



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# Automatización del proceso de estampado en frío en una prensa tipo transfer

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster en Ingeniería Mecatrónica

Autor: Lluís Ramírez i Cabrera

Tutor: Rubén Puche Panadero



## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES Y OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN AL PROCESO: ESTAMPACIÓN METÁLICA EN FRÍO.</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Tipo progresivo</b>	<b>6</b>
2.1.1	Subsistemas	7
2.1.1.1	Alimentador	7
2.1.1.2	Troquel	9
2.1.1.3	Salida de piezas	9
2.1.2	Conclusión	9
<b>2.2</b>	<b>Tipo transfer</b>	<b>9</b>
2.2.1	Material de alimentación	9
2.2.2	Geometría de las piezas a producir	10
2.2.3	Disposición del troquel y tamaño de la prensa	10
2.3	Necesidad de automatización en el proceso transfer	10
2.3.1	Subsistemas	11
2.3.1.1	Barras transfer	11
2.3.1.2	Mecanismos de agarre	12
2.3.1.2.1	Manipulación por palas o cucharas	12
2.3.1.2.2	Manipulación por ventosas	13
2.3.1.2.3	Manipulación por electroimanes	13
2.3.1.2.4	Solución adoptada: manipulación por pinzas neumáticas	14
2.3.1.3	Sistema de salida de piezas	15
<b>3</b>	<b>DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA ALIMENTADOR DE FORMATOS.</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada.</b>	<b>18</b>
3.2.1	Método de amarre de los formatos	18
3.2.1.1	Electromagnético	18
3.2.1.2	Por vacío	18
3.2.2	Robot manipulador	19
3.2.2.1	Tipo cartesiano	19
3.2.2.2	Brazo robótico	20
3.2.3	Sensores	20
3.2.3.1	Sensores en la guía	20
3.2.3.2	Sensores en el brazo:	21
3.2.3.3	Sensores de contacto garra-formato y sensor de presencia de formatos	22
3.2.3.4	Sistema de ventosas	22
3.2.4	Actuadores	24
3.2.4.1	Pistón	24
3.2.4.2	Motor	24

<b>3.3</b>	<b>Sistema de control</b>	<b>25</b>
3.3.1	Ciclo de trabajo del sistema	26
3.3.1.1	Caso especial: fallo del sistema de succión:	29
3.3.2	Definición de variables del proceso	30
3.3.3	Fragmento del programa de control (LD)	30
3.3.4	Monitorización y visualización.	31
<b>3.4</b>	<b>Estudio económico y presupuesto</b>	<b>32</b>
3.4.1	Estudio económico	32
<b>3.4.2</b>	<b>Presupuesto de ejecución material y presupuesto total.</b>	<b>32</b>
<b>3.5</b>	<b>Planificación del proyecto</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>PROCESOS POSTERIORES: SOLDADURA.</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Controles en el proceso de soldadura.</b>	<b>34</b>
4.1.1	Poka-yoke	35
4.1.1.1	Poka-yoke mecánico	35
4.1.1.2	Caso especial: detector de presencia de pieza, muros y rampas POKA-YOKE.	36
4.1.1.3	Poka-yoke electrónico	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>38</b>

## 1 Antecedentes y objetivos

### 1.1 Antecedentes

En la industria manufacturera, la automatización puede implementarse a partir de la intervención en áreas básicas como: los procesos de manufactura, **el manejo de material**, los procesos de inspección y otros procesos como ensamblaje y almacenamiento.

La industria automotriz ha sido siempre pionera en nuevos procesos de fabricación, impulsando la innovación con el fin de mejorar la productividad. Para ello, las empresas necesitan sistemas de producción inteligentes y flexibles que puedan reducir la duración de los ciclos y estandarizar la calidad.

El sector automotriz es una de las industrias manufactureras más automatizadas del mundo. Es el principal impulsor y el mayor segmento de la industria de la robótica industrial, representando el 30% de los más de 2.4 millones de instalaciones de robots en todo el mundo.

Existen varias razones para automatizar los procesos de manejo de materiales, desde los materiales en crudo hasta la pieza final, optimizando los procesos de movimiento de estos, así como evitar los posibles daños en los mismos debido a manejos no apropiados. Actualmente la principal industria de implementación de sistemas robóticos para este fin es la automotriz, tanto en las OEM como en los proveedores.

En mi caso en particular, actualmente trabajo en un proveedor de piezas para BIW (body-in-white) así como procesos posteriores como soldadura o pintado para diversos OEM. Mi función dentro de la empresa es de "Project leader" para las cuentas VDA, esto es, las cuentas que siguen la norma alemana (BMW, VW, AUDI...)

La empresa tiene instalaciones en el extranjero, concretamente en Hungría y se me ha ofrecido la posibilidad de trabajar allí unos meses, tiempo que he aprovechado para tomar referencias y casos reales.

## 1.2 Objetivos

Históricamente los procesos de estampación para piezas complejas en geometría se realizaban en prensas manuales que disponían únicamente de una operación. Esto significa que para una pieza que necesite de cuatro operaciones para estar completa, debería pasar por cuatro operarios que realizarían cada una de las operaciones en prensas diferentes.

Cuando la tecnología se desarrolló lo suficiente y la automatización se empezó a aplicar en la industria para nuevas finalidades, las diferentes operaciones de la prensa se agruparon en lo que se denomina troquel, permitiendo obtener la geometría final de la pieza al pasar progresivamente de una estación a otra. Apareció entonces el modo progresivo.

Uno de los aspectos que mejoran la productividad y el rendimiento de estos procesos es la automatización de la alimentación de las prensas transfer mediante formados. En el presente trabajo se procederá a diseñar el sistema de alimentación de una prensa tipo transfer, en el ámbito de la industria automotriz y concretamente para su aplicación en una prensa de nueva adquisición que no dispone de dicho sistema.

Los pasos que se van a seguir son:

- Estudio de limitaciones y condicionantes
- Planteamiento de soluciones alternativas y solución adoptada para:
  - Sistema de amarre de los formatos.
  - Sistema de manipulación

- Sensores
- Actuadores
- Sistema de control.
- Ciclo de trabajo del sistema
- Programación del PLC y pantallas SCADA

## 2 Introducción al proceso: estampación metálica en frío.

El esquema que sigue el proceso de estampación en frío se puede resumir como el proceso de deformación permanente en una prensa a un material en crudo (metal) para obtener un ítem estampado, con la geometría final deseada y llegando a tolerancias necesarias, que pueden llegar a las décimas de milímetro.



- Alimentación del material
- Diferencias bobina / preformas
- Barras transfer
- Control de la posición de la banda
- Salidas / entradas del proceso
- Salida de pieza
- Rampas

En el proceso de estampado a gran escala, los tipos de prensas existentes se pueden diferenciar claramente entre manuales, progresivas y transfer.

En las prensas manuales, es el operario el que transfiere el material a conformar entre las diferentes estaciones de conformado. No es la opción más robusta por la falta de automatización (entra en juego el error humano) y los tiempos de ciclo suelen ser más altos en comparación con los otros dos tipos. Este tipo de proceso se menciona de manera trivial y no se tendrá en consideración en este trabajo.

## 2.1 Tipo progresivo

El objetivo fundamental que se persigue en este primer punto está dirigido a realizar una introducción general al conocimiento de las **matrices progresivas**, así como describir los conceptos básicos de su funcionamiento y las características más significativas de sus componentes. Todo esto como base para posteriormente ampliar con las matrices tipo transfer.

Las características de su diseño y construcción, y el mismo proceso hacen de las matrices progresivas uno de los medios más rápidos y económicos para la estampación de piezas de chapa.

**Las matrices progresivas son construidas para la producción de piezas de pequeño y mediano tamaño con la finalidad de que sean fabricadas a imagen y semejanza de cómo se harían en dos, tres o más útiles, pero en este caso agrupadas en un solo bloque.**

En el caso de la fabricación mediante matriz progresiva, la pieza **siempre** deberá permanecer unida a la tira de chapa hasta que esta llega a la última **estación o paso** donde necesariamente deberá ser cortada.

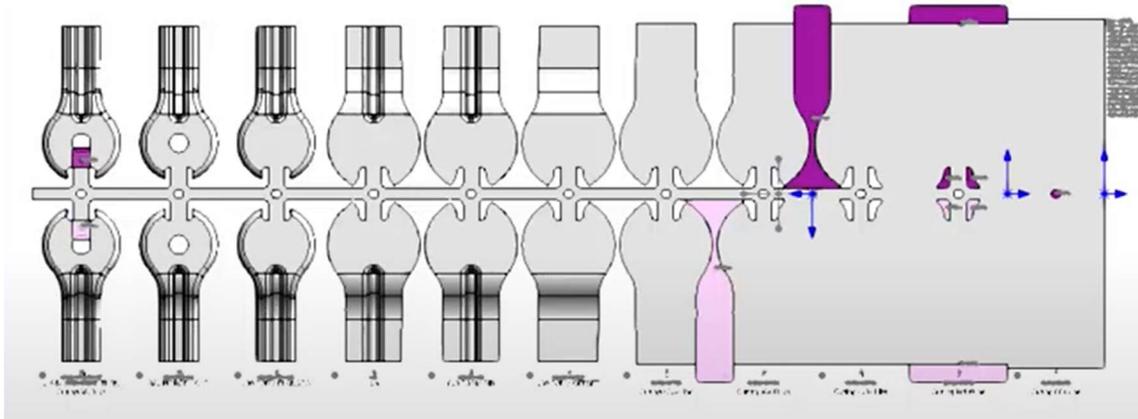
Trabajando de esta forma, permite que cada vez que baje la prensa, la matriz realice una nueva deformación en la pieza y cada vez que sube la tira avance un nuevo paso a la espera de que se realice la siguiente deformación.

La principal finalidad de las matrices progresivas es la fabricación de grandes volúmenes de piezas de chapa, sustituyendo la construcción de varias matrices manuales y abaratando de esta forma el coste final de las piezas.

En las prensas de tipo progresivo, el material de alimentación parte de una bobina de material, que al desenrollarse e introducirse en el troquel se denomina **banda**, que se hace pasar a través del troquel y se mantiene en posición al realizársele unos calados de centrado que aseguran que, a la hora de conformar la pieza, dicha banda está en la posición correcta.

La utilización de este tipo de prensa viene limitado por la geometría de la pieza ya que no es posible realizar embutidas demasiado profundas, así como el porcentaje de scrap\* que puede llegar a ser mayor del 60% en algunos casos en comparación con el proceso **transfer**.

\*se entiende como scrap el porcentaje de material de la banda que no termina siendo parte de la pieza terminada.



*Banda ejemplo de un troquel progresivo (la dirección de alimentación en este caso es de derecha a izquierda)*

En la imagen superior se puede ver un ejemplo de banda progresiva. Nótese que en la primera estación (derecha) se realizan los calados de centrado, que aseguran la posición de la banda conforme esta va avanzando por el troquel.

Algunas de las valoraciones previas hechas sobre la pieza, nos indicarán que construir una matriz progresiva es la mejor solución para:

- a) Obtener la producción horaria necesaria
- b) Cubrir las entregas solicitadas por el cliente
- c) Amortizar el precio de la matriz en un plazo adecuado
- d) Realizar un ahorro contrastado respecto a otro sistema de producción
- e) Cubrir el coste de la pieza mediante el sistema de producción elegido
- f) Cumplir con la calidad de pieza solicitada en el plano

### 2.1.1 Subsistemas

Para estudiar los diferentes automatismos que toman parte del proceso se va a dividir el proceso en tres partes.

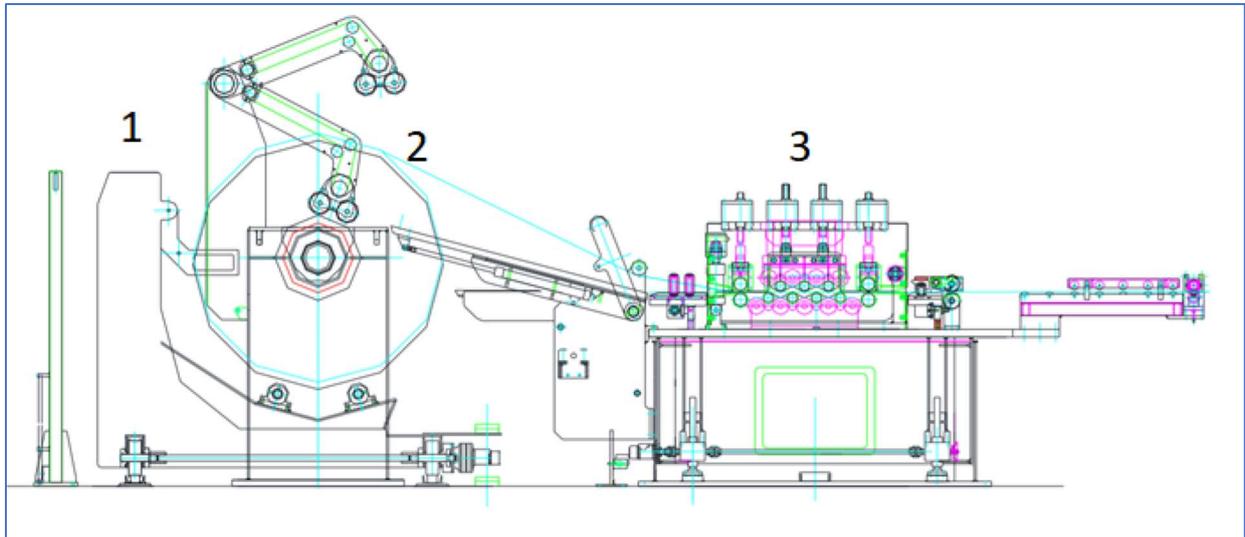
1. Alimentador
2. Troquel
3. Salida de piezas

#### 2.1.1.1 Alimentador

El alimentador en el proceso progresivo es la parte más importante del proceso progresivo ya que es el encargado de:

- Introducir la banda en el troquel y asegurar que el paso es constante en todo el proceso.

- Enderezar la chapa, ya que al venir enrollada en forma de bobina presenta deformaciones que deben ser eliminadas. **La banda debe estar completamente recta cuando entra en el troquel.**



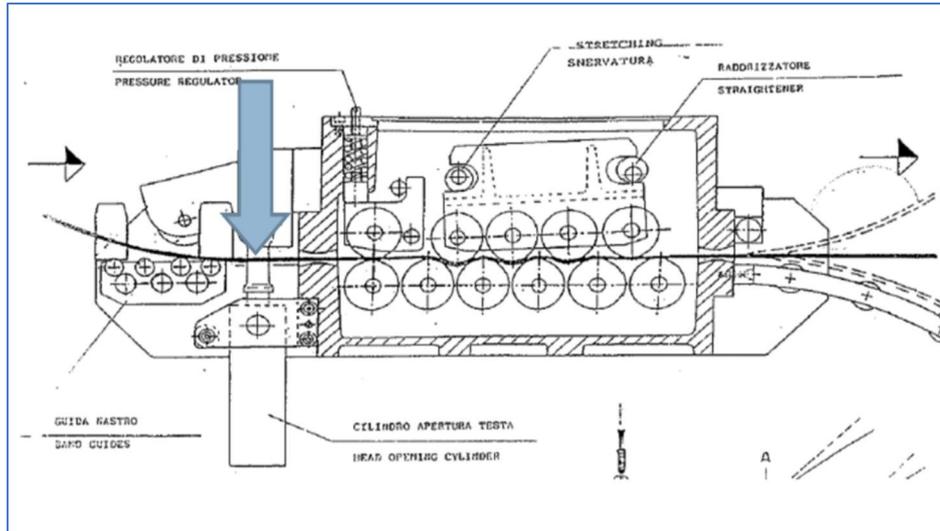
1: Cargador + devanadora

2: Bobina

3: Enderezador



*Bobina de material con flechas indicando la dirección de alimentación y el sentido de giro*



Sección del alimentador con los rodillos de aplanado de la pieza, comúnmente conocido como "cocodrilo"

### 2.1.1.2 Troquel

En el proceso progresivo, y específicamente dentro del troquel la presencia de automatismos es más limitada, realizándose la mayoría de las operaciones mediante mecanismos (extracción de retales, posicionado...) accionados por el movimiento vertical de la propia prensa.

Únicamente cabría mencionar la presencia de un sensor final de carrera al final de la banda, que indica al sistema cuándo se ha completado el paso.

### 2.1.1.3 Salida de piezas

Para la correcta salida de piezas del troquel se instalan rampas de salida, que aseguran que la evacuación de piezas es segura y no existen posibles obstrucciones que puedan producir un paro de máquina. Desde estas rampas lo indicado es instalar cintas transportadoras que faciliten su evacuación hacia los contenedores de manera que se asegure que las piezas no se puedan deformar en el proceso.

## 2.1.2 Conclusión

Como se puede apreciar en lo expuesto anteriormente las necesidades o posibilidades de automatizar en proceso progresivo son bastante limitadas en comparación con el proceso transfer, pero es necesario presentar el tipo progresivo por ser este el tipo más común en la industria y sentar una base desde la que se partirá a las matrices y procesos transfer.

## 2.2 Tipo transfer

Teniendo como referencia las prensas de tipo progresivo se puede definir el tipo transfer mediante las siguientes diferencias:

### 2.2.1 Material de alimentación

En las prensas tipo transfer, el material de alimentación son chapas, denominadas formatos. No obstante, existen prensas que incluyen una estación de cortado de formatos a partir de la bobina, aunque dependiendo de la geometría de la pieza puede no ser factible su utilización.

### 2.2.2 Geometría de las piezas a producir

Uno de los mayores limitantes del proceso progresivo es la geometría de las piezas a producir. Por un lado, el tamaño de las piezas puede ser un problema de estabilidad en el proceso, ya que para piezas muy grandes se complica el mantener la posición a lo largo de las diferentes estaciones únicamente con los agujeros de centrado vistos anteriormente.

Esto se resuelve en las prensas tipo transfer mediante las denominadas “barras transfer” que manipulan las piezas para cambiarlas de estación, de manera similar a como lo haría un operario en el mencionado proceso manual.

Las barras transfer aseguran una gran velocidad y precisión en el movimiento de los formatos a lo largo de las diferentes estaciones. En un solo ciclo de la prensa las barras transfer mueven de una estación a otra, aunque esto puede reducir los golpes por minuto en comparación con las prensas progresivas.

Por otro lado, grandes embutidas no son posibles de realizar en las prensas progresivas, ya que el movimiento a lo largo del troquel de piezas con gran altura no es posible sin las barras transfer.

Al estamparse la pieza desde un formato en lugar de desde la banda, se puede optimizar el uso del material cambiando la geometría del formato. De esta manera se consigue reducir drásticamente el desperdicio de material (scrap) en comparación con el proceso progresivo.

### 2.2.3 Disposición del troquel y tamaño de la prensa

Generalmente, al ser mayor el tamaño de las piezas los troqueles se diseñan mediante módulos de manera que varios de estos módulos forman el troquel completo. Esto implica que las prensas tienen que ser más grandes.

De la misma manera, las barras transfer no realizan únicamente un movimiento longitudinal en la dirección de avance, sino que también deben moverse verticalmente para piezas de embutidas grandes. Esto se verá más en detalle en el apartado relativo a las barras transfer.

## 2.3 Necesidad de automatización en el proceso transfer

Vistas ya las características del proceso, se expondrán a continuación los subsistemas del proceso de automatización para las prensas tipo transfer. Posteriormente se describirá en detalle el subsistema de alimentación de formatos.

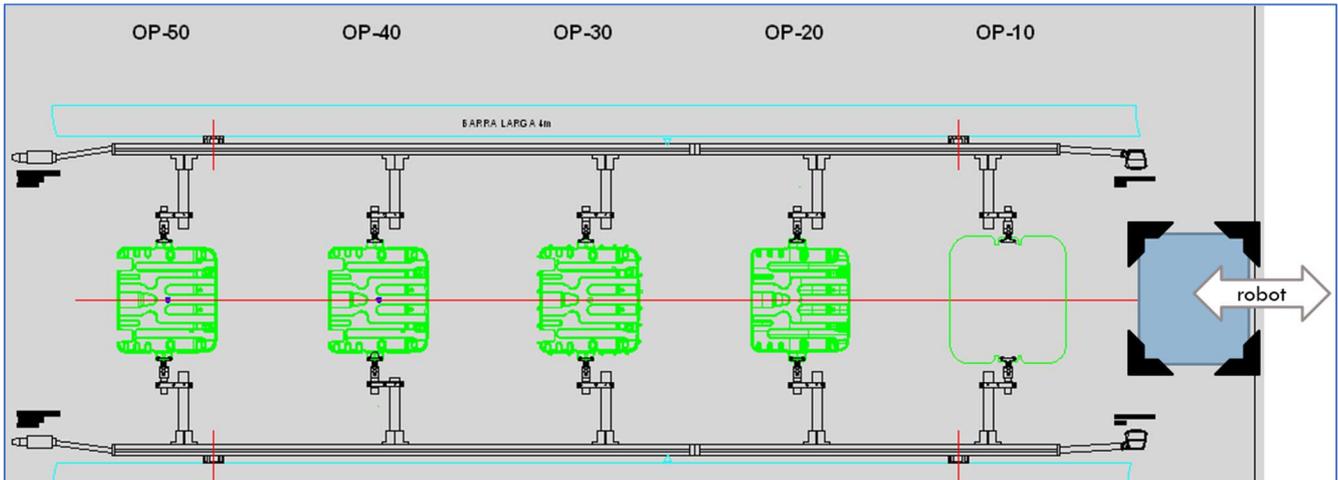
Debido a las características ya expuestas, el tipo transfer requiere de muchos más componentes relativos a la automatización por lo que análogamente a como se ha expuesto en el tipo progresivo, se van a definir y simular.

\*no se tendrán en cuenta los automatismos de la propia prensa, como es sistema hidráulico, neumático o de lubricación, sino solamente los del proceso de estampado.

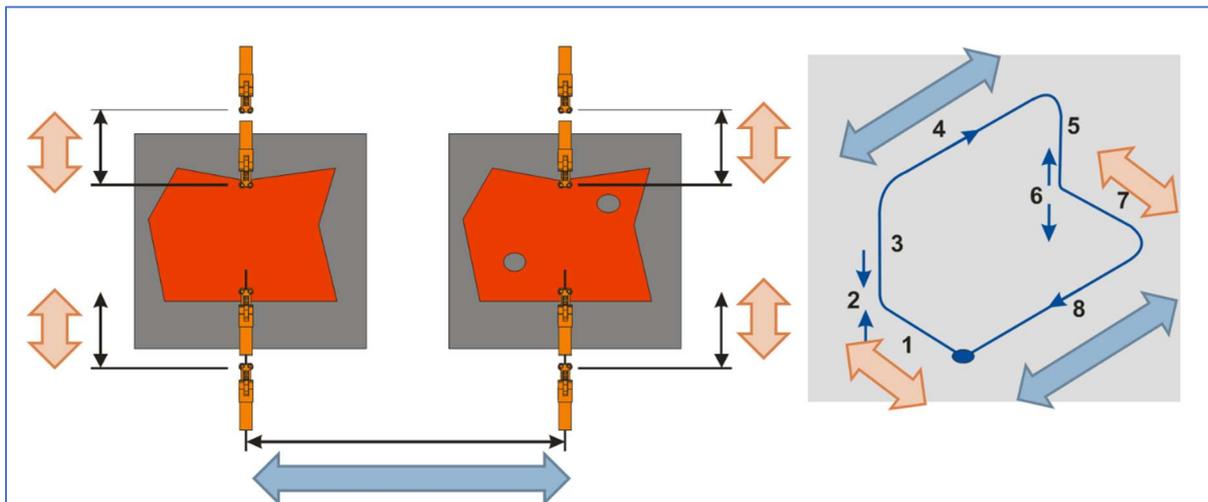
### 2.3.1 Subsistemas

#### 2.3.1.1 Barras transfer

Las barras transfer deben mover los formatos a trav3s de todas las estaciones de conformado con precisi3n y rapidez.



Vista cenital del sistema, donde se pueden ver las barras transfer atacando al formato desde ambos lados. En este caso el troquel realiza las transformaciones en 5 pasos. La zona color azul corresponde con la OP-00, donde el robot posicionará el formato virgen.

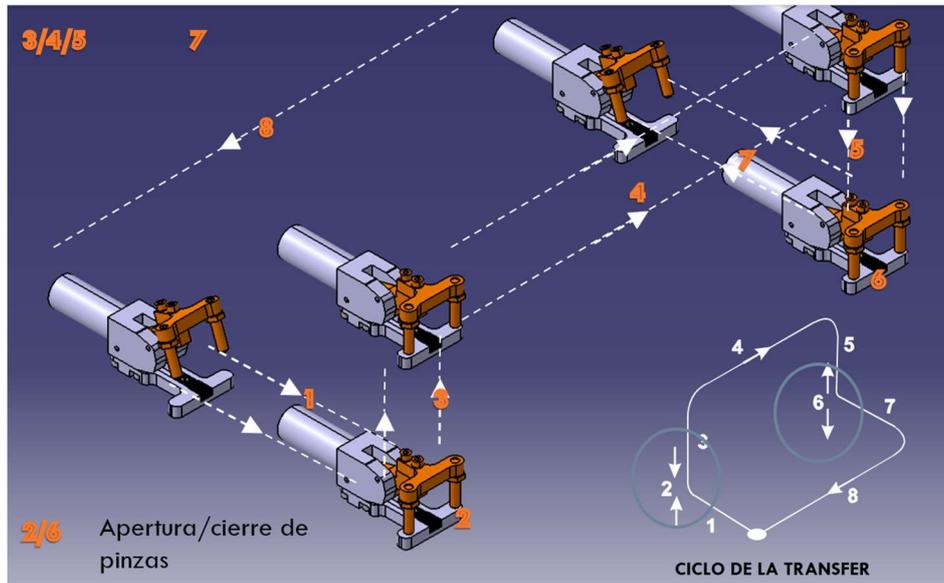


En la imagen superior est3n indicados los movimientos que realizan las barras transfer. En naranja el **ataque** de las pinzas sobre el formato y en azul el **desplazamiento** de dicho formato a lo largo de las sucesivas estaciones.

Los puntos de la trayectoria del movimiento ser3an:

1. Acercamiento desde la posici3n inicial hasta la posici3n donde las pinzas toman contacto con el formato
2. Las pinzas se cierran
3. Se eleva el formato
4. Movimiento hacia la siguiente estaci3n
5. Se baja el formato
6. Las pinzas sueltan el formato
7. Las pinzas se alejan
8. Vuelta a posici3n inicial

- La prensa baja y deforma el formato durante los pasos 7, 8 y 1.
- Los pasos desde el 2 al 6 se tienen que realizar desde que la prensa sale del punto muerto inferior y deben finalizar antes de que complete un ciclo.

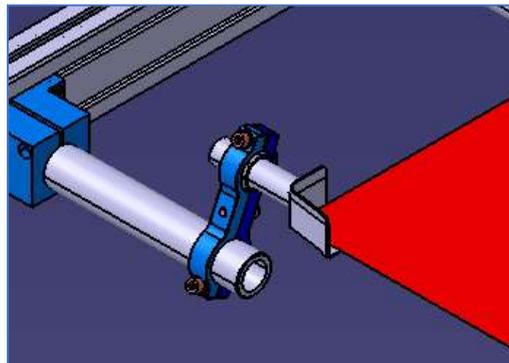


Esquema del ciclo de las barras transfer

### 2.3.1.2 Mecanismos de agarre

Existen diferentes métodos de agarrar los formatos, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. Se plantearán a continuación las soluciones alternativas y finalmente se seleccionará la más adecuada.

#### 2.3.1.2.1 Manipulación por palas o cucharas



La manipulación por **palas o cucharas** es un sistema simple y económico. No obstante, requiere que la chapa a trasladar tenga cantos exteriores bien definidos y estables en el plano horizontal (no factible para cualquier geometría).

Si se opta por utilizar palas, habrá que tener en cuenta los siguientes aspectos:

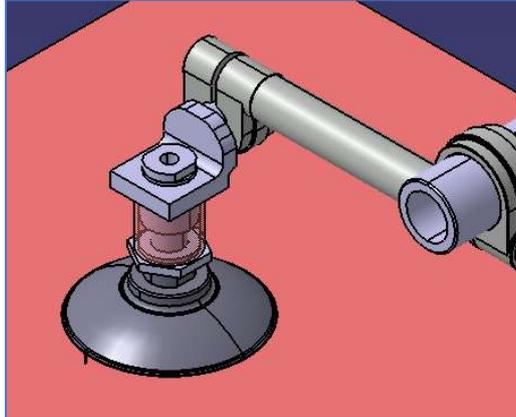
- Aceleraciones y vibraciones que nos hagan perder la referencia de la chapa en los desplazamientos a altas velocidades.
- Debe añadirse a la pala un sensor de presencia de chapa para el control del proceso.
- No es posible utilizar palas en operaciones de volteo o de sujeción en voladizo (sólo por un extremo de la chapa).

A modo de resumen:

↻ Sistema simple y económico

⚠ Riesgo de pérdida de posición de la chapa en altas aceleraciones si ésta no tiene cantos definidos y estables en el plano horizontal que permitan su centraje en la manipulación.

#### 2.3.1.2.2 Manipulación por ventosas



La manipulación por **ventosas** nos permite prescindir de la elevación de la chapa sobre el troquel una vez estampada la pieza, ya que índice por la parte superior del formato. No obstante, existen condicionantes adicionales al uso de las ventosas:

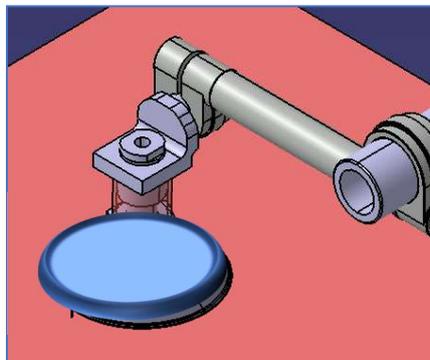
- Se requiere mayor superficie de sujeción para sujetar el formato
- Es necesaria una mayor fuerza de retención ante las aceleraciones
- El ciclo de la transferización se incrementa (2 acciones más)
- Mayor tiempo de accionamiento de la ventosa
- Mayor consumo de aire

A modo resumen:

↻ Permite prescindir de la elevación (mediante elevadores) de la chapa sobre el troquel una vez estampada la pieza

⚠ Sólo puede incidir sobre la parte superior y plana de la chapa

#### 2.3.1.2.3 Manipulación por electroimanes

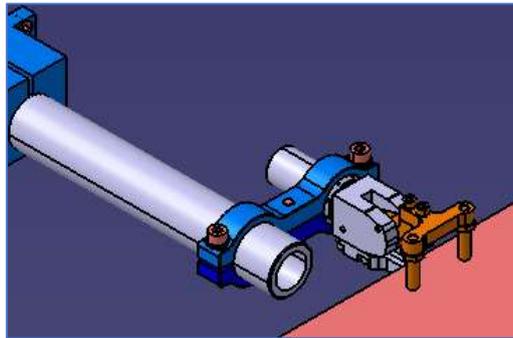


- ✔ Tiene las mismas cualidades que las ventosas, pero con la ventaja añadida de que la pieza no necesariamente debe ser plana para hacer vacío
- ⚠ La pieza debe ir separada del troquel para que no se imante el troquel con la pieza
- ⚠ No es válido para materiales no ferrosos como el aluminio.

Generalmente se suele elegir el sistema de pinzas neumáticas, por su fácil implementación a las diferentes geometrías de piezas a producir, así como su capacidad de reutilización para diferentes proyectos.

Ejemplos de pinzas comerciales extraídas del catálogo de un proveedor (MISATI)

#### 2.3.1.2.4 Solución adoptada: manipulación por pinzas neumáticas



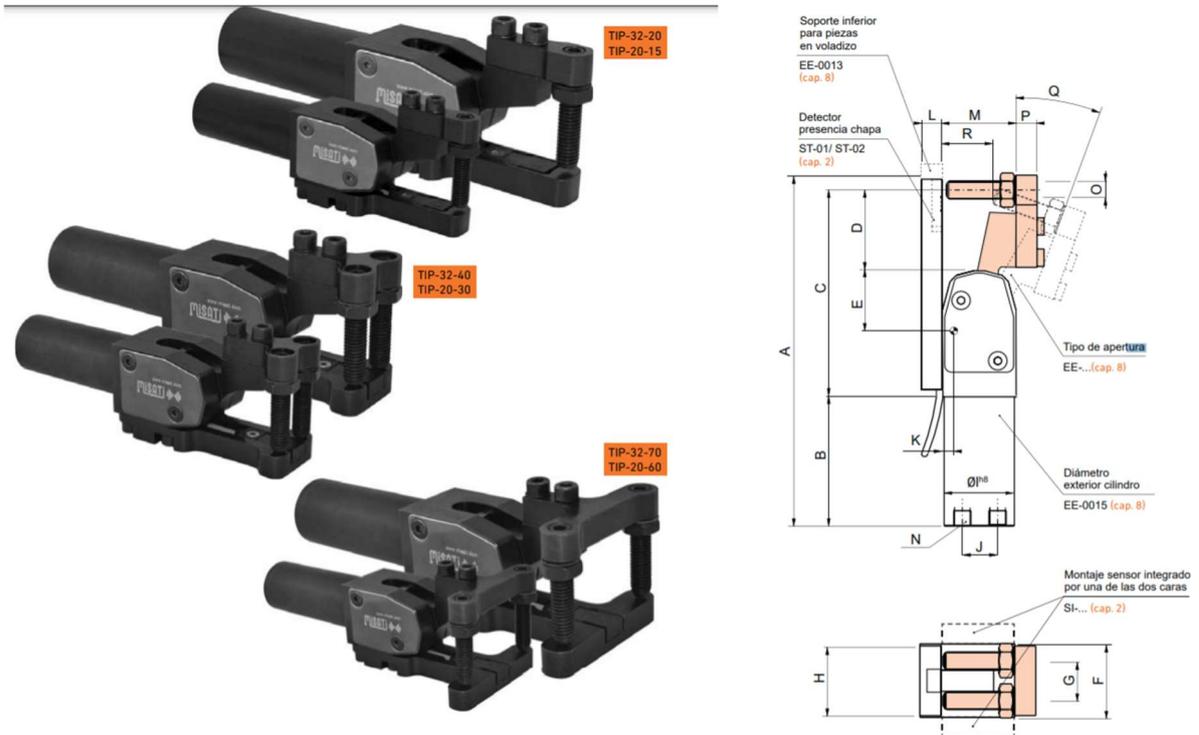
Las **pinzas** tienen un mayor coste inicial respecto a las ventosas (aproximadamente un 180%). No obstante, su amortización es muy rápida por su bajo consumo y mayor productividad. Comparada con las palas, la pinza es incluso más económica (en torno a un 11,4% menor coste).

La mayor ventaja de la pinza neumática radica en su **total fiabilidad**: la pieza que se manipula está sujeta sin ningún grado de libertad en todo momento. Incluso a altas aceleraciones y vibraciones se pueden trasladar las chapas sin riesgo a que pierdan su posición.

A modo resumen:

- ✔ Máxima fiabilidad: sujeción total de la pieza. Pieza completamente restringida en todos los ejes
- ⚠ Mayor coste inicial respecto a las palas y las ventosas

Se ha seleccionado este tipo de sujeción debido a que es la más versátil, segura y común en el ámbito de la estampación.



Generalmente las pinzas que se comercializan ya cuentan con los sensores de presencia de chapa implementados.

### 2.3.1.3 Sistema de salida de piezas

Las piezas estampadas mediante transfer generalmente son de mucho mayor tamaño que las progresivas, por lo que no es adecuado que caigan a granel sobre el contenedor.

Para ello se requiere que uno o varios operarios manipulen la pieza y la pongan en el contenedor.

De igual manera al presentar embutidas mayores se requiere un mayor aceitado, por lo que es necesario que le compruebe manualmente que no hay excesivo aceite, y se retire el exceso antes de embalar las piezas.

Con respecto a los automatismos, 3nicamente ser3 necesario posicionar una cinta transportadora que siempre estar3 en funcionamiento. Las propias barras transfer llevar3n la pieza terminada a la 3ltima estaci3n (OP-NN) hasta dejarlas caer en la cinta, que la llevar3 hasta los operarios para su almacenamiento hasta el siguiente proceso.

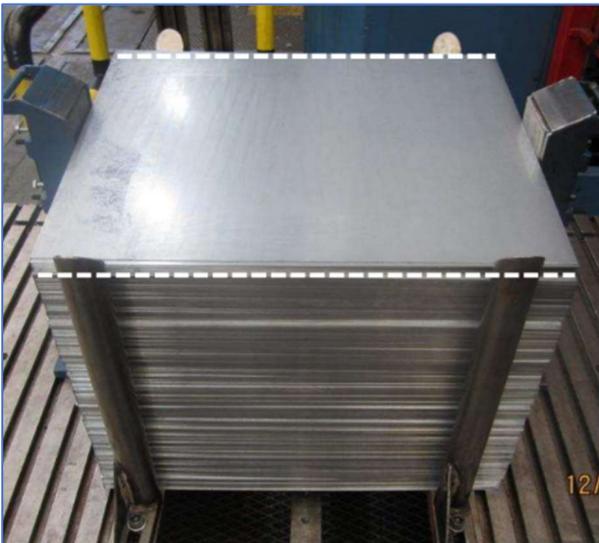
### 3 Diseño de la automatización del sistema alimentador de formatos.

#### 3.1 Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes

El sistema que se va a analizar y diseñar será el de alimentación de formatos. Este está formado por un robot manipulador que, mediante ventosas y moviéndose a lo largo que una guía, mueve los formatos desde la pila de alimentación a la primera estación (OP-00)

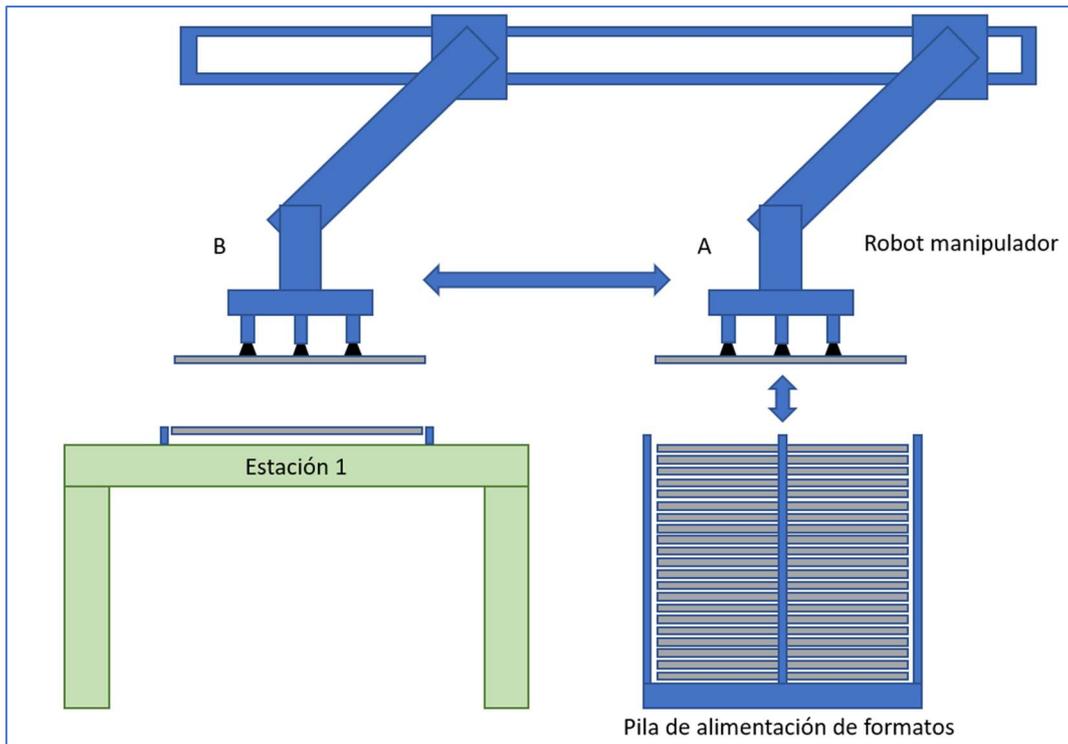


Fotografía del sistema de alimentación, donde se puede ver el robot manipulador y la guía. En la parte inferior se encontraría la pila de formatos.



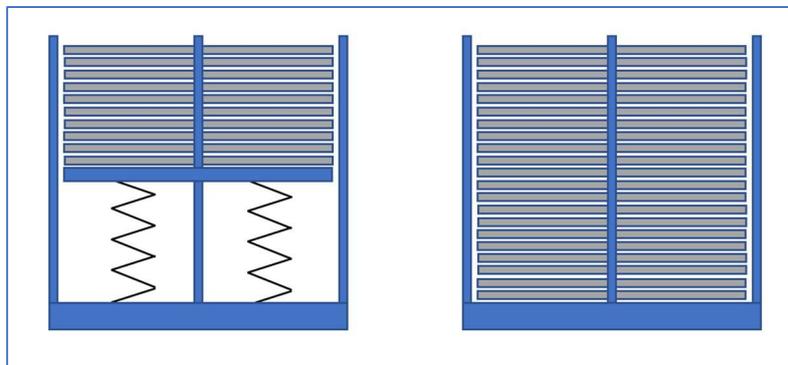
Formatos apilados, listos para entrar en la estación OP-00.





A partir de la primera estación actuarán las barras transfer.

- La pila de alimentación es autonivelante, es decir, la altura de los formatos es la misma independientemente del número de formatos que queden.

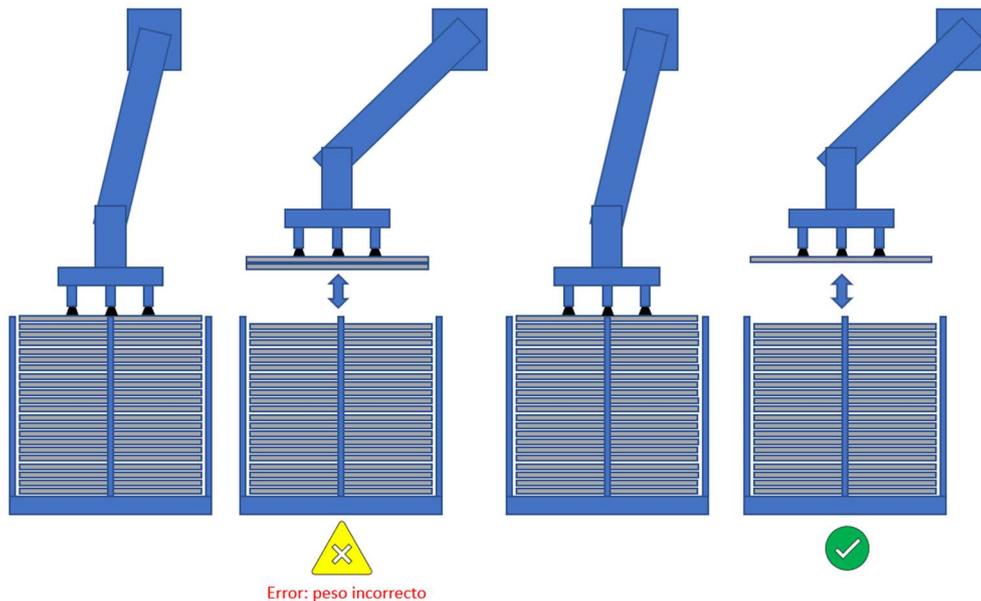


- La posición de la estación 1 no varía. Correspondería con la *estación OP-00* del sistema.



- Debido al aceitado de los formatos, es posible que dos planchas se queden pegadas. Si el sistema detecta que el peso no corresponde con el introducido por el operario, correspondiente al peso

de un formato, el robot bajará nuevamente a la posición inferior y repetirá el proceso hasta que sólo haya cogido una chapa:



### 3.2 Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada.

#### 3.2.1 Método de amarre de los formatos

##### 3.2.1.1 Electromagnético

Un electroimán actúa sobre el formato y realiza el amarre. Como puntos positivos tiene la seguridad de que el amarre del formato está asegurado.

Por el contrario, es posible que en el caso de formatos de pequeño espesor puede amarrar más de una pieza a la vez. La calibración fina de este tipo de amarre es de vital importancia para que esto no ocurra y si no es realizada correctamente puede incrementar los tiempos de puesta a punto lo que por supuesto no es recomendable.

El mayor inconveniente de este tipo de amarre es que solo es factible para materiales ferrosos. En el ámbito de la industria automotriz, donde el peso final de los vehículos se intenta reducir al máximo y el aluminio tiene cada vez más presencia limita mucho los usos del sistema.

##### 3.2.1.2 Por vacío

Consiste en un plano de ventosas de vacío. Es uno de los sistemas más versátiles ya que permite amarrar formatos de muy diversos materiales.



Es posible programar las ventosas que queremos que actúen, en caso de tener más de un formato en la pila. También se adapta a geometrías que no sean planas.

Este es el sistema más frecuente en la industria actual, ya que en una misma prensa lo normal es que se utilicen diferentes troqueles de muy diversos materiales y formas.

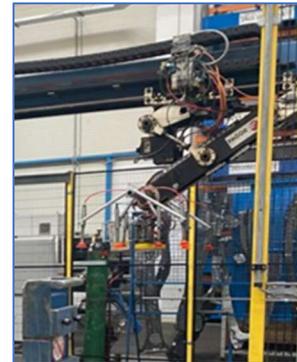
### 3.2.2 Robot manipulador

#### 3.2.2.1 Tipo cartesiano

La reducción del manipulador es un pistón de doble efecto. A este se le añaden sensores de presencia de formato, y finales de carrera para controlarlo de la manera más eficiente y económica posible.

Vista ya la definición del proceso, se van a definir los sensores necesarios para su correcto funcionamiento y el flujograma del proceso.

En cuanto al movimiento horizontal del robot, se ha optado por el uso de motores eléctricos paso a paso, ya que al conectarse con el PLC permite conseguir una posición determinada en todo momento.



The diagrams illustrate the gripper's operation. The top row shows a gripper holding a rectangular metal part with dimensions  $z(d^*)$  and  $(b^*)$ . The middle row shows a gripper holding a trapezoidal metal part with dimensions  $z(d^*)$  and  $(b^*)$ . The bottom row shows three views of a square metal part with dimensions  $(a^*)$  and  $(b^*)$ , and a maximum deviation  $(d^*)$ . Arrows indicate the direction of movement and the position of the gripper.

**Formato:**

- Material: Acero/aluminio
- Longitud del formato ( $l^*$ ): 500-2.000 mm
- Anchura del formato (dirección del movimiento) ( $a^*$ ): 200-1.600 mm
- Espesor del formato: 0,5-3,5 mm
- MPeso máximo (formato + herramienta): 80 kg

**Pila:**

- Peso máximo de la pila: 10.000 kg
- Altura máxima de la pila: 500 mm
- Desviación máxima de la pieza ( $d^*$ ): 4 mm

Arriba: especificaciones del apilador de formatos (cargador de formatos transversal CT – FAGOR)

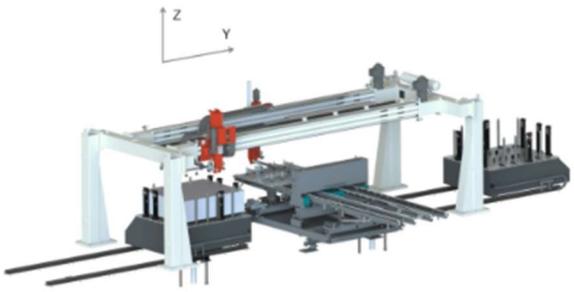
- Con un dispositivo de elevación de formatos: CTe
- Sin dispositivo de elevación de formatos: CTx
- Número de feeders: 2
- Velocidad máxima
  - CTe: 35 gpm
  - CTx: 30 gpm

**Y (Traslado)**

- Carrera máx.: 3.000 mm

**Z (Elevación)**

- Carrera máx.:
  - CTe: 250 mm
  - CTx: 1.200 mm



Arriba: especificaciones del sistema de alimentación de formatos (cargador de formatos transversal CT FAGOR)

Para detectar las dos posiciones del eje horizontal (A y B) se utilizarán sensores de final de carrera.

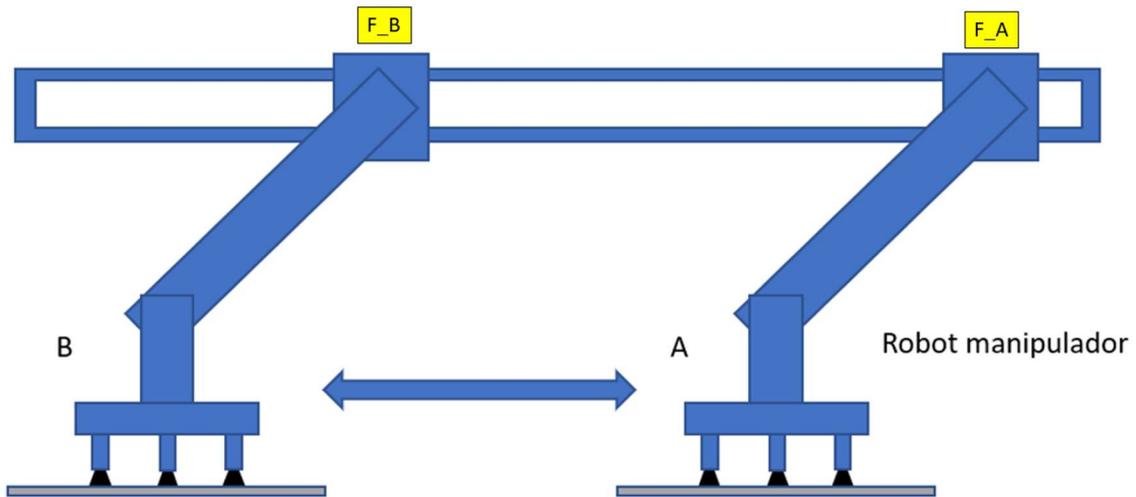
#### 3.2.2.2 Brazo robótico

Este sistema de amarre y manipulación de piezas tiene la ventaja de una mayor velocidad y menor posibilidad de fallo en el amarre de los formatos, pero es descartada debido a su alto coste.

### 3.2.3 Sensores

#### 3.2.3.1 Sensores en la guía

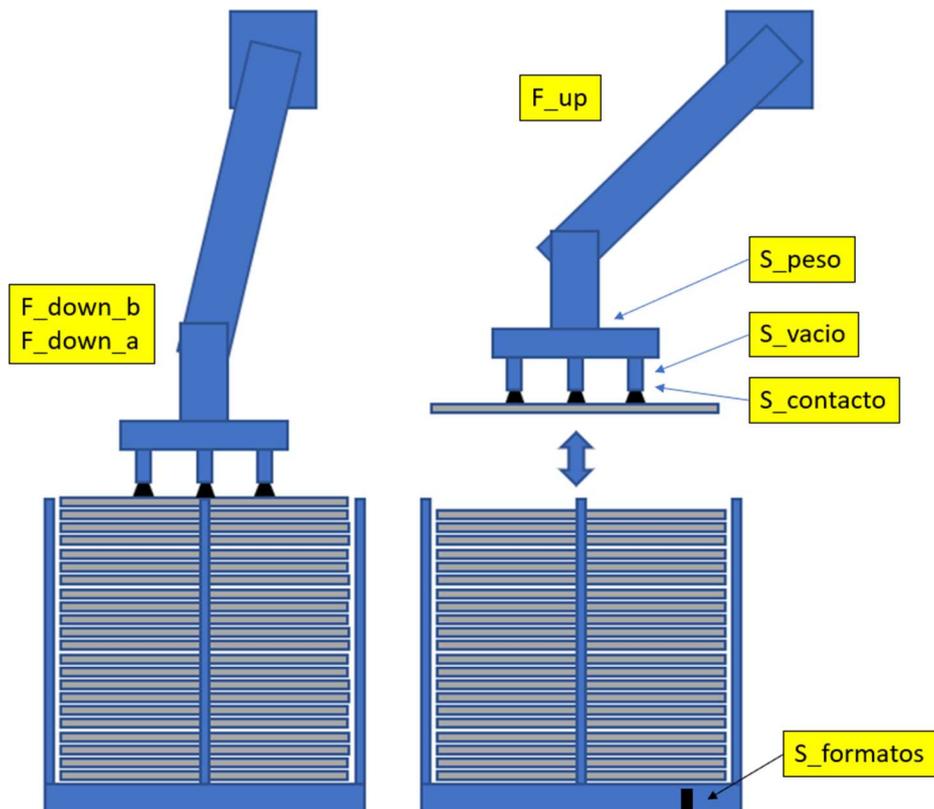
Para controlar la posición horizontal del sensor, se utilizarán dos sensores de final de carrera (uno para cada una de las posiciones)



Los sensores seleccionados serán los 3SE5112-0CH01 SIEMENS, seleccionados por su resistencia a posibles golpes (carcasa de metal) y la clase de impermeabilidad IP66. De esta manera estarán protegidos de posibles vertidos o salpicaduras de aceite.



### 3.2.3.2 Sensores en el brazo:

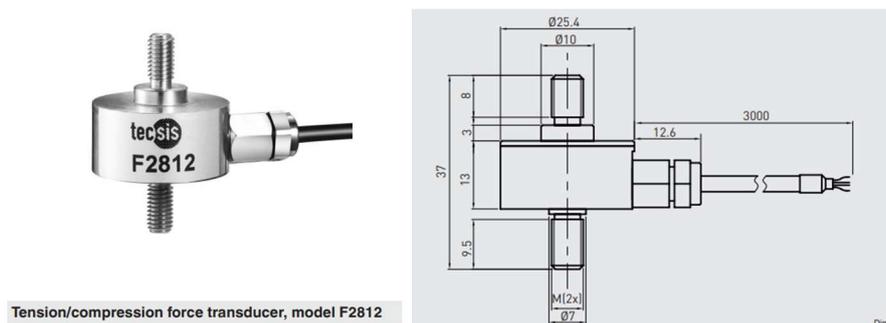


La garra de ventosas contiene los siguientes sensores:

Sensor de peso: el sistema neumático está conectado mediante cuatro de estos sensores al pistón. Es posible que no todas las ventosas actúen por falta de contacto, resbalamiento sobre la superficie u otros modos de fallo. Los sensores estarán dispuestos de manera que será necesaria una respuesta de todos ellos para dar la salida correcta.

En este caso:  $S_{\text{vacío}} = \sum \text{Sensor\_peso}$

El sensor seleccionado es el sensor de tracción/compresión modelo F2812 de Festo. Admite una carga máxima de 1 kN de manera que al tener cuatro la carga total de la garra será suficiente para sostener las necesidades del proceso.

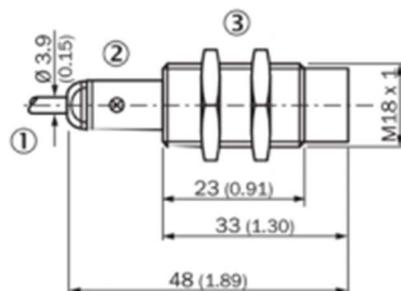


El peso máximo de una chapa para esta aplicación es de 23,55 kg que corresponde a una chapa de 1x1 metros y espesor máximo de 3mm. Si tenemos en cuenta que es posible que dos chapas se peguen entre sí, el peso máximo que va a soportar el sistema es de 47,10 kg más el peso del sistema neumático que se verá a continuación.

### 3.2.3.3 Sensores de contacto garra-formato y sensor de presencia de formatos

Para ambos casos se utilizará detector de proximidad RS PRO, M18 x 1 inductivo de la marca RS.

Estos sensores son capaces de detectar materiales ferrosos y no ferrosos como el aluminio, de vital importancia en la industria de la automoción.



1. Connection
2. Indication LED
3. Fastening nuts (2x); width across 24, metal

### 3.2.3.4 Sistema de ventosas

Para el cálculo de la ventosa que queremos utilizar seguiremos los siguientes pasos:

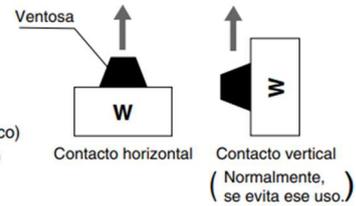
47,10 kg es el peso máximo que debe sostener el sistema. A esto hay que sumarle el propio del sistema neumático. Este peso no superará en ningún caso los 60kg, que corresponden a unos 600 N aplicando el coeficiente de seguridad.

Para el cálculo del diámetro de la ventosa aplicamos la siguiente fórmula proporcionada por el fabricante:

**Cálculo**

$$\phi D = \sqrt{\frac{4}{3.14} \times \frac{1}{P} \times \frac{W}{n} \times t \times 1000}$$

- øD: diámetro de ventosa (mm)
- n : número de ventosas utilizadas
- W : fuerza de elevación (N)
- P : nivel de vacío uniforme (kPa)
- t : factor de seguridad:  
 Contacto ventosa horizontal: ≥ 4 (dinámico)  
 Contacto ventosa vertical: ≥ 8 (dinámico)



Aplicando la fórmula arriba indicada con los siguientes valores:

N.º de ventosas necesarias = 5

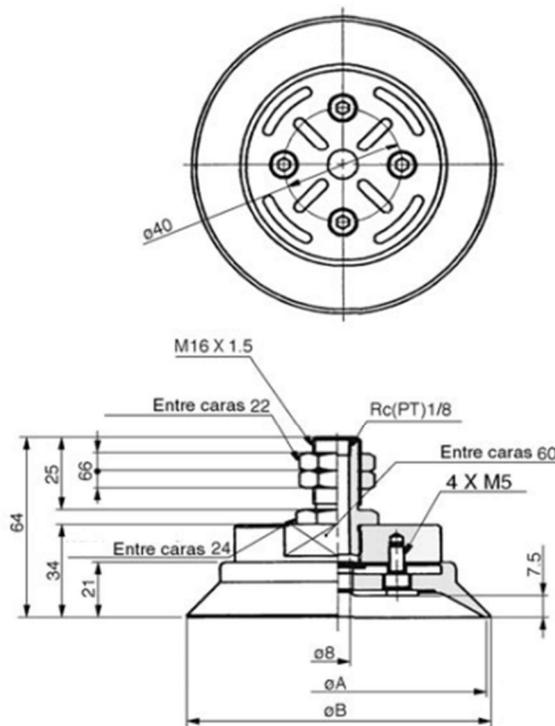
Fuerza de elevación = 600 N

P nivel de vacío = (-)50 kPa

Factor de seguridad = 5

Obtenemos el diámetro de ventosa de 125 mm.

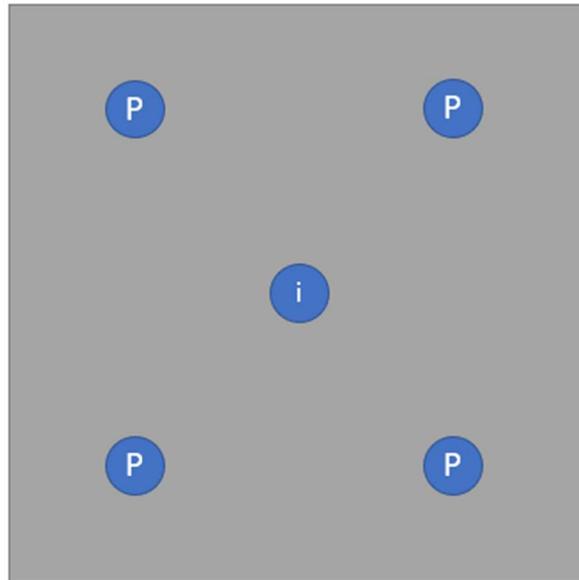
Para este caso, la serie ZPT del del fabricante SMC sería la indicada. Concretamente se selecciona el modelo **ZPT125H-A16**:



Unidad: mm

Modelo	øA	øB
ZPT100H□-A16	100	103
ZPT125H□-A16	125	128

La disposición sobre la chapa es la que sigue:



En los extremos se encuentran los sensores de peso, mientras que en el centro está el sensor inductivo de presencia de contacto con la chapa.

### 3.2.4 Actuadores

#### 3.2.4.1 Pistón

El pistón seleccionado será el modelo EMERSON – AVENTICS, R422001147 de doble acción.

Este pistón permite que se le instalen dos sensores para controlar la posición extendida/retraída, y al tener un calibre de 50mm puede soportar una fuerza de hasta 871 N cuando se retrae.

<b>Piston Ø</b>	[mm]	<b>50</b>	
Retracting piston force	[N]	871	
Extending piston force	[N]	1035	
Impact energy	[J]	0.64	
Weight	0 mm stroke	[kg]	0.487
	+10 mm stroke	[kg]	0.07
Stroke max.	[mm]	300	



#### 3.2.4.2 Motor

El movimiento sobre el eje horizontal se consigue gracias a un motor paso a paso, que mediante correas mueve el carro sobre el que va situado el pistón.

En este caso, el actuador es un motor paso a paso Schneider Electric, 36 V, 1500 rpm, par máx. 4 Nm, Ø de eje 12mm.



Main	
Range of product	Lexium integrated drive
Product or component type	Motion integrated drive
Device short name	ILS
Motor type	3-phase stepper motor
Number of motor poles	6
Network number of phases	Single phase
[Us] rated supply voltage	36 V 24 V
Network type	DC
Communication interface	Pulse/direction 5 V without RS422, integrated
Length	170.6 mm
Winding type	Medium speed of rotation and medium torque
Electrical connection	Printed circuit board connector
Holding brake	Without
Gear box type	Without
Nominal speed	100 rpm at 24 V 200 rpm at 36 V
Nominal torque	4 N.m
Holding torque	4 N.m

Este motor se ha seleccionado ya que permite su adaptación no solo a la solución planteada, sino incluso a mayores pesos de chapa.

### 3.3 Sistema de control

Para el control del sistema es necesario disponer de un PLC. A la hora de analizar qué modelo es el más apropiado para esta aplicación, tendremos en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad de entradas/salidas que dispone
  - Mínimo de 12 entradas y 6 salidas para nuestro caso.
- Cantidad de programas que puede manejar
  - La prensa no será dedicada. Se usará para diferentes troqueles por lo que necesitamos memoria para diferentes programas.
- Software especializado para cada modelo del PLC y facilidad de manejo
- Software para programación desde la unidad portátil
- Estandarización de marcas de fabricantes teniendo en cuenta las instalaciones ya presentes en la planta productiva.

En el caso particular, OMRON es el fabricante de la mayoría de los sistemas de automatización presentes en la planta, por lo que es importante estandarizar tanto el hardware como el software. De esta manera los encargados del mantenimiento/revisión estarán ya familiarizados con el sistema.

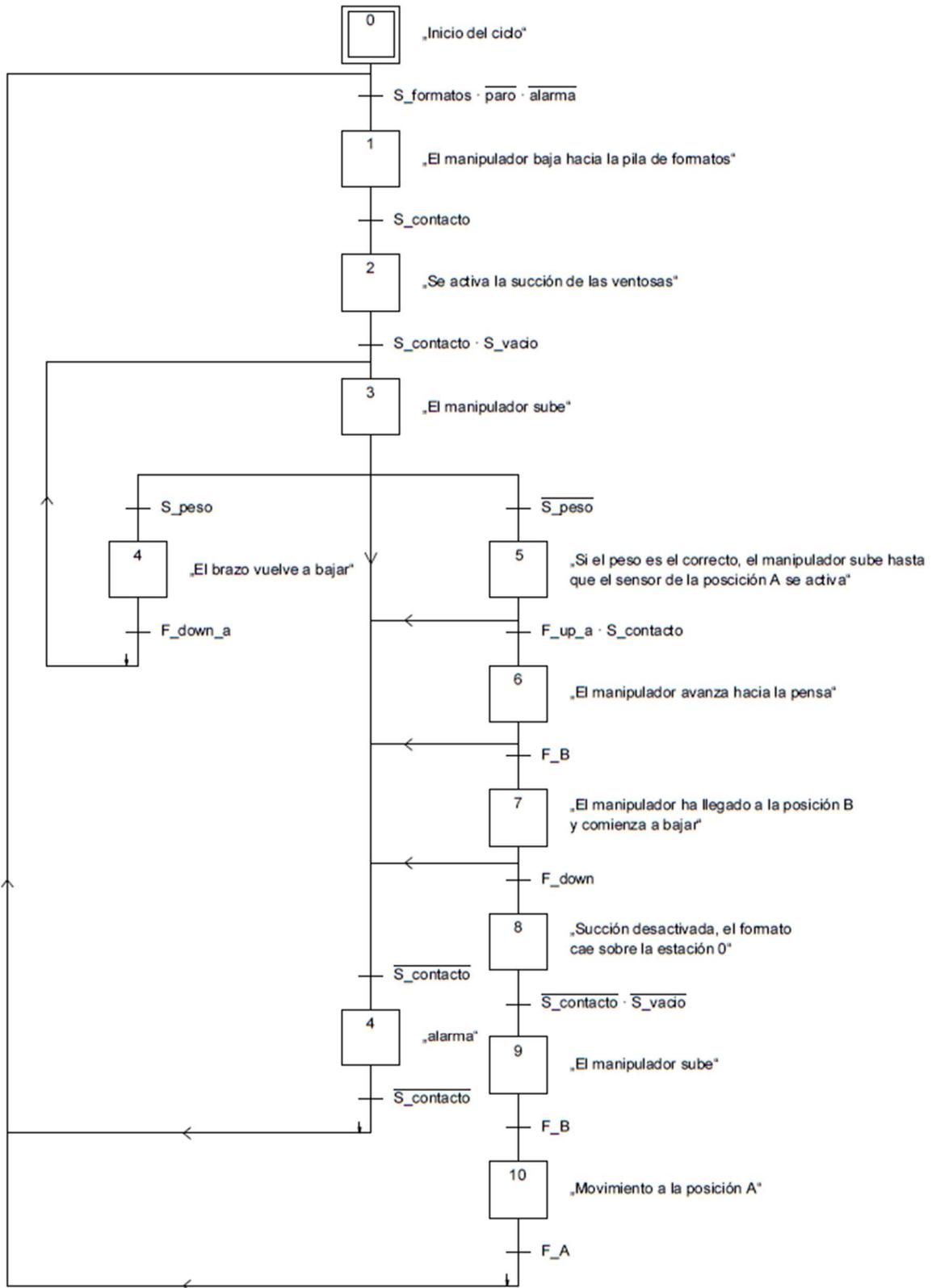
Se ha seleccionado el PLC **CP1L de OMRON**:

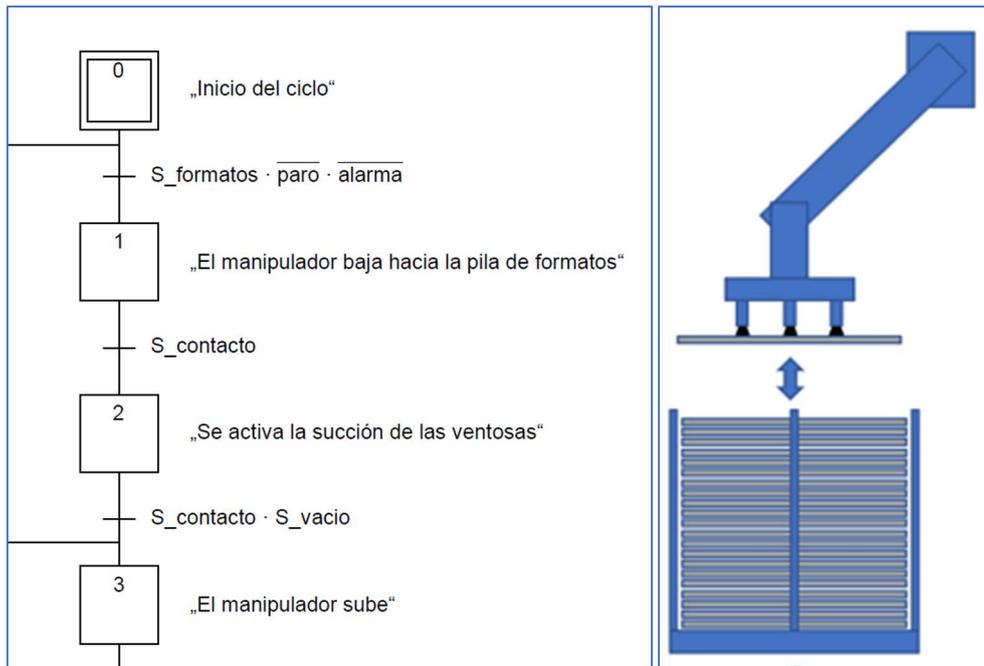
CPU Unit	Specifications					Model	Standards
	CPU type	Power supply	Output method	Inputs	Outputs		
CP1L-EL CPU Units with 20 Points 	Memory capacity: 5K steps High-speed counters: 100 kHz, 4 axes Pulse outputs: 100 kHz, 2 axes (Models with transistor outputs only)	DC power supply	Relay output	12	8	CP1L-EL20DR-D	CE
			Transistor output (sinking)			CP1L-EL20DT-D	
			Transistor output (sourcing)			CP1L-EL20DT1-D	

El Software, por tanto, será el de OMRON: **CX-ONE**.

### 3.3.1 Ciclo de trabajo del sistema

Para la descripción de la solución adoptada se procede a diseñar el flujograma mediante esquemas GRAFCET





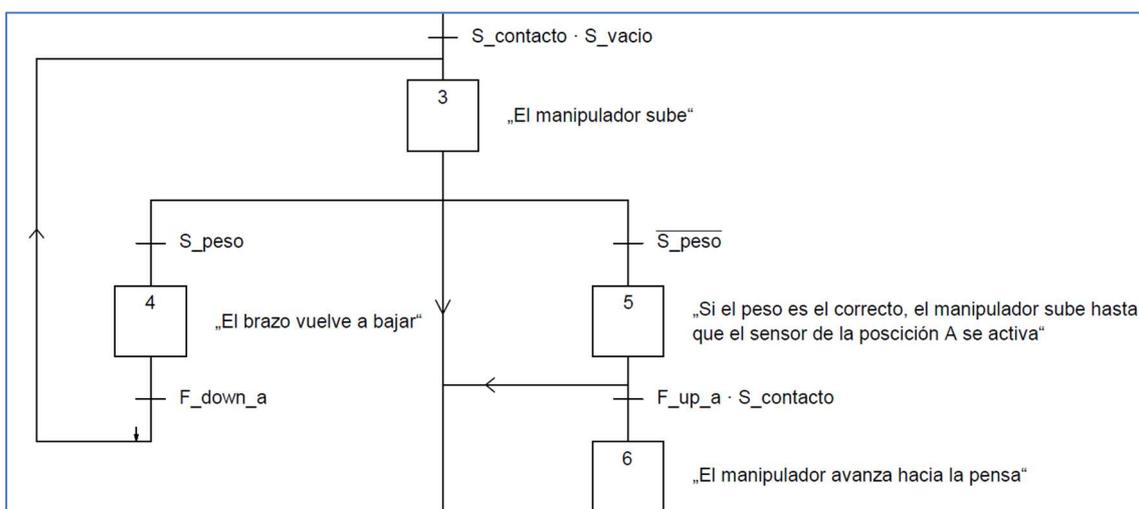
El ciclo comienza siempre y cuando:

- Haya formatos en el apilador
- No se haya pulsado la seta de paro de la prensa
- No est3 activada la alarma de falta de formatos

Una vez se hayan completado estas condiciones, el manipulador baja hasta tomar contacto con el primer formato de la pila en la etapa 1 (el ciclo comienza y acaba siempre en la posici3n A)

Una vez el manipulador est3 en contacto con la primera chapa dejar3 de bajar y el sistema neum3tico de vac3o actuar3. La chapa estar3 entonces firmemente agarrada.

En este punto se debe evaluar si realmente se ha agarrado una chapa, o por el contrario se han pegado entre s3 debido al aceite y es necesario solucionar el problema.



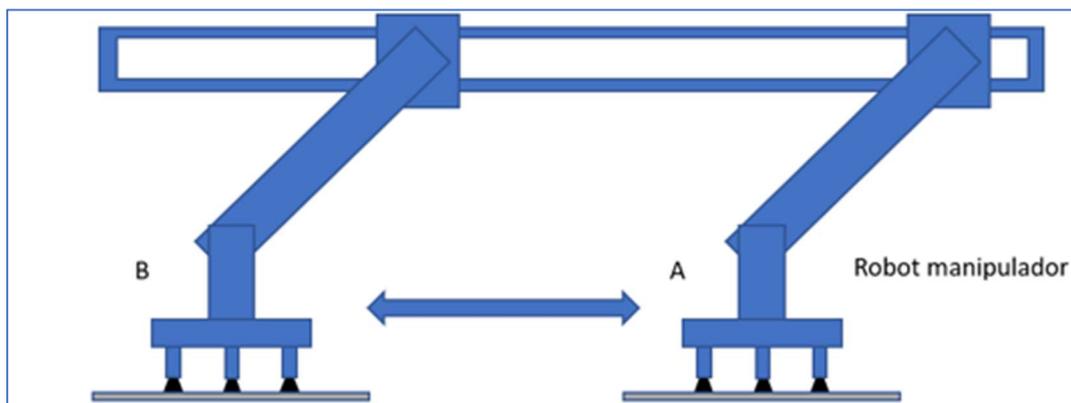
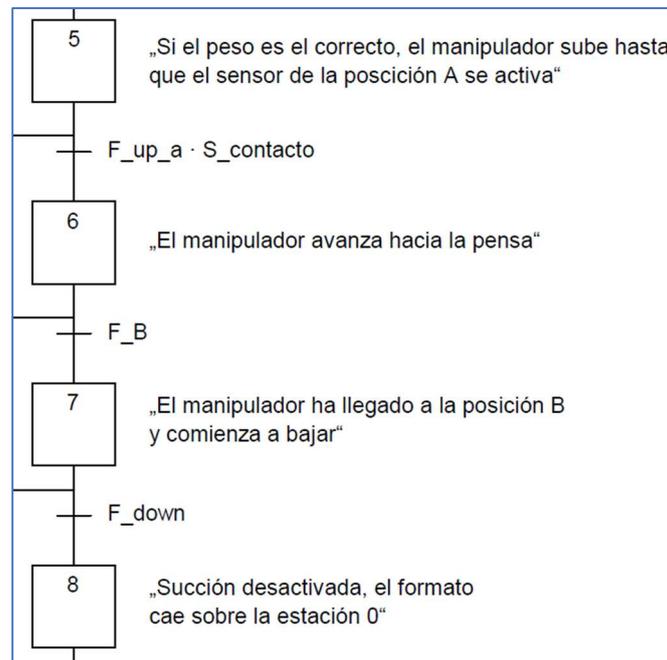
En este punto, el sensor de peso que previamente ha sido tarado al valor de referencia de un 3nico formato evaluar3 si hay m3s de uno. Este sensor anal3gico es convertido a un valor binario,

de manera que dará salida "0" si el peso es el correcto mientras que salida "1" indicará que el peso es incorrecto.

Si el peso es incorrecto el manipulador bajará nuevamente hasta la pila de formatos y volverá a subir. Este ciclo se repite hasta que el peso es el correcto. Habitualmente un único ciclo es suficiente para separar los formatos.

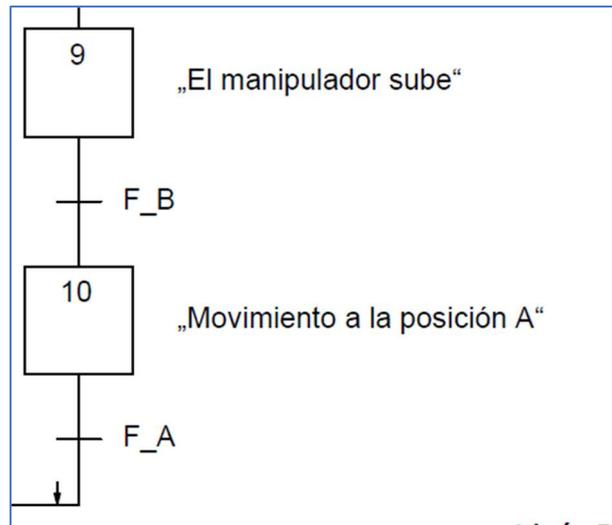
De igual manera, es posible que el sistema de vacío esté activado pero el contacto con el formato no haya sido apropiado y no haya agarrado la chapa. En ese caso este bucle servirá de igual manera, bajará hasta tomar contacto con el primer formato y se repite el ciclo.

Si tomamos la opción de peso correcto, el sistema de vacío está activado y existe contacto con la chapa, el manipulador sube hasta la posición superior (pistón retraído).



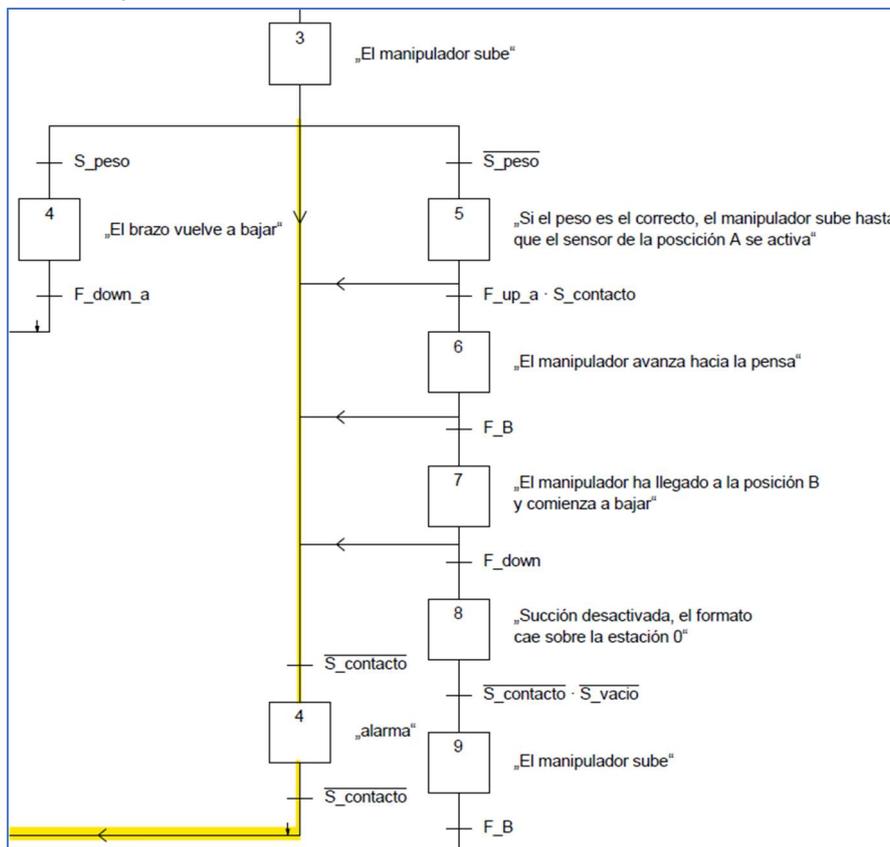
Una vez ha llegado a la posición superior, se moverá a la posición B (esto es, sobre la estación 0 de la prensa).

Se activará el sensor de posición en cuanto llegue a B y bajará hasta la posición indicada y dejará caer el formato sobre la estación 0 donde las barras transfer moverán el formato al interior del troquel.



Como último paso, una vez el manipulador haya subido, vuelve a la posición inicial y se repite el ciclo.

3.3.1.1 Caso especial: fallo del sistema de succión:



Partiendo de la etapa 3, donde el manipulador sube con el formato, existe la posibilidad que, debido a factores externos, la chapa caiga. En ese caso el sensor de contacto ( $S_{contacto}$ ) dejará de estar activado. Se activará la alarma (visual y sonora) y el sistema volverá al inicio, justo antes de la etapa inicial.

Esta solución aplica siempre que el sistema de succión esté activado.

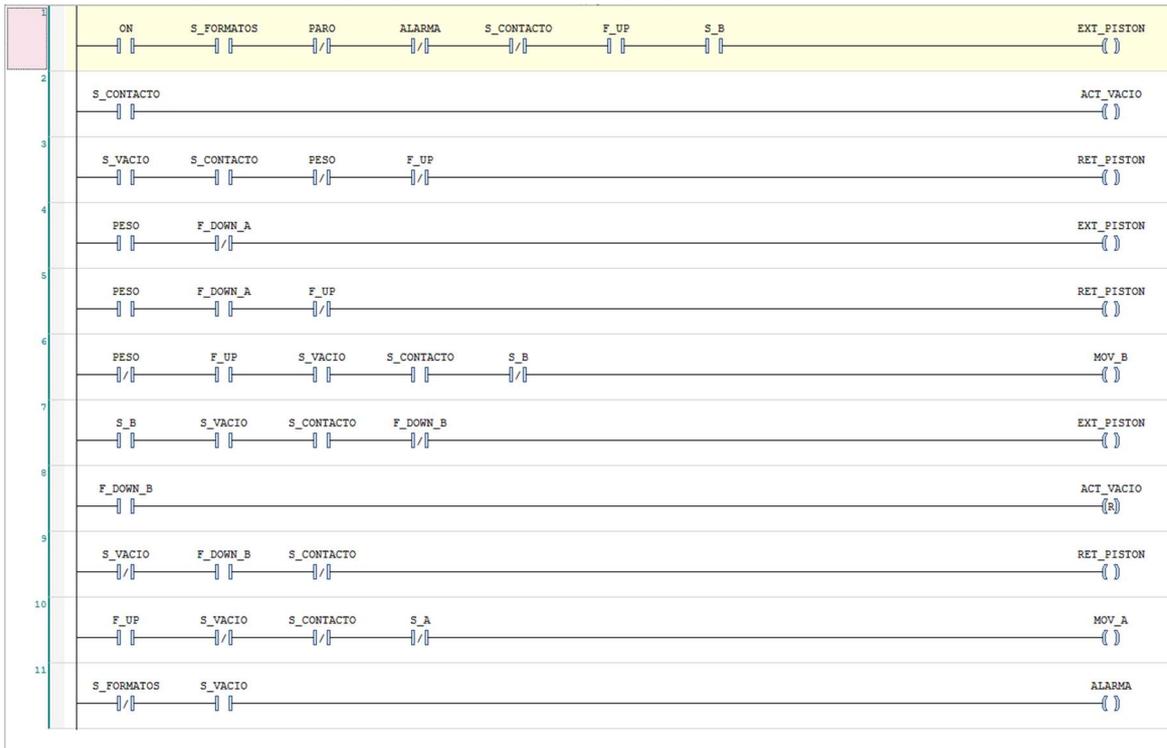
Cabe recalcar que el sistema de alimentaci3n de formatos est3 ubicado en el interior de una jaula, de manera que el acceso est3 restringido a cualquier trabajador.

### 3.3.2 Definici3n de variables del proceso

```

2  VAR
3  ON:BOOL;
4  S_FORMATOS:BOOL;
5  PARO:BOOL;
6  ALARMA:BOOL;
7  S_CONTACTO:BOOL;
8  S_VACIO: BOOL;
9  PESO:BOOL;
10 F_UP:BOOL;
11 F_DOWN_A:BOOL;
12 F_DOWN_B:BOOL;
13 S_A:BOOL;
14 S_B:BOOL;
15
16 EXT_PISTON:BOOL;
17 RET_PISTON:BOOL;
18 ACT_VACIO: BOOL;
19 MOV_A:BOOL;
20 MOV_B:BOOL;
21 END_VAR
    
```

### 3.3.3 Fragmento del programa de control (LD)



### 3.3.4 Monitorización y visualización.

El diseño de la interfaz usuario se puede ver en la siguiente imagen.



Arriba a la izquierda el botón de marcha (ON), justo debajo la seta de emergencia (PARO).

En este sistema existen tres salidas:

- En el centro, indicador de fallo en el sistema de succión, que se activará si la chapa cae mientras se está manipulando.
- Arriba a la derecha el indicador de falta de formatos en la pila, que indicarán al operario que se debe recargar.
- El indicador de que el sistema neumático está activo.

Además, en la fase de diseño del proyecto se ha creado una interfaz para el testeo de la simulación:



### 3.4 Estudio económico y presupuesto

#### 3.4.1 Estudio económico

<b>Partida de material</b>				
Descripción	Fabricante	Unidades	Precio unitario	Precio total
Sensor final de carrera 3SE5112-0CH01	SIEMENS	2	55,56 €	111,12 €
Sensor de tracción/compresión F2812	FESTO	4	99,99 €	399,96 €
RS PRO, M18 x 1	RS	2	46,91 €	93,82 €
SMC ZPT125HS-A16	SMC	5	61,63 €	308,15 €
EMERSON – AVENTICS, R422001147	E-AVENTICS	1	132,59 €	132,59 €
ILS1V852PB1A0	Schneider-E	1	1.285,89 €	1.285,89 €
CP1L-EL	OMRON	1	794,97 €	794,97 €
Mecánica (bastidor, pila alimentación formatos)	FAGOR		2.000,00 €	2.000,00 €
Varios (cableado, consumibles...)	-		500,00 €	500,00 €
			Precio total	5.626,50 €
<b>Partida de software</b>				
Descripción	Fabricante	Unidades	Precio unitario	Precio total
Licencia de software OMRON CX-ONE v4 para 1 usuario	OMRON	1	1.861,00 €	1.861,00 €
Licencia Windows (incluida en el equipo DELL)	WINDOWS	1	- €	0,00 €
			Precio total	1.861,00 €
<b>Partida de equipos</b>				
Descripción	Fabricante	Unidades	Precio unitario	Precio total
Portátil DELL Latitude, para programación del PLC on-site	DELL	1	712,00 €	712,00 €
			Precio total	712,00 €
<b>Partida de mano de obra</b>				
Descripción	Horas		Precio/hora	Precio total
Estudio de necesidades	100		35,00 €	3.500,00 €
Diseño del sistema	80		35,00 €	2.800,00 €
Montaje del sistema	64		35,00 €	2.240,00 €
Testeo y puesta a punto	56		35,00 €	1.960,00 €
Horas totales	300			0,00 €
			Precio total	10.500,00 €

#### 3.4.2 Presupuesto de ejecución material y presupuesto total.

El presupuesto de ejecución material aplicando un beneficio industrial del 20% es como sigue:

Presupuesto de ejecución material	15.548,66 €
Gastos generales (6%)	932,92 €
Beneficio Industrial (20%)	3.109,73 €
Presupuesto total (sin impuestos)	19.591,31 €

### 3.5 Planificación del proyecto

En el ámbito de la industria de la automoción la planificación de proyecto puede ser tan importantes como los costes. Los hitos de entrega de piezas suelen ser muy cortos, por lo que asegurarse le disponibilidad de los sistemas es de vital importancia para cumplir con los contratos firmados con los diferentes OEM's.

nº semana	2021																	2022															
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Nominación del proveedor	■																	■	■														
Estudio preliminar		■	■	■														■	■														
Diseño				■	■	■	■	■	■	■	■							■	■														
Compra de materiales										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													
Construcción											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Liberación																			■	■													
Envío																					■	■	■	■	■	■							
HLTO + puesta a punto																							■	■	■	■	■						
Buyoff																											■						

Considerando que al final del estudio de las diferentes ofertas de los proveedores se nomina al proveedor final en semana 36/21, arriba se pueden ver las diferentes fases del proyecto. Estas son:

- Nominación del proveedor: el proveedor recibe la carta de nominación donde se establece que se le ha adjudicado el proyecto.
- Estudio preliminar: se estudian las características específicas de las instalaciones, se establece el futuro layout de la maquinaria y se espera a la aceptación del cliente.
- Diseño: fase donde se diseña el sistema teniendo en cuenta las características específicas obtenidas en el estudio preliminar.
- Compra de materiales: una vez el diseño está prácticamente finalizado, y el cliente ha dado el OK a la compra de los materiales, estos se piden a los proveedores de materia prima y de electrónica.
- Construcción: se construye el sistema, manteniendo al cliente siempre actualizado en cuanto al progreso.
- Liberación: el sistema está listo para ser liberado. Este hito consiste en una simulación donde cliente está presente y se revisan todos los puntos hasta que da el OK a la liberación y la construcción se da como finalizada.
- Envío: envió desde las instalaciones del proveedor hasta las del cliente.
- HLTO + puesta a punto: se pone en funcionamiento el sistema en la ubicación definitiva de producción.
- Buyoff: similar al hito de liberación, pero en las instalaciones definitivas. Una vez completado este hito satisfactoriamente, el proveedor recibe el pago.

En total el lead time total del sistema es de 27 semanas, teniendo en cuenta la semana 52 y 1 como no laborales (por los festivos navideños).

## 4 Procesos posteriores: Soldadura.

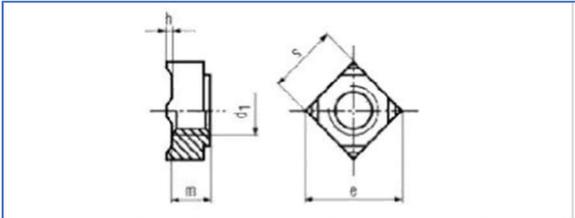
Como paso añadido posterior a la estampación se presenta aquí un proceso adicional como es la soldadura, incidiendo en los controles aplicados y la importancia que tiene la automatización en esta industria.

De los múltiples tipos de soldadura existentes en la industria de la automoción se presenta aquí la soldadura por resistencia, por ser de las más completas teniendo en cuenta la problemática del control sobre producciones de grandes cantidades de piezas.

### 4.1 Controles en el proceso de soldadura.

El proceso de soldadura por resistencia (también denominado soldadura estática) consiste en soldar un componente sobre la pieza metálica. Para ello es necesario diseñar un útil para cada pieza, que asegure mediante los controles que se van a estudiar la calidad de dicha soldadura.

Los componentes pueden ser de una gran variedad de tipos, entre los que se encuentran tuercas, pasadores, tornillos o una pieza previamente estampada.

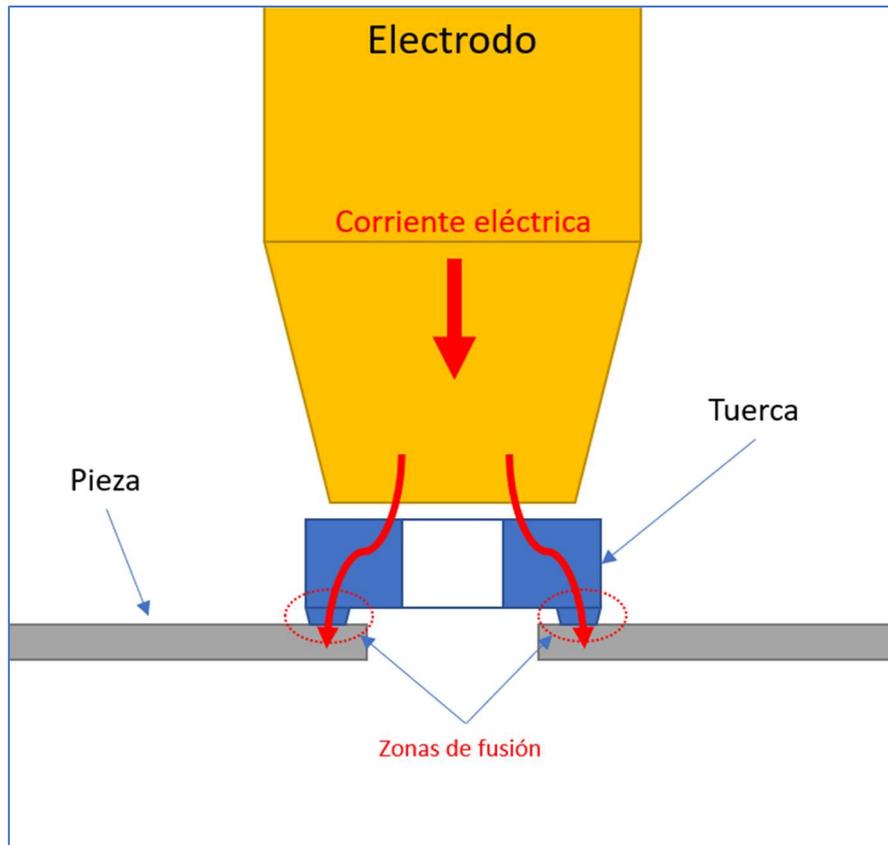


d <sub>1</sub>	e min.	h ±0.1	m h14	s h14	Sheet Thickness		Proof Load N
					min.	max.	
M4	9	0.6	3.5	7	0.75	3.0	6,800
M5	12	0.8	4.2	9	0.88	3.5	11,000
M6	13	0.8	5.0	10	0.88	4.0	15,500
M8	18	1.0	6.5	14	1.00	4.5	28,300
M10	22	1.2	8.0	17	1.25	5.0	44,800
M12	25	1.4	9.5	19	1.50	5.0	65,300

Arriba ejemplo de una tuerca para la soldadura por resistencia. Un punto en común de todos los componentes diseñados para este proceso es la presencia de las denominadas “protuberancias”. La función de estas protuberancias es que se fundan al pasar por la tuerca una corriente eléctrica.



Tuerca con 4 protuberancias



Esquema del funcionamiento de la soldadura por resistencia

Para estudiar los procesos de control sobre el proceso es necesario entender primero el concepto de POKA-YOKE.

#### 4.1.1 Poka-yoke

El POKA-YOKE es una práctica del sistema LEAN cuyo significado en japonés es “prevenir errores” o “hacer algo a prueba de fallos”. Se convierte por tanto cada parte del proceso en un evento a prueba de fallos, lo cual implica que existe una alta estandarización del proceso e imposibilita realizar cualquier paso de una manera incorrecta.

Los POKA-YOKES son una posible solución a los diferentes modos de fallo que puede presentar un proceso. Implican que solo existirá una única manera de realizar cada paso de dicho proceso.

Existen infinidad de POKA-YOKES, que varían para cada pieza. Al inicio del diseño tanto de la pieza estampada como del útil de soldadura se deben tener en cuenta los múltiples tipos de fallo que se pueden dar en el proceso para evitarlos.

Los POKA-YOKES se diferencian entre **mecánicos** y **electrónicos**.

Para una mayor comprensión se enumerarán ejemplos de POKA-YOKES de cada tipo.

##### 4.1.1.1 Poka-yoke mecánico

Implican que la geometría del útil o de la pieza impedirán cualquier modo de fallo.

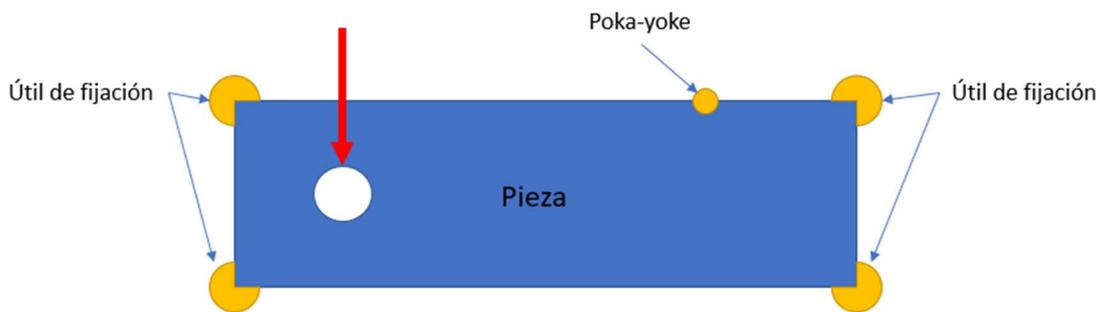
Por ejemplo, si consideramos la siguiente pieza sencilla en la que se debe soldar una tuerca en el punto indicado en rojo:



Un modo de fallo que puede darse sería la colocación de la pieza en la otra dirección, esto es, con el calado a la derecha. En caso de que fuera así se estaría soldando la tuerca en un lugar no funcional, por lo que la pieza debería ser desechada.

Una solución a este problema sería añadir un POKA-YOKE mecánico. De las múltiples soluciones que se pueden dar, una de las más sencillas sería impedir que la pieza “encajara” en el útil si no está colocada correctamente (es decir, hacer el acto de colocar la pieza en el útil **a prueba de errores**).

Modificando la geometría de la pieza y el útil la solución sería:



Como se puede ver, no existe otra manera de colocar la pieza en el útil que la correcta.

#### 4.1.1.2 Caso especial: detector de presencia de pieza, muros y rampas POKA-YOKE.

Un caso específico de los controles POKA-YOKE es el denominado **muro POKA-YOKE**.

Este consiste en un muro físico que impide la salida de piezas del troquel si no se cumplen ciertas condiciones como por ejemplo que el ciclo se haya completado (esto es, que se haya soldado el componente).

A simple vista puede parecer un control que carece de importancia, pero en la industria de la automoción, si a la planta de montaje llega un lote de X piezas y se detecta que una de ellas no lleva el componente soldado, inmediatamente se bloquea el lote y es necesario revisar **todas las piezas una a una**, lo que suele llevar un sobrecoste muy alto que se puede evitar de una manera sencilla.

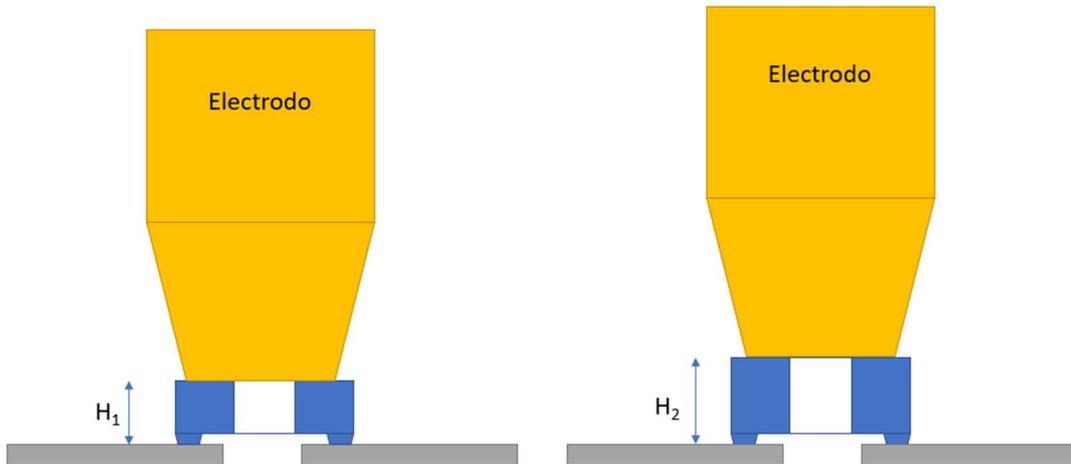
#### 4.1.1.3 Poka-yoke electrónico

Este tipo de POKA-YOKE requiere la presencia de un sistema electrónico (sensores, actuadores y control) que permita solucionar otros modos de fallo.

Un ejemplo práctico sería comprobar que el componente es el correcto. En la industria de la automoción conviven en la planta productiva una gran variedad de componentes, que puede dar lugar a que debido al **error humano** se intente utilizar un componente diferente al correcto

Para ello se debe hacer un estudio de las peculiaridades del componente propuesto para a continuación diferenciarlo del resto.

Uno de los más utilizados consiste en diferenciar la geometría del componente:



Para ello se identifica la altura del componente ( $h$ ) y se compara con la altura a la que está el electrodo cuando toma contacto con éste. Si en algún momento del proceso la altura no corresponde a la correcta, la máquina dará la señal de error **y no permitirá que la corriente fluya**, de manera que no será posible soldar componentes incorrectos.

## 5 Conclusión

Se ha diseñado el sistema alimentador de formatos, viendo anteriormente la importancia de automatizar este proceso en la industria de la automoción.

Estas automatizaciones no solo son necesarias para el correcto funcionamiento del proceso completo sino también esenciales para asegurar que la robustez asegure la calidad exigida por los diferentes fabricantes de coches en la actualidad.

Como se ha visto, es necesario que desde el primer momento todos los diferentes aspectos a controlar se tengan en consideración, así como evitar los modos de fallo que puedan aparecer a lo largo de toda la vida del proyecto.

Las mejoras continuas en las diferentes automatizaciones presentes en el campo de la industria automotriz tienen como consecuencia un aumento enorme en la productividad, robustez, seguridad y calidad de todo el proceso, siendo parte esencial en cualquier empresa hoy en día.