



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

AUTOMATIZACION Y REDUCCION DE  
PREPARACIONES EN EL PROCESO DE MONTAJE  
DEL RACOR DIN 2353  
RACOR DIN 2353: AUTOMATION AND  
REDUCTION OF THE ASSEMBLY PROCESS

Autor/es

Raúl Carmen Buil

Director

Ana Moliné Arroyo

Ponente

José Luis Villarroel Salcedo

EINA

Año 2018/2019





## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. \_\_\_\_\_, en

aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de

septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el

Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

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

(Título del Trabajo)

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

Zaragoza,

Fdo:



## RESUMEN

El TFG consiste en diseñar un automatismo que realice el montaje de racor DIN 2353 evitando preparaciones costosas, y accesible a trabajadores poco formados. El racor DIN 2353 es un racor conductor que se utiliza para realizar la unión entre elementos hidráulicos, habitualmente, tubos rígidos. El sistema debe desarrollarse cumpliendo los tiempos de ciclo objetivo y el presupuesto fijado por el grupo DICSA.

Se ha optado por una máquina que automatiza el proceso mediante dos brazos robóticos que manipulan las piezas, recogéndolas de unas plataformas vibrantes y llevándolas a los centros de ensamblaje. La posición de recogida es determinada por cámaras de visión artificial. Aseguramos el correcto montaje del racor mediante un sensor de comprobación que actúa tras el ensamblado. Toda la secuencia de trabajo esta comandada por un PLC. La alimentación de las piezas se realiza desde unas tolvas externas. El sistema va protegido por un vallado perimetral que garantiza la seguridad.



## ABSTRACT

The aim of this project is to design an automatic mechanism to make an assembly of DIN 2353 tube fittings. DIN 2353 tube fittings are connectors used to connect hydraulic components, normally, pipes. The mechanism will avoid mechanical preparations and it should be accessible to every employee, even without academic background. System must be developed respecting the conditions DICSA has fixed, such as cycle time and economical budget.

The choice made is a machine that would automate the process with two industrial robots that would manipulate the components of the fittings. They would move them from vibrating platforms to assembly centers. The position of the pieces is determined by integrated vision smart cameras. We ensure the final assembly is correct by adding two sensors that would verify it. Every component of the system is commanded by a programmable logic controller (PLC). Feeding pieces is done in external hoppers. Finally, a perimetral fence would be installed in order to ensure the security of the working area.





MEMORIA



## Contenido

1. Introducción .....	5
Objetivos del proyecto .....	5
Alcance y contexto del proyecto .....	5
Estructura de la memoria .....	5
2. Racor DIN 2353 .....	7
Definición .....	7
Montaje en sistemas .....	8
Modos de venta .....	8
Referencias a ensamblar por el automatismo .....	9
3. Análisis de necesidades .....	11
Evolución del proceso en DICSA .....	11
Estudio de rentabilidad .....	13
4. Análisis de los elementos del automatismo .....	17
Sistema robótico .....	18
Brazo robótico .....	18
Sistema de recogida .....	20
Controlador .....	21
FlexPendant .....	22
Sistema de alimentación .....	23
Plataforma .....	23
Controlador .....	25
Tolva de alimentación .....	25
Visión artificial .....	29
Cámaras de visión .....	29
Lentes .....	30
Sistema ensamblador .....	33
Sensor de comprobación .....	37
Sistemas expulsión piezas .....	40
Rampa de salida .....	40
Zona de rechazo .....	40
Sistema neumático .....	41
Sistema de señales .....	44
Controlador lógico programable (PLC) .....	44
Conmutadores Ethernet y Profinet .....	45
Pantalla HMI .....	45
Cableado eléctrico .....	48
Armario eléctrico .....	48
Cerramiento perimetral .....	50
5. Lista de elementos .....	52
6. Funcionamiento del sistema .....	54
Posibilidades de control .....	54
Secuencias del sistema .....	54

Funcionamiento base.....	55
Funcionamiento variable .....	58
Excepciones para tener en cuenta.....	65
Tiempo de ciclo medio sistema.....	68
Preparación para una referencia.....	69
7. Conclusiones .....	70
8. Bibliografía .....	71

## Índice de figuras

Figura 2.1: Tuerca métrica DIN 3870.....	7
Figura 2.2: Anillo de corte DIN 3681 .....	7
Figura 2.3: Orden de montaje TL_ .....	10
Figura 3.1: Montaje a mano racor DIN 2353.....	11
Figura 3.2: Máquina semiautomática racor DIN 2353.....	12
Figura 4.1: Esquema elementos sistema.....	17
Figura 4.2: Robot IRB 1200-7/0.7 .....	19
Figura 4.3: Sistema encaje dedos y pinza .....	20
Figura 4.4: Plano dedos tuercas y cuerpos del racor robot.....	21
Figura 4.5: Controlador IRC5.....	21
Figura 4.6: Mando FlexPendant.....	22
Figura 4.7: Programación vibración HMI Asyril .....	23
Figura 4.8: Gama productos Asycube.....	24
Figura 4.9: Dimensiones plataforma .....	25
Figura 4.10: Controlador ESG 1000.....	25
Figura 4.11: Comparación tamaño cajas. ....	27
Figura 4.12: Conexiones visión integrada ABB.....	29
Figura 4.13: Misma resolución, diferentes lentes.....	30
Figura 4.14: Dimensiones zona de recogida.....	31
Figura 4.15: $D_{trabajo}=850$ mm (DSQC 1021) .....	31
Figura 4.16: $D_{trabajo}=850$ mm (DSQC 1020) .....	32
Figura 4.17: Ejemplo de ensamblaje motorreductor .....	33
Figura 4.18: Plano ejemplo plaquita tubo de 12.....	35
Figura 4.19: Cálculos distancias roscador-robot.....	35
Figura 4.20: Distancias elementos bloque ensamblador .....	36
Figura 4.21: Diferencia distancia roscado con o sin anillo .....	38
Figura 4.22: Sensor de comprobación .....	39
Figura 4.23: Posibles distancias sensor de comprobación .....	39
Figura 4.24: Inicio sistema neumático.....	41
Figura 4.25: Electroválvula modo Retroceso cilindro .....	42
Figura 4.26: Electroválvula modo avance cilindro.....	43
Figura 4.27: Controlador lógico programable.....	44
Figura 4.28: Ejemplo programación TiaPortal V15 .....	44
Figura 4.29: Switch IE Profinet 5XRJ45.....	45
Figura 4.30: Switch Ethernet 8XRJ45 .....	45
Figura 4.31: Submenú movimientos pinzas robots pantalla HMI .....	45
Figura 4.32: Submenú principal .....	46
Figura 4.33: Esquema conexiones ethernet .....	47
Figura 4.34: Esquema puerta delantera armario.....	48
Figura 4.35: Sinóptico del cableado.....	49
Figura 4.36: Cálculos anchura y altura cerramiento perimetral.....	50
Figura 4.37: Cálculo superficie vallado .....	50
Figura 4.38: Sistema seguridad puerta .....	50
Figura 4.39: Diseño espacial estructura.....	51
Figura 6.1: Red de Petri funcionamiento robot 1.....	56
Figura 6.2: Cálculos tiempo ciclo funcionamiento base .....	58
Figura 6.3: Red de Petri modo 1 .....	60
Figura 6.4: Cálculo tiempo ciclo modo 1 .....	61
Figura 6.5: Cálculo tiempo ciclo modo 2 .....	61
Figura 6.6: Cálculo tiempo ciclo modo 3.....	62
Figura 6.7: Cálculo tiempo ciclo modo 4.....	63
Figura 6.8: Cálculo tiempo ciclo modo 5.....	65
Figura 6.9: Explicación roscado de 3 puntas uniones en T.....	66

## Índice de tablas

Tabla 2.1: Consumo racores montados o sin montar .....	9
Tabla 2.2: Consumo todas referencias racor DIN 2353 .....	10
Tabla 3.1: Ordenes de fabricación DICSA junio-julio 2018 .....	13
Tabla 3.2: Posibilidades de valor coste/punta según variaciones de tiempo y presupuesto .....	15
Tabla 3.3: Estudio de los casos extremos presupuesto-tiempo ciclo .....	16
Tabla 4.1: Versiones ABB robot IRB 1200 .....	20
Tabla 4.2: Tipos Tolvas BVL .....	26
Tabla 4.3: Tipos de cámara .....	30
Tabla 4.4: Relación tamaño-par de apriete máximo .....	34
Tabla 5.1: Lista elementos del sistema .....	53
Tabla 6.1: Modos de funcionamiento automatismo .....	54
Tabla 6.2: Tabla tiempos acciones funcionamiento base .....	57
Tabla 6.3: Tabla tiempos funcionamiento variable .....	59
Tabla 6.4: Producción según modo de funcionamiento .....	68
Tabla 6.5: Duración ciclo según modo de funcionamiento .....	68

## 1. Introducción

### Objetivos del proyecto

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es desarrollar un automatismo que sea capaz de realizar el ensamblaje del producto racor DIN 2353. Para llevar a cabo este desarrollo hay que estudiar el racor DIN 2353, los elementos que podría incluir el automatismo y, finalmente, crear un funcionamiento armónico de todos ellos.

El proyecto se realiza en colaboración con la empresa DICSA por lo que hay que respetar siempre sus restricciones y normativas. Una vez acabado, se presentará el proyecto a dirección. Si el proyecto es aprobado, se comenzaría su construcción física, en la cual participaría dentro del equipo designado.

### Alcance y contexto del proyecto

El grupo DICSA es una empresa líder en la fabricación de racores inoxidable, y también un referente en conducciones y componentes hidráulicos y neumáticos. Con sede en el polígono industrial Alcalde Caballero de Zaragoza, DICSA cuenta con un equipo humano de 194 profesionales que han provocado su gran crecimiento en los últimos años.

El crecimiento que ha tenido la empresa ha provocado que DICSA tenga que buscar nuevas alternativas para afrontar la creciente producción. Una de estas medidas ha sido desarrollar un sistema que automatice el montaje del racor DIN 2353, que se ha convertido en el objeto de este proyecto de fin de grado.

Para que traiga beneficios a la empresa, el automatismo debe cumplir ciertas condiciones especificadas por dirección:

- El presupuesto del automatismo, sumando su puesta en marcha y montaje en la fábrica de DICSA, debe ser inferior o igual a 180.000 €.
- El tiempo de ciclo de ensamblaje de una punta, es decir, roscar una tuerca con un anillo en su interior en un cuerpo de racor DIN 2353, debe ser inferior o igual a 10 segundos.
- El automatismo debe ser controlable por los operarios de fábrica de DICSA. Se puede proponer una breve formación para enseñar las nociones básicas, pero el manejo de todos los elementos debe ser simple e intuitivo.
- El automatismo no debe tener excesivas preparaciones mecánicas en el cambio de referencia. No se tiene que perder mucho tiempo en los cambios de producción.
- El automatismo debe ser seguro y no debe suponer ningún peligro para los operarios que están trabajando con él. Se puede aportar equipo extra como gafas o cascos protectores en el caso de que fuera necesario.

Siempre que se cumplan todas estas restricciones, la propuesta del automatismo se llevará a dirección de la empresa para su posterior aprobación

### Estructura de la memoria

La memoria se divide en 6 partes diferenciadas que sirven para explicar todas las dimensiones del proyecto:

En primer lugar, se presenta un estudio general de los productos racor DIN 2353 en el apartado 2.

La segunda parte, apartado 3, explica cómo el grupo DICSA ha afrontado la producción del racor DIN 2353 a lo largo de su historia y los beneficios económicos que aportaría la implantación del automatismo.

Después, se encuentra una tercera parte, apartados 4 y 5, que presenta los elementos que van a formar el automatismo global. Se explica el porqué de su elección y cómo va a funcionar en el sistema.

El cuarto bloque, apartado 6, se da a conocer el automatismo global. Se explica su funcionamiento y los tiempos que va a tardar en montar cada punta.

El quinto bloque del trabajo contiene las conclusiones globales obtenidas y, por último, se tiene un sexto que incluye las referencias bibliográficas consultadas.



## 2. Racor DIN 2353

### Definición

Los racores DIN 2353 son unos de los productos estrella de la empresa DICSA. La sociedad ofrece en catálogo estos productos fabricados con dos tipos de materiales: acero y acero inoxidable. El ensamblaje que se tiene que realizar para comercializar estos racores consta de 3 tipos de elementos: tuerca, anillo y el racor en sí, al que vamos a llamar cuerpo del racor para evitar confusión. El anillo y la tuerca van a tener siempre el mismo formato, únicamente cambiará su tamaño dependiendo de las dimensiones del tubo que estén destinados a unir. El cuerpo del racor, en cambio, va a ser distinto para cada tipo de referencias.

El anillo se llama anillo de corte DIN 3681 y se utilizar para afianzar la unión y que no existan fugas del fluido que circula por el racor. La tuerca se designa tuerca métrica DIN 3870 y es el elemento con el que se une un tubo rígido al cuerpo del racor. Se pueden observar ambos elementos en las figuras 2.1 y 2.2. Finalmente, el cuerpo del racor es la parte principal del ensamblaje. En este componente es dónde el automatismo va a ensamblar las uniones anillo-tuerca que necesite cada referencia [ISO 1, 1991] [ISO 2, 1994] [ISO 3, 1985].

Cada ensamblaje anillo-tuerca-cuerpo que se haga en los racores se llamará “punta”. De esta manera, existirán racores de 1,2 o 3 puntas según sea la referencia que se está produciendo.

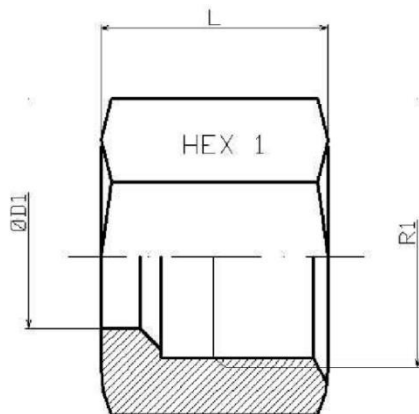


Figura 2.1: Tuerca métrica DIN 3870

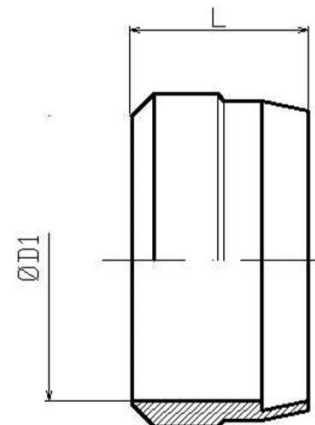


Figura 2.2: Anillo de corte DIN 3681

Su principal uso es el de servir como conexión rígida entre dos o tres elementos en sistemas de transmisión hidráulica de alta presión. Esta unión suele ser entre tubos rígidos, aunque también existen referencias de racores que tienen un extremo con forma de rosca macho. En esta rosca macho puedes añadir cualquier elemento hidráulico cuya unión se realice con una rosca hembra, es decir, se puede incluir una bomba, un distribuidor, una conducción flexible (manguera)...

Las referencias que vamos a estudiar son principalmente de 3 formas: uniones rectas, codos y uniones en T. Las uniones rectas no tienen ninguna particularidad y sirven para realizar una unión recta (0°) entre dos elementos cualquiera. Los codos son racores para hacer una conexión a 90° y las uniones en T tienen 3 extremos por lo que se utilizan para tener la posibilidad de unir 3 elementos a la vez. Estas 3 formas de racor tienen muchos tipos de referencias cada una, dependiendo del número de tuercas y anillos que tengan en su cuerpo.

Existen otros racores DIN 2353 con distintas figuras para usos especiales que no va a ensamblar nuestra máquina. No son objeto de estudio debido a que los consumos son pequeños y estas cantidades no justifican su montaje automático. [DICSA 1, 2019]

## Montaje en sistemas

El montaje en instalación hidráulica debe precederse de un premontaje en el que se fijará el anillo en el tubo. Se puede realizar de dos formas distintas [UNE, 2008]:

- La primera manera de montarlo no necesita ningún elemento extra, simplemente las piezas del racor DIN 2353 y un utillaje donde anclar el cuerpo del racor. Para ello, colocaremos el racor al utillaje y lo dejaremos fijo. Después engrasaremos tanto la rosca de la tuerca como la del racor y enroscaremos para que queden engrasadas. Tras esta acción, meteremos la tuerca y el anillo en su posición adecuada (parte con más diámetro del anillo mirando hacia la tuerca) dentro del tubo y procederemos al premontaje. Antes de comenzar a unir el tubo con el racor es muy importante volver a engrasar el anillo de corte para que el premontaje sea efectivo. Después roscaremos la tuerca lo máximo que podamos y nos ayudaremos de una llave para roscar 1 vuelta y media extra. Tras realizar este premontaje desmontaremos el ensamblaje quitando la rosca y comprobaremos que el anillo ha sido fijado al tubo fuertemente y no se puede desplazar por el tubo.
- La segunda forma de montarlo es ayudándose de una máquina que sirve propiamente para ello. En este método se va a incluir las piezas del racor DIN 2353 dentro de unas guías que colocan el tubo el anillo y la tuerca de manera adecuada. La máquina ejerce presión y empuja el anillo contra el tubo y lo hace chocar de manera que el anillo quedará fijo en el tubo sin necesidad de engrase. Una vez finalizada la acción, también comprobaremos que el anillo ha sido fijado perfectamente y no puede trasladarse. La ventaja de este método es que no necesita engrase y la fijación suele ser correcta. Sin embargo, se requiere comprar la máquina y mantenerla adecuadamente (no romper las guías, ejercer presión adecuada para cada montaje, etc).

Tras realizar este premontaje en el cual ya se ha prefijado el anillo, se puede montar el racor en el circuito hidráulico. El montaje se realizará roscando la tuerca de nuevo en el racor, pero esta vez fijando el anillo por completo. Por tanto, hay que ayudarse de una llave, que nos permita roscar una media vuelta final que aporta la fuerza necesaria para realizar un correcto montaje.

El principal problema del uso del racor DIN 2353 se materializa en que muchos clientes compran el producto ya ensamblado y no realizan el premontaje al montar en el circuito hidráulico, es decir, compran el racor, incluyen el tubo directamente sin desmontar y se ayudan con la llave para acabar de montar el sistema. Si los clientes han montado así el producto, el anillo no va a estar bien anclado y se corre un gran riesgo de tener fugas, o incluso, de que se pueda romper la unión realizada. Este montaje defectuoso se suele realizar en circuitos que no trabajan a altas presiones y no suele haber problemas. No obstante, es un riesgo que corre el cliente del que DICSA no se responsabiliza.

Para asegurarse de que la unión funciona bien y aguanta las altas presiones a las que va a ser exigido DICSA prepara varios ensayos. El más importante de ellos, consiste en colocar un racor que una un tubo a la máquina de ensayos y empezar a subirle la presión. DICSA, en sus ensayos, exige que los ensamblajes aguanten 3 veces la presión de trabajo recomendada en su ficha técnica.

## Modos de venta

El racor DIN 2353 tiene dos formas de ser comercializado. Esto ocurre principalmente, porque se necesitan siempre las mismas piezas (anillo, tuerca y cuerpo del racor) para poder montar el racor en su correspondiente circuito hidráulico. Las piezas deben estar separadas, pero es muy importante que no falte ninguna.

El primer modo, el cual consideraremos como completo, se trata del cuerpo ya ensamblado con la tuerca y el anillo. La tuerca está ligeramente roscada, es decir, no se debe soltar fácilmente para que el ensamblaje aguante sin desmontarse durante el transporte, pero sí

se puede desmontar posteriormente sin excesiva dificultad. Su principal beneficio es que tienes las 3 piezas juntas, por lo tanto, al montar no tienes que buscar en distintos lugares.

El segundo modo de fabricación es vender todo por separado, es decir, el cliente compra únicamente el cuerpo del racor. Después, comprará anillo y tuerca y los ensamblará por primera vez en el montaje hidráulico. Su precio es menor por unidad, pero obliga al cliente a buscar proveedores para cada pieza, pagar más dinero por transporte y tener que asegurarse de tener las 3 piezas disponibles cada vez que se realice un montaje.

A partir del estudio realizado de las ventas de DICSA en el 2018 (tabla 2.1) podemos concretar que el consumo de las referencias previamente ensambladas es más alto que los racores sin tuerca y anillo. La diferencia es de 497.248,94 €, un valor no excesivamente alto que demuestra que los mercados de ambos productos son bastante amplios. Además, si restamos los 407.763,85 € correspondientes de las tuercas y los anillos, esto es, nos limitamos únicamente a los cuerpos del racor, el consumo es únicamente 89.485,09 € mayor. Por tanto, podríamos considerar que se obtiene prácticamente los mismos beneficios de ambos modos de venta. [DICSA 2, 2019]

La demanda de estos racores depende principalmente del país con el que se comercializa. En España, uno de los mercados más importantes para DICSA, el racor DIN 2353 se vende ensamblado. Por tanto, DICSA da preferencia a mejorar la producción de este tipo de formato, objeto de este proyecto. No obstante, no se va a abandonar la producción del racor sin ensamblar porque se necesita satisfacer las necesidades de los demás mercados y seguir manteniendo uno de los stocks más completos de Europa.

<b>Racores montados</b>	<b>2.509.516,13 €</b>	<b>Racores sin montar</b>	<b>2.012.267,20 €</b>
Tuercas y anillos	407.763,85 €	Uniones tubo-tubo	338.209,92 €
Uniones tubo-tubo	489.835,13 €	Uniones rectas tubo-rosca	641.568,58 €
Uniones rectas tubo-rosca	368.909,68 €	Codos tubo-rosca	85.930,22 €
Codos tubo-rosca	79.693,51 €	Uniones métricas	27.134,95 €
Uniones métricas	50.743,64 €	Racores regulable	706.234,63 €
Racores regulables	247.485,67 €	Soldable	12.998,92 €
Tubo roscado	209.417,62 €	Racor recto hembra	13.793,81 €
Soldables	25.271,51 €	Orientables	104.569,60 €
Pasatabiques	58.173,19 €	Válvulas antirretorno	512,21 €
Racor recto hembra	26.491,10 €	Pasatabiques	79.675,58 €
Orientables	75.272,89 €	Racores pendientes montaje	3,04 €
Tapones	456.052,50 €	Racor para manometro	1.635,75 €
Valvulas antirretornos	14.405,81 €		

Tabla 2.1: Consumo racores montados o sin montar

## Referencias a ensamblar por el automatismo

Dentro de la demanda de los racores DIN 2353 que se venden ya ensamblados, existen multitud de productos. Nuestro automatismo va a montar 16 tipos de referencias diferentes englobándolos en 5 grandes modos de funcionamiento. Estos 5 modos van a diferenciarse en el número de puntas (1,2 o 3) y forma de racor (unión recta, codo o T).

No se van a ensamblar todas las referencias de cada tipo (varios tamaños), ya que se tienen que elegir únicamente las piezas que sean posibles de producir por su tamaño y merezca la pena producir por su consumo. Las referencias más grandes de las uniones en codo y en T deberán ser cortadas y se seguirán produciendo a mano.

El montaje que se va a producir por la máquina va a ser únicamente provisional, ya que se tendrá que desmontar para su posterior premontaje e inclusión en el circuito hidráulico. A modo de ejemplo, para hacernos una idea de cómo quedaría el conjunto, y ver cómo se tienen

que colocar las distintas piezas, podemos ver la orden de montaje de una referencia de unión en T con 3 puntas (TL\_) en la figura 2.3 [SOLIDWORKS, 2019]. Este tipo de referencia correspondería con el modo 5 de funcionamiento del automatismo. La forma del resto de las referencias que montará el automatismo con órdenes de montaje ejemplo están disponibles en el Apéndice 1 de los anexos.

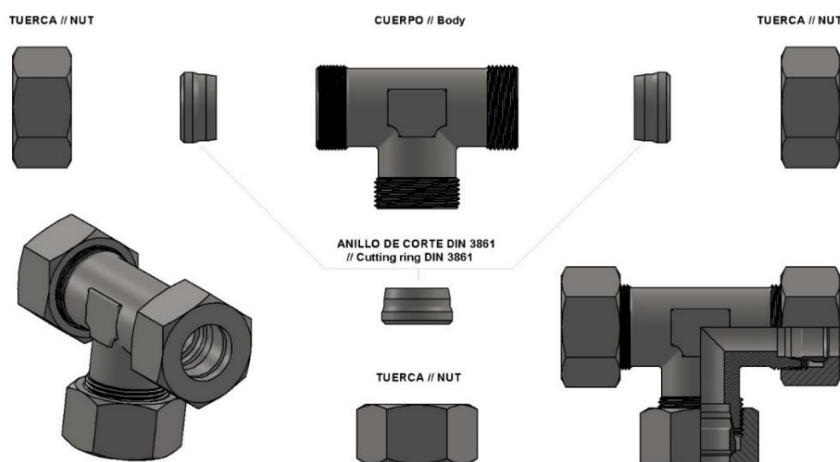


Figura 2.3: Orden de montaje TL\_

Los consumos de todos los tipos de referencias que va a montar el automatismo se pueden ver en la tabla 2.2. A partir de ella se puede comprobar que las referencias DL\_ son las más producidas en cuanto número, pero que las referencias AL\_ son las que más puntas se ensamblan, que es el dato que nos interesa. La producción de cada referencia (cada tamaño) está disponible en el apéndice 2 de los anexos. En cuanto a la designación de las referencias, la Z previa que existe en la primera mitad significa que ese racor ha sido fabricado en acero inoxidable. Si esta Z no existe, la pieza es de acero. También es importante señalar, que la L final designa la serie de productos que se está fabricando, en este caso, ligera. Todas las referencias han sido designadas con esta L para llamarlas con un nombre propio. Sin embargo, todas las referencias indicadas se van a producir también en serie pesada (S). Tras el nombre de la referencia aparece un número que nos indica qué tubo puede unir, y en los casos de referencias con puntas libres, qué tipo de rosca es la que queda libre.

Referencia	Consumo	Puntas totales	Referencia	Consumo	Puntas totales
Z_AL_RC_	13.425	13.425	AL_RC_	5.998	5.998
Z_AL_R_	53.716	53.716	AL_R_	190.336	190.336
Z_AL_R_WD	35.425	35.425	AL_R_WD	67.473	67.473
Z_AKL_	16.220	16.220	AKL_	17.707	17.707
Z_AKL_NPT	9.498	9.498	AKL_NPT	9.499	9.499
Z_ASL_	3.089	3.089	ASL_	2.846	2.846
Z_CKL_	19.487	19.487	CKL_	44.465	44.465
Z_CKL_NPT	3.172	3.172	CKL_NPT	5.756	5.756
Z_DL_	81.490	162.980	DL_	149.684	299.368
Z_ESVL_	2.675	5.350	ESVL_	1.314	2.628
Z_SVL_	8.815	17.630	SVL_	17.572	35.144
Z_EL_	34.045	68.090	EL_	48.919	97.838
Z_TL_	21.577	64.731	TL_	41.245	123.735
Z_KORL_TLM	3.926	3.926	KORL_TLM	11.135	11.135
Z_EEL_TLM	11.491	11.491	EEL_	52.587	52.587
Z_TEL_TLM	1.354	2.708	TEL_	8.039	16.078
Z_LEL_TLM	2.021	4.042	LEL_	14.542	29.084

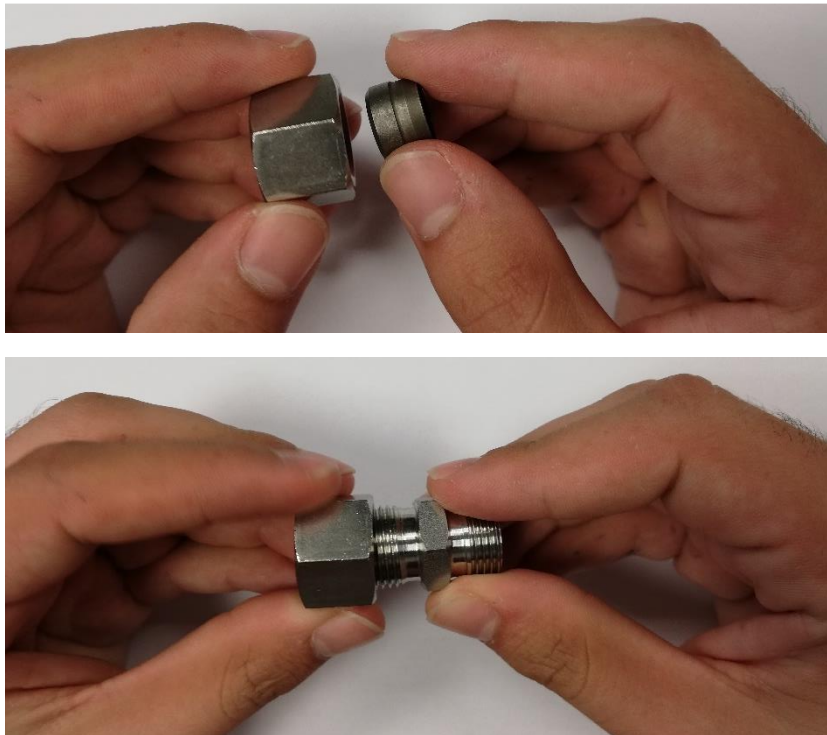
Tabla 2.2: Consumo todas referencias racor DIN 2353

### 3. Análisis de necesidades

#### Evolución del proceso en DICSA

En los últimos años, el crecimiento de la empresa y el cambio de necesidades existente en el mercado ha provocado que el grupo DICSA realice un cambio profundo en su manera de trabajar. Viviendo en la era tecnológica, el camino a seguir era obvio, se tenía que conseguir una digitalización real de todas las secciones. Para este trabajo de fin de grado, la sección que nos interesa es fábrica, específicamente, la producción del racor DIN 2353.

Desde sus inicios, DICSA ha realizado el ensamblaje del racor DIN 2353 a mano (figura 3.1), es decir, hay operarios en el taller que abren las cajas de los anillos, tuercas y cuerpo del racor, las cogen y montan el producto. Al principio, con este trabajo manual bastaba para cubrir toda la producción, pero una vez que la empresa empezó a expandirse se necesitaron nuevas soluciones.



*Figura 3.1: Montaje a mano racor DIN 2353*

Fue entonces, hace más o menos una década, cuando la fuerte demanda de este tipo de racores superó a la producción que podían realizar el número de operarios que trabajaban en aquel momento. Además, muchos de estos trabajadores, debido a realizar ese movimiento repetitivo tantas veces al día, se lesionaban y desarrollaban tendinitis de muñeca. Por estas razones, se planteó que había que realizar algunas mejoras en el sistema de producción. El resultado fue el desarrollo de una máquina semiautomática cuyo funcionamiento seguía necesitando de un operario, pero aumentaba mucho la velocidad de producción. La función de este operario dejó de ser un movimiento repetitivo, porque ya no tenía que roscar el conjunto tuerca-anillo en el cuerpo. Con esta máquina, el operario únicamente sujetaba el cuerpo del racor mientras que el automatismo realizaba el ensamblaje. Este movimiento era mucho menos exigente que el anterior, de manera que no volvieron a producirse lesiones de muñeca.

Este sistema semiautomático funcionaba de la siguiente manera: había dos grandes depósitos donde se cargaban los anillos y tuercas. Estos depósitos tenían un camino espiral por el cual las piezas iban subiendo mientras estos giraban. Una vez salían del depósito, tanto el anillo como la tuerca tenían una posición concreta gracias a un sistema de expulsión del que

disponían los propios depósitos. El siguiente paso era que las dos piezas avanzaran por separado por una cinta transportadora que los llevaba hasta las pinzas ensambladoras. En este punto una pinza especial que disponía de unos pinchos agarraba el anillo y lo colocaba dentro de la tuerca. Después, una segunda pinza cogía la tuerca y colocaba el conjunto anillo-tuerca en una tercera cinta. Esta última cinta acababa con un empujador que movía un único conjunto a una roscador, donde estaba el operario esperando con el cuerpo del racor. El operario colocaba el cuerpo en el conjunto anillo-tuerca y realizaba un pequeño movimiento de contra rosca mientras el roscador realizaba el ensamblaje final. Se puede observar una fotografía del sistema en la figura 3.2.



*Figura 3.2: Máquina semiautomática racor DIN 2353*

Sin embargo, esta máquina semiautomática tenía un gran problema con el que no se contaba, las largas y tediosas preparaciones que había que realizar cada vez que se tenía que cambiar de referencia. Estas calibraciones consistían en ajustar el sistema de expulsión de los dos depósitos para que no dejaran pasar piezas defectuosas o en mala posición, preparar las dos pinzas a los nuevos tamaños y cambiar la anchura de todos los caminos a la adecuada para los elementos. La producción no resultaba rentable debido a que se tardaba unos 3-4 horas en ajustar el sistema, tarea que además solo podía ser realizada por personal especializado. Debido a este inconveniente, se decidió volver a producir racores a mano, haciendo más numerosos los turnos y contratando a más empleados. Mientras tanto, este automatismo se dejaría en una calibración fija para evitar hacer estos ajustes. Se fijó en racores de tubo ligero de 12, que es uno de los tamaños que más demanda tiene. Por tanto, el sistema ayudó a la producción de racores, pero no de la manera efectiva que se esperaba, así que el problema seguía existiendo.

La preocupación por la salud de los operarios (volvió a aparecer la tendinitis) y la demanda creciente que ha sufrido el racor DIN 2353 estos últimos años, fue la principal razón por la que se planteó el proyecto de este TFG. Se decidió desarrollar un sistema plenamente autónomo, en el cual los empleados solo debían cargar piezas y resolver problemas, poco frecuentes, si fuera necesario. Antes de comenzar a desarrollar propiamente el proyecto, o empezar a escuchar proposiciones de otras empresas que se ofrecieran a realizarlo, hay que hacer un estudio comparando la rentabilidad de cada proceso (a mano, máquina semiautomática y futura máquina automática) para ver si merece la pena embarcarse en el proyecto o no.

## Estudio de rentabilidad

En este apartado vamos a calcular y desarrollar los beneficios económicos que aportaría el desarrollo del sistema automático de ensamblaje de racor DIN 2353 a la empresa. Para cuantificar la diferencia económica, se va a calcular cuánto dinero se gasta produciendo las piezas a mano, y cuanto se gastaría si se introdujese este nuevo sistema. Con el objetivo de que los datos fueran más fiables, se ha realizado un estudio de la producción de racor DIN 2353 en los meses de junio y julio (tabla 3.1).

Nº OF	REFERENCIA	Nº PIEZAS	PUNTAS RACOR	Nº PUNTAS	TIEMPO TOTAL MONTAJE (min)	s/PUNTA
1	AS 12 R 3/8	300	1	300	130	26,00
2	AL 10 R 3/8 WD	600	1	600	130	13,00
3	AL 8 R 1/2	75	1	75	20	16,00
4	DS 6	300	2	600	90	9,00
5	AS 14 R 1/2 WD	100	1	100	20	12,00
6	AL 8 R 1/8	250	1	250	45	10,80
7	TS 16	300	3	900	175	11,67
8	AL 8 R 1/4 WD	600	1	600	120	12,00
9	DL 15	600	2	1200	280	14,00
10	DS 38	80	2	160	75	28,13
11	LEL 42 TLM	20	2	40	35	52,50
12	TL 15	300	3	900	260	17,33
13	ES 16	300	2	600	165	16,50
14	AL 28 R 1 WD	200	1	200	55	16,50
15	TL 10	300	3	900	195	13,00
16	LEL 15 TLM	100	2	200	70	21,00
17	AS 12 R 3/8	700	1	700	170	14,57
18	DS 14	300	2	600	105	10,50
19	EEL 18 TLM	300	1	300	110	22,00
20	AL 28 R 1	100	1	100	30	18,00
21	EEL 8 TLM	600	1	600	187	18,70
22	AKL 15 1/2 NPT	100	1	100	30	18,00
23	AL 12 R 1/2	600	1	600	135	13,50
24	AL 22 R 1/2 WD	160	1	160	50	18,75
25	CKS 12 R 3/8	150	1	150	50	20,00
26	TS 14	120	3	360	73	12,17
27	EEL 12 TLM	2000	1	2000	410	12,30
28	LEL 6 TLM	300	2	600	143	14,30
29	TS 12	50	3	150	35	14,00
30	EEL 28 TLM	100	1	100	35	21,00
31	AL 10 R 1/2	500	1	500	105	12,60
32	TES 20 TLM	50	2	100	30	18,00
33	AL 15 RC 1/2	150	1	150	30	12,00
34	ES 12	200	2	400	90	13,50
35	LEL 8 TLM	225	2	450	80	10,67
36	DS 10	800	2	1600	425	15,94
37	CKL 15 R 1/2	200	1	200	70	21,00
38	DL 18	1000	2	2000	445	13,35
39	AS 25 RC 3/4	20	1	20	8	24,00
40	AL 18 R 3/8	75	1	75	14	11,20
41	EES 25 TLM	100	1	100	45	27,00
42	AS 14 R 1/2 WD	100	1	100	25	15,00
43	EL 6	100	2	200	30	9,00
44	CKS 16 R 1/2	200	1	200	70	21,00

Tabla 3.1: Ordenes de fabricación DICSA junio-julio 2019

A partir de este análisis, se ha acabado concluyendo que los operarios tardan una duración media de 14.51 segundos por cada punta tuerca-anillo que se ensambla. Este dato varía un poco dependiendo del trabajador y del tamaño de la referencia que se va a ensamblar. Las piezas con diámetro de tubo de 12 se montan más rápido que las de tubo de 18. En consecuencia, se ha decidido fijar el valor medio del montaje de una punta, pero, en realidad, cada ensamblaje variaría entre 12 y 18 segundos. En casos especiales, con tuercas muy grandes, los operarios llegan a tardar más de 20 segundos.

A partir de los salarios que tienen los trabajadores en fábrica actualmente, DICSA calcula que el costo de un operario por hora es de 20 €. Partiendo de este dato, se puede calcular que 20 €/h son aproximadamente 0'005556 €/s.

Teniendo en cuenta estos dos valores, se obtiene un valor medio de montaje a mano de 0'0806111 €/punta.

$$0'005556\text{€/s} * 14.51 \text{ s/punta} = 0'0806111 \text{ €/punta [a mano]}$$

Por otro lado, para calcular el beneficio que aportará nuestro sistema, se tiene que calcular el valor de cada punta con el futuro automatismo. Para ello, se va a suponer que la necesidad de atención del operario para cada sistema es del 20 % de su capacidad total, por tanto, un operario va a ser capaz de llevar 5 sistemas automáticos. De esta manera, el coste de la mano de obra pasa a ser de 5 €/hora (20 €/hora ÷ 5) para cada sistema. Sabiendo que antes el operario cobraba 20 €/hora, se tiene un margen de 15€/hora para conseguir una producción más económica. Para asegurarme un beneficio, inicialmente se va a guardar 5€/hora del presupuesto, reduciendo así el margen a 10 €/hora. Se va a considerar que, debido al consumo eléctrico, mantenimiento, paradas porque la maquina ha dado algún problema o necesita carga, el rendimiento de la maquina va a ser del 80%. En consecuencia, 10 €/hora multiplicado por 0'8, obtenemos 8€/h, que será nuestro presupuesto final para plantear el desarrollo del automatismo.

$$10 \text{ €/hora} * 0'8 = 8 \text{ €/hora de presupuesto}$$

El siguiente paso es calcular las horas que se trabaja en la empresa, y en cuanto tiempo calculan que amortizarían el pedido. DICSA considera que cada automatismo que implanta en su fábrica va a estar funcionando al menos 5 años, respetando los turnos que se realizan en la fábrica actualmente: 2 turnos completos y un turno extra de 6 meses. Por tanto, dos turnos de 8 horas multiplicado por los 220 días laborables, obtenemos 1770 + 1770 = 3.540 horas, al que tenemos que sumarle el turno nocturno extra de 6 meses, 1770/2= 885 horas. Finalmente, en total tenemos 4.425 horas hábiles del automatismo cada año. En consecuencia, durante los 5 años mínimos de funcionamiento, se calcula que el automatismo va a funcionar, al menos, 22.125 horas. Normalmente, este tipo de sistemas funcionan mucho más tiempo, pero se fija un límite muy conservador por si ocurre algún problema importante. Para relacionar este dato con los del ensamblado, se calcula que el tiempo de trabajo en la fábrica de DICSA es de 79.650.000 s.

$$1.770 \text{ h} + 1.770 \text{ h} + 885 \text{ h} = 4.425 \text{ h/año} * 5 \text{ años} = 22.125 \text{ h} * 3600\text{h/s} = 79.650.000 \text{ s}$$

Tras un estudio inicial del funcionamiento de los elementos del sistema, y su funcionamiento global se ha fijado un objetivo aproximado de 10 segundos de montaje por punta. Este tiempo es provisional, ya que es muy posible que haya cambios cuando se realice el montaje práctico. Este dato, enlazándolo con las horas productivas (22.125 h) va a indicar que DICSA tiene una producción total de 7.965.000 puntas. La cifra anual que el sistema puede asumir indica una producción de 1.593.000 puntas/año con los horarios actuales de fábrica, con posibilidad de ser aumentada si es necesario, ya que se pueden añadir más meses de trabajo al tercer turno. La producción actual es de 1.542.000 puntas, por lo que se ajusta perfectamente a la producción teórica calculada.

$$79.650.000 \text{ s} \div 10 \text{ s/punta} = 7.965.000 \text{ puntas} \div 5 \text{ años} = 1.593.000 \text{ puntas/año}$$



Una vez comprobado que los tiempos de producción cumplen los requisitos, es momento de calcular el presupuesto inicial del automatismo. El presupuesto del pedido va a ser, por tanto, de los 8 €/hora que DICSA está dispuesta a proporcionar multiplicado por las 22.125 horas en las que se va a amortizar la máquina. Con esta operación, se obtiene un presupuesto de 177.000 euros, que aproximaremos a 180.000 € como presupuesto inicial para desarrollar el sistema. Como se ha aproximado el valor del presupuesto, el costo por hora permitido va a cambiar a 8'1356 €/hora. Se va a permitir una alteración de  $\pm 20\%$  del presupuesto total por los problemas que lleguen a surgir en el desarrollo.

$$8 \text{ €/h} * 22.125 \text{ h} = 177.000 \text{ €} \approx 180.000 \text{ €}$$

El valor final por punta va a ser la suma del dinero que se gasta en la amortización de la máquina (0'022599 €/punta) y lo que hay que pagar al operario (0'013889 €/punta). Estos dos valores sumados dan un total de 0'036489 € que se va a gastar DICSA en cada punta. Este valor es mucho menor al precio que nos cuesta hacer la pieza a mano, 0'0806111 €/punta. Por consiguiente, la empresa va a ahorrar un total de 0'0441221 €/punta, cifra muy alta respecto a los valores que nos movemos. Se trata de más dinero del que cuesta producir una punta con el nuevo automatismo. Este valor multiplicado por la producción anual (2018) de 1.542.000 puntas, hace que sean 68.036 € ahorrados cada año que funcione este automatismo. De esta manera, realizando una división sencilla, se obtiene que la inversión se recuperará en 2'6444 años, es decir, 2 años y 8 meses aproximadamente. Por tanto, los resultados obtenidos indican que, si se siguen las pautas del trabajo indicadas, el nuevo sistema va a ser muy rentable e interesa mucho realizar el proyecto.

$$8'1356 \text{ €/h} \rightarrow 0'00226 \text{ €/s} * 10 \text{ s/punta} = 0'0226 \text{ €/punta} \text{ [amortización máquina]}$$

$$5 \text{ €/h} \rightarrow 0'0013889 \text{ €/h} * 10 \text{ s/punta} = 0'013889 \text{ €/punta} \text{ [coste operario]}$$

$$0'0226 \text{ €/punta} + 0'013889 \text{ €/punta} = 0'036489 \text{ €/punta} \text{ [total automatismo]}$$

$$0'0806111 \text{ €/punta} - 0'036489 \text{ €/punta} = 0'0441221 \text{ €/punta} \text{ [ahorro por punta]}$$

$$180.000 \text{ €} \div 68.068'09 \text{ €/año} = 2'6444 \text{ años} \text{ [tiempo recuperación inversión]}$$

Una vez calculada la rentabilidad de nuestro presupuesto hay que buscar alternativas para conseguir mejorarlo. El coste por punta se podría abaratar más y conseguir así más beneficio rebajando dos factores. El primero de ellos es el presupuesto, todo lo que sea bajar de los 180.000 € propuestos, hará descender los 8'1356 €/h de la amortización y, por consiguiente, también descenderá el primer valor de la suma anterior. El otro factor en el que se puede trabajar es el tiempo de ciclo del automatismo, intentándolo bajar de 10 segundos. Si se consiguiese reducir este tiempo, haría bajar los dos sumandos de la operación anterior, por lo cual podría ser incluso más efectivo. No obstante, también se podrían encontrar problemas no previstos al crear el automatismo que provocarían un aumento de presupuesto o tiempo de montaje que propinarían aumentar el presupuesto.

Para tener en cuenta estas posibles alteraciones del presupuesto, se ha calculado también qué pasaría con el automatismo dejando un intervalo de  $\pm 20\%$  de alteración en el presupuesto y en el tiempo de desarrollo (tabla 3.2). De esta manera el presupuesto podría variar 216.000 € (9'7627 €/h), coste máximo, a 144.000 € (6'50847 €/h) y el tiempo de ensamblado entre 8 y 12 segundos.

		Tiempo de ciclo [s]		
		8	10	12
Presupuesto [€]	216.000 €	0'0328 €/punta	0'041 €/punta	0'0492 €/punta
	180.000 €	0'0292 €/punta	0'03649 €/punta	0'0438 €/punta
	144.000 €	0'02557 €/punta	0'03197 €/punta	0'03836 €/punta

Tabla 3.2: Posibilidades de valor coste/punta según variaciones de tiempo y presupuesto

El caso más desfavorable, podría suceder si ocurren muchos problemas en el desarrollo, es la situación en la cual el presupuesto y el tiempo de montaje son los más altos (216.000 € y 12 segundos). En este caso el coste por punta es de 0'049207 €/punta. Por otro lado, el caso óptimo ocurre cuando el presupuesto queda en 144.000 € y se consigue rebajar el tiempo de ciclo a 8 segundos. En esta situación, el gasto por punta es mínimo de 0'0255744 €/punta.

A partir de los intervalos dados, existen muchas más situaciones. Por ejemplo, tiene sentido que el presupuesto se amplíe al máximo (216.000 €) para conseguir reducir el tiempo a 8 segundos, obteniendo un costo de 0'0328 €/punta, precio más rentable que el esperado. En consecuencia, se puede concluir que se permitiría un aumento del capital destinado al proyecto siempre que se consiga rebajar sustancialmente el tiempo de ciclo. Otro escenario posible es el cual el tiempo de ciclo es el máximo permitido (12 segundos) y el presupuesto final es de 144.000 €, en este caso el gasto sube a 0'038361 €/punta, más alto que la prevista. Por tanto, se confirma la idea la cual es más importante cumplir el tiempo de ciclo e intentar disminuirlo que bajar el presupuesto.

Desde este punto, solo tomaremos en cuenta las tres situaciones más representativas: peor caso posible escenario, caso esperado y caso óptimo. Trabajaremos con los tres escenarios para ver cuánto dinero se ahorra y cuánto tiempo se tardaría en recuperar la inversión y se comenzaría a ganar dinero. Veremos el estudio de estos casos en la tabla 3.3.

El caso más desfavorable tenía un costo de 0'04921 €/punta, lo cual representa un 61% del precio del gasto que se realiza actualmente del montaje a mano. La diferencia entre los dos valores (0'0806111€/punta – 0'04921€/punta) es de 0'0314011 €/punta, un ahorro muy notable para ser el escenario más desfavorable que se contempla. Además, sabiendo que se realizan 1.542.721 puntas anuales, el ahorro por año se dispara a 48.443'17 €. Dividiendo el gasto total que hemos invertido en el sistema con esta situación, 216.000 €, entre el dinero que se ahorra al año obtenemos que en 4'457 años ya se habrá cubierto la inversión y se empezará a ganar dinero realmente. El caso esperado ha sido explicado anteriormente y se usará únicamente como punto de comparación. Se recuperaría la inversión en 2'6444 años, es decir, 2 años y 8 meses aproximadamente. Por último, el caso óptimo aporta un beneficio de 84.906'27 € anuales respecto al modo actual de producir las piezas. Se repite la operación (144.000 € ÷ 84.906'27 €/año) y se concluye que en el mejor de los casos tan solo se tardaría 1 año y 8 meses en recuperar la inversión.

	Coste/punta	Ahorro/punta	Ahorro/año	Años amortización
Caso más desfavorable	0,0492 €	0,0314 €	48.458'41 €	4'457 años
Caso propuesto	0,03649 €	0'04412 €	68.066'39 €	2,644 años
Caso más favorable	0,02557 €	0,05504 €	84.873,38 €	1,697 años

Tabla 3.3: Estudio de los casos extremos presupuesto-tiempo ciclo

En conclusión, todas las opciones que se encuentren dentro del doble intervalo del 20 % que se ha dado al desarrollo del automatismo van a dar resultados rentables. La propuesta inicial de 180.000 euros y 10 segundos de tiempo de ciclo, por tanto, puede ser alterada sin ningún problema siempre que se siga cumpliendo estos principios mínimos. El sistema va a mejorar sustancialmente la producción de DICSA ya que incluso en el peor de los casos posibles, se recuperaría la inversión en menos de 5 años, y a partir de ese momento, todo son beneficios.

#### 4. Análisis de los elementos del automatismo

Los elementos que vamos a elegir para nuestra máquina tienen que ser los más eficientes y adecuados para la función determinada que van a cumplir en el sistema. Se ha optado por una máquina que automatiza el proceso mediante dos brazos robóticos que manipulan las piezas. Estos robots van a moverse a una posición de recogida determinada por cámaras de visión artificial. Las plataformas de recogida, situadas debajo de las cámaras, deben vibrar para separar las piezas cuando sea necesario. Una vez recogidas, las piezas son llevadas a los ensambladores. En estos elementos se unen las 3 piezas y se realiza un ensamblaje cuerpo-anillo-tuerca. Aseguramos el correcto montaje del racor mediante un sensor de comprobación revisa la unión tras el ensamblado. Depende cual sea la referencia montada, el robot llevará el racor a la rampa de salida o al otro ensamblador.

Toda la secuencia de trabajo esta comandada por un PLC que coordina la actuación de todos los elementos. La alimentación de las distintas piezas se realiza desde unas tolvas externas. Estas tolvas tienen capacidad de vibrar para hacer caer piezas en las plataformas vibrantes cuando estas se están quedando vacías. El sistema va protegido por un vallado perimetral que garantiza la seguridad.

El sistema de manipulación de las distintas piezas se hace gracias a un sistema neumático que maneja los dedos del robot, abriéndolos y cerrándolos. Todos los elementos son alimentados eléctricamente desde un armario eléctrico instalado.

Todos los elementos que se eligen en este apartado van a funcionar en continua cooperación. Su disposición en el espacio (planta) puede ser observado en la figura 4.1.

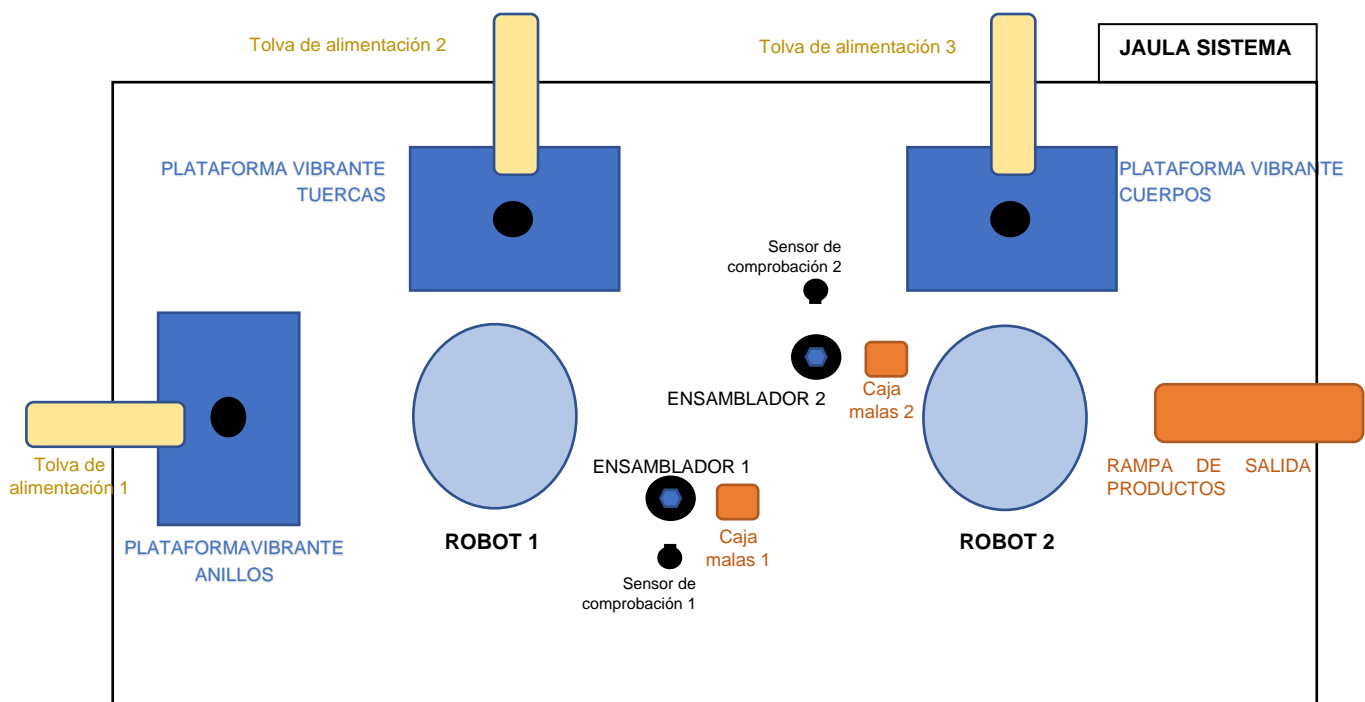


Figura 4.1: Esquema elementos sistema

## Sistema robótico

### Brazo robótico

El brazo robótico es el elemento en el cual se basa todo el funcionamiento del automatismo. Se trata de la parte más grande y costosa dentro del sistema, lo que la convierte en el elemento más importante. El resto de los elementos del sistema dependen de él y están a su disposición. Su función es transportar las piezas que forman el racor DIN 2353 a las posiciones que han sido programadas.

Debido a las especificaciones que se marcaron al iniciar el proyecto, se ha desarrollado un proceso de montaje con 2 brazos para reducir el tiempo de ciclo. Por comodidad y funcionalidad, se ha decidido que los dos sean del mismo fabricante. El primero de ellos, se va a encargar de recoger las tuercas y los anillos y colocarlas en el ensamblador. Su función no va a cambiar dependiendo de la referencia que estén montando. En cambio, el segundo sí que va a cambiar sus movimientos según el tipo de referencia. Su función será recoger el cuerpo del racor y llevarlo al ensamblador, donde se producirá el roscado del conjunto anillo-tuerca al mismo. También se encargará de llevar el producto finalizado a la rampa de salida. Para favorecer la designación de los 2 brazos robóticos, se les va a llamar robot 1 y robot 2. La ventaja que aporta duplicar los brazos es que mientras el robot 2 está realizando el roscado de una punta (dura bastante tiempo), el robot 1 puede incluir un anillo-tuerca en el otro ensamblador.

El factor que va a determinar el cambio de movimientos del brazo 2 es el número de puntas (1,2 o 3) que tiene la referencia montada, teniendo que crear 5 programas estándar para cada bloque de racores. El funcionamiento en cada caso se describirá en el apartado 5.

Una acción crítica llevada a cabo por el robot 2 ocurre durante el ensamblado. Para asegurar el ensamblaje de la punta en el racor, se ha decidido que el brazo gire 1/2 de vuelta al llegar al ensamblador, provocando un pequeño anclaje entre el cuerpo del racor y el conjunto anillo-tuerca que favorecerá el correcto roscado. Gracias a este pequeño giro, el racor queda fijo y el brazo puede dejar la pieza para cambiar su agarre. El brazo además, puede relajar su eje que maneja la herramienta, que habrá quedado muy exigido tras realizar esta 1/2 vuelta (180°). Tras dejar los ejes en una posición cómoda, el racor vuelve al ensamblador y recoge el racor desde las caras planas que tiene incorporadas. El agarre es más seguro y fuerte, así no corremos el riesgo de que se suelte debido a la fuerza de la roscadora.

Una vez sabidas las funciones y movimientos críticos que tienen que realizar nuestros brazos robóticos, se puede empezar a estudiar las posibilidades que nos ofrece el mercado. Debido a la importancia que tienen estos elementos dentro del automatismo, se le va a dar especial consideración a su estudio para encontrar los más adecuados a nuestras necesidades. Las principales características que necesitamos son la flexibilidad y velocidad de movimientos, manejabilidad y seguridad. La flexibilidad va a ser especialmente importante en este diseño debido al movimiento que se tiene que realizar para fijar el cuerpo del racor al ensamblador. En cuanto a la velocidad de movimiento, tiene relación directa con la pauta que dio DICSА para reducir el tiempo de ciclo. La manejabilidad es un factor muy importante, ya que necesitamos cumplir las especificaciones que ha dado la empresa. DICSА incidió en la importancia de que el automatismo tiene que poder ser controlado fácilmente por trabajadores de baja formación. Conseguiremos cumplir esta restricción buscando un robot que facilite el trabajo de nuestros operarios y les ayude a resolver fallos que puedan ocurrir e impartiendo un curso intensivo que formará a los operarios sobre el manejo de los robots. Finalmente, la garantía de seguridad se va a tomar como primordial, ya que los brazos robóticos están provistos de mucha fuerza y no deben dañar a nuestros operarios.

Los fabricantes de brazos robóticos con más reputación con los que empezaremos la búsqueda son ABB, Yaskawa, Kuka y Fanuc. Las características generales iniciales con las que iniciaremos la búsqueda son: el robot pueda mover cargas mayores o iguales a 5 kilogramos, su alcance se encuentre entre 500-1000 mm y consiga la flexibilidad de giro que buscamos, siendo capaz de moverse en 6 ejes distintos. La seguridad, debido al renombre que tienen las 4 marcas,

la consideramos garantizada. Tras implementar estos parámetros, creemos que los robots adecuados para las 4 marcas son: IRB 1200 de ABB, Motoman SIA 10F de Yaskawa, KR 10 R900-2 de Kuka y LR Mate 200iD de Fanuc. Los 4 productos son recomendados para la tarea deseada, trasladar pequeñas piezas a distintas posiciones con movilidad rápida y versátil. [ABB 1, 2019], [FANUC, 2019], [KUKA, 2019], [YASKAWA, 2019]

Nos vamos a decantar por el brazo robótico de ABB debido, principalmente, a que ya se ha trabajado con esta empresa en otros automatismos con resultados satisfactorios y, por tanto, nuestros operarios ya tienen ciertas nociones de utilización con estos robots. En cuanto a las características, la flexibilidad de ABB es considerada la de mejor calidad en el mercado gracias a su amplitud de giro, especialmente la que posee en el sexto eje (donde se ejercería el 1/2 de vuelta en el ensamblaje) que es ligeramente superior a la de otras marcas como Yaskawa o Fanuc. El eje 6 tiene una apertura de  $-400^{\circ}$  a  $400^{\circ}$ , por lo que no debería tener ningún problema en los movimientos a realizar. La manejabilidad también se considera más sencilla gracias al mando utilizado para mover el robot, llamado FlexPendant. Este sistema de control incluye un joystick propio de ABB, del que posee la patente, que permite mover los 6 ejes de manera intuitiva y fácil. Además, ABB presenta una oferta más amplia que incluye el sistema de visión integrada, importante a considerar en la elección de las cámaras. Por último, cabe destacar el trato con la compañía ABB, que teniendo una sede importante en Barcelona, ha ofrecido distintos cursos de aprendizaje y ha estado siempre a nuestra disposición. [ABB 2, 2019]



*Figura 4.2: Robot IRB 1200-7/0.7*

Por consiguiente, nuestra elección para los 2 brazos robóticos es el producto IRB 1200 de ABB. Dentro de este producto, existen dos versiones con características similares: IRB 1200-5/0.9 y IRB 1200-7/0.7, cuyas características se pueden ver en la tabla 4.1. Elegiremos la versión IRB 1200-7/0.7, ya que no necesitamos más alcance de 700 mm, y así nos aseguramos una mejor solidez y capacidad de carga. Se puede observar el modelo en la figura 4.2. La carga que lleva el robot no es solo la pieza que agarra, sino también el sistema de recogida que se monta en el extremo del brazo con su sistema de neumática. Además, se suele montar también un cilindro de metal que aporta seguridad. Por esta razón, no sabemos cuál será el peso máximo que tendrá que llevar el robot y preferimos asegurarnos eligiendo la versión de 7 kg. [ABB 2, 2019]

	IRB 1200 – 5/09	IRB 1200 7/07
<b>Payload</b>	5 kg	7 kg
<b>Reach</b>	901 mm	703 mm
<b>Accuracy</b>	.02 mm	.02 mm
<b>Footprint</b>	210mm*210 mm	210mm*210 mm
<b>Customer interface</b>	Underlying connection as option	Underlying connection as option
<b>Weight</b>	52 kg	54 kg
<b>Mounting position</b>	Floor, wall, ceiling	Floor, wall, ceiling
<b>IP Protection</b>	IP 40 as standard, IP 67, Foundry Plus 2 s option	IP 40 as standard, IP 67, Foundry Plus 2 as option
<b>Clean Room</b>	Available	Available
<b>SaveMove2</b>	Available	Available
<b>Food Grade Lubrication</b>	Available	Available

Tabla 4.1: Versiones ABB robot IRB 1200

### Sistema de recogida

Los brazos robóticos que hemos estudiado tienen usos muy diversos: soldadura, pintura o simplemente manipulación de piezas, como es nuestro caso. Por esta razón, en el extremo del brazo no se incluye ningún sistema especial, sino que termina con un encaje en el cual montar la herramienta deseada. Nuestros robots necesitan agarrar piezas y trasladarlas, por lo que necesitarán un sistema de recogida que se montará en el encaje del robot. Para cumplir esta función, se fabricarán unos dedos a partir de plano que irán montados en un sistema de pinza (figura 4.3). El sistema de pinza está conectado con un cilindro neumático, y es este cilindro el que transmite el movimiento a las pinzas para muevan sus dedos abriéndolos y cerrándolos. Las pinzas son compatibles con cualquier tipo de dedos y permite armarlos con dos tornillos de manera muy sencilla. [DESTACO, 2019]



Figura 4.3: Sistema encaje dedos y pinza

La forma de los dedos que agarrarán los cuerpos de racor y las tuercas tendrán la forma que se puede ver en la figura 4.4. Se necesitan 2 unidades para cada sistema de recogida ya que el agarre de la pieza se produce por la presión que ejerce cada uno en una dirección. Nuestro sistema necesita 2 dedos de este tipo para el robot 1 (agarre tuercas) y 2 para el robot 2 (agarre cuerpos). Con la finalidad de que los dedos no se desgasten, se añadirán unas fundas de plástico en la punta que coge la pieza. Respecto a los anillos, el agarre se produce por el diámetro interior,

a través de unos pequeños pinchos que aseguran la pieza. La apertura de ambos tipos de dedos se controla con el sistema de neumática y según sea el tamaño de la referencia que se está produciendo la apertura será más o menos grande. [SOLIDWORKS, 2019]

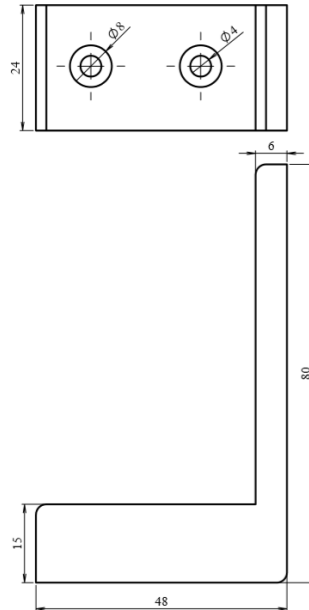


Figura 4.4: Plano dedos tuercas y cuerpos del racor robot

Como medida de seguridad se incluye un cilindro de metal que une el extremo del brazo con las pinzas del sistema de recogida. El cilindro protege a los robots del sistema aportando una amplitud entre el extremo del robot y las pinzas + dedos, que provoca que si se produce un fallo y los robots van a chocar, el golpe se produzca en los cilindros de metal y no en los brazos que son mucho más costosos. Es importante no confundir este cilindro con el cilindro que actúa en el sistema neumático. Este cilindro sólo protege el sistema y es más grande que el neumático.

### Controlador

Para realizar la instalación de un brazo robótico IRB 1200 se necesita la instalación de un controlador IRC5 que servirá de enlace entre el resto de los sistemas y el propio robot. Este sistema estará enlazado mediante cables ethernet al PLC, llamado cerebro de sistema, que es el elemento que coordina todas las acciones. El PLC comunicará al IRC5 dónde y cuándo el robot debe moverse y en qué momento debe abrir sus pinzas. Además, este elemento dispone de una llave que permite cambiar el modo en el que se está trabajando, manual o automático, y de una seta de emergencia que detendría el sistema en caso de necesidad. Se necesita un controlador para cada robot. Su aspecto físico se puede ver en la figura 4.5. [ABB 3, 2019]



Figura 4.5: Controlador IRC5

## FlexPendant

El mando de control del robot se llama FlexPendant. FlexPendant tiene una funcionalidad enorme ya que nos permite, no solo hacer modificaciones en el funcionamiento del brazo, sino en todo el sistema. Se conecta al controlador del robot, que lo comunica con el resto del sistema. Tiene una pequeña pantalla en la cual se pueden leer las líneas de código del programa implementado y nos indica que función está realizando en cada momento. Las teclas que se pueden observar en la parte inferior derecha de la figura 4.6, sirven como guía para ir avanzando con el código o para detener el brazo.

Normalmente, los códigos de programación del sistema son desarrollados en un ordenador por un programador en lenguaje RAPID antes de implementarse en el sistema. Más tarde, FlexPendant se puede utilizar para realizar pequeñas modificaciones en características de este código, sin necesidad de volver al ordenador.

Las modificaciones más habituales son cambiar posiciones y cambiar el valor de variables numéricas que parecían funcionar en la simulación, pero en la puesta en práctica no actúan adecuadamente. Las variables numéricas son creadas y nombradas por el programador y sirven para marcar el lanzamiento de diferentes acciones. Por ejemplo, el número de agrupaciones de pixeles (piezas) mínimo que debe haber en la plataforma para pedir más piezas a la tolva de alimentación es una variable numérica que se puede modificar fácilmente desde FlexPendant. No obstante, la acción que más va a tener que repetir el operario es cambiar las posiciones que dan problemas. Para ello, dispone del novedoso joystick desarrollado por ABB colocado en la parte derecha, que permite mover el robot de manera sencilla y rápida. Por seguridad, existe un pulsador en la parte posterior del mando que hay que mantener presionado para encender motores y poder mover el brazo. Si pulsas demasiado fuerte, o no pulsas nada, el controlador IRC5 no permitirá enviar la señal y el brazo no se moverá. Además, dispone de 4 teclas de acceso rápido en las cuales se puede guardar la acción que se desee. También dispone de una seta de emergencia.

Todos los programas y valores de las variables numéricas que hacen funcionar el sistema se guardan en la memoria dentro del IRC5. Se recomienda guardar una copia de seguridad cada semana para tener siempre la información actualizada. De esta manera, en caso de problema se podrá restaurar la última copia, que en el peor caso datará de hace 1 semana. Para restaurar o guardar las copias de seguridad, existe un puerto USB en la parte inferior derecha de los mandos. [ABB 4, 2019]



Figura 4.6: Mando FlexPendant



## Sistema de alimentación

Nuestro automatismo va a contar con 3 sistemas de alimentación que se encargaran de proporcionar al robot las tuercas, anillos y cuerpos del racor para su posterior ensamblaje. Cada unidad de alimentación tiene 3 partes diferenciadas: una plataforma, un controlador y un almacén o tolva.

### Plataforma

De estos sistemas el más importante es la plataforma, plano donde se colocan las distintas piezas para ser recogidas por el brazo del robot. Estas piezas deben situarse en una posición determinada para que su recogida sea adecuada. Para conseguir esta posición, la plataforma vibrará cada vez que se lo ordene el cerebro del sistema, el PLC. Esta señal del PLC será la consecuencia de la foto tomada por una cámara, que estará situada encima del plano donde se encuentran las piezas. En esta imagen, si la cámara no encuentra ninguna figura en la posición que ha sido programada, enviará la información al PLC, que la procesará y concluirá que hace falta otra orden de vibración. La plataforma puede vibrar repetidas veces, hasta que la cámara comunique al PLC que ha encontrado una pieza en la posición especificada.

A partir de las pautas iniciales que dio DICSА y teniendo en cuenta el peligro de desplome, hemos determinado que los principios para la elección de la plataforma van a ser las capacidades físicas, dimensiones geométricas y la flexibilidad de vibración. Nuestra plataforma tiene que aguantar el peso de las piezas que se le van a cargar, debe ser lo suficientemente grande para admitir un número moderado de piezas que guarden un espacio razonable entre ellas mismas. Además, tiene que ser capaz de mover los elementos y colocarlos en su posición adecuada a partir de su vibración. El mayor problema que puede provocar la plataforma en el funcionamiento del automatismo es ocasionar la espera del brazo robótico una vez llegue a posición de recogida. Este error puede ocurrir si la vibración no es lo demasiado fuerte como para separar las piezas y la cámara no encuentra una pieza bien colocada y, en consecuencia, se tiene que repetir el proceso de vibración+foto con el brazo parado.

Las piezas que se van a mover con las plataformas son muy distintas en peso y tamaño, por lo que la flexibilidad de vibración es esencial. Precisamente por este aspecto, se ha elegido una plataforma del fabricante Asyryl. Esta polivalencia de vibración se consigue con el novedoso sistema que ha desarrollado Asyryl para crear su gama Asycube. Los productos de esta gama no solo son capaces de trasladar las piezas por el plano, sino que es capaz de darles la vuelta. Otra novedosa innovación del fabricante es el complemento Backlight. Esta luz ayuda a la cámara a obtener una foto más precisa. Por último, otro servicio que ha sido clave en la elección es su intuitiva configuración. Ayudándonos del programa propio de Asycube, llamado HMI Asyryl, se puede programar todas las características referentes a la vibración: dirección hacia la que queremos que lleve las piezas, fuerza de vibración y tendencia a agrupar o separar (figura 4.7).

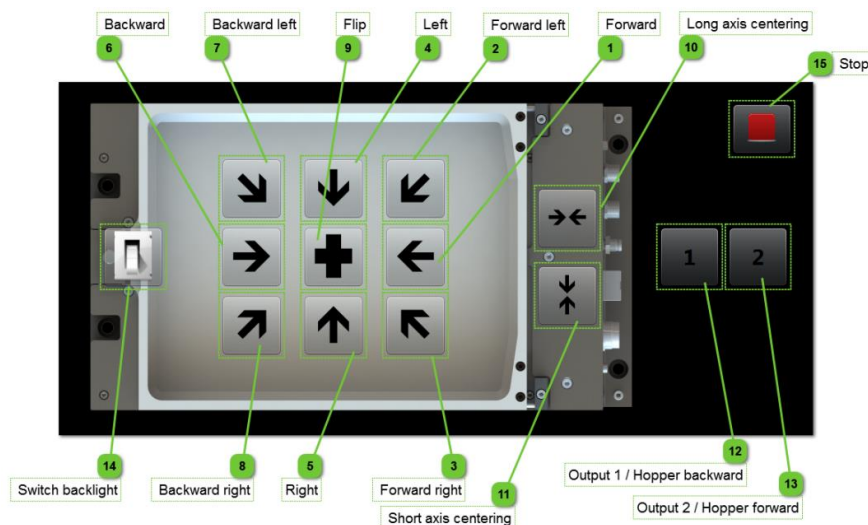


Figura 4.7: Programación vibración HMI Asyryl

El complemento Backlight va a incluirse en las 3 plataformas que llevará nuestro sistema. El proveedor presenta distintos tipos de luces, cuya diferencia es la longitud de onda de cada color. En nuestro caso vamos a elegir luz blanca, es decir, el complemento de White Backlight. La luz también es programable desde HMI Asyril, ajustando tanto la intensidad como la duración que queremos que tenga esa iluminación. Este alumbrado puede llegar a ser peligroso si exponemos nuestros ojos de manera prolongada, por lo que los operarios serán avisados. [ASYCUBE 1, 2019]

La programación que se le dará a las plataformas va a cambiar sustancialmente según cual sea la referencia fabricada, ya que no se necesita la misma fuerza para girar un racor de tubo de 6 (p.ej. Z CKL 6 R 1/8), que un racor de tubo de 18 (p.ej. Z CKL 18 R ½). Por tanto, habrá que configurar las 3 plataformas la primera vez que se produzca una referencia y después ya quedará guardado. Las configuraciones para los anillos y tuercas se pueden reciclar fácilmente mediante un copiar-pegar, ya que para cada tamaño de tuerca-anillo se realiza el montaje de muchas referencias. Por tanto, la tarea del operario quedará muy simplificada.

Una vez elegido el fabricante y las características, hay que elegir qué tipo de plataforma se va a adquirir. La gama de productos Asycube se puede ver en la figura 4.8. Según el tamaño de nuestras piezas, la oferta que más se adecúa es el modelo Asycube 530, que va a ser nuestra elección para los 3 sistemas de alimentación que necesitamos en el automatismo. [ASYCUBE 2, 2019]

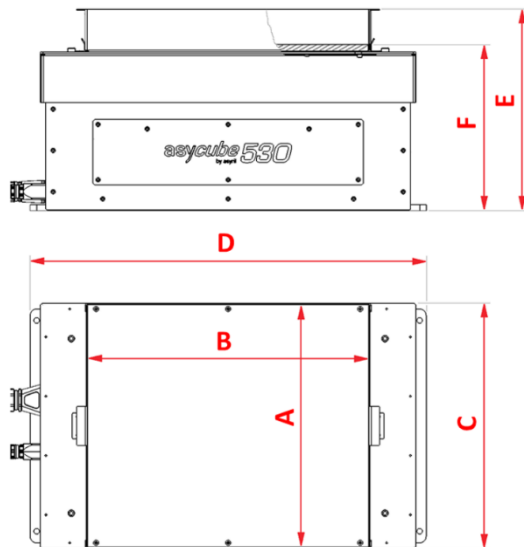


Figura 4.8: Gama productos Asycube

La decisión de ordenar 3 plataformas iguales, aunque los cuerpos sean mucho más grandes que las tuercas y anillos es simplemente por la eficiencia. Debido al funcionamiento del automatismo, el robot va a recoger de manera más frecuente anillos y tuercas que cuerpos del racor, y por tanto, se necesita hallarlos más rápidamente. La manera de evitar esta espera es proporcionar más opciones de búsqueda, así será más fácil que la cámara encuentre piezas en buena posición. Para conseguir esta ventaja se adquirirá una plataforma más grande de lo que en un principio necesitarían las piezas por sus medidas físicas.

Las medidas de la zona de recogida son un poco menores que las dimensiones totales de la plataforma para evitar choques del robot con los bordes. Las medidas son  $403 \times 347 \text{ mm}$ , es decir,  $139.841 \text{ mm}^2$ . Respecto a anillos y tuercas no va a causar ningún problema, pero hay que revisar como funcionaría con los cuerpos del racor. El tamaño máximo de nuestras referencias es en cuanto a longitud lineal, los  $80 \text{ mm}$  en la referencia más larga del grupo DL (DS 25), y en cuanto a superficie, los  $3.200 \text{ mm}^2$  que ocupa la referencia más grande del grupo TL (TS 16). Por consiguiente, el tamaño de las superficies parece el adecuado. [ASYCUBE 1, 2019]

Como se puede ver en la figura 4.9, las dimensiones totales de la plataforma ocupan más espacio,  $371 \times 427 \text{ mm}$ , y hay que tenerlas en cuenta en la concepción dimensional del sistema. El sistema vibratorio sobre el que se asienta la plataforma es incluso más ancho.



Description	Reference	Dimensions	
		[mm]	[~inches]
Typical part size		30 - 150	~ 1.6 - 6
Vibration platform	A	371	~ 14.6
	B	427	~ 16.8
Footprint	C	372	~ 14.7
	D	600	~ 23.7
Maximum height	E	320	~ 12.6
Pick height	F	255	~ 10

Figura 4.9: Dimensiones plataforma

### Controlador

Se ha añadido un controlador en nuestro sistema de alimentación para facilitar la configuración. Aunque el programa de ordenador es muy intuitivo y fácil de utilizar, la configuración de las plataformas a partir de él nos hace perder mucho tiempo. Primero, habría que dar formación a los operarios de todos los programas que utilizan las distintas partes del sistema. Además, se debería tener siempre un ordenador disponible cerca del robot para conectar el cable ethernet a la plataforma. En resumen, para cambiar un simple parámetro habría que conectar el cable ethernet, abrir el programa, saber cómo funciona, y por último modificar lo que se tiene que cambiar.

En vez de este largo proceso se ha decidido incluir un controlador simple que nos solucione el problema para la intensidad de vibración, problema más habitual. Se va a incluir un controlador por sistema de alimentación. De esta manera, el proceso de programar las plataformas pasa a ser pensado de la siguiente forma. La primera vez que se vaya a producir una referencia, se hará con el cable ethernet y las múltiples posibilidades que el programa HMI Asyriil nos proporciona. Después, una vez programado, se tendrá el controlador ESG 1000 (figura 4.10) para modificar problemas menores. Si todo funciona bien no debería ser necesario volver a utilizar una computadora.



Figura 4.10: Controlador ESG 1000

### Tolva de alimentación

La función que va a tener la tolva de alimentación es la de proporcionar piezas a la plataforma cuando ésta lo pida. Para realizar esta tarea se presentan varias opciones. La más básica de todas sería colocar una cinta transportadora que hiciera llegar piezas continuamente. Sin embargo, vamos a descartar esta opción debido a la duración del ciclo ya que nuestros

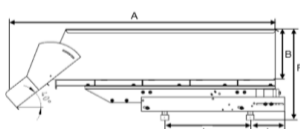
brazos, al tener varias funciones, van a tardar varios segundos en volver a recoger otra pieza. En consecuencia, se concluye que si la alimentación es continua la plataforma se acabaría llenando porque el ritmo de recogida sería menor que el de llenado.

Un factor fundamental para el funcionamiento satisfactorio de nuestro automatismo es que haya espacio entre las piezas cuando estén en las plataformas, para que la cámara pueda encontrar una pieza en la situación adecuada de la manera más rápida posible y, la vibración sea efectiva. Para cumplir este requisito se ha propuesto una alimentación intermitente que funciona a base de tolvas vibratorias.

La relación entre plataforma y tolva se basa en que la plataforma funciona como un tablero de bits y tiene la capacidad de contar agrupaciones de bits que están siendo ocupadas en su superficie. Por tanto, se asigna un número mínimo de piezas que debe haber en la plataforma, y cuando ésta detecta que el número de agrupaciones de bits es igual a esta asignación manda la señal de que necesita más piezas. El PLC recoge esta información y se lo manda a la tolva, que se activa y vibra a través de un impulsor que tiene incorporado, haciendo caer un número aleatorio de piezas a la plataforma.

Para llevar a cabo el sistema previamente descrito, se ha contactado con RNA Vibrant que nos ha proporcionado su catálogo para que elijamos la tolva que más se adecúa a nuestro sistema. RNA Vibrant tiene 2 series de tolvas de alimentación: la serie BVL, que tiene un máximo de 50 kg y 50 L de capacidad y la serie BV, cuyas prestaciones son muy superiores (200 kg y 200 L de capacidad). En nuestro sistema no se van a mover grandes elementos por lo que se eligió la serie BVL.

Dentro de la serie BVL, expuesta en la tabla 4.2, hay tolvas con distinta capacidad. La elección que debemos tomar debe seguir dos principios: volumen y peso. Por un lado, la tolva que vamos a escoger debe tener mucha capacidad de volumen para así poder cargar más piezas y que el sistema general tenga más autonomía. Se decide dejar un margen de alrededor de 1 L vacío para que la tolva no esté demasiado exigida. La tolva tampoco debería ser especialmente grande porque si no ocuparía mucho espacio que provocaría que el automatismo se agrandara y fuera más caro de manera innecesaria. Por esta razón descartamos las tolvas de 25, 50 y 100 L. Respecto al peso, no debería haber ningún problema. [RNA VIBRANT, 2019]



	BVL 3	BVL	BVL 15	BVL 25	BVL 50	BVL 100*
Capacidad	3.5 l	7 l	15 l	25 l	50 l	100 l
Carga	15 ka	15 ka	20 ka	25 ka	50 ka	50 ka
Impulsor	SLL 400-400	SLL 400-600	SLL 400-800	SLL 804-800	SLL 804-1000	
<b>Dimensiones principales (mm)</b>						
A	450	515	700	885	1.015	1.360
B	100	110	150	150	200	285
C	124	170	220	220	280	390
D	124	197	256	256	329	430
E	129	165	163	163	228	
F	229	275	313	313	428	510
I	200	200	300	450	300	450
J	95	170	220	220	230	230
L	90	90	90	90	180	180*

\*depende del número de contrapesos usados  
Salvo modificaciones técnicas.

Tabla 4.2: Tipos Tolvas BVL

Para tomar esta decisión, se va a realizar un estudio de como llegan las mercancías para maximizar la autonomía del sistema teniendo en cuenta la sencillez y comodidad de las funciones del operario.

Las cajas de tuercas llegan siempre en un formato de 285x189x87 mm, independientemente de las unidades que lleve cada caja. Por tanto, el volumen por caja es de 4'686 L, lo cual nos va a hacer descartar los formatos de 3 L. Por comodidad del operario, nos

parece adecuado que tenga que cargar un número de cajas entero cada vez que ponga el automatismo a funcionar. Para concluir, justificar la elección de una tolva BVL 15 para las tuercas debido a que sus dimensiones son adecuadas y al cargar 3 cajas de 4'686 L cada una se va a llenar un volumen de 14'05 L. La tolva se aprovecha al máximo, dejando únicamente 0'94 L sin ocupar.

Las cajas de anillos que se recogen de almacén tienen las dimensiones de 159x105x91 mm, que ocupan una capacidad de 1'52 L. En este caso, se podría escoger una tolva más pequeña de 3 o 7 L. Sin embargo, para que el sistema sea más autónomo, el número de tuercas y anillos que estén disponibles al principio de la producción debe ser parecido y con una tolva de 7 L el número de unidades de anillos sería mucho menor. Por tanto, se va a escoger también el modelo BVL 15 para los anillos. En este caso se tendrán que cargar 9 cajas al inicio de la producción, que ocuparán 13'68 L de la tolva, dejando únicamente 1'32 L libres.

Las cajas de los cuerpos del racor salen de almacén en una caja de formato 190x153x109 mm. Calculando su volumen, obtenemos que cada caja ocupa 3'17 L. En este caso necesitamos la tolva más grande posible, ya que hay cuerpos de racor cuyas dimensiones son muy grandes y se tienen que incluir el máximo número de piezas posible para ganar autonomía. Por tanto, vamos a escoger también la tolva BVL 15 en la cual se podrán cargar 4 cajas al principio de la fabricación. Estas 4 cajas ocupan 12'68 L de capacidad, dejando 2'32 L sin ocupar. Aunque dejar tanto volumen sin ocupar parezca excesivo, se justifica con el gran tamaño y la gran complejidad que pueden llegar a tener estas piezas, que si caen de la caja en mala posición y se entrecruzan entre ellas pueden llegar a ocupar mucho más volumen del que tenían en la caja.

El tamaño de los cuerpos del racor es mayor que el de las otras piezas, por lo que el número de piezas cargadas va a ser menor que el de tuercas y anillos. Esta proporción favorece a la autonomía del sistema ya que, si cargásemos el mismo número de cuerpos con una tolva más grande, se acabarían los anillos y tuercas en las referencias que tienen 2 o 3 puntas. En cambio, con este sistema se acabarán las tolvas al mismo tiempo y no habrá que cargar el automatismo de manera innecesaria. La comparación de tamaño entre las cajas de los tres productos se puede observar en la figura 4.11.



*Figura 4.11: Comparación tamaño cajas.*

Respecto al sistema de vibración de la tolva que provocará el avance de las piezas y posterior caída, viene incluido en la tolva. En la tabla 4.2 aparecen los impulsores que el fabricante recomienda. Para la tolva elegida, el impulsor recomendado es el modelo SLL 400x600. Sin embargo, se ha pensado que las piezas que tiene que mover la tolva nunca van a ser especialmente pesadas, y el avance se puede producir con vibraciones de menos intensidad. En consecuencia, hemos elegido el impulsor 400x400, recomendado para tolvas con menos

capacidad, porque se calcula que con su impulso bastará para mover todas las piezas que montará nuestro automatismo.

Por último, hay que comentar que DICSA está dispuesta a añadir un sistema complementario para hacer ganar autonomía al automatismo. Este sistema trata de una cinta transportadora con escalones que trasladarían de manera continua las piezas de una tolva mucho más grande donde se volcarían las cajas, a la tolva BVL de 15 l.

## Visión artificial

### Cámaras de visión

Nuestro automatismo va a tener 3 cámaras de visión integrada, una para cada bloque de alimentación. Gracias a este elemento se completará el sistema de recogida de piezas y el brazo robótico podrá ser guiado de manera adecuada a las coordenadas donde se encuentren las piezas objetivo.

Para la elección de nuestra cámara para el sistema hemos tenido en cuenta sobre todo dos factores. El primero es la adecuación y colaboración con los sistemas de su entorno, la cámara se debe comunicar fácilmente con el robot, plataforma, PLC, etc. El segundo, más importante, es la resolución de la imagen.

La resolución de la imagen es el factor más importante ya que de él depende el conveniente funcionamiento de nuestro automatismo. Si las fotos que se toman son malas, el sistema va a tardar en encontrar una pieza en posición, lo que aumentará el tiempo de ciclo. Además, una mala foto podría transmitir mal las coordenadas al robot. En este caso el robot podría golpear la plataforma, ocasionando daños tanto a los dedos del robot como a la plataforma, o agarrar la pieza inadecuadamente, que conllevaría el montaje defectuoso de la pieza. Por otro lado, las piezas que vamos a recoger no son elementos con geometría extremadamente compleja por lo que no se necesitan cámaras. No obstante, se seguirá anteponiendo la reducción de tiempo de ciclo al presupuesto debido a la deducción acordada en el apartado 4, pero tampoco se quiere destinar presupuesto innecesariamente.

Actualmente, se tienen dos grandes opciones para efectuar la visión artificial en un automatismo: a partir de imágenes 2D o 3D. Los sistemas de visión en 3D son más precisos y dan una imagen parecida al ojo humano, pero suelen necesitar varias cámaras o sensores, lo que provoca una subida sustancial del precio. En nuestro caso, se va a considerar que no se requiere precisar tanto detalle y se puede optar por una buena cámara 2D. No obstante, la cámara de 2D elegida debe ser de alta precisión.

Nuestra primera opción de cámaras 2D van a ser las del fabricante de nuestro robot, ABB, ya que ofrecen un sistema de visión integrada que permite compartir información con el robot y mando del sistema (FlexPendant) de manera muy sencilla. Además, tiene la ventaja de que el software que se utiliza en su programación es el mismo que el del brazo robótico: RobotStudio de ABB. En el esquema de la figura 4.12 se puede observar que está todo conectado a una unidad central cuyo nombre es IRC5 y al que se le pueden conectar un máximo de 3 cámaras. El sistema es controlado a través del mando FlexPendant, al que IRC5 le comparte toda la información. [ABB 5, 2019]

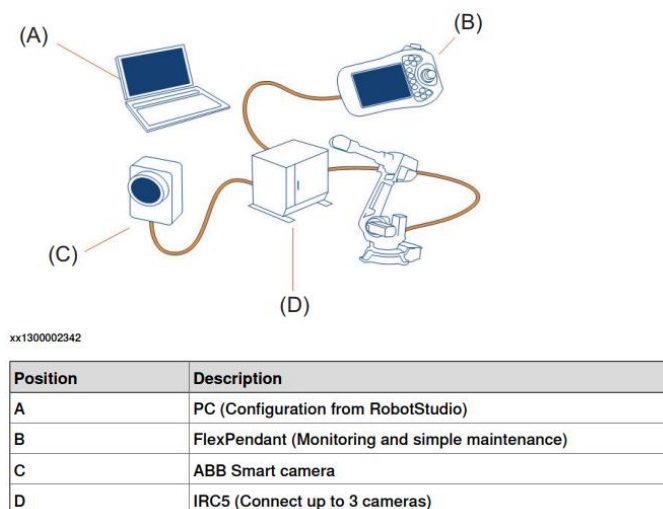


Figura 4.12: Conexiones visión integrada ABB

Este sistema de visión artificial de ABB nos ofrece dos productos. Los dos productos tienen las mismas características general (memoria, tipo de sensor...), pero con una gran diferencia: la resolución. El primer producto es llamado de resolución media y el segundo producto de resolución alta.

Analizando las piezas que forman parte de nuestro montaje, se puede inferir que la visión de los cuerpos del racor requiere menos detalle que la visión correspondiente a los anillos y tuercas. Los cuerpos son más grandes y fáciles de programar, ya que su silueta es menos ambigua que la de las tuercas y anillos. En cambio, las tuercas y anillos, debido a la posición que ocupan en la plataforma, apoyadas por su cara plana, pueden confundir en la foto sobre si están en la correcta posición o dados la vuelta. Por esta razón, necesitamos la mejor calidad de resolución posible que sea capaz de detectar estos mínimos detalles.

Por las directrices dadas y la experiencia que se tiene de los automatismos implantados se decide escoger la cámara DSQC1021 de resolución alta para las tuercas y anillos. El producto DSQC1021, aunque tiene un precio mayor, tiene una resolución de 1280x1024, calidad que parece suficiente para el detalle que tenemos que alcanzar. Por el contrario, para la recogida de cuerpos del racor elegiremos la cámara de resolución media, DSQC1020, que tiene un precio menor y no está tan exigida como en los casos anteriores. Las descripciones de ambas cámaras puede ser observada en la tabla 4.3 [ABB 6, 2019].

Specification	DSQC1020	DSQC1021
Resolution	800x600	1280x1024
Sensor properties	5.3 mm diagonal, 5.3 x 5.3 µm sq. pixels, monochrome	8.7 mm diagonal, 5.3 x 5.3 µm sq. pixels, monochrome
Job/program memory	512 MB	
Image processing memory	256 MB SDRAM	
Sensor type	1/1.8-inch CMOS	
Shutter speed	16µs to 950 ms	
Acquisition	Rapid reset, progressive scan, full frame integration	
Lens type	C-mount	
Protection	IP67 with lens cover properly installed	
Power consumption	24DC 24±10%, 2 A External light - Continuously on; output 24V, 500mA max. External light - Strobe; output 24V, 1A max. at 50% duty cycle (max. on time of 100ms)	
M12 Lens, configuration, dimensions	75 mm (2.95 in) x 84.8 (3.34 in) x 55 mm (2.17 in)	
Operating temperature	0°C to 45°C (32°F to 113°F)	

Tabla 4.3: Tipos de cámara

### Lentes

Una vez elegida, falta seleccionar cuáles serán las lentes adecuadas para montar en la cámara. Esta elección es crítica, porque si no se elige una lente adecuada a las necesidades de la cámara no se aprovecha totalmente su resolución y se estaría desperdiciando dinero. La lente es la encargada de enfocar la imagen por lo que su importancia es enorme. Las diferencias de las imágenes captadas por la misma cámara, pero distintas lentes, pueden ser tan grandes como las de la figura 4.13.

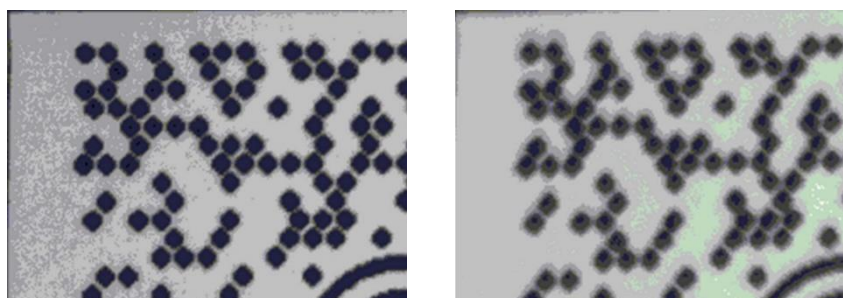


Figura 4.13: Misma resolución, diferentes lentes



La elección de las lentes depende principalmente de dos factores: la distancia a la cual vamos a situar la cámara de la zona de trabajo (plataforma) y el campo de visión (FOV= "Field of View"). En nuestro caso el campo de visión se trata de la zona de recogida de la plataforma Asycube 530 en la cual se sitúan las piezas. Las medidas de esta zona, representadas en la figura 4.14, son de 403 x 347 mm. Acerca de la distancia de trabajo tenemos cierta libertad, siempre que respete al robot y el resto de los elementos del automatismo. [ASYCUBE 1, 2019]

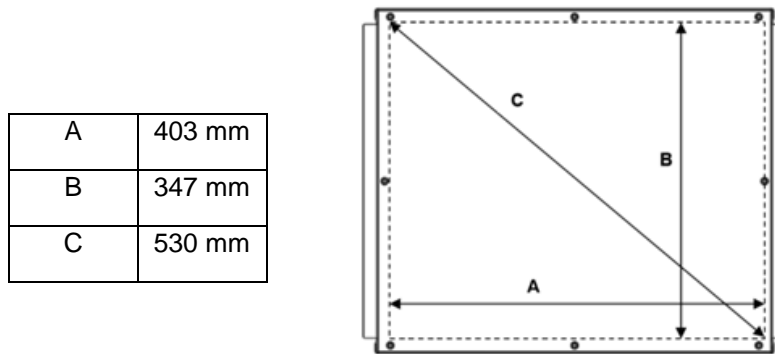


Figura 4.14: Dimensiones zona de recogida

ABB ofrece lentes de 8, 12'5, 16 y 25 mm. Las dos últimas se utilizan para campos de visión muy pequeños por lo que quedan descartadas. La siguiente elección depende fuertemente de la distancia de trabajo. Se aconseja colocarla a una altura razonable (más de 600 mm) desde la plataforma porque si no podría interceder en el recorrido del robot o en la maniobra de mantenimiento de llevar el robot a marcas. Una vez decidida esta altura, se mantiene para los 3 sistemas de visión de manera que se puedan fijar las 3 cámaras e en el mismo soporte. Para discernir la decisión final nos ayudaremos de las gráficas proporcionadas por el fabricante. En ellas, el eje de abscisas representa la distancia de trabajo y el eje de ordenadas las dimensiones del rectángulo de trabajo. [ABB 6, 2019]

Para hallar la distancia adecuada se irán fijando valores en el eje x de la gráfica hasta que los valores de C y D sean ligeramente superiores a las dimensiones A y B de la zona de recogida. Se comenzará buscando el valor de la altura para las cámaras del robot 1, DSQC1021. Una vez fijada, se trasladará al robot 2 para elegir su lente. Tras varias pruebas, se considera que la distancia de 850 mm es la adecuada. Se prueba tanto con la gráfica de las lentes de 8 como de 12'5 mm, obteniéndose un resultado más exacto con las de 12'5 mm. Con estas lentes se obtienen unos valores de C y D de 366 y 438 mm por lo que son ligeramente superiores a las medidas reales de 347 y 403 mm, cumpliendo la condición exigida. Por tanto, las lentes elegidas para las cámaras de anillos y tuercas serán de 12'5mm. Los resultados de las de 8 mm eran de 590 y 723 mm por lo que se podían utilizar en el sistema, pero no sería aprovechada del todo.

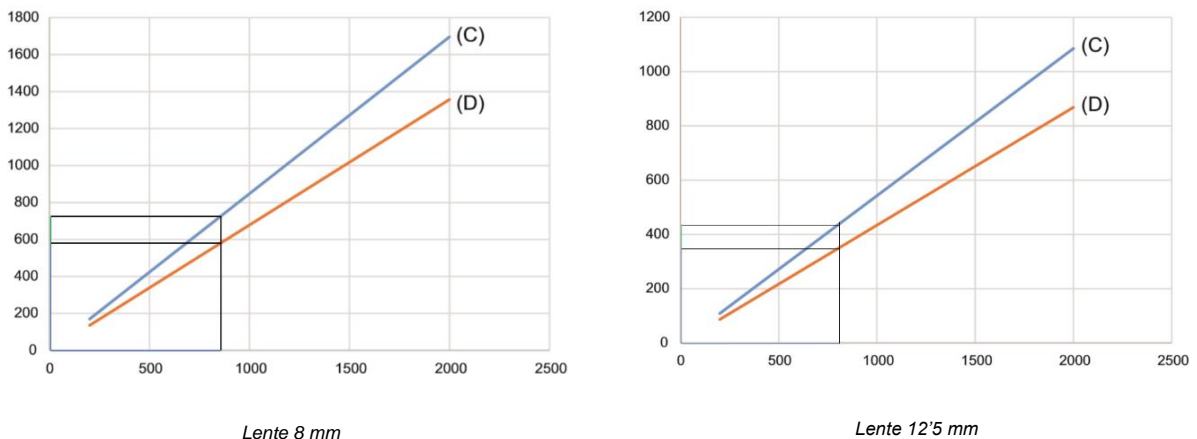


Figura 4.15:  $D_{trabajo}=850$  mm (DSQC 1021)

Se traslada la distancia de 850 mm a la cámara del robot 2, de tipo DSQC1020 y se calculan los resultados con las dos gráficas posibles (de 8 o 12'5 mm). El resultado es la elección de la lente de 8 mm porque los valores C y D son 350 y 468 mm, por tanto, aptos. Por otro lado, los valores de la lente de 12,5 mm (211 y 292 mm) son menores que las de la superficie de recogida y no se pueden utilizar. Ambas operaciones de trazabilidad se pueden ver en las figuras 4.15 y 4.16.

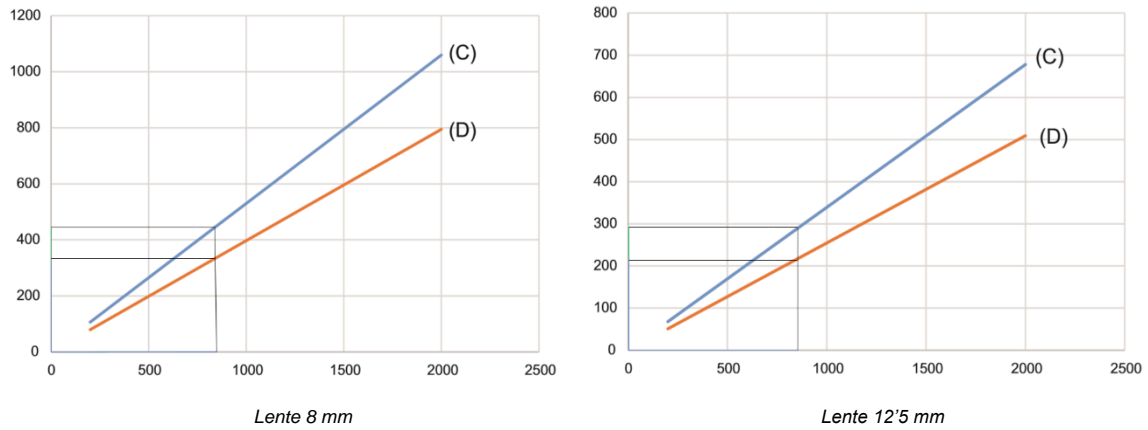


Figura 4.16:  $D_{trabajo}=850$  mm (DSQC 1020)

En conclusión, se va a tener que elegir 1 lente de 8mm para la cámara que observa los cuerpos del racor (DSQC1020) y 2 lentes de 12'5 mm para montarlas en las cámaras que observan tanto las tuercas como los anillos (DSQC1021).

## Sistema ensamblador

La acción ensambladora de nuestro sistema consiste en roscar el conjunto anillo-tuerca en el cuerpo del racor. Por tanto, el movimiento que debe realizar nuestro sistema ensamblador es giratorio, a una velocidad adecuada, para que el roscado sea el apropiado y las piezas queden fijadas. El roscado va a ser dificultado por el anillo que está insertado dentro de la rosca, por lo que es muy importante que todos los elementos que intervienen en el ensamblaje se encuentren en la posición adecuada.

La solución propuesta para desarrollar este movimiento es conectar una plataforma giratoria a un motor eléctrico. El motor eléctrico debe ser completado por un reductor para obtener una velocidad de giro adecuada para el roscado. Se elige un reductor de engranajes helicoidales para que la unión sea recta, es decir, se pueda ensamblar como si fuera una columna que llegue a la mesa de ensamblaje. Podemos ver un montaje ejemplo del ensamblaje total en la figura 4.17. La selección del reductor va a depender principalmente de dos factores: la velocidad de salida [rpm] y el par de apriete máximo que pueda girar [Tm]. A partir de nuestras necesidades hemos elegido un reductor tipo ZMCRF01 con velocidad de salida de 70'6 rpm y 15'6 Tm de apriete máximo. Este tipo de reductor se puede agregar con motores del tipo B5. El conjunto motorreductor seleccionado finaliza con una brida para que se pueda conectar con la plataforma giratoria. La alimentación de todo el conjunto es 220V de tensión alterna, dato que nos interesa ya que es la tensión de fase de la alimentación trifásica general de nuestro automatismo. [TRANSMISIOES BAYOD, 2019]



Figura 4.17: Ejemplo de ensamblaje motorreductor

Este sistema motorreductor presenta un problema en su conexión directa con el sistema ya que no puede ser apagado y encendido cada vez que se realice un roscado (aproximadamente cada 8 segundos). No se puede accionar de esta manera debido a que los motores asíncronos tienen picos de intensidad cada vez que se encienden, que acabarían perjudicando el funcionamiento del motor. Además, la refrigeración no tendría tiempo para actuar, lo que provocaría un sobrecalentamiento. Por ello, se ha decidido que los motores estén activos en todo momento, y sea un embrague electromagnético, el que les haga actuar cuando sea necesario. El embrague va a estar comandado con el PLC, que le avisará cuando el robot 2 con su cuerpo del racor haya llegado a posición y esté dispuesto a roscar. En este momento se embragará el sistema hasta que se finalice el roscado de la pieza. Una vez terminado, el embrague desconectará el motorreductor del ensamblador y esperará hasta la siguiente señal.

El sistema va a saber que se ha terminado el ensamblado gracias a un variador electrónico de frecuencia dónde indicaremos el par de apriete necesario para cada tipo de tubo. Una vez el roscado llegue a este apriete máximo, el embrague actuará para desconectar el motorreductor. Los aprietes máximos disponibles han sido calculados con una llave dinamométrica y son diferentes para cada tipo de tubo. Por tanto, el operario tendrá que ajustarlo cada cambio de producción de referencia. La tabla 4.4 muestra los valores iniciales que programaremos en el automatismo, sin embargo, pueden ser modificados en la puesta a punta de las referencias para que el roscado sea el óptimo

SERIE	T <sub>MAX</sub> [Nm]
Tubo serie ligera 6 (L6)	1,5
Tubo serie ligera 8 (L8)	2,25
Tubo serie ligera 10 (L10)	2,7
Tubo serie ligera 12 (L12)	3,75
Tubo serie ligera 15 (L15)	5,25
Tubo serie ligera 18 (L18)	6,75
Tubo serie ligera 22 (L22)	7,5
Tubo serie ligera 28 (L28)	8,25
Tubo serie pesada 8 (S8)	3
Tubo serie pesada 10 (S10)	3,75
Tubo serie pesada 12 (S12)	4,5
Tubo serie pesada 14 (S14)	5,25
Tubo serie pesada 16 (S16)	6
Tubo serie pesada 20 (S20)	9,75
Tubo serie pesada 25 (S25)	15

Tabla 4.4: Relación tamaño-par de apriete máximo

Con razón de asegurar la posición adecuada del conjunto anillo-tuerca en la plataforma giratoria, se va a añadir una plaquita con una muesca hexagonal cónica. Estas plaquitas, van a tener una ligera forma de cono en sus primeros 5 mm para salvaguardar ciertos errores de posición con la que pueden llegar los robots. A continuación, se encuentra la segunda parte, también de 5 mm, con la forma exacta de la tuerca que se va a roscar. El brazo soltará la tuerca en el cono, cuando se produzca el primer contacto, y está bajará hasta acomodarse en la segunda parte de la plaquita.

Se fabricará una para cada tamaño referencia, desde las tuercas de tubos de 6, de diámetro 14 mm hasta tubos de 28, de diámetro 41 mm. Por tanto, vamos a tener que fabricar 16 plaquitas para cada ensambladora: para tuercas de tubos de 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22, 28 para serie ligera y tuercas de tubos 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25 para serie pesada, cada una con su plano especificado. En total, habrá que fabricar 32 plaquitas para anclar a la plataforma. En la figura 4.18, se puede observar como ejemplo cómo sería las medidas de la plaquita de tubo ligero de 12. Las plaquitas van atornilladas con 4 tornillos a la plataforma giratoria y tienen que cambiarse cada vez que se inicie una nueva producción. Por tanto, el cambio de las plaquitas del ensamblador forma parte de las preparaciones previas que hay que realizarse en cada cambio de producción. Si el tamaño de tubo de la referencia es el mismo, no haría falta cambiarlas. [SOLIDWORKS, 2019]

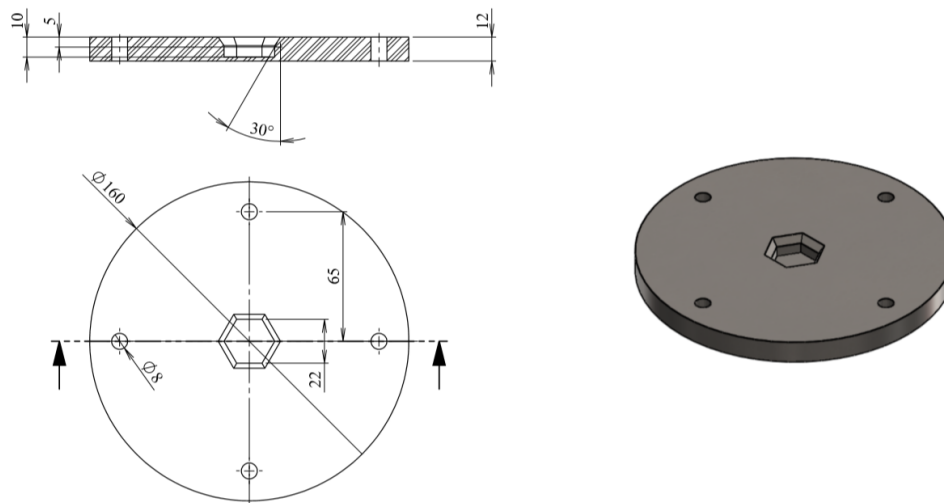


Figura 4.18: Plano ejemplo plaquita tubo de 12

Para satisfacer las pautas iniciales de DICSА y disminuir el tiempo de ciclo, hemos decidido implantar 2 ensambladores en nuestro sistema. El funcionamiento va a ser el siguiente: mientras el robot 2 se encuentre fijo roscando en uno de los dos ensambladores, tarea que tarda alrededor de 2'5 segundos, el robot 1 puede seguir funcionando y colocar un conjunto anillo-tuerca en el ensamblador que queda libre. De esta manera, el tiempo de espera del robot 1 se va a disminuir sustancialmente e incluso totalmente en alguna referencia. No obstante, el robot 1 seguirá teniendo tiempos de espera en el caso de las referencias de 1 punta.

Los roscadores se van a colocar entre los dos robots, dejando una distancia suficiente para permitir el paso de estos brazos sin riesgo de choque. Es importante comprobar que las distancias roscador-robot, en sus 4 versiones, son menores de 700 mm, que es el alcance máximo que tiene el brazo robótico. Las distancias finales se pueden ver en el plano de la figura 4.19. Los ensambladores van a instalar en las dos esquinas opuestas de un rectángulo de 300x200 mm, cuyos lados imaginarios distarían 300 mm del centro del robot en el eje X. El centro de este cuadrado se encuentra a la misma altura que el punto medio de la estructura del robot, resultando una distancia de 150 mm entre el plano horizontal del centro de los robots y los roscadores. Al encontrarse en un rectángulo, las distancias roscadoras-robot se pueden calcular 2 a 2. La distancia mínima de recorrido robot-roscador es de 335 mm, mientras que la distancia diagonal máxima es de 522 mm. Por tanto, las dos distancias son inferiores a los 700 mm de alcance y se respetan las restricciones del robot.

$$d_{min} = \sqrt{300^2 + 150^2} = 335'41 \text{ mm}$$

$$d_{max} = \sqrt{500^2 + 150^2} = 522'01 \text{ mm}$$

Figura 4.19: Cálculos distancias roscador-robot

Ambas roscadoras van a ir sujetadas en una mesa a la que llamaremos isla ensambladores. Esta mesa tiene unas dimensiones de 350x700 mm y también albergará los sensores de comprobación. En la figura 4.20, se proyecta un zoom para comprobar las distancias entre los elementos de la roscadora. Además, se pueden ver los elementos de inspección de los que hablaremos más adelante, ya que es importante que no obstaculicen los movimientos del robot y forman parte de la isla ensambladores. En este caso, la amplitud de los hexágonos de las plaquitas es para tubo de 10.

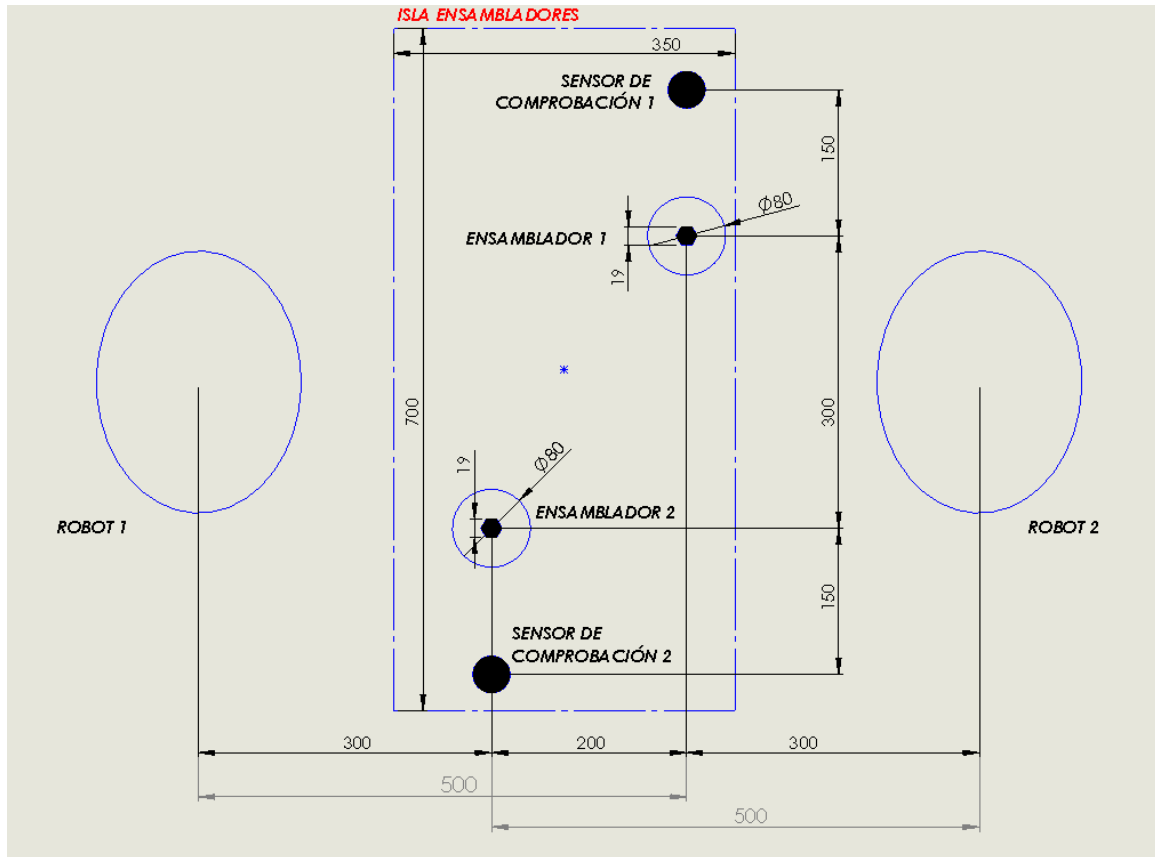


Figura 4.20: Distancias elementos bloque ensamblador

## Sensor de comprobación

La principal ventaja que aporta la implantación de un automatismo es el incremento de productividad provocado disminuyendo el número de operarios. Confiar en un sistema automático crea algún inconveniente ya que, a diferencia del montaje a mano, no va a haber una persona fija en ese puesto, y por tanto, nadie va a notificar los errores que pueden ocurrir en cada pieza que baja por la rampa de salida. En consecuencia, es muy importante asegurar que los racores se ensamblan sin ningún fallo. Se ha decidido añadir un sensor de comprobación en cada roscador del automatismo para evitar que una pieza con errores de montaje pueda salir a la venta. Por tanto, se tienen que adquirir 2 sensores para nuestro automatismo.

Este sensor va a evitar que ocurran dos errores de montaje graves, uno de ellos con consecuencias desastrosas. El primero ocurriría en el caso de que el brazo deje mal el conjunto anillo-tuerca en el ensamblador. De esta manera, aunque la plataforma del ensamblador gire, no habría nada que montar y el cuerpo de racor saldría del ensamblador sin anillo ni tuerca. Normalmente, este fallo se resolvería rápidamente, ya que la rosca del cuerpo queda desnuda y el operario se podría dar cuenta a simple vista al recoger las piezas para empaquetarlas. El segundo error, más grave, sucedería si el brazo perdiera el anillo antes de llegar al roscador o lo introdujera mal en el interior de la tuerca. En este caso, la tuerca sí habría entrado en la plaquita del ensamblador y se roscaría en el cuerpo sin ningún problema. Si no existiera este sensor de comprobación, ese racor sin anillo podría llegar a la venta sin ningún problema porque al tener la rosca incluida el cuerpo del racor es más difícil que un operario se dé cuenta del problema. En un principio, este error no sería tan importante, ya que una vez vendido, el cliente se dispondría a montarlo en su instalación hidráulica y al percatarse de la falta del anillo, lo apartaría y mandaría una reclamación. Sin embargo, como es habitual que se monten los racores sin premontaje previo como se explicó en el apartado 2, el racor podría incluirse en el sistema hidráulico sin su anillo correspondiente. Esta inclusión traería consecuencias fatales y las fugas que provocaría traerían grandes problemas al sistema hidráulico.

Se ha decidido que el sensor a añadir sea un sensor de imagen, es decir, una cámara que capte cómo ha quedado la unión tras cada roscado. Nos hemos decidido por este tipo de sensores porque nos parece la solución más rápida de comprobación y no altera sustancialmente los movimientos del robot, ya que colocaremos la cámara mirando hacia el ensamblador.

Sin embargo, el factor más importante por el que nos hemos decidido por una cámara es la fuerza de agarre durante el roscado. Debido a la posición que se encuentran los racores en los sistemas de alimentación, el robot 2 está obligado a recoger la tuerca por la parte roscada. Este agarre tiene la suficiente fuerza para trasladar la pieza de una zona a otra pero no creemos que fuera capaz de aguantar el racor fijo durante el roscado. Por ello, se ha decidido que el agarre durante el roscado se realice desde las caras planas que tienen incorporados todos los cuerpos de racor en su parte media. En consecuencia, se necesita realizar un cambio de agarre previo al roscado. El robot dejará la pieza en el ensamblador y volverá a agarrarlo desde las caras planas. Por tanto, el sensor sea de imagen es imprescindible ya que nos permite indicar al robot donde están las caras planas y darle las coordenadas para cambiar el agarre.

La primera función que va a realizar este sensor de comprobación es indicar al robot 2 cual es el nuevo punto de agarre para llevar la pieza al siguiente paso. El nuevo punto de agarre va a ser siempre la simulación de tuerca que tienen los racores en la parte media de su longitud. Esta parte del racor tiene forma hexagonal, por lo que la cámara siempre va a ser capaz de observar una cara plana, la cual convertirá en el punto de recogida. El agarre será entre caras planas, y por tanto, será el agarre más seguro posible.

La segunda función del sistema de comprobación será observar la zona próxima al ensamblaje del racor en busca de una distancia suficiente entre la zona agarre del cuerpo del racor y el final de la tuerca. La cámara examinará la pieza cuando el roscado se dé por finalizado, dando un margen de 0'5 segundos desde que acabe de girar la plataforma giratoria del ensamblador. Pasado este tiempo, los dedos se alejarán ligeramente para que la cámara pueda ver nítidamente esta distancia.

Los 2 errores explicados anteriormente son muy fáciles de detectar. En el caso 1, el sensor no detectará tuerca y desechará la figura. Por otro lado, si nos encontramos en el caso 2, la cámara observará que la distancia entre el agarre del racor y la tuerca es mucho más pequeña que la que se habrá programado y también la desechará. Depende de la referencia que se está produciendo la distancia crece o disminuye, sin embargo, como se puede ver en la figura 4.21, el margen es bastante grande y no se tendrá ningún problema. Si el sensor de comprobación decide desechar el racor, el robot 2 se moverá hacia una caja de cartón que se incluirá entre la plataforma 3 y la base del robot, soltará la pieza y reiniciará su proceso. Esta caja de cartón será conocida como caja de racores defectuosos.



Figura 4.21: Diferencia distancia roscado con o sin anillo

Para que el sensor de imagen cumpla estas dos funciones, la cámara elegida debe tener la capacidad de inspeccionar elementos a una corta distancia, observando todos los detalles enfocando bien la imagen. A diferencia de las cámaras del sistema de visión integrada del sistema de alimentación, el campo de visión no es un problema y va a ser muy reducido. Sin embargo, los detalles y patrones que tiene que buscar deben estar excelentemente programados para que el sensor funcione adecuadamente.

Aunque sería más conveniente buscar una cámara ABB para esta función debido a la relación con los demás componentes, creemos que la función de este sensor puede ser realizado por un elemento menos costoso. Además, el sensor no funciona tan íntimamente relacionado con el resto de los elementos, por lo que nos podemos permitir elegir otro fabricante. Vamos a elegir el proveedor Keyence, debido a su fácil conexión al sistema y al precio de sus sensores de visión a corta distancia. Dentro de la oferta de Keyence escogeremos una cámara estándar porque tiene incorporado directamente un puerto Ethernet gracias al cual la información llegará fácilmente al PLC, y por tanto, al resto del sistema. Podemos ver cómo es la cámara en la figura 4.22. [KEYENCE 1, 2019]

Colocaremos la distancia de trabajo a 150 mm. No elegimos la distancia de trabajo de 50 o 100 mm debido que el campo de visión en este caso queda reducido a 12x9 o 18x24 mm respectivamente, distancia que no resultaría efectiva para las referencias de menor tamaño. Esta información está disponible en la figura 4.23. Debido a la variabilidad de tamaños que hay, en las referencias más grandes (para tubo de 30), la cámara estaría demasiado cerca, no dejando ver completamente la zona que nos interesa. Con los 150 mm elegidos el campo de visión es de 27x36 mm, valor que consideramos adecuado ya que siempre llegaría a ver la mitad inferior de la pieza. [KEYENCE 2, 2019]

La cámara del roscador 1 será colocada en dirección a los sistemas de alimentación de las tuercas y los cuerpos, es decir, a 150 mm del roscador 1 en dirección al cerramiento perimetral contrario al de la puerta. Se considera que es dónde menos molesta al recorrido de los brazos ya que estos no debería pasar por esta zona. Además, será instalada 10 mm más alta que la superficie de apoyo para evitar ver la parte inferior de la tuerca, que no nos aporta nada, y para poder llegar a observar los puntos de agarre en las referencias más grandes.



La cámara del roscador 2 será colocada en dirección a la pared dónde se encuentra la puerta del cerramiento perimetral, a 150 mm del ensamblador 2. También será instalada 10 mm más alta que la plaquita del ensamblador dónde se coloca el racor para centrarnos en la zona que nos interesa inspeccionar.

La cámara elegida es monocromática porque no necesitamos que distinga colores sino formas. Las cámaras que distinguen colores tienen un precio más elevado, por lo que no nos interesan.



Figura 4.22: Sensor de comprobación

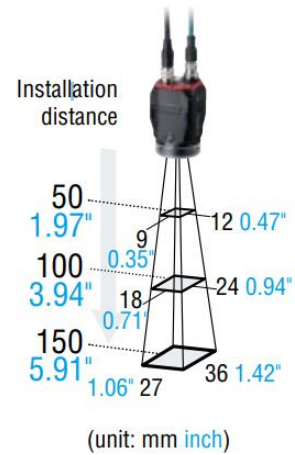


Figura 4.23: Posibles distancias sensor de comprobación

## Sistemas expulsión piezas

### Rampa de salida

Una vez finalizado el proceso de inspección de la última punta montada de cada racor, la pieza se convierte en producto final. Por tanto, nos interesa expulsarla del sistema para poder iniciar el ciclo de nuevo. Esta expulsión se llevará a cabo mediante una rampa de salida en la cual el robot 2 depositará los racores ensamblados. La rampa de salida tendrá su final fuera del cerramiento perimetral del automatismo, dónde se tendrán que colocar cajas para que los productos caigan en ellas y estén preparados para el transporte

La rampa de salida, por tanto, debe tener fácil salida al exterior de la jaula. Esto provoca que la posición más cómoda para colocar la tolva sea la parte derecha del robot 2 ya que esta zona no tiene ningún obstáculo. Se ha valorado colocar la rampa en la zona central del automatismo ya que es una zona habitual de recorrido del brazo 2 y se podría tener acceso al exterior (no hay sistemas de alimentación). Así, el robot perdería menos tiempo y el tiempo de ciclo sería menor. Sin embargo, debido a todos los elementos que hay en la parte central y el posible choque con el robot 1, hemos decidido alejarla un poco del sistema protegiendo así los elementos del sistema.

Se ha decidido colocar la rampa de salida 250 mm a la derecha del robot 2. El tiempo en llegar a este punto va a ser mínimo porque se encuentra a la misma distancia que la posición HOME. De esta manera, el robot podrá llegar de una posición a otra moviendo únicamente su eje 1.

La tolva va a tener una anchura de 200 mm, distancia más que suficiente para albergar las dimensiones de cualquier racor (80 mm de largo la más larga). La programación del robot 2 siempre será llevar el producto al punto central de la rampa, con finalidad de dejar espacio para las referencias más grandes. Este punto es modificable según sea la referencia.

Por último, se añadirá una lámina de un material que amortigüe los golpes en la parte inicial de la rampa de salida para evitar los daños que provocarían el golpe acero-acero en la caída de los racores. De esta manera, la rampa no se desgastará ni se rayará por la repetida caída de racores en su superficie. La lámina puede llegar a desgastarse tras mucho tiempo funcionando. En este caso, se cambiará por otra de las mismas características y se puede seguir con la producción.

### Zona de rechazo

La segunda opción para expulsar el racor del sistema ocurre cuando el sensor de comprobación detecta un error. En este caso, se sabe que el ensamblaje no ha sido el correcto y se tiene que dar por finalizada la rutina. Para realizar este paso, se añadirá una caja de cartón (no forma parte del sistema en sí) a la derecha de cada ensamblador, a una distancia de 150 mm del centro de estos. Las cajas de cartón van a estar colocadas a una altura inferior a la isla de los ensambladores para no perjudicar el resto de los movimientos del robot 2, que podría chocar con ella. La posición es ideal porque la detección de errores siempre se realiza en la plataforma de ensamblado. Se programa la posición del robot 2 para que se acerque a esta caja y la preparación se daría por finalizada. La caja colocada va a ser de tamaño notablemente superior respecto a los racores para que tarde mucho tiempo en llenarse.

La zona de rechazo tendría que ser innecesaria ya que la máquina no debería tener fallos en su proceso. Sin embargo, se asume que pueda ocurrir algún error y añadimos esta solución para almacenar las pizas defectuosas. El operario tiene que vigilar estas cajas periódicamente para parar el sistema y vaciarlas cuando vayan a rebosar. La caja colocada va a ser de tamaño notablemente superior que los racores para que tarde mucho tiempo en llenarse. La posición de la caja al colocarla tras vaciar sus piezas no tiene porqué ser muy precisa ya que es difícil que los racores caigan fuera de ella. No obstante se marcará con un dibujo orientativo.

## Sistema neumático

El control de apertura de las pinzas de los robots presentes en el sistema se va a realizar mediante un sistema neumático cuyo funcionamiento se basa en electroválvulas. Como se trata de un sistema neumático, haremos circular el aire comprimido por distintas conducciones para activar las acciones deseadas. Estas acciones van a ser abrir y cerrar las pinzas del robot 1 y robot 2. Por tanto, necesitaremos adquirir 2 electroválvulas biestables que permitan tener las pinzas del robot en dos estados diferentes.

Sin embargo, antes de realizar las conexiones específicas para cada acción, tenemos que conseguir llevar el aire comprimido desde el compresor hasta las electroválvulas. Se van a añadir elementos de control para poder guiar el sistema neumático según sean las necesidades. Primero, se añade una válvula general que permite cerrar la llegada de aire comprimido completamente. En la figura 4.24, se puede observar cómo la conducción neumática puede moverse del vacío (B) a la conducción principal (A). Esta válvula va a permanecer cerrada siempre que el sistema este apagado. Tras esta válvula, se incluirá un presostato general que servirá como protección en caso de que el aire comprimido alcance presiones muy altas. Si ocurre esta situación, el presostato cortará la conducción de aire. Por último, se añade una electroválvula que provoca una puesta en presión del sistema progresiva. Este aparato permite alimentar gradualmente la instalación durante cada arranque consecutivo a una parada de urgencia o a un corte de presión. Coloca lentamente el conjunto de la instalación en posición de fin de ciclo y cuando se alcanzan estas condiciones, el automatismo, pone bajo tensión la electroválvula-piloto. El arranque pasa a la posición "pleno caudal" permitiendo el desarrollo de los ciclos siguientes a la velocidad normal. Cuando pulsemos el botón azul Rearme, presente en la pantalla HMI, vamos a lanzar el proceso progresivo explicado anteriormente.

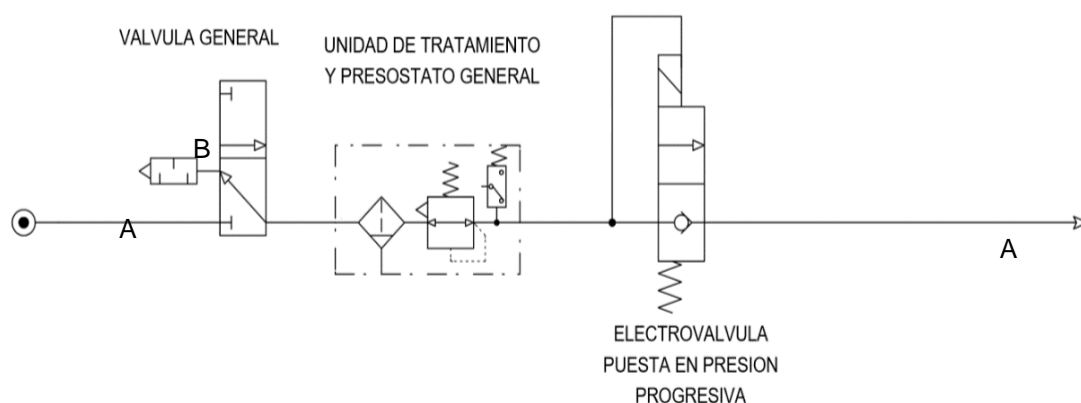


Figura 4.24: Inicio sistema neumático

Una vez controlada la fuente principal de aire comprimido, vamos a centrarnos en el funcionamiento individual de cada electroválvula. Las electroválvulas son sistemas electromecánicos cuya función es controlar las conducciones por las que circula un fluido. La válvula es desplazada y cambia sus conexiones debido al movimiento que provoca una bobina solenoide. Para su funcionamiento adecuado, las electroválvulas necesitan conducciones de baja presión (vacío) que provoquen el avance/retroceso del cilindro accionador. Se añaden 2 conducciones (líneas C y D de las figuras 4.25 y 4.26) de baja presión a cada lado de la línea principal una vez pasado el circuito inicial. La línea A de las figuras 4.25 y 4.26 es la continuación de conducción de alta presión en la que acababa la figura 4.24. Nuestras electroválvulas en particular, van a funcionar acompañadas de un cilindro al cual harán avanzar o retroceder según actúe el bobinado. El cilindro va conectado directamente con las pinzas, por lo que cada posición del cilindro será una posición de las pinzas, cerradas o abiertas. Por tanto, va a haber dos tipos de posiciones de todo el sistema de la electroválvula.

La figura 4.25 representa la posición de retroceso del cilindro, la cual consideraremos en reposo. En este caso, el solenoide no recibe voltaje eléctrico y la electroválvula queda situada en su posición inicial. En esta configuración, la línea 1 de alta presión conecta en el punto 1 con una conducción que llega a la electroválvula y posteriormente a la parte trasera del cilindro, donde está colocado el muelle. La línea B queda conectada con la zona de baja presión del cilindro a partir de una conexión que vuelve pasar por la electroválvula y conecta con ella en el punto 5. La diferencia de presiones provocada en el cilindro hace que el muelle quede relajado y no se accione. La conexión de la línea C que llega a la electroválvula queda cortada y no tiene ninguna utilidad. El sistema de la electroválvula se encontrará en esta posición cuando las pinzas del robot estén en abiertas.

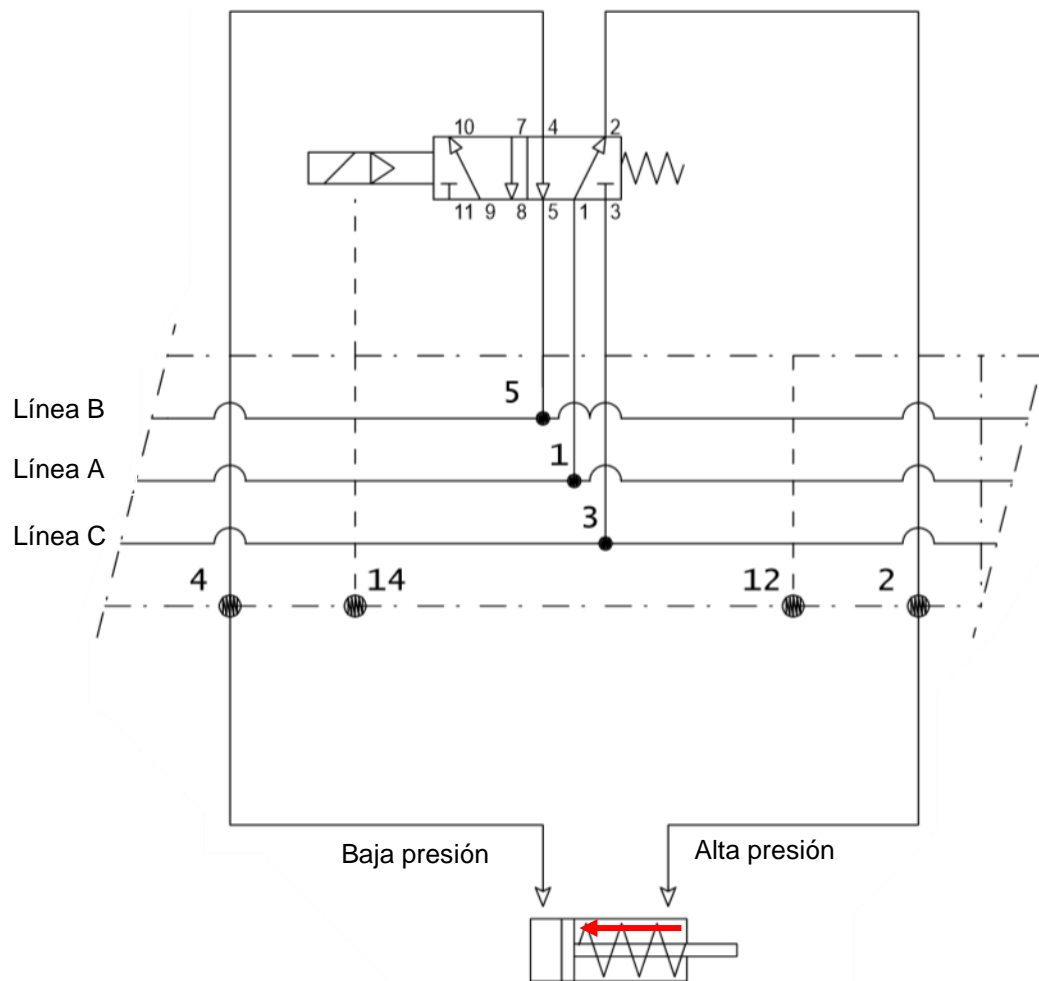


Figura 4.25: Electroválvula modo Retroceso cilindro

La figura 4.26 representa la posición de avance del cilindro, en la cual debido a la diferencia de presión, el cilindro avanza y vence las fuerzas del muelle. Cuando el cilindro avanza, las pinzas se cierran, y el robot es capaz de coger las piezas. Todo este movimiento se consigue debido al movimiento de la electroválvula que hace cambiar todas las conexiones. Este movimiento es provocado por el voltaje de 24 V que llega del solenoide y provoca la contracción del muelle de la electroválvula. La conexión con la línea A va a llegar finalmente a la zona delantera del cilindro, dónde va a encontrarse la alta presión. La línea C es esta vez la que conecta con la zona del muelle del cilindro, creando una zona de baja presión. Debido a esta diferencia de presión, el cilindro avanza en la dirección de la flecha roja de la figura 4.26 y contrae el muelle. El muelle se contrae provocando el avance de las pinzas y permitiendo el agarre de las piezas. Este proceso ocurre en el modo ON de la electroválvula, lo que provoca que sí que haya gasto de energía eléctrica.

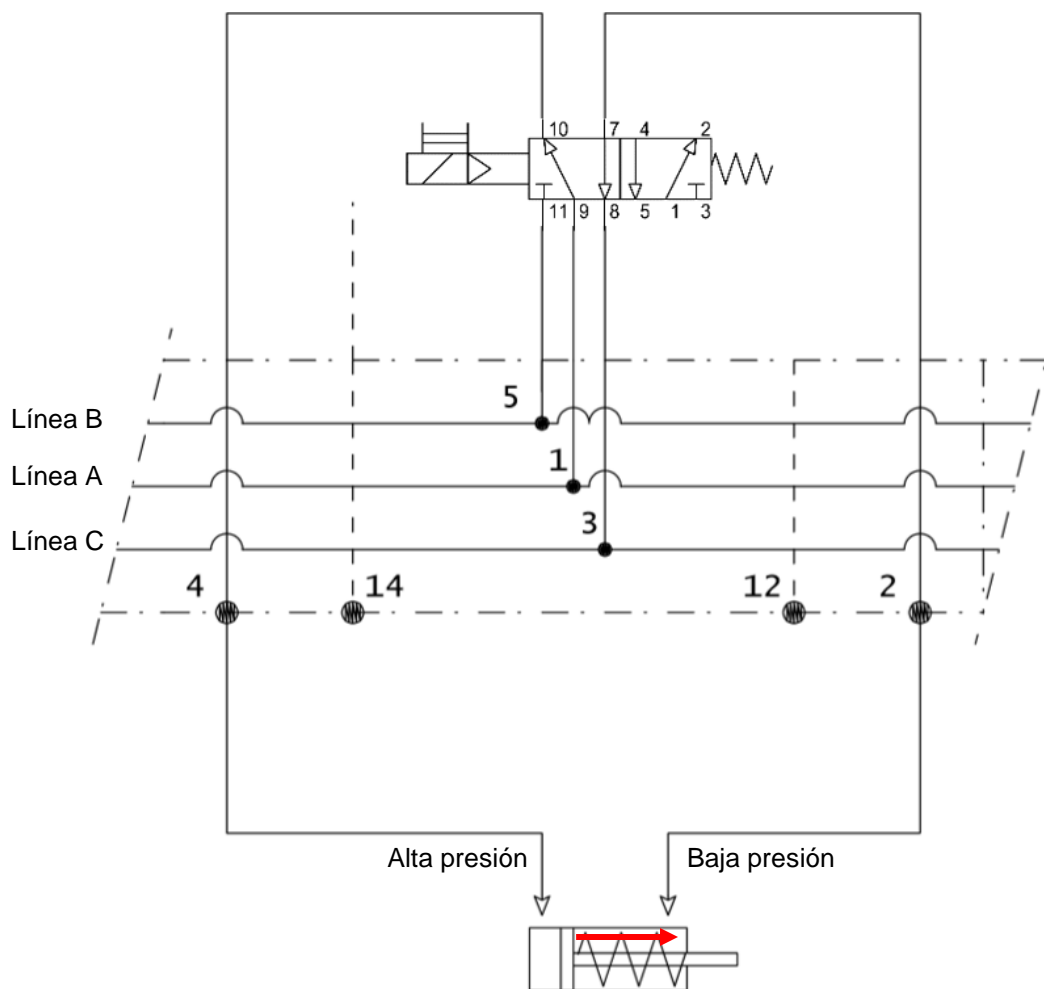


Figura 4.26: Electroválvula modo avance cilindro

## Sistema de señales

Todos los elementos del sistema ya presentados deben ser coordinados y guiados por un sistema inteligente que actúe como cerebro del automatismo. Este sistema va a analizar la información que le llega de todos los elementos y mandará las órdenes pertinentes que se deban realizar en cada momento. Los datos se van a transmitir a partir de cables Ethernet y Profinet, cuya única diferencia es la velocidad de transmisión, siendo más rápida la de los cables Profinet. Todos los elementos que necesitan estar conectados tienen un puerto Ethernet para permitir realizar la conexión.

### Controlador lógico programable (PLC)

Se trata del cerebro del sistema y tiene que ser capaz de responder de manera rápida y eficaz a todas las señales de datos que llegan. Un ejemplo podría ser la señal de cerrar los dedos, que debería mandar el sistema cuando llegue la señal de llegada del robot a las coordenadas indicadas por la cámara. Se pueden instalar extensiones si es necesario y la unidad central del PLC no sirve para controlar todas las señales de datos que pueden llegar. El aspecto del PLC se puede observar en la figura 4.27.



Figura 4.27: Controlador lógico programable

Para realizar esta función en nuestro automatismo se ha decidido confiar en el fabricante Siemens, que es compatible con el resto del sistema y su lenguaje de programación es muy intuitivo con puertas lógicas en las que se observa cuáles son los datos de entrada que tienen que llegar para ordenar las salidas propias de cada puerta. Este programa se llama TiaPortal V15. Existen distintos tipos de puertas que se abrirán con distintas señales de información, por ejemplo, observando la figura 4.28, "Tag\_1" pide la señal para poder avanzar mientras que "Tag\_2" estará abierta siempre que no llegue la señal. Las puertas se pueden colocar en serie o en paralelo según sea la acción que necesitemos.

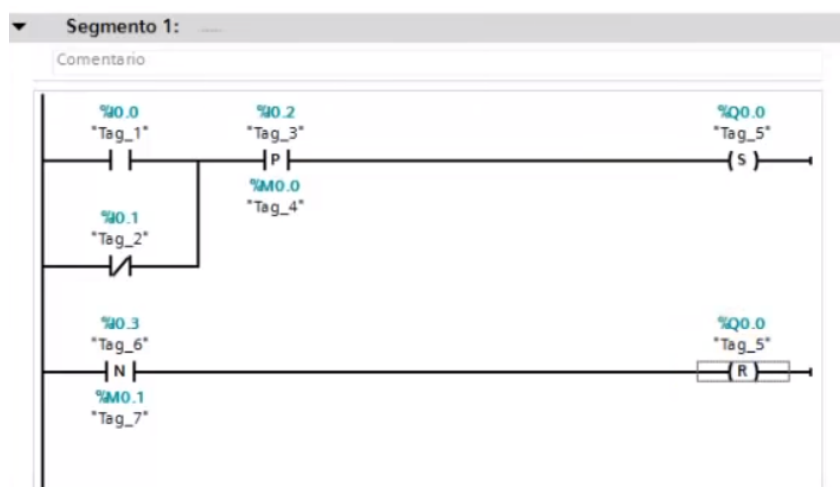


Figura 4.28: Ejemplo programación TiaPortal V15

### Conmutadores Ethernet y Profinet

Los conmutadores Ethernet y Profinet se utilizan para conectar todas las señales de datos a un mismo terminal y así tener conectada la información de las plataformas, robots y cámaras del sistema. La diferencia que tiene el conmutador Profinet es que tiene conexión directa con el PLC, es decir, con la inteligencia del sistema. Por tanto, este conmutador va a recibir las ordenes de primera mano y mandará qué hacer al resto de los elementos. Se suele dejar siempre un puerto libre en los conmutadores por si ocurre algún fallo

Por tanto, tal y como se ve en las figuras 4.30 y 4.31, necesitaremos un terminal de 8 puertos para el conmutador Ethernet y uno de 5 para el conmutador Profinet. Como el sistema PLC es de la marca Siemens y se comunica directamente con el conmutador Profinet, buscaremos un conmutador de esa marca para lograr una armonía total. Sin embargo, el conmutador Ethernet puede ser de otra marca más barata, ya que su tarea es más sencilla y no conecta directamente con el PLC. Elegiremos un conmutador de 8 puertos de la marca Murrelektronik. [SIEMENS, 2019] [MURRELECTRONIK, 2019]



Figura 4.30: Switch Ethernet 8XRJ45



Figura 4.29: Switch IE Profinet 5XRJ45

### Pantalla HMI

La pantalla HMI TP 700 es una pantalla táctil situada en la parte exterior del armario del automatismo y desde la que se puede manejar la inteligencia del sistema. Su función es forzar las acciones que se lanzarían al abrir una puerta lógica de las programadas en el PLC. De manera esquemática, vemos las acciones que podemos lanzar como abrir los distintos dedos de nuestro robot o hacer girar la roscadora de nuestro ensamblador (isla). En la figura 4.31, se va a ver cómo quedaría el menú de acciones del robot. Se programa un botón llamado ISLA A ORIGEN, que reinicia todas las señales. Este botón se utiliza cuando se están modificando acciones del proceso para asegurarnos que todos los elementos se encuentran en la posición que tienen que estar cuando se vuelva a iniciar el sistema, es decir, pinzas abiertas, roscador sin girar, etc. [VALENSYS, 2018]

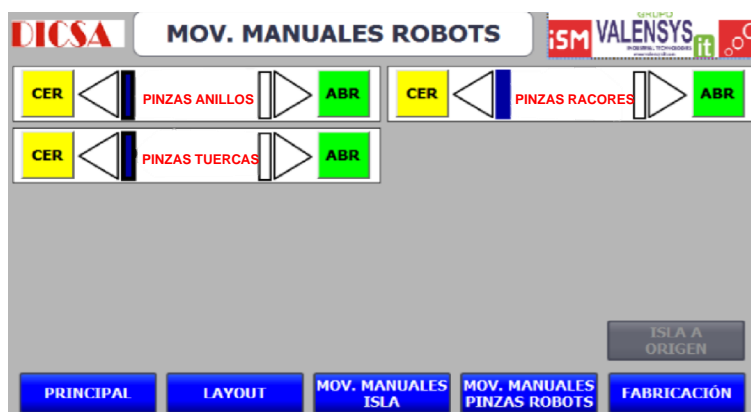


Figura 4.31: Submenú movimientos pinzas robots pantalla HMI

Además, se han incorporado otras pestañas como la principal, que aparece por defecto al encender el sistema, que nos permite parar e iniciar el sistema de manera rápida cada vez que ocurre un fallo de fácil solución. También nos proporciona información importante del funcionamiento como el número de productos que se han fabricado y el número de racores de la serie programada que quedan por fabricar (2). En este submenú también se indica siempre en qué modo de funcionamiento estamos: automático o manual (3). Una de las ventajas más importantes que aporta esta pantalla es su acción mediante la cual si ocurre un error conocido, el error y su causa estará escrito en la pantalla, en el espacio asignado en la zona 1 de la figura 4.32.



Figura 4.32: Submenú principal

Por último, también he de señalar que en la pestaña de Layout se pretende permitir ver un diseño esquemático del automatismo entero viendo en que posición están todas las puertas PLC y en la pestaña de fabricación se verían datos importantes como el tiempo medio de ciclo de toda la producción, el tiempo del último ciclo y la referencia que se está produciendo.

El esquema de todas las conexiones ethernet del automatismo se presenta en la figura 4.33.



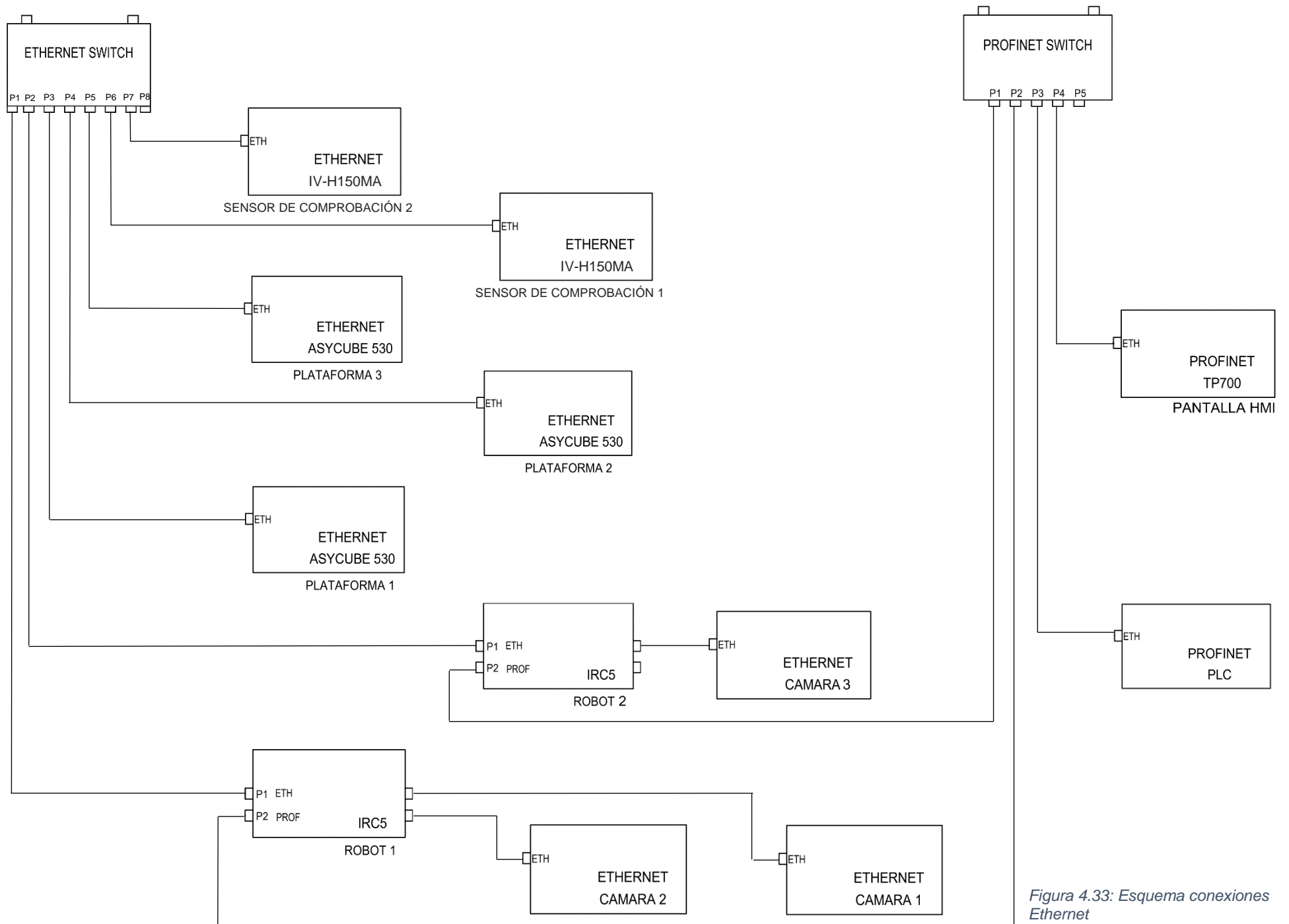


Figura 4.33: Esquema conexiones Ethernet

## Cableado eléctrico

Todos los elementos previamente presentados en este apartado necesitan ser alimentados eléctricamente según sus necesidades. Para ello, hay que realizar un cableado eléctrico que se adapte a las dimensiones espaciales y tipos de alimentación que necesita cada sistema. En cuanto al espacio, se ha decidido adaptar un armario donde situaremos las unidades de inteligencia y los sistemas necesarios para realizar las transformaciones eléctricas, así como los fusibles e interruptores. De este armario saldrán todos los cables que alimentarán a las plataformas, robots, ensambladores y resto de elementos del automatismo.

El sistema recogerá toda su alimentación eléctrica de una fuente trifásica tensión alterna que entrará en el armario directamente. Existe un interruptor que corta la llegada de esta electricidad, que es el que tendremos que girar para encender el sistema. La tensión de línea será de 400 V, mientras que la de fase será de 220 V, factor tremendamente útil ya que la mayoría de los elementos son alimentados monofásicamente con este voltaje. Sin embargo, existe otro gran número de elementos que son alimentados a 24 V de tensión continua por lo que se necesitará instalar un transformador de 400 V AC – 24 V DC, que será guardado dentro del armario. Una vez obtenidas estos dos grupos de alimentación todos los sistemas pueden funcionar. [DICSA 3, 2019]

En la figura 4.35 se puede observar el sinóptico del cableado, es decir, ver de manera visual como se alimenta a todo el automatismo.

## Armario eléctrico

Necesitamos un armario que esté adaptado para albergar sistemas eléctricos, de dimensiones aproximadamente de 800x800x300 mm y que sea fácilmente modificable para incluir la pantalla HMI en la tapa delantera. Se decide confiar en el proveedor ELDON con sede en Zaragoza para adquirir un armario eléctrico cuyas dimensiones coinciden con las buscadas.

Respecto a la tapa delantera, no vamos a añadir solo la pantalla HMI desde la cual controlaremos el PLC, sino también se añadirán una serie de pulsadores y pilotos luminosos que nos ayudarán en el control del automatismo. Como ya hemos explicado todas las acciones que se podrán realizar desde la pantalla HMI, nos vamos a centrar en que acciones vamos a instalar para que realicen los pulsadores y pilotos luminosos. Se van a instalar 3 pulsadores para facilitar al operario realizar las 3 acciones más importantes del automatismo: puesta en marcha (pulsador verde), paro (pulsador rojo) y rearme (pulsador azul). El rearme consiste en volver a poner en funcionamiento el sistema neumático, es decir, poner a punto el sistema para que pueda reaccionar al instante que se da la orden. Hay que rearmar el sistema siempre que se realice una parada, antes de ponerse en marcha. Por tanto, el operario cada vez que pare el sistema por el motivo que sea tendrá que realizar la rutina REARME + MARCHA. Respecto a los pilotos luminosos, únicamente nos proporcionarán información. Se instalarán 2 luces, una verde y otra roja y nos informarán de si el sistema funciona adecuadamente (iluminado el verde), o de si la maquina está parada (iluminado el rojo). La parada puede ser intencional porque ha parado el operario o porque el sistema ha detectado un error que le ha obligado a parar (un choque, no encuentra piezas porque hay que cargar ...). Todo el funcionamiento se ve en la figura 4.34 [VALENSYS 1, 2019]

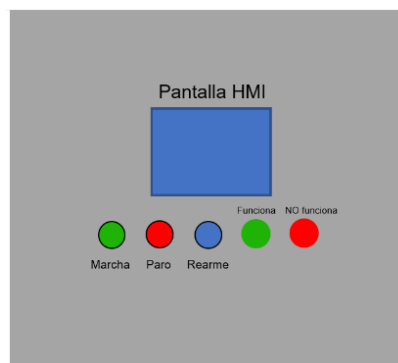


Figura 4.34: Esquema puerta delantera armario

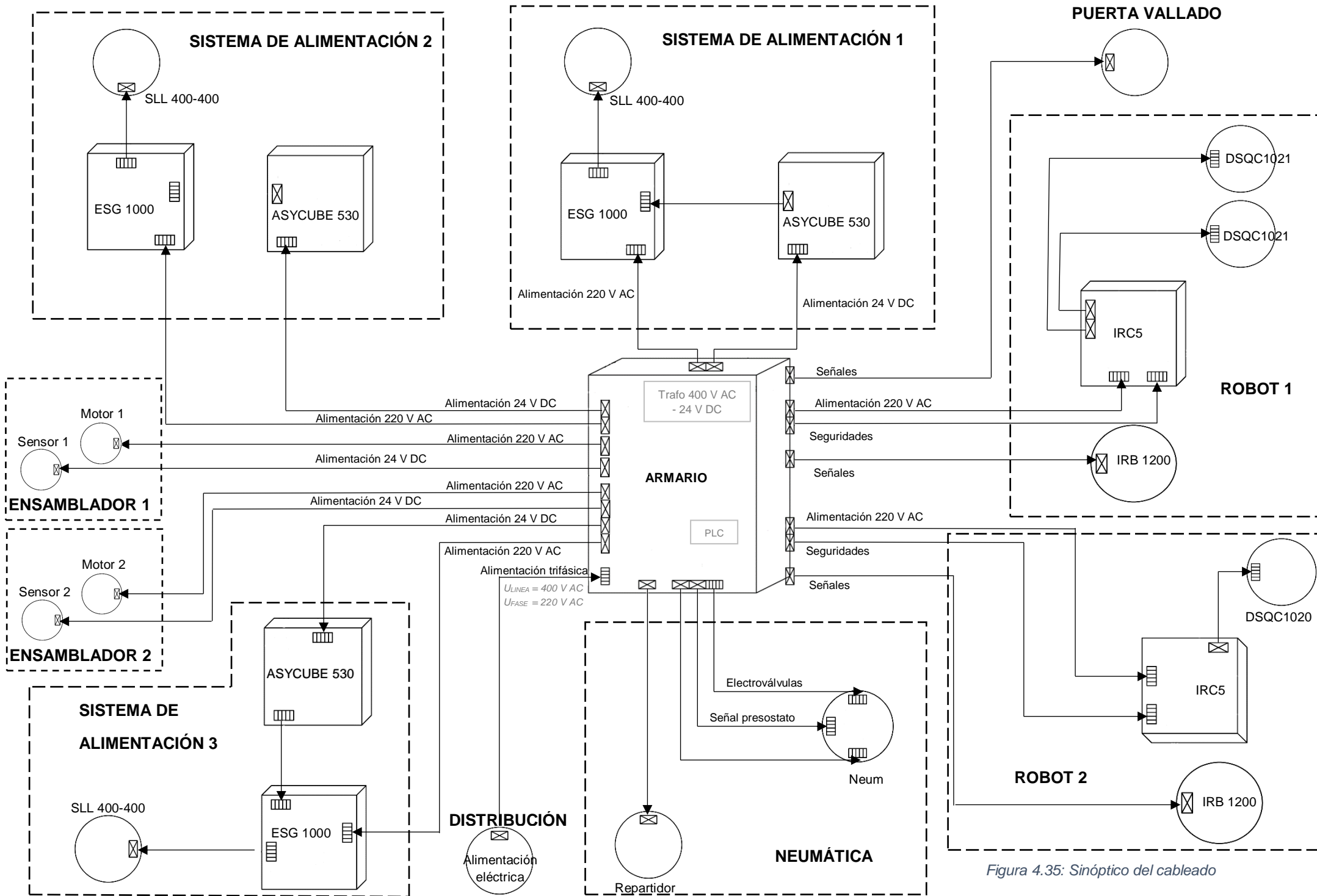


Figura 4.35: Sinóptico del cableado

## Cerramiento perimetral

La máquina cuenta con un cerramiento perimetral alrededor de toda la máquina para evitar el acceso a partes peligrosas que podrían suponer un riesgo durante su funcionamiento. Se trata de una malla de abertura rectangular de 20x100 mm. Las dimensiones de la jaula que cerrará el sistema son de 2300x11800x2200 mm. Las distancias de ancho y largo de la plataforma han sido extraídas directamente del esquema de medidas de la estructura (figura 4.39), añadiendo 200mm de margen desde los extremos de la plataforma al cerramiento lateral debido a la existencia de las tolvas de alimentación que tienen que comunicar con el exterior, y 600 mm de separación hasta la puerta. Las operaciones se pueden ver en la figura 6.36. Por otro lado, los 2200 mm de altura pueden resultar excesivos debido a la baja altura a la que trabaja el automatismo. Sin embargo, los creemos necesarios por experiencias anteriores, en los cuales los operarios estaban tentados de manipular el sistema sin abrir la puerta metiendo la mano por encima del vallado. [TROAX 1, 2019]

Se puede calcular la superficie fatal de vallado, que va a ser de 18.040.000 mm<sup>2</sup>, es decir, habrá que encargar 18'04 m<sup>2</sup> de malla para cerrar el sistema completamente (figura 4.37).

$$\text{Largo} = 200 + 371 + 350 + 600 + 300 + \frac{427}{2} + 200 = 2235'5 \approx 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho} = 600 + \frac{427}{2} + 350 + 371 + 200 = 1734'5 \approx 1800 \text{ mm}$$

*Figura 4.36: Cálculos anchura y altura cerramiento perimetral*

$$\text{Superficie vallado} = (2300 \times 2200 \times 2) + (1800 \times 2200 \times 2) = 18.040.000 \text{ mm}^2$$

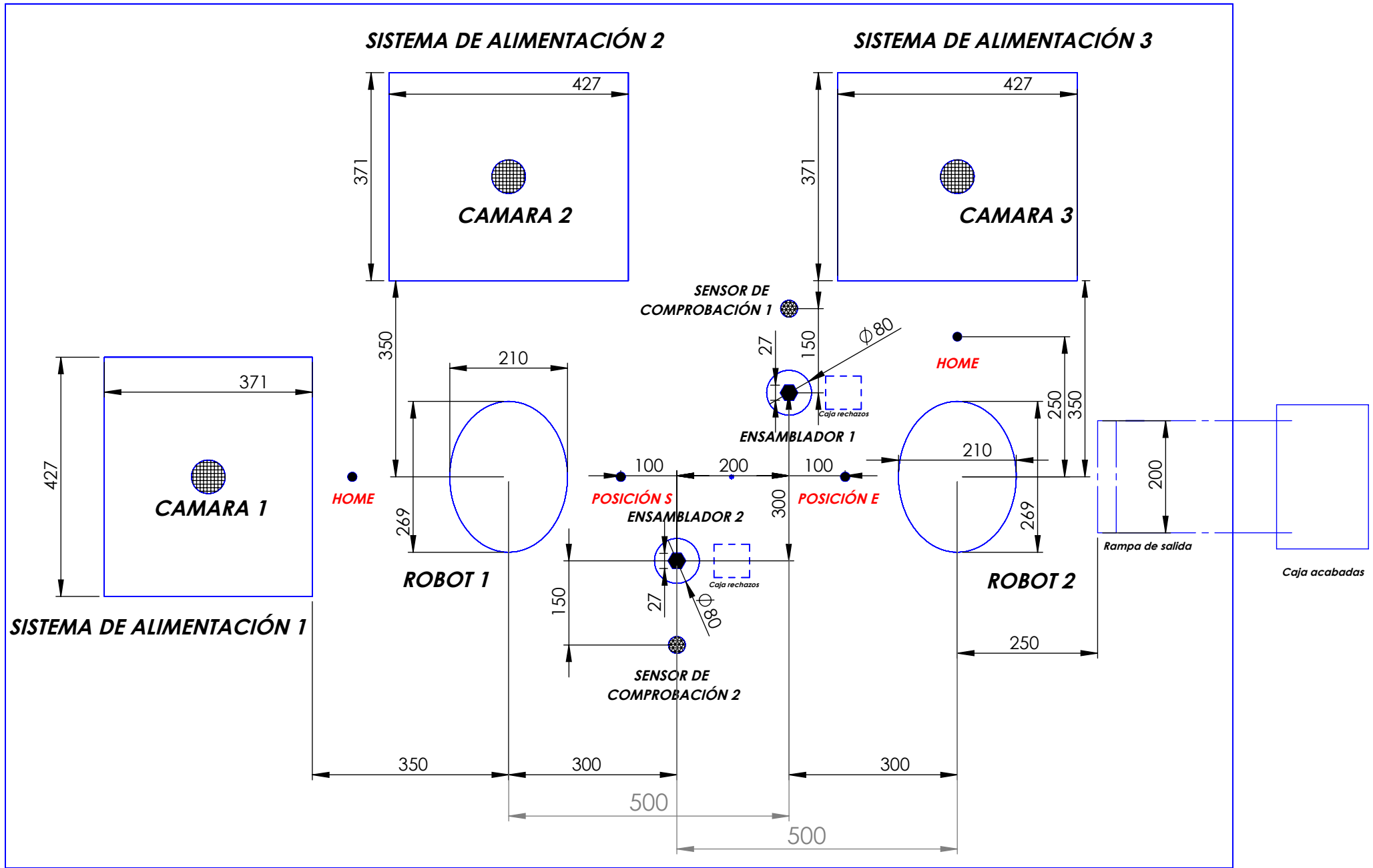
*Figura 4.37: Cálculo superficie vallado*

El cerramiento perimetral dispone de una puerta de acceso a la instalación con cerrojo de seguridad que detiene por completo el movimiento de la máquina cuando la puerta se encuentra abierta. La jaula exterior también dispone de dos luminosos grandes, uno verde y otro rojo que indican al operario lo que ocurre en el sistema. Estos luminosos son visibles desde larga distancia, de manera que el operario pueda verlas mientras realiza otra acción. El luminoso verde indica que todo funciona correctamente, mientras que el rojo avisa al operario de que ha ocurrido un error. [TROAX 2, 2019]



*Figura 4.38: Sistema seguridad puerta*

Por último, hay que indicar que se tapaná con láminas de cartón las partes de la jaula que se considere que afectan a la iluminación de las fotos y perjudican a las cámaras. De esta manera, no habrá problemas con los brillos que pueden producir los materiales con los que están fabricados las piezas.



**CERRAMIENTO PERIMETRAL**

**PUERTA VALLADO**

## 5. Lista de elementos

Con motivo de calcular el presupuesto de automatismo se va a crear una tabla en Excel (tabla 5.1), en la cual se añadirán todos los elementos usados en el automatismo y sus precios aproximados. La mayoría de los precios son reales y han sido comunicados por los proveedores.

La razón por la que los elementos de ABB no tienen precio específico pero sí total es que este proveedor ha enviado una propuesta total de presupuesto, sin indicar específicamente cual es el precio de los elementos uno a uno. El resto de los proveedores sí han enviado una lista con los precios de todos los elementos ofertados, incluso presentando un descuento en el caso de RNA VIBRANT.

Varios de los elementos presentes en la lista como la instalación eléctrica o el sistema neumático albergan una gran cantidad de componentes y su precio es aproximativo. Se ha realizado esta aproximación a partir de los presupuestos de otros sistemas que me ha facilitado el grupo DICSA.

El bloque representado en la tabla 5.1 como “Puesta a punto y formación” conlleva el dinero que hará falta para montar el automatismo en DICSA y la formación que hay que dar a los operarios que van a trabajar con ella. La formación consistirá en la estancia de un técnico experto en las instalaciones de DICSA durante un mes que enseñará a los trabajadores cómo actuar en caso de error, instalar referencias nuevas y dará nociones básicas de los programas más importantes que se pueden tener que llegar a utilizar: RobotStudio y HMI Asyriil. El transporte de las piezas no se considera porque viene incluido en el coste de los elementos.

El coste final del automatismo es 149.027 €. Este presupuesto es muy satisfactorio ya que baja de los 180.000 € iniciales que se presentaron en el apartado 3. El margen conseguido, de 30.000 €, no se va a considerar como beneficio todavía por la posible existencia de errores que pueden aparecer en el montaje físico del sistema. En el momento en el que la máquina sea aprobada y funcione correctamente se podrá obtener cuál ha sido el beneficio real.

En el presupuesto final no se ha considerado el coste intelectual para desarrollar el proyecto.

Descripción	Referencia	Marca	Precio unitario	Unidades	Precio final
Robot IRB 1200 DE 7 kg Y 700 mm + Controlador IRC5 + FlexPendant	-	ABB	-	2	
Cámara media resolución (800x600)	DSQC1020	ABB	-	1	
Cámara alta resolución (1280x1024)	DSQC1021	ABB	-	2	
Lente de 8 mm	-	ABB	-	1	
Lente de 12,5 mm	-	ABB	-	2	
<b>TOTAL OFERTA ABB</b>					<b>55.600 €</b>
Asycube 530 White Backlight	-	RNA VIBRANT	16.200 €	3	48.600 €
Custom vibrating place (POM-C)	-	RNA VIBRANT	2.500 €	3	7.500 €
Controlador ESG-1000	-	RNA VIBRANT	700 €	3	2.100 €
Tolva mod. BVL + Impulsor mod. SLL 400X400	-	RNA VIBRANT	900 €	3	2.700 €
KIT de cableado. Cable alimentación, cable ethernet, cable synchrobacklight		RNA VIBRANT	490 €	3	1.470 €
Descuento 3 %			-623,3 €	3	-1.870 €
<b>TOTAL OFERTA RNA VIBRANT</b>					<b>60.500 €</b>
Pinzas agarre dedos	G110-18M-30N-B	DESTACO	100 €	3	<b>300 €</b>
Motor eléctrico ensamblador + sujeción	MEMAP0.33 B3B5 H	TRALE	400 €	2	<b>800 €</b>
Reductor de engranajes helicoidales	ZMCRF01	JALMAC	200 €	2	<b>300 €</b>
Variador electrónico de frecuencia	-	TRANSMISIONES BAYOD	150 €	2	<b>300 €</b>
Embrague electromagnético	-	BAYOD	200 €	2	<b>400 €</b>
Plataforma giratoria ensamblador	-	BAYOD	100 €	2	<b>200 €</b>
Tolva de salida piezas finalizadas	-	RNA VIBRANT	100 €	1	<b>100 €</b>
Sensor de comprobación	IV-H150MA	KEYENCE	950 €	2	<b>1.900 €</b>
PLC	6ES72141AG 40-0XB0	SIEMENS	400 €	1	400 €
Ampliación PLC	6ES7221-1BH32-0XB0	SIEMENS	200 €	2	400 €
Pantalla táctil TP 700	6AV21240GC 01-0AX0	SIEMENS	1.072 €	1	1.072 €
Switch IE Profinet 5XRJ45	6GK50050BA 00 1AA	SIEMENS	137 €	1	137 €
<b>TOTAL OFERTA SIEMENS</b>					<b>2.009 €</b>
Switch Ethernet 8XRJ45	40488794394 66	MURR ELECTRONIK	208 €	1	<b>208 €</b>
Sistema neumático	-	Varios	4.000 €	1	<b>4.500 €</b>
Instalación eléctrica	-	Varios	5.000 €	1	<b>5.000 €</b>
Armario eléctrico 800x800x300	MAS0808030 R5	ELDON	200 €	1	<b>200 €</b>
Pulsadores y pilotos luminosos armario	Varias	SCHNEIDER	150 €	1	<b>150 €</b>
Cables ethernet restantes	-	-	200 €	1	<b>200 €</b>
Mesa sujeción roscadoras	-	-	500 €	1	<b>500 €</b>
Cerramiento perimetral	-	-	3.000 €	1	<b>3.000 €</b>
Sistema cierre de seguridad	-	-	500 €	1	<b>500 €</b>
Puesta a punta y formación	-	-	8.000 €	1	<b>8.000 €</b>
Dedos robot	-	-	300 €	6	1.800 €
Plaquetas ensamblador	-	-	80 €	32	2.560 €
<b>TOTAL A FABRICAR SOBRE PLANO</b>					<b>4.360 €</b>
<b>TOTAL</b>					<b>149.027 €</b>

Tabla 5.1: Lista elementos del sistema

## 6. Funcionamiento del sistema

La combinación de todos los elementos previamente descritos en el apartado 6 va a resultar en el ensamblaje del racor DIN 2353 para todas sus referencias. Por tanto, se ha creído oportuno describir detalladamente el funcionamiento global del automatismo a esta altura del trabajo, una vez conocidas las características y funciones de todos los sistemas que lo componen. La actividad del sistema se basa principalmente en los brazos robóticos que trasladan las piezas, la visión artificial que permite conocer la localización de estas y un ensamblador que asegura su perfecto ensamblaje.

### Posibilidades de control

La elección de los elementos que componen la máquina ha estado fuertemente influenciada por la idea de facilitar las funciones de los operarios. Por esta razón, las plataformas pueden cambiar su fuerza de vibración desde un controlador, el robot ofrece la posibilidad de cambiar su programación desde el mando FlexPendant y las acciones del PLC (puertas lógicas) pueden ser disparadas desde la pantalla HMI. Gracias a todos estos controladores, una vez se haya acabado la primera programación de las referencias en el automatismo, conectar el sistema al ordenador no debería ser necesario.

No obstante, se tiene la posibilidad de conectar al automatismo a partir de un cable ethernet que vaya conectado a los puertos libres que quedan en los conmutadores Ethernet y Profinet instalados dentro del armario eléctrico. Gracias a esta conexión se tiene acceso a toda la información de los elementos y se puede cambiar la programación de los robots, cámaras, PLC y sistemas de alimentación. También se puede conectar los sistemas por separado al ordenador sin necesidad de abrir el armario eléctrico ya que existen conexiones ethernet libres en los distintos elementos. Así, por ejemplo, si quieres cambiar algo referente a las cámaras o robots, puedes conectar tu portátil al controlador IRC5 correspondiente y cambias lo que necesites.

### Secuencias del sistema

Para explicar cómo funciona el sistema, es importante destacar existencia de varios modos de funcionamiento. El sistema va a actuar de manera distinta dependiendo del modo en el que se encuentre la referencia que está montando. Se va a crear un modo de funcionamiento específico para cada grupo de referencias de forma y número de puntas distinta. La creación de estos grupos se observa claramente en la tabla 6.1. No existen más modos porque los movimientos de las referencias que incluyen una tuerca TL métrica tienen movimientos equivalentes a las referencias sin este tipo de tuercas como se explica en el apéndice 1.

De esta manera vamos a tener que programar 5 modos de movimiento:

Modo	Número de puntas	Tipo de unión
1	1	Recta
2	1	Codo
3	2	Recta
4	2	Codo
5	3	T

Tabla 6.1: Modos de funcionamiento automatismo

Además de estos 5 grandes modos, hay que tener en cuenta y realizar los pequeños ajustes de posiciones según sea el tamaño y el tipo de referencia. Por tanto, es necesario realizar un programa para cada referencia que se produzca. No obstante, se puede crear un programa principal para cada gran grupo y a partir de estos 5, copiar y pegar para el resto de los programas necesarios. Una vez se haya copiado y pegado, solo hará falta cambiar las posiciones clave del



robot la primera vez que se produzca una referencia y el programa estará acabado. Se puede realizar esta calibración directamente desde el mando FlexPendant propio de los robots, sin necesidad de conectar el sistema a un portátil. Esta posibilidad es valorada muy positivamente por el grupo DICSA, debido a que la restricción en la cual más han insistido es que los operarios sean capaces de manejar perfectamente el automatismo. De esta manera, con la posibilidad de copiar-pegar programas, se pueden añadir nuevos tipos de referencia de manera muy sencilla en el momento que se necesite. El único condicionamiento que debe tener el nuevo racor es que pertenezca a uno de estos 5 grupos.

### **Funcionamiento base**

Los 5 modos de funcionamiento tienen la misma base. De hecho, el robot 1 va a tener la misma programación, es decir, los mismos movimientos para los 5 modos. Los ensambladores, sensores de comprobación y las plataformas tampoco van a notar el cambio de modo, simplemente el PLC recibirá señales para disparar procedimientos cada más o menos a menudo y les hará actuar cada más o menos tiempo. Por tanto, el sistema que va a marcar la diferencia de actividad entre los modos es el robot 2, cuyo funcionamiento sí variará dependiendo del modo en el que trabajemos.

El funcionamiento base, entonces, va a ser una secuencia de acciones del robot 1 combinado con los elementos comunes (roscadores). El ciclo va a ser fijo y sin tener capacidad de decisión para elegir ensamblador. En el primer ciclo tras el inicio del funcionamiento, el robot se dirigirá al ensamblador 1, en el segundo al ensamblador 2 y así seguirá alternándolos sucesivamente.

En caso de que el robot 1 tenga que esperar para realizar la acción de moverse al ensamblador se ha programado una posición de seguridad llamada posición S. El robot permanecerá allí hasta que se le dé la orden de moverse. Como el tiempo de ciclo es siempre menor que el del ciclo variable es probable que el robot espere en esta posición antes de ir al ensamblador.

La secuencia de funcionamiento del bloque base, cuyo elemento central es el robot 1 y se va a repetir en todos los modos, es la siguiente:

- 1) Se mueve robot a HOME.
- 2) Las tolvas de los sistemas de alimentación 1 y 2 dejan caer producto en las plataformas hasta que el sistema de visión detecta que son suficientes.
  - 1.i) Si los sistemas de visión detectan que son suficientes al empezar el proceso no se deja caer ninguna pieza.
- 3) Las plataformas preparan el producto por medio de la vibración para separar y colocar las piezas en posición de recogida.
  - 3.i) Si los sistemas de visión ya han guardado en su memoria una pieza en posición adecuada, la plataforma no vibra.
- 4) Las cámaras realizan las fotos y los sistemas de visión reconocen las piezas que se pueden recoger. Mandan ambas coordenadas al robot 1 que se encuentra en su posición inicial (HOME).
  - 4.i) Si los sistemas de visión ya han guardado en su memoria una pieza en posición adecuada, no se realiza una nueva foto.
  - 4.ii) Si el sistema de visión no reconoce piezas que se puedan recoger, se vuelve al paso 3 de la secuencia.
- 5) Mandan ambas coordenadas al robot 1
- 6) El robot 1 se mueve a las coordenadas indicadas de la plataforma 1 y recoge un anillo.
- 7) El robot 1, mientras se dirige a las coordenadas indicadas de la plataforma 2 gira sobre su eje 6 y cambia de herramienta a la herramienta 2 (dedos tuerca).
- 8) El robot 1 cierra sus dedos y recoge una tuerca.
- 9) En este momento pregunta al PLC cual ha sido el ensamblador que lleva más tiempo parado y el robot decide dirigirse hacia él.
- 10) El robot 1 ahora pregunta al PLC por el estado del ensamblador seleccionado, es decir, si está libre.

- 10.i) Si el ensamblador está ocupado con el conjunto tuerca-tornillo o roscando, el robot se traslada o permanece en la posición S. Vuelve a iniciar la secuencia.
- 10.ii) Si el ensamblador está libre, el robot 1 sigue con la secuencia
- 11) El robot 1 se mueve hacia las coordenadas del ensamblador correspondiente.
  - 12) El robot 1 deposita la tuerca hexagonal en la plaquita del ensamblador.
  - 13) El robot 1 asciende ligeramente para buscar una posición segura y gira su eje 6 cambiando de nuevo a la herramienta 1 (dedos anillos).
  - 14) El robot 1 vuelve se dirige al roscador y deposita el anillo en el interior de la tuerca hexagonal.
  - 15) Se repite el proceso.

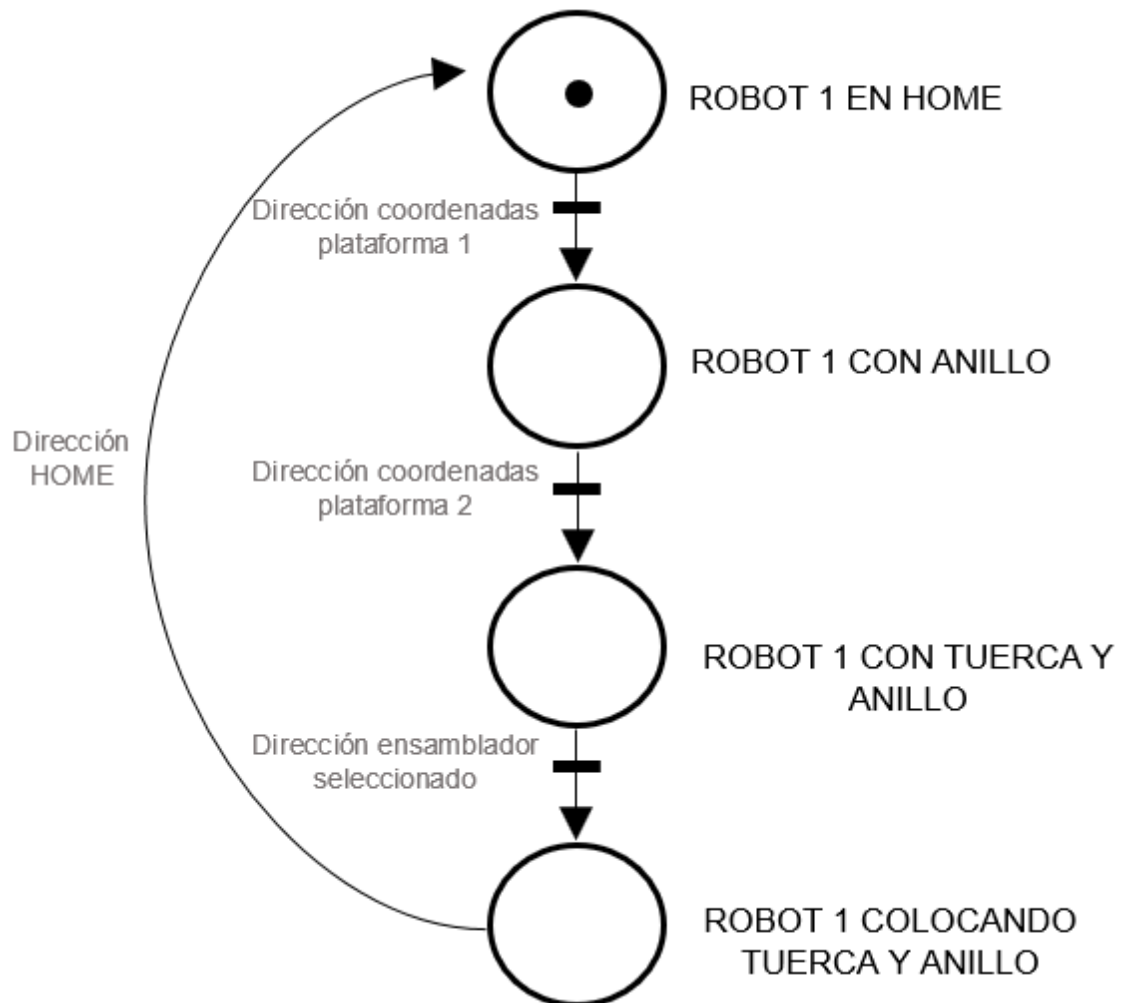


Figura 6.1: Red de Petri funcionamiento robot 1

### Tiempos acciones

En este apartado se van a presentar las duraciones de las acciones que se realizan en el funcionamiento base. El tiempo de ciclo del robot 1 es la suma de estos tiempos.

Una vez se consigue que el robot 1 alcance la velocidad adecuada, la plataforma va a tener siempre piezas y nunca quedará vacía. De esta manera, no se perdería tiempo nunca en el paso 2 y puede ser que en algunos ciclos la plataforma no necesite vibrar ni la cámara tomar una nueva foto (pasos 3 y 4). Estos pasos, unidos a los de movimiento y recogida de las tuercas y anillos van a conformar el bloque de recogida de anillos y tuercas que oscilará de media sobre los 3 segundos.

Tras recoger las piezas, el robot va a preguntar al PLC por el estado del ensamblador que le toca ir. En el caso de que el roscador esté libre, el PLC ordena al brazo ir al ensamblador correspondiente. En cambio, si el roscador está ocupado, el robot 1 se mueve a una posición de espera llamada posición S hasta que reciba la señal del PLC que le permite desplazarse. En este caso el robot 2 se acaba de ir del roscador y podría haber un choque. Para evitarlo, se ha decidido añadir un tiempo de demora al brazo de 0'25 segundos.

Los movimientos del robot al ensamblador van a variar según cual sea el ensamblador que toca en cada ciclo. Realizamos una media entre lo que tarda a ambos destinos y obtenemos un tiempo de 0'5 segundos. Sin embargo, este tiempo no nos interesa para el ciclo final ya que el robot 1 va a tener que ir casi siempre del sistema de alimentación 2 a la posición S, y de allí al ensamblador correspondiente. Estos tiempos son de 0,5 segundos y 0,25 segundos respectivamente.

En el caso de la vuelta a HOME ocurre lo mismo que nos pasaba en la ida, por lo que vamos a poner una media de 0'75 segundos.

El tiempo para colocar la tuerca y anillo en un ensamblador es de 1 segundo. Hemos puesto un tiempo tan largo para una acción tan sencilla debido a que es muy importante que ambas piezas se ensamblen perfectamente en la plaquita.

$$t_{\text{recogida anillo y tuerca}} = 3 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{demora tras señal PLC}} = 0,25 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{Robot 1 (sistema alimentación 2-ensambladorX)}} = 0'5 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{Robot 1 (sistema alimentación 2-posición S)}} = 0'5 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{demora tras señal PLC}} = 0,25 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{Robot 1 (posición S-ensambladorX)}} = 0'25 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{colocar tuerca y anillo}} = 1 \text{ segundo}$$

$$t_{\text{Robot 1 (ensambladorX-HOME)}} = 0'75 \text{ segundos}$$

Tabla 6.2: Tabla tiempos acciones funcionamiento base

Finalmente, para calcular la duración media de ciclo del funcionamiento base, hay que sumar todos estos tiempos. Como ya hemos comentado, es muy probable que este robot deba esperar en algún grupo de referencias (modos 1 y 2). Sin tener en cuanto la espera, la duración del ciclo es de 5 segundos. En el caso de que tengamos en cuenta la espera, y por tanto, el robot se mueva de manera distinta, el tiempo de ciclo del robot 1 será de 5,75 segundos más la espera que le haya tocado. La suma de tiempos se pueden ver en la figura 6.2.

$$t_{rec} + t_{R1 (alim\ 2-ensX)} + t_{coloc} + t_{R1 (ensX-alim1)} = 3 + 0,5 + 1 + 0,75 = 5\ s$$

$$t_{rec} + t_{R1 (alim\ 2-S)} + T_{espera} + t_{dem} + t_{R1 (S-ensX)} + t_{coloc} + t_{R1 (ensX-alim1)} = 3 + 0,5 + 0,25 + 0,25 + 1 + 0,75 = 5,75\ s + T_{espera}$$

Figura 6.2: Cálculos tiempo ciclo funcionamiento base

### Funcionamiento variable

El ciclo del robot 2, combinados con los elementos comunes, es el que determina el modo de funcionamiento. El ciclo combinado realizado por estos elementos se le va a llamar ciclo variable. A diferencia del robot 1, el robot 2 sí va a cambiar sus movimientos dependiendo del modo en el que se encuentra trabajando. Existen ciertos modos, como el 1 y el 2, o el 3 y el 4, que van a tener prácticamente los mismos movimientos. De hecho, su única diferencia va a encontrarse en el modo de recogida y la necesidad de programar posiciones de seguridad intermedias en los desplazamientos del robot 2.

El ciclo variable va a ser siempre más alto que el ciclo del robot 1, en todos los modos de funcionamiento. En consecuencia, el tiempo que tarda el robot 2 desde coger la pieza hasta dejarla caer por la rampa de salida es la duración que nos indica el tiempo de ciclo del proceso.

La posición E es una posición programada en el punto medio de los dos ensambladores cuya posición se puede observar en el plano general (figura 6.38). Esta posición es un punto de espera para el robot 2 en el caso de que los dos roscadores estuvieran libres de tuerca-anillo y no pudiese actuar. El robot 2 ocupará esta posición únicamente en el primer ciclo de cada producción porque el tiempo de recogida del cuerpo del racor es menor que el tiempo de recogida del conjunto anillo-tuerca. Más adelante, como el ciclo del robot 1 es más rápido que el ciclo del robot 2, nunca encontrará los dos roscadores libres.

El ciclo variable, es decir, el ciclo del robot 2 va a ser siempre más alto que el ciclo del robot 1, en todos los modos de funcionamiento. En consecuencia, el tiempo que tarda el robot 2 desde coger la pieza hasta dejarla caer por la rampa de salida es la duración que nos indica el tiempo de ciclo del proceso.

Dentro de la memoria, sólo se va a encontrar la secuencia de actuación del robot 2 en el modo 5, que es el más largo y completo. Las secuencias del resto de los modos de funcionamiento han sido adjuntadas en el apéndice 4 de los anexos. En la memoria sólo aparecerá una breve descripción.

Además, también se ha añadido la red de Petri que seguiría el conjunto en el modo 1. El resto de las redes de Petri del resto de los modos se encuentran adjuntas en el apéndice 5.

### Tiempos acciones

En este apartado se van a presentar las duraciones de las acciones que se realizan en el funcionamiento variable. Los tiempos de ciclo de los 5 modos son sumas de estos tiempos.

Una vez se consigue que el robot 1 alcance la velocidad adecuada, la plataforma va a tener siempre piezas y nunca quedará vacía. De esta manera, no se perdería tiempo nunca en el paso 2 y puede ser que en algunos ciclos la plataforma no necesite vibrar ni la cámara tomar una nueva foto (pasos 3 y 4). Estos pasos, unidos a los de movimiento y recogida de las tuercas y anillos van a conformar el bloque de recogida cuerpos del racor que oscilará de media sobre los 2 segundos. El tiempo de recogida de los codos es un poco superior debido a que las posiciones de recogida están más restringidas.

Los movimientos de recorrido del robot 2 se han asignado a partir de pruebas realizadas con los brazos de los automatismos ya implantados moviéndolos a posiciones aproximadas.

Los tiempos de colocar el cuerpo en el interior del conjunto anillo-tuerca son especialmente lentos porque es un proceso muy importante y tiene que ser realizado con la máxima precisión. Se programará una posición de seguridad encima del ensamblador y se hará bajar al robot lentamente. Ocurre lo mismo con la ½ vuelta que da el robot al colocar la pieza,

que también ha sido programada a una velocidad muy lenta. Si en el funcionamiento físico del automatismo nos damos cuenta de que no hace falta tanta lentitud subiremos la velocidad disminuyendo el tiempo de ciclo.

El primer tiempo de liberación del brazo para cambiar el agarre es especialmente alto porque queremos que se recuperen totalmente los grados de libertad de los ejes del robot ya que después volverán a ser exigidos. Además, el sensor de comprobación tiene que indicar al robot donde agarrar la pieza, por lo que tarda un tiempo en inspeccionar la pieza.

El roscado es de 2'5 segundos, duración calculada a partir del tiempo de roscado de la máquina semiautomática actual. Nuestra plataforma gira a una velocidad determinada para conseguir este tiempo de roscado.

Los tiempos que se refieren al ensamblador X, son tiempos medios entre lo que tarda el robot 2 en llegar a cada uno de los ensambladores.

Todos los tiempos se pueden observar en la tabla 6.3.

$$\begin{aligned}
 t_{\text{recogida cuerpo del racor}} &= 2 \text{ segundos} \\
 t_{\text{recogida cuerpo del racor CASO CODOS}} &= 2'5 \text{ segundos} \\
 t_{\text{Robot 2 (sistema alimentación 3-ensambladorX)}} &= 0'5 \text{ segundos} \\
 t_{\text{colocar cuerpo}} &= 0'5 \text{ segundos} \\
 t_{\text{colocar cuerpo CASO CODOS}} &= 0'75 \text{ segundos} \\
 t_{1/2 \text{ vuelta}} &= 0'5 \text{ segundos} \\
 t_{\text{liberación+cambio agarre}} &= 1 \text{ segundo} \\
 t_{\text{embrague motor}} &= 0'25 \text{ segundos} \\
 t_{\text{roscado}} &= 2'5 \text{ segundos} \\
 t_{\text{soltar pieza y ascender ligeramente}} &= 0,25 \text{ segundos} \\
 t_{\text{inspección sensor}} &= 0'25 \text{ segundos} \\
 t_{\text{descender y agarrar pieza}} &= 0'25 \text{ segundos} \\
 t_{\text{Robot 2 (ensambladorX-ensambladorX)}} &= 0,5 \text{ segundos} \\
 t_{\text{Robot 2 (ensambladorX-rampa salida)}} &= 1 \text{ segundos} \\
 t_{\text{Robot 2 (rampa salida-HOME)}} &= 0'25 \text{ segundos} \\
 t_{\text{Robot 2 (ensambladorX-caja rechazo)}} &= 0,15 \text{ segundos} \\
 t_{\text{Robot 2 (caja rechazo-HOME)}} &= 0,75 \text{ segundos} \\
 t_{\text{colocar tuerca y anillo}} &= 1 \text{ segundo}
 \end{aligned}$$

Tabla 6.3: Tabla tiempos funcionamiento variable

El tiempo de rechazo de una pieza es común a todos los funcionamientos. En este caso, el robot se moverá desde el ensamblador hasta su propia caja de rechazos y después volverá a HOME para reiniciar la secuencia. La duración del proceso es de 0'85 segundos. Por tanto, el tiempo perdido en la producción por cada fallo de montaje será el tiempo de ciclo que llevará hasta ese momento más los 0'85 segundos extra para reiniciar.

$$t_{R2(\text{ensX-rechazo})} + t_{R12(\text{rechazo-HOME})} = 0,15 + 0'75 = \mathbf{0,85 \text{ s}}$$

*Modo 1: Unión recta de 1 punta*

El grupo de referencias que corresponden a este modo son las que pertenecen a los tipos:

- AL\_RC\_                      AS\_RC                      Z AL\_RC                      Z AS\_RC
- AL\_R\_WD\_                  AS\_R\_WD                  Z AL\_R\_WD                  Z AS\_R\_WD
- AKL\_R\_                      AKS\_R\_                      Z AKL\_R\_                      Z AKS\_R\_
- AKL\_R\_NPT                  ALS\_R\_NPT                  Z AKL\_R\_NPT                  Z AKS\_R\_NPT
- KORL\_TLM                  KORS\_TLM                  Z KORL\_TLM                  Z KORS\_TLM

Como se trata de referencias rectas, no ocupan mucho espacio dentro de las plataformas y podemos almacenar más. A partir de las documentaciones técnicas, dónde se especifican los tamaños, y con las tablas de consumos del 2018, dónde podemos ver cuáles son las más consumidas, hemos decidido cortar este grupo de referencias rectas en una longitud de 80mm. Ambas informaciones se encuentran disponibles en los anexos.

Por tanto, los cuerpos del racor de uniones rectas cuya longitud de rosca a rosca sea mayor de 80 mm no se producirán. En este modo de funcionamiento no existe ningún problema porque ninguna referencia es más grande que 60 mm. Se van a producir todas las referencias de serie ligera desde tubo de 6 a 28 (p.e. desde AL 6 R 1/8 WD hasta AL 28 R 1) y de serie pesada de tubo de 8 a 25 (p.e. desde AKS 8 R 1/4 hasta AKS 25 R 1). Las referencias cortadas no tienen un consumo elevado.

Secuencia de funcionamiento

Este modo de funcionamiento es el más simple, y por tanto, la secuencia más corta de duración. El sistema de alimentación vibra dejando caer piezas a la plataforma de los cuerpos. Tras la foto de la cámara de visión artificial, el robot 2 recoge un cuerpo de racor y lo lleva al ensamblador libre en ese momento. Coloca el cuerpo en el interior del conjunto anillo-tuerca y añade media vuelta para unir ligeramente las piezas. Tras dejarlo, se mueve a una posición de seguridad, dónde relaja sus ejes, que han sido muy exigidos con esta media vuelta, y vuelve al ensamblador agarrando el racor por sus caras planas. Se produce el roscado, aún agarrando el racor. Después, el robot 2 vuelve a la posición de seguridad, permitiendo al sensor de comprobación que inspeccione el ensamblaje. Tras esta acción, el robot 2 recoge el racor y lo lleva a la rampa de salida o la caja de rechazos, dependiendo del veredicto del sensor.

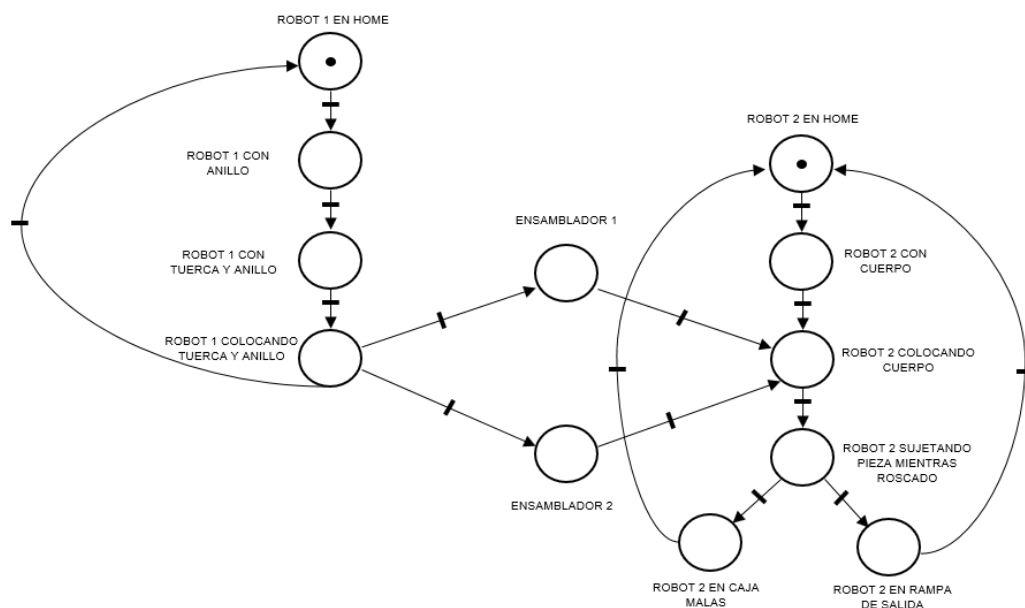


Figura 6.3: Red de Petri modo 1

### Tiempo de ciclo aproximado

$$\begin{aligned}
 & t_{rec} + t_{R2 (alim\ 3-ensX)} + t_{coloc} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agar} + t_{embrag} + t_{rosc} + t_{asc} + t_{insp} + t_{desc} \\
 & + t_{R2 (ensX-salida)} + t_{R2 (salida-HOME)} \\
 & = 2 + 0'5 + 0'5 + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 1 + 0'25 \\
 & = \mathbf{9'25\ s}
 \end{aligned}$$

Figura 6.4: Cálculo tiempo ciclo modo 1

Como hemos dicho antes, el tiempo de ciclo del robot 2 va a determinar cuánto tardamos en ensamblar una punta. Por tanto, el tiempo de ciclo del modo 1 es de 9'25 segundos.

### *Modo 2: Unión codo de 1 punta*

El grupo de referencias que corresponden a este modo son las que pertenecen a los tipos:

- |             |           |             |             |
|-------------|-----------|-------------|-------------|
| • CKL_R_    | CKS_R_    | Z CKL_R_    | Z CKS_R_    |
| • CKL_R_NPT | CKS_R_NPT | Z CKL_R_NPT | Z CKS_R_NPT |
| • EEL_TLM   | EES_TLM   | Z EEL_TLM   | Z EES_TLM   |

Este modo ensambla piezas con forma de codo a 90°. Esta disposición, en piezas de gran tamaño, aporta muchas dificultades al funcionamiento del sistema: ocupa mucho espacio en las plataformas, robot limitado en sus movimientos porque sobresale una punta ...

Por esta razón, teniendo en cuenta la hoja de consumos, se ha decidido parar la producción de referencias en los codos destinados a unir tubos de 22. La máquina ensamblará racores de serie ligera de tubo de 6 hasta tubo de 22 (p.e. de CKL 6 R 1/8 NPT hasta CKL 22 R 3/4 NPT) y de seri pesada de tubo de 8 hasta 20 (p.e. de CKS 8 R 1/8 hasta CKS 20 R 3/4).

### Secuencia de funcionamiento

La secuencia de funcionamiento es similar a la explicada en el modo 1. Las únicas diferencias ocurren en la recogida del cuerpo de la plataforma y en la colocación de este en el ensamblador. Estos movimientos deben ser más precisos debido a su forma más compleja, por lo que serán movimientos más lentos.

### Tiempo de ciclo aproximado

$$\begin{aligned}
 & t_{rec\ CODOS} + t_{R2 (alim\ 3-ensX)} + t_{coloc\ CODOS} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrague\ motor} + t_{rosc} \\
 & + t_{asc} + t_{insp} + t_{desc} + t_{R2 (ensX-salida)} + t_{R2 (salida-HOME)} \\
 & = 2'5 + 0'5 + 0'75 + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 1 + 0'25 \\
 & = \mathbf{10\ s}
 \end{aligned}$$

Figura 6.5: Cálculo tiempo ciclo modo 2

El tiempo que tarda el modo 2 en ensamblar una punta, es decir, su tiempo de ciclo, es de 10 segundos.

### Modo 3: Unión recta de 2 puntas

El grupo de referencias que corresponden a este modo son las que pertenecen a los tipos:

- |           |         |           |           |
|-----------|---------|-----------|-----------|
| • DL_     | DS_     | Z DL_     | Z DS_     |
| • TEL_TLM | TES_TLM | Z TEL_TLM | Z TES_TLM |
| • ESVL_   | ESVS_   | Z ESVL_   | Z ESVS_   |
| • SVL_    | SVS_    | Z SVL_    | Z SVS_    |

En este modo, aunque el robot tenga que realizar los mismos movimientos, sus referencias tienen formas muy diferentes. Por tanto, va a haber que separar en distintos grupos para explicar donde se corta cada una.

Las referencias rectas no ocupan demasiado espacio dentro de las plataformas y podemos almacenar más. Por tanto, teniendo en cuenta tamaños y consumos, no se van a producir todas las referencias que tengan más longitud que 80 mm. Este tamaño corresponde a la referencia de serie ligera DL 28 y serie pesada DS 25.

Respecto a las otras referencias puramente rectas (SVL y ESVL con el resto de su fila), se tratan de pasatabiques. Por tanto, van a ser muy largos y no se producirán referencias más grandes que ESVL 12, ESVS 12 y SVL 18, SVS 16 que se ajustan a medidas menores de 80 mm.

El tipo de referencia TEL\_TLM, aunque se ensamble como una unión recta, tiene forma de unión en T. Esto aporta muchísimas dificultades al resto del funcionamiento y es el motivo por el que no se produzcan referencias superiores a TEL 18 TLM y TES 16 TLM.

### Secuencia de funcionamiento

La secuencia de funcionamiento es igual a la del modo 1 hasta acabar el primer roscado. El cambio aparece una vez el sensor inspecciona la unión. En caso de que sea adecuada, el robot 2 llevará el racor al ensamblador opuesto, colocando la punta no ensamblada en el conjunto anillo-tuerca. En este ensamblador se realizará otro roscado + inspección, realizando las mismas acciones explicadas en el modo 1.

### Tiempo de ciclo aproximado

$$\begin{aligned}
 & t_{rec} + t_{R2(alim\ 3-ensX)} + t_{coloc} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrag} + t_{rosc} + t_{asc} + t_{insp} \\
 & + t_{desc} + t_{R2(ensX-ensX)} + t_{coloc} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrag} + t_{rosc} \\
 & + t_{asc} + t_{insp} + t_{desc} + t_{R2(salida-HOME)} \\
 & = 2 + 0'5 + 0'5 + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 0'5 + 0'5 + 0'5 \\
 & + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 1 + 0'25 = 15'25\ s
 \end{aligned}$$

Figura 6.6: Cálculo tiempo ciclo modo 3

El tiempo de ciclo del modo 3 es de 15,25 segundos. Como este modo ensambla uniones rectas con 2 puntas, la duración en ensamblar una punta es de 7'625 segundos. Como este modo ensambla más de una punta el robot 2 se aprovecha mejor del sistema de 2 ensambladoras y reduce su tiempo para montar una punta.

### Modo 4: Unión codo de 2 puntas

El grupo de referencias que corresponden a este modo son las que pertenecen a los tipos:

- |           |         |           |           |
|-----------|---------|-----------|-----------|
| • EL_     | ES_     | Z EL_     | Z ES_     |
| • LEL_TLM | LES_TLM | Z LEL_TLM | Z LES_TLM |



Este modo únicamente produce 2 tipos de referencia cuya forma es completamente distinta. El tipo de referencia EL\_ es un codo de 90°, mientras que LEL\_TLM es una unión en T.

Vamos a seguir la misma normativa iniciada en los modos anteriores. Sabiendo que los racores EL\_ son parecidos a los CKL\_R\_ y los LEL\_TLM tienen la misma forma que los TEL\_TLM, cortaremos las referencias de este modo en EL 22, ES 20 y LEL 18 TLM, LES 16 TLM.

#### Secuencia de funcionamiento

El robot 2 va a realizar los mismos movimientos que en el modo 3. La única diferencia va a ocurrir en los giros de acomodación del robot 2 debido a la forma más compleja del racor, que provocará movimientos más lentos para conseguir mejor precisión.

#### Tiempo de ciclo aproximado

$$\begin{aligned}
 & t_{rec\ CODOS} + t_{R2\ (alim\ 3-ensX)} + t_{coloc\ CODOS} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrag} + t_{rosc} + t_{asc} \\
 & + t_{insp} + t_{desc} + t_{R2\ (ensX-ensX)} + t_{coloc\ CODOS} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} \\
 & + t_{embrag} + t_{rosc} + t_{asc} + t_{insp} + t_{desc} + t_{R2\ (salida-HOME)} \\
 & = 2'5 + 0'5 + 0'75 + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 0'5 + 0'75 \\
 & + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25 + 1 + 0'25 = \mathbf{16'25\ s}
 \end{aligned}$$

*Figura 6.7: Cálculo tiempo ciclo modo 4*

El tiempo de ciclo del modo 4 es de 16,25 segundos. Este modo se encarga de ensamblar dos puntas en codos de 90°, por tanto, la duración en ensamblar una punta se reduce a la mitad resultando 8'125 segundos. Este modo también justifica la elección de haber duplicado la roscadora.

#### *Modo 5: Unión T de 3 puntas*

El grupo de referencias que corresponden a este modo son las que pertenecen a los tipos:

- TL\_                                      TS\_                                      Z TL\_                                      Z TS\_

Este modo se ha creado para este tipo de referencias, las únicas que ensamblan 3 puntas en cada racor. Son racores que se utilizan para realizar una unión en T y, por tanto, su forma es compleja. Hay que cortar las referencias en TL 18 y TS 16 para que no aporten dificultades excesivas al funcionamiento del sistema.

#### Secuencia de funcionamiento

En esta ocasión, a modo de ejemplo, se adjunta la secuencia completa de este tipo de funcionamiento:

- 1) Se mueve robot a HOME.
- 2) Las tolvas del sistema de alimentación 3 dejan caer producto a las plataformas hasta que el sistema de visión detecta que son suficientes.
  - 2.i) Si el sistema de visión detecta que son suficientes al empezar el proceso no se deja caer ninguna pieza.
- 3) La plataforma prepara el producto por medio de la vibración para separar y colocar las piezas en posición de recogida.
  - 3.i) Si los sistemas de visión ya han guardado en su memoria una pieza en posición adecuada, la plataforma no vibra.
- 4) La cámara realiza una foto y el sistema de visión reconoce las piezas que se pueden recoger.

- 4.i) Si los sistemas de visión ya han guardado en su memoria una pieza en posición adecuada, no se realiza una nueva foto.
- 4.ii) Si el sistema de visión no reconoce piezas que se puedan recoger, se vuelve al paso 3 de la secuencia.
- 5) Mandan las coordenadas al robot 2.
- 6) El robot 2 se mueve a las coordenadas indicadas por el sistema de visión y recoge el cuerpo del racor.
- 7) En este momento se pregunta al PLC si los roscadores están cargados, es decir, si tienen el conjunto tuerca-anillo posado en su plaquita.
  - 7.i) Si existe un ensamblador libre, el robot planea dirigirse hacia este ensamblador.
  - 7.ii) En el caso de que los dos ensambladores estén cargados con el conjunto tuerca-anillo, el robot pregunta al PLC cual ha sido el ensamblador que más tiempo lleva parado y lo selecciona como objetivo
  - 7.iii) En el caso de que los dos ensambladores estén vacíos, el robot se moverá o permanecerá a la posición de seguridad E. Vuelta al paso 7 de la secuencia.
- 8) El robot 2 se mueve a las coordenadas del ensamblador seleccionado.
- 9) El robot 2 introduce el cuerpo del racor en el interior del conjunto anillo-rosca (movimiento muy lento y preciso)
- 10) El robot 2 gira  $\frac{1}{2}$  de rosca ( $180^\circ$ ) para fijar mínimamente todo el ensamblaje (movimiento de velocidad baja) sin soltar el cuerpo del racor.
- 11) El robot 2, abre sus pinzas dejando el conjunto unido, y se eleva a una posición segura para deshacer los giros del eje 6 anteriores y quedar con más libertad de giro.
- 12) La cámara de comprobación indica al robot dónde se encuentran las caras planas del cuerpo del raco y el robot realiza un agarre muy fuerte del conjunto desde allí.
- 13) El ensamblador gira para roscar el conjunto tuerca-anillo en el cuerpo del racor, con el brazo todavía agarrando la pieza.
- 14) El robot 2 suelta la pieza y se desplaza a la posición segura para liberar el campo de visión del sensor de comprobación
- 15) El sensor de comprobación analiza el ensamblaje y da un resultado al PLC.
  - 15.i) Si se detecta un error, el robot recoge la pieza y se mueve para depositar la pieza en la zona de rechazo. Se reinicia la secuencia.
  - 15.ii) Si el sensor da la pieza como correctamente ensamblada, el robot sigue con la secuencia.
- 16) El robot 2 vuelve a recoger el racor por las caras planas.
- 17) El robot 2 pregunta al PLC si el otro roscador está cargado.
  - 17.i) Si el roscador está vacío el robot 2 se traslada o, permanece en la posición de seguridad E. Vuelve al paso 17.
  - 17.ii) Si el roscador está cargado el robot 2 sigue con la secuencia.
- 18) El robot 2 se mueve a las coordenadas del nuevo ensamblador.
- 19) El robot 2 introduce el cuerpo del racor en el interior del conjunto anillo-rosca (movimiento muy lento y preciso)
- 20) El robot 2 gira  $\frac{1}{2}$  de rosca ( $180^\circ$ ) para fijar mínimamente todo el ensamblaje (movimiento de velocidad baja) sin soltar el cuerpo del racor.
- 21) El robot 2, abre sus pinzas dejando el conjunto unido, y se eleva a una posición segura para deshacer los giros del eje 6 anteriores y quedar con más libertad de giro.
- 22) La cámara de comprobación indica al robot dónde se encuentran las caras planas del cuerpo del raco y el robot realiza un agarre muy fuerte del conjunto desde allí.
- 23) El ensamblador gira para roscar el conjunto tuerca-anillo en el cuerpo del racor, con el brazo todavía agarrando la pieza.
- 24) El robot 2 suelta la pieza y se desplaza a la posición segura para liberar el campo de visión del sensor de comprobación.
- 25) El sensor de comprobación analiza el ensamblaje y da un resultado al PLC.
  - 23.i) Si se detecta un error, el robot recoge la pieza y se mueve para depositar la pieza en la zona de rechazo. Se reinicia la secuencia.

- 23.ii) Si el sensor da la pieza como correctamente ensamblada, el robot sigue con la secuencia.
- 26) El robot 2 vuelve a recoger el racor por las caras planas.
- 27) El robot 2 pregunta al PLC si el roscador opuesto está cargado.
- 27.i) Si el roscador está vacío, el robot 2 espera en la misma posición y vuelve al paso 27.
- 27.ii) Si el roscador está cargado, el robot 2 sigue con la secuencia.
- 28) El robot 2 pregunta al PLC si el otro roscador está cargado.
- 17.i) Si el roscador está vacío el robot 2 se traslada o, permanece en la posición de seguridad E. Vuelve al paso 17.
- 17.ii) Si el roscador está cargado el robot 2 sigue con la secuencia.
- 29) El robot 2 se mueve a las coordenadas del nuevo ensamblador.
- 30) El robot 2 introduce el cuerpo del racor en el interior del conjunto anillo-rosca (movimiento muy lento y preciso)
- 31) El robot 2 gira ½ de rosca (180°) para fijar mínimamente todo el ensamblaje (movimiento de velocidad baja) sin soltar el cuerpo del racor.
- 32) El robot 2, abre sus pinzas dejando el conjunto unido, y se eleva a una posición segura para deshacer los giros del eje 6 anteriores y quedar con más libertad de giro.
- 33) La cámara de comprobación indica al robot dónde se encuentran las caras planas del cuerpo del raco y el robot realiza un agarre muy fuerte del conjunto desde allí.
- 34) El ensamblador gira para roscar el conjunto tuerca-anillo en el cuerpo del racor, con el brazo todavía agarrando la pieza.
- 35) El robot 2 suelta la pieza y se desplaza a la posición segura para liberar el campo de visión del sensor de comprobación.
- 36) El sensor de comprobación analiza el ensamblaje y da un resultado al PLC.
- 23.i) Si se detecta un error, el robot recoge la pieza y se mueve para depositar la pieza en la zona de rechazo. Se reinicia la secuencia.
- 23.ii) Si el sensor da la pieza como correctamente ensamblada, el robot sigue con la secuencia.
- 37) El robot 2 vuelve a recoger el racor por las caras planas.
- 38) El robot 2 se dirige a la rampa de salida y abre sus dedos para depositar el racor final.
- 39) Se repite la secuencia.

### Tiempo de ciclo aproximado

$$\begin{aligned}
 & t_{rec} + t_{R2} (alim\ 3-ensX) + (t_{coloc} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrag} + t_{rosc} + t_{asc} + t_{insp} \\
 & \quad + t_{desc}) + t_{R2} (ensX-ensX) + (t_{coloc} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrag} + t_{rosc} \\
 & \quad + t_{asc} + t_{ins}) + t_{R2} (ensX-ensX) + (t_{coloc} + t_{1/2\ vuelta} + t_{cambio\ agarre} + t_{embrag} \\
 & \quad + t_{rosc} + t_{asc} + t_{ins}) + t_{desc} + t_{R2} (salida-HOME) \\
 & = 2 + 0'5 + (0'5 + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25) + 0'5 + (0'5 \\
 & \quad + 0'5 + 1 + 0'25 + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25) + 0'5 + (0'5 + 0'5 + 1 + 0'25 \\
 & \quad + 2'5 + 0'25 + 0'25 + 0'25) + 1 + 0'25 = \mathbf{21'25\ s}
 \end{aligned}$$

Figura 6.8: Cálculo tiempo ciclo modo 5

El tiempo de ciclo del modo 5 es de 21'25 segundos. Este modo se encarga de ensamblar 3 conjuntos anillo-tuerca en uniones en forma de T, por tanto, la duración en ensamblar una punta se reduce al tercio de su ciclo. El resultado final del ensamblaje por punta va a ser el más bajo debido a que, cuantas más puntas seguidas se tengan que ensamblar en un cuerpo del racor, más se aprovecha el sistema ensamblador. El resultado final es de 7'083 segundos por ensamblaje de punta.

### **Excepciones para tener en cuenta**

Antes de describir las secuencias automáticas de todos los modos de funcionamiento, hay que indicar una serie de especificaciones:

- Los puntos de agarre para todas las referencias tienen que ser comprobados en la instalación física del sistema. Los codos y las uniones en T podrían dar problemas si las garras del robot no las cogen con suficiente fuerza, las piezas se girasen y no colocasen de manera adecuada en el ensamblador. La forma cónica de la plaquita ha sido diseñada para evitar este problema pero podrían existir errores. La solución pensada en caso de que existiesen problemas es añadir unas garras encima del ensamblador que fijasen la posición antes de realizar la bajada al ensamblador. El tiempo de ciclo se aumentaría aproximadamente 1 segundo por unión tuerca-anillo, lo cual es un aumento considerable.
- Existen ciertos tipos de referencia de los modos de funcionamiento 1 y 2 cuyo primer agarre se realiza en una rosca cónica. Debido a la baja inclinación del cono, se cree que no aportará dificultades extra. No obstante, se ha buscado una solución por si acaso el resultado no es el esperado en el funcionamiento físico: diseñar unas garras diferentes propias para estas referencias.
- Hay un tipo de referencia muy especial, la ESVL\_, que no tiene zona hexagonal en su cuerpo, sino que es todo un cilindro. La programación del segundo punto de agarre se colocará en el mismo cilindro a la altura que se considere adecuado, dependiendo del tamaño de la referencia. El agarre es peor que el de una doble superficie por lo que si no aguanta el racor fijo durante el roscado se retirarán este tipo de referencias. No tienen alto consumo por lo que no merece la pena buscar una solución cara para implementarlas.
- El giro de 1/2 de tuerca (180°) que va a realizar el robot 2 al llegar al ensamblador para anclar mínimamente el conjunto, podría dar algún problema en los codos y las uniones en T. Debido a este problema hay que fijar claramente cuales las posiciones de recogida adecuadas, porque sino el giro del eje 6 del robot, aunque tiene una amplitud de 800° (-400° a 400°), podría verse superado. Este contratiempo provocará que haya menos piezas en posición adecuada y en algún ciclo se tarde más en encontrar el racor. En consecuencia, el tiempo de ciclo medio de estos modos (2,4 y 5) puede resultar superior.
- El modo de funcionamiento 5, correspondiente a las uniones de 3 puntas con forma de T van a tener un orden de roscado siempre igual. Se programarán las progresivas entradas del racor en el ensamblador para que funcione de esta manera. Primero se roscarán las dos puntas cuya unión sería recta, es decir, los extremos más separados uno de otro. El orden entre estos dos primeros ensamblados no importa. El tercer roscado deberá ser siempre la punta orientada en dirección contraria a las otras 2. Se observa claramente en la figura 6.8.

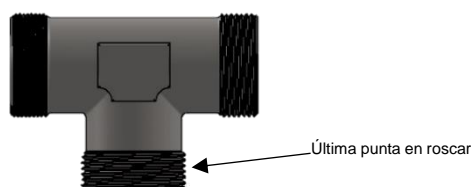


Figura 6.9: Explicación roscado de 3 puntas uniones en T

- Los programas correspondientes a referencias con TL métrica (EEL\_TLM, LEL\_TLM y TEL\_TLM) deben ser revisados para adaptarse a su nueva forma. El programa que se va a copiar y pegar no tiene en cuenta la punta extra del racor, por lo que ésta podría chocar con los demás elementos. En consecuencia, los cambios realizados en la creación de estos programas puede ser más largos ya que habrá que cambiar más

posiciones o incluso añadir nuevas para guiar el camino del robot evitando los elementos. Este problema también provocaría un aumento de la duración del ciclo.

- Los tipos de referencia que tienen incorporado un complemento adicional como una junta o tuerca TL métrica serán cargados en las plataformas sin estos complementos. Por tanto, los operarios los tendrán que añadir a posteriori.

Por último, añadir que todos estos funcionamientos están pendientes a revisión, ya que es posible que aparezcan muchos más problemas en la actividad física del automatismo y se tenga que cambiar la secuencia o añadir elementos nuevos.

## Tiempo de ciclo medio sistema

Con motivo de la correcta presentación de la oferta del automatismo, se va a calcular un tiempo medio de ciclo. Esta duración va a tener en cuenta los valores de producción que tiene la empresa, sabiendo así cuántos ciclos se van a realizar de cada modo. En la siguiente tabla se presenta la utilización que hubiera tenido cada modo en 2018, que utilizaremos como base para obtener la duración media de ciclo:

Modos de funcionamiento	Producción [puntas]	Porcentaje sobre el total
1	473.270	0,307
2	136.958	0,089
3	541.883	0,352
4	199.055	0,129
5	188.465	0,122

Tabla 6.4: Producción según modo de funcionamiento

Se expone también una tabla resumen de la duración de ciclo de cada modo:

Modos de funcionamiento	Tiempo ciclo [s]
1	9'25
2	10
3	7'625
4	8'125
5	7'083

Tabla 6.5: Duración ciclo según modo de funcionamiento

Apoyándonos en estas dos tablas y con una operación sencilla obtenemos el tiempo de ciclo final que va a tener nuestro automatismo:

$$T_{\text{ciclo}} = 0'307 * 9'25 + 0'089 * 10 + 0'352 * 7'625 + 0'129 * 8'125 + 0'122 * 7'083$$

$$= \mathbf{8,326 \text{ segundos}}$$

El tiempo medio de ciclo es menor de los 10 segundos que nos habíamos puesto como objetivo. Por tanto, la planificación del proyecto se considera un éxito y se va a poder rentabilizar el automatismo en incluso menos tiempo.

Sin embargo, como se lleva comentando durante todo el proyecto, no se pueden tomar estos valores como buenos porque aún falta realizar el montaje físico del automatismo. En este montaje podrían aparecer las incidencias especificadas en este mismo bloque u otras nuevas que subieran la duración media del ciclo.

## Preparación para una referencia

Cuando ya se hayan programado y ajustado físicamente todas las referencias, el automatismo ya estará preparado para funcionar a alto rendimiento. En este momento, la función de los operarios se limitará a vigilar la máquina, actuar en caso de error y preparar la fabricación.

En caso de que se tenga que programar un cambio de referencia en la fabricación, hay que realizar varias acciones para preparar e iniciar el funcionamiento.

- I. La máquina ha de estar vacía de piezas (tolvas, plataformas vibratorias, ensambladores, plataforma de inspección y dedos).
- II. Con la puerta abierta (para asegurar que se ha abierto la instalación y se ha vaciado la máquina) se selecciona la referencia de racor a ensamblar en la pantalla fabricación del HMI.
- III. Hay que asegurar que están puestos los dedos de los robots 1 y 2
- IV. Observar el tamaño del hexágono de las plaquitas de los ensambladores y cambiarlas si es necesario.
- V. Indicar el nuevo apriete máximo en el variador electrónico de frecuencia.
- VI. Validar cambio de referencia pulsando CAMBIO FABRICACIÓN en pantalla fabricación del HMI.
- VII. Cerrar puerta.
- VIII. Llenar las tolvas de producto con las piezas.
- IX. Pulsar botón REARME en la puerta del armario eléctrico.
- X. Pulsar MARCHA en el HMI.
- XI. La máquina comienza el ciclo de forma automática.

## 7. Conclusiones

Considero que se han cumplido los objetivos propuestos satisfactoriamente. Se ha conseguido proponer un sistema autónomo que realice el ensamblaje del producto racor DIN 2353 respetando todas las restricciones que nos había puesto el grupo DICSA.

Para alcanzar el éxito del proyecto y conseguir una rentabilidad real era muy importante que el automatismo respetara las dos condiciones básicas del proyecto, el tiempo de ciclo y el presupuesto máximo. Finalmente, no sólo han sido respetadas sino que he conseguido disminuirlas. El tiempo de ciclo, fijado inicialmente en 10 segundos, ha resultado disminuido a 8'326 segundos. Por tanto, la producción va a ser mayor y más rápida, recuperando la inversión inicial en menos tiempo. El presupuesto inicial de 180.000 € también se ha conseguido reducir a 150.000 €, rebajando la inversión inicial que tiene que afrontar la empresa y aumentando el beneficio final.

El sistema también ha conseguido reducir al máximo las operaciones mecánicas tediosas que hacían perder mucho tiempo. Operarios sin formación específica pueden cambiar la producción de tipo de referencia de manera fácil y rápida. Esta condición era especialmente importante debido al gran número de piezas que conforma el producto racor DIN 2353.

Respecto a la simplicidad en el manejo del sistema, estimo que se ha cumplido con creces gracias a los controladores extra que se han añadido y a la simplicidad del mando FlexPendant propio de los robots ABB. Juzgo que los operarios de fábrica de DICSA están en condiciones de resolver fallos que pueda tener el automatismo, e incluso de programar la implantación de nuevas referencias siempre que tengan un patrón de movimiento similar a los modos ya programados.

También se han cumplido las condiciones de seguridad gracias principalmente al vallado perimetral que evita el acceso humano al interior del sistema mientras éste está activado. Se han añadido varias setas emergencias en puntos clave del sistema que se pueden pulsar en caso de peligro. Los riesgos residuales se han reducido al máximo, por lo que los trabajadores de DICSA van a poder operar con esta máquina sin ningún tipo de exposición.

En el ámbito personal, quiero comentar que la realización de este Trabajo de Fin de Grado ha sido todo un reto. He tenido que realizar muchas modificaciones respecto a la idea inicial por los problemas que han ido surgiendo conforme avanzaba el proyecto. Solucionar estos problemas me han hecho crecer en varios campos de estudio, como el eléctrico, automático, informático e incluso el económico. H

También cabe destacar que me he formado, trabajando en una empresa por primera vez, hecho que veo muy útil para mi futuro empleo como ingeniero. He aprendido a colaborar con distintas personas dentro del grupo DICSA, comunicarme con los distintos proveedores de los elementos y aprender cuales son las distintas labores a las que puede dedicarse un ingeniero.

Por último, comentar que el grupo DICSA ha valorado positivamente este proyecto. Ingeniería de producción lo utilizará como base para desarrollar e implementar el nuevo automatismo, previsto para funcionar en 2020.



## 8. Bibliografía

- [UNE, 2008]- AENOR (octubre 2008). *Conexiones de tubos metálicos para transmisiones hidráulicas y neumáticas y aplicaciones generales. Norma UNE-EN ISO 8434-1.*
- [ISO 1, 1991]- DIN (Deutsches Institut für Normung) (junio 1991). *Lötlose Rohrverschraubungen mit Schneidring. Norma racor DIN 2353.*
- [ISO 2, 1994]- DIN (mayo 1994). *Schneidringe. Norma anillo de corte 3681.*
- [ISO 3, 1985]- DIN (mayo 1985). *Überwurfmuttern. Norma tuerca métrica DIN 3870.*
- [SOLIDWORKS, 2019]- SOLIDWORKS (junio 2019). *Introducción a SolidWorks.* <https://my.solidworks.com>
- [DICSA 1, 2019]- DICSA (junio 2019). *Catálogo de conducciones hidráulicas y neumáticas. Racor DIN 2353.* <http://www.dicsaes.com/portal/ebusiness/ecommerce/productos/index.html>
- [DICSA 2, 2019]- DICSA (junio 2019). *Consumo productos racor DIN 2353 montados y sin montar.* Documento interno.
- [ABB 1, 2019]- ABB (julio 2019). *Catálogo robots industriales.* <https://new.abb.com/products/robotics/es>
- [FANUC, 2019]- FANUC (julio 2019). *Robot Brochure.* <https://www.fanuc.eu/es/es/robots>
- [YASKAWA, 2019]- YASKAWA (julio 2019). *Robot Overview.* <https://www.yaskawa.es/es/productos/robotica/motoman-robots/>
- [KUKA, 2019]- KUKA (julio 2019). *Robots industriales de KUKA.* <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial>
- [ABB 2, 2019]- ABB (julio 2019). *IRB 1200, M2004, Especificaciones del producto.* <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-1200>
- [DESTACO, 2019]- DESTACO (julio 2019). *G110 Product Datasheet.* <https://www.destaco.com/pneumatic-grippers/G110-18M-24-N-B>
- [ABB 3, 2019]- ABB (julio 2019). *IRC5 Industrial Robot Controller, data sheet.* <https://new.abb.com/products/robotics/es/controladores/irc5c>
- [ABB 4, 2019]- ABB (julio 2019). *Controlador IRC5 con FlexPendant.* <https://library.abb.com/es>
- [ASYCUBE 1, 2019]- ASYRIL (julio 2019). *Operating Manual Asycube 530.* <https://asyril.com/en/products/asycube-flexible-feeders.html>
- [ASYCUBE 2, 2019]- ASYRIL (julio 2019). *Asycube Series-3-Axis Vibration Robotic Parts Feeder.* <https://asyril.com/en/products/asycube-flexible-feeders.html>
- [RNA VIBRANT, 2019]- RNA VIBRANT (julio 2019). *Tolvas y almacenes de autonomía.* <http://www.vibrant-rna.com/componentes/tolvas/>
- [ABB 5, 2019]- ABB (julio 2019). *Integrated vision, Product Specification..* <https://new.abb.com/products/robotics/es/equipamiento-accesorios-aplicaciones/sistemas-de-vision/visi%C3%B3n-integrada>
- [ABB 6, 2019]- ABB (julio 2019). *Integrated Vision Data Sheet, data sheet.* <https://new.abb.com/products/robotics/es/equipamiento-accesorios-aplicaciones/sistemas-de-vision/visi%C3%B3n-integrada>
- [TRANSMISIONES BAYOD, 2019]. TRANSMISIONES BAYOD (agosto 2019). *Catálogo de productos.* <https://transmisionesbayod.es/>
- [KEYENCE 1, 2019]- KEYENCE (agosto 2019). *Vision Sensors Catalogs.* <https://www.keyence.com/products/sensor/vision-sensor/index.jsp>
- [KEYENCE 2, 2019]- KEYENCE (agosto 2019). *IV-H Series Data Sheet.* <https://www.keyence.com/mykeyence/?ptn=001>

[SIEMENS, 2019]- SIEMENS (agosto 2019) *Catálogo productos Siemens*.  
<https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?language=es&regionUrl=/es>

[MURRELECTRONIK, 2019]- MURRELECTRONIK (agosto 2019). *Catálogo Switches Murrelectronik..*  
<https://www.murrelektronik.es/es/products-p/detail/componentes-electronicos-en-el-armario-de-control/netzwerktechnik.html>

[VALENSYS, 2018]- VALENSYS (diciembre 2018). *Manual pantalla HMI*. Documento interno.

[DICSA 3, 2019]- DICSA (marzo 2019). *Instalación eléctrica montaje tóricas*. Documento interno

[TROAX 1, 2019]- TROAX (agosto 2019). *Catálogo de rejillas*.  
<https://old.troax.com/es/proteccion-de-maquinaria/producto>

[TROAX 2, 2019]- TROAX (agosto 2019). *Sistema seguridad puerta*.  
<https://old.troax.com/es/proteccion-de-maquinaria/puertas-y-cerraduras>