha explicado anteriormente, se introducen los datos siguiendo una serie de pasos, y finalmente, da una serie de pinzas aplicables.

En este proyecto se ha usado como herramienta de apoyo a la primera selección manual, para confirmar que es correcta.

CX-Programmer

El CX-Programmer se trata del software de programación de PLC desarrollado por Omron. Se trata de un software que ha sido utilizado durante la realización del Máster en Ingeniería Industrial, y que permite la programación mediante diagrama de contactos (tanto de programas simples, como de estructuras complejas), con una interfaz sencilla.

En este proyecto ha sido utilizado por el programador, encargado del PLC.

LEC Data Writer

Se trata de un programa que ha sido utilizado para poder dar los parámetros de la mecánica a utilizar al driver de control. De esta manera, el driver es capaz de controlar el eje eléctrico, conociendo parámetros como paso del usillo, carrera máxima, etcétera.

Se trata de un software interno de SMC, que no se suministra, ya que cuando se solicita un driver en conjunto a un eje eléctrico, este ya viene parametrizado de fábrica.

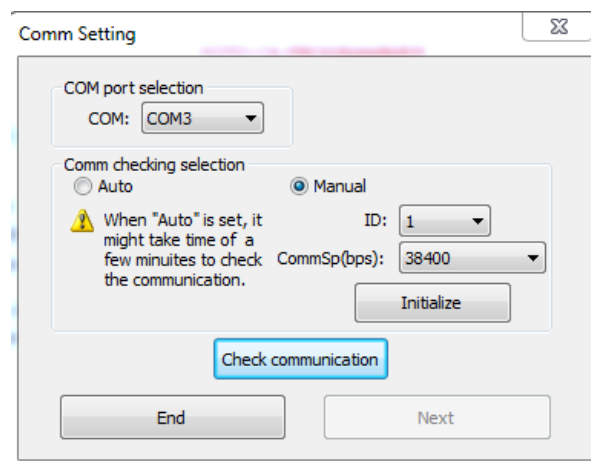


Fig. 6 Pantalla inicial del LEC Data Writer

LE ACT Controller

El Software de control de los ejes eléctricos se trata de un programa, suministrado junto a los drivers, de SMC donde se puede programar, mediante una tabla de posiciones (similar a una tabla Excel), los distintos parámetros para cada posición eje eléctrico.

Entre los parámetros que se pueden introducir tenemos: tipo de movimiento (absoluto o relativo), velocidad, posición, aceleración, deceleración, fuerza de empuje, etcétera. Una vez se programan todas las posiciones necesarias, bien mediante un PLC o mediante un ordenador (con el propio software) se le dan las señales necesarias al driver para que mueva el eje.

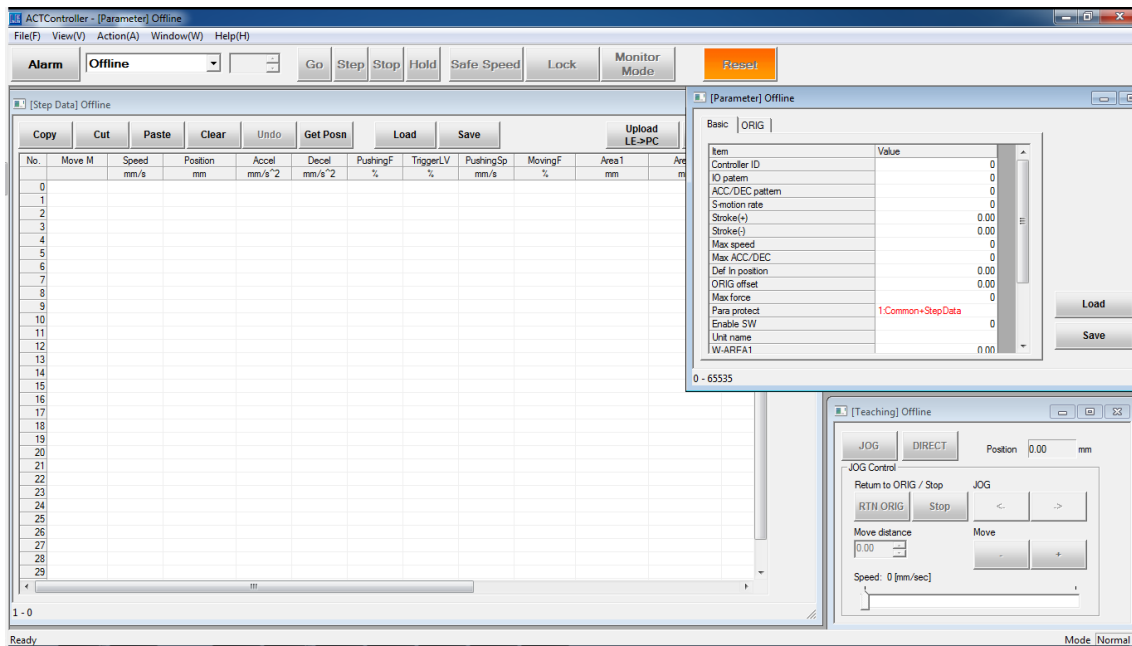


Fig. 7 Pantalla principal del software de programación de ejes eléctricos

En la Fig. 7 se puede observar la pantalla principal del software de programación de los ejes eléctricos, donde se tienen activas tres pantallas principales.

A la izquierda la mencionada tabla de posiciones, donde se introducen los datos. Arriba a la derecha los parámetros del eje para el que ha sido parametrizado el driver (en este caso el ordenador no estaba conectado a ningún driver). Abajo a la derecha se tiene la ventana de Teaching, desde donde podemos mandar ordenes al eje eléctrico para que se mueva.

Como se puede ver, se trata de un software de interfaz sencilla, donde es muy fácil la programación de los ejes eléctricos.

Antecedentes

En el presente apartado se va a realizar una introducción a los temas relativos al presente trabajo, así como una definición de los conceptos básicos que van a ser utilizados más adelante, en lo referente a la automatización, robótica y neumática.

Automatización

La palabra automatización, como su nombre indica, hace referencia a sistemas automáticos, o guiador por ellos mismos. Estos sistemas nacen con el propósito de poder sustituir los trabajos realizados por humanos o animales, bien por ser trabajos que requieran grandes fuerzas, sean peligrosos, etcétera.

Aunque parezca que este tema es nuevo, en la antigüedad ya se habían construido diversos automatismos con distinta finalidad. Desde los pequeños seres mecánicos creados por los egipcios en el 2000aC, hasta los complejos mecanismos creados por Herón en la antigua Grecia, en el 85dC (*Fuente: asignatura de robótica industrial*).

Como ejemplo curioso, se puede hacer referencia a un mecanismo creado por Herón, y que pertenecía a un templo en Alejandría. Mediante un sistema de depósitos a presión comunicados, y un sistema de poleas, se consiguió automatizar las aperturas y cierres de estas puertas.

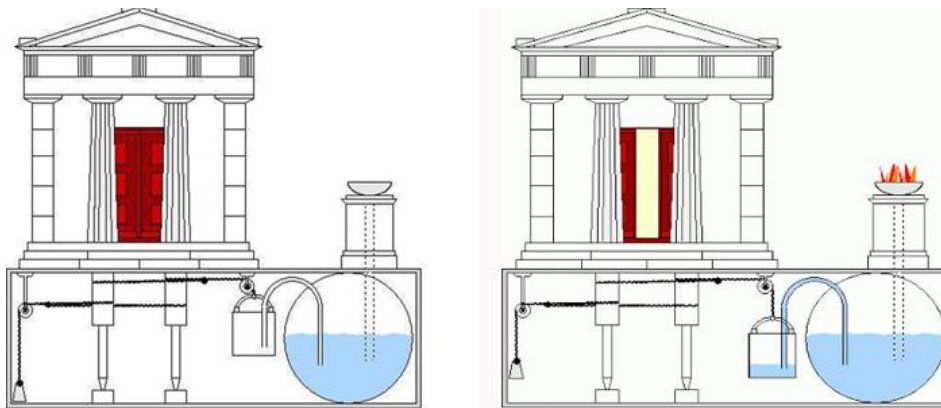


Fig. 8 Mecanismo de apertura de puertas automático. Fuente: www.qrbautomatics.es

Otro de los grandes avances en la automatización industrial fue la revolución industrial, más concretamente la construcción de la máquina de vapor y la construcción de las tarjetas perforadas.

La primera conseguía realizar trabajos donde se necesitaban grandes fuerzas, por ejemplo, para el transporte de grandes cantidades de materiales.

La segunda, fue un invento de Joseph Marie Jacquard que revolucionó la industria textil mediante estas pequeñas tarjetas perforadas, que realizaban el control de los grandes telares. Esto se utilizará más adelante para la creación de los primeros ordenadores. En la actualidad se puede decir que se han reemplazado por los PLCs, en la industria.

El principal problema surge en que estos sistemas son muy poco versátiles, con lo que, serán utilizados sobretodo en trabajos repetitivos, dónde no haga falta una modificación muy grande para obtener distintos formatos en la producción.

Con todo esto, nace una nueva máquina industrial, llamada robot, que sí que permite cierta versatilidad.

Robótica

Aunque anteriormente, en el siglo XVIII ya se han construido máquinas autómatas simples, reproduciendo actividades cotidianas (músicos, escribanos, jugadores de ajedrez...), no es hasta el 1921, en una obra de teatro de K. Capek, donde aparece el término *robot*.

Pero no será hasta el 1959 cuando George Devol, junto a Joseph F. Engelberger, desarrollan el primer robot. En 1961, la empresa Unimation (fundada por Devol y Engelberger) instala en GM el primer robot industrial, que se trata de un robot de 1800Kg, 65.000\$, que manejaba piezas de metal fundido (*Fuente: asignatura de robótica industrial*).

A partir de aquí, las distintas empresas, sobretodo del sector del automóvil, han ido instalando los distintos tipos que han ido surgiendo. Esto se debe a que es un sector de grandes producciones repetitivas, donde se realizan tareas que pueden resultar peligrosas y repetitivas para el ser humano.

Actualmente, y cada vez más, las empresas instalan tanto estaciones de automatización, cómo robots industriales, con el fin de mejorar la producción y disminuir el riesgo de accidente laboral, *Fig. 9*.

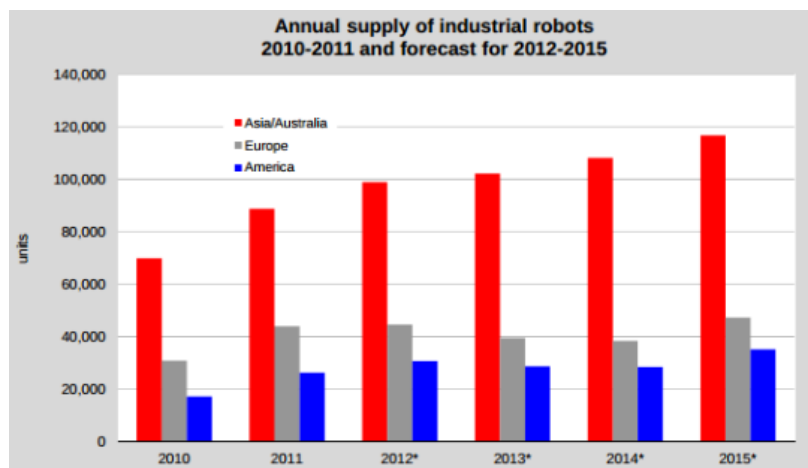


Fig. 9 Número de robots instalados desde 2010 hasta 2015. Fuente: www.ciencia-explicada.com

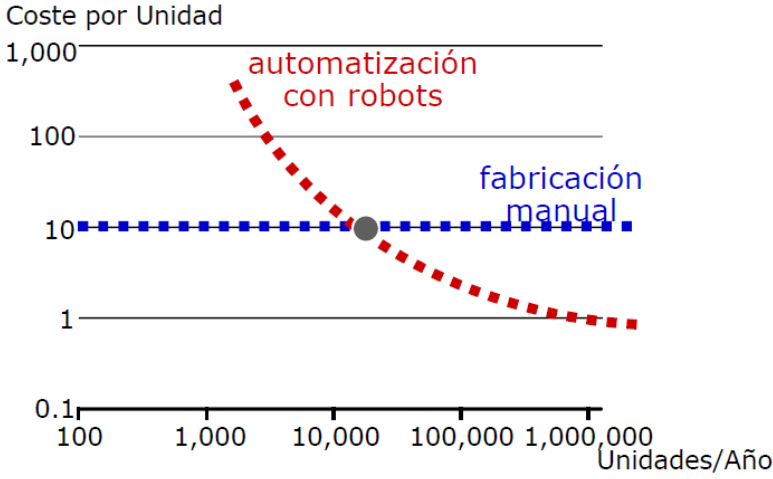


Fig. 10 Diferencias entre fabricación manual y con robots. Fuente: Asignatura Robótica Industrial

Pero la decisión de instalar una estación automatizada requiere de una inversión inicial importante. Esto supone un aumento notable del coste de producción por unidad para pequeñas cantidades, con lo que solamente será rentable para grandes lotes de unidades Fig. 10.

Esta inversión es debido a que cuando se habla de estación de automatización, o de robot industrial, no solamente engloba la mecánica o los actuadores, sino todo el conjunto de unidad (o unidades) de control, sensores, actuadores, unidad de potencia y la estructura mecánica del robot.

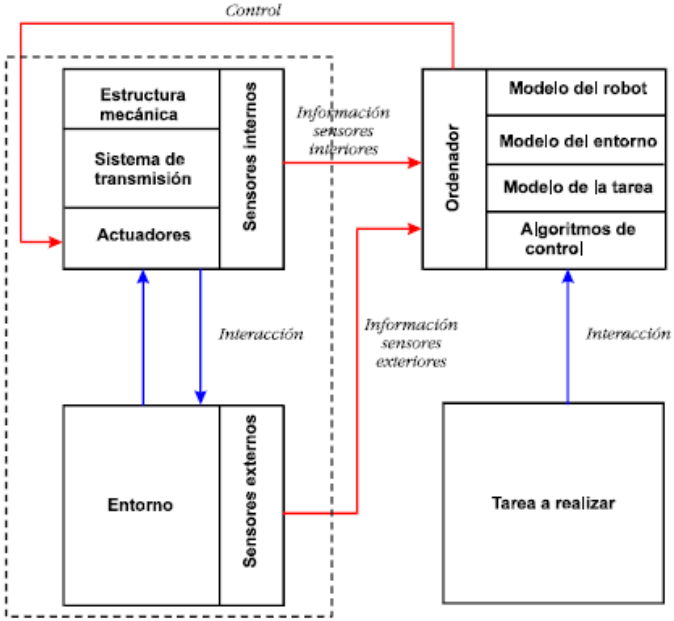


Fig. 11 Esquema de funcionamiento de un robot. Fuente: asignatura Robótica Industrial

Tipos de robots

En este apartado se hará una diferencia entre los tipos de robots más comunes haciendo mención a su configuración de articulaciones y su espacio de trabajo.

Primeramente, se van a definir el tipo de articulaciones.

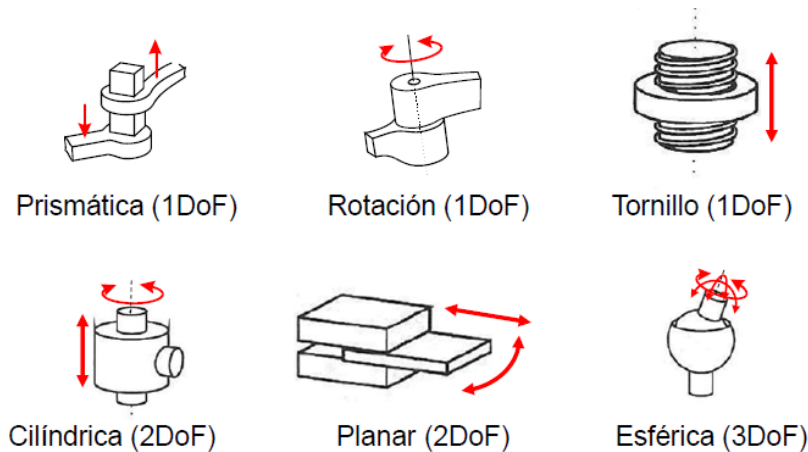


Fig. 12 Tipos de articulaciones. Fuente: asignatura Robótica Industrial

Numerándolas de izquierda a derecha, y de arriba abajo, tenemos la primera articulación prismática, que permite el desplazamiento de una barra sobre la otra solamente en una dirección, impidiendo también cualquier giro entre ellas.

La segunda es la articulación de rotación, que solamente permite el giro entre las dos barras en un eje. La siguiente es el tornillo, que similar a un eje roscado con una tuerca, transforma el movimiento circular de la rosca hembra en movimiento lineal del eje macho. Estas tres tienen, por tanto, solamente un eje de libertad.

Por otra parte, tendríamos articulaciones de dos grados de libertad, como puede ser la cilíndrica, que permite el desplazamiento en un eje y la rotación sobre este, como una combinación de una prismática con una de rotación. También con dos grados de libertad está la planar, que permite el desplazamiento en una, o dos direcciones, o desplazamiento y giro (representado en la Fig. 12).

Otra de las articulaciones utilizadas es la esférica, que permite el giro en tres ejes distintos, y por tanto tiene tres grados de libertad.

Con estas articulaciones se pueden construir distintos tipos de robots, de los cuales se presentan los más utilizados:

- Robot cilíndrico (RPP)
- Robot polar o esférico (RRP)
- Robo cartesiano (PPP)
- Robot articulado (RRP/RRR)
- Robot paralelo

El primero se trata de la combinación de dos ejes lineales con uno rotacional, y tiene ese nombre debido a que la zona de actuación que forma es similar a un cilindro. Similar a este, pero con dos ejes de rotación y uno lineal es el robot polar o esférico.

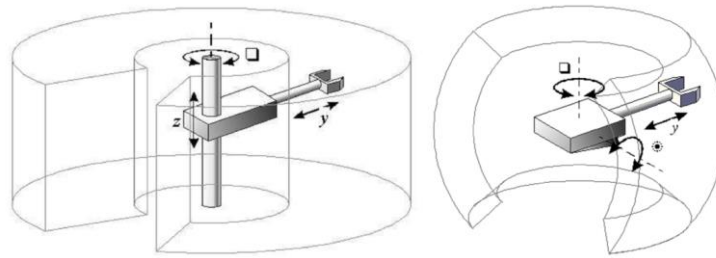


Fig. 13 Robot cilíndrico(izquierda) y robot esférico (derecha). Fuente: <http://www.udesantiagovirtual.cl>

Después se tiene el tipo de robot en el que basaremos el presente proyecto, el robot cartesiano, llamado así porque tiene tres ejes lineales que forman un sistema de coordenadas ortogonales.

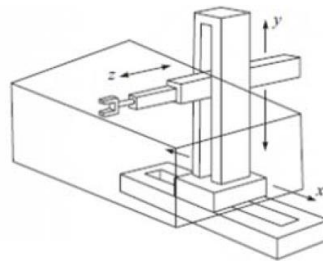


Fig. 14 Robot cartesiano. Fuente: asignatura Robótica Industrial

El siguiente tipo es el robot articulado, que engloba varios tipos de robot. Dentro de estos se distinguen el tipo de robot SCARA, caracterizado por tener dos ejes de rotación y uno lineal vertical (RRP), y el antropomórfico, que tiene tres ejes de rotación (RRR), llamado así por su similitud al brazo humano.



Fig. 15 Robot SCARA (izquierda) y antropomórfico (derecha). Fuente: asignatura Robótica Industrial

Por otra parte, tenemos los robots de configuración en paralelo, los cuales, en vez de articulaciones en serie, como todos los otros tipos, las tiene en paralelo.

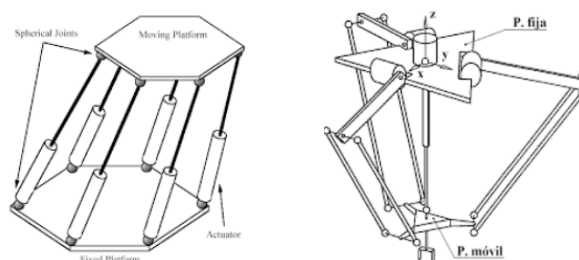


Fig. 16 Ejemplos de robots paralelos. Fuente: www.imac.unavarra.es

Electroneumática

La raíz neumática proviene de la palabra “pneuma”, que en griego significa respiración, viento, y alma. Es la tecnología que se refiere al uso y estudio del aire comprimido, como fuente de transmisión de energía para mover distintos mecanismos y actuadores. Aprovecha las características elásticas del aire, para almacenar la energía comprimiéndolo, permitiendo devolverla al expandirse.

Las principales ventajas de la neumática es el bajo impacto económico de sus componentes y la seguridad en cuanto a explosiones si se trabaja a bajas presiones. La principal desventaja es la inestabilidad de caudal y presión si se trabaja a grandes distancias o con fugas. También puede ser en algunos casos difícil de obtener.

Posiblemente las primeras aplicaciones de neumática usarían aire comprimido mediante los propios pulmones. No fue hasta el 1500aC cuando se construyó el primer compresor mecánico de fuelle manual, y se usaba para enfriar los metales y avivar el fuego en las fundiciones del antiguo Egipto (*Fig. 17*).



Fig. 17 Imagen de los primeros fuelles de pie. Fuente: www.mundocompresor.com

En el siglo XVII, una serie de científicos como Pascal, Boyle, Torricelli, Gay Lussac, Mariotte, empezaron a estudiar el aire comprimido como fuente de energía, se empiezan a construir los primeros prototipos de compresores y herramientas.

En el 1857 se consigue realizar la perforación del túnel de Mont-Cenis, mediante una tuneladora neumática, funcionando con aire comprimido a unos 6 bares, permitiendo la excavación con unos medios mucho más cortos que los tradicionales. Otro hito importante fue la construcción de una red de distribución de aire en París en el 1888.

Normalmente el circuito neumático más básico está formado por el compresor (generador de energía), tanque (almacenamiento), tratamiento de aire (para evitar impurezas del exterior y del compresor), válvulas (control) y actuadores (cilindros, etc.).

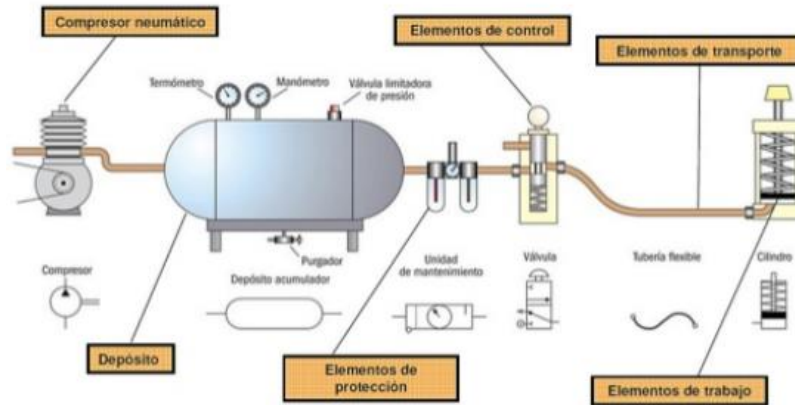


Fig. 18 Esquema del circuito neumático básico. Fuente: SMC

Actualmente los sistemas de aire comprimido se mezclan y complementan con los circuitos electrónicos, que permite aprovechar mucho más las posibilidades de la neumática, mejorando sustancialmente el control de esta. Es de uso general válvulas de bobinas, sensores electromagnéticos, unidad de control, etc. A esta mezcla de ambas tecnologías se le denomina electroneumática.

SMC

SMC nace el 27 de abril de 1959 en la ciudad de Tokio (Japón) con el nombre de Sintered Metal Company Ltd., gracias a un grupo de personas especializadas en la fabricación de filtros de metal sinterizados. En el año 1961 empieza a especializarse en productos neumáticos como equipos de tratamiento y cilindros, siendo en la actualidad una de las marcas referentes mundiales en productos de neumática.

La expansión fuera del mercado japonés se produce en el 1967, en Australia, y se establece en Europa, en Suiza, en el 1976. En 1990 se establece la subsidiaria SMC España. A raíz de esta internacionalización, en 1986 se decide cambiar el nombre al de SMC Corporation, introduciendo la marca SMC en el mercado mundial.

En el 1987 empieza a cotizar en la bolsa de valores de Tokio (Tokyo Stock Exchange), y actualmente se encuentra en el grupo de las 70 empresas de acciones más líquidas y de alta capitalización TOPIX Large 70.

Actualmente dispone de oficinas en 82 países, entre los que se encuentran 35 plantas de fabricación en todo el mundo (incluido España), centros técnicos en Japón, EEUU, Londres y Alemania, un almacén central en Bélgica, y un centro de marketing europeo en España.

Diseño y modelo matemático del robot cartesiano

En el presente apartado se presentará como se ha realizado la elección del tipo de robot a emplear, el modelo matemático que este representa, y como se ha realizado toda la fase de selección de componentes.

Primeramente, se definirá el tipo de manipulador en base a los tipos más comunes de robots, ya presentados, incluyendo una serie de esquemas.

Posteriormente se presentará el modelo matemático de la estación de Pick and Place a construir, y finalmente, se realizará la selección de los componentes neumáticos y eléctricos que estarán presente en el manipulador.

Tipo de manipulador

El tipo de robot que se ha elegido para la realización de la estación de Pick and Place es el tipo PPP, ya que es el más fácil de obtener con los productos disponibles (ejes eléctricos lineales). Si se quisiera tener un actuador rotatorio de grandes dimensiones sería necesario comprarlo a una empresa externa.

Además, es una aplicación muy usada en las empresas cuando se requiera de una solución fácil, rápida y económica.

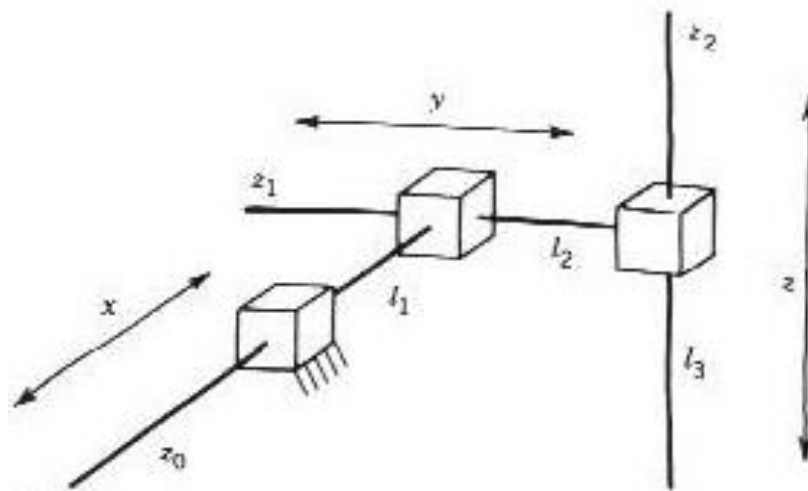


Fig. 19 Esquema del robot PPP. Fuente: <http://www.bridgeport.edu/>

En la Fig. 19 tenemos un esquema del tipo de robot que se va a diseñar. Este tipo de robots se desplazan a través de los tres ejes cartesianos mediante tres articulaciones prismáticas.

Para el movimiento en el eje Z utilizaremos un cilindro eléctrico donde acoplaremos la pinza neumática al extremo. Este se montará sobre un actuador eléctrico sin vástago, cuyo carro se moverá a lo largo del eje Y. De la misma forma, el sistema se montará sobre un actuador eléctrico sin vástago, cuyo carro se moverá a lo largo del eje X.

En la *Fig. 20* podemos ver un ejemplo del cilindro eléctrico, que representará el eje Z del robot, y en la *Fig. 21* se tiene un ejemplo de actuador sin vástago, que se utilizará para los ejes X e Y del robot.



Fig. 20 Cilindro eléctrico. Eje Z.



Fig. 21 Actuador eléctrico sin vástago. Ejes X e Y.

Modelo matemático – Denavit-Hartenberg

Aunque la finalidad de este TFM es presentar el diseño y construcción de un robot cartesiano, y no el estudio de un modelo matemático profundo mediante análisis de la cinemática y dinámica, directa e inversa, sí que se pretende dar un pequeño estudio matemático representativo del modelo, así como la obtención de los parámetros de Denavit-Hartenberg, para un posible estudio posterior.

Con Denavit-Hartenberg se tratará de obtener un modelo que nos permita tener la posición del elemento final (en nuestro caso la pinza) en una posición definida por la posición de los distintos elementos que conforman el sistema. Esto se podrá saber mediante una matriz de transformación, obtenida con la tabla de Denavit-Hartenberg.

Para llegar hasta la tabla, se aplicarán una serie de pasos:

1. Definir los ejes Z_i de cada articulación. La dirección será la correspondiente al eje característico del nudo. En la articulación prismática, dirección del movimiento permitido.
2. Definir los ejes X_i de cada articulación. Estos ejes se deben definir de manera que sea la perpendicular común a los ejes Z_{i-1} y Z_i .
3. Definir los ejes Y_i de cada articulación. Deben formar un sistema tri-rectangular, cumpliendo con la regla de la mano derecha.
4. Construir la tabla de Denavit-Hartenberg. Obteniendo los parámetros a , d , α y θ de cada nudo.

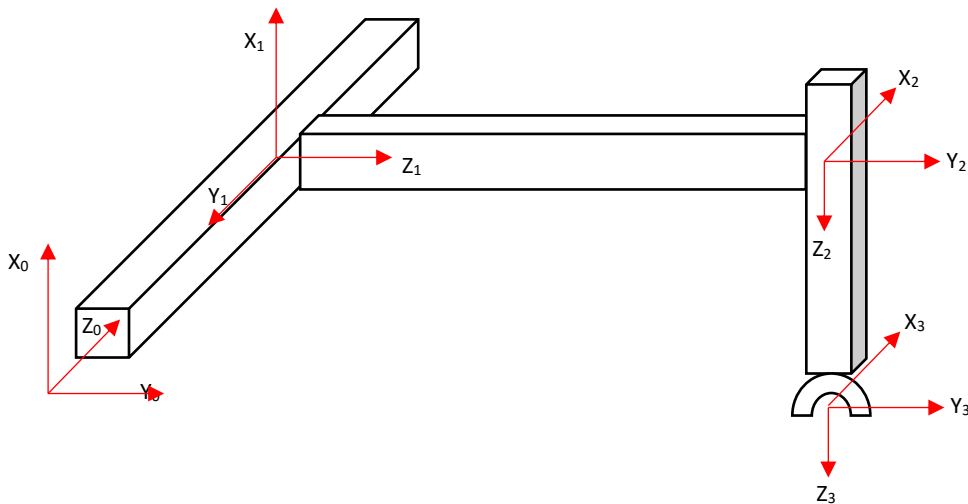


Fig. 22 Definición de los ejes según Denavit-Hartenberg

Para la construcción de la tabla se necesita tener en cuenta varios factores, a la hora de sacar los parámetros de cada barra:

1. Parámetro a_i . Se puede obtener como la distancia entre los ejes Z_{i-1} y Z_i , en la dirección del eje X_i .
2. Parámetro α_i . Este parámetro se obtiene como el ángulo de giro entre los ejes Z_{i-1} y Z_i , alrededor del eje X_i .
3. Parámetro d_i . Se obtiene como la distancia entre los ejes X_{i-1} y X_i , en la dirección del eje Z_{i-1} .
4. Parámetro θ_i . Este parámetro se obtiene como el ángulo de giro entre los ejes X_{i-1} y X_i , alrededor del eje Z_{i-1} .

Barra	a_i	α_i	d_i	Θ_i
1	0	90	d1	0
2	0	90	d2	-90
3	0	0	d3	0

Fig. 23 Tabla de Denavit-Hartenberg

En la Fig. 23 se ha representado la tabla de parámetros según Denavit-Hartenberg, a partir de la cual se podrían obtener las matrices de transformación consecuentes, para poder realizar el análisis cinemático y dinámico del robot.

Selección neumática

Aquí se van a seleccionar todos los elementos neumáticos, tanto el actuador, la válvula que lo activa y todo el conexionado neumático.

Actuador

En este apartado se considerará la selección del actuador neumático en base a unos parámetros de la carga, que debemos tener en cuenta.

Lo primero que se ha tenido en cuenta, es cuál va a ser la manera de sujetar la carga, ya que existen básicamente dos formas de realizarlo, bien con una pinza neumática, o bien con una ventosa, por vacío.

El funcionamiento de la primera es muy sencillo, ya que simplemente transforma la energía de presión en un pequeño cilindro, en fuerza de amarre en los dedos de la pinza. En el segundo caso es más complicado, ya que el amarre se hace mediante una ventosa, a la que le aplicamos un caudal y una presión de vacío.

Este vacío se puede obtener de dos maneras, bien mediante una bomba de vacío, o lo podemos obtener con un eyector, por efecto Venturi, como podemos ver en la Fig. 24. Se puede observar, cómo mediante la alimentación de un fluido a cierta presión, por efecto Bernoulli, conseguimos un caudal de succión en la toma de vacío. El principal problema de este método es que necesitamos mantener un consumo de aire para poder mantener la succión.

Ley de conservación de la energía, ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2} \delta \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \delta \cdot v_2^2$$

Siendo:

P_i = Presión en el fluido en el punto "i"

δ = Densidad del fluido

v_i = Velocidad del fluido en el punto "i"

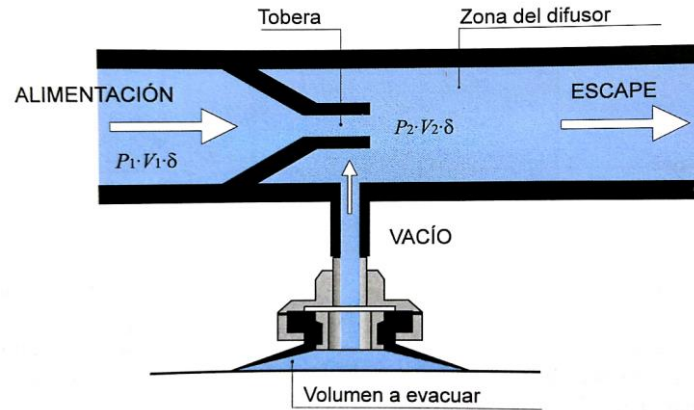


Fig. 24 Funcionamiento de un eyector. Fuente: SMC

La carga que se quiere manipular se trata de bombones, polvorones, y artículos de pequeño tamaño y forma irregular, que hacen imposible que la ventosa acople bien, con lo que difícilmente podremos llegar a hacer vacío.

Por ello se ha optado por una pinza neumática, con un diseño de los dedos que permita coger la pieza por debajo, sin que llegue a romper la carga con la fuerza.

Para la selección de la pinza neumática se deben de tener en cuenta ciertos factores.

Lo primero que se debe tener en cuenta es el tipo de pinza con el que se quiere trabajar. En la gama de SMC podemos encontrar pinzas de 2, 3 y 4 dedos.



Fig. 25 Tipos de pinza según el número de dedos

En la Fig. 25 tenemos los distintos tipos de pinzas según el número de dedos que tienen. Como se puede observar, a la izquierda tenemos las pinzas de dos dedos, en la imagen central las de tres dedos y a la derecha la pinza de cuatro dedos.

En nuestro caso, como las piezas tendrán distinto tamaño, no serán muy pesadas y además los dedos estarán diseñados de manera que cojan la pieza por debajo; podemos utilizar una pinza de dos dedos, pequeña, de manera que el peso que deberán soportar los otros elementos será menor.

Las pinzas de tres y cuatro dedos se utilizan mucho para amarrar ejes, en máquinas herramienta, etcétera.

Una vez se ha seleccionado el tipo de pinza, en relación al número de dedos, debemos seleccionar como queremos que sea la apertura de estos, ya que dentro de las pinzas de dos dedos podemos encontrar de apertura paralela, de apertura angular a 180 grados y de apertura variable. Esto se puede ver mejor con una imagen en la Fig. 26.

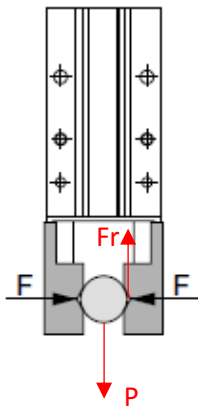


Fig. 26 Tipos de pinzas dentro de las de dos dedos

Se puede ver en la anterior figura, a la izquierda del todo las pinzas de apertura paralela, en la imagen central las pinzas de dos dedos de apertura angular menor a 180° y en la derecha del todo las de apertura angular de 180°.

En el caso del robot cartesiano, necesitamos que los dedos se retiren por completo de la zona de carga, ya que tendremos diversos artículos cerca y es posible que se obstaculicen los dedos de la pinza. Por esto mismo, seleccionamos la pinza de apertura a 180°.

Lo segundo es calcular la fuerza que necesitamos hacer con la pinza. En nuestro caso tenemos una masa, por ejemplo, de 0.05 Kg, y según el esquema siguiente:



Como vemos en la figura, considerando solamente la fuerza de un dedo:

$$Fr = P * k \rightarrow F = \frac{1}{\mu} \cdot k \cdot m \cdot g$$

Siendo:

- F la fuerza de un dedo
- μ el coeficiente de fricción: 0,1 (0,2 si ponemos un material rugoso)
- k un factor de seguridad: 2
- m el peso: 0,05 Kg
- g la gravedad: 9,81 m/s²

Como resultado F = 10 N

SMC aconseja una fuerza en los dedos de entre 10 y 20 veces el peso de la pieza. En este caso cumplimos.

Una vez sabemos el peso, recurrimos a las curvas de presión necesaria según el punto de presión y la fuerza de presión. Elegimos el tamaño 16, y comprobamos la gráfica. En el anexo se disponen las distintas características para los distintos tamaños de pinzas.

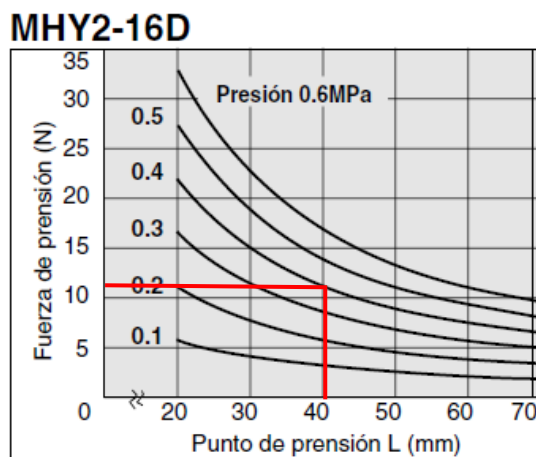


Fig. 27 Curvas Fuerza-Punto de presión a distintas presiones

Como se observa en la figura para una distancia al punto de presión de unos 40mm y a una presión de 4 bares, tenemos aproximadamente 11 N, luego nos sirve esta pinza. El tamaño más pequeño (10), no llegaría en fuerza, y además tiene unas dimensiones demasiado pequeñas, que pueden dificultar el montaje.

En concreto la referencia de la pinza es MHY2-16D, las características principales están en la Fig. 29, y una imagen de la misma se puede ver en la siguiente figura, Fig. 28:

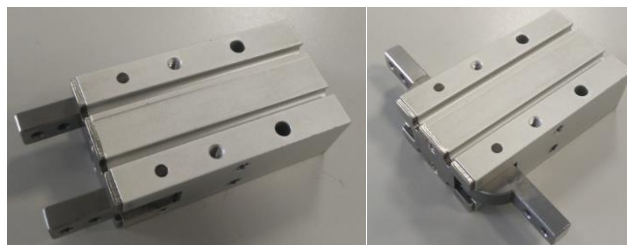


Fig. 28 Pinza seleccionada con los dedos cerrados (izquierda) y abiertos (derecha)

Modelo	Diámetro (mm)	Fuerza efectiva de presión (Nm) (1)	Ángulo de apertura (ambos lados)		Peso (g) (2)
			Lado apertura	Lado cierre	
MHY2-10D	10	0.16	180°	-3°	70
MHY2-16D	16	0.54			150
MHY2-20D	20	1.10			320
MHY2-25D	25	2.28			560



Nota 1) A una presión de 0.5 MPa
Nota 2) No incluido el detector magnético

Fig. 29 Tabla del modelo de pinzas MHY. Fuente: Catálogo SMC

Toda esta selección la podemos confirmar mediante el AIR GRIPPER MODEL SELECTION SOFTWARE, que se trata de un programa online, presente en la web japonesa de SMC (www.smcworld.com) donde, siguiendo una serie de sencillos pasos, nos da la pinza que se debe usar.


Lo primero que nos pide es ir seleccionando el tipo de pinza que necesitamos, como se ve en la Fig. 30. Además, en la parte inferior tenemos una pequeña descripción.

SMC Design Support Software Language:English


Air Gripper Model Selection Software

Selection Classification → Input Data → Selection Series → Confirmation of External Force → Selection result

1. Select the operation type.




Parallel Type




Angular Type

2. Select the fingers.

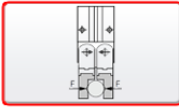


Opening Angle 20°-30° Type



Opening Angle 180° Type

3. Select the gripping method.



External Gripping

Type	Series	Opening angle(Both sides) ^o	Grippi Ng force N	Gripping point mm	Over mmang mm
Cam Style	MHY2	Max.180	Max.91	20~90	Max.57
Rack & Pinion Style	MHW2	Max.180	Max.265	12~200	Max.200

Return Next

Version:1.0.13

Fig. 30 Selección del tipo de pinza, mediante el Air Gripper Model Selection. Fuente www.smcworld.com

Seguidamente introducimos los datos correspondientes a la carga que se va a manejar con la pinza.

The interface includes three diagrams on the left:

- Opening angle(Both sides):** A top-down view of the gripper with an 'Open' label and arrows indicating the opening angle.
- Required Gripping Force F:** A side view showing forces F , μF , and mg . The formula $F = \frac{mg}{2 \times \mu} \times 4 = \alpha \times mg$ is shown.
- Gripping point L and over Hang H:** A side view showing the gripping point, length L , and overhang H .

On the right, there are input fields with radio buttons:

- Operating pressure: 0.5 MPa (Input value range [0.1~0.7])
- Required Gripping Force F: 3 N (range [0.01~265])
- Workpiece mass m: 0.050 kg (range [0.001~2.704])
- Coefficient of friction μ : 0.1 (range [0.1~1])
- Safety factor α : 20 (range [10~100])
- Gripping point L: 30 mm (range [12~200])
- Over Hang H: 0 mm (range [0~200])

Fig. 31 Introducción de los datos de carga mediante el Air Gripper Model Selection.

Para finalizar se selecciona si se quiere de simple o doble efecto, con o sin detección magnética y otras opciones. Seleccionamos el modelo concreto de pinza, y también se puede sacar datos de factor de carga tanto en fuerza como en momento, de la referencia en concreto. Como podemos ver, nos da el mismo modelo que habíamos seleccionado a mano, la pinza neumática MHY2-16D, como primera opción.

5. Select the Specifications.

Action: Double acting
 Dust cover: Without Dust cover
 Magnet: Built-in magnet(Auto switch mountable)

6. Select the product number. Applicable product No. 3 Case

	Product number	Bore size mm	Max. opening angle (Both sides)°	Repeatability mm	Max. operating frequency c.p.m	Gripping Force F Load factor	Gripping point L Load factor	Over Hang H Load factor
<input checked="" type="radio"/>	MHY2-16D[-]-[-]-[-]	16	180	+/-0.2	60	52%	43%	0%
<input type="radio"/>	MHY2-20D[-]-[-]-[-]	20	180	+/-0.2	60	26%	38%	0%
<input type="radio"/>	MHY2-25D[-]-[-]-[-]	25	180	+/-0.2	60	13%	33%	0%

Válvula

En este apartado se seleccionará la válvula necesaria para activar la pinza neumática anteriormente elegida.

Lo primero es conocer la nomenclatura de las válvulas según su función. Esta se define en términos según el número de posiciones, la cantidad de vías, la posición en que esta normalmente y el método de activación.

El número de posiciones representa la cantidad de estados en los que podemos encontrar a la válvula funcionando. Lo más común es tener dos posiciones (por ejemplo, abierta por la salida A y abierta por la salida B), aunque existen de más.

La cantidad de vías representa el número de orificios de presión que dispone. Se pueden encontrar de dos vías (entrada y salida), de tres vías (entrada, salida y escape de aire) de cuatro, de cinco, etcétera.

Estas dos características se suelen nombrar como una fracción, dónde el primer número representa las vías y el segundo las posiciones. Por ejemplo, a una válvula de 5 vías y 2 posiciones, se le llama una válvula 5/2.

Además, según cual es la posición que esta la válvula en reposo, se dirá que la válvula es normalmente abierta o normalmente cerrada. En la Fig. 32 podemos ver un esquema con las funciones de las válvulas más típicas. La flecha representa la dirección del caudal de aire.

Tabla con la representación de válvulas de distribución.			
	Válvula 2/2 normalmente cerrada		Válvula 3/3 con posición neutra normalmente cerrada
	Válvula 2/2 normalmente abierta		Válvula 4/3 con posición neutra normalmente cerrada
	Válvula 3/2 normalmente cerrada		Válvula 4/3 con posición neutra a escape
	Válvula 3/2 normalmente abierta		Válvula 5/2
	Válvula 4/2		Válvula 5/3 en posición normalmente cerrada
	Válvula 4/2 normalmente cerrada		Válvula 5/3 en posición normalmente abierta

Fig. 32 Funciones más típicas de las válvulas. Fuente SMC

A parte de estas características, la siguiente más importante es el método de activación de una válvula, ya que puede ser de activación manual, eléctrica, neumática, etcétera; según como es la fuerza que hace que se mueva la corredera. Además, dependiendo del método de retorno a la posición de reposo pueden ser monoestables, si el retorno es automático, por un muelle, o biestables, si necesitamos otra señal.

Así mismo, un tipo muy común de activación es la de la válvula servopilotada. Este tipo hace referencia a una válvula que se activa con una señal eléctrica, pero a la vez se ayuda de aire a presión para mover la corredera, lo que hace que el tamaño de la bobina sea mucho más pequeña que en el caso de activación eléctrica directa.

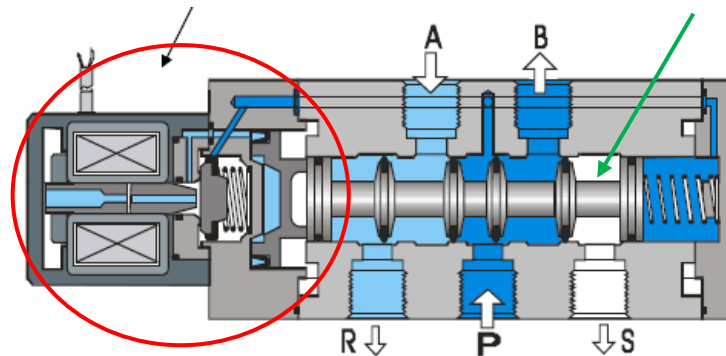


Fig. 33 Esquema de una válvula 5/2 servopilotada, monoestable. Fuente SMC

En la Fig. 33 podemos observar el dibujo de una válvula de 5 vías y 2 posiciones, servopilotada, monoestable, donde se puede ver la bobina (marcada en rojo), que activa un pequeño conducto de aire, que proviene de la entrada de presión, y que mueve la corredera (marcada con una flecha verde).

En nuestro caso se tiene que activar una pinza neumática, que queremos que normalmente este abierta, hasta que activamos la válvula para que se cierre, con lo que necesitaremos una válvula monoestable.

Así mismo la pinza tiene dos entradas de aire (una para abrirla y otra para cerrarla), con lo que necesitaremos una válvula de 5 vías:

1. Entrada de presión
2. Salida para la apertura de los dedos
3. Salida (activación) para el cierre de los dedos
4. Escape de la salida A
5. Escape de la salida B

Para finalizar las características que debe poseer nuestra electroválvula, necesitamos saber el conector que vamos a usar (normalmente se usara conector según la norma DIN), y a que tensión, que habitualmente suelen ser 24 Voltios de corriente continua.

Con esto ya podemos elegir la serie de válvulas que mejor se adaptan, para poder seleccionar el tamaño.

Dentro de la gama de SMC, la válvula que mejor se adapta a estas características es la de la serie "SY", representada en la Fig. 34.



Fig. 34 Serie SY de montaje individual de SMC. Fuente: catálogo SMC

Dentro de esta serie hay tres tamaños: 3000, 5000 y 7000, donde la principal diferencia son las conexiones de la válvula y el caudal que pueden proporcionar.

Nuestra pinza es un elemento solamente, además que es muy pequeño, se tiene que llenar un volumen aproximado de:

$$V(l) = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot P \cdot 1000 + V_{tubo}$$

Siendo:

- D el diámetro del émbolo: 0,016 m
- L la longitud del pistón que mueve los dedos de la pinza: 0,050 m
- P la presión de actuación: 4 bar
- V_{tubo} volumen dentro del tubo: 0,05 l

Como resultado el volumen $V = 0,1$ litros.

Podemos sacar el tiempo de llenado según el caudal (en l/min) que proporciona la válvula cómo:

$$t (s) = \frac{V}{Q} * 60$$

Tamaño	3000	5000	7000
Caudal (l/min)	170	500	1000
Tiempo de llenado (s)	0,04	0,012	0,006

Como vemos, la válvula SY3000 nos da un tiempo suficientemente pequeño, pero, observando el catálogo de SMC de las válvulas "SY", el tamaño más pequeño no está disponible con el conector según norma DIN, así que escogemos la serie 5000.

Según todas las características que se han definido, cómo resumen, la referencia sería la siguiente, con los detalles representados en la Fig. 35.

- SY5120-5DO-01F-Q

SY5 1 20 - 5 DO - 01 F - Q

Configuración de producto Artículos estándar en stock

✓ Función	1 (2 Posiciones, monoestable)
✓ Conexionado	20 (Montaje individual con plug-in integrado)
✓ Tipo Pilotaje	Pilotaje interno
✓ Características Técnicas de la Bobina	Estándar
✓ Tensión	5 (24VCC)
✓ Cable	DO (Conector DIN sin conector)
✓ Longitud de cable	Ninguno
✓ Supresor de Picos de Tensión	Sin LED/supresor de picos de tensión
✓ Accionamiento manual	Modelo pulsador sin enclavamiento
✓ Tamaño conexión	O1 (Montaje individual 1/8)
✓ Rosca	F (G)
✓ Opción	Ninguno
✓ Q	Q (CE)

Fig. 35 Detalles de la válvula seleccionada. Fuente: www.smc.eu

Como se puede ver, se ha seleccionado una válvula de 5 vías y 2 posiciones, monoestable, de montaje individual (es decir, sin bloque, válvula suelta), activable mediante una señal de 24 Voltios de corriente continua, preparada para conector DIN y con conexiones de 1/8 rosca gas (la más común en Europa). En el anexo se puede encontrar información de esta válvula.

También existe un software para seleccionar la válvula en concreto, pero en este caso, como tenemos un factor de seguridad muy grande, no será necesario.

Conexión neumática

En este apartado se procederá a la selección de los elementos necesarios para la conexión entre los elementos neumáticos. En nuestro caso solamente se tiene la pinza neumática y la válvula que la activa. Se ha considerado que estos dos elementos se conectarán mediante tubo de diámetro exterior de 6 milímetros, por ser un tubo de tamaño medio, disponible en la mayoría de conexiones.

Primeramente, se seleccionarán los dos racores para la pinza neumática. La conexión la podemos observar en la siguiente figura, obtenida del catálogo de SMC.

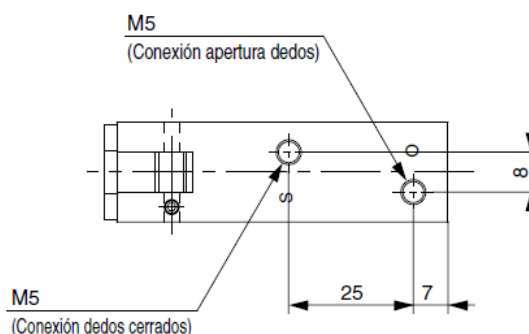


Fig. 36 Dimensiones de las conexiones neumáticas de la MHY2-16D

Como se observa en la *Fig. 36* se tienen dos conexiones de Métrica 5, luego se necesitan dos racores de M5 para tubo de 6mm. Seleccionándolos en el catálogo de conexiones neumáticas de SMC, un racor de M5 para tubo 6mm con el modelo en codo, la referencia es: KQ2L06-M5A.



Fig. 37 Racor codo, M5 tubo 6mm. Fuente SMC

Para la electroválvula se necesitan dos racores para las salidas, que irán conectadas con las conexiones de la pinza. Como se ha comentado anteriormente, las conexiones de la válvula son de 1/8" rosca Gas.

En este caso en vez de poner racordaje normal, se han seleccionado reguladores de caudal, para poder regular la velocidad a la que se cerrarán y se abrirán los dedos de la pinza. Como se tiene conexión de 1/8 " y se quiere para tubo de 6mm, la referencia del modelo en codo es: AS2201F-01-06SA.



Fig. 38 Regulador de caudal para 1/8" tubo de 6mm

Para la alimentación de la válvula, vamos a considerar el mismo tamaño de tubo, así que se necesita un racor de conexión 1/8" (igual que las salidas) y de tubo de 6mm. En este caso, la referencia necesaria es: KQ2L06-01AS.



Fig. 39 Racor codo de 1/8" tubo de 6mm.

Además, como elemento adicional, para evitar que el escape de aire haga demasiado ruido, utilizaremos silenciadores. Este escape viene de la evacuación de la cámara (de la pinza) contraria a la que queremos presurizar. Estos silenciadores también los encontramos en el catálogo de conexionado neumático de SMC, y para la conexión de 1/8", tienen la referencia: AN10-01.



Fig. 40 Silenciador de 1/8".

A parte de todos los elementos de conexionado, también se necesita el tubo correspondiente, que como se ha comentado, se pedirá de diámetro exterior 6mm. Se ha optado por tubo de poliuretano normal, ya que no se necesitará ninguna especificación importante, y este es suficientemente flexible.

A la hora de realizar la búsqueda en el catálogo de conexionado neumático, se observa que se puede pedir en un rollo de 20 metros o en un rollo de 100m. En nuestro caso, con 20 metros se tiene tubo más que necesario para conectar los elementos, y también la entrada de presión de la válvula al compresor.

Adicionalmente, se puede seleccionar el color, que en nuestro caso se selecciona azul, por ser el más común y por diseño estético. La referencia es: TU0604BU-20.



Fig. 41 Ejemplo de tubo de 6mm azul de SMC

Selección Electrónica

En este apartado se seleccionarán los elementos electrónicos para el manipulador, tanto los actuadores que representarán los tres ejes del robot cartesiano, como los drivers (o controladores) que se encargarán de traducir las órdenes del PLC para los ejes eléctricos, como la selección del propio PLC y los cables de los actuadores.

Se procederá desde el extremo del robot, hasta la base, de esta forma tendremos datos (como el peso) de los elementos que tienen que soportar el eje en concreto. Primeramente, se selecciona el eje Z (el que sujeta la pinza), después el eje Y (que soporta el actuador vertical y la pinza), y finalmente el eje X, que soporta el peso de los anteriores.

Para finalizar, se selecciona el PLC que controlará el manipulador, se pondrán los cables necesarios para conectar el manipulador y los drivers.

Eje Z

En el presente apartado se seleccionará el actuador correspondiente al eje vertical del robot cartesiano. Este eje lo nombraremos como eje Z y es el encargado de hacer bajar a la pinza hasta la zona de carga para atrapar el producto, y posteriormente subirlo a la zona donde se hará el transporte.

Actuador

Primeramente, se necesita determinar cuál es el mejor tipo de actuador para realizar el trabajo determinado. En nuestro caso solamente necesita transportar la pinza neumática hacia arriba y hacia abajo, en una carrera de aproximadamente 200mm.

Se tienen varias opciones para realizar este movimiento, según se puede ver en el catálogo de *Electric Actuators* de SMC. La primera sería un actuador eléctrico con vástago, similar a un cilindro neumático normalizado, la segunda un actuador eléctrico sin vástago (mediante un carro que se desplaza por un eje), y finalmente utilizar una mesa eléctrica de precisión (solamente llegaríamos a 150mm de carrera).



Fig. 42. Modelos de actuadores eléctricos lineales. A la izquierda sin vástago. En el centro con vástago. A la derecha mesas de precisión. Fuente SMC.

En la Fig. 42 tenemos los distintos tipos de actuadores eléctricos lineales. En nuestro caso, al no necesitar una carrera excesivamente larga, ni necesitar una precisión tan exacta, se procederá a seleccionar un actuador con vástago para este eje vertical. Además, no se tiene problema de espacio, ya que sobresaldría por arriba.

Una vez se tiene claro que se necesita un actuador eléctrico con vástago, hay dos modelos principalmente en el catálogo de SMC, la serie LEYG, que se trata de actuadores con guías, y la serie LEY simplemente, que no llevan esas guías. En la Fig. 43 se tiene una imagen de ambos para ver la diferencia.



Fig. 43 Comparativa entre actuador guiado (LEYG, izquierda) y sin guías (LEY, derecha). Fuente SMC.

El actuador guiado, está preparado para soportar los momentos que crea el peso de la carga en el extremo del vástago. En nuestro caso, como la carga estará totalmente en vertical sobre el vástago, no creará ningún momento sobre el extremo del actuador eléctrico. Así, no es necesario que el cilindro lleve guías, siendo mucho más simple y económico.

Una vez conocemos la serie que queremos utilizar, en nuestro caso LEY, necesitamos datos de la carga y aplicación (velocidades, fuerza de empuje, etcétera.).

Para conocer el peso de la carga se tienen que sumar varios elementos. Por una parte, tenemos el peso del producto, que se ha deducido que son aproximadamente unos 50 gramos. A esto debemos sumarle el peso de la pinza, que es un dato del catálogo, y son unos 150 gramos.

A estos dos elementos habrá que sumar todos los elementos de conexión, tanto neumáticos como mecánicos. Aquí entran los dos racores, aproximadamente 10 gramos, y todos los demás elementos que se deben estimar. Se ha considerado unos 140 gramos entre los dedos de la pinza, la pieza de amarre entre el LEY y la pinza, tornillería y tubo.

En total suman unos 350 gramos, pero para los cálculos se empleará una carga mayorada con un coeficiente de seguridad, a 1 kg.

$$M = 1 \text{ kg}$$

Otro dato importante a determinar es la velocidad con la que queremos que el cilindro baje y suba. Aunque posteriormente no se empleará tanta velocidad, se propone llegar a un valor de tiempo de carrera de 1 segundo. Teniendo en cuenta que la carrera son 200 milímetros, daría como resultado, con un cálculo fácil, una velocidad de 200 milímetros por segundo.

A esto tenemos que añadir el tiempo que el cilindro estará acelerando hasta llegar a esa velocidad y el tiempo que tarda en decelerar hasta cero. Por esto se decide adoptar una velocidad ligeramente mayor, unos 250mm/s.

$$V = 250 \text{ mm/s}$$

Con estos datos vamos a las gráficas de carga velocidad que podemos encontrar en el catálogo de la serie LEY de SMC (Fig. 44 y Fig. 45). Se han puesto las gráficas de los dos LEY más pequeños (16 y 25), para una aplicación trabajando en vertical y con motor de paso a paso (que es el más simple y más económico).

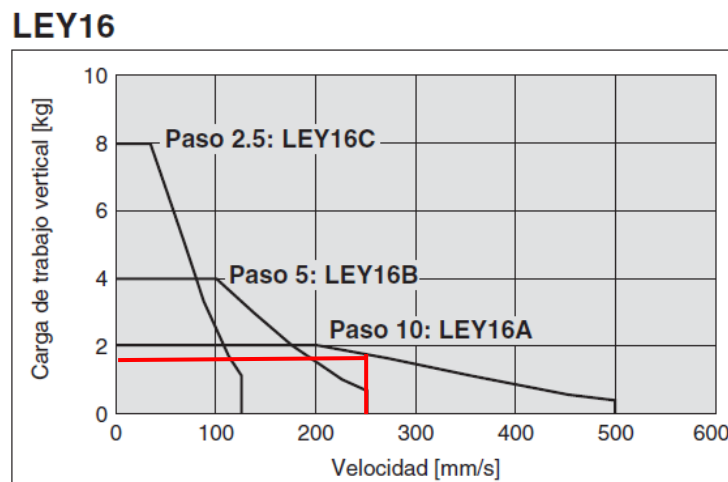


Fig. 44 Gráfica carga/velocidad de un LEY16. Fuente SMC

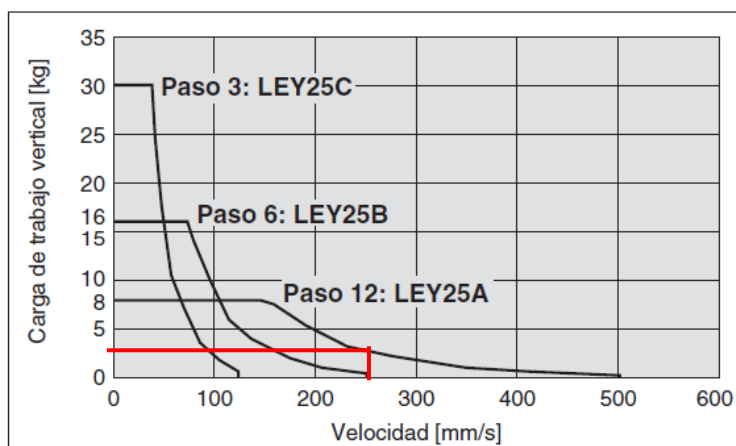
LEY25

Fig. 45 Grafica carga/velocidad de un LEY 25. Fuente SMC

Como se puede ver, se tienen distintos modelos, tanto para el 16 como para el 25, donde cambia una letra. Esta letra indica el paso del husillo de bolas del actuador, siendo el A el paso más largo y C el más corto. Como se puede observar en las gráficas, un paso de husillo largo implica menos carga a más velocidad, mientras que un paso de husillo más corto implica tener mayor tiempo de ciclo (menor velocidad), pero puede transportar mayor carga.

Por otro lado, se puede sacar el valor de la carga que puede llevar el LEY correspondiente mediante la velocidad que se quiere tener (también se podría hacer a la inversa). En nuestro caso lo representamos en la siguiente tabla. Solamente se representan el modelo LEY16A y el modelo LEY25A, ya que son los dos que nos dan las prestaciones.

Modelo	Velocidad máxima	Carga máxima	c = Carga a 250mm/s	Factor de carga (m/c)
LEY16A	500 mm/s	2 kg	1,75 kg	0.57
LEY25A	500 mm/s	8 kg	2,5 kg	0.40

Como se puede ver, con el LEY16A tenemos un factor de carga de más del 50%, mientras que en el LEY25A estamos por debajo. No se recomienda un factor de carga de mayor del 80%, así que en este caso estamos bien en los dos casos.

Por disponibilidad de stock, por características similares económicamente, y por prevención para futuras aplicaciones que puedan tener más peso, se decide utilizar el modelo LEY25A.

Ahora solamente hace falta definir si lo queremos con bloqueo o sin bloqueo. Como se trata de un eje vertical, existe la posibilidad que, al dejar de tener señal eléctrica, el propio peso de la carga haga descender el vástago, así que se incluirá la opción de bloqueo en el motor. Esta opción hace que, en el caso de perder la señal eléctrica, el motor se bloquea y ya no cae el vástago por acción de la gravedad.

En la siguiente figura se representan las características, y la selección en la web del producto descrito anteriormente.

LEY 25 A - 200 B

Configuración de producto

✓ Tamaño	25
✓ Posición de montaje del motor	Superior
✓ Motor	Motor paso a paso (Servo/24 VDC)
✓ Modelo de husillo	A (Tamaño 16: 10mm, Tamaño 25: 12mm, Tamaño 32: 16mm)
✓ Carrera	200 mm
✓ Opción de motor	B (Con bloqueo)
✓ Rosca extremo vástago	Hembra
✓ Montaje	Taladros roscados en ambos extr. (estándar)
✓ Tipo de cable del actuador	Sin cable
✓ Tipo de cable del actuador	Sin cable
✓ Tipo de controlador	Sin controlador
✓ Longitud del cable E/S	Sin cable
✓ Montaje del controlador	Montaggio con viti

Fig. 46 Producto seleccionado. LEY25A-200B. Fuente SMC.

Como se puede ver en la Fig. 46 la referencia final es:

- LEY25A-200B

Esta referencia, como se observa en la imagen, no incluye ni el controlador ni los cables necesarios para la conexión, ya que se determinarán más adelante.



Fig. 47 Actuador seleccionado.

Controlador

Una vez tenemos determinado el actuador, se necesita de un controlador para enviarle las señales a este. Existen tres tipos de controladores que pueden usarse en un motor paso a paso, como el que se ha seleccionado.

Por una parte, tenemos el driver de control por tabla de posiciones. Se programa mediante el software descrito anteriormente, con una tabla. En esta tabla se introducen los datos necesarios para cada posición, hasta 64.

El segundo tipo de driver, es el que se conoce como *Programless*, es decir, un controlador donde no se necesita programación. Este driver permite hasta 14 posiciones seleccionables mediante un potenciómetro. La velocidad y aceleración se determinan con otros dos potenciómetros, y la posición a la que se quiere ir mediante dos botones de avance o retroceso. Todos estos botones y potenciómetros están presentes en el panel frontal del controlador.

El tercer tipo es el driver de pulsos, donde todo lo que se hace es mandar una serie de pulsos mediante una tarjeta necesaria, en el PLC, y estos determinan la posición, velocidad etcétera, del vástago.



Fig. 48 Tipos de drivers de programación. A la izquierda tabla de posiciones (LECP6). En el centro Programless (LECP1). A la derecha driver de pulsos (LECPA). Fuente SMC.

En nuestro caso no se dispone de tarjeta de pulsos, con lo que una de las tres opciones queda descartada. Por otro lado, el driver sin programación ofrece muy pocas prestaciones en cuanto a precisión y posiciones. Se trata de un driver que nos puede venir bien si solamente queremos imitar un sistema neumático, pero sin la disponibilidad de una instalación de aire comprimido.

En el caso del Eje Z, bien es cierto que el movimiento será muy similar al de un cilindro neumático, que solamente tiene que bajar y subir, hasta el final de carrera, pero si se quiere estandarizar el driver a otros componentes, o si en algún momento queremos disponer de ese driver para otras aplicaciones, sería mucho más restrictivo.

Es decir, que finalmente se opta por el controlador de sesenta i cuatro posiciones, programable mediante tabla. Más adelante se expondrá la programación realizada con el driver.

Ahora, necesitamos una serie de parámetros para poder completar la referencia de nuestro controlador. En primer lugar, la polaridad de las entradas/salidas, ya que pueden ser tener el común negativo, o el común positivo. Lo más utilizado en Europa es el común negativo, por tanto, elegiremos este.

Además, sin considerar el cable, necesitamos determinar el método de montaje, ya que puede ser mediante un raíl DIN, o directamente con tornillos en unas pestañas metálicas. Por facilidad de montaje, y por disponer de más stock, se opta por el montaje directo, atornillado a un panel.

Adicionalmente, para que el driver te venga pre-parametrizado con la mecánica correspondiente, es necesario añadir la referencia del actuador (solamente hasta el número que representa la carrera) al final de la referencia del controlador.

En la *Fig. 49* nos muestra la selección del driver anteriormente descrito y su referencia, que es:

- LECP6P-LEY25A-200

LEC P 6 P - LEY 25 A - 200

Configuración de producto | Artículos estándar en stock

<input checked="" type="checkbox"/> Motor compatible	P (Motor paso a paso, Servo/24 VDC)
<input checked="" type="checkbox"/> Tipo E/S en paralelo	P (Salida PNP)
<input checked="" type="checkbox"/> Longitud del cable E/S	Sin cable
<input checked="" type="checkbox"/> Opción	Montaje roscado
<input checked="" type="checkbox"/> Actuador o Pinza	LEY, Actuador eléctrico con vástago
<input checked="" type="checkbox"/> Tamaño del cuerpo	25mm
<input checked="" type="checkbox"/> Posición de montaje del motor	Ninguno (o Superior para LEY)
<input checked="" type="checkbox"/> Tipo	Ninguno [o Motor paso a paso (Servo/24 VDC)]
<input checked="" type="checkbox"/> Cable	A (Tamaño 16: 10mm, Tamaño 25: 12mm, Tamaño 32: 16mm)
<input checked="" type="checkbox"/> Carrera	200 mm

Fig. 49 Referencia y características del driver seleccionado. Fuente SMC

Software de selección

Al igual que la pinza neumática, también existe un software para la selección de los actuadores eléctricos según la sollicitación de carga y la aplicación elegida. Se procederá a usar el software para verificar lo anteriormente descrito.

Este software no es online como el Air Gripper Selection, sino que es descargable, y se puede obtener desde la página web de SMC España.

Lo primero que nos encontramos al abrir el software de selección de actuadores eléctricos es que se debe elegir el tipo de actuador que se necesita. Como se ha definido anteriormente, seleccionamos un cilindro con vástago, sin guías, y con el motor en paralelo al eje, ya que no hay problemas de espacio (las características son muy similares al motor en línea).

Una vez se ha seleccionado el tipo de actuador se piden ya datos de la aplicación en concreto. En nuestro caso se trata de un cilindro vertical sin guiado, con una carga de 1 kg a una velocidad de 250mm/s. Podemos introducir también datos de aceleración y deceleración. Esta pantalla se tiene representada en la *Fig. 50*.

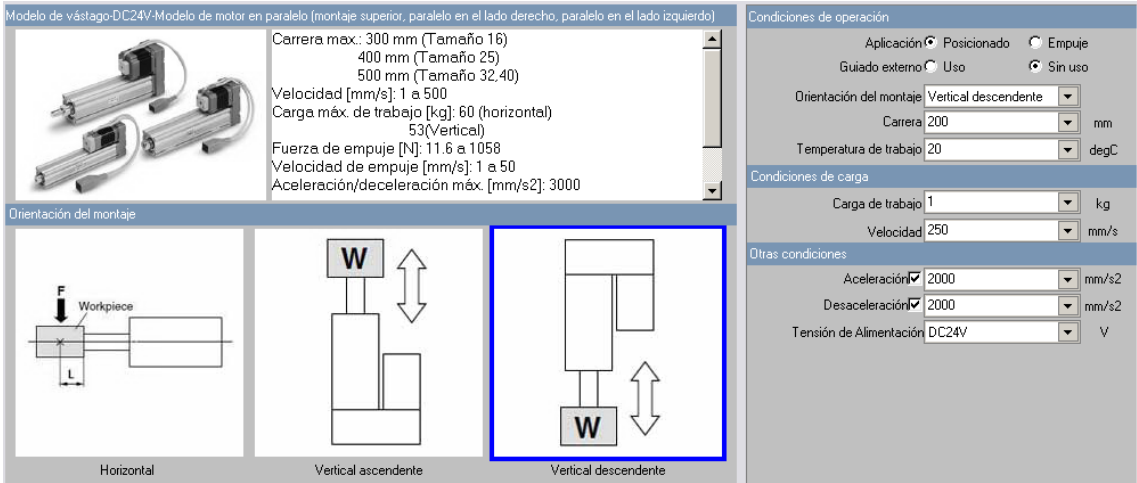


Fig. 50 Selección de aplicación según el software de selección de ejes eléctricos. Fuente SMC.

En la siguiente pantalla, seleccionamos el tipo de motor, en nuestro caso motor paso a paso (o step motor) y ya nos indica los ejes mejor valorados para los datos introducidos en la pantalla anterior. En nuestro caso los ejes posibles se representan en la Fig. 51.



Fig. 51 Selección del eje mediante software. Fuente SMC

Como se ha comentado en la selección manual, desde el tamaño 16 nos sirve para la aplicación que se ha definido.

Seleccionando el tamaño deseado podemos tener un resumen de las características definidas. En la Fig. 52 podemos ver el resultado del tamaño 16 y en la Fig. 53 se puede observar el resultado para el tamaño 25.

Características del sistema

El tiempo de adaptación no se considera para el tiempo de ciclo; varía dependiendo de condiciones como la carga o la posición del paso.

Esquema detallado >>> Posicionado Empuje

Aceleración: 2000 mm/s²
 Desaceleración: 2000 mm/s²
 Distancia recorrida: 200,0 mm
 Velocidad: 250,0 mm/s

Recalcular

Resultados del cálculo

Tiempo de aceleración: 0,13 s
 Tiempo a vel. constante: 0,68 s
 Tiempo de deceleración: 0,13 s
 Tiempo de ciclo: 0,93 s

Nombre	Unidad	Valor	Tolerancia	Tipo
Aceleración	mm/s ²	2000	0-3000	66,7%
Desaceleración	mm/s ²	2000	0-3000	66,7%
Velocidad	mm/s	250	15-500	50,0%
Carga de trabajo	kg	1,000	0-1,771	56,5%

Orientación del montaje

Vertical descendente

Resultados de la selección de: **Controlador** >>>

Combinación: Actuator eléctrico + controlador LEY16(A-200)H06000

Elementos únicos

Actuadores eléctricos: LEY16(A-200)H00000
 Controlador: LECPE000-LEY16(A-200)

Para obtener información más detallada, consulte el catálogo.

Al sitio Web de SMC

Especificaciones

Consumo de potencia: 23,00 W
 Consumo de potencia de espera en operación: 16,00 W
 Momento máx.: 43,00 W
 Consumo de potencia: 43,00 W
 Guiado type: Sliding bushing
 Tipo de actuación: Rodamiento a bolas + correa
 Tamaño del husillo: 10,00 mm
 Repetitividad de posición: +/-0,02 mm
 Temperatura de trabajo: 5-40 degC
 Rango de humedad de trabajo: 90 or less %
 Peso del producto: 0,98 kg

Valores de entrada

Aplicación: Posicionado
 Guiado: Sin uso
 Orientación del montaje: Vertical descendente
 Carrera: 200,0 mm
 Temperatura de operación: 20,00 degC
 Carga de trabajo: 1,000 kg
 Velocidad: 250 mm/s
 Aceleración: 2000 mm/s²
 Desaceleración: 2000 mm/s²
 Tensión de Alimentación: DC24V V
 Tipo de motor: Step motor

>>> Construcción del sistema

Atrás Cancelar Imprimir Guardar

Fig. 52 Selección con el LEY16. Fuente SMC

Características del sistema

El tiempo de adaptación no se considera para el tiempo de ciclo; varía dependiendo de condiciones como la carga o la posición del paso.

Esquema detallado >>> Posicionado Empuje

Aceleración: 2000 mm/s²
 Desaceleración: 2000 mm/s²
 Distancia recorrida: 200,0 mm
 Velocidad: 250,0 mm/s

Recalcular

Resultados del cálculo

Tiempo de aceleración: 0,13 s
 Tiempo a vel. constante: 0,68 s
 Tiempo de deceleración: 0,13 s
 Tiempo de ciclo: 0,93 s

Nombre	Unidad	Valor	Tolerancia	Tipo
Aceleración	mm/s ²	2000	0-3000	66,7%
Desaceleración	mm/s ²	2000	0-3000	66,7%
Velocidad	mm/s	250	18-500	50,0%
Carga de trabajo	kg	1,000	0-2,736	36,5%

Orientación del montaje

Vertical descendente

Resultados de la selección de: **Controlador** >>>

Combinación: Actuator eléctrico + controlador LEY25(A-200)H06000

Elementos únicos

Actuadores eléctricos: LEY25(A-200)H00000
 Controlador: LECPE000-LEY25(A-200)

Para obtener información más detallada, consulte el catálogo.

Al sitio Web de SMC

Especificaciones

Consumo de potencia: 40,00 W
 Consumo de potencia de espera en operación: 15,00 W
 Momento máx.: 48,00 W
 Consumo de potencia: 48,00 W
 Guiado type: Sliding bushing
 Tipo de actuación: Rodamiento a bolas + correa
 Tamaño del husillo: 12,00 mm
 Repetitividad de posición: +/-0,02 mm
 Temperatura de trabajo: 5-40 degC
 Rango de humedad de trabajo: 90 or less %
 Peso del producto: 1,86 kg

Valores de entrada

Aplicación: Posicionado
 Guiado: Sin uso
 Orientación del montaje: Vertical descendente
 Carrera: 200,0 mm
 Temperatura de operación: 20,00 degC
 Carga de trabajo: 1,000 kg
 Velocidad: 250 mm/s
 Aceleración: 2000 mm/s²
 Desaceleración: 2000 mm/s²
 Tensión de Alimentación: DC24V V
 Tipo de motor: Step motor

>>> Construcción del sistema

Atrás Cancelar Imprimir Guardar

Fig. 53 Selección con el modelo LEY25. Fuente SMC.

Como se puede observar, en ambos tamaños se tiene un tiempo de ciclo de 0,93 segundos, cercano al segundo que queríamos obtener. Además, se puede ver como el dato de factor de carga, para la masa que es capaz de mover, es muy parecido al calculado anteriormente a mano.

A parte de esto, también tenemos los datos más importantes de los ejes, como puede ser el peso del producto, el consumo del motor, etc.

Señalar que con la selección mediante el software seleccionaríamos la misma mecánica y motor y, en el apartado de controlador, seleccionaríamos el LECP6 por las razones comentadas anteriormente.

Eje Y

En esta apartado se procederá a la selección del actuador que corresponderá al eje Y de nuestro robot cartesiano. Ese eje es el responsable de mover tanto el eje Z como la pinza a través de la profundidad del espacio de trabajo. Deberá desplazarse a lo largo de este eje, según la posición programada.

Actuador

Al igual que en el anterior actuador, lo primero que se debe definir es el tipo de actuador que se va a montar. Para ello una de las cosas que se definen es la carrera que deberá recorrer el eje eléctrico. Para este caso se ha considerado que una carrera adecuada es de aproximadamente 500mm.

Debido a que esta carrera ya es significativamente grande, y al ser un eje horizontal se pretende ahorrar espacio, se opta por un eje eléctrico sin vástago. La serie estándar de SMC de estos ejes es la serie LEF, representados en la *Fig. 54*.



Fig. 54 Serie de actuadores eléctricos sin vástago LEF. Fuente SMC.

Una vez se conoce la serie se debe proceder de la misma manera que en el apartado anterior para poder seleccionar el tamaño del eje correcto. En este caso el eje debe portar la misma carga que en el anterior, añadiendo el actuador con vástago LEY, y las piezas de amarre necesarias.

El peso de la carga para el LEY se había determinado en 1 kg aproximadamente, mientras que el peso del actuador supone unos 2 kg, como se ha visto en el apartado anterior. Por ello, añadiendo piezas de amarre, tornillería, y redondeando a un valor superior, se considerará que la carga que debe mover este LEF son unos 5 kg.

Una vez conocidos los datos de la carga, se procede a determinar cuál es el tamaño necesario de actuador, para poder soportar tanto la carga sobre el patín, como los momentos que esta crea.

Se seleccionará un eje entre el tamaño 25 (tamaño elegido para el actuador anterior) o un tamaño superior (32). A continuación, se exponen las gráficas carga/velocidad para estos dos tamaños.

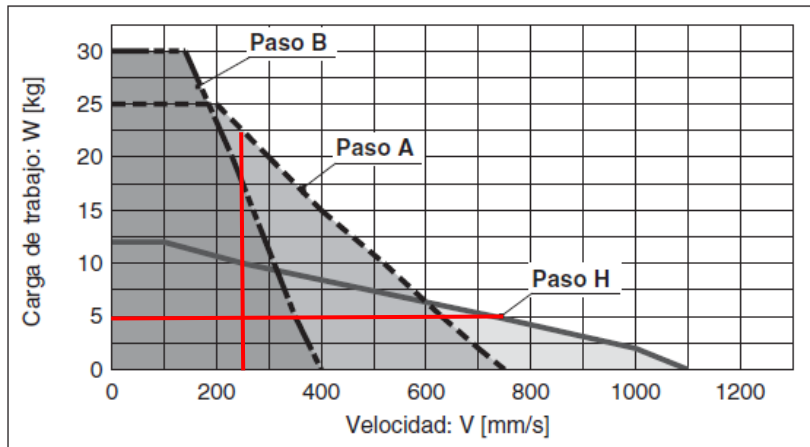


Fig. 55 Gráfica carga/velocidad para el LEF25. Fuente catálogo SMC.

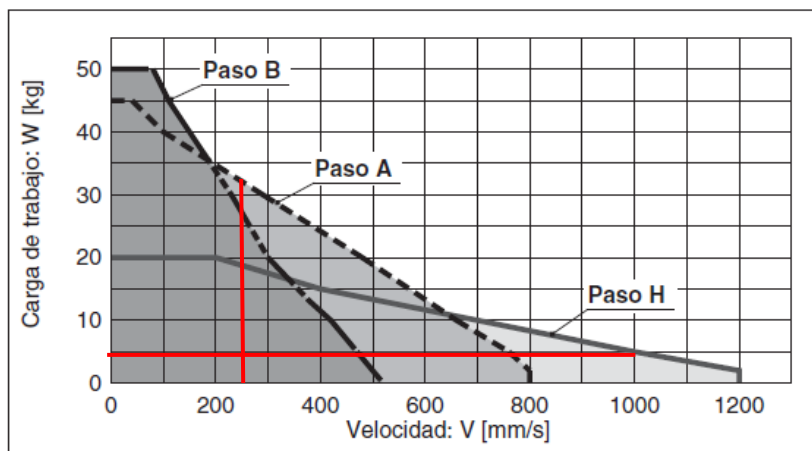


Fig. 56 Gráfica carga/velocidad para un LEF32. Fuente catálogo SMC.

Como se ve en la Fig. 55 y en la Fig. 56 en ambos tamaños nos encontramos dentro de la zona aceptable para la carga mayorada y una velocidad igual a la utilizada para la selección del actuador eléctrico para el eje Z.

Además, es necesario conocer cómo se va a disponer la carga sobre el patín para obtener los momentos creados. La siguiente figura representa las distancias entre la carga y el patín, y en la tabla se tienen los valores concretos.

Posteriormente se analizarán las gráficas de momentos admisibles.

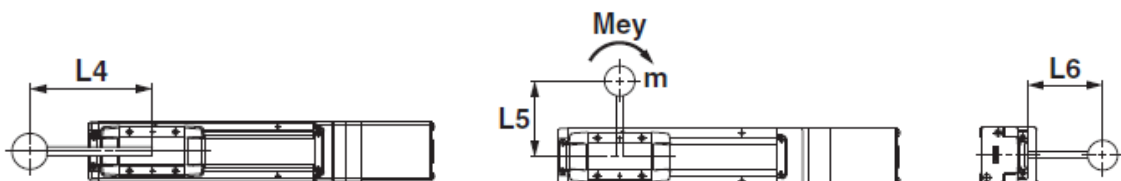


Fig. 57 Distribución de la carga. Fuente catálogo SMC.

L4	L5	L6
10 mm	100 mm	100 mm

Se considera que la distancia L4 son 10mm ya que la carga irá centrada en el patín. La distancia L5 se ha considerado 100mm hacia arriba ya que el motor del eje está en la parte superior y es interesante dejar el máximo espacio debajo para la actuación del vástago. Además, la distancia L6 viene dada por la pieza de amarre entre los ejes, y se considera que será aproximadamente de 100mm.

Con estos datos, acudimos a la gráfica de momento admisible según estas tres distancias.

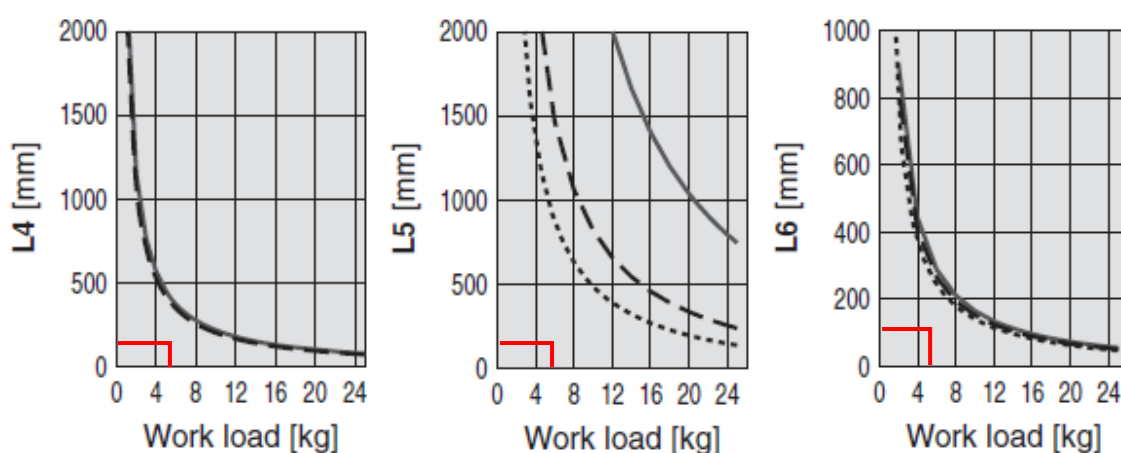


Fig. 59 Gráfica distancia/carga para el LEF25. Fuente catálogo SMC.

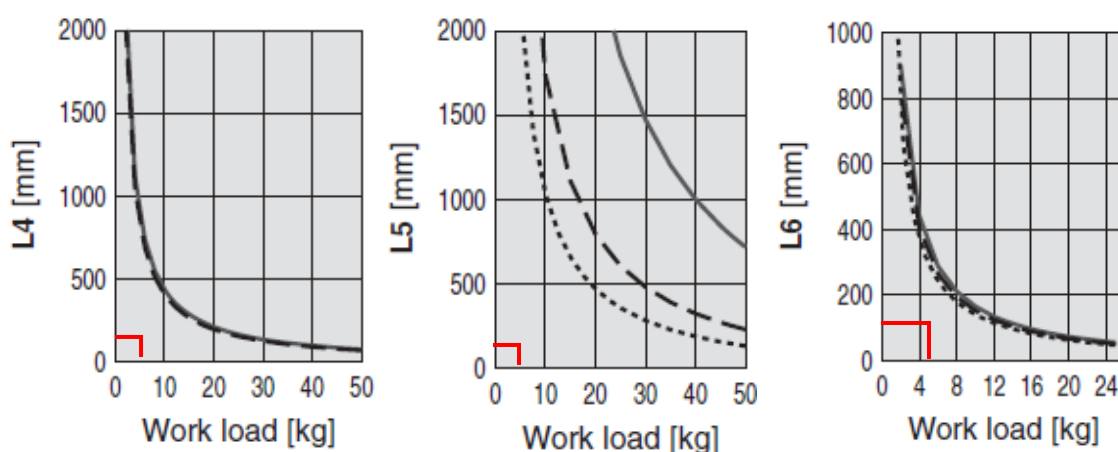


Fig. 58 Gráfica distancia/carga para el LEF32. Fuente catálogo SMC.

Como se puede observar en las gráficas de la Fig. 59 y Fig. 58, en todos los casos posibles, en ambos tamaños de ejes, estamos dentro de los momentos admisibles, con lo que cualquiera de los dos podría ser seleccionado por este aspecto.

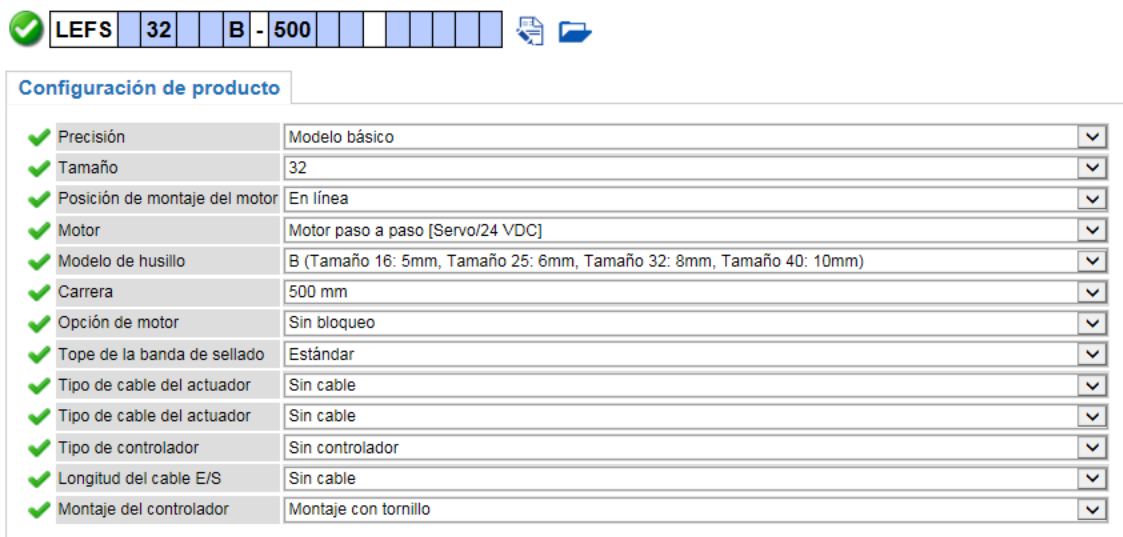
Después de esto ya se pasa a un tema económico, dimensional o de plazo. El caso del LEF25 tiene la ventaja de ser más pequeño y un poco más económico que el LEF32, mientras que el tamaño más grande tiene la ventaja de poder transportar más carga en caso de cambiar aplicación y que es un eje más probado y usado, con lo que reducimos el plazo.

En cada caso particular se debe hacer una valoración personal de lo más importante. En nuestro caso el tema económico no es vital ya que el producto es de la propia empresa, mientras que el tiempo de plazo sí que es importante. Al disponer de un LEF32 con paso de usillo medio (letra B de las gráficas), se opta por esta última opción.

Así pues, la referencia completa se queda como:

- LEFS32B-500

En la siguiente figura tenemos una descripción más amplia de la referencia, obtenida en la página web de SMC.



Configuración de producto	
✓ Precisión	Modelo básico
✓ Tamaño	32
✓ Posición de montaje del motor	En línea
✓ Motor	Motor paso a paso [Servo/24 VDC]
✓ Modelo de husillo	B (Tamaño 16: 5mm, Tamaño 25: 6mm, Tamaño 32: 8mm, Tamaño 40: 10mm)
✓ Carrera	500 mm
✓ Opción de motor	Sin bloqueo
✓ Tope de la banda de sellado	Estándar
✓ Tipo de cable del actuador	Sin cable
✓ Tipo de cable del actuador	Sin cable
✓ Tipo de controlador	Sin controlador
✓ Longitud del cable E/S	Sin cable
✓ Montaje del controlador	Montaje con tornillo

Fig. 60 Selección del eje Y mediante la web. LEFS32B-500. Fuente SMC

Como se puede ver en la Fig. 60, no se ha necesitado la opción de bloqueo, esto se debe a que este eje es horizontal, por lo que no habría problema de caída por gravedad. Además, al igual que el eje anterior, se ha pedido sin controlador ni cable, que se seleccionaran en otros apartados.

En este caso se ha optado por el motor en línea, ya que se utilizará la parte del motor para el amarre con el siguiente actuador, correspondiente al eje X del manipulador.

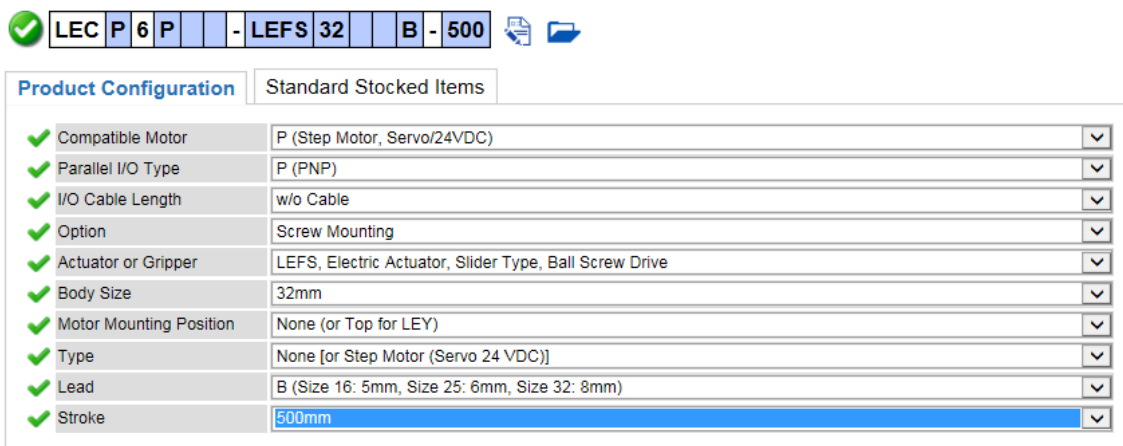
Controlador

Siguiendo exactamente los mismos pasos que los descritos para la selección del controlador correspondiente al eje Z, obtenemos el mismo controlador, con algunas salvedades expuestas a continuación.

En el apartado del controlador para el eje Z, se expuso que aquel podía ser el LECP1 (driver sin programación) ya que el movimiento es parecido al de un eje neumático. En este caso el driver necesario más adecuado es el LECP6 (tabla de 64 posiciones) ya que el controlador sin programación se queda muy corto en precisión y número de posiciones.

Otra excepción es, que como se ha comentado en el apartado correspondiente, la referencia del driver debe terminar con la referencia del actuador que debe controlar si se quiere que venga pre-parametrizado. Por tanto, quedaría de la siguiente manera:

- LECP6P-LEFS32B-500



Product Configuration Standard Stocked Items

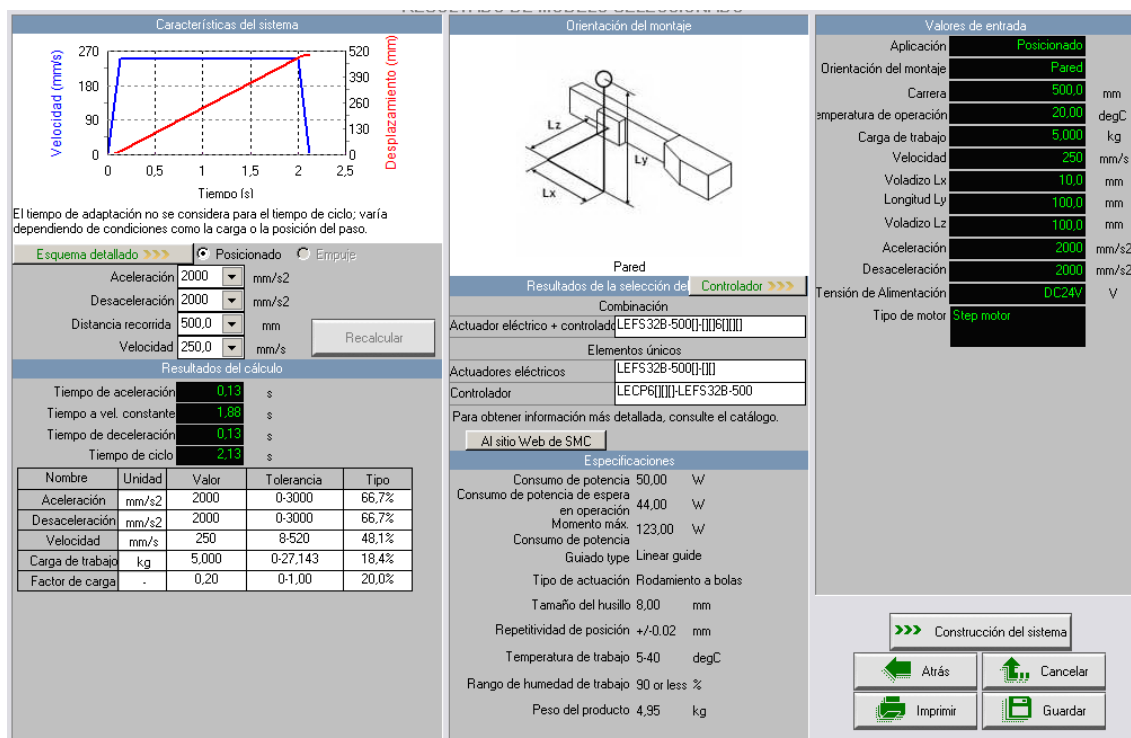
- Compatible Motor: P (Step Motor, Servo/24VDC)
- Parallel I/O Type: P (PNP)
- I/O Cable Length: w/o Cable
- Option: Screw Mounting
- Actuator or Gripper: LEFS, Electric Actuator, Slider Type, Ball Screw Drive
- Body Size: 32mm
- Motor Mounting Position: None (or Top for LEY)
- Type: None [or Step Motor (Servo 24 VDC)]
- Lead: B (Size 16: 5mm, Size 25: 6mm, Size 32: 8mm)
- Stroke: 500mm

Fig. 61 Selección del controlador para el LEF, eje Y. Fuente SMC.

Como se ve, al igual que en el otro caso, no se incluyen los cables, y se ha considerado también el montaje directo, atornillado.

Software de selección

Siguiendo los mismos pasos que para la selección del eje Z, cambiando el tipo de actuador, y poniendo los datos correctamente, si seleccionamos el modelo en concreto que hemos seleccionado a mano, obtenemos los resultados que se muestran en la Fig. 62.



Características del sistema

Velocidad (mm/s) vs. Tiempo (s) graph showing acceleration, constant velocity, and deceleration phases. Displacement (mm) is also shown on the right y-axis.

Orientación del montaje

Diagram showing the actuator orientation with axes Lx, Ly, and Lz.

Valores de entrada

Aplicación	Posicionado
Orientación del montaje	Pared
Carrera	500,0 mm
temperatura de operación	20,00 degC
Carga de trabajo	5,000 kg
Velocidad	250 mm/s
Voladizo Lx	100,0 mm
Longitud Ly	100,0 mm
Voladizo Lz	100,0 mm
Aceleración	2000 mm/s ²
Desaceleración	2000 mm/s ²
Tensión de Alimentación	0C24V V
Tipo de motor	Step motor

Resultados de la selección de Controlador

Combinación: Actuador eléctrico + controlador LEFS32B-500H10S111

Elementos únicos: Actuadores eléctricos LEFS32B-500H111, Controlador LECP6111-LEFS32B-500

Para obtener información más detallada, consulte el catálogo. Al sitio Web de SMC

Especificaciones:

Consumo de potencia	50,00 W
Consumo de potencia de espera en operación	44,00 W
Momento máx.	123,00 W
Consumo de potencia Guiado type	Linear guide
Tipo de actuación	Rodamiento a bolas
Tamaño del husillo	8,00 mm
Repetitividad de posición	+/-0.02 mm
Temperatura de trabajo	5-40 degC
Rango de humedad de trabajo	90 or less %
Peso del producto	4,95 kg

Resultados del cálculo:

Tiempo de aceleración	0,13 s
Tiempo a vel. constante	1,88 s
Tiempo de deceleración	0,13 s
Tiempo de ciclo	2,13 s

Nombre	Unidad	Valor	Tolerancia	Tipo
Aceleración	mm/s ²	2000	0-3000	66,7%
Desaceleración	mm/s ²	2000	0-3000	66,7%
Velocidad	mm/s	250	8-520	48,1%
Carga de trabajo	kg	5,000	0-27,143	18,4%
Factor de carga	.	0,20	0-1,00	20,0%

Fig. 62 Resultados de la selección del LEFS32 mediante software. Fuente SMC.

Como se puede observar, tenemos un tiempo de ciclo de unos 2,13 segundos, con unos factores de carga bastante bajos, con lo que se determina que el actuador está bien seleccionado, incluso quizá un poco sobredimensionado para esta aplicación en concreto.

Eje X

Para dimensionar el eje X del robot cartesiano se debe proceder de igual forma que los otros dos. Para este caso, la carrera que se quiere tomar es la misma que la del eje Y, es decir, unos 500mm.

Actuador

Por esto la selección del tipo de actuador se hace de la misma forma, con la excepción de que aquí debe soportar más peso. En este caso tenemos los 5 kg que soporta el eje anterior, añadiendo su peso y anclajes, en total unos 10kg de masa.

Por esto, se ha llegado a la solución de acoplar el eje eléctrico de un tamaño mayor, es decir el de tamaño 40.

La referencia es la siguiente:

- LEFS40A-500

Para llegar a esta referencia, se han seguido los pasos descritos en la selección de los otros dos actuadores.

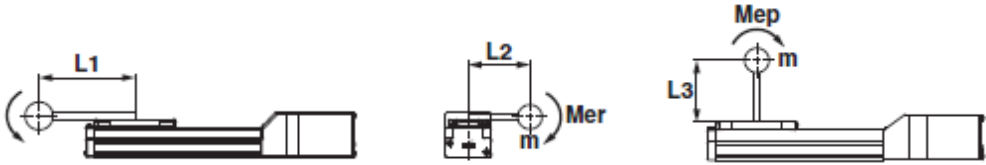


Fig. 63 Distribución de la carga. Fuente catálogo SMC.

L1	L2	L3
10 mm	200 mm	100 mm

Con estos datos de la carga, y con la misma velocidad que la comentada anteriormente, se obtienen los siguientes resultados en las gráficas correspondientes, de carga y de momentos.

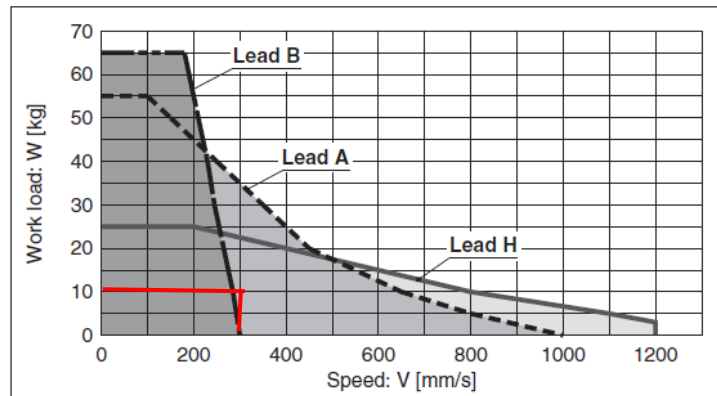


Fig. 64 Gráfica carga/velocidad para el LEFS40. Fuente SMC

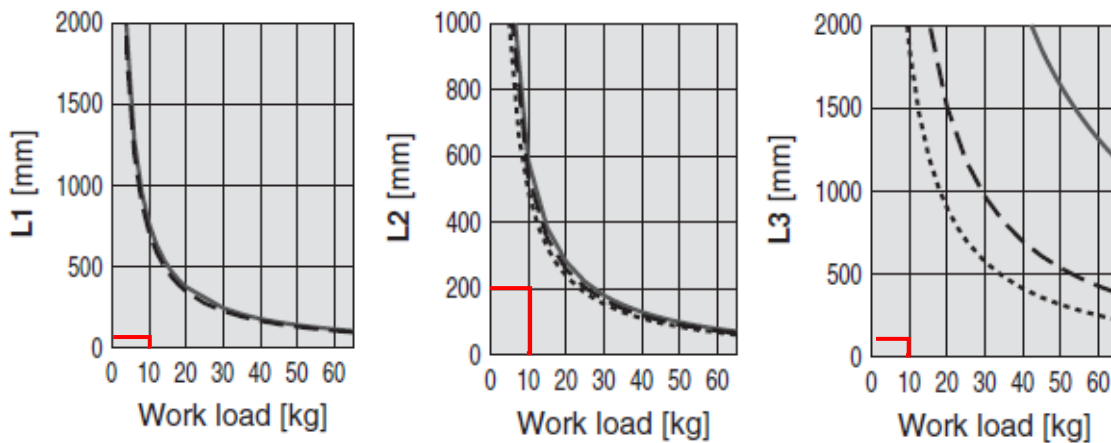
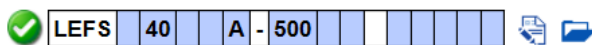


Fig. 65 Gráficas de distancia/carga para los tres momentos creados sobre el patín. Fuente SMC.

Como se puede observar se encuentra dentro de las especificaciones de carga para poder usar el producto, luego la selección es correcta.

El resultado de la referencia en detalle se puede obtener como en los otros casos, de la página web.



Configuración de producto	
✓ Precisión	Modelo básico
✓ Tamaño	40
✓ Posición de montaje del motor	En línea
✓ Motor	Motor paso a paso [Servo/24 VDC]
✓ Modelo de husillo	A (Tamaño 16: 10mm, Tamaño 25: 12mm, Tamaño 32: 16mm, Tamaño 40: 20mm)
✓ Carrera	500 mm
✓ Opción de motor	Sin bloqueo
✓ Tope de la banda de sellado	Estándar
✓ Tipo de cable del actuador	Sin cable
✓ Tipo de cable del actuador	Sin cable
✓ Tipo de controlador	Sin controlador
✓ Longitud del cable E/S	Sin cable
✓ Montaje del controlador	Montaje con tornillo

Fig. 66 Referencia en detalle del LEFS40. Fuente SMC.

Controlador

La selección de este controlador sigue el mismo criterio exactamente que el actuador correspondiente al eje Y, seleccionado en el apartado anterior.

La referencia en este caso (con la referencia correcta del actuador al final) es:

- LECP6P-LEFS40A-500

Software de selección

En este apartado se presenta la solución del software de selección para el actuador seleccionado a mano en el apartado anterior.

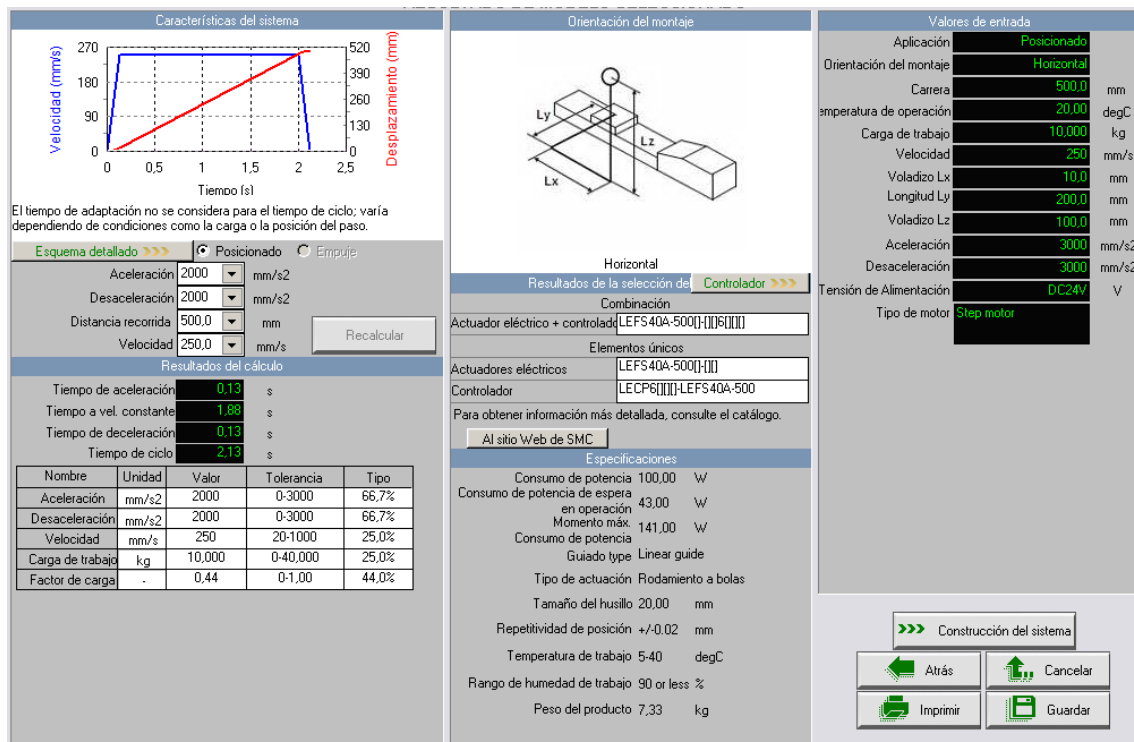


Fig. 67 Resultados del software de selección para el eje X. Fuente SMC.

Como vemos, cumple las condiciones de aceleración, deceleración, velocidad, carga de trabajo, y factor de carga, con margen. Por tanto, con el software se puede verificar que la selección es correcta.

Como resultado se puede ver que el tiempo de ciclo de una carrera, si se programa la aceleración y velocidad del software, son unos 2,13 segundos, con un factor de carga del 44 por ciento.

PLC

El PLC usado en este proyecto ha sido uno de los que se tenían en la oficina que había sido usado en otros proyectos de la empresa, ya que por condiciones encajaba en lo que se pretende construir.

Se trata de un PLC de la marca OMRON, de la serie CJ1. Este PLC, además, se programa mediante CX-Programmer, el software que se ha usado en la asignatura de Automatización Industrial del máster al que corresponde el presente trabajo.

El PLC incluye el módulo de alimentación CJ1W-PA202, la CPU de referencia CPU11, un módulo de 16 entradas digitales, de referencia ID211, y un módulo de 16 salidas digitales, de referencia OC211.



Fig. 68 Imágenes del PLC usado en el manipulador.

En la Fig. 68 se tienen tres imágenes del PLC usado en el robot cartesiano. A la izquierda detalle de la fuente de alimentación. En el centro frontal de la fuente de alimentación y la CPU. A la derecha se tiene un módulo de 16 entradas digitales (naranja) y un módulo de 16 salidas digitales (amarillo).

Conexión eléctrico

En este apartado se seleccionarán los cables necesarios para realizar la conexión eléctrica, así como las fuentes de alimentación necesarias. Es decir, lo necesario para el funcionamiento de los ejes eléctricos.

En principio, lo mejor es tener fuentes de alimentación separadas para cada eje. De esta forma no se producirán interferencias cuando un eje se active en otros ejes que no se han activado. Por esto mismo, se han seleccionado tres fuentes distintas.

SMC recomienda usar fuentes de corriente continua de 2,5 Amperios para los ejes medianos y fuentes de 5 amperios para ejes más grandes. Consultándolo con el catálogo se llega a la conclusión de que lo mejor es usar dos fuentes de 2,5A para los ejes Z e Y, y una fuente de 5A para el eje de mayor tamaño.



Fig. 69 Fuentes de alimentación para los ejes eléctricos

En la Fig. 69 se tiene una imagen de los dos tipos de fuente elegidos. A la izquierda las dos fuentes más pequeñas (2,5A) y a la derecha la fuente grande (de 5A).

A parte de las fuentes se necesita el cableado. Se van a distinguir entre distintos tipos de cables. Cable de alimentación del driver, cables del actuador, cables de entradas y salidas, y otros cables auxiliares.

Los primeros son los cables mediante los cuales, les llega alimentación eléctrica a los drivers. Son cables que no están disponibles en el catálogo de SMC, ya que se trata de un conector standard, que debe proporcionar el cliente.

Los segundos se tratan de los cables mediante los que se comunicará el driver con el actuador. Estos cables sí que están disponibles en el catálogo de SMC (en el apartado del controlador correspondiente). En el anexo se incluye la ficha técnica y la selección de los cables correspondientes. A continuación, se detallarán las referencias.

La referencia para el cable del LEY, que tiene bloqueo, es:

- LE-CP-1-B

Se trata de un cable para motor paso a paso, para un actuador con bloqueo y de tipo robótico, que es más flexible que el standard. El cable se ha seleccionado de una longitud de 1,5 metros.

En el caso de los otros dos actuadores, al ser del mismo tipo, los cables serán los mismos:

- LE-CP-1

Incluye cable de 1,5 metros para un motor paso a paso, de tipo robótico.

El tercer tipo de cable, el de entradas y salidas, es el cable que comunicará las señales del PLC con el driver. Estos cables, al igual que los de los actuadores, también se encuentran en el catálogo de SMC, junto a los anteriores.

Como se trata de tres drivers iguales, los cables serán los mismos:

- LEC-CN5-1

Incluye el cable de entradas y salidas, de una longitud de 1,5 metros.

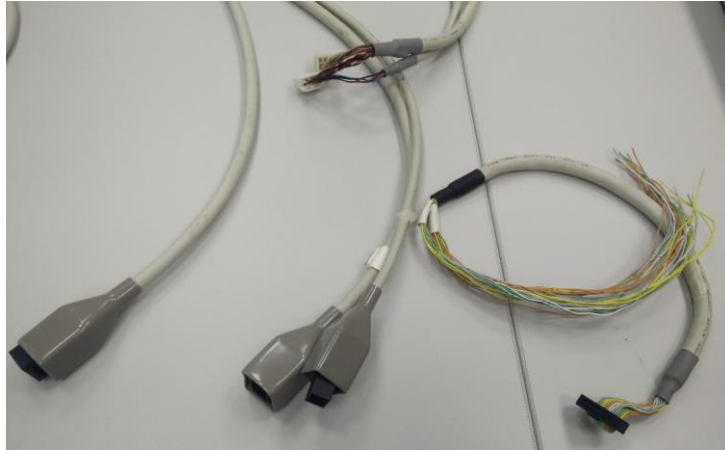


Fig. 70 Cables seleccionados. Izquierda cable de actuador sin bloqueo. Centro cable de actuador con bloqueo. Derecha cable de E/S

Además de estos cables, es necesario también el kit para la programación del driver, pero que en este caso se puede usar uno que ya se tenga disponible. Existe otro modo de programación, si se tiene una Teaching box.

El kit para la programación tiene la referencia:

- LEC-W2

Incluye el cable de comunicación, con el adaptador para USB para el PC y con el software correspondiente.

La teaching box se puede pedir con la referencia:

- LEC-T1-3EG

Se trata de un pequeño dispositivo para la programación rápida de los ejes eléctricos.

En nuestro caso se utilizó la programación por software, usando uno de los cables que se tenían disponibles en la oficina en ese momento.

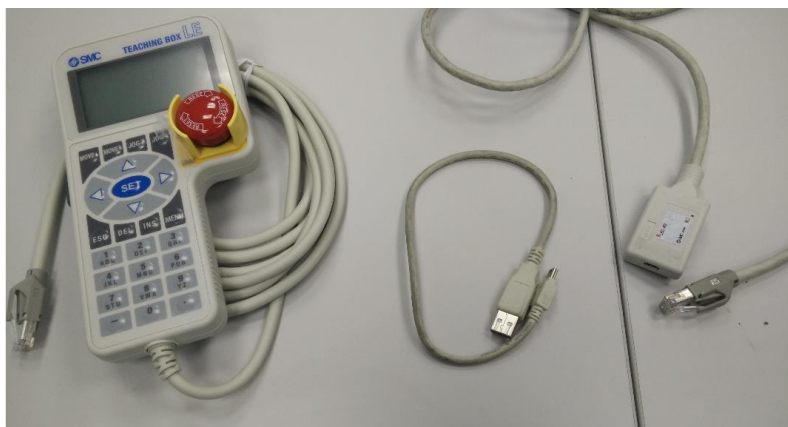


Fig. 71 Teaching box (izquierda), adaptador USB (centro) y cable de programación del driver

Se han utilizado también otro tipo de cables, a modo de elementos auxiliares. Dentro de estos se engloba cableado para empalmar, regletas de conexión, borneros, punteras, manguera de alimentación de red, etcétera.

Construcción del manipulador

En este apartado se describirá el proceso de construcción del robot cartesiano para el transporte de pequeñas cargas.

Se incluirá un primer apartado de diseño e impresión de los elementos mecánicos auxiliares, como puede ser las piezas de amarre. Posteriormente se definirá la estructura que debe soportar el manipulador, así como los apartados donde se alojará la electrónica, barrera de seguridad, etcétera.

A continuación, se definirá como se ha realizado el cableado necesario, para que llegue la alimentación a los distintos elementos, y para que la comunicación sea correcta. Seguido, se explicará cual ha sido el proceso de programación, y se expondrán las tablas de posiciones y el programa utilizado. Ese se trata de un programa de demostración, teniendo en cuenta que el método de control de los ejes variará dependiendo de la aplicación que se quiera simular.

Para finalizar se presentará el robot, con todas las partes ensambladas y listas para poder probarlo.

Elementos mecánicos auxiliares

En este apartado se procederá a la explicación del diseño y fabricación de las piezas necesarias para amarrar los actuadores, así como los dedos de la pinza.

El diseño de todas las piezas auxiliares se ha realizado mediante el software de diseño CAD SolidWorks, realizando tanto el diseño de los elementos por separado, como el posterior ensamblaje en los actuadores.

Además, para la correcta visualización en el ordenador de la oficina, que no dispone de Solidworks, se ha utilizado un software de visualización online de Autodesk, presentado en el apartado de herramientas.

Posteriormente el archivo que nos proporciona SolidWorks se ha introducido en un software libre, llamado Cura, que transforma el archivo .sldprt en un archivo .tlt para la impresora 3D, para su posible fabricación en plástico duro. Esta impresora pertenece a uno de los compañeros de la oficina, y la ha prestado para el presente proyecto.

La impresora en concreto se trata de una Prusa i3 Hephestos de la marca BQ. El material utilizado para la impresión de las piezas ha sido poliácido láctico (plástico PLA, o ácido poliácido) de color azul.

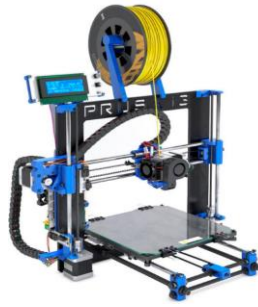


Fig. 72 Modelo Prusa i3 Hephestos de BQ. Fuente www.pccomponentes.com

Se pasará a definir los elementos, empezando por la punta del manipulador, hasta la base. Por tanto, la primera pieza que será necesaria definir son los dedos de la pinza. Deben de ser unos dedos con cierta cavidad central para poder cargar con el producto en el interior.

Como el primer producto que se ha pensado que debe cargar son bombones, se realizó un primer diseño, donde se buscaba que fuera el tamaño pequeño y ligero. Se advirtieron ciertos problemas de resistencia en este primer diseño (el extremo por donde se anclaba actuaba de concentrador de tensiones), así que se recurrió a un segundo diseño, donde se cambiaba principalmente el anclaje a la pinza y se añaden dos tirantes que proporcionan más resistencia.

Esto se podría haber deducido mediante un análisis de esfuerzos por elementos finitos, pero al no disponer de las herramientas necesarias no se corroboró en ordenador.

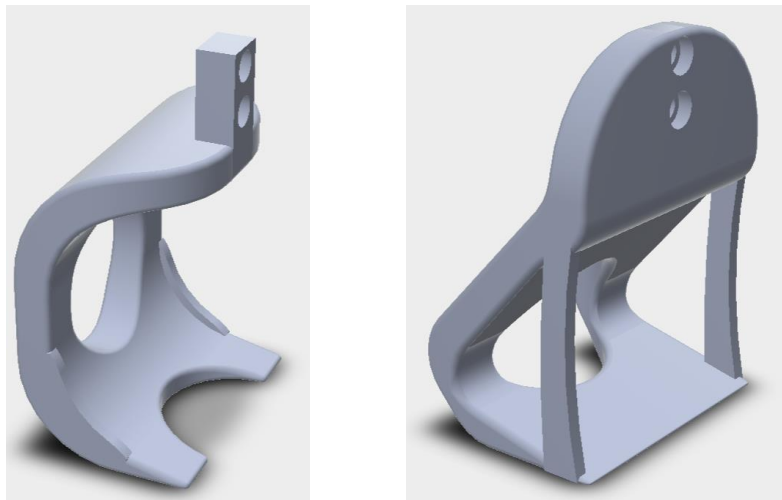


Fig. 73 Diseño de los dedos de la pinza. Primera versión (izquierda) y segunda versión (derecha)

Como se puede observar en la Fig. 73, la segunda versión da más sensación de robustez a la hora de aguantar el cierre contra el producto, en caso de que no se coja en la orientación adecuada, en el amarre a la pinza.

Esto ha sido comprobado en la práctica, ya que el primer diseño sufrió roturas.

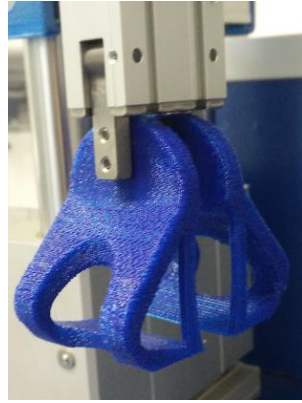


Fig. 74 Dedos de la pinza instalados

En la Fig. 74 se puede ver los dedos de la pinza que han sido diseñados, una vez ya han sido atornillados a los acoples. Como se puede observar, permite el alojamiento en el interior, de un pequeño objeto que bien podría ser un bombón.

La siguiente pieza que se ha diseñado es el amarre entre la pinza y el cilindro eléctrico LEY25, que hace de eje Z. Para esto se necesitaba una pieza que acoplara en la parte trasera de la pinza, y que a la vez se pueda atornillar en el eje del cilindro.

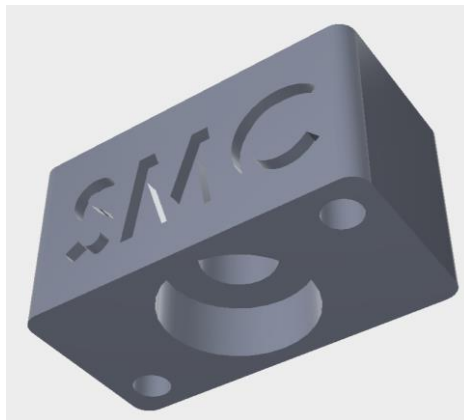


Fig. 75 Detalle de la pieza de amarre entre el LEY25 y la pinza.

En la Fig. 75 se tiene una vista del diseño 3D de la pieza de amarre entre el cilindro eléctrico y la pinza neumática. Como se puede observar se ha definido una cavidad central con un agujero pasante, donde entra un tornillo para fijar la pieza al eje del vástago. Además, se puede observar dos agujeros cerca de los vértices, que coinciden con agujeros roscados de la pinza, por donde se amarrará.

En la Fig. 64 se tiene una vista de cómo ha sido el resultado una vez montado el sistema de amarre.



Fig. 76 Pieza de amarre entre el extremo del vástago y la base de la pinza

Como se puede observar, se ha diseñado de manera que el tamaño sea similar al de la pinza para seguir la misma línea, por un tema estético. Además, se puede ver como se ha dejado la marca de SMC en el lateral de la pieza.

La siguiente pieza, se trata de el amarre que se ha realizado entre el sistema de cilindro y pinza con el actuador eléctrico sin vástago LEFS32 que representa el eje Y de nuestro sistema. Esta pieza ha sido complicada de diseñar ya que, por cuestión de espacio, solamente se podía amarrar el cilindro por la parte central.

Esto hacía necesario que se tuviera que sujetar mediante presión, y no mediante una unión roscada. Para ello se ha diseñado una pieza, compuesta por dos partes que se unen mediante 4 tornillos y que ejercen presión sobre el cilindro. Esta pieza además va atornillada al eje sin vástago comentado.

Esta placa que ejerce presión se diseñó de primera manera, intentando aligerar peso, haciendo una pequeña hendidura en la parte inferior. Como no se podía hacer suficiente fuerza se cambió por una totalmente cuadrada con un agujero central, y además se introdujo una pequeña tira de goma azul en el interior para aumentar el rozamiento.

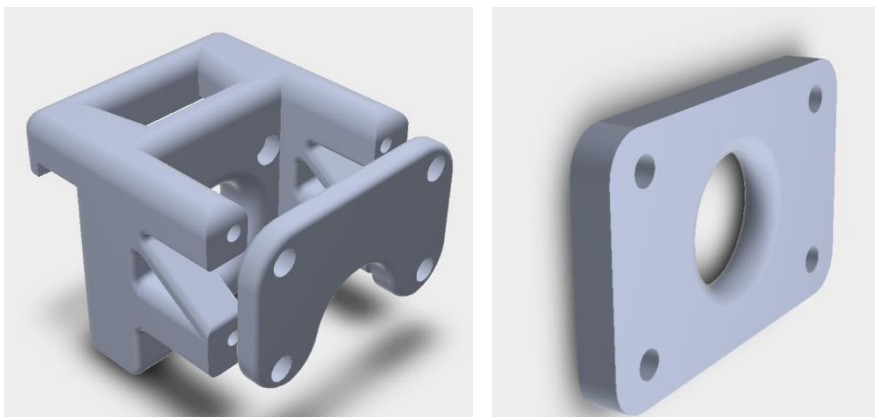


Fig. 77 Diseño del amarre entre el LEY y el LEF (izquierda). Placa sustituta (derecha)

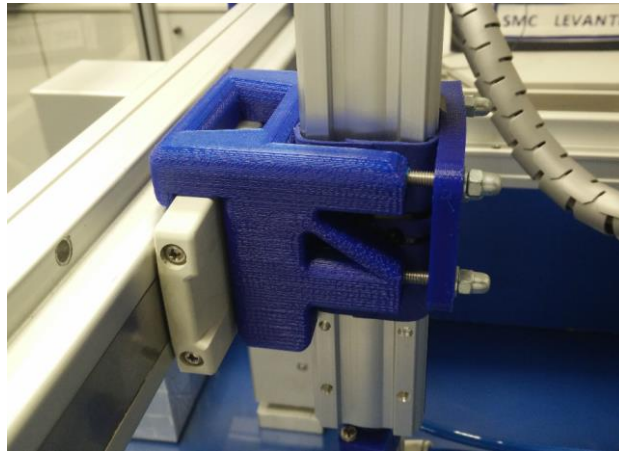


Fig. 78 Detalle de la pieza de amarre entre el LEY y el LEF

En la *Fig. 77* se tiene el diseño de las piezas de amarre, con la placa sustituta a la derecha. En la *Fig. 78* se tiene el resultado, donde se puede apreciar la banda de goma introducida en el interior para aumentar el rozamiento.

La siguiente pieza que se ha diseñado es el amarre entre los dos ejes sin vástago. Esta pieza es de las más importantes ya que soporta todo el peso del cilindro eléctrico y el eje Y, y lo acopla al carro del sin vástago eje X.

Además, se va a diseñar de modo que queden dos pequeños agujeros para que sea posible colocar una brida que sujete los cables. Adicionalmente se ha diseñado una pequeña placa con el logo de SMC para pegarla en el lateral del amarre.

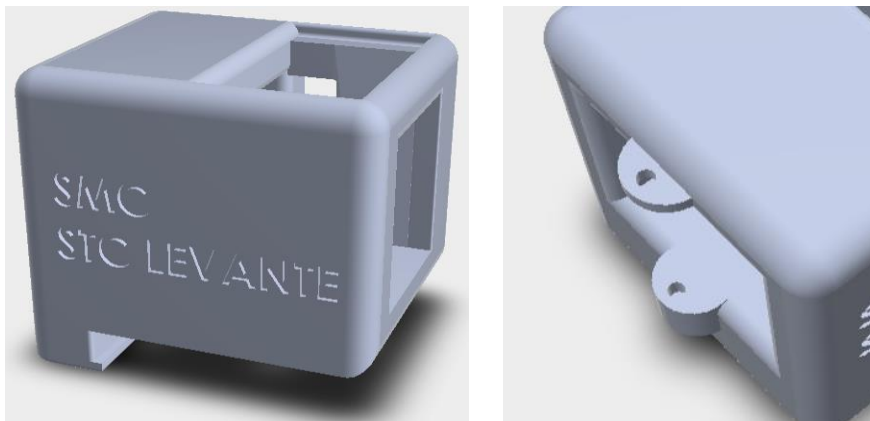


Fig. 79 Diseño de la pieza de amarre entre los dos ejes sin vástago y detalle de los agujeros para la brida (derecha)

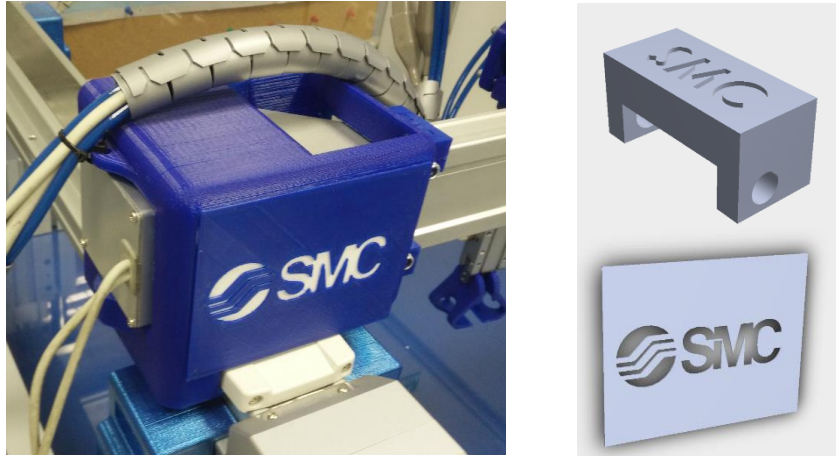


Fig. 80 Resultado de la pieza de amarre entre los dos LEF con la placa de SMC (derecha abajo) y los topes (derecha arriba)

Como se puede ver se ha adaptado la placa de SMC al amarre para poder visualizar un log más grande. Además, se han diseñado unos topes para que el carro no toque directamente con el amarre y pueda perjudicarlo. Estos topes se han atornillado directamente al eje y están señalados en la Fig. 80.

Lo siguiente que se ha tenido que diseñar es el amarre a la base. Para la base se han utilizado unas guías de un cilindro guiado que estaban en mal estado y un cilindro guiado con bloqueo, que había quedado inutilizado. Estos dos elementos se explicarán en el apartado de estructura más detalladamente, ya que no cumplen ninguna función más que esa.

La pieza rectangular donde se debía amarrar era de tamaño similar, así que las piezas han seguido un diseño similar. Aun así, había pequeñas diferencias que han hecho necesario el diseño de dos piezas distintas en vez de una.

Como dato curioso resaltar que estas piezas son de un color diferente porque se usó en principio una bobina de plástico blanca, aunque por temas estéticos se decidió finalmente pintarla de color azul.

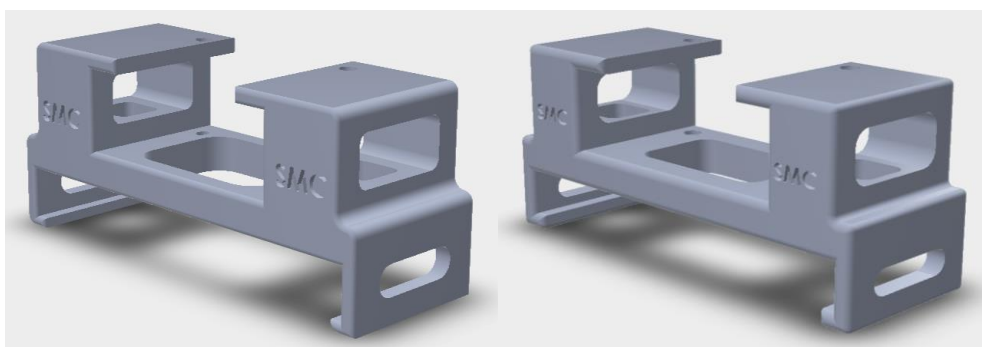


Fig. 81 Diseño de la pieza de amarre a la base. A las guías (izquierda) y al cilindro guiado (derecha)

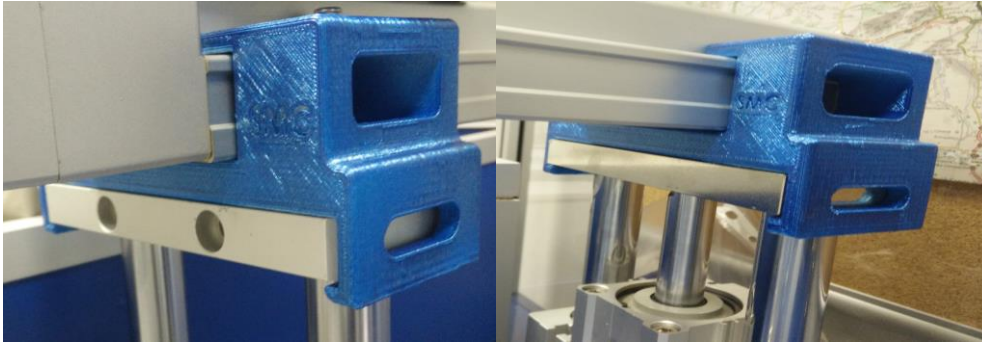


Fig. 82 Diseño de la pieza de amarre a la base. A las guías (izquierda) y al cilindro guiado (derecha)

En las figuras Fig. 81 y Fig. 82 se puede apreciar la pequeña diferencia entre las dos piezas, y como la de la izquierda solo está unida a unas guías mientras que la de la derecha está unida a un cilindro con las guías.

En cuanto a las dimensiones de las piezas, la de la izquierda tiene un ancho de 64mm, por un alto total de 76,4mm y un largo de 176,4mm, mientras que la de la derecha tiene un ancho de 60mm por un alto de 76,4mm y un largo de 161mm. Como se puede ver el alto coinciden para que el eje que soportan no esté inclinado, ya que esta dimensión sí que coincide en las dos bases.

Finalmente, también se han realizado una serie de piezas de adorno para el mando del manipulador, donde se incluyen unas pequeñas flechas indicativas de los botones de dirección, una pequeña tapa con el nombre de la empresa y un pequeño tapón para la salida de los cables de las botoneras, así evitamos que se seccionen por el orificio del mando. Se tiene una imagen de estas piezas en la Fig. 83.

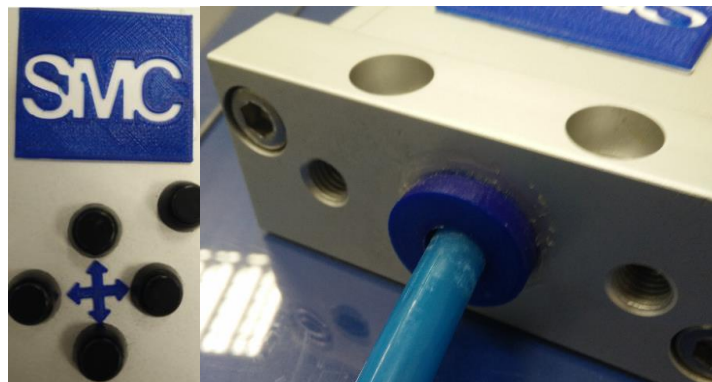


Fig. 83 Otras piezas de adorno para los elementos del manipulador.

Estructura

En este apartado se hará una orientación de como se ha realizado la estructura para cubrir el manipulador. Dentro de esta estructura incluimos la base plana sobre la que se apoyarán los elementos, la estructura que rodeará el robot (perfiles de aluminio con placas de plástico transparente), el alojamiento del PLC y los controladores y las patas que mantendrán toda la estructura en alto.

Para el caso de la base se ha optado por un tablón de madera de 1,2 metros de largo por 1 metro de ancho y de 2 cm de espesor, sobre el que se le ha realizado un orificio cuadrado de 70x7cm, en un lateral, para extraer los cables y tubo. Sobre esta base descansa una lámina de metacrilato de las mismas dimensiones.

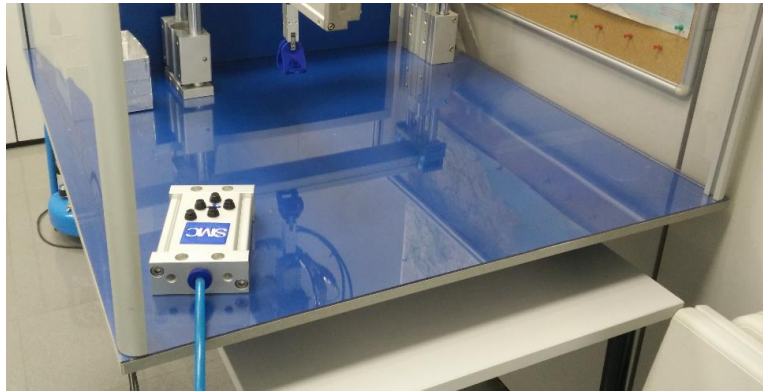


Fig. 84 detalle de la base

A esta base se le han añadido tres paredes rodeando al orificio de la base para poder montar el sistema electrónico, que incluye el control y las unidades de alimentación, así como los drivers y la válvula. La pared larga mide 75cm, mientras que las cortas son de 25cm.

Estas paredes se han fijado a la base con unas escuadras (y entre ellas), y se han cubierto con un perfil en "L" de aluminio por diseño y para evitar tener la madera a la vista.

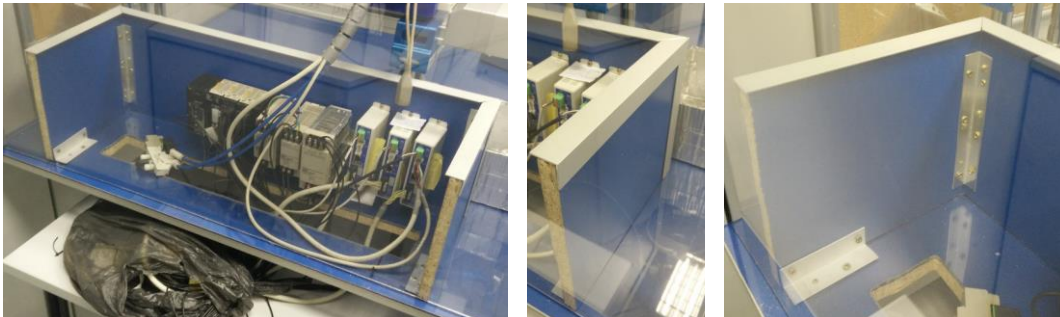


Fig. 85 Detalle de las paredes para la electrónica

Además, a la base se le han añadido seis patas de plástico de 10cm de largo, separadas unos 30cm entre sí, y centradas a lo largo y ancho.



Fig. 86 Detalle de las patas

Además de esta base, el robot también ha sido rodeado por una estructura de perfiles de aluminio y láminas de metacrilato, exceptuando el lado contrario a donde se encuentra la electrónica. Estas miden aproximadamente lo mismo que la base de madera.

Más concretamente se trata de dos láminas de metacrilato de 114cm de largo y 50cm de alto, que cubren los dos laterales, y una lámina de 94cm de ancho y 50cm de alto, que cubre la parte de detrás (donde se encuentran los cables).

Rodeando a estas laminas, para mantenerlas sujetas y proporcionar una estructura más fuerte, se tiene los perfiles de aluminio. Son necesarios 4 de longitud 50cm, para tenerlos de pilares en las 4 esquinas. Dos de 114cm que actuarán como vigas transversales en los laterales, uniendo las cabezas de los dos pilares. Y finalmente, dos más, de 94cm que unirán los pilares por el frente y el fondo del robot.

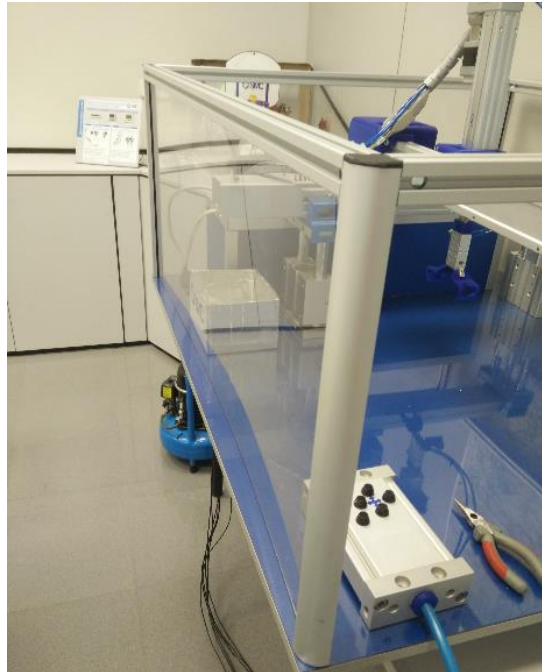


Fig. 87 Estructura exterior

Además de estos elementos también han sido necesarios algunos elementos auxiliares como puede ser un perfil de un cilindro vacío para alojar los botones de marcha de los actuadores, los propios botones, tubo de plástico y cables.

Conexión neumática

En este apartado se va a presentar el esquema neumático de los elementos que hay instalados en el robot, o que son necesarios para el funcionamiento correcto de la pinza. Este incluye el conjunto del compresor (compresor, tanque y tratamiento de aire), válvula, regulación de caudal, actuador y tubería y racordaje.

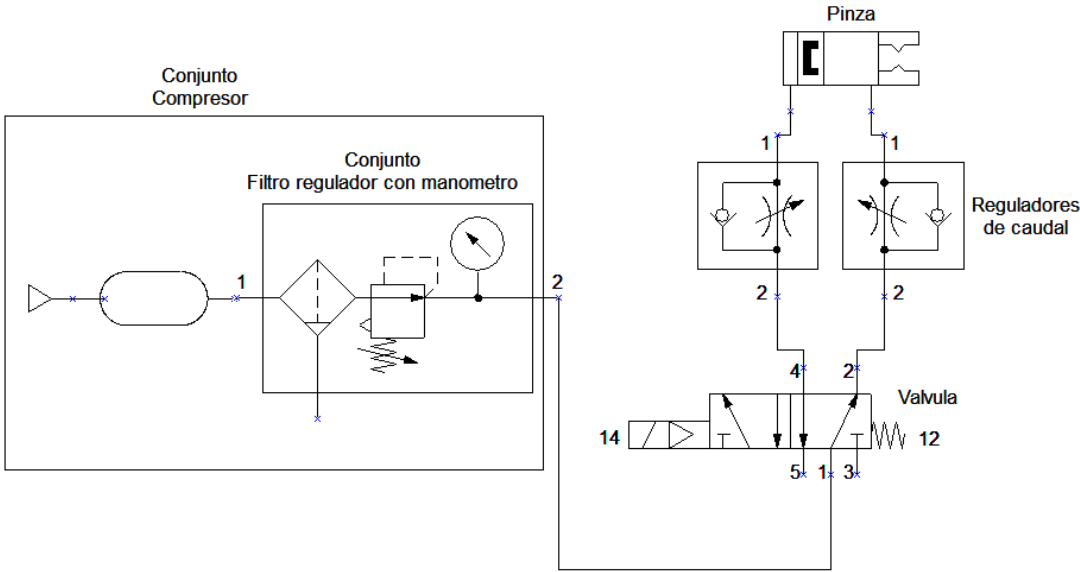


Fig. 88 Esquema neumático

Como se puede ver en la Fig. 88 se tiene un llamado “conjunto compresor” que está compuesto por el propio compresor, más un pequeño depósito para almacenar el aire comprimido y un conjunto de filtro regulador con manómetro. Todo esto va incluido dentro del compresor portátil del que se ha hablado en el apartado de selección de componentes.

A la salida de este compresor, donde tenemos aire con la calidad suficiente y a la presión necesaria, conectamos un tubo que unimos con la entrada de presión de la válvula. Cada salida de la válvula se conectará con las distintas entradas según se quiera que la pinza esté normalmente cerrada o normalmente abierta (siempre teniendo en cuenta que la salida de la válvula con presión es normalmente la 2, hasta que se activa).

En un punto entre la válvula y la pinza se han colocado dos reguladores de caudal, para poder regular la velocidad con la que se abren o cierran los dedos. En nuestro caso, los reguladores que se suelen colocar son del tipo de salida, de manera que cuando entra el aire lo deja pasar libremente y cuando sale lo estrangula, regulando el paso. Esto se consigue mediante una bola que actúa de antirretorno.

En la Fig. 89 se puede ver el funcionamiento que tendría un regulador de caudal a la salida con el antirretorno.

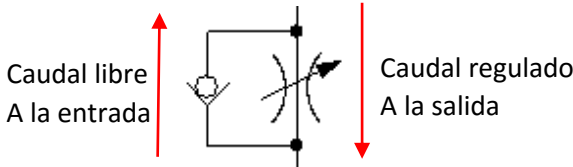


Fig. 89 Funcionamiento del regulador con antirretorno

Cableado

En el presente apartado se va a proceder a la explicación de todo el cableado necesario para el funcionamiento de la estación de Pick and Place. Por una parte, se hablará de como cablear los actuadores y los drivers entre sí y a la alimentación, y por otra parte de cómo se ha realizado el cableado de entradas y salidas al PLC.

Lo primero es hacer llegar la alimentación desde una fuente de alimentación al driver, para ello se necesita un conector del tipo que se ha comentado en el diseño.

Wiring Example 1

Power Supply Connector: CN1 * Power supply plug is an accessory.
 <Applicable cable size> AWG20 (0.5 mm²), cover diameter 2.0 mm or less

CN1 Power Supply Connector Terminal for LECP6 (PHOENIX CONTACT FK-MC0.5/5-ST-2.5)

Terminal name	Function	Details
0V	Common supply (-)	M 24V terminal/C 24V terminal/EMG terminal/BK RLS terminal are common (-).
M 24V	Motor power supply (+)	Motor power supply (+) supplied to the controller
C 24V	Control power supply (+)	Control power supply (+) supplied to the controller
EMG	Stop (+)	Input (+) for releasing the stop
BK RLS	Lock release (+)	Input (+) for releasing the lock

Power supply plug for LECP6

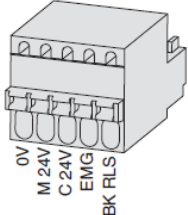


Fig. 90 Terminales de alimentación del driver

Como se ve en la Fig. 90 se necesitan 5 cables, cuatro positivas con los que se alimentaran todos los pines excepto el 0V, y uno negativo para el 0V (el driver es PNP, o común negativo). Este conector se enchufa en el canal 1 del driver (CN1)

Una vez se tiene alimentado el driver se conecta este al actuador mediante los canales CN2 y CN3. Este cable es diferente para los actuadores con bloqueo y sin bloqueo, y ya se suministran con los conectores colocados. Para finalizar la conexión, conectamos el cable de entradas y salidas al CN5 con el conector precableado, y por el otro extremo lo cableamos al PLC según se quiera disponer de las señales (en el anexo se encuentra el código de colores). Esto se ve en la Fig. 91.

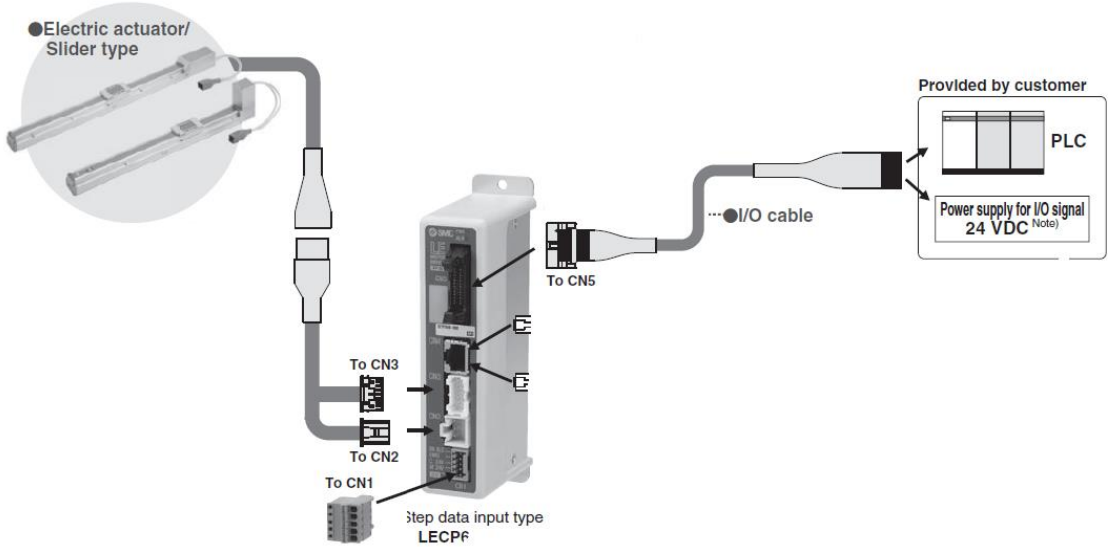


Fig. 91 Cableado

Para cablear el driver para la programación se puede hacer de dos maneras, o bien con una teaching box, o bien con el ordenador. En nuestro caso se ha hecho con el ordenador, ya que se dispone del software y el cable en la oficina. Para esto solamente debemos conectar al canal 4 (CN4) el cable correspondiente y en el otro extremo se tiene bien la teaching, o bien un conector USB para conectar al PC.

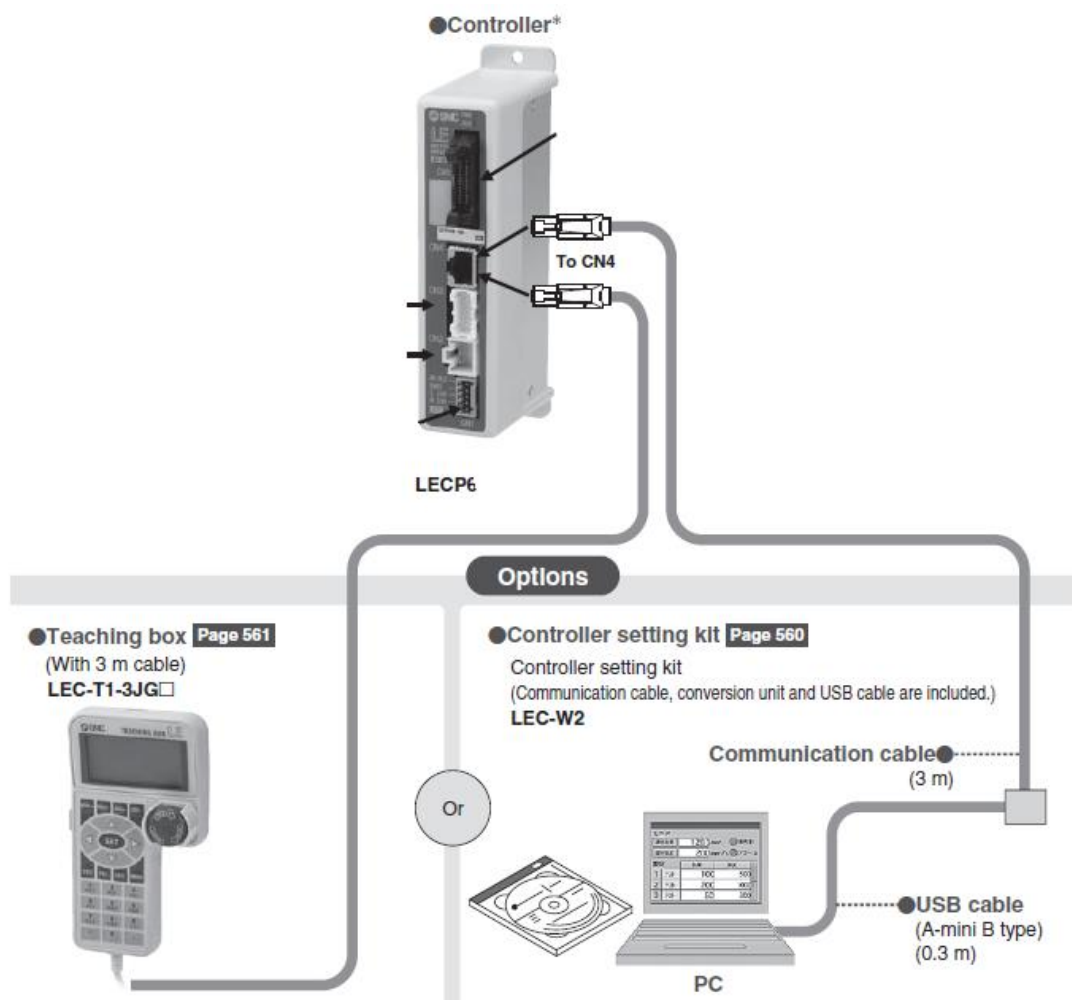


Fig. 92 Cableado para la programación

El cableado de las entradas y salidas en el lado del PLC han sido realizados por el eléctrico/programador de la oficina teniendo en cuenta los códigos de colores y de pines que se han comentado anteriormente, y según en qué salida o entrada del PLC se necesite cada señal.

Además, esta persona será la encargada de la programación del PLC.

Programación

En este apartado se procederá a la explicación de la programación de los distintos drivers, haciendo hincapié en la construcción de la tabla de posiciones.

Lo primero que debemos hacer para programar el driver, es conectarlo al PC de la manera que se ha expuesto en el apartado anterior, y abrir el programa ACT Controller.



Fig. 93 Icono del software de programación del driver

Una vez se ha abierto, pregunta si entrar en modo normal o fácil, se abre en modo normal, para poder programarlo. Cuando se ha abierto la página principal, se pulsa en modo monitor para poder modificar valores y no solamente ver. A continuación, nos pregunta si está asegurado la zona para evitar accidentes con los ejes, se pulsa aceptar y se accede al modo monitor. Esto se puede ver en la Fig. 94.

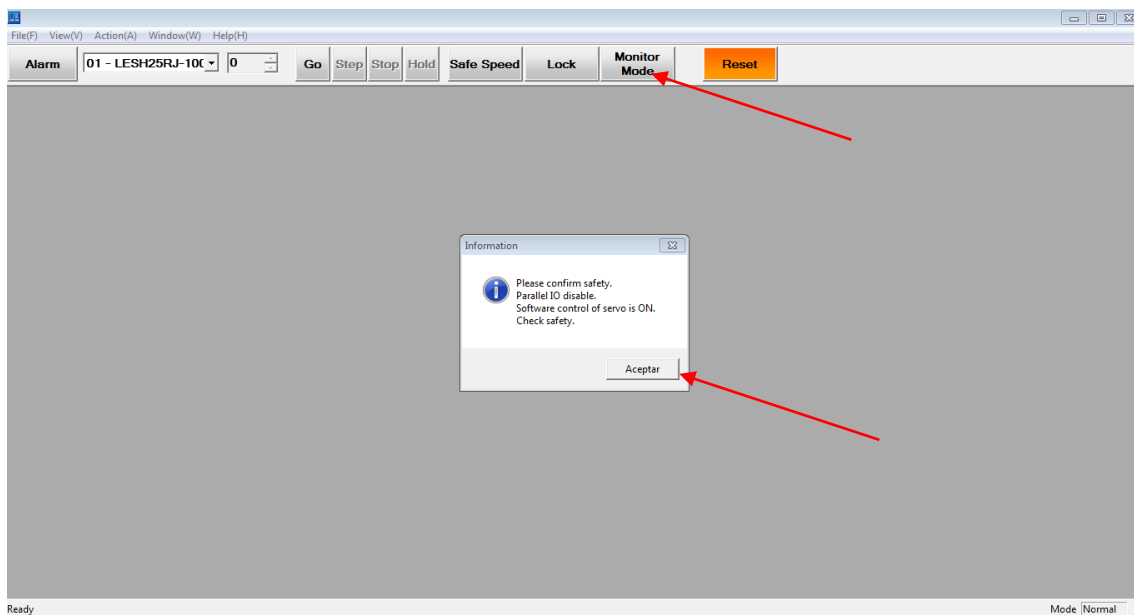


Fig. 94 Pantalla principal del programador de ejes

A continuación, para mostrar la tabla de posiciones donde programar las velocidades y aceleraciones de los movimientos a los distintos puntos, se accede al menú de herramientas, pulsando en "View", y a continuación mostramos el "Step Data".

A continuación, se muestra una tabla similar a una hoja de Excel, donde nos pide una serie de parámetros, Fig. 95, que se explican más adelante.

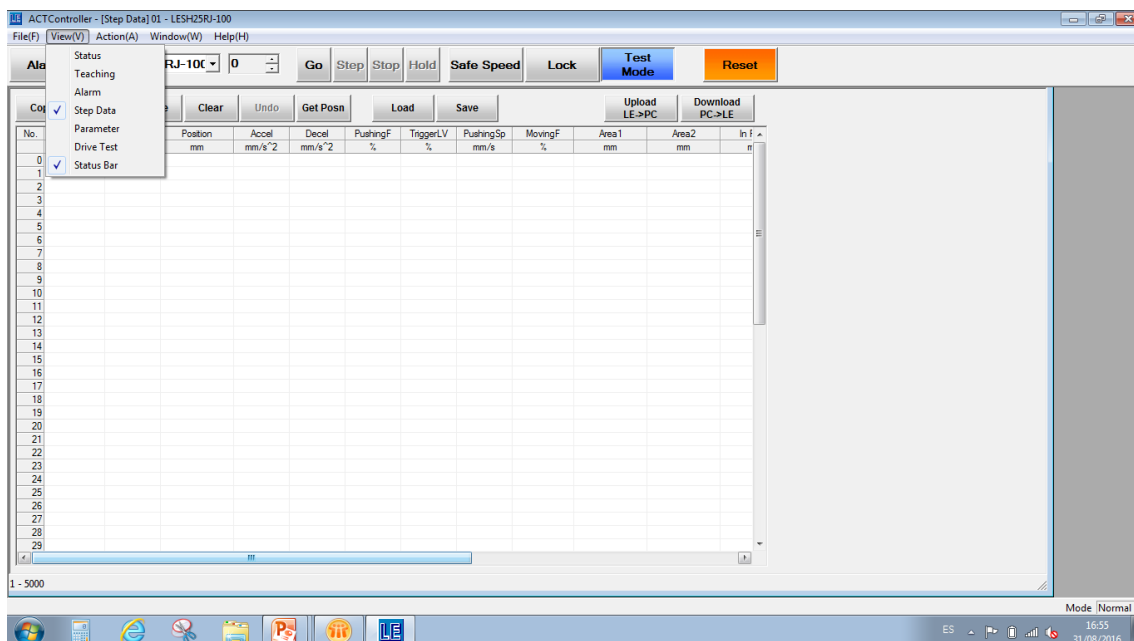


Fig. 95 Pantalla de tabla de programación.

En la Fig. 96 se tiene una vista más detallada de los parámetros que encontramos en la tabla. Entre ellos se destaca:

- Move M: Tipo de cota (absoluta o relativa a la posición anterior).
- Speed: Velocidad a la que se quiere que se mueva.
- Position: Cota a la que se quiere que se mueva.
- Accel: Aceleración que tendrá hasta llegar a la velocidad marcada.
- Decel: Deleración que se quiere para parar cuando va a llegar.
- PushingF: Porcentaje de la fuerza de empuje máxima que se quiere que se haga (normalmente si es posicionamiento 0%).
- TriggerLV: Porcentaje de fuerza al que se activa una salida de 24Vcc.
- PushingSp: Velocidad a la que se mueve cuando se encuentra en modo empuje.
- ...

Además, el valor que no sale en la imagen se trata del “In position” que es la sensibilidad que se tiene para dar la señal de que ha llegado a la posición. Es decir, cuanto más alto sea este valor, antes enviará la señal de que ha llegado, pero más lejos está de la posición real. Esto se suele usar para disminuir al máximo el tiempo de ciclo, ya que se suele introducir en décimas de milímetros.

Aquí se introducen los parámetros requeridos.

No.	Move M	Speed mm/s	Position mm	Accel mm/s ²	Decel mm/s ²	PushingF %	TriggerLV %	PushingSp mm/s	MovingF %	Area1 mm	Area2 mm	In f mm
0												
1												

Fig. 96 Detalla de los parámetros de la tabla de programación.

A modo de prueba se han introducido unos datos de ejemplo para ver cómo quedaría la tabla. Una vez se han introducido todos los datos, solamente se tiene que pulsar la opción “Download PC - LE” para transmitirle los datos al driver y quedaría grabado. También es posible cargar la tabla que haya en el driver mediante el comando “Upload LE-PC”.

Se deja descargar un momento y a partir de aquí solamente tenemos que darle la orden al driver mediante el PLC (con la salida correspondiente). Esto se ve en la Fig. 97.

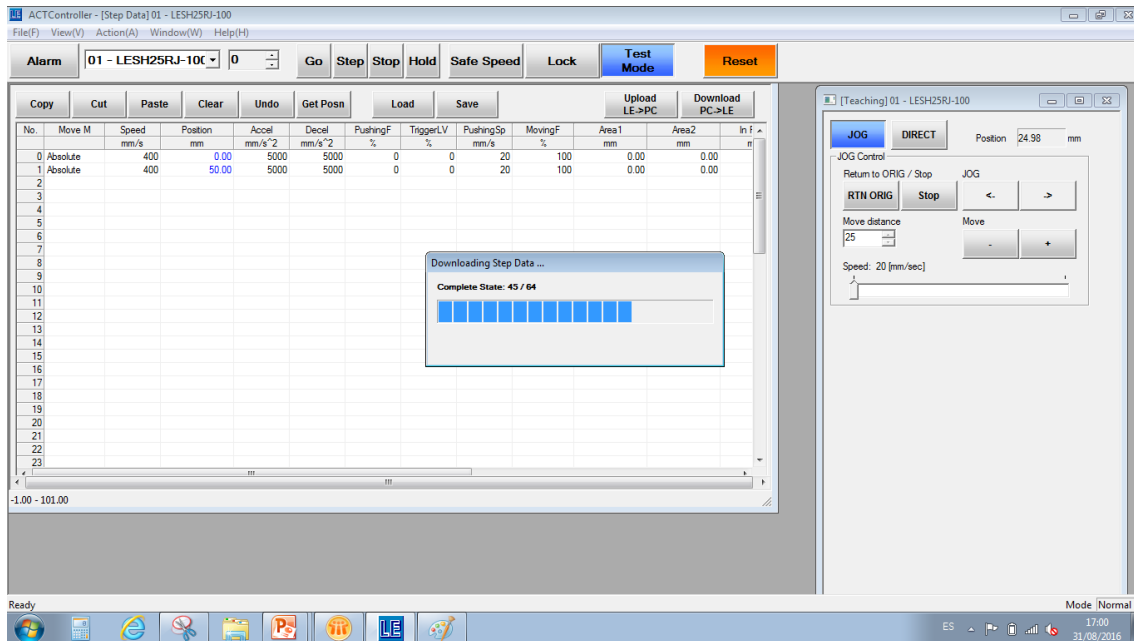


Fig. 97 Detalle de la tabla de posiciones descargando.

Además, existe la opción de mandar al actuador a una posición concreta en un momento dado para hacer una prueba de velocidad o precisión, mediante la ventana de “Teaching JOG”. También es posible simular un ciclo de instrucciones mediante el “Drive Test”. En este modo se pueden poner otras instrucciones además de posiciones, cómo esperas, bucles, etcétera.

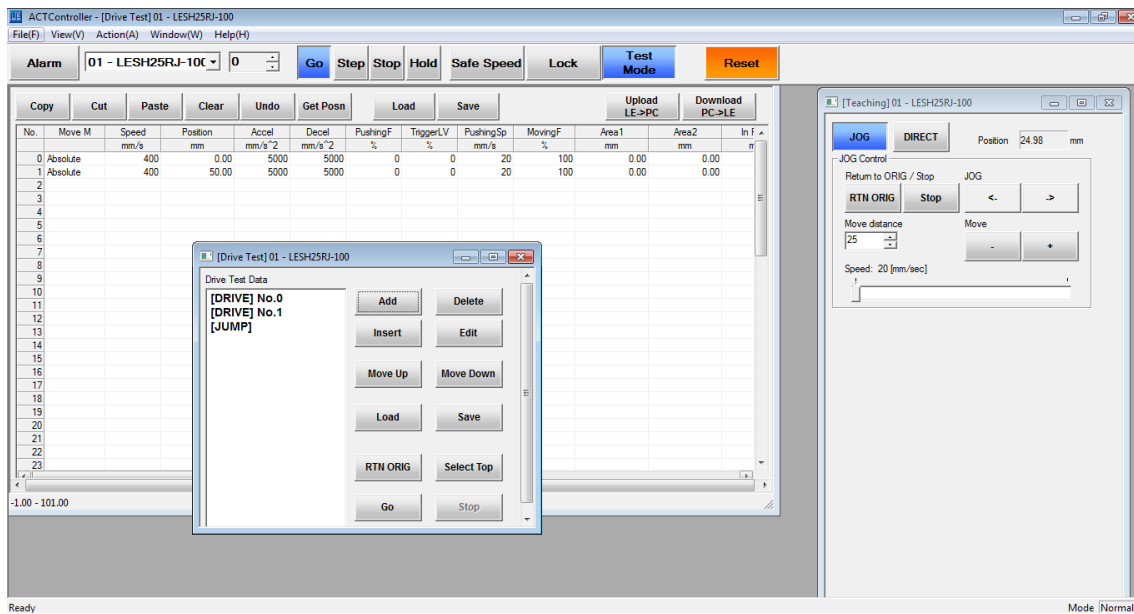


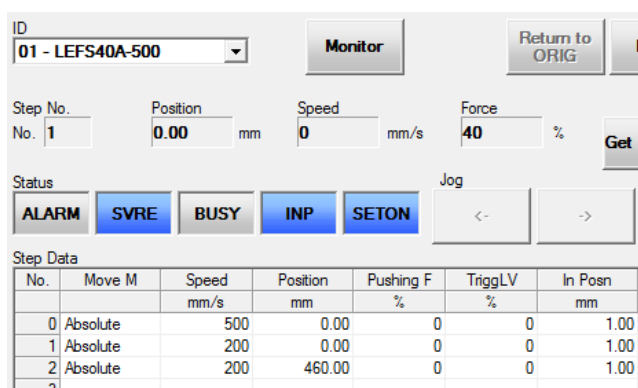
Fig. 98 Ejemplo de la tabla, con el Teaching Job (derecha) y el Drive Test (Centro, en pequeño).

En el caso que ocupa a este proyecto, se tendrán tres tablas, una para cada eje.

En el primer caso, el del eje sin vástago de mayor diámetro (el que soporta el peso de todo), una vez se coloca con las piezas auxiliares, para evitar que pueda chocar con la estructura por accidente, se programa que la posición máxima en el milímetro 460.

Además, se programará distintas velocidades para ir a 0 según el programa, cuando ya haya recogido la pieza, volverá con más velocidad, mientras que cuando se está controlando con el mando la velocidad será más reducida.

La tabla, con las tres posiciones mencionadas se encuentra en la Fig. 99. Como se puede ver solamente aparecen los datos de velocidad y posición, ya que nos encontramos en modo monitor, ya que solamente se quería mostrar la tabla sin posibilidad de modificar nada. Los valores de aceleración se han escrito los mostrados en el apartado de selección, que en todos los casos es de 2000mm/s^2 (tanto en aceleración como en deceleración).

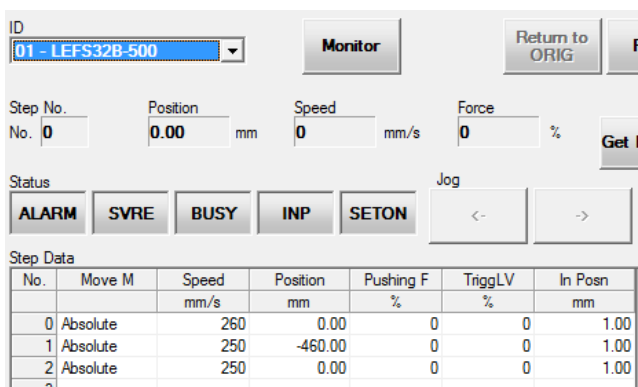


No.	Move M	Speed mm/s	Position mm	Pushing F %	TriggLV %	In Posn mm
0	Absolute	500	0.00	0	0	1.00
1	Absolute	200	0.00	0	0	1.00
2	Absolute	200	460.00	0	0	1.00

Fig. 99 Tabla del eje X (mayor tamaño)

A continuación, se ha definido la tabla del eje Y. En este caso se ha pedido de manera que el cero se encuentra en el extremo contrario al motor (extremo que está en la parte frontal, que es donde descargará la pieza). Por tanto, las cotas que se deben introducir son negativas. En el caso de que el driver sea igual que el anterior, solamente habría que sustituir el 0 por un 500 (máximo de la carrera), y el -460 por un 40mm (posición necesaria para que no choquen las piezas auxiliares).

De igual forma que el anterior, la tabla queda según la Fig. 100.



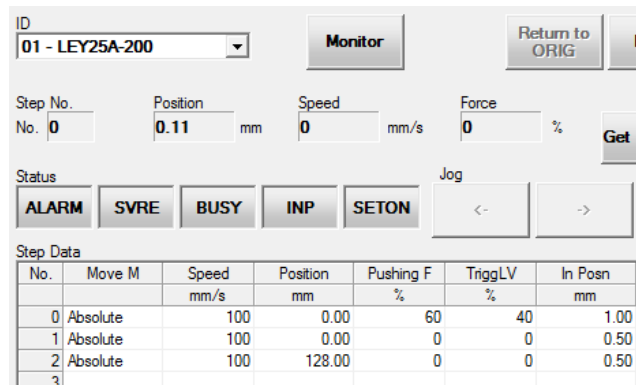
No.	Move M	Speed mm/s	Position mm	Pushing F %	TriggLV %	In Posn mm
0	Absolute	260	0.00	0	0	1.00
1	Absolute	250	-460.00	0	0	1.00
2	Absolute	250	0.00	0	0	1.00

Fig. 100 Tabla del eje Y

Por último, solamente queda la tabla para el eje vertical, el encargado de llevar la pinza a la zona donde cogerá la pieza. Una vez está el robot ensamblado se mide, de manera que los dedos de la pinza queden a unos 13 centímetros de la base. Con ello, y dejando un par de milímetros para que no rocen los dedos y el metacrilato, se programa la posición en 128mm.

Además, este eje tiene otra cosa diferente y es que para elevar una carga hace falta hacer una fuerza. Aunque en nuestro caso el peso de la carga es insignificante, resulta instructivo usar los parámetros de fuerza.

La tabla programada queda en la *Fig. 101*.



No.	Move M	Speed mm/s	Position mm	Pushing F %	TriggLV %	In Posn mm
0	Absolute	100	0.00	60	40	1.00
1	Absolute	100	0.00	0	0	0.50
2	Absolute	100	128.00	0	0	0.50
3						

Fig. 101 Tabla del eje Z

Por otro lado, está la programación del PLC, que lo ha realizado paralelamente a este trabajo un técnico-programador de la empresa. El programa utilizado se explicará a continuación y se pondrá un ejemplo realizado con un graficet.

Se ha optado por disponer de 5 botones para controlar el robot:

- *Xizq*: botón que se utilizará para mandar la señal de que el eje X se mueva hacia la izquierda (posición 0)
- *Xder*: botón que se utilizará para mandar la señal de que el eje X se mueva hacia la derecha (posición 1)
- *Yizq*: botón que se utilizará para mandar la señal de que el eje Y se mueva hacia la izquierda (posición 0)
- *Yder*: botón que se utilizará para mandar la señal de que el eje Y se mueva hacia la derecha (posición 1)
- *C*: botón que se utilizará para que el robot realice un ciclo de bajar, coger pieza, subir, desplazar a posición inicial y soltar pieza.

Además, también disponemos de la señal de mandar los ejes a la posición cero, que se realizará al principio de encender la máquina.

Para la realización del graficet se ha tenido en cuenta también las señales que podemos obtener de los actuadores eléctricos:

- EncoderX0: Señal que emite el actuador X cuándo se encuentra en la posición cero.
- EncoderX1: Señal que emite el actuador X cuándo se encuentra en la posición uno.
- EncoderY0: Señal que emite el actuador Y cuándo se encuentra en la posición cero.
- EncoderY1: Señal que emite el actuador Y cuándo se encuentra en la posición uno.

En el momento inicial, el PLC emitirá la señal de que los ejes eléctricos se muevan a las posiciones iniciales. A partir de aquí, cuando todos estén en posición inicial, se empezará el ciclo del prototipo.

En este momento el manipulador se encontrará parado hasta que pulsemos uno de los cinco botones, cada uno realizando su función. En el caso de que se pulsen dos botones a la vez, si son del mismo eje, se dará prioridad al desplazamiento a la posición cero. Si se pulsaran dos botones de distintos ejes, no se establecerá prioridad.

En el caso de pulsar el botón de coger pieza, se iniciara un ciclo donde no se podrá hacer nada más. El ciclo es, primeramente, el eje Z bajará hasta la posición de donde se coge la pinza, luego se activará la pinza. Después de esperar un instante para darle tiempo a la pinza a coger el producto, el eje Z volverá a subir.

Una vez se tiene la señal de que el eje Z está en la posición adecuada, los ejes X e Y se desplazarán a la vez hacia el punto inicial (siempre y cuando no estén ya en esa posición).

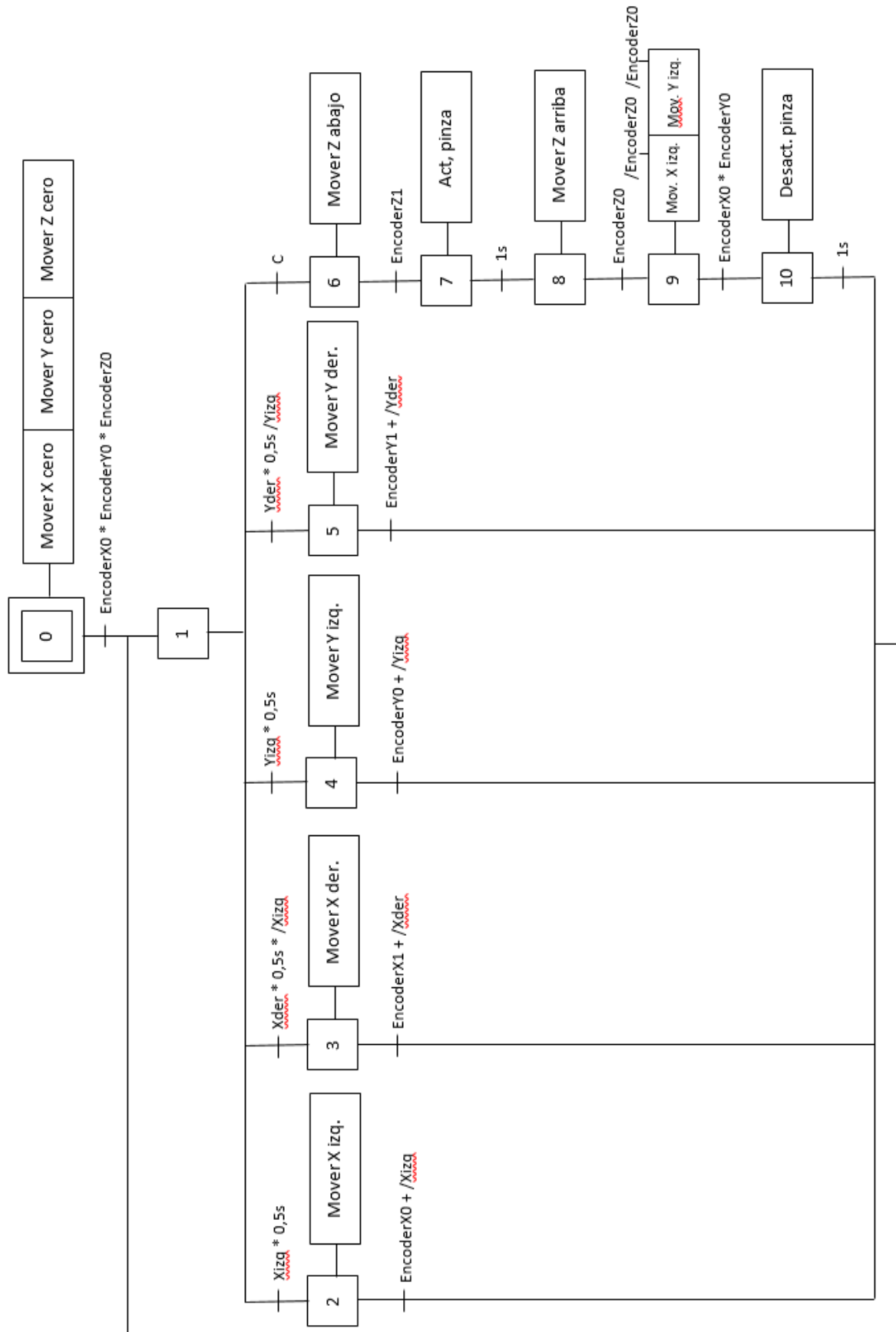


Fig. 102 Grafnet ejemplo del programa del prototipo

Evaluación del sistema

En este apartado se realizarán un par de pruebas para determinar los resultados logrados en el prototipo.

Se realizarán ensayos de repetibilidad, para observar la capacidad que tiene el robot de alcanzar la posición programada. Después se medirá la velocidad que es capaz de alcanzar el robot para observar cómo de cerca está de la programada.

Para finalizar se realizará un estudio del tiempo de ciclo, en el peor de los casos, para obtener cuánto tarda el robot en completar una maniobra.

Repetibilidad

Para el estudio de la repetibilidad se ha empleado una hoja a la que se le realizaban unas marcas mediante una aguja unida rígidamente a los dedos de la pinza. Posteriormente se medía la distancia mediante un calibre de precisión.

La posición a la que se han realizado es la considerada más desfavorable, que para este caso es el extremo del eje X (posición más alejada del cero) y el extremo del eje Y (posición más alejada del cero y mayor pandeo).

La medida se ha realizado respecto a unas marcas realizadas en el papel (en ambos ejes), con lo que la distancia que se mide (a la marca) no es representativa, pero sí la diferencia de cota entre las muestras. A continuación, se muestra la tabla de datos obtenida (*Fig. 103*).

Distancia a X (mm)	16,6	16,7	17	17,4	17,4	17,6	17,6	17,7	17,9	18	18,1
Distancia a Y (mm)	16,3	17,1	15,9	16,7	16,4	17,2	16,9	16,4	16,6	17	16,4

Fig. 103 Tabla de medidas de repetibilidad

A partir de estas distancias, se ha obtenido el promedio, y se ha restado a todas las medidas, de manera que el promedio de todos los puntos se encontrará en el (0,0) al representar en un gráfico.

Con la tabla habiendo restado el promedio se puede obtener una nube de puntos donde se podrá ver la repetibilidad del prototipo, *Fig. 105*.

Además del promedio, también se ha obtenido la desviación estándar, para así poder representar la distribución normal de los puntos, tanto en un eje como en otro. Esta distribución debería de asemejarse a una campana de Gauss, y esto se corrobora con la figura *Fig. 106*.

	PROMEDIO	DESV. EST.
Distancia a X	17,45	0,5027
Distancia a Y	16,63	0,3952

Fig. 104 Promedio y desviación estándar

En la *Fig. 104* se tiene una tabla con los valores de promedio y desviación estándar.

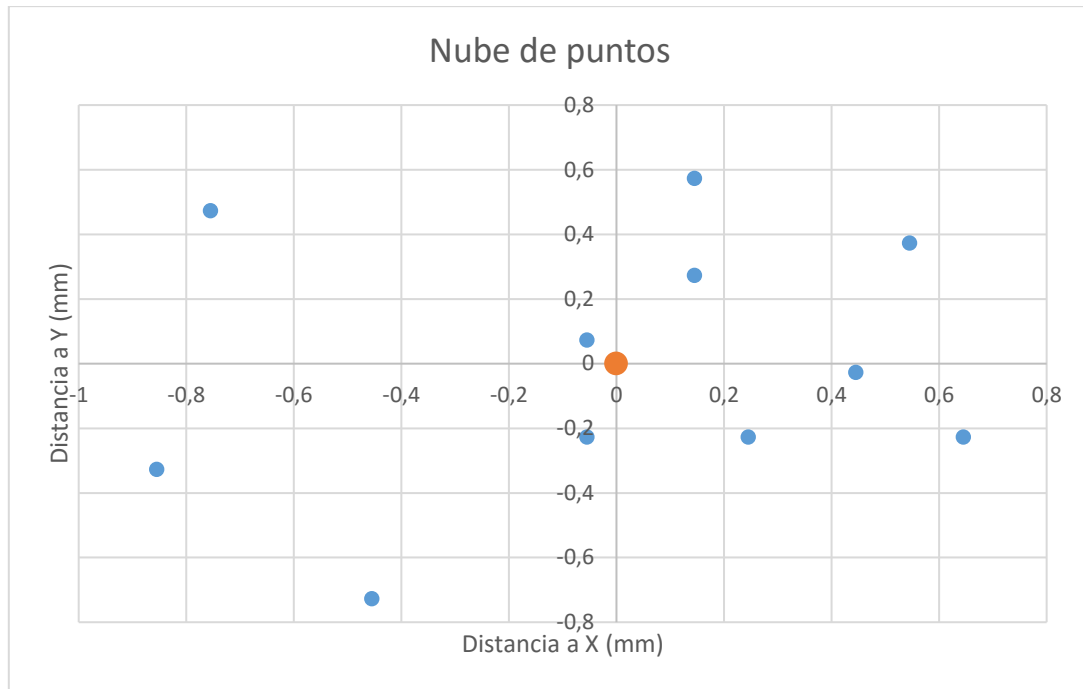


Fig. 105 Nube de puntos

Como se puede ver en la nube de puntos (Fig. 105), se tiene una repetibilidad de aproximadamente 1,5 milímetros en cada dirección. Teniendo en cuenta las características de los ejes, que tienen una repetibilidad de 0,02 milímetros, se ha obtenido una relativamente elevada.

Esto es debido a que los amarres, al tratarse de un prototipo, se han realizado con plástico PLA de impresión 3D, y no con piezas metálicas mecanizadas. Aun así, es más que suficiente para la aplicación que se quiere desarrollar.

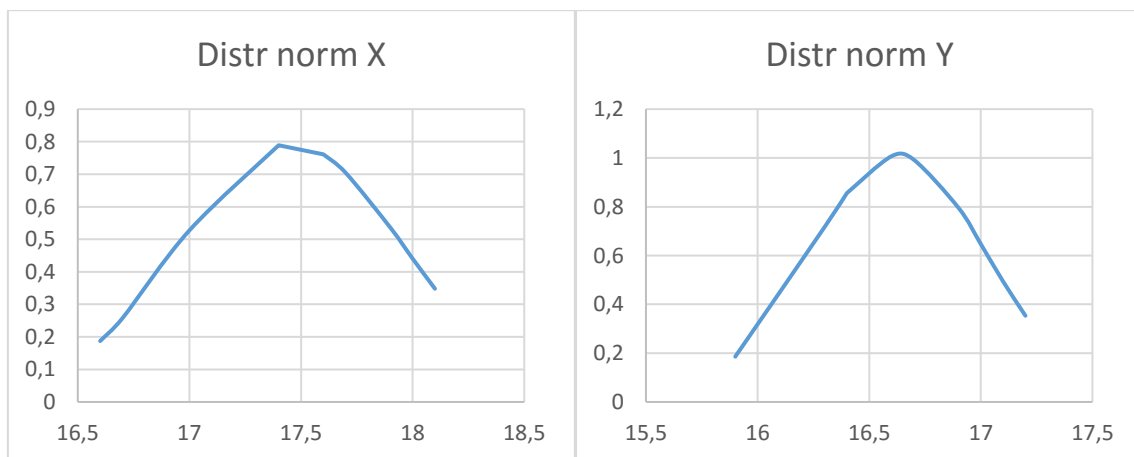


Fig. 106 Distribución normal de los puntos

En la Fig. 106 tenemos la distribución normal de los puntos obtenidos en el ensayo. Como se puede observar, se tiene una gráfica muy parecida a una campana de Gauss, lo que quiere decir que un alto porcentaje de veces estará cerca del punto requerido, mientras que en un porcentaje más bajo podrá estar por encima, por debajo, o por los laterales.

Velocidad

Para el ensayo de velocidad se han tomado medidas del tiempo que se toman los actuadores eléctricos en realizar la carrera completa. Estas medidas se han tomado en cinco puntos distintos del eje complementario, a la ida y a la vuelta.

Es decir, para medir velocidad en el eje X, se coloca el eje Y en cinco puntos distintos aleatoriamente, y se toma medida del tiempo que tarda en realizar la carrera completa al ir y al volver. Para el eje Z se han tomado medidas en los 4 extremos del robot y en el punto central, también en los dos sentidos.

En la tabla siguiente se representan los diez valores obtenidos para cada eje.

Tiempo X (s)	2,54	2,74	2,71	2,68	2,5	2,46	2,61	2,36	2,43	2,44
Tiempo Y (s)	2,15	2,07	2,03	2,19	2,1	2,08	2,08	2,05	2,15	2,11
Tiempo Z (s)	1,51	1,48	1,4	1,52	1,5	1,5	1,39	1,48	1,44	1,37

Fig. 107 Tabla de tiempos obtenidos en los ensayos para los distintos ejes

Con estos valores, sabiendo la carrera de cada eje (460mm para los ejes horizontales, y 128mm para el eje vertical), podemos obtenerla velocidad de cada uno.

Velocidad X (mm/s)	181,1	167,9	169,7	171,6	183,3	187,0	176,2	194,9	189,3	188,5
Velocidad Y (mm/s)	214,0	222,2	226,6	210,0	224,4	221,2	221,2	224,4	214,0	218,0
Velocidad Z (mm/s)	84,8	86,5	91,4	84,2	83,1	85,3	92,1	86,5	88,9	93,4

Fig. 108 Velocidades medidas de cada eje.

Como se puede ver en la tabla de velocidades, tenemos en todos los casos una velocidad menor a la programada (que era 200mm/s para el eje X, 250mm/s para el eje Y, y 100mm/s para el eje Z). Esto se debe a que, en el primer instante, el eje está acelerando, y al final, el eje está decelerando, con lo que es tiempo que no está a velocidad máxima.

Por ello se decide a restar el tiempo que el actuador está acelerando y restando. El tiempo que se debe restar es la relación entre la velocidad máxima y la aceleración que tenemos. En la siguiente tabla se presentan los datos de cada eje.

Eje	Vel. Teórica (mm/s)	Acel. (mm/s ²)	Tiempo medio (s)	Tiempo real (s)	Velocidad media (mm/s)	Velocidad real (mm/s)	% vel. medio (%)	% vel. real (%)
X	200	2000	2,55	2,35	180,96	195,91	90,5	98,0
Y	250	2000	2,10	1,85	219,59	249,19	87,8	99,7
Z	100	2000	1,46	1,36	87,62	93,91	87,6	93,9

Fig. 109 Datos de velocidad modificados

En esta tabla (Fig. 109) se presentan los datos de tiempo, velocidad y porcentaje (respecto a la velocidad programada) medio, y los mismos datos, modificando el tiempo. El tiempo modificado para cada uno de los ejes se ha obtenido utilizando la formula $t = v/a$ y multiplicando por dos (ida y vuelta).

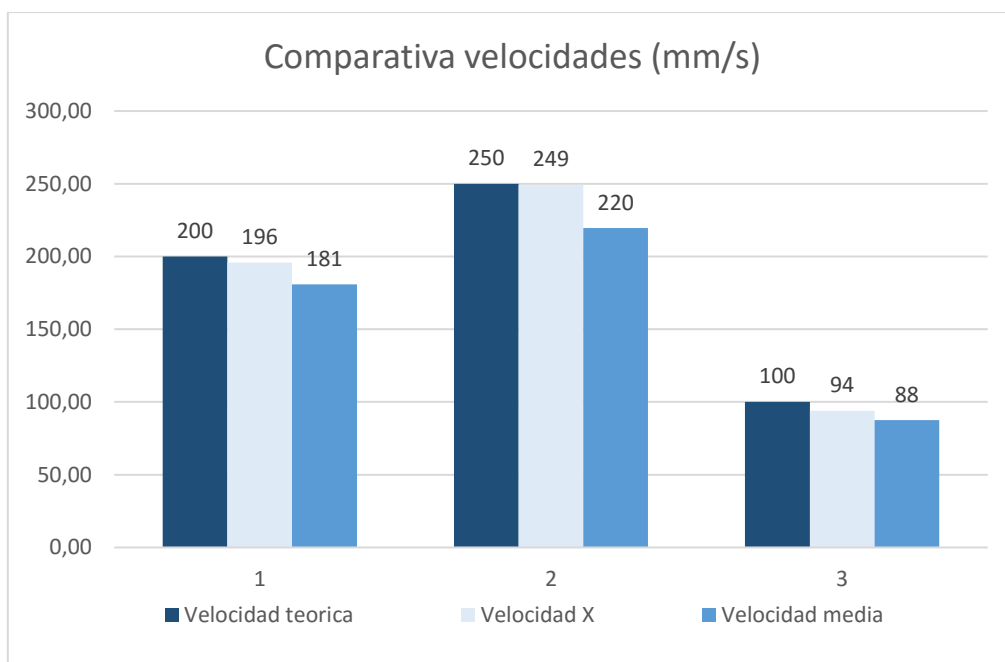


Fig. 110 Comparativa de las velocidades

En la Fig. 110 se tiene una gráfica de la comparativa de las velocidades de los distintos ejes. En ella está representada la velocidad teórica que debería de alcanzar, la velocidad que alcanza según el experimento, y la velocidad media (sin haber restado el tiempo de aceleración y deceleración).

Como se puede ver, el valor de velocidad calculada está cerca en los tres experimentos, siendo el eje vertical el que mayor error tiene (93,4 %). Esto puede ser debido a que los experimentos se han realizado con un temporizador manual, de manera que influye el tiempo de reacción del ejecutante.

Tiempo de ciclo

Para calcular el tiempo de ciclo, se ha construido un Excel, donde se introducen los datos de cada movimiento, y con estos datos se obtiene una gráfica del ciclo completo del robot.

MOVIMIENTO 1			MOVIMIENTO 2		
Eje X ida	Unid.		Eje Y ida	Unid.	
Desplazamiento :	460	mm	Desplazamiento :	460	mm
Aceleración :	2.000	2	Aceleración :	2.000	2
Deceleración :	2.000	2	Deceleración :	2.000	2
Velocidad máxima :	200	mm/s	Velocidad máxima :	250	mm/s
Tiempo estabilización :	0,5	s	Tiempo estabilización :	0,5	s
Tiempo Inicial	0,00	s	Tiempo Inicial	2,90	s
MOVIMIENTO 3			MOVIMIENTO 4		
Eje Z ida	Unid.		Eje Z vuelta	Unid.	
Desplazamiento :	128	mm	Desplazamiento :	128	mm
Aceleración :	2.000	2	Aceleración :	2.000	2
Deceleración :	2.000	2	Deceleración :	2.000	2
Velocidad máxima :	100	mm/s	Velocidad máxima :	100	mm/s
Tiempo estabilización :	1	s	Tiempo estabilización :	0,1	s
Tiempo Inicial	5,37	s	Tiempo Inicial	7,70	s
MOVIMIENTO 5			MOVIMIENTO 6		
Eje Y vuelta	Unid.		Eje X vuelta	Unid.	
Desplazamiento :	460	mm	Desplazamiento :	460	mm
Aceleración :	2.000	2	Aceleración :	2.000	2
Deceleración :	2.000	2	Deceleración :	2.000	2
Velocidad máxima :	260	mm/s	Velocidad máxima :	500	mm/s
Tiempo estabilización :	0,10	s	Tiempo estabilización :	0,1	s
Tiempo Inicial	9,13	s	Tiempo Inicial	9,18	s

Fig. 111 Tabla de movimientos

En la Fig. 111 se tiene una tabla con los movimientos que se han definido. De cada movimiento se introduce el desplazamiento que realizará el eje, la aceleración y deceleración, la velocidad máxima, y los tiempos de estabilización i inicial. El tiempo de estabilización es el tiempo que tarda el eje en poder recibir otra instrucción cuando ha acabado la primera. El tiempo inicial es el instante en el que se manda la instrucción y empieza a moverse.

Estos movimientos se han definido de tal forma que el robot se desplazará al punto más lejano del cero, o zona de descarga.

Los distintos movimientos son los siguientes:

- **Movimiento 1:** corresponde al “eje X” desplazándose al punto de carga.
- **Movimiento 2:** corresponde al “eje Y” desplazándose al punto de carga.
- **Movimiento 3:** corresponde al “eje Z” descendiendo al punto de carga.
- **Movimiento 4:** corresponde al “eje Z” ascendiendo después de haber cogido la carga con la pinza.
- **Movimiento 5:** corresponde al “eje Y” desplazándose al punto de descarga.
- **Movimiento 6:** corresponde al “eje X” desplazándose al punto de descarga.

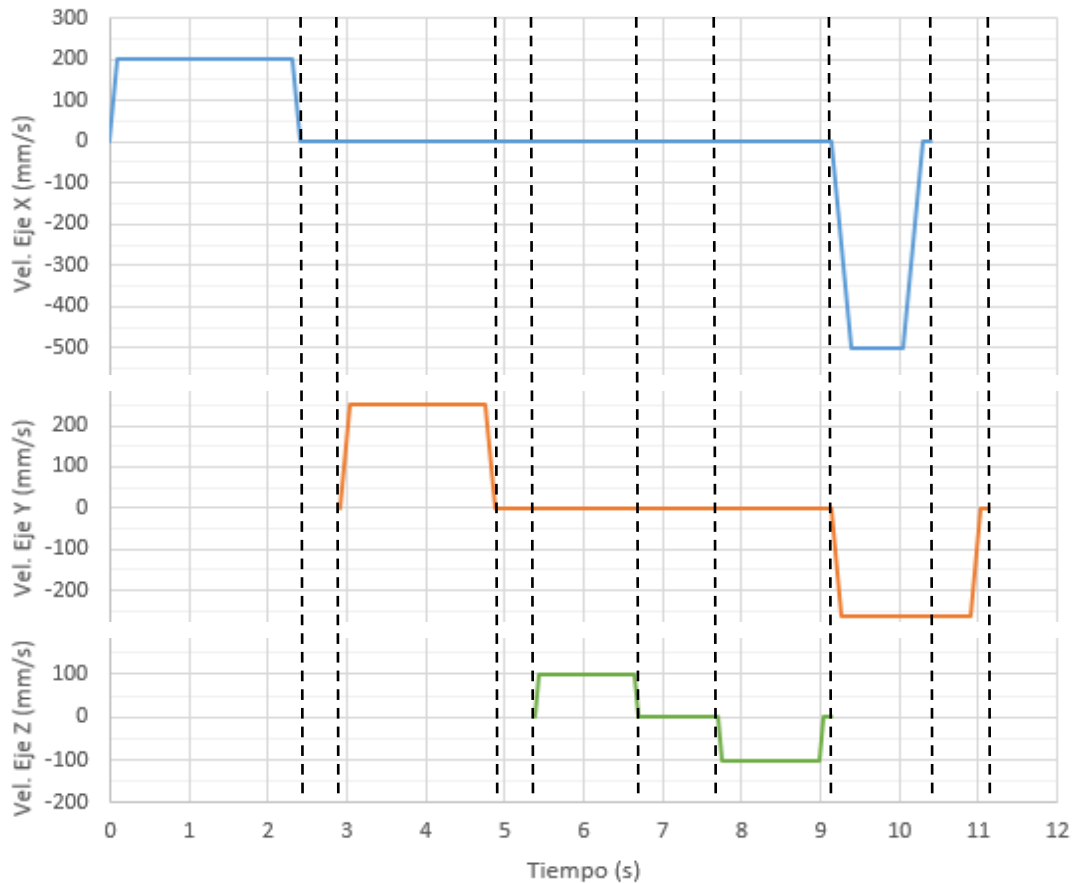


Fig. 112 Gráfica velocidad/tiempo de un ciclo del manipulador.

Como se puede ver en la tabla de movimientos y en la gráfica, el movimiento 1 y 2 tiene un tiempo de estabilización de 0.5 segundos, eso es para que pase un tiempo entre movimiento y movimiento, evitando que se pulsen muy seguidos los botones.

En cuanto al movimiento tres tiene un tiempo de estabilización de 1 segundo para simular la pinza neumática cerrándose y asegurarse que tenemos la pieza amarrada. A partir de aquí, se ha asignado un tiempo de estabilización de 0,1 segundos, que es el mínimo por catálogo que tiene la electrónica de los ejes.

Además, se ha simulado que al desplazarse a la zona de descarga automáticamente los dos ejes X e Y, lo harán simultáneamente, con lo que ambos empiezan cuanto termina de subir la carga.

En la gráfica de la Fig. 112 se tienen los principales puntos del ciclo marcados, así como el punto final, o tiempo de ciclo, que corresponde aproximadamente a 11,2 segundos.

Mejoras realizables en trabajos futuros

En el presente apartado se plantearán una serie de mejoras para realizar en trabajos futuros con el manipulador. Estas mejoras se pueden realizar sobre el manipulador ya construido, y se considerarán también para futuras construcciones que sean necesarias.

Se trata de mejoras que no han sido aplicables por varias razones que se expondrán dentro de cada una de ellas.

Sustituir pinza neumática por electrónica

La primera mejora que se plantea sobre el manipulador que ya hay construido es sustituir el modo de amarre de la pieza.

Este amarre se hace actualmente como se ha descrito, mediante una pinza neumática. El planteamiento que se propone para este proyecto o para futuros es la sustitución de este elemento por otro eléctrico.

Esto se debe a que es el único elemento neumático de la máquina, y, por ende, se hace imprescindible tener un compresor individual, o una instalación de aire comprimido para poder utilizarla. Esto puede ser un problema ya que no en todos los lugares se dispone de instalación o compresor.



Fig. 113 Compresor individual usado en la máquina.

El principal problema por el que no se ha podido realizar la mejora en esta máquina es la falta de un producto eléctrico que se adaptara a las necesidades. SMC dispone de pinzas eléctricas de 2 y 3 dedos, pero todas son de apertura paralela. Además, la disponibilidad de un pequeño compresor en la oficina brindaba la oportunidad de seleccionar una pinza neumática.



Fig. 114 Familia de pinzas eléctricas SMC..

Otro de los motivos por los que se usó la pinza neumática es porque, SMC, aunque tiene productos eléctricos, está basada en la tecnología neumática, y se pensó que se podía mostrar como ambas tecnologías pueden coexistir.

Comunicación bus de campo

La segunda mejora que se propone es la utilización de comunicación serie mediante bus de campo. Esta tecnología transfiere las comunicaciones mediante una cadena de caracteres que forman direcciones y “palabras”, contrariamente a la comunicación en paralelo, punto a punto, donde se transmite una señal por cada cable.

Esto se debe a que, al poseer solamente un bloque de 16 salidas digitales para los ejes, se tenían pocas señales para poder programar el autómatas, con lo que hace difícil poder usar un programa complejo.

El principal motivo por el que no se ha usado esta tecnología en el manipulador construido es la falta de disponibilidad de un bloque de bus de campo en el PLC de Omron. Adicionalmente no se poseían los conocimientos completos del bus de campo, para poder realizar la programación correctamente, en el plazo establecido.

Actualmente se dispone de un PLC que sí que contiene un módulo de bus de campo, con lo que el próximo proyecto sí que incluirá esta tecnología. Además, ya hay muchas industrias que utilizan este tipo de comunicación, tanto para máquinas grandes con muchas señales, como incluso para pocas señales, dada la facilidad de cableado.

Introducción de múltiples programas

La siguiente mejora planteada es la instalación de un selector de múltiple programa, donde se disponga de un modo de manipulación manual (como el actualmente existente) y de un modo de demostración, de manera que se pueda dejar el manipulador actuando automáticamente.

Esta mejora no ha podido realizarse en parte por lo expuesto en la mejora anterior. Al disponer de pocas señales de entrada y salida en el autómatas, no se podían programar líneas complejas.

En el caso de que se implementara un módulo de comunicación en bus de campo, se plantearía la opción de introducir más programas, incluso de tener la posibilidad de, una vez montado, mandar el manipulador a una posición determinada por cotas o por visión artificial.

Introducción de la visión artificial

La siguiente mejora surge, y está relacionada con la evolución del mundo industrial hacia la llamada *Industria 4.0*, dónde se pretende que surja una revolución en las máquinas usadas en la industria.

Esta revolución está basada en las tecnologías surgidas en los tiempos más actuales, como pueden ser el Big data (o almacenamiento y uso de datos masivo), la impresión 3D (usada ya desde en comida hasta en vigas de hormigón), la comunicación permanente con las máquinas, visión artificial, etcétera.

Esta tecnología va, pues, muy ligada a las dos anteriores mejoras, ya que se necesitaría ampliar las señales necesarias, y los programas posibles.

Mediante esta mejora, se pretendería que el robot fuera capaz de detectar las formas de los objetos depositados en la base, de manera que se capaz de obtener el centro de ellos para poder desplazarse automáticamente a por ellos.

Para ello se planteó la primera posibilidad de usar, en proyectos futuros, un pequeño microcontrolador (por ejemplo, Arduino, o Raspberry) para poder implantar una cámara de visión artificial en el robot cartesiano.

El motivo principal de la no utilización de esta tecnología está ligado sobre todo al desconocimiento que se tiene sobre esta tecnología en el tiempo de construcción y programación del manipulador, y a la falta de tiempo para realizar cambios.

Reducción de peso y tamaño para demostraciones en casa del cliente.

Al inicio del diseño y selección del manipulador no se tuvo en cuenta una serie de factores, como puede ser el peso y el tamaño que tendría el robot una vez construido, si se quiere transportar de un lado a otro.

Uno de los objetivos era que sirviera de presentación de los productos a los clientes potenciales de uso de ellos. Por ello se ha pensado que el robot debería de poder transportarse a casa del cliente.

Esta mejora no se ha implantado desde un principio debido a la buena disponibilidad de los ejes seleccionados, y a la falta de un producto suficientemente pequeño y económico como para que resultara viable.

La gama de actuadores eléctricos de SMC, actualmente sí que incluye productos de dimensiones más pequeñas. Por ello, en futuras consideraciones, se ha planteado hacer una versión de más pequeño calibre para poder llevarlo en un transporte adecuado.

Conclusiones

Como conclusión principal se ha visto que el diseño, construcción y evaluación de una estación completa de Pick and Place, es un trabajo costoso, donde se necesitan conocimientos de varias ramas de la ingeniería industrial.

El resultado, disponiendo de los elementos necesarios con buena funcionalidad, es muy bueno. Se ha conseguido fusionar la tecnología neumática, que parece que cada vez será menos utilizada, con la electrónica, de manera que conseguimos mezclar elementos sencillos, con un control sencillo (pinza y válvula), con elementos complejos, con un control mucho más complicado.

Así pues, la realización de este trabajo, en la empresa donde se han realizado las prácticas y donde se ha firmado un contrato indefinido, ha ayudado a conocer los muy diversos productos que forman parte del catálogo de SMC. Además, se ha podido observar el funcionamiento de todos estos elementos desde cero, en una máquina real.

Por otra parte, se ha aprendido a programar los controladores de los distintos actuadores, teniendo en cuenta casos diversos. Adicionalmente, se ha conocido una de las maneras de programar el PLC para la realización de un ciclo específico, usando tarjeta de entradas y salidas.

Desde la primera fase, ha sido necesaria la ayuda de los tutores, tanto de la universidad como de la empresa, para componer mejor el robot que se iba a construir, así como el trabajo en equipo con el programador/eléctrico encargado. Ambas colaboraciones han resultado satisfactorias, con la consecución de los objetivos en el plazo establecido.

En relación a la máquina, se puede decir que se ha conseguido una buena repetitividad, y un buen resultado en la prueba de velocidad.

En cuanto a repetibilidad, se ha obtenido un valor menor a 2 milímetros, que en nuestra aplicación es suficiente. Una manera de poder mejorar este valor es utilizando piezas de amarre con mayor tolerancia, y mayor ajuste, que el material utilizado (PLA)


Relativo a la velocidad se puede decir que la velocidad obtenida mediante los ensayos es menor que la programada en tabla. Esto puede ser debido al tiempo de reacción del ejecutor del ensayo, o a los errores de medida del cronómetro.

Una medida de poder realizar unos ensayos mejores que los obtenidos, sería disponer de un detector, que mida cuanto el eje ha llegado a la posición adecuada.

En conclusión, se han utilizado los conocimientos y aptitudes adquiridas tanto durante el grado como durante el máster, para poder construir de manera correcta el robot.

Bibliografía

- www.smc.eu, página web europea de la empresa, SMC.
- www.smcworld.com, página web internacional de la empresa, SMC.
- *Neumática*, libro educacional de “SMC International Training”, Ed. Paraninfo 2ª edición (2015).
- *E3*, catálogo europeo de productos, SMC.
- *Electric Actuators*, Catálogo y fichas técnicas de los actuadores eléctricos de la marca, SMC.
- <https://a360.autodesk.com/viewer/#>, página web del visor 3d online, Autodesk.
- <http://mssc.smcworld.com/agmss/Default.aspx> , software online para la selección de pinza neumática, SMC.
- <http://www.bridgeport.edu/> , página educacional.
- *Equipo de conexión neumática*, Catálogo de productos de conexión neumática y accesorios, SMC.
- Poliformat, Apuntes de la asignatura de Robótica Industrial (Temas 0 y 1), UPV.
- <https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/17/historia-de-la-automatizacion-industrial/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Robot_industrial
- <http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/mod/book/view.php?id=24911&chapterid=225>
- <http://blog.utp.edu.co/automatmecanica/2013/06/13/89/>
- <http://www.grbautomatics.es/las-primeras-puertas-automaticas-de-la-historia/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Automatización_industrial



DOCUMENTO II: PRESUPUESTO

Índice

Introducción.....	5
Mediciones	6
Precio y rendimientos	8
Mano de obra	8
Materiales necesarios.....	9
Licencias de software	9
Resumen del presupuesto	11

Introducción

El presente documento se dispone a reflejar los costes contenidos en la ejecución del trabajo final de máster.

Primeramente, se documentará la medición de las horas empleadas en mano de obra para la construcción del proyecto, y las horas empleadas en la redacción del documento.

A continuación, se presentarán los detalles del coste de todos los elementos necesarios para el diseño y construcción del prototipo de robot industrial. Además, se detallarán los costes de la mano de obra medida anteriormente.

Para finalizar se realizará un resumen del presupuesto, donde se incluirán todos los costes derivados.

Mediciones

Para poder obtener el coste de mano de obra empleado en el trabajo, es necesario realizar las mediciones de las horas utilizadas por parte del personal.

Entre ellas diferenciaremos horas de planificación del proyecto y reuniones de asesoramiento, horas de diseño y confección de planos, horas de cableado y programación, y horas de mano de obra en montaje y fabricación de las piezas.

Se han tomado en cuenta los siguientes trabajadores para la elaboración de la estación de pick and place:

- **Ingeniero en prácticas:** Alumno encargado de la realización del proyecto.
- **Técnico eléctrico:** Encargado de la programación y cableado del PLC.
- **Ingeniero titulado:** Encargado de la supervisión del avance del proyecto (tutor en la empresa SMC).
- **Ingeniero responsable:** Responsable del proyecto (tutor en la universidad UPV)

Ingeniero en prácticas	Horas dedicadas (h)
Planificación y reuniones	50
Diseño de los elementos	80
Confección de planos	30
Fabricación de piezas	10
Montaje y ensamblaje	10
Cableado y programación	20
Elaboración del documento	100
Total	300 horas

Fig. 1 Mediciones del tiempo empleado por el ingeniero en prácticas

Técnico eléctrico	Horas dedicadas (h)
Planificación y reuniones	10
Cableado y programación	30
Total	40 horas

Fig. 2 Mediciones del tiempo empleado por el técnico eléctrico

Ingeniero titulado	Horas dedicadas (h)
Planificación y reuniones	30
Supervisión del proyecto	30
Total	60 horas

Fig. 3 Mediciones del tiempo empleado por el tutor en la empresa

Ingeniero responsable	Horas dedicadas (h)
Planificación y reuniones	20
Total	20 horas

Fig. 4 Mediciones del tiempo empleado por el tutor de la UPV

En las figuras anteriores aparece detallado la medición del tiempo empleado en todos los aspectos de cada uno de los trabajadores considerados. Como se puede ver se ha incluido al técnico eléctrico (*Fig. 2*), ya que, a pesar de no formar parte del trabajo realizado por el alumno, es un aspecto a considerar si se requiere la construcción completa del prototipo.

Además, se han tenido en cuenta tanto las horas realizadas por el tutor en la universidad (*Fig. 3*), como las horas realizadas por el tutor en la empresa (*Fig. 4*).

La *Fig. 1* incluye los tiempos medidos del ingeniero en prácticas, ejecutor del proyecto, con los apartados que se habían detallado anteriormente.

El coste asignado a cada uno de los integrantes se detallará en el siguiente apartado.

Precio y rendimientos

Mano de obra

Para la medición del rendimiento de las horas empleadas, se partirá del salario del ingeniero responsable, añadiendo las retenciones oportunas (pago a seguridad social, desempleo...).

El salario del ingeniero se establecerá en 2600 euros, quedando el de ingeniero titulado en un 80% del salario del ingeniero responsable. Para el salario del técnico eléctrico se ha contemplado un 60% del ingeniero responsable y para el ingeniero en prácticas un 50%.

Salario bruto mensual	2600,00 €
Pagas de salario (12)	31.200,00 €
Pagas extra (2)	5.200,00 €
Seguridad Social (20%)	10.000,00 €
Desempleo (7%)	3.500,00 €
Fondo de garantía salarial (0,2%)	100,00 €
Coste total	50.000,00 €

Para el cálculo del equivalente en salario a una hora del ingeniero responsable, se ha considerado un calendario anual de 52 semanas, con 5 días laborables a la semana, y una jornada laboral de 8 horas al día. Con esto, se obtiene un coste por hora para la empresa de aproximadamente:

$$\frac{50.000,00 \text{ €}}{52 * 5 * 8} = 24,04 \text{ €/hora}$$

En el caso del ingeniero titulado, al considerarse el 80%, se obtiene un coste para la empresa de:

$$24,04 * 0,80 = 19,23 \text{ €/hora}$$

Para el ingeniero técnico, encargado de la programación y cableado del PLC, se obtiene un coste horario de:

$$24,04 * 0,60 = 14,42 \text{ €/hora}$$

Para finalizar, el rendimiento del ingeniero en prácticas, encargado de la realización del proyecto, se deduce un coste de un 50% del ingeniero responsable:

$$24,04 * 0,50 = 12,02 \text{ €/hora}$$

Materiales necesarios

Valoración Manipulador 3 ejes				
Componente	Referencia	Coste	Unidades	Total
Eje X	LEFS40A-500	1.281,50 €	1	1.281,50 €
Eje Y	LEFS32B-500	1.014,19 €	1	1.014,19 €
Eje Z	LEY25A-200B	689,17 €	1	689,17 €
Pinza	MHY2-16D	266,55 €	1	266,55 €
Driver	LECP6P	181,07 €	3	543,21 €
Cable I/O driver	LEC-CN5-1	46,50 €	3	139,50 €
Cable actuador eje X, Y	LE-CP-3	106,19 €	2	212,38 €
Cable actuador eje Z	LE-CP-3-B	135,03 €	1	135,03 €
Tubo	TU0604BU-20	18,03 €	1	18,03 €
Racordaje	KQ2L06-M5A	3,55 €	3	10,65 €
Regulador de caudal	AS2201F-01-06SA	10,03 €	2	20,06 €
Válvula	SY5120-5LOU-01F-Q	54,80 €	1	54,80 €
Piezas amarre 3D	Bobina plástico PLA	20,00 €	2	40,00 €
Estructura (marcos, paneles...)	Perfiles aluminio y plancha metacrilato	300,00 €	1	300,00 €
Fuente alimentación 2,5A	-	30,00 €	2	60,00 €
Fuente alimentación 5A	-	40,00 €	1	40,00 €
PLC CPU	CJ1 CPU11	220,00 €	1	220,00 €
Entradas PLC	CJ1 ID211	120,00 €	1	120,00 €
Salidas PLC	CJ1 OC211	110,00 €	1	110,00 €
Alimentación PLC	CJ1W-PA202	98,89 €	1	98,89 €
Cableado PLC	-	30,00 €	1	30,00 €
Piezas varias (MGPs, botonera...)	-	100,00 €	1	100,00 €
Base (tablero, patas...)	tablero madera y patas aluminio	80,00 €	1	80,00 €
TOTAL MANIPULADOR (sin PLC)				5.005,07 €
TOTAL MANIPULADOR (con PLC)				5.583,96 €

Fig. 5 Valoración de los materiales necesarios

En la tabla anterior (Fig. 5) se tienen los precios detallados de los elementos utilizados en el proyecto. Se ha incluido la valoración con y sin el PLC.

Licencias de software

Para poder realizar el presente trabajo, ha sido necesario la adquisición de licencias de software.

Las correspondientes a la selección de la pinza neumática y la selección de los actuadores eléctricos son gratuitas y descargables desde la web de SMC. El visor online de autodesk también se trata de versión gratuita (solamente permite visualizar piezas realizadas con otro software).

El *LE ACT Controller*, o Kit programación Ejes eléctricos, sí que se debe comprar, e incluye el software de programación de los drivers, el cable de comunicación con el controlador y el adaptador para el puerto USB del ordenador. La referencia de este Kit es LEC-W2, y el precio es de 313,22 € (esta licencia es universal y no tiene fecha de expiración).

Licencia de CX-Programmer, para poder realizar la programación del PLC de Omron, 1335,87 €.

Licencia de Solidworks para realizar el diseño de las piezas y los planos, y obtener el archivo para transformar a la extensión de la impresora 3D, 135€ (la versión para estudiantes, en caso de necesitar otra versión es necesario contactar con Solidworks).

En total, el presupuesto de licencias de software asciende a:

$$313,22 + 1335,87 + 135 = 1784,09 \text{ €}$$

Resumen del presupuesto

A continuación, se presenta el cuadro de mediciones:

Elemento	Descripción	Valoración	Medición	Coste
Ingeniero Responsable	Coste del ingeniero responsable del proyecto	24,04 €/hora	20 horas	480,80 €
Ingeniero tutor	Coste del tutor de la empresa	19,23 €/hora	60 horas	1153,80 €
Técnico	Coste del técnico eléctrico, encargado del PLC	14,42 €/hora	40 horas	576,80 €
Ingeniero en prácticas	Coste del ingeniero en prácticas, que ha realizado el proyecto	12,02 €/hora	300 horas	3606,00 €
Materiales	Materiales empleados en la fabricación del robot	5583,96 €	1 Ud.	5583,96 €
Licencias	Licencias de software necesarias	1784,09 €	1 Ud.	1784,09 €
Total Presupuesto		13.185,45 €		

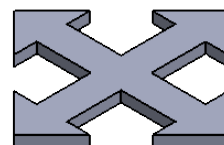
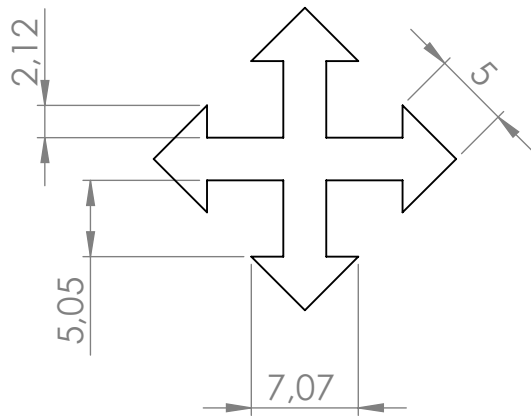
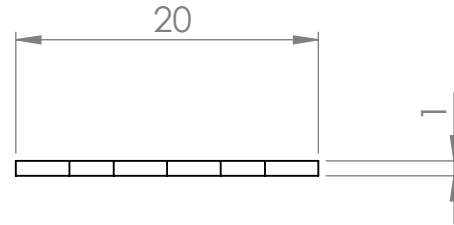
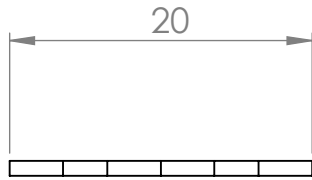
A continuación, se presenta el resumen del presupuesto:

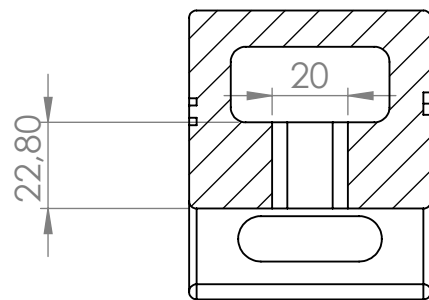
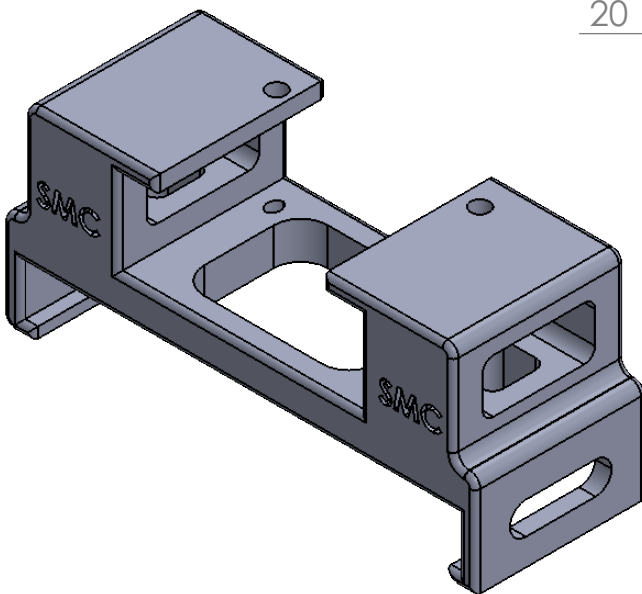
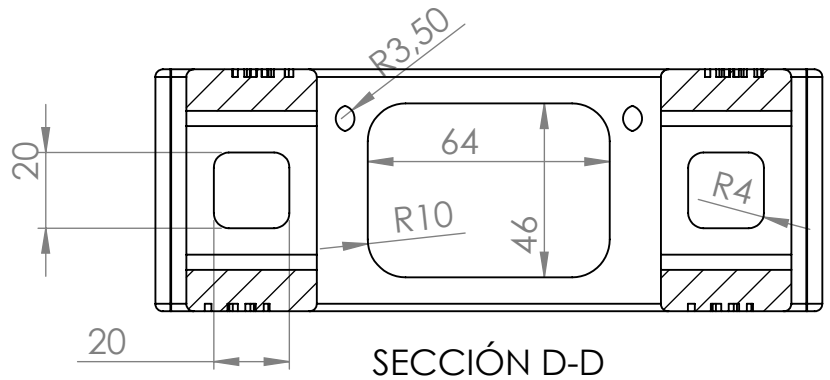
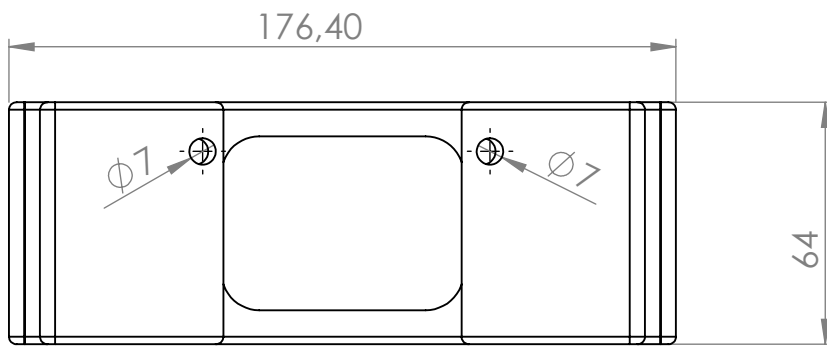
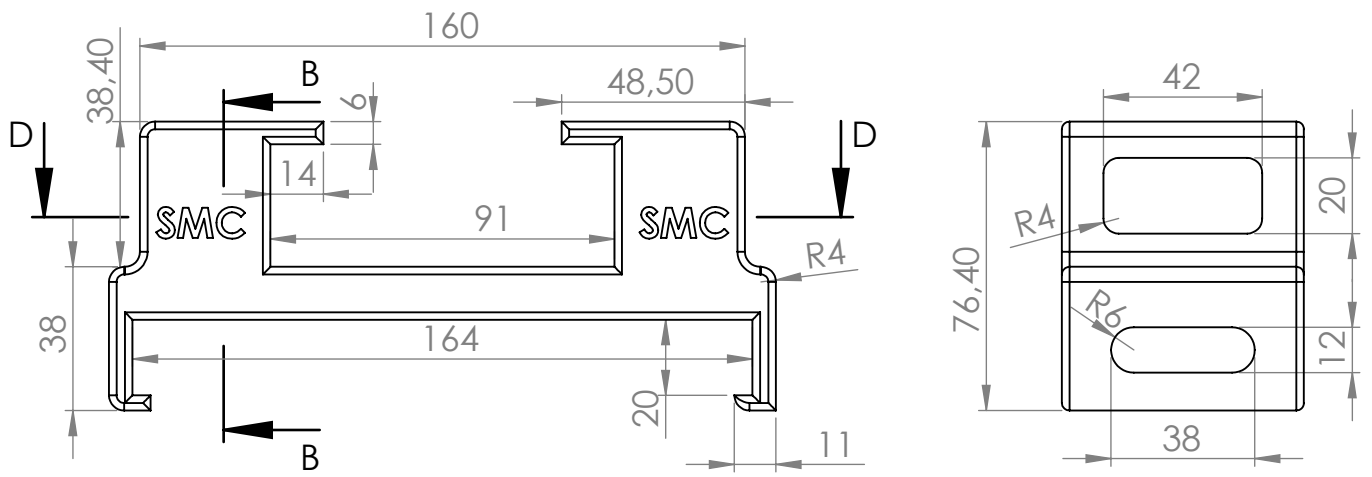
Presupuesto de ejecución material	13.185,45 €
Gastos generales (12%)	1714,11 €
Beneficio industrial (6%)	791,13 €
Presupuesto de inversión	15690,69 €
IVA (21%)	3295,04 €
Presupuesto base de licitación	18985,73 €

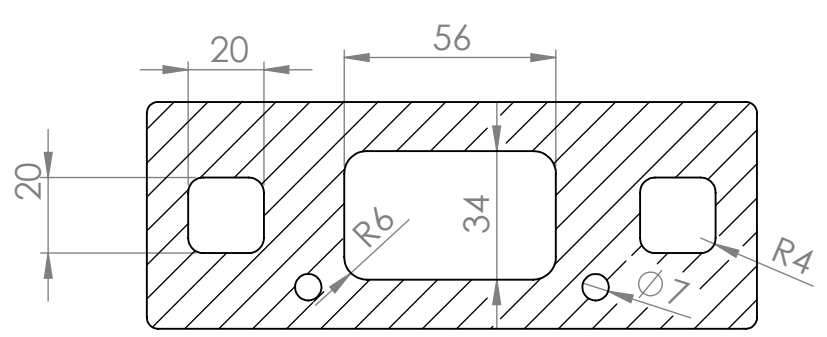
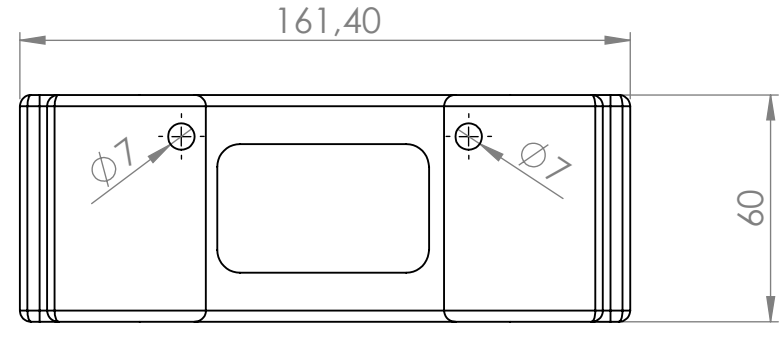
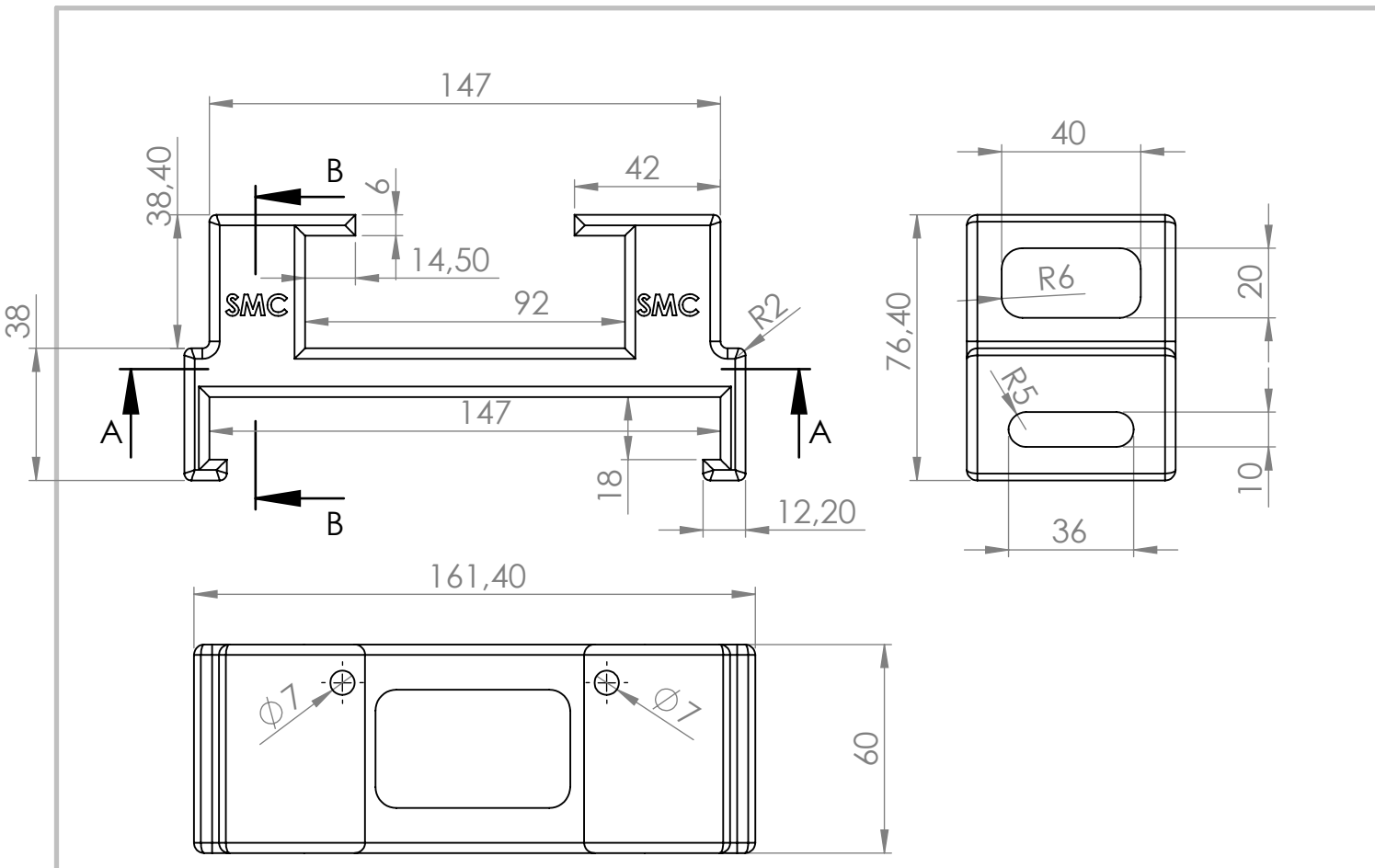
El coste del proyecto asciende a un total de DIECIOCHO MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS CON SETENTA Y TRES CÉNTIMOS DE EURO.



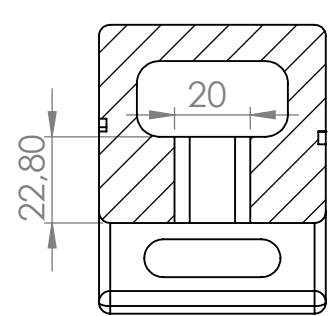
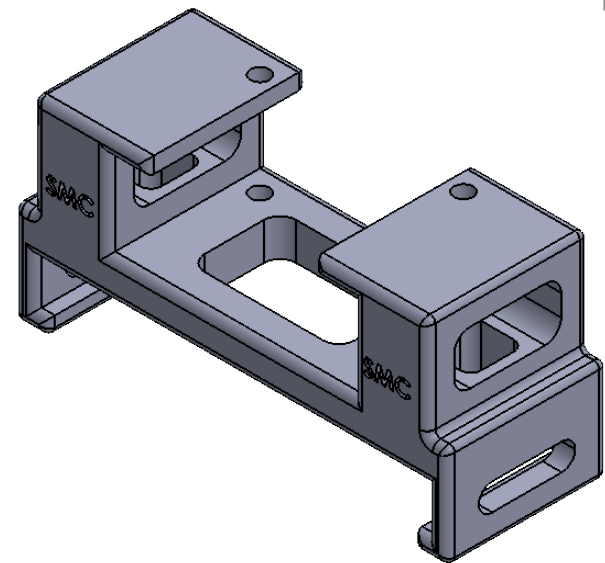
DOCUMENTO III: PLANOS





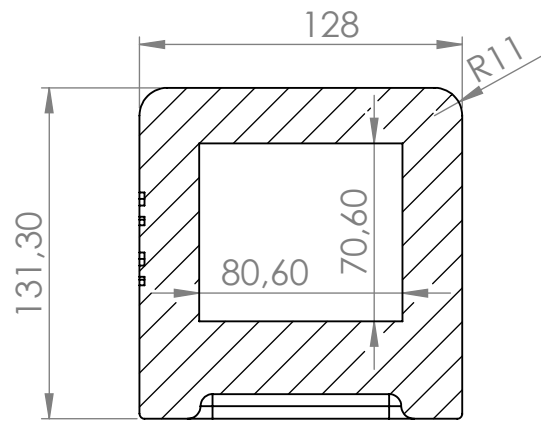
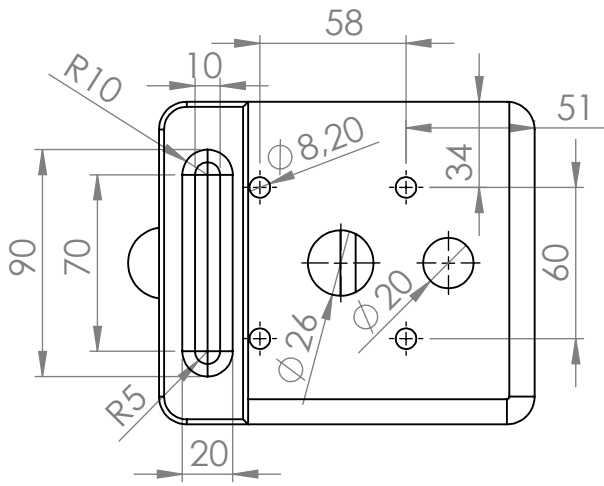


SECCIÓN A-A

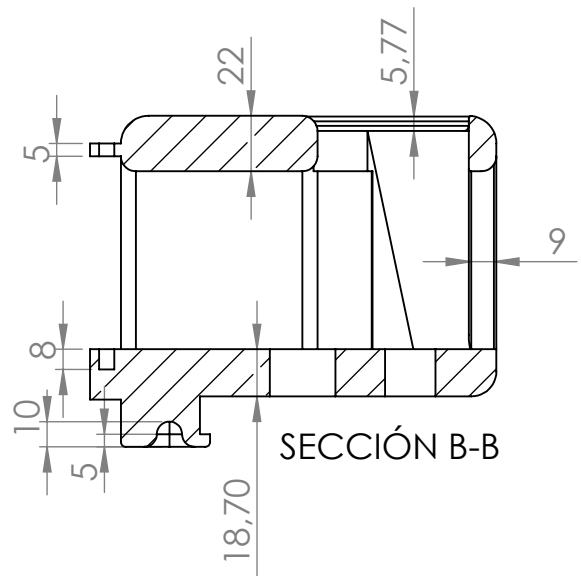
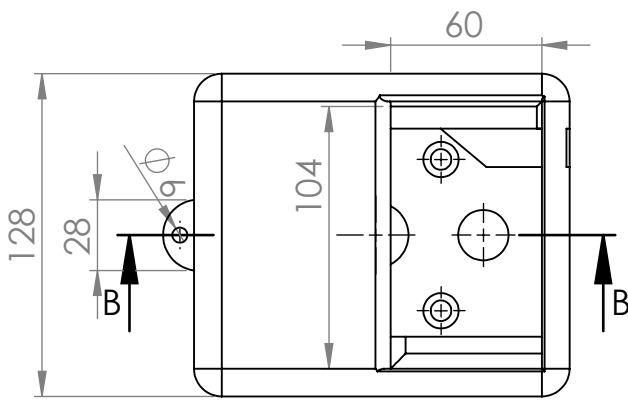
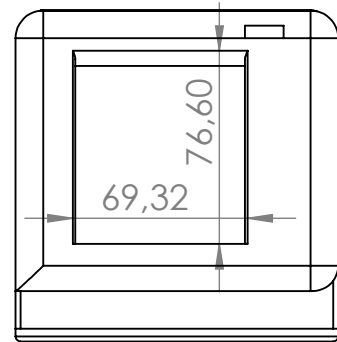
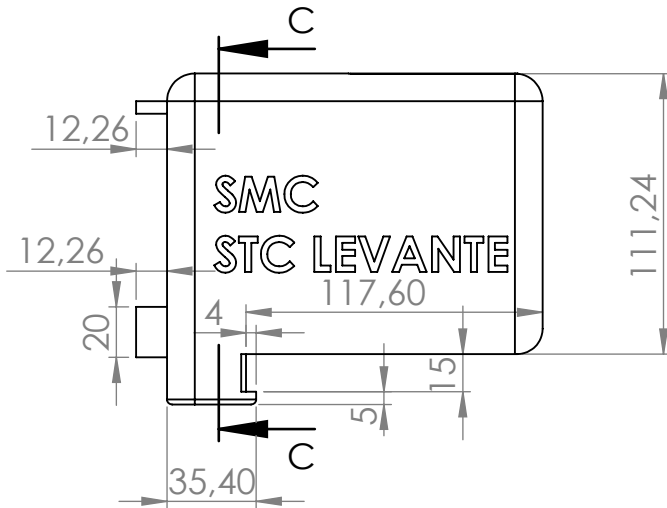


SECCIÓN B-B

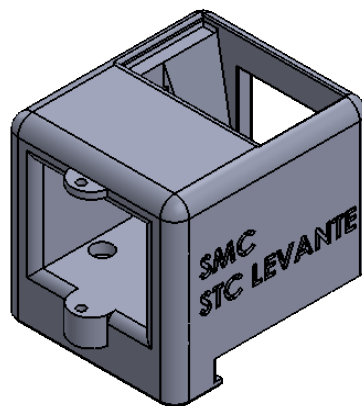
	Trabajo final máster en ingeniería industrial DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO XYZ ELECTRONEUMÁTICO	Plano	Amarre LEF-Base_MGP	Fecha	Septiembre 2016	Nº Plano	3
		Autor	Marc Pavia Parra	Escala	1:2		



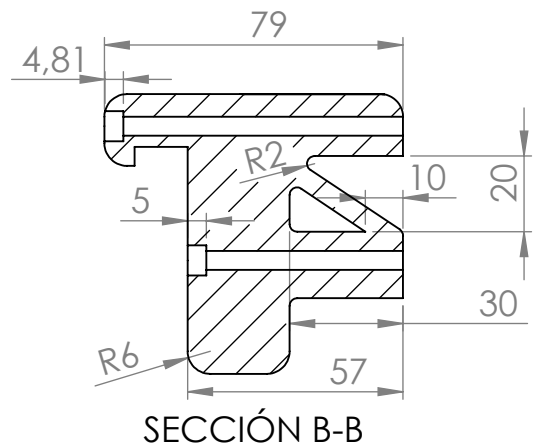
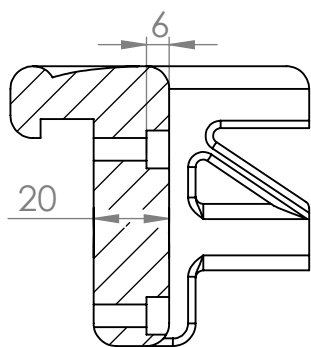
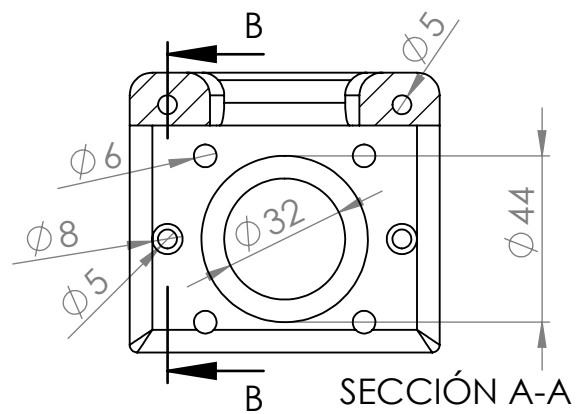
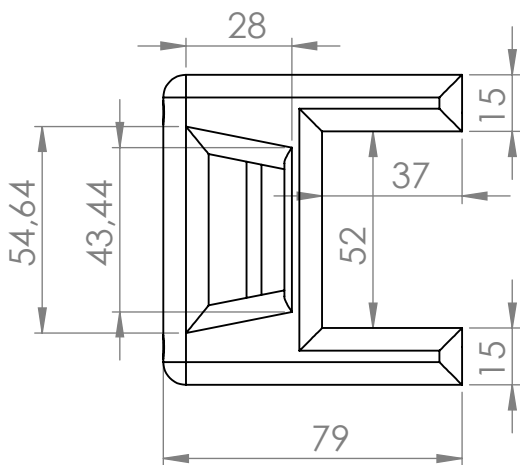
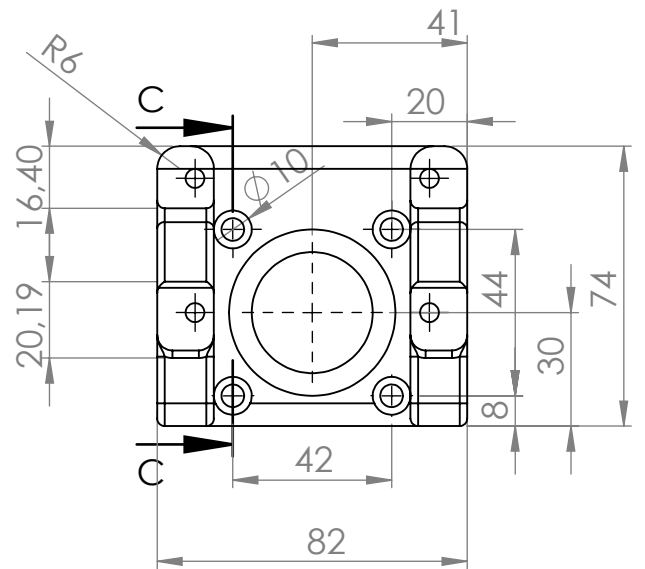
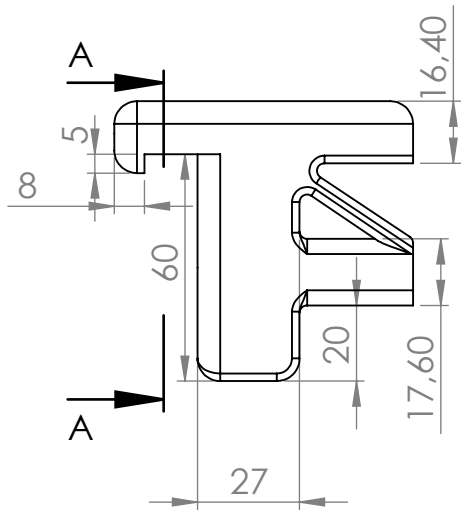
SECCIÓN C-C



SECCIÓN B-B

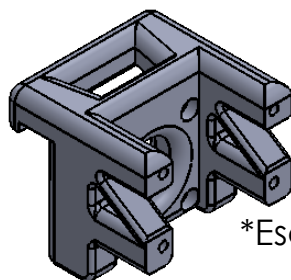


*Escala 1:4

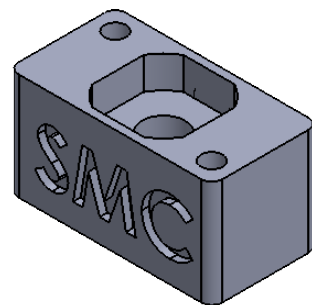
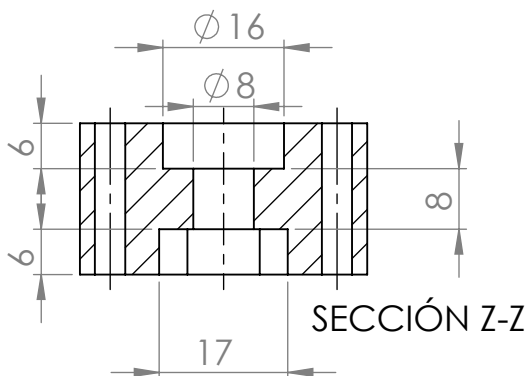
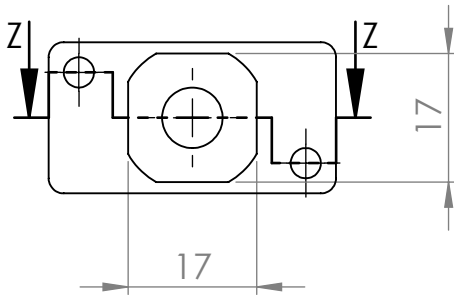
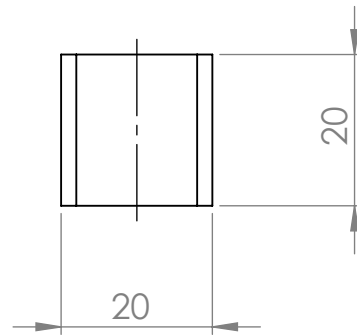
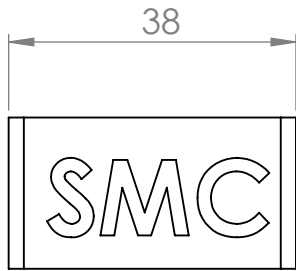
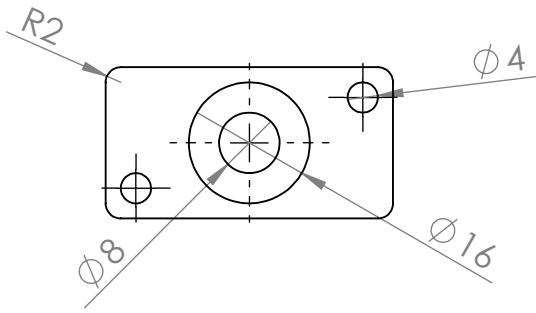


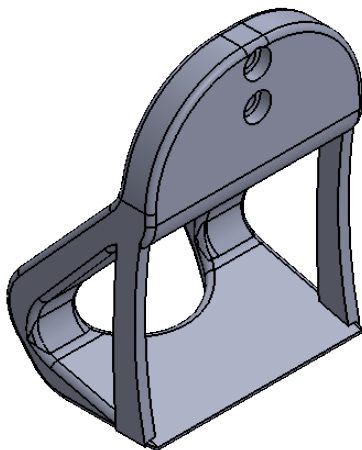
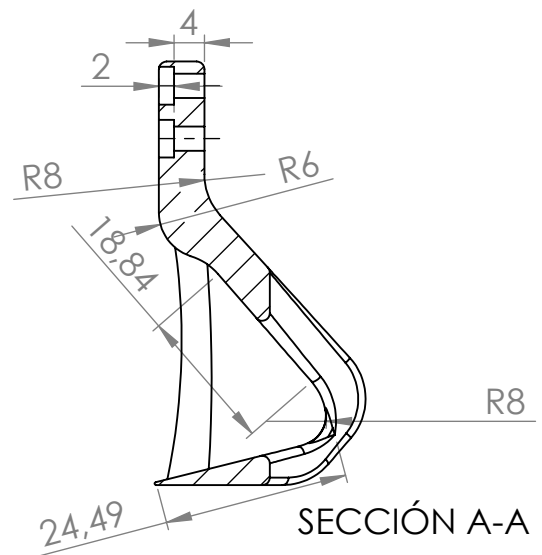
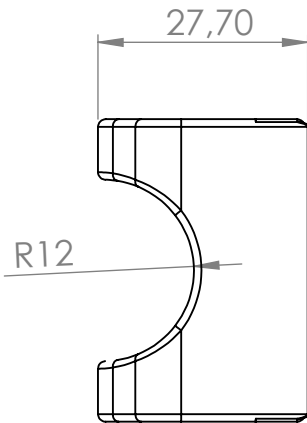
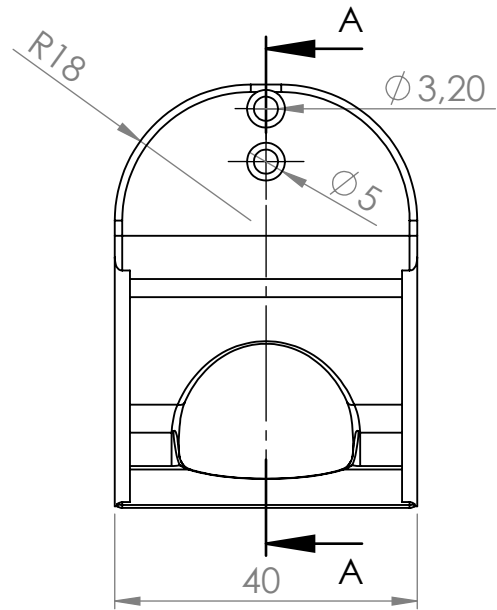
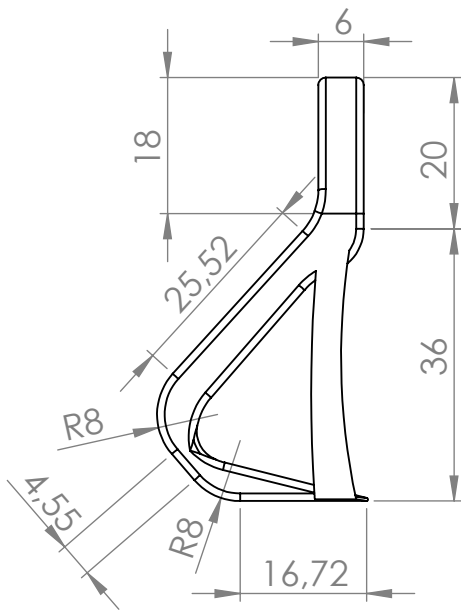
SECCIÓN C-C

SECCIÓN B-B



*Escala 1:3





Trabajo final máster en ingeniería industrial



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y EVALUACIÓN DE UN
ROBOT CARTESIANO XYZ
ELECTRONEUMÁTICO

Plano

Dedos pinza

Autor

Marc Pavia Parra

Fecha

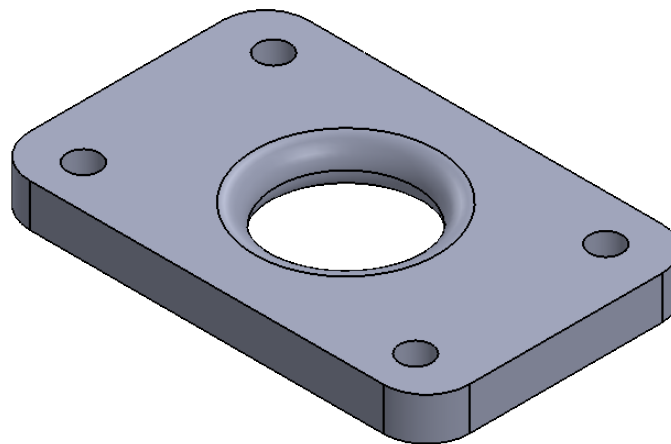
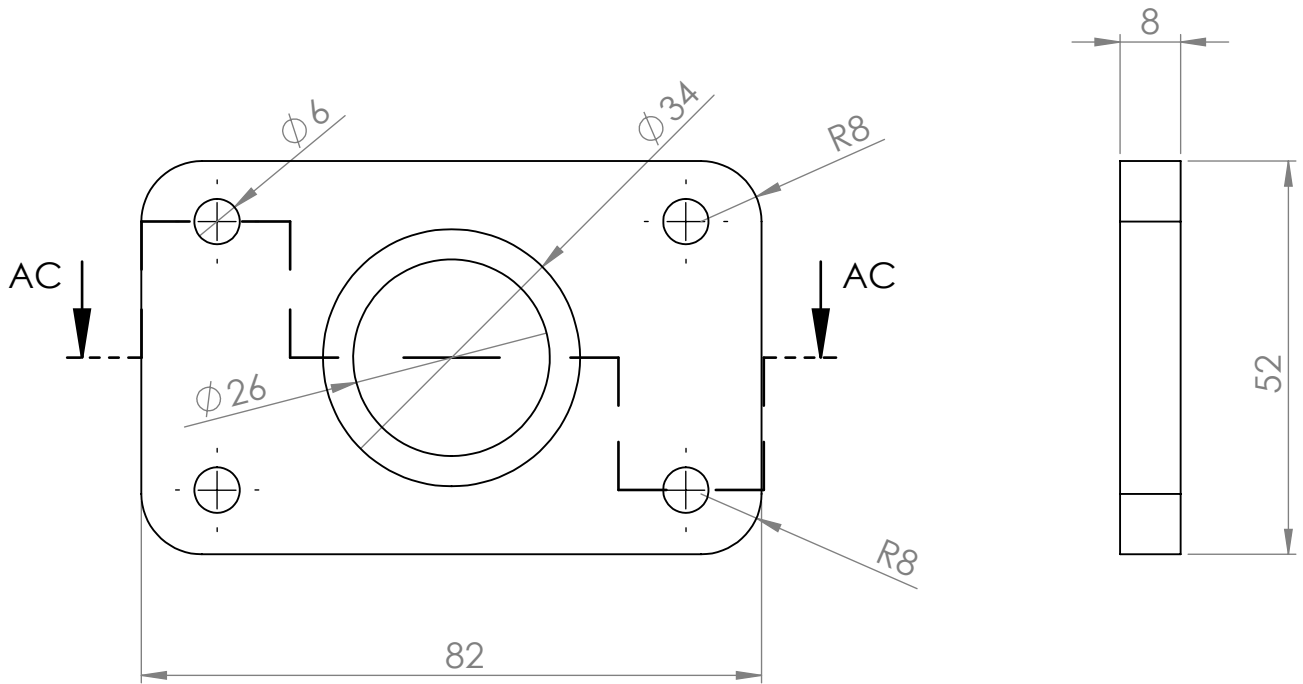
Septiembre 2016

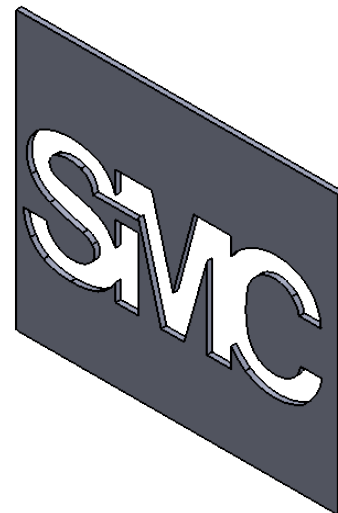
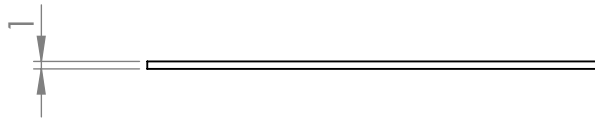
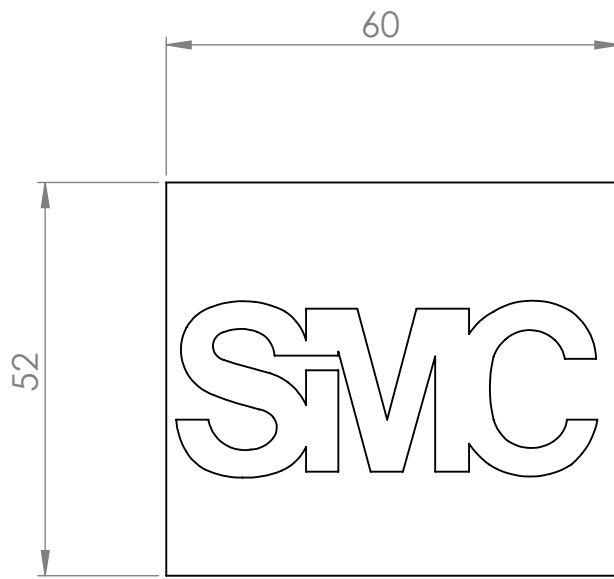
Escala

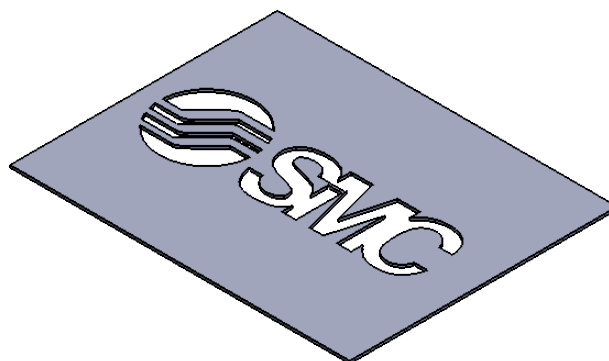
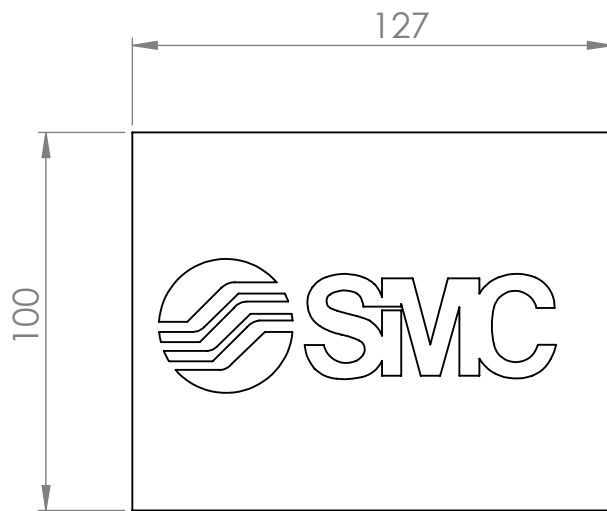
1:1

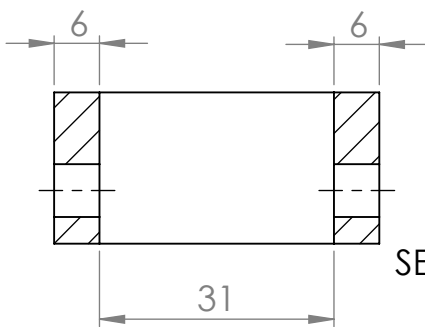
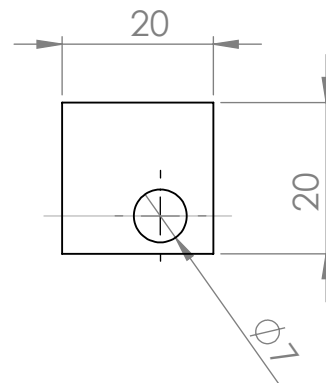
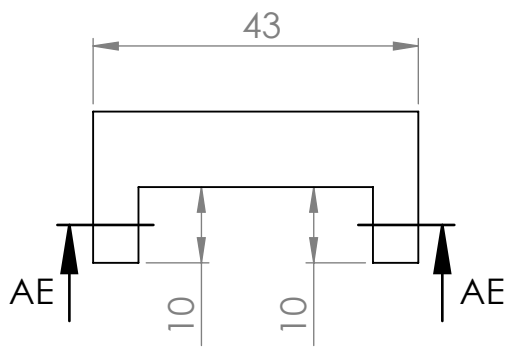
Nº Plano

7

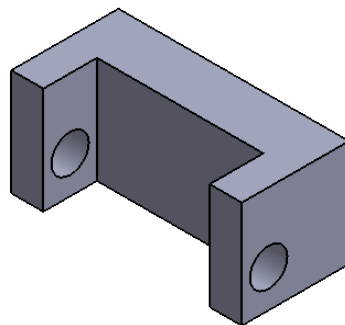


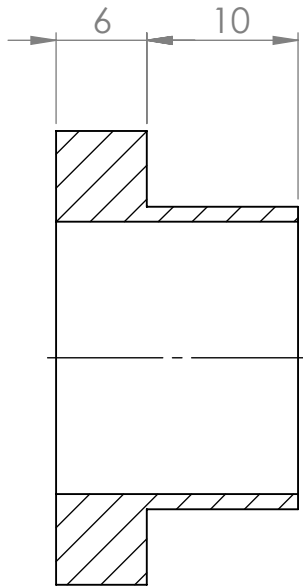




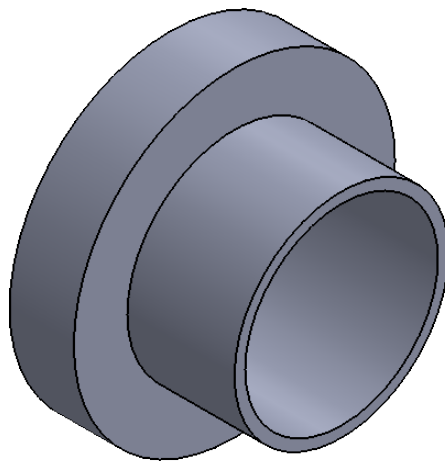
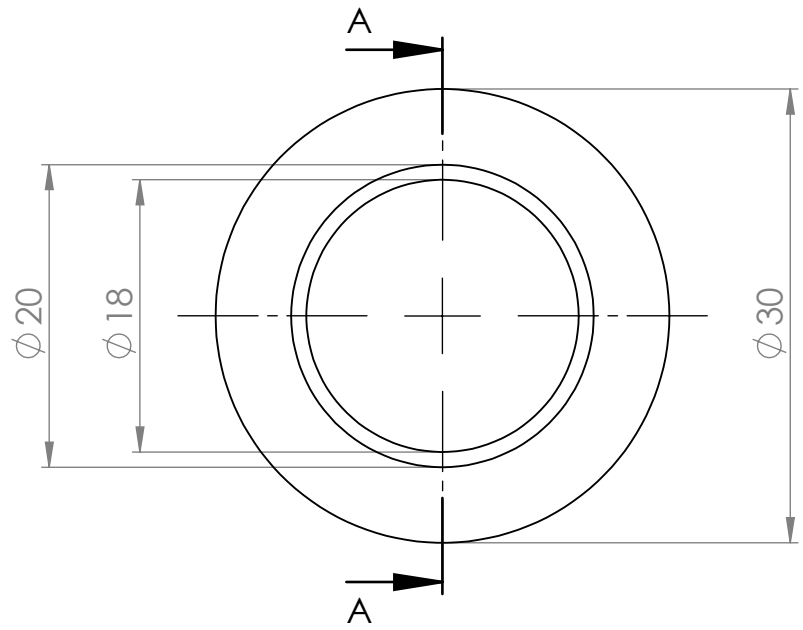


SECCIÓN AE-AE





SECCIÓN A-A





DOCUMENTO IV: ANEXOS

Índice

LEFS40A-500/LEFS32B-500	4
Especificaciones	4
Peso.....	5
LEY25A-200B	5
Especificaciones	5
Peso.....	6
<i>Peso adicional (en kg)</i>	6
MHY2-16D	6
LECP6P	7
Especificaciones	7
Conector CN1	8
Conector CN5.....	8
Cables	9
Cable entradas/salidas.....	9
Cable actuador	9
Cable actuador con bloqueo.....	10
Neumática	10
Tubo	10
Racor codo	11
Válvula SY5120.....	11
<i>Especificaciones técnicas</i>	11
<i>Especificaciones eléctricas</i>	12
<i>Tiempo de respuesta</i>	12
<i>Características de caudal y peso</i>	12
CJ1	13

LEFS40A-500/LEFS32B-500

Especificaciones

Modelo			LEFS16		LEFS25			LEFS32			LEFS40				
Carrera [mm] <small>Nota 1)</small>			50 a 500		50 a 800			50 a 1000			150 a 1200				
Carga de trabajo [kg] <small>Nota 2)</small>	Horizontal	LECP6/LECP1	14	15	12	25	30	20	45	50	25	55	65		
		LECPA	9	10	10	20	20	15	40	45	20	50	60		
Tipo de controlador: LECP6, LECP1	Vertical	Hasta 500	10 a 700	5 a 360	20 a 1100	12 a 750	6 a 400	24 a 1200	16 a 800	8 a 520	30 a 1200	20 a 1000	10 a 300		
		501 a 600	—	—	20 a 900	12 a 540	6 a 270	24 a 1200	16 a 800	8 a 400	30 a 1200	20 a 1000	10 a 300		
		601 a 700	—	—	20 a 630	12 a 420	6 a 230	24 a 930	16 a 620	8 a 310	30 a 1200	20 a 900	10 a 300		
		701 a 800	—	—	20 a 550	12 a 330	6 a 180	24 a 750	16 a 500	8 a 250	30 a 1140	20 a 760	10 a 300		
		801 a 900	—	—	—	—	—	24 a 610	16 a 410	8 a 200	30 a 930	20 a 620	10 a 300		
		901 a 1000	—	—	—	—	—	24 a 500	16 a 340	8 a 170	30 a 780	20 a 520	10 a 250		
		1001 a 1100	—	—	—	—	—	—	—	—	30 a 660	20 a 440	10 a 220		
		1101 a 1200	—	—	—	—	—	—	—	—	30 a 570	20 a 380	10 a 190		
		Tipo de driver: LECPA	Rango de carrera	Hasta 500	10 a 500	5 a 250	20 a 1000	12 a 500	6 a 250	24 a 1200	16 a 500	8 a 250	30 a 500	20 a 500	10 a 250
				501 a 600	—	—	20 a 900	12 a 500	6 a 250	24 a 1200	16 a 500	8 a 250	30 a 500	20 a 500	10 a 250
601 a 700	—			—	20 a 630	12 a 420	6 a 230	24 a 930	16 a 500	8 a 250	30 a 500	20 a 500	10 a 250		
701 a 800	—			—	20 a 550	12 a 330	6 a 180	24 a 750	16 a 500	8 a 250	30 a 500	20 a 500	10 a 250		
801 a 900	—			—	—	—	—	24 a 610	16 a 410	8 a 200	30 a 500	20 a 500	10 a 250		
901 a 1000	—			—	—	—	—	24 a 500	16 a 340	8 a 170	30 a 500	20 a 500	10 a 250		
1001 a 1100	—			—	—	—	—	—	—	—	30 a 500	20 a 440	10 a 220		
1101 a 1200	—	—	—	—	—	—	—	—	30 a 500	20 a 380	10 a 190				
Aceleración/deceleración máx. [mm/s ²]		3000													
Repetitividad de posicionamiento [mm]		Tipo básico ±0.02													
		Tipo de gran precisión ±0.015 (Paso H: ±0.02)													
Movimiento perdido [mm]		Tipo básico 0.1 o menos													
		Tipo de gran precisión 0.05 o menos													
Paso [mm]		10	5	20	12	6	24	16	8	30	20	10			
Resistencia a impactos/vibraciones [m/s ²] <small>Nota 4)</small>		50/20													
Tipo de actuación		Husillo a bolas (LEFS□), Husillo a bolas + Correa (LEFS□ ^R)													
Tipo de guía		Guía lineal													
Rango de temperatura de trabajo [°C]		5 a 40													
Rango de humedad de trabajo [% HR]		90 o inferior (sin condensación)													
Tamaño del motor		□28			□42			□56.4							
Tipo de motor		Motor paso a paso (Servo/24 VDC)													
Encoder		Fase A/B incremental (800 impulsos/giro)													
Tensión nominal [V]		24 VDC ±10%													
Consumo de potencia [W] <small>Nota 5)</small>		22			38			50			100				
Consumo de energía en reposo durante el funcionamiento [W] <small>Nota 6)</small>		18			16			44			43				
Consumo máx. de energía momentánea [W] <small>Nota 7)</small>		51			57			123			141				
Tipo <small>Nota 8)</small>		Bloqueo no magnetizante													
Fuerza de retención [N]		20	39	47	78	157	72	108	216	75	113	225			
Consumo de potencia [W] <small>Nota 9)</small>		2.9			5			5			5				
Tensión nominal [V]		24 VDC ±10%													

Nota 1) Consulte con SMC para carreras no estándares, ya que son ejecuciones especiales que se fabrican bajo demanda.

Nota 2) La velocidad varía en función del tipo de controlador/driver y de la carga de trabajo. Compruebe la "Gráfica de velocidad-carga de trabajo (Guía)" en las páginas 26 y 27.

Si la longitud del cable supera los 5 m, disminuirá en hasta un 10% por cada 5 m.

Nota 3) Un valor de referencia para corregir un error en funcionamiento recíproco.

Nota 4) Resistencia a impactos: Supera la prueba de impacto tanto en dirección paralela como perpendicular al tornillo guía. (La prueba se llevó a cabo con el actuador en el estado inicial).

Resistencia a vibraciones: Supera la prueba en un rango de frecuencias entre 45 y 2000 Hz. La prueba se realizó tanto en dirección paralela como perpendicular al husillo. (La prueba se llevó a cabo con el actuador en el estado inicial).

Nota 5) El consumo de energía (incluyendo el controlador) corresponde al momento en el que el actuador está funcionando.

Nota 6) El consumo de energía en reposo durante el funcionamiento (incluyendo el controlador) corresponde al momento en el que el actuador está detenido en la posición de ajuste.

Nota 7) El consumo de energía máximo instantáneo (incluyendo el controlador) corresponde al momento en el que el actuador está funcionando. Dicho valor puede utilizarse para la selección del suministro eléctrico.

Nota 8) Únicamente con bloqueo.

Nota 9) Para un actuador con bloqueo, añada el consumo de energía para el bloqueo.

Peso

Serie		LEFS32																			
Carrera [mm]		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Peso del producto [kg]		3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.15	4.35	4.55	4.75	4.95	5.15	5.35	5.55	5.75	5.95	6.15	6.35	6.55	6.75	6.95
Peso adicional con bloqueo a[kg]		0.53																			

Serie		LEFS40																			
Carrera [mm]		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200
Peso del producto [kg]		5.37	5.65	5.93	6.21	6.49	6.77	7.15	7.33	7.61	7.89	8.17	8.45	8.73	9.01	9.29	9.57	9.85	10.13	10.69	11.25
Peso adicional con bloqueo a[kg]		0.53																			

LEY25A-200B

Especificaciones

Modelo		LEY16			LEY25			LEY32			LEY40			
Carrera [mm] ^{Nota 1)}		30, 50, 100, 150 200, 250, 300			30, 50, 100, 150, 200 250, 300, 350, 400			30, 50, 100, 150, 200, 250 300, 350, 400, 450, 500			30, 50, 100, 150, 200, 250 300, 350, 400, 450, 500			
Carga de trabajo	Horizontal	(3000 [mm/s ²])	4	11	20	12	30	30	20	40	40	30	60	60
		(2000 [mm/s ²])	6	17	30	18	50	50	30	60	60	—	—	—
[kg] ^{Nota 2)}	Vertical	(3000 [mm/s ²])	2	4	8	8	16	30	11	22	43	13	27	53
Fuerza de empuje [N] ^{Nota 3) 4) 5)}		14 a 38	27 a 74	51 a 141	63 a 122	126 a 238	232 a 452	80 a 189	156 a 370	296 a 707	132 a 283	266 a 553	562 a 1058	
Velocidad [mm/s] ^{Nota 5)}		15 a 500	8 a 250	4 a 125	18 a 500	9 a 250	5 a 125	24 a 500	12 a 250	6 a 125	24 a 300	12 a 150	6 a 75	
Aceleración/deceleración máx. [mm/s ²]		3000												
Velocidad de empuje [mm/s] ^{Nota 6)}		50 o menos			35 o menos			30 o menos			30 o menos			
Repetitividad de posicionamiento [mm]		±0.02												
Paso del tornillo [mm]		10	5	2.5	12	6	3	16	8	4	16	8	4	
Resistencia a impactos/vibraciones [m/s ²] ^{Nota 7)}		50/20												
Tipo de actuación		Husillo a bolas + Correa (LEY□□)/Husillo a bolas (LEY□□)												
Tipo de guiado		Cojinete deslizante (vástago de émbolo)												
Rango de temp. de trabajo [°C]		5 a 40												
Rango de humedad de trabajo [% HR]		90 o inferior (sin condensación)												
Dimensiones del motor		□28			□42			□56.4			□56.4			
Tipo de motor		Motor paso a paso (Servo/24 VDC)												
Encoder		Fase A/B incremental (800 pulsos/giro)												
Tensión nominal [V]		24 VDC ±10%												
Consumo de energía [W] ^{Nota 8)}		23			40			50			50			
Consumo de energía en reposo durante el funcionamiento [W] ^{Nota 9)}		16			15			48			48			
Consumo de energía máx. momentánea [W] ^{Nota 10)}		43			48			104			106			
Tipo ^{Nota 11)}		Modelo de funcionamiento no magnetizante												
Fuerza de retención [N]		20	39	78	78	157	294	108	216	421	127	265	519	
Consumo de energía [W] ^{Nota 12)}		2.9			5			5			5			
Tensión nominal [V]		24 VDC ±10%												

Nota 1) Consulte con SMC para carreras no estándares, ya que son ejecuciones especiales se fabrican bajo demanda.

Nota 2) Horizontal: El valor máximo de la carga de trabajo para la operación de posicionamiento. Para la operación de empuje, la carga de trabajo máxima es igual a la "Carga de trabajo vertical". Para soportar la carga es necesaria una guía externa. La carga de trabajo y la velocidad de traslado reales dependerán del estado de la guía externa.

Vertical: La velocidad depende de la carga de trabajo. Compruebe la "Selección del modelo" en la página 2.

Las cifras mostradas entre () son los valores máximos de aceleración/deceleración.

Ajuste estos valores a 3000 [mm/s²] como máximo.

Nota 3) La precisión de la fuerza de empuje es del ±20% (fondo de escala).

Nota 4) El rango de ajuste de la "Fuerza de empuje" varía de 35% a 85% para el modelo LEY16□, de 35% a 65% para el modelo LEY25□, de 35% a 85% para el modelo LEY32□, y de 35% a 65% para el modelo LEY40□. La "Fuerza de empuje" y el "Factor de trabajo" pueden variar en función del valor de ajuste. Compruebe la "Selección del modelo" en la página 3.

Nota 5) La velocidad y la fuerza pueden variar dependiendo de la longitud del cable, la carga y las condiciones de montaje. Si la longitud del cable supera los 5 m, disminuirá en hasta un 10% por cada 5 m (A 15 m: reducido en hasta un 20%).

Nota 6) Es la velocidad de empuje admisible. Cuando realice un trabajo de empuje y traslado, utilice la menor carga vertical posible.

Nota 7) Resistencia a impactos. Supera la prueba de impacto tanto en dirección paralela como perpendicular al tornillo guía. (La prueba se llevó a cabo con el actuador en el estado inicial).

Resistencia a vibraciones: Supera la prueba en un rango de frecuencias entre 45 y 2000 Hz. La prueba se realizó tanto en dirección paralela como perpendicular al tornillo guía. (La prueba se llevó a cabo con el actuador en el estado inicial).

Nota 8) El consumo de energía (incluyendo el controlador) corresponde al momento en el que el actuador está funcionando.

Nota 9) El consumo de energía en reposo durante el funcionamiento (incluyendo el controlador) corresponde al momento en el que el actuador está detenido en la posición de ajuste. Excepto durante la operación de empuje.

Nota 10) El consumo máximo de energía momentánea (incluyendo el controlador) corresponde al momento en el que el actuador está funcionando. Dicho valor puede utilizarse para la selección del suministro eléctrico.

Nota 11) Únicamente con bloqueo.

Nota 12) Para un actuador con bloqueo, añada el consumo de energía para el bloqueo.

Peso

Serie		LEY16							LEY25								
Carrera (mm)		30	50	100	150	200	250	300	30	50	100	150	200	250	300	350	400
Producto	Motor paso a paso	0.58	0.62	0.73	0.87	0.98	1.09	1.20	1.18	1.25	1.42	1.68	1.86	2.03	2.21	2.38	2.56
Peso (kg)	Servomotor	0.58	0.62	0.73	0.87	0.98	1.09	1.20	1.14	1.21	1.38	1.64	1.82	1.99	2.17	2.34	2.52

Peso adicional (en kg)

Tamaño	16	25	32
Bloqueo	0.12	0.26	0.53
Cubierta del motor	0.02	0.03	0.04
Rosca macho en extremo del vástago	Rosca macho	0.01	0.03
	Tuerca	0.01	0.02
Soporte (2 conjuntos, incluye tornillos de montaje)	0.06	0.08	0.14
Brida delantera (incluye tornillos de montaje)	0.13	0.17	0.20
Brida trasera (incluye tornillos de montaje)			
Fijación oscilante hembra (incluye eje, anillos de retención y tornillos de montaje)	0.08	0.16	0.22

MHY2-16D

Características técnicas

Fluido	Aire comprimido filtrado
Presión de trabajo	0.1 a 0.6MPa
Temperatura ambiente y de fluido	-10 a 60°C
Repetibilidad	0.2mm
Frecuencia máx. de trabajo	60 c.p.m
Lubricación	No es necesaria
Funcionamiento	Doble efecto
Detector magnético (Opcional) <i>Nota</i>	Detector Estado sólido (3 hilos, 2 hilos)



*Nota*1) Véase más información sobre las características técnicas de los detectores magnéticos, en el apartado correspondiente.

*Nota*2) Si se usa lubricación, hacerlo de forma permanente con aceite de turbinas1, ISOVG32.

Modelo

Modelo	Diámetro (mm)	Fuerza efectiva de presión (Nm) ⁽¹⁾	Ángulo de apertura (ambos lados)		Peso (g) ⁽²⁾
			Lado apertura	Lado cierre	
MHY2-10D	10	0.16	180°	-3°	70
MHY2-16D	16	0.54			150
MHY2-20D	20	1.10			320
MHY2-25D	25	2.28			560



Nota 1) A una presión de 0.5 MPa

Nota 2) No incluido el detector magnético

LECP6P

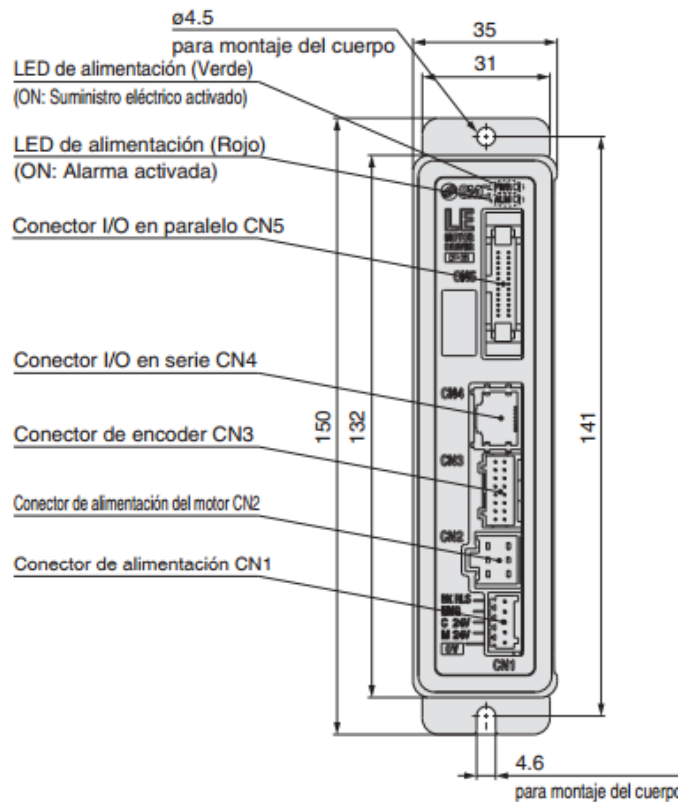
Especificaciones

Elemento	LECP6	LECA6
Motor compatible	Motor paso a paso (Servo/24 VDC)	Servomotor (24 VDC)
Alimentación ^{Nota 1)}	Tensión de alimentación: 24 VDC \pm 10% Consumo de corriente: 3 A (máx. 5 A) ^{Nota 2)} [Incluyendo la alimentación del accionamiento del motor, la alimentación de control y el desbloqueo]	Tensión de alimentación: 24 VDC \pm 10% Consumo de corriente: 3 A (máx. 10 A) ^{Nota 2)} [Incluyendo la alimentación del accionamiento del motor, la alimentación de control y el desbloqueo]
Entrada en paralelo	11 entradas (aislamiento de fotoacoplador)	
Salida en paralelo	13 salidas (aislamiento de fotoacoplador)	
Encoder compatible	Fase A/B incremental (800 impulsos/giro)	Fase A/B incremental (800 impulsos/giro)/Fase Z
Comunicación en serie	RS485 (según protocolo Modbus)	
Memoria	EEPROM	
LED indicador	LED (verde) y LED (rojo)	
Control de bloqueo	Terminal de desbloqueo forzado ^{Nota 3)}	
Longitud de cable [m]	Cable I/O: 5 o menos, Cable del actuador: 20 o menos	
Sistema de refrigeración	Refrigeración por aire ambiental	
Rango de temperatura de trabajo [°C]	0 a 40 (sin congelación)	
Rango de humedad de trabajo [% HR]	90 o inferior (sin condensación)	
Rango de temperatura de almacenamiento [°C]	-10 a 60 (sin congelación)	
Rango de humedad de almacenamiento [% HR]	90 o inferior (sin condensación)	
Resistencia al aislamiento [MΩ]	Entre la carcasa y el terminal SG 50 (500 VDC)	
Peso [g]	150 (Montaje con tornillo)	170 (Montaje en rail DIN)

Nota 1) No utilice un suministro eléctrico de "tipo prevención de la corriente de entrada" para suministrar alimentación al controlador. Cuando se requiera la conformidad con el estándar UL, deberá utilizarse el actuador eléctrico y el controlador con una fuente de alimentación de clase 2 compatible con UL1310.

Nota 2) El consumo de corriente varía según el modelo de actuador. Consulte las especificaciones del actuador para ver más detalles.

Nota 3) Aplicable al bloqueo no magnetizante.



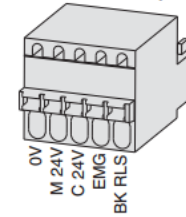
Conector CN1

Conector de alimentación: CN1 * El enchufe de alimentación es un accesorio.

Enchufe de alimentación para LECP6

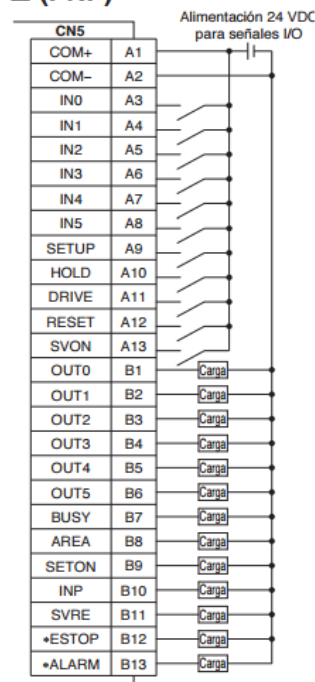
Terminal del conector de alimentación CN1 para LECP6 (PHOENIX CONTACT FK-MC0.5/5-ST-2.5)

Nombre del terminal	Función	Detalles
0V	Alimentación común (-)	Los terminales M 24V, C 24V, EMG y BK RLS son comunes (-).
M 24V	Alimentación del motor (+)	Alimentación del motor (+) suministrada al controlador
C 24V	Alimentación de control (+)	Alimentación de control (+) suministrada al controlador
EMG	Parada (+)	Entrada (+) para liberar la parada
BK RLS	Desbloqueo (+)	Entrada (+) para liberar el bloqueo



Conector CN5

LECP6P□□-□ (PNP)



Señal de entrada

Nombre	Detalles
COM+	Conecta la alimentación de 24 V para la señal de entrada/salida
COM-	Conecta la alimentación de 0 V para la señal de entrada/salida
IN0 a IN5	Nº bits especificado en los datos de paso (la entrada se define en la combinación de IN0 a 5)
SETUP	Instrucción para retorno al origen
HOLD	El funcionamiento se detiene temporalmente
DRIVE	Instrucción para accionamiento
RESET	Reinicio de alarma e interrupción del funcionamiento
SVON	Instrucción de activación del servoaccionamiento

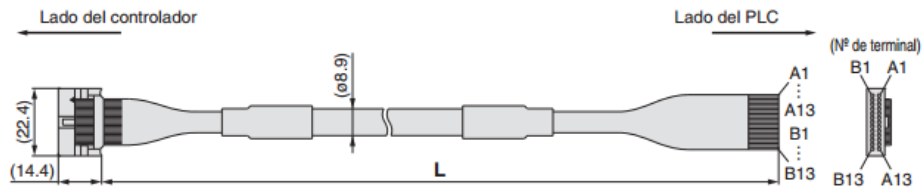
Señal de salida

Nombre	Detalles
OUT0 a OUT5	Salidas del nº de datos de paso durante el funcionamiento
BUSY	Salidas cuando el actuador está en movimiento
AREA	Salidas dentro del rango de ajuste de salida del área de datos de paso
SETON	Salidas durante el retorno al origen
INP	Salidas cuando se alcanza la posición de destino o la fuerza objetivo (Se activa cuando se completa el posicionamiento o el empuje.)
SVRE	Salida cuando el servoaccionamiento está activado
*ESTOP <small>Nota)</small>	No hay salida cuando se ordena la parada EMG
*ALARM <small>Nota)</small>	No hay salida cuando se genera la alarma

Nota) Señal de circuito lógico negativo (N.C.)

Cables

Cable entradas/salidas

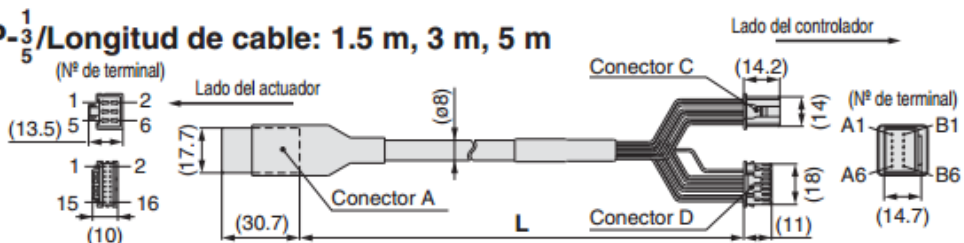


Nº de pin del conector	Color del aislamiento	Marca en el cable	Color de la marca
A1	Marrón claro	■	Negro
A2	Marrón claro	■	Rojo
A3	Amarillo	■	Negro
A4	Amarillo	■	Rojo
A5	Verde claro	■	Negro
A6	Verde claro	■	Rojo
A7	Gris	■	Negro
A8	Gris	■	Rojo
A9	Blanco	■	Negro
A10	Blanco	■	Rojo
A11	Marrón claro	■ ■	Negro
A12	Marrón claro	■ ■	Rojo
A13	Amarillo	■ ■	Negro

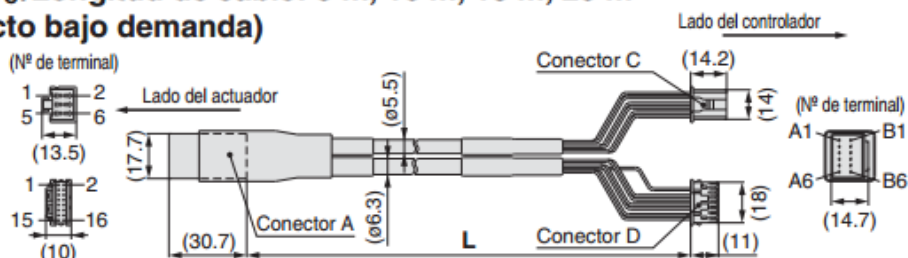
Nº de pin del conector	Color del aislamiento	Marca en el cable	Color de la marca
B1	Amarillo	■ ■	Rojo
B2	Verde claro	■ ■	Negro
B3	Verde claro	■ ■	Rojo
B4	Gris	■ ■	Negro
B5	Gris	■ ■	Rojo
B6	Blanco	■ ■	Negro
B7	Blanco	■ ■	Rojo
B8	Marrón claro	■ ■ ■	Negro
B9	Marrón claro	■ ■ ■	Rojo
B10	Amarillo	■ ■ ■	Negro
B11	Amarillo	■ ■ ■	Rojo
B12	Verde claro	■ ■ ■	Negro
B13	Verde claro	■ ■ ■	Rojo
—	Apantallamiento		

Cable actuador

LE-CP-¹/₃/Longitud de cable: 1.5 m, 3 m, 5 m



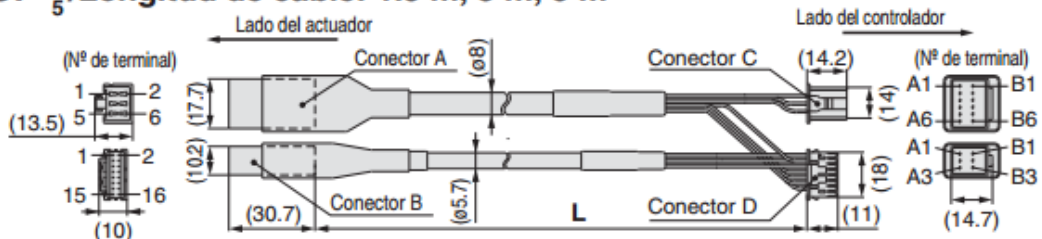
LE-CP-⁸/_{A C}/Longitud de cable: 8 m, 10 m, 15 m, 20 m (* Producto bajo demanda)



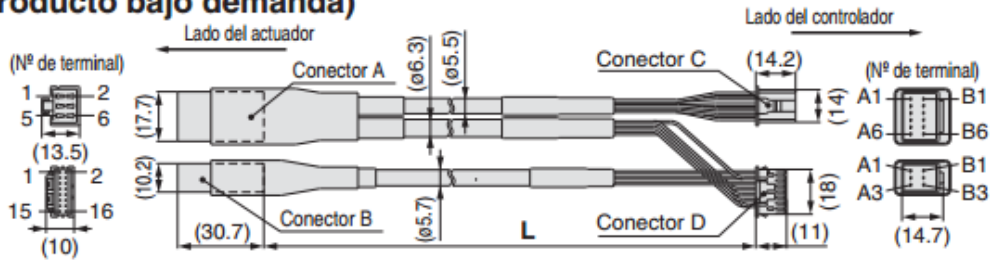
Circuito	Nº de terminal del conector A	Color del cable	Nº de terminal del conector C
A	B-1	Marrón	2
A	A-1	Rojo	1
B	B-2	Naranja	6
B	A-2	Amarillo	5
COM-A/COM	B-3	Verde	3
COM-B/—	A-3	Azul	4
Shield			
Vcc	B-4	Marrón	12
Tierra	A-4	Negro	13
A	B-5	Rojo	7
A	A-5	Negro	6
B	B-6	Naranja	9
B	A-6	Negro	8
—	—	—	3

Cable actuador con bloqueo

LE-CP-^{8 B}_{A C}/Longitud de cable: 8 m, 10 m, 15 m, 20 m



LE-CP-^{8 B}_{A C}/Longitud de cable: 8 m, 10 m, 15 m, 20 m
 (* Producto bajo demanda)



Circuito	Nº de terminal del conector A	Color del cable	Nº de terminal del conector C
A	B-1	Marrón	2
A	A-1	Rojo	1
B	B-2	Naranja	6
B	A-2	Amarillo	5
COM-A/COM	B-3	Verde	3
COM-B/—	A-3	Azul	4
Apantallamiento			
Vcc	B-4	Marrón	12
Tierra	A-4	Negro	13
A	B-5	Rojo	7
A	A-5	Negro	6
B	B-6	Naranja	9
B	A-6	Negro	8
—			
—			
—			
Circuito	Nº de terminal del conector B	Color del cable	Nº de terminal del conector D
Bloqueo (+)	B-1	Rojo	4
Bloqueo (-)	A-1	Negro	5
Sensor (+) Nota	B-3	Marrón	1
Sensor (-) Nota	A-3	Azul	2

para la serie LE.



Neumática

Tubo

Fluido	Aire, agua									
Presión máx. de trabajo.	0.8MPa a 20°C									
Presión de estallido	Véase la curva de características.									
Radio mín. de curvatura (mm)	10	15	20	27	35	10	15	23	27	35
Temperatura de trabajo	-20° a +60°C (Agua: 0 a 40C) (sin congelación)									
Materiales	Poliuretano									

Racor codo

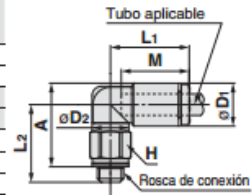
Codo orientable: KQ2L (junta de estanqueidad)



Diam. est. tubo aplicable [mm]	Rosca de conexión M	Modelo	H (dist. entre caras)	Nota) øD1	øD2	L1	L2	A	M	Área efectiva [mm ²]		Conex. mín.	Peso [g]
										Nylon	Poluretano		
ø2	M3 x 0.5	KQ2L02-M3G	5.5	5.8	5.5	12.6	12.5	12.8	11.9	—	0.8	1.2	1.6
	M5 x 0.8	KQ2L02-M5□	7	5.8	5.5	12.6	13	12.9	11.9	—	0.8	1.4	2.7
ø3.2	M3 x 0.5	KQ2L23-M3G	7	7.1	7	15.3	13.8	14.8	13.3	0.8	0.8	1.2	2.7
	M5 x 0.8	KQ2L23-M5□	7	7.1	7	15.3	14.3	14.9	13.3	2.6	2.2	2.5	3.1
ø4	M3 x 0.5	KQ2L04-M3G	7	8.2	7	15.4	14.3	15.8	13.3	0.8	0.8	1.2	2.7
	M5 x 0.8	KQ2L04-M5□	7	8.2	7	15.4	14.8	15.9	13.3	3.5	3.5	2.5	3.1
	M6 x 1.0	KQ2L04-M6□	8	8.2	7	15.4	15.8	15.9	13.3	3.5	3.5	2.5	4.2
ø6	M5 x 0.8	KQ2L06-M5□	7	10.4	7	14.5	16.5	18.7	13.3	3.5	3.5	2.5	3.2
	M6 x 1.0	KQ2L06-M6□	8	10.4	7	14.5	17.5	18.7	13.3	3.5	3.5	2.5	4.3

C/A: Latón, N: Latón + niquelado electrolítico

Nota) øD1 es el diámetro máximo.

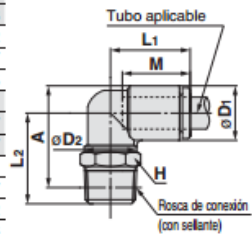


Codo orientable: KQ2L (sellante)



Diam. est. tubo aplicable [mm]	Rosca de conexión R	Modelo	H (dist. entre caras)	Nota) øD1	øD2	L1	L2	A*	M	Área efectiva [mm ²]		Conex. mín.	Peso [g]
										Nylon	Poluretano		
ø3.2	1/8	KQ2L23-01□S	10	7.1	10	14.5	16.7	17.2	13.3	3	2.5	2.5	4.6
	1/4	KQ2L23-02□S	14	7.1	10	14.5	21.2	20.1	13.3	3	2.5	2.5	14.1
ø4	1/8	KQ2L04-01□S	10	8.2	10	14.8	16.2	17.2	13.3	4.6	3.3	3	4.8
	1/4	KQ2L04-02□S	14	8.2	10	14.8	21.7	21.1	13.3	4.6	3.3	3	14.3
ø6	1/8	KQ2L06-01□S	10	10.4	10	15.5	17.3	19.4	13.3	11.4	9	4.5	5.2
	1/4	KQ2L06-02□S	14	10.4	10	15.5	22.8	23.3	13.3	11.4	9	4.5	14.7
	3/8	KQ2L06-03□S	17	10.4	10	15.5	24.1	24.2	13.3	11.4	9	4.5	26.5
ø8	1/8	KQ2L08-01□S	10	13.2	10	16.4	18.7	22.2	14.2	11.4	11.4	4.5	6.1
	1/4	KQ2L08-02□S	14	13.2	12	17.2	25.4	27.3	14.2	21.6	14.9	6	17.7
	3/8	KQ2L08-03□S	17	13.2	12	17.2	25.5	27.0	14.2	21.6	14.9	6	24.7
ø10	1/8	KQ2L10-01□S	12	15.9	12	18.6	23.6	28.4	15.6	21.6	14.9	6	11.1
	1/4	KQ2L10-02□S	17	15.9	17	19.3	28.7	31.9	15.6	35.2	25	7.5	21.7
	3/8	KQ2L10-03□S	17	15.9	17	19.3	29.6	32.4	15.6	35.2	25	7.5	22.2
ø12	1/2	KQ2L10-04□S	22	15.9	17	19.3	33.6	35.1	15.6	35.2	25	7.5	44.6
	1/4	KQ2L12-02□S	17	18.5	17	21.5	30.0	34.5	17	50.2	39.7	9	23.5
	3/8	KQ2L12-03□S	17	18.5	17	21.5	30.9	35.0	17	50.2	39.7	9	24.1
ø16	1/2	KQ2L12-04□S	22	18.5	17	21.5	34.9	37.7	17	50.2	39.7	9	46.5
	3/8	KQ2L16-03□S	17	23.8	17	25.1	32.6	39.8	20.6	50.2	50.2	9	27.8
	1/2	KQ2L16-04□S	22	23.8	21	27.1	35.4	42.2	20.6	71	58.9	11	40.8

C/A: Latón, N: Latón + niquelado electrolítico

* Dimensiones de referencia tras instalar la rosca R
Nota) øD1 es el diámetro máximo.

Válvula SY5120

Especificaciones técnicas

Serie		SY3000	SY5000	SY7000	SY9000
Fluido		Aire			
Rango de presión de trabajo (MPa)	2 posiciones, monoestable	0.15 a 0.7			
	2 posiciones, biestable	0.1 a 0.7			
	3 posiciones	0.2 a 0.7			
Temperatura ambiente y de fluido (°C)		-10 a 50 (Sin congelación. Consulte el anexo pág. 3)			
Frecuencia máx. de trabajo (Hz)	2 pos., monoestable, biestable	10	5	5	5
	3 posiciones	3	3	3	3
Accionamiento manual (Funcionamiento manual)		Pulsador sin enclavamiento. Enclavamiento para destornillador. Enclavamiento con mando giratorio.			
Método de escape pilotaje		Escape común para válvula principal y válvula de pilotaje			
Lubricación		No necesaria			
Posición de montaje		Cualquiera			
Resistencia a impactos/vibraciones (m/s ²) ^{Nota)}		150/30			
Protección		A prueba de polvo (conector DIN y conector M8: IP65)			



Basado en IEC60529)

Nota) Resistencia a impactos: Supera la prueba de impacto a lo largo del eje y en ángulo recto con respecto a la válvula principal y al cuerpo, tanto en estado activado como en estado desactivado (valores en el estado inicial).

Resistencia a vibraciones: Supera prueba de barrido de frecuencias entre 45 y 2000 Hz. Las pruebas se llevar recto respecto a la válvula principal y la armadura, tanto en estado activado como en estado desactivado (valor en estado inicial).

Especificaciones eléctricas

Entrada eléctrica		Salida directa a cable (G), (H) Conector enchufable L (L) Conector enchufable M (M)		Conector DIN (D) Conector MB (W)	
		G, H, L, M, W		D, DO	
Tensión de la bobina (V)	CC	24, 12, 6, 5, 3		24, 12	
	CA 50/60 Hz			200, 220, 100, 110	
Fluctuación de tensión admisible (%)		±10% de la tensión nominal			
Consumo de potencia (W)	CC	Estándar	0.35 (Con indicador LED: 0.4 terminal DIN con LED: 0.45)		
		Con circuito de ahorro de energía	0.1 (sólo con LED indicador)		
Potencia aparente (VA)	CA	100 V	-	0.78 (con LED indicador: 0.87)	
		110 V [115 V]	-	0.86 (con LED indicador: 0.97) [0.94 (con LED indicador: 1.07)]	
		200 V	-	1.15 (con LED indicador: 1.30)	
		220 V [230 V]	-	1.27 (con LED indicador: 1.46) [1.39 (con LED indicador: 1.60)]	
			-		
Supresor de picos de tensión		Diodo (Varistor para terminal DIN y modelo no polar)			
Indicador LED		LED (CA del conector DIN es una luz de neón)			



En común entre 110 VCA y 115 VCA y entre 220 VCA y 230 VCA.

Para 115 VCA y 230 VCA la tensión permitida es de -15% a +5% de la tensión nominal.

Los tipos S, Z y T (con circuito de ahorro de energía) deben mantenerse dentro del siguiente rango de fluctuación de tensión permitido debido a una caída de tensión causada por el circuito interno.

Tipo S y Z: 24 VCC: -7% a +10%

12 VCC: -4% a +10%

Tipo T: 24 VCC: -8% a +10%

12 VCC: -6% a +10%

Tiempo de respuesta

Tipo de función	Tiempo de respuesta (ms) (a 0.5 MPa)		
	Sin LED/ supresor de picos de tensión	Con LED/ supresor de picos de tensión	
		Tipos S, Z	Tipos R, U
2 pos., monoestable	19 máx.	26 máx.	19 máx.
2 pos., biestable	18 máx.	22 máx.	18 máx.
3 posiciones	32 máx.	38 máx.	32 máx.

Características de caudal y peso

Mod. de válvula	Tipo de función	Tamaño conex. 1, 5, 3 P, EA, EB (A, B)	Características de caudal								Peso (g)			
			1 4/2 (P A/B)				4/2 5/3 (A/B EA/EB)				Salida directa a cable	Conec. enchufable LUM	Terminal DIN	W Conector MB
			C (dm ³ /s) (stat)	b	Cv	Q (l/min) (ANR)	C (dm ³ /s) (stat)	b	Cv	Q (l/min) (ANR)				
SY5 20 -01	2 pos. Individual Doble	1/8	1.9	0.35	0.49	499	2.4	0.39	0.61	648	70	72	93	76
			1.7	0.43	0.45	473	1.8	0.35	0.46	473	88	93	135	101
	3 pos. Centro cerrado Centro a escape Centro a presión		1.5	0.44	0.41	420	2.5 (1.5)	0.32 (0.43)	0.59 (0.40)	644 (417)	93	98	140	106
			2.2 (0.91)	0.46 (0.58)	0.61 (0.28)	626 (287)	1.8	0.38	0.46	483				

CJ1

■ Common Specifications (All CJ1 CPUs)

Item	Specifications
Control method	Stored program
I/O control method	Cyclic scan and immediate processing are both possible
Programming	Ladder diagram
Instruction length	1 to 7 steps per instruction
Ladder instructions	Approx. 400 (3-digit function codes) CJ1M adds pulse I/O instructions
Execution time	Basic instructions (except CJ1M): 0.02 μ s min. Special instructions (except CJ1M): 0.04 μ s min. CJ1M Basic instructions: 0.1 μ s min. CJ1M Special instructions: 0.3 μ s min.
Overhead time	CJ1G/H-CPU□□H: Normal mode: 0.3 ms; parallel processing mode: 0.3 ms CJ1G-CPU□□: 0.5 ms CJ1M-CPU□□: 0.5 ms
Module connection method	No backplane (Modules are joined together with interlocking connectors.)
Mounting method	DIN Track mounting (screw mounting is not possible.)
Maximum number of connectable Modules	Per CPU or Expansion Rack: 10 Modules max. (i.e., Basic I/O Modules, Special I/O Modules, or CPU Bus Modules) Total per PLC: 10 Modules on CPU Rack and 10 Modules each on 3 Expansion Racks = 40 Modules max. (See Notes 1 and 2.)
Maximum number of Expansion Racks	3 max. (One CJ1 Series I/O Control Module is required on the CPU Rack, and one CJ1 Series I/O Interface Module is required on each Expansion Rack.) (See Notes 1 and 2.)
Number of tasks	288 (cyclic tasks: 32, interrupt tasks: 256) With the CJ1G/H-CPU□□H and CJ1M-CPU□□, interrupt tasks can be defined as cyclic tasks to create cyclic interrupt tasks. Note: 1. Cyclic tasks are executed each cycle and are controlled with TKON(820) and TKOF(821) instructions. 2. The following 4 types of interrupt tasks are supported: Power OFF interrupt task: 1 max. Scheduled interrupt tasks: 2 max. I/O interrupt tasks: 32 max. (CJ1G/H-CPU□□H and CJ1M-CPU□□) External interrupt tasks: 256 max. (CJ1G/H-CPU□□H and CJ1M-CPU□□)
Interrupt types	Scheduled Interrupts: Interrupts generated at a time scheduled by CPU's built-in timer I/O interrupt tasks: Interrupts from Interrupt Input Modules (CJ1G/H-CPU□□H and CJ1M-CPU□□) Power OFF Interrupts: Interrupts executed when CPU's power is turned OFF External interrupt tasks: Interrupts from Special I/O Modules and CPU Bus Modules (CJ1G/H-CPU□□H and CJ1M-CPU□□)
Calling subroutines from multiple tasks	CJ1G/H-CPU□□H and CJ1M-CPU□□: supported using global subroutines CJ1G-CPU□□: not supported

(This table continues on the next page.)

- Note: 1. The CJ1G-CPU42H and CJ1G-CPU43H support a maximum of 2 Expansion Racks with a total maximum of 30 Modules. The CJ1M-CPU13 and CJ1M-CPU23 support a maximum of 1 Expansion Rack with a total maximum of 20 Modules. The CJ1M-CPU11, CJ1M-CPU12, CJ1M-CPU21 and CJ1M-CPU22 do not support Expansion Racks.
2. Check limitations of the power supply to ensure that it can handle the current requirements of your configured system.