

2019

PALETIZADOR AUTOMÁTICO DE PLETINAS



Enrique Javier Alcaide Luque

ETSI US

26-6-2019

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	<i>Máquina suministradora de pletinas. Banco de estiraje.</i>	6
1.2	<i>Datos de pletinas.</i>	7
1.3	<i>Cadencia de pletinas</i>	9
1.4	<i>Dimensiones Pallet.</i>	9
2	Posibles diseños y restricciones.	10
2.1	<i>Restricciones de diseño</i>	10
2.1.1	Continuidad	10
2.1.2	Cambios de formato de pletinas.	11
2.1.3	Funcionamiento en modo manual.	11
2.2	<i>Diseños</i>	12
2.2.1	Diseño conceptual de la máquina.	12
2.2.2	Zona de recepción de pletinas.	14
2.2.2.1	Zona recepción de pletinas	15
2.2.2.2	Traccionar y detener la pletina	17
2.2.2.3	Referenciar las pletinas.	17
2.2.3	Pick and Place	18
2.2.3.1	Pick and Place, manipulación de pletinas.	19
2.2.3.2	Pick and Place. Movimiento Vertical.	21
2.2.3.3	Pick and Place. Movimiento Horizontal.	24
2.2.4	Zona de colocación de pletinas.	24
2.3	<i>Diseño conceptual y descriptivo del modelo elegido</i>	25
3	DISEÑO	27
3.1	<i>Dimensiones generales de la zona de instalación.</i>	27
3.2	<i>Zona de recepción de pletinas.</i>	29
3.2.1	Estructura y rodillos	30
3.2.2	Rodillos de centrado de pletinas	33
3.3	<i>Manipulación de pletinas. Pinzas y dedos.</i>	34
3.3.1	Carrera necesaria Pinzas.	36
3.3.2	Capacidad de carga mínima de las pinzas	38

3.3.3	Geometría dedos.....	38
3.3.4	Elección de pinzas.....	39
3.3.5	Estudio de resistencia de los dedos.....	43
3.4	<i>Movimiento Vertical.....</i>	<i>58</i>
4	RESUMEN Y OTROS ELEMENTOS.....	65
5	CONCLUSIONES.....	67
6	ESTADO ACTUAL DE LA MÁQUINA.....	68
6.1	<i>POSIBLES MEJORAS.....</i>	<i>68</i>

ÍNDICE FIGURAS

Fig. 1.1 Bobinas con pletina continua enrollada.....	6
Fig. 1.2 Pletinas colocadas en palet.	7
Fig. 1.3 Pletinas más desfavorables	8
Fig. 1.4 Tabla con las distintas longitudes de pletina.....	9
Fig. 1.5 Palet en el que paletizan y mesa donde actualmente lo hacen de forma manual.....	9
Fig. 1.6 Dimensiones Palet más desfavorable	10
Fig. 2.1 Croquis del perfil de la máquina	13
Fig. 2.2 Recepción manual de pletinas	14
Fig. 2.3 Transportador de rodillos de gravedad.....	16
Fig. 2.4 Ventosas manipulando pieza de la industria de la automoción.	20
Fig. 2.5 Imagen de una pinza neumática que manipula pistones.....	21
Fig. 2.6 Actuador neumático, eléctrico y servomotor.....	22
Fig. 2.7 Perfil real de la máquina diseñada	25
Fig. 3.1 Zona donde se instalará la máquina	28
Fig. 3.2 Cotas de la zona a instalar la máquina	29
Fig. 3.3 Mesa de recepción de pletinas.	30
Fig. 3.4 Perfil modular Fasten 45x45	31
Fig. 3.5 Algunos elementos para perfiles modulares	31
Fig. 3.6 Alzado mesa de recepción con rodillos	32
Fig. 3.7 Vista de perfil de mesa de rodillos	32
Fig. 3.8 Rodillos montados en la mesa de recepción.....	33
Fig. 3.9 Detalle sistema centrado pletinas.....	34
Fig. 3.10 Sistema de giro para el sistema de guiado	34
Fig. 3.11 Tipos de pinzas neumáticas SMC.	35
Fig. 3.12 Pletinas más desfavorables	36
Fig. 3.13 Posición mínima de los dedos con la pinza abierta.....	36
Fig. 3.14 Medida mínima de los dedos con las pinzas cerradas.....	37
Fig. 3.15 Croquis dedos abiertos y cerrados	37
Fig. 3.16 Diseño aproximado dedos con apoyo inferior	39
Fig. 3.17 Tipos de pinzas paralelas	39
Fig. 3.18 Modelo de pinza elegido	40

Fig. 3.19 Modelo concreto que cumple con la carrera necesaria, MHL2-25 D1Z	40
Fig. 3.20 Sistema de pinzas que manipularán las pletinas	41
Fig. 3.21 Detalles de las pinzas con los dedos	42
Fig. 3.22 Distribución dedos, rodillos y centrado	42
Fig. 3.23 Vista más detalle de la distribución de los dedos.....	42
Fig. 3.24 Acciones sobre los dedos.....	43
Fig. 3.25 Fuerza de amarre efectiva.....	43
Fig. 3.26 Fuerza de amarre en función de la distancia al punto	44
Fig. 3.27 Distancia R al punto de amarre, suponiendo la distancia de la imagen.	44
Fig. 3.28 Fuerza de amarre para nuestro caso, 40 N	45
Fig. 3.29 Pareja de pinzas con perfiles y dedos	45
Fig. 3.30 Imagen CAD del dedo a estudiar.....	46
Fig. 3.31 Condiciones de contorno de los Dedos que manipulan las pletinas...	47
Fig. 3.32 Dedo con hipótesis de carga	47
Fig. 3.33 Tabla con las características mecánicas del Aluminio a considerar ...	48
Fig. 3.34 Análisis de tensiones en dedo. Valor de la tensión de Von Mises.	48
Fig. 3.35 Análisis de Tensiones. Escala de tensiones hasta 1,5 MPa.....	49
Fig. 3.36 Desplazamientos en el dedo debido a la pletina	50
Fig. 3.37 Factor de seguridad de tensiones	51
Fig. 3.38 Tensión principal máxima en la pieza.....	52
Fig. 3.39 Tensión principal máxima, escala 0-1 MPa.....	52
Fig. 3.40 Tabla características mecánicas a fatiga. Fuente:www.efatigue.com	53
Fig. 3.41 Gráfica S-N. Web: www.efatigue.com.....	53
Fig. 3.42 Tabla factor multiplicativo límite a fatiga por acabado superficial.	55
Fig. 3.43 Tabla de perfiles estructurales, Area A0.95	56
Fig. 3.44 Tabla factor de confiabilidad.....	57
Fig. 3.45 Dimensiones de Dedo de Manipulación de Pletinas	58
Fig. 3.46 Pinzas con dedos en la máquina acabada.....	58
Fig. 3.47 Detalle tolerancia coger pletina.....	59

Fig. 3.48	Altura aproximada a la que parará el Pick and Place para soltar pletina.....	59
Fig. 3.49	Movimiento vertical del Pick and Place.....	60
Fig. 3.50	Pistón individual movimiento vertical.....	60
Fig. 3.51	Elementos que sopesará el pistón neumático	61
Fig. 3.52	Tabla con el peso propio de los elementos a sopesar por el pistón.....	61
Fig. 3.53	Tabla de rodamientos lineales modelo SC de la firma Eurobearing	62
Fig. 3.54	Cargas a tener en cuenta para el dimensionado del pistón neumático	63
Fig. 3.55	Pistón neumático para movimiento vertical CP95NDB63-400	64
Fig. 4.1	Estructura metálica máquina.....	65
Fig. 4.2	Detalle de transmisión horizontal.....	66
Fig. 4.3	Zona de colocación de pletinas	66
Fig. 6.1	Fotografía actual de la máquina.....	68
Fig. 6.2	Detalle de ejes redondos y pistón empotrados en la placa de aluminio.	69
Fig. 6.3	Reparación vástago pistón	69
Fig. 6.4	Junta flotante	70

1 INTRODUCCIÓN

En este Trabajo Fin de Máster se recoge el estudio del diseño mecánico de una máquina para el paletizado automático de pletinas de cobre. Esta máquina se situará en el final de línea de un banco de estiraje y será la encargada de coger las pletinas que salen del banco para paletizarlas de forma ordenada. Se parten de unos datos iniciales proporcionados por la empresa a los que tendremos que atender en todo momento para elegir y diseñar los componentes mecánicos a instalar.

1.1 Máquina suministradora de pletinas. Banco de estiraje.

La máquina que alimentaría al paletizador de pletinas es un banco de estiraje de accionamiento hidráulico. Ésta máquina se alimenta de bobinas de cobre que tendrán las dimensiones adecuadas según el producto final que se necesite.



Fig. 1.1 Bobinas con pletina continua enrollada..

El banco de estiraje funciona mediante dos mordazas hidráulicas de grandes dimensiones que agarran con gran fuerza la pletina y van desenrollándola de la bobina.

Entre la bobina y las mordazas hidráulicas se encuentran una serie de matrices que serán las que darán la forma final a la sección de la pletina. La pletina cuando está enrollada en la bobina tiene una sección ligeramente mayor a la matriz por las que pasa en el banco de estiraje, con esto se dan las dimensiones finales a la sección. Además, en el proceso en el cual estamos tirando con las mordazas hidráulicas de las pletinas se produce un endurecimiento importante de la pletina dándole además de una tolerancia dimensional precisa un endurecimiento importante de forma que la pletina quede totalmente recta y plana en barras de distinta longitud.



Fig. 1.2 Pletinas colocadas en palet.

1.2 Datos de pletinas.

Se realizará el diseño para distintas dimensiones de pletinas. El banco de estiraje funciona con distintos formatos, tanto en sección como en longitud. Se muestran a continuación la tipología de pletinas con las que contamos.

- Tipología de sección. Tenemos 3 secciones: arista viva, matada (ligeramente redondeada) y semicircular.



- Dimensiones de secciones. El paletizador debe estar diseñado para que pueda trabajar con secciones muy variadas, con un ancho de pletina que puede ir desde los 12 hasta los 80 mm y un espesor de 2 a 12 mm. Para el diseño se cogerán las dimensiones más desfavorables, en el caso de poder manipular bien estas secciones aseguramos la manipulación de todas las secciones intermedias. Se cogerá la pletina más pequeña, la más grande y la más desfavorable en cuanto a lo que el canto se refiere (el redondeo máximo).

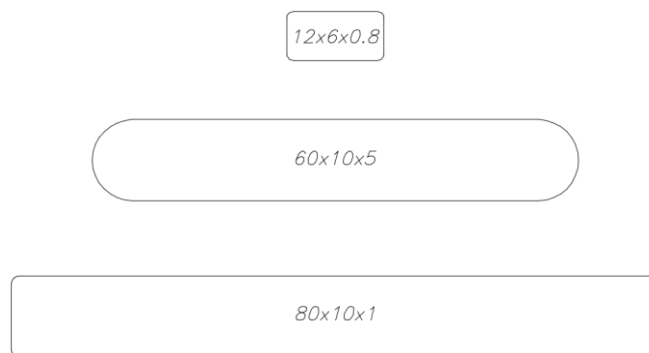


Fig. 1.3 Pletinas más desfavorables



- Longitudes de barras:
En el banco de estiraje se cortan barras de 16 largos distintos y la máquina debe estar preparada para en cualquier momento trabajar con cualquiera de estas longitudes.

Nº	Longitud (mm)	Nº	Longitud (mm)
1	2500	9	4200
2	3000	10	4500

3	3440	11	4700
4	3600	12	5000
5	3850	13	5000
6	4000	14	5150
7	4100	15	5350
8	4150	16	6000

Fig. 1.4 Tabla con las distintas longitudes de pletina

1.3 Cadencia de pletinas

El banco de estiraje suministra pletinas a una velocidad de 9 m/min, aunque en ocasiones puede llegar a una velocidad máxima de 12 m/min que será la velocidad a la que nosotros atenderemos para los distintos cálculos.

Cuando se realiza el corte de una pletina ésta acelera de forma que se queda una separación entre la siguiente pletina de 2 metros aproximadamente.

1.4 Dimensiones Pallet.

Se trabajarán con palet de distinta longitud en función de las pletinas a albergar, la anchura de éstos será de 330 mm como máximo y 280 mm como mínimo. La longitud máxima de palet será de 6300 mm.



Fig. 1.5 Palet en el que paletizan y mesa donde actualmente lo hacen de forma manual

Para el diseño se trabajará por tanto con la dimensión mayor, para estar así del lado de la seguridad.

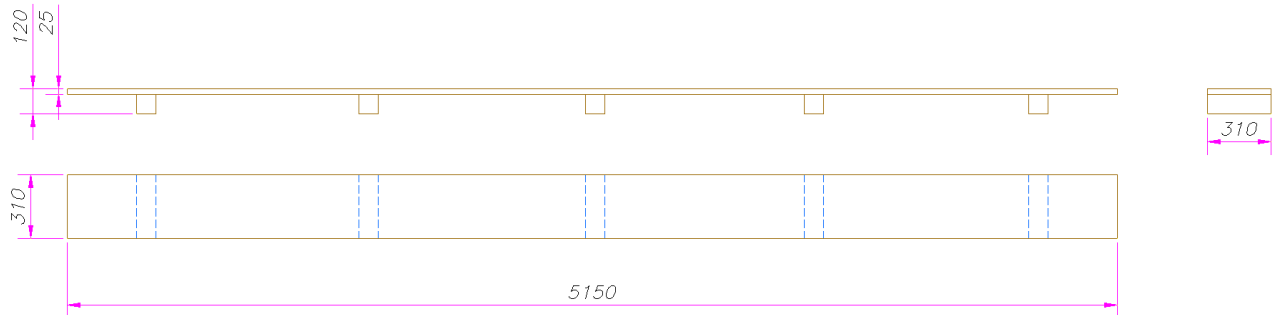


Fig. 1.6 Dimensiones Palet más desfavorable

2 Posibles diseños y restricciones.

A continuación se mostrarán los distintos modelos conceptuales de máquina propuestos además de las restricciones que el cliente exige, llegando así a una conclusión final de diseño de máquina.

2.1 Restricciones de diseño

No es la primera experiencia que el cliente tiene con un paletizador, anteriormente ya instalaron un paletizador con lo cual tienen cierta experiencia y saben lo que necesitan. A continuación tenemos algunos requisitos que el cliente exige a la hora de firmar el contrato para el encargo del paletizador.

2.1.1 Continuidad

El paletizador debe ser estable en el tiempo y debe ser capaz de manipular todas las pletinas que el banco de estiraje va procesando. Como se ha mencionado anteriormente el paletizador es capaz de suministrar pletinas a

una velocidad máxima de 12 m/min y además la barra más corta que el banco de estiraje suministra tiene 2500 mm, esta sería la condición más desfavorable que se nos plantearía y la situación con la cual se obtendrá el tiempo ciclo máximo del paletizador.

$$Velocidad\ máxima = 12 \frac{m}{min} \cdot \frac{1\cancel{min}}{60\ seg} = 0,2 \frac{m}{s}$$

$$Tiempo\ ciclo\ máquina\ (s) = \frac{2,5\ m}{0,2 \frac{m}{s}} = 12,5\ segundos$$

2.1.2 Cambios de formato de pletinas.

La empresa en función de los encargos de material que tenga fabricará un tipo de pletina u otro en cualquier momento no atendiendo a ninguna norma concreta, no tienen inventario con lo cual la máquina debe ser muy versátil a la hora de trabajar con una pletina u otra. En el mismo día pueden trabajar con la pletina más grande y acto seguido con la más pequeña, sin que esto le produzca ningún tipo de impedimento.

La empresa exige no tener que hacer ningún ajuste mecánico importante en la máquina independientemente de si trabaja con un tamaño de pletina u otro.

2.1.3 Funcionamiento en modo manual.

En el caso de querer trabajar de forma manual, bien sea porque el material no es totalmente perfecto para ser manipulado por el manipulador o porque necesiten hacerlo por cualquier motivo la máquina debe estar preparada para ello.

Cuando decimos trabajar en modo manual nos referimos a que en la zona de recepción de pletinas de nuestra máquina debe estar totalmente libre para que el operario pueda en cualquier momento sacar las barras manualmente.

2.2 Diseños

2.2.1 Diseño conceptual de la máquina.

Viendo la manera de proceder que tienen en la empresa de forma manual y queriendo reproducir nosotros esa misma tarea con una máquina automática, hay que pensar conceptualmente muy bien la tipología de máquina a montar ya que es muy importante que una vez instalada la empresa además de agilizar su producción tenga su producto final en las mismas condiciones que actualmente.

La forma de proceder del operario es llenar un palet de pletinas de forma manual y cuando lo termina tiene que realizar la tarea de envolver y proteger las pletinas, flejarlas y almacenar el material en el almacén. Mientras tanto el operario no puede estar pendiente de la máquina con lo que mientras prepara el material la máquina no está fabricando pletinas. La idea de la empresa es que mientras el operario realiza todas esas tareas la máquina siga almacenando pletinas en otro palet con lo que se aumentaría considerablemente en productividad.

En la siguiente imagen se adjunta un croquis del diseño conceptual de la máquina que debemos realizar, básicamente se trata de recoger las pletinas de una zona de recepción controlada y tener dos zonas donde poder colocar las pletinas encima de un palet de forma ordenada.

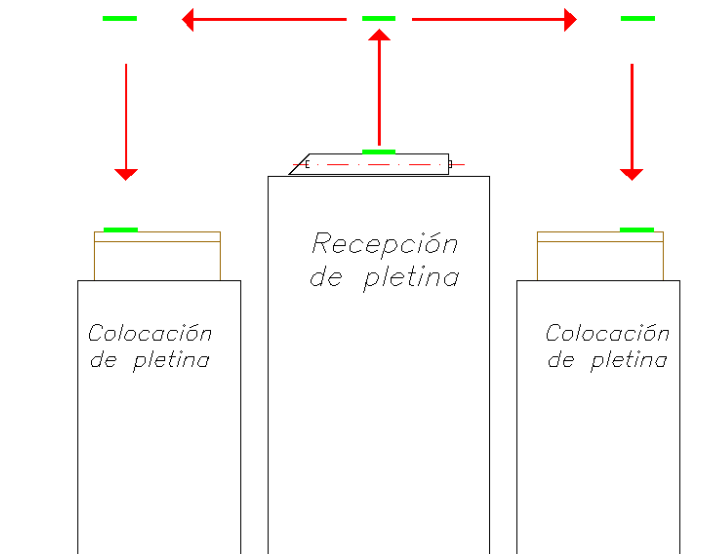


Fig. 2.1 Croquis del perfil de la máquina

En vista del croquis anterior tenemos 5 grupos de diseño importantes para la máquina:

- 1- Zona recepción de pletina. Es una zona donde se recibiría la pletina que llega del banco de estiraje, en esta zona la pletina se pondrá en una posición siempre correctamente referenciada para posteriormente poder ser recogida por el manipulador siempre en la misma posición.
- 2- Manipulación de pletinas. Estudiar como coger y soltar las pletinas de forma que siempre la podamos coger de forma correcta, estable y sin hacer ningún tipo de daño a la pletina.
- 3- Movimiento vertical de pletinas. Estudiar cómo mover verticalmente las pletinas, una vez cogida la pletina por el paletizador debemos levantarla verticalmente para ponerla a una cota vertical superior a la de salida de la pletina y así dejar libre el paso a la siguiente pletina que está entrando en el paletizador.
- 4- Movimiento horizontal de pletinas. Una vez hemos cogido la pletina y levantado verticalmente se debe desplazar horizontalmente la pletina hasta su posición final en la que finalmente se depositará la pletina en el palet.

- 5- Zona de colocación de pletinas. Es la zona donde se colocarán de forma segura y ordenada las pletinas encima de los palet. Esta zona está preparada para colocar los palet y fijarlos y colocarlos de forma precisa.

2.2.2 Zona de recepción de pletinas.

Para la automatización de cualquier proceso industrial es muy importante la repetitividad de las operaciones a realizar, además de la homogeneidad del producto. En nuestro caso estamos trabajando con pletinas que vamos a colocar de manera ordenada en un palet, para poder manipular las pletinas lo primero que debemos hacer es referenciarlas en una zona concreta de forma que podamos cogerlas siempre en la misma posición. Es en esta primera parte donde realizaremos la referencia de las pletinas.

Lo primero que hay que hacer es observar bien y estudiar cómo se realiza el trabajo de forma manual ya que esto nos dará una idea muy aproximada de la forma y del orden en el que debemos hacer las distintas operaciones. Actualmente en la fábrica la zona de recepción de pletinas es una mesa con una chapa continua en acero inoxidable sobre la que se deslizan las pletinas. A continuación se muestra una imagen de la mesa que actualmente existe.

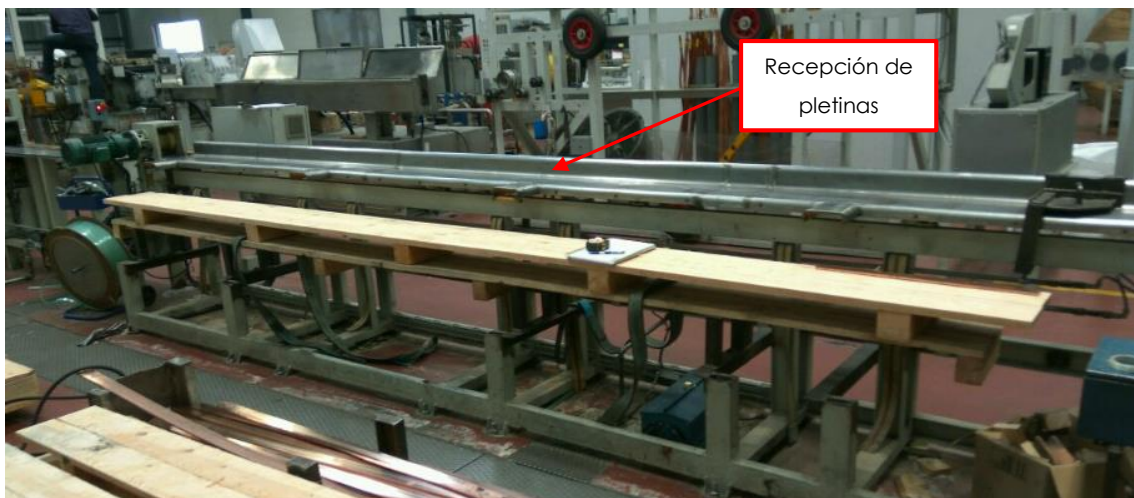


Fig. 2.2 Recepción manual de pletinas

En la mesa de recepción de pletina tenemos que hacer distintas operaciones

- 1- Elegir la tipología de mesa de recepción a montar.
- 2- Traccionar y detener la pletina para controlarla en la máquina en todo momento.
- 3- Colocar las pletinas siempre en la misma posición

A continuación mostraremos las principales opciones que se plantean, como primera opción plantearemos una mesa similar a la que actualmente tenemos con una base de acero inoxidable, y como segunda opción una mesa dotada de rodillos en la parte superior.

2.2.2.1 Zona recepción de pletinas

Se estudiarán dos opciones, una mesa con una base en acero inoxidable y una mesa con rodillos en su parte superior

- Mesa con base en Acero Inoxidable.

Se ha planteado como opción porque en la fábrica usan mucho este material para desplazar el cobre sobre él. A lo largo de todo el banco de estiraje tenemos muchas zonas donde el material se desplaza en rozamiento directo contra este material. A continuación mostramos las ventajas y desventajas de usar esta solución.

Ventajas:

- 1- Rigidez y continuidad el apoyo.
- 2- Durabilidad del material, el desgaste y el posible deterioro con el tiempo es prácticamente nulo

Desventajas:

- 1- Menores opciones a la hora de configurar, añadir o quitar elementos ajenos a la propia mesa que haya que insertar.

- **Zona recepción, mesa con rodillos de deslizamiento libres.**

Los transportadores de rodillos son algo muy utilizado en toda la industria en general y por supuesto, para el caso que nos ocupa, es una opción muy a tener en cuenta. A continuación mostramos las ventajas y desventajas.



Fig. 2.3 Transportador de rodillos de gravedad

Ventajas:

- 1- Poco rozamiento. En los transportadores de rodillos libres sin motorizar, como sería el caso, el material se desplaza sin oposición apenas por el plano tangente superior a éstos sin movimiento relativo entre el rodillo y la pletina ya que el movimiento se crea por el giro de los rodillos respecto a un eje equipado con rodamientos.
- 2- Versatilidad. Tenemos espacio libre entre rodillo y rodillo en el que podemos actuar sobre la pletina de distintas maneras.

Desventajas:

- 1- Durabilidad. La durabilidad de los rodillos con el tiempo es limitada, hay que tener algunos de repuesto para poder sustituirlos por el deterioro que puedan sufrir. No obstante, la vida útil de los rodillos es elevada.
- 2- Precio elevado. Comparado con otras opciones puede ser algo más caro, aunque para nada su precio es prohibitivo.

SISTEMA ELEGIDO

Una vez sopesado los pros y contras de ambas opciones damos por concluido que el sistema elegido para la recepción de pletinas va a ser un transportador de rodillos de gravedad (no motorizados). Las principales razones por las que se va a usar este sistema son las ventajas de este sistema que enumeramos en el párrafo anterior.

- 1- Con un sistema de rodillos la pletina no tiene movimiento relativo entre ella y el punto de contacto con los rodillos, esto es, la resistencia al movimiento es la resistencia a girar de los rodillos. La oposición al movimiento sobre la mesa se reduce a la resistencia de los rodamientos en los que están montados los rodillos, que es prácticamente nula.
- 2- Entre rodillos tenemos espacio para montar actuadores neumáticos o los elementos necesarios para referenciar las pletinas, manipular la pletina, poner topes, etc.

2.2.2.2 Traccionar y detener la pletina

Para traccionar y detener la pletina tenemos claro el sistema a utilizar, un rodillo motorizado y un contra-rodillo en la parte superior que aprisiona la pletina contra el rodillo motorizado y la acelera como a nosotros nos interese.

Para frenarla basta con detener el motor y detendremos la pletina.

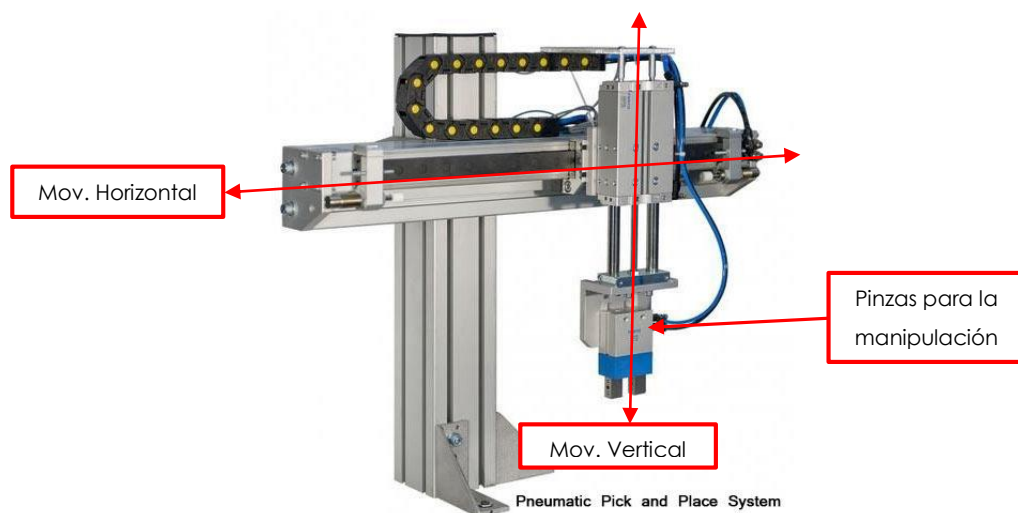
2.2.2.3 Referenciar las pletinas.

Para referenciar las pletinas se ha pensado en dos sistemas como posibles soluciones. Referenciar contra un lateral las pletinas mediante actuadores neumáticos con topes móviles o montar un sistema de rodillos verticales de autocentrado de pletinas. Para esta cuestión también se ha adoptado de forma clara el sistema de autocentrado de rodillos verticales, la razón por la que esto se ha realizado así es porque de cualquier modo, aunque referenciamos

con actuadores neumáticos siempre vamos a tener que montar una referencia vertical con rodillos sea cual sea el sistema de referencia final, con lo cual, ya instalamos unos rodillos preparados para centrar de una vez las pletinas.

2.2.3 Pick and Place

Pick and place es como se denomina en la industria de la automatización al proceso de “recoger y colocar” como su propia traducción indica. En nuestro caso tenemos que coger la pletina de una zona de recepción y colocarla en un palet. A continuación tenemos el ejemplo de un Pick and place con todos sus movimientos neumáticos.



En nuestro caso tenemos que hacer igual, un pick and place para recoger nuestra pletina, no obstante tendremos que estudiar de forma separada cada uno de los movimientos ya que según las necesidades que tengamos tendremos que utilizar un sistema u otro.

2.2.3.1 Pick and Place, manipulación de pletinas.

Para la manipulación de pletina se ha propuesto dos opciones de diseño, la manipulación con pinzas por una parte y la manipulación por ventosas por otra.

- **Manipulación por ventosas.**

A continuación se muestran las ventajas y desventajas de la manipulación por ventosas

Ventajas:

- 1- Fácil de ejecutar.
- 2- Elementos muy económicos.
- 3- Tamaño reducido por lo que en general facilita mucho el diseño.

Desventajas:

- 1- Se necesita un acabado superficial del material a manipular bastante bueno para trabajar y realizar la succión, no solo en planitud y dimensiones en general, si no en limpieza. Hay ventosas para todo tipo de superficie, pero para asegurar una buena fuerza de sujeción y tener una posición controlada las ventosas necesitan un buen acabado siempre.
- 2- Necesita más mantenimiento, siempre se debe tener ventosas de repuesto por el deterioro que sufren, además son muy sensibles a la suciedad.
- 3- La dimensión de la ventosa debe ir acorde al perfil, si elegimos una ventosa muy grande es posible que no podamos coger la pletina de menor dimensión y si cogemos una más pequeña es posible que no pueda con el peso propio ni las inercias de las pletinas de mayor tamaño.



Fig. 2.4 Ventosas manipulando pieza de la industria de la automoción.

- **Manipulación por pinzas.**

Las ventajas y desventajas de la manipulación por pinzas son las siguientes:

Ventajas:

- 1- Fiabilidad del sistema en caso de fallo del manipulador, si tenemos sujeta una pletina por la parte inferior de ésta y el paletizador se para no soltaría la barra y la dejaría sujeta en las pinzas.
- 2- Sistema versátil que puede manipular gran rango de tamaños.
- 3- Durabilidad y estabilidad en el tiempo.

Desventajas:

- 1- Sistema mucho más caro.
- 2- Diseño mecánico mucho más complejo, hay que tener en cuenta muchos más factores a la hora de elegir un sistema de pinzas adecuado. La pinza realiza una fuerza sobre las pletinas, tiene un tamaño mucho más grande, etc.



Fig. 2.5 Imagen de una pinza neumática que manipula pistones

SISTEMA ELEGIDO

Una vez estudiado los dos sistemas, nada más que por el hecho de que tenemos gran variedad de pletinas y cambiamos de formato de una forma bastante habitual nos vemos en la obligación de desechar el sistema de ventosas. Este sistema, aun siendo más económico, sería inviable para la empresa por el coste temporal que implicaría cambiar de formato.

2.2.3.2 Pick and Place. Movimiento Vertical.

Para el movimiento vertical tenemos en la industria muchas soluciones posibles a adoptar, para simplificar se estudiarán tres posibilidades de diseño: movimiento mediante actuadores neumáticos, mediante actuadores eléctricos lineales y mediante un servomotor con su transmisión.

Por supuesto que independientemente del modelo de transmisión de potencia a elegir, el sistema debe ir bien guiado. Obviaremos el sistema de guiado porque independientemente del modelo de transmisión de potencia a montar el guiado será el mismo.

Debemos tener presente que en el movimiento vertical estamos levantando una pletina de, en algunos casos, 6 metros de longitud, con lo cual tampoco montaremos un sistema de transmisión de potencia único, si no que

montaremos varios elementos en línea que una vez sincronizados elevarán o bajarán la pletina.

En el movimiento vertical, a diferencia del movimiento horizontal, la cota a la que debemos pararnos siempre depende de la distancia a la que queremos soltar o recoger la pletina, con lo cual cuando nos aproximamos a la superficie de recoger o soltar las pletinas podemos parar con algún sensor que nos proporcione una señal digital que nos indique parar. Esta es la causa por la que estudiamos hacer el movimiento neumático o accionado por un motor eléctrico.



Fig. 2.6 Actuador neumático, eléctrico y servomotor.

- **Movimiento mediante actuadores neumáticos.**

Las ventajas y desventajas de este modelo de accionamiento son las siguientes:

Ventajas:

- 1- Sistema muy económico en comparación con las otras opciones.
- 2- Asume irregularidades en el movimiento. Mecánicamente no es un ajuste muy preciso ya que al ser actuado neumáticamente la propia compresibilidad del aire le hace asumir dichas irregularidades evitando fallos mecánicos.
- 3- Los elementos de hardware para su control a nivel de electrónica son muy simples. Para su activación solo se necesita una salida digital del autómatas, que por norma general es algo que cualquier máquina automatizada tiene y en cantidad siempre sobredimensionada.

- 4- A nivel de programación también es muy simple. Basta con activar una salida digital que activará una válvula encargada de decir al pistón "sube o baja".
- 5- Mantenimiento más fácil, realizable por cualquier persona con unos conocimientos bastante simples sobre el tema.

Desventajas:

- 1- Sistema menos rígido en su movimiento al sincronizar varios elementos.
- 2- Menos control de la posición vertical. Mecánicamente podemos parar en una posición concreta con cierta tolerancia, pero no se puede controlar la posición en todo momento.
- 3- Menor control del movimiento en sí.

- **Movimiento servomotores o actuadores eléctricos.**

Se van a agrupar los dos casos, actuadores eléctricos o servos, porque independientemente de utilizar un sistema u otro las ventajas y desventajas de usar un sistema u otro son las mismas o muy parecidas.

Las ventajas y desventajas son las siguientes:

Ventajas:

- 1- Control preciso de la posición en todo momento.
- 2- Control preciso del movimiento en lo que a velocidades y aceleraciones se refiere.
- 3- Facilidad de sincronización entre dispositivos. La sincronización es eléctrica y electrónica.

Desventajas:

- 1- Para la realización del control eléctrico y electrónico necesitamos de elementos ajenos al propio actuador. Son elementos caros.
- 2- A nivel de programación es mucho más complicado controlar estos movimientos.
- 3- A nivel de mantenimiento se necesita de personas muy cualificadas para realizar cualquier ajuste o cambio.

SISTEMA ELEGIDO

Para el sistema de movimiento vertical nos hemos decantado al final por un movimiento accionado por pistones neumáticos que serán los encargados de levantar y bajar la pletina. Se ha elegido este movimiento debido a que tenemos cierto margen de tolerancia para recoger y soltar pletinas. Siempre recogemos del mismo lugar las pletinas y a la hora de soltarlas siempre soltamos a la misma altura con lo que con un sistema donde tengamos un sensor de proximidad simple nos bastaría para soltar y recoger con la precisión que necesitamos.

Además, debido a la variabilidad de la madera que conforma el palet la altura no siempre será la misma, con lo que es mejor medir la parada respecto esa superficie que de otro modo. El montar el movimiento neumático nos va a permitir más tolerancia a la hora de soltar las pletinas.

2.2.3.3 Pick and Place. Movimiento Horizontal.

En este movimiento de las pletinas no se va a comparar ningún sistema diferente entre sí ya que son los mismos que en el caso anterior. En este caso está claro el sistema a utilizar, en el funcionamiento normal de la máquina las pletinas una vez manipuladas se deben llevar a una cota horizontal precisa y conocida, con esto ya vaticinamos que la transmisión debe realizarse mediante un sistema de transmisión adecuado y un servomotor que será el encargado de mover horizontalmente la estructura que sopesará la pletina.

2.2.4 Zona de colocación de pletinas.

La zona de colocación de pletinas debe ser una zona en la que colocar y referenciar el palet de forma estable, de tal forma que cuando esté

referenciado y asegurado podamos colocar las pletinas encima de éste sin problema. El sistema que se va a elegir va a ser una estructura metálica rígida con una base superior continua y estable, unido a esta estructura metálica también se va a colocar un tope móvil accionado con pistones neumáticos para fijar y referenciar bien el palet.

2.3 Diseño conceptual y descriptivo del modelo elegido

Recapitulando con lo anterior vamos a hacer un resumen de cómo va a ser la máquina conceptualmente. Nos apoyaremos esta vez en una vista de perfil de la máquina real ya diseñada.

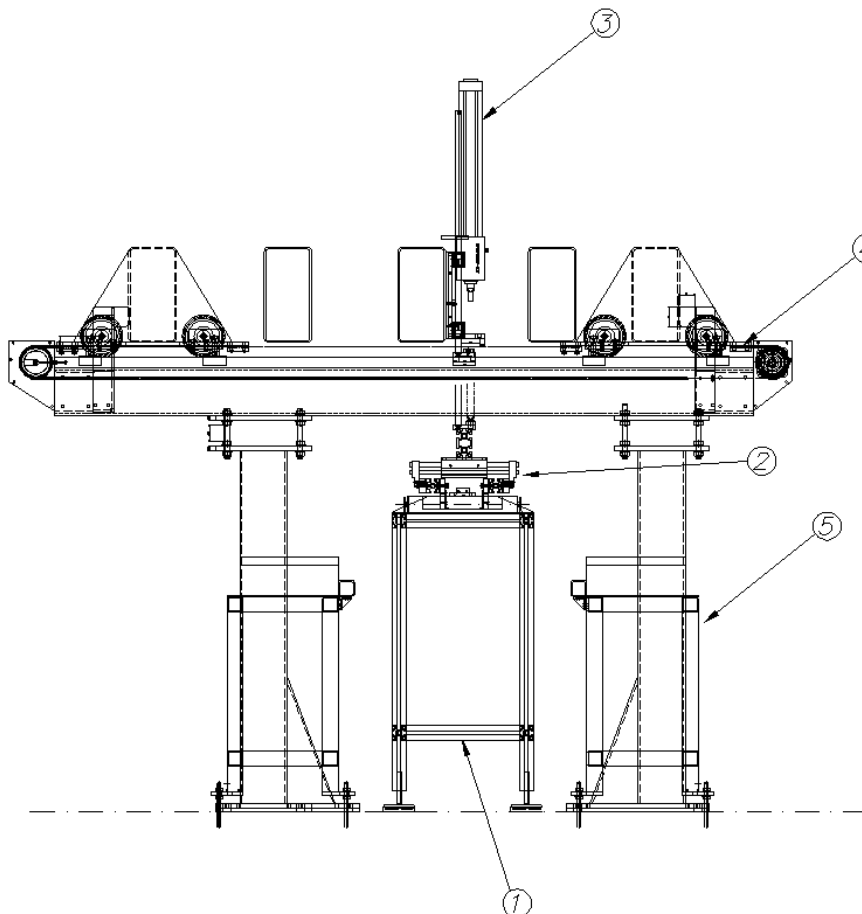


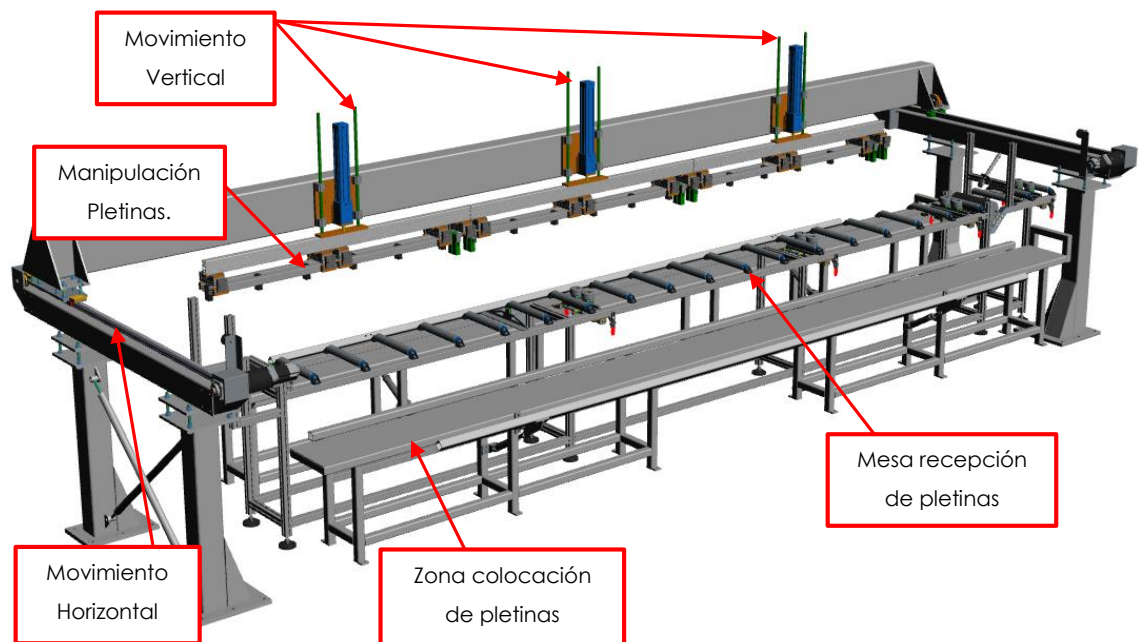
Fig. 2.7 Perfil real de la máquina diseñada

Las soluciones para las distintas partes de la máquina son las siguientes:

- 1- Mesa de referencia. Se ha optado para la mesa de referencia de una estructura de perfil modular de aluminio sobre la que irán apoyados unos rodillos sobre los que deslizarán las pletinas. A su vez, sobre esta estructura se colocarán los rodillos autocentrantes para que la pletina se desplace de forma recta sin desviarse, también se colocará el motor de tracción de la pletina.
- 2- Pinzas de manipulación. Para las pinzas de manipulación de pletina se ha optado por montar unas pinzas neumáticas comerciales de la firma SMC.
- 3- Movimiento vertical. Para el movimiento vertical se ha elegido un pistón neumático con el guiado correspondiente.
- 4- Movimiento horizontal. Para el movimiento horizontal se ha optado por montar unos servomotores con su reductora que transmiten la potencia al sistema mediante un sistema de poleas y correa.
- 5- Colocación de pletinas. Para la ubicación de los palet se han diseñado unas estructuras metálicas lo suficientemente rígidas como para que puedan soportar el palet y pueda referenciarse bien en ellas.

3 DISEÑO

Tras estudiar las distintas opciones de diseño y ya con un concepto de máquina pensado vamos a adentrarnos en los parámetros de diseño que han sido cruciales para crear el paletizador. Se explicará a continuación las soluciones finales de algunos elementos adoptadas sobre el diseño final de la máquina. En la siguiente imagen se puede observar una imagen 3D de la máquina con las distintas partes



3.1 Dimensiones generales de la zona de instalación.

Para un correcto diseño lo primero que hay que tener en cuenta, además de los datos técnicos que la empresa nos ha proporcionado, es dónde va a ir ubicada la máquina. Esto es muy importante porque de ello también dependen las soluciones de diseño a llevar a cabo. A continuación se muestra una imagen

de la zona donde se va a instalar la máquina y un croquis con la medición de la zona en concreto.

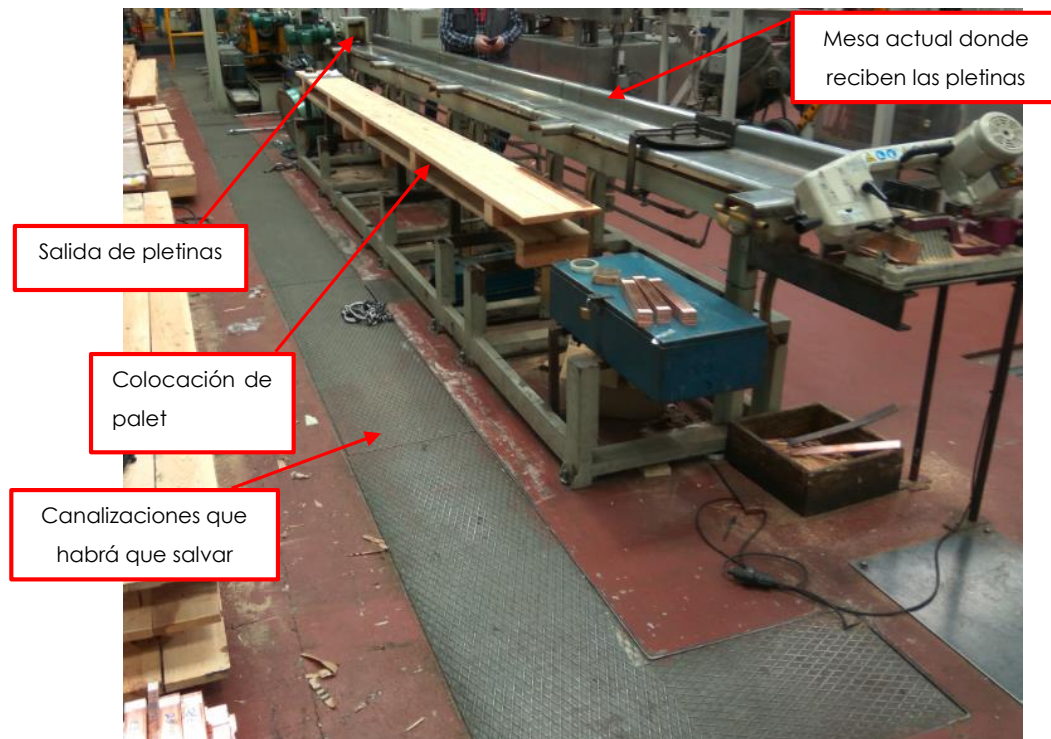


Fig. 3.1 Zona donde se instalará la máquina

En la imagen inferior tenemos las cotas de la zona donde se va a instalar la máquina. Como nota podemos observar que tenemos un largo de 8500 mm para instalar la máquina y un ancho de 4600 mm, a priori es una zona suficientemente amplia, suponiendo que la pletina más larga mide 6000 mm y el ancho del palet 350 mm como mucho.

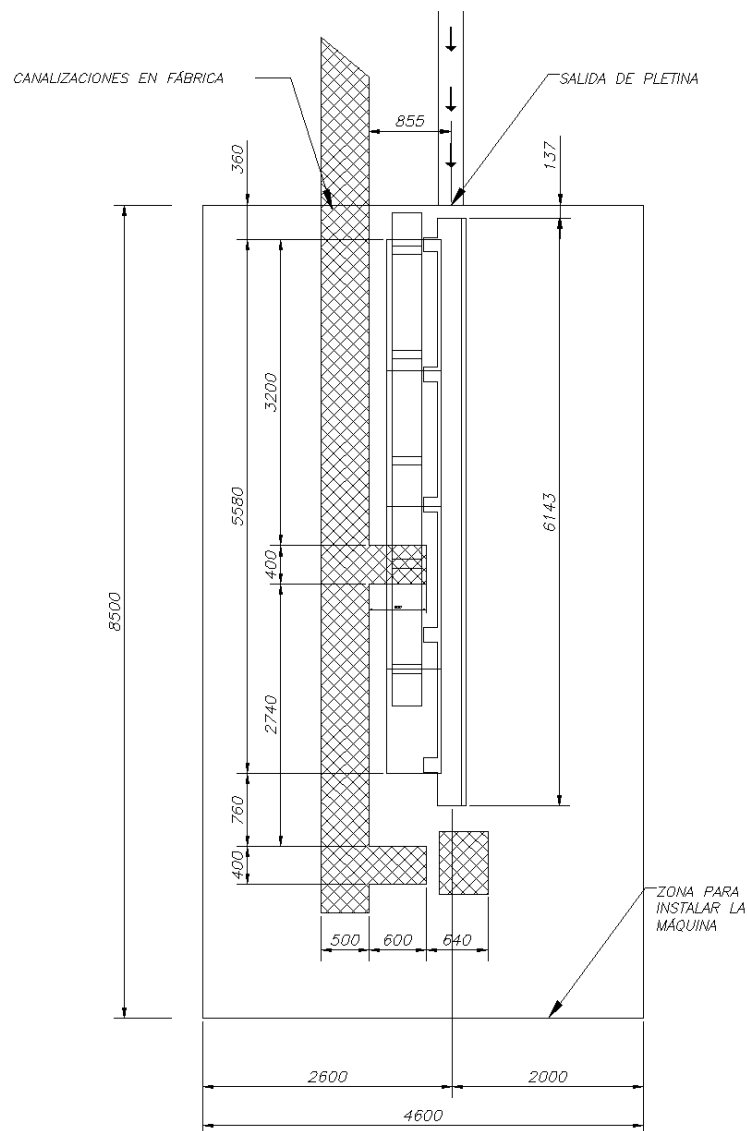


Fig. 3.2 Cotas de la zona a instalar la máquina

3.2 Zona de recepción de pletinas.

Como ya se ha mencionado para la recepción de pletinas se va a montar una mesa de recepción equipada con rodillos en la parte superior, a su vez tendrá unos rodillos verticales que centrarán las pletinas y un motor que traicionará y frenará la barra. Nos apoyaremos en el siguiente diseño para explicar cada parte.

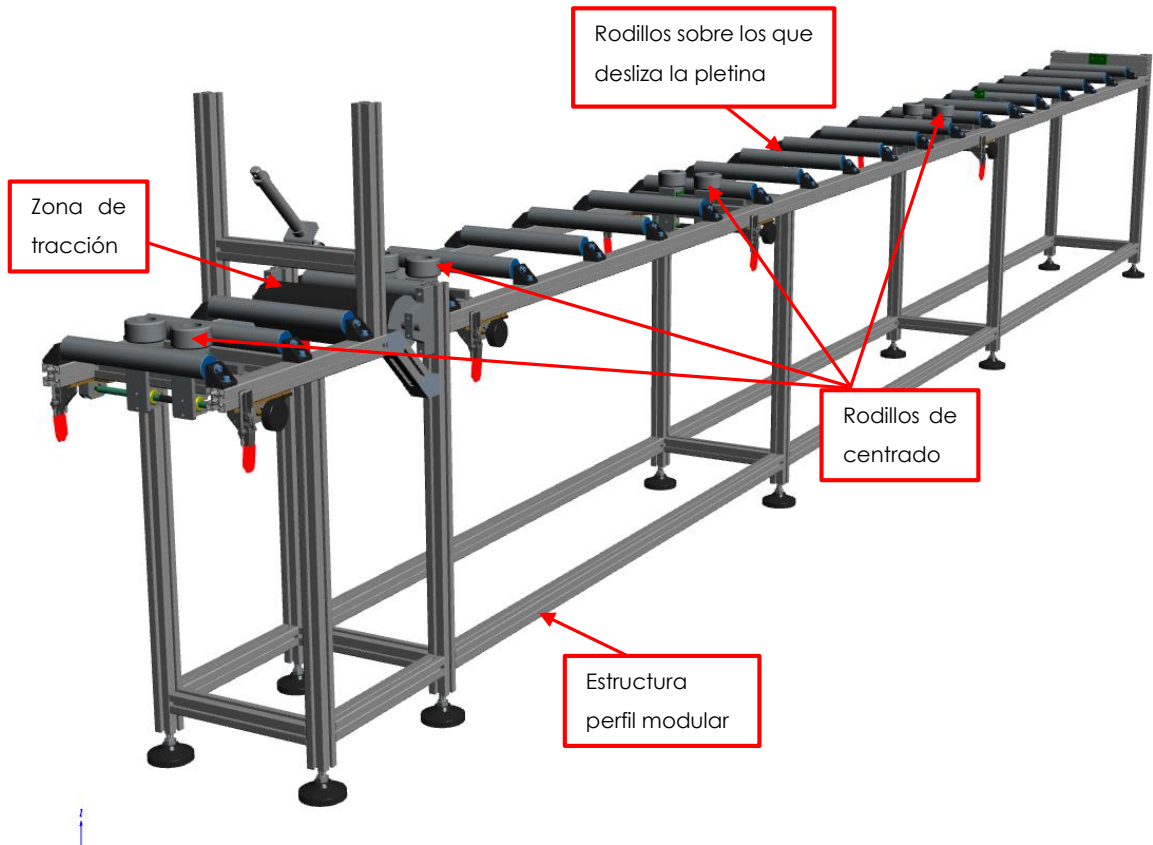


Fig. 3.3 Mesa de recepción de pletinas.

3.2.1 Estructura y rodillos

La estructura se ha realizado con perfil modular de aluminio. Concretamente se han utilizado perfilería y componentes de la firma Fasten Sistemas, esta firma ofrece un completo sistema de elementos de fijación y unión, accesorios de montaje y posicionamiento, perfiles plásticos y de aluminio especialmente diseñados para el desarrollo de proyectos de ingeniería mecánica. Este sistema constituye un avance importante en términos de ahorro económico y de tiempo permitiendo acercar el montaje a la fase de diseño y evitando problemas relacionados con la preparación de partes para soldar, las deformaciones, el esmerilado de la soldadura, estabilización de las bases y otros trabajos mecánicos. Mediante la combinación de perfiles con sus diferentes elementos de unión y fijación pueden construirse todo tipo de estructuras de manera flexible.

El perfil en concreto que se va a utilizar para la estructura es un perfil con la siguiente sección:

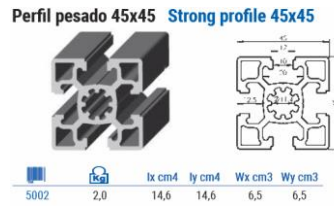


Fig. 3.4 Perfil modular Fasten 45x45

Como se aprecia en la imagen el perfil cuenta con unas ranuras longitudinales, estas ranuras son especialmente útiles no solo para montar la estructura en sí, si no para unir a ella todos los elementos necesarios, como posteriormente veremos. En el catálogo existen numerosos elementos especiales para trabajar con estos perfiles como tuercas, tornillos, escuadras, bisagra, etc.

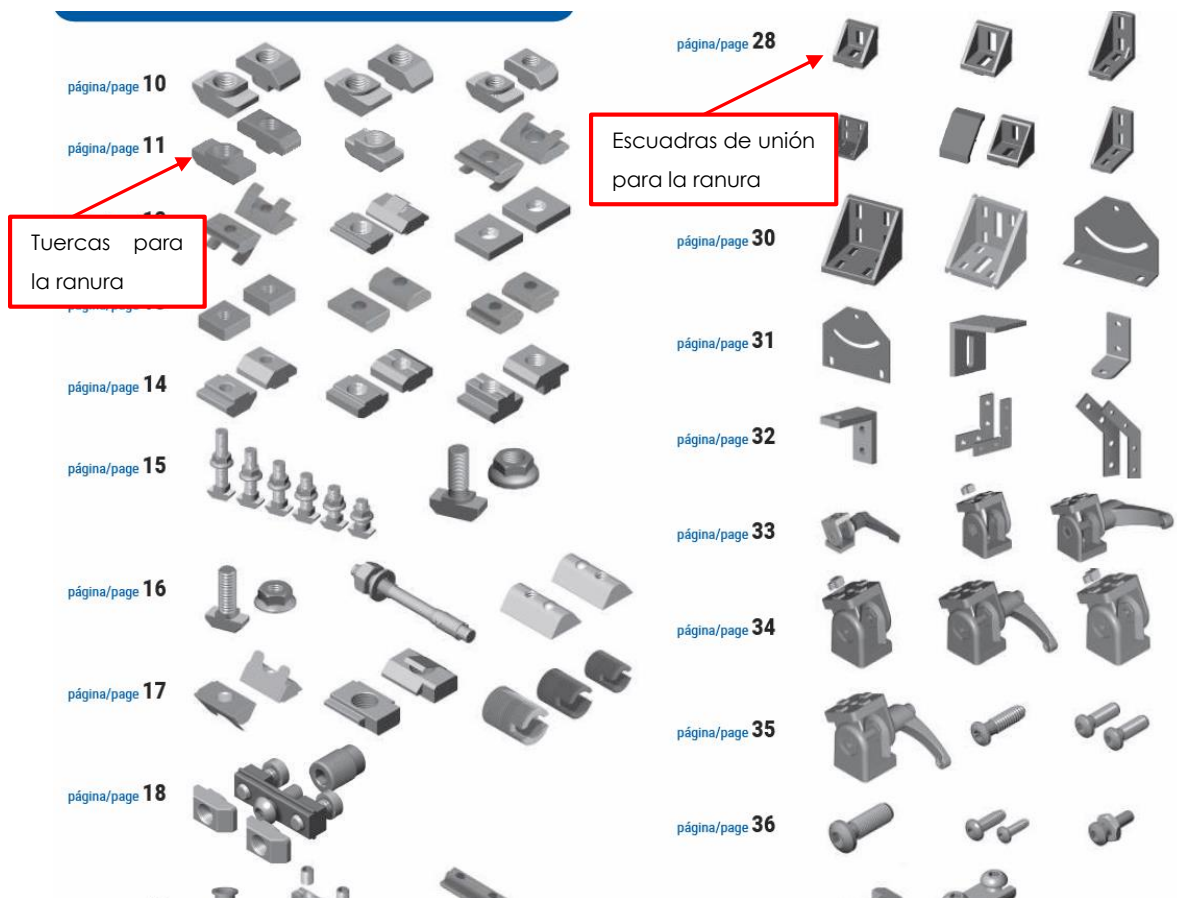


Fig. 3.5 Algunos elementos para perfiles modulares

Las dimensiones de la estructura de la mesa son las siguientes, en ella se podrán manipular pletinas de 6000 mm como máximo:

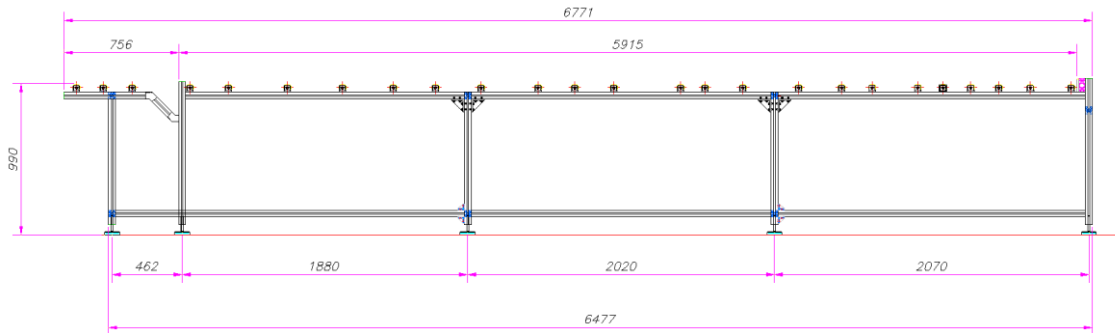


Fig. 3.6 Alzado mesa de recepción con rodillos

El perfil de la mesa de rodillos es el siguiente:

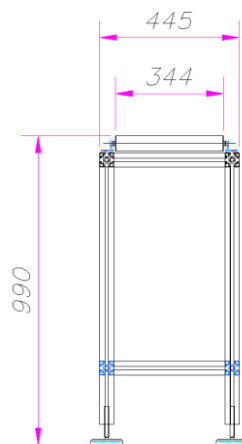


Fig. 3.7 Vista de perfil de mesa de rodillos

El ancho de la mesa de rodillos es de 445 mm y el rodillo elegido es 344 mm, un ancho suficiente para albergar en ella los elementos necesarios para centrar la pletina.

Los rodillos a montar son de la firma Codimar y son rodillos fabricados en PVC, material más blando que el cobre con lo que así conforme avanzan las pletinas no hay peligro de deteriorar el material.

Los rodillos a montar son los siguientes:

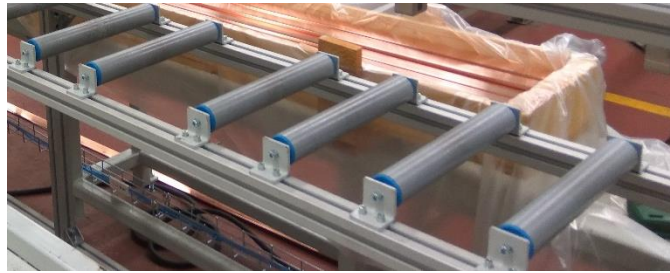
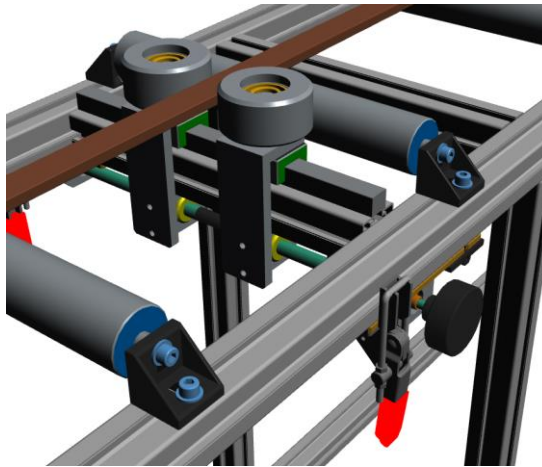


Fig. 3.8 Rodillos montados en la mesa de recepción

3.2.2 Rodillos de centrado de pletinas

La pletina que avanza sobre la mesa de rodillos tiene que ir centrada respecto a esta mesa para poder ser recogida siempre en la misma posición con las pinzas. Para la realización del centrado de las pletinas se han usado dos rodillos dispuestos de tal forma que el eje está vertical. Al trabajar con distintos anchos de pletina debemos hacer un sistema regulable.



Se ha diseñado un sistema en el que tenemos dos rodillos dispuestos verticalmente montados en unas escuadras de aluminio unidas a un patín lineal, estas escuadras a su vez están unidas a un husillo trapezoidal mediante una tuerca a izquierdas en un lado y a derechas en otro. De esta forma al mover un pomo montado en el extremo giramos el husillo abriendo o separando los rodillos entre sí, regulando así de forma rápida el sistema para las pletinas grandes o para las pletinas pequeñas.

En la siguiente imagen se ve con más detalle cómo es el sistema:

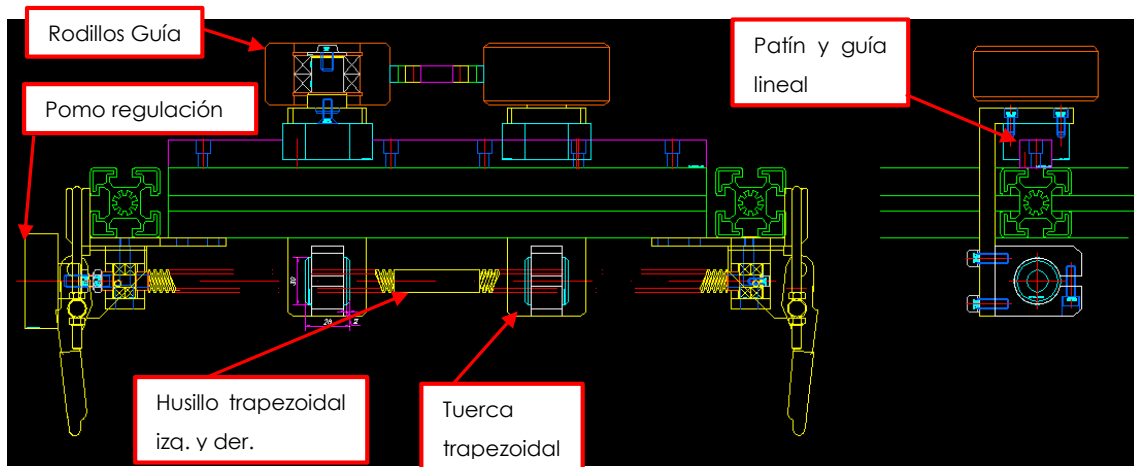


Fig. 3.9 Detalle sistema centrado pletinas

Este sistema a su vez está equipado con un sistema que pivota a través de un eje de tal forma que podamos retranquear el sistema de centrado por debajo de los rodillos y así poder trabajar manualmente con la máquina si el operario así lo requiere.

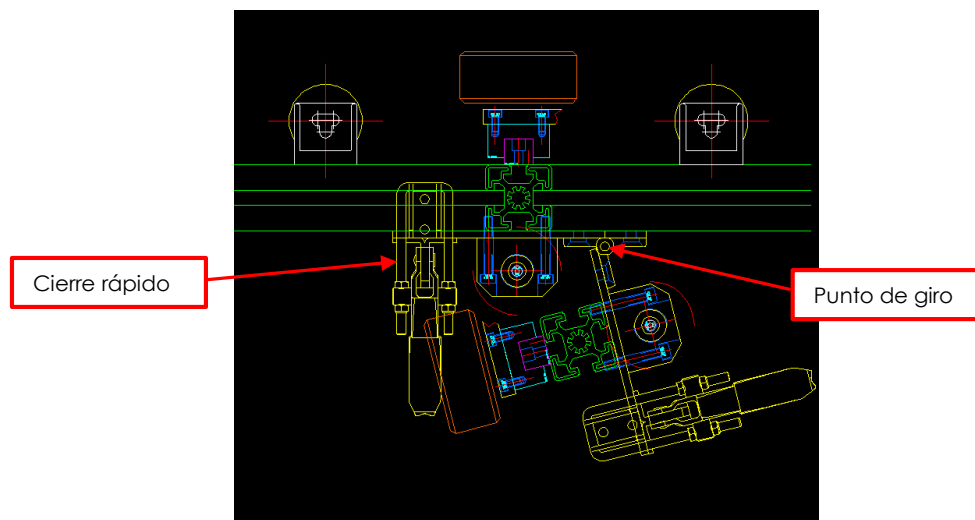


Fig. 3.10 Sistema de giro para el sistema de guiado

3.3 Manipulación de pletinas. Pinzas y dedos.

Para la manipulación de las pletinas, como ya hemos comentado anteriormente, se va a realizar con pinzas neumáticas de la firma SMC. A

continuación vamos a ver más detenidamente por qué se han usado unas pinzas comerciales y a su vez por qué hemos usado las pinzas que hemos usado.

Los parámetros de diseño que tenemos que tener en cuenta son los siguientes:

- Las pinzas deben ser capaces de coger barras desde 12 hasta 80 mm de ancho.
- Las pinzas deben ser pinzas paralelas, esto es, los dedos de las pinzas en la posición abierta y cerrada deben ser paralelos para no desestabilizar las pletinas.
- Cuando se cierran los dedos de las pinzas no deben hacer mucha fuerza contra la pletina para no ocasionarle ninguna marca.

Para ver la tipología de pinza a montar entramos en el catálogo online de SMC y tenemos los siguientes modelos:



Fig. 3.11 Tipos de pinzas neumáticas SMC.

Viendo los tipos de pinzas que tenemos en el mercado tenemos claro que usaremos una pinza paralela de 2 dedos. Atendiendo a los criterios de diseño elegiremos una pinza u otra.

Como se comentó anteriormente tenemos una gran cantidad de pletinas que debemos manipular pero nos centraremos en las 3 más desfavorables, pudiendo manipular éstas, manipularemos todas. Las pletinas son:

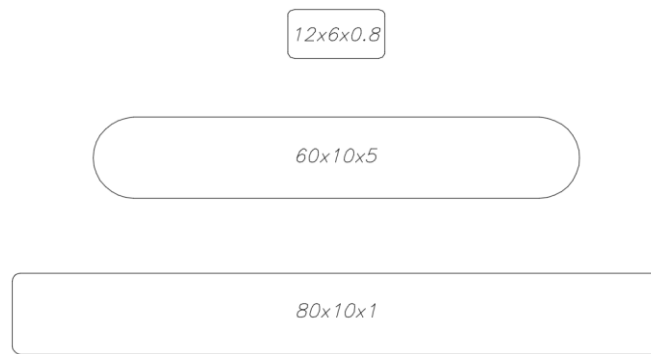


Fig. 3.12 Pletinas más desfavorables

3.3.1 Carrera necesaria Pinzas.

Atendiendo a las dimensiones de las pletinas anteriores tenemos que buscar unas pinzas tales que en su posición abierta sus dedos puedan coger la pletina más grande y en su posición cerrada la pletina más pequeña. A continuación estudiamos la carrera que deben tener las pinzas.

En la posición abierta tenemos el siguiente caso:

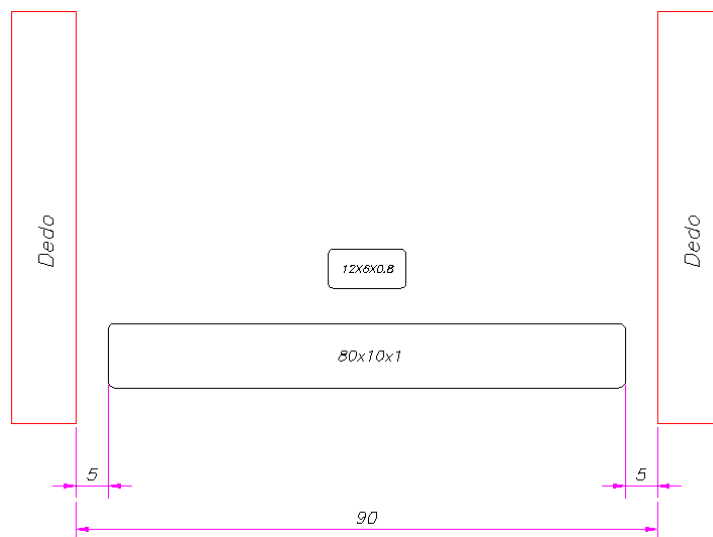


Fig. 3.13 Posición mínima de los dedos con la pinza abierta.

Dejaremos una holgura mínima de 5 mm por cada lado en la pletina grande para asegurar coger la pletina.

En la posición cerrada tendremos el siguiente caso:

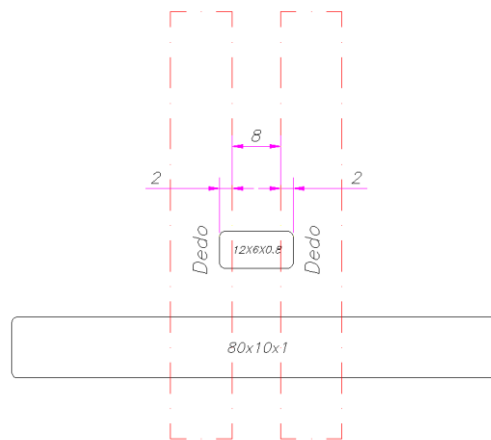


Fig. 3.14 Medida mínima de los dedos con las pinzas cerradas

Para asegurar que cogemos la pletina más pequeña se ha decidido que los dedos al menos deben de tener una interferencia de 2 mm por cada lado con la pletina pequeña, esto no quiere decir que las pinzas tengan esa interferencia con la pletina, si no que el contacto de los dedos con la pletina más pequeña es efectivo.

En vista de lo anterior la carrera que debe tener la pinza sería:

$$\text{Distancia entre dedos pinza abierta} = 90 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\text{Distancia entre dedos pinza cerrada} = 8 \text{ mm.} \quad (2)$$

$$\text{Carrera mínima} = (1) - (2) = 90 - 8 = 82 \text{ mm.}$$

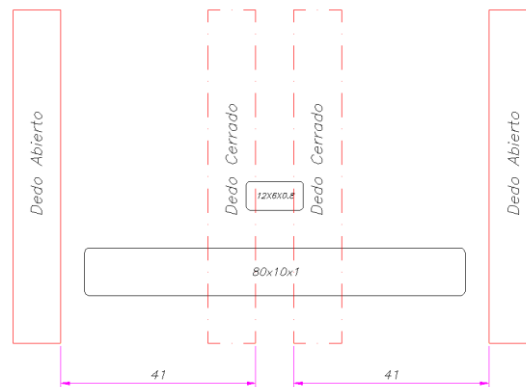


Fig. 3.15 Croquis dedos abiertos y cerrados

3.3.2 Capacidad de carga mínima de las pinzas

Las pinzas van a sopesar todo el peso de las barras de cobre, para esto tendremos en cuenta la barra más desfavorable, que será la de sección con mayor área y longitud de 6 metros.

La pletina más desfavorable será la de 80x10x1, de la que calcularemos su peso propio:

$$\text{Área}_{80 \times 10 \times 1} = 800 \text{ mm}^2 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad cobre} = 8.960 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso propio pletina} = 8.960 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 43,008 \text{ Kg} \cong 43 \text{ Kg}$$

Tendremos a lo largo de la máquina 12 pinzas que sopesarán el peso de la pletina.

$$\text{Fuerza por pinza} = \frac{43 \text{ Kg}}{12 \text{ pinzas}} = 3,58 \frac{\text{Kg}}{\text{Pinza}}$$

3.3.3 Geometría dedos.

Para manipular las barras vamos a intentar ejercer la menor fuerza lateral posible en las barras, de tal forma que sopesemos el peso de la barra con un apoyo inferior en los propios dedos.

Además contamos con un tipo de pletina que tiene el canto totalmente semicircular de radio 5, con lo cual tenemos que apoyar la pletina en una base inferior para sopesar y estabilizar este tipo de pletinas.

En la siguiente imagen se ve un croquis aproximado.

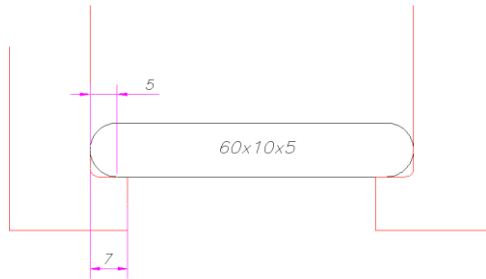


Fig. 3.16 Diseño aproximado dedos con apoyo inferior

3.3.4 Elección de pinzas

Una vez claros los datos a tener en cuenta para el diseño de las pinzas miramos en el catálogo de SMC para ver cual se ajusta más a nuestras necesidades.

Dentro del catálogo para pinzas paralelas de dos dedos tenemos las siguientes opciones:



Fig. 3.17 Tipos de pinzas paralelas

Las pinzas con la carrera más larga son el modelo MHL, es la que elegiremos.

Pinza neumática de gran apertura paralela
 Ø 10, Ø 16, Ø 20, Ø 25

Nuevo

Peso Máx. **10%** de reducción 585 g → 525 g
Ø 16, Carrera de apertura: 30 mm

El nuevo diseño conlleva una importante reducción de peso, que permite unas mejores condiciones dinámicas de la aplicación.

Fig. 3.18 Modelo de pinza elegido

Modelo / Carrera

Modelo	Diámetro [mm]	Frecuencia máx. de trabajo [c.p.m]	Carrera de apertura/cierre [mm] (L2-L1)	Anchura con pinza cerrada [mm] (L1)	Anchura pinza abierta [mm] (L2)	Peso [g]
MHL2-10DZ	10	60	20	56	76	280
MHL2-10D1Z		40	40	78	118	355
MHL2-10D2Z			60	96	156	430
MHL2-16DZ	16	60	30	68	98	525
MHL2-16D1Z		40	60	110	170	725
MHL2-16D2Z			80	130	210	845
MHL2-20DZ	20	60	40	82	122	940
MHL2-20D1Z		40	80	142	222	1335
MHL2-20D2Z			100	162	262	1520
MHL2-25DZ	25	60	50	100	150	1565
MHL2-25D1Z		40	100	182	282	2295
MHL2-25D2Z			120	200	320	2525

Fig. 3.19 Modelo concreto que cumple con la carrera necesaria, MHL2-25 D1Z

Esta pinza es la más robusta de la serie, según el fabricante la capacidad de carga portante es de 120 N con lo que tendríamos un factor de seguridad de:

$$\text{Factor seguridad} = \frac{\text{Capacidad portante Pinza}}{\frac{\text{Peso pletina}}{\text{pinza}}} = \frac{120 \text{ N}}{35,8 \text{ N}} = 3,35$$

Para explicar el diseño de la pinza y los dedos nos vamos a basar, igual que en la mesa de rodillos, sobre el diseño ya definitivo.

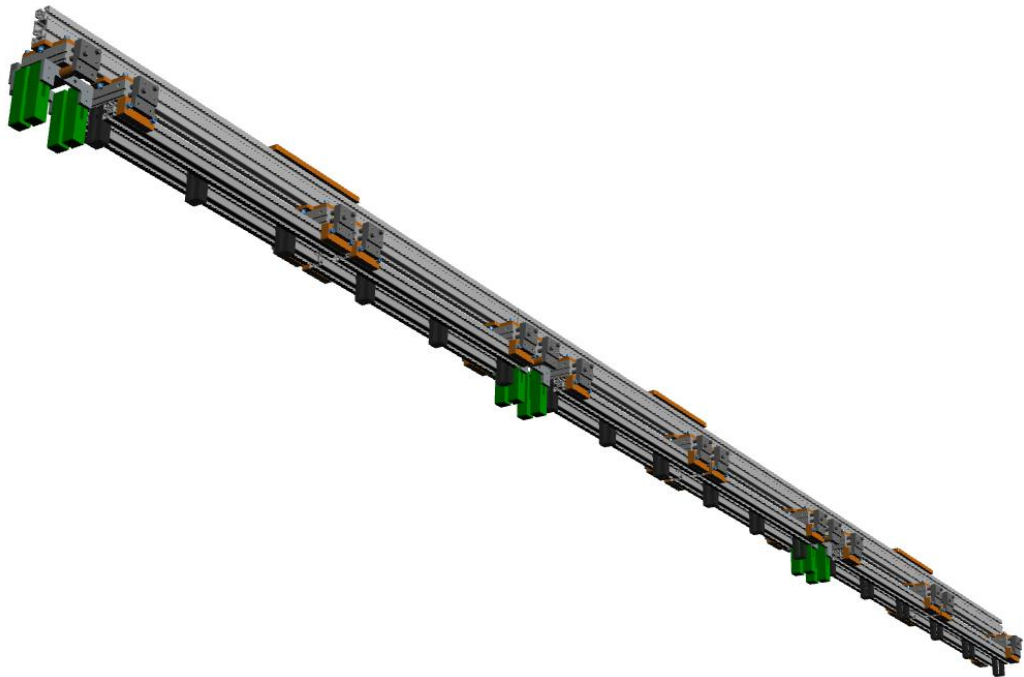


Fig. 3.20 Sistema de pinzas que manipularán las pletinas

Como vemos en la imagen anterior se han distribuido dedos a lo largo de toda la longitud de la pletina más larga, 6 metros. Para tener una distribución más homogénea se han unido las pinzas de 2 en 2 con un perfil de aluminio modular en el cual se podrán montar dedos en la posición que convenga, esto es una gran ventaja debido a la versatilidad que nos proporciona.

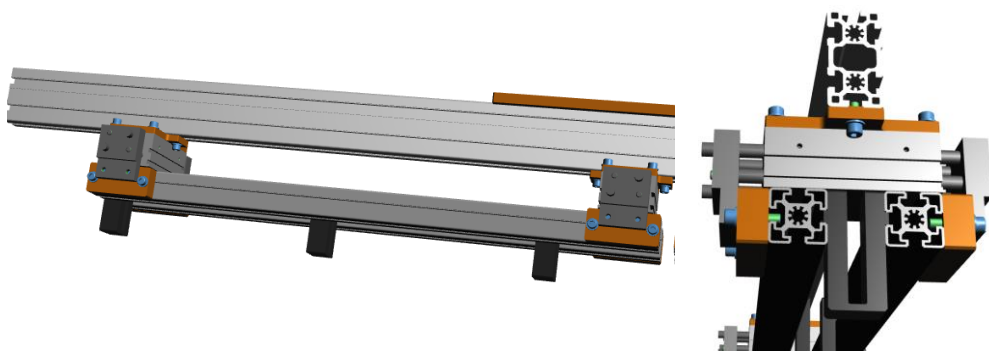


Fig. 3.21 Detalles de las pinzas con los dedos

En la siguiente imagen se ve lo que hemos comentado anteriormente, la distribución de los dedos, de tal forma que se intercalen con los rodillos de la mesa de recepción de pletinas.

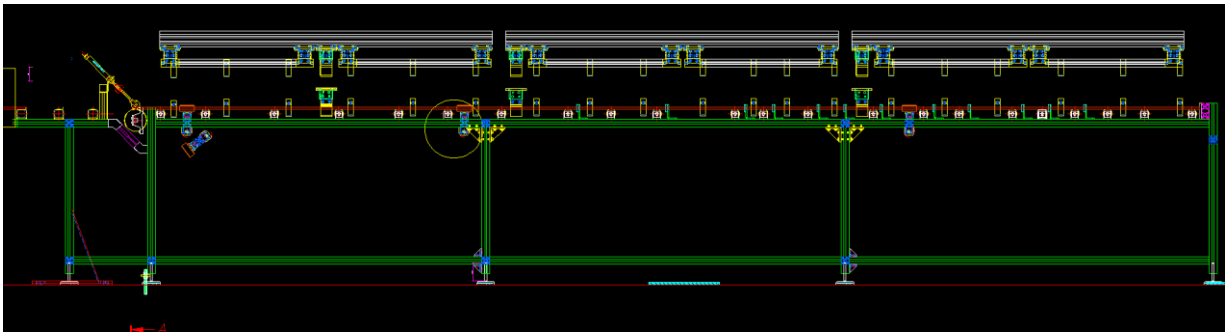


Fig. 3.22 Distribución dedos, rodillos y centrado

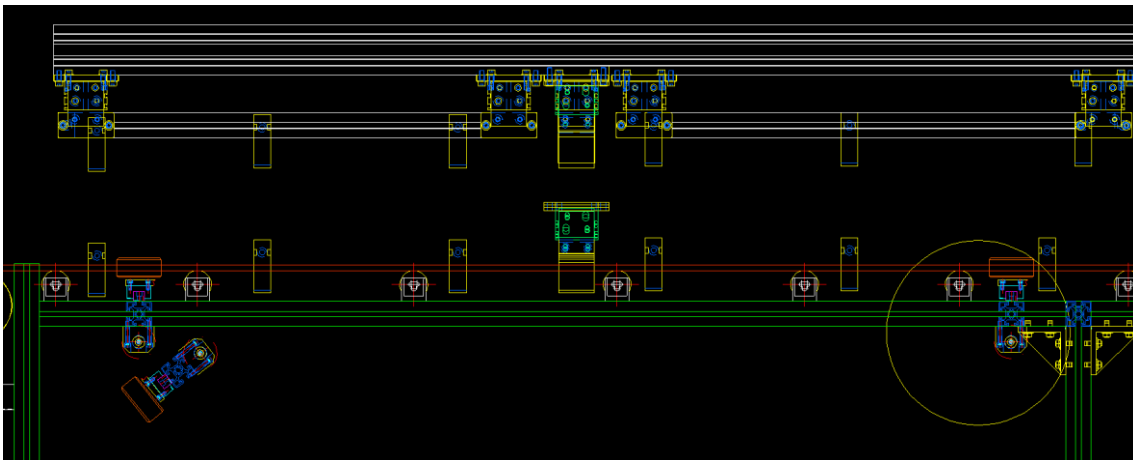


Fig. 3.23 Vista más detalle de la distribución de los dedos

3.3.5 Estudio de resistencia de los dedos

Para ver cómo se comportarían los dedos tenemos que estudiar la hipótesis de carga más desfavorable. En cada dedo tenemos dos fuerzas independientes, una fuerza horizontal debida a la acción del cierre de las propias pinzas y una fuerza vertical debida al peso propio de la pletina.

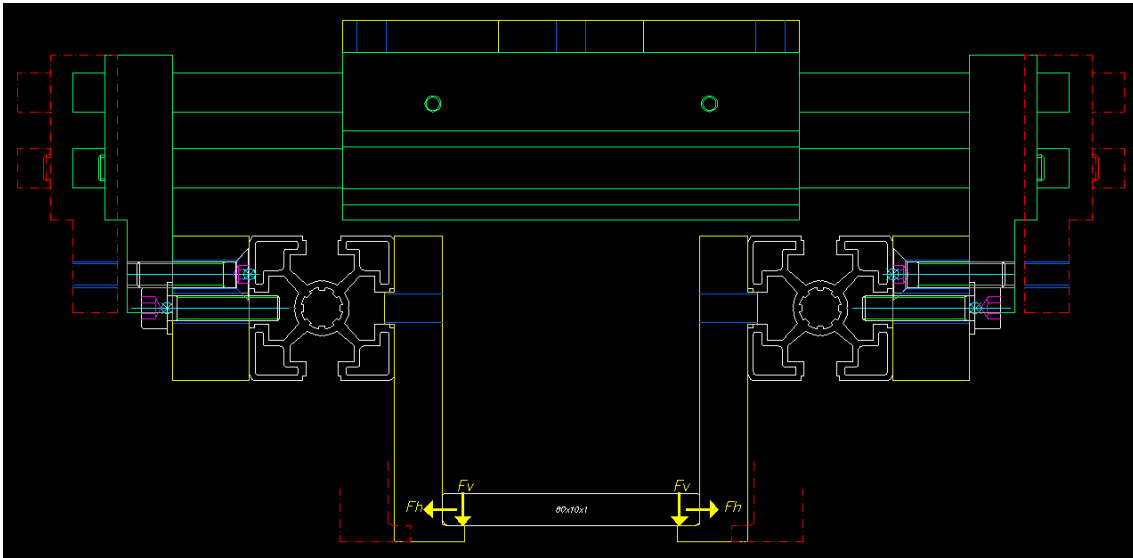


Fig. 3.24 Acciones sobre los dedos

Para calcular la fuerza horizontal (F_h) que ejercen las pinzas sobre la pletina nos basaremos en el catálogo de SMC y sus indicaciones, para el caso en el que la pinza sopesa el peso del objeto a manipular de forma firme la fuerza de amarre sería como la de la siguiente imagen.

Fuerza de amarre efectiva

- **Indicación de la fuerza efectiva de amarre**

La fuerza de amarre mostrada en las tablas representa la fuerza de amarre de cada uno de los dedos, cuando la pieza está firmemente sujeta por la pinza.

F = Empuje de un dedo.

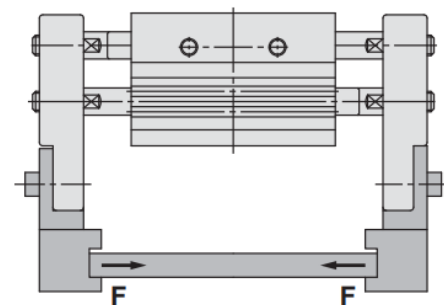


Fig. 3.25 Fuerza de amarre efectiva

Esta fuerza de amarre viene dada por la siguiente gráfica y en función de la distancia al punto de amarre.

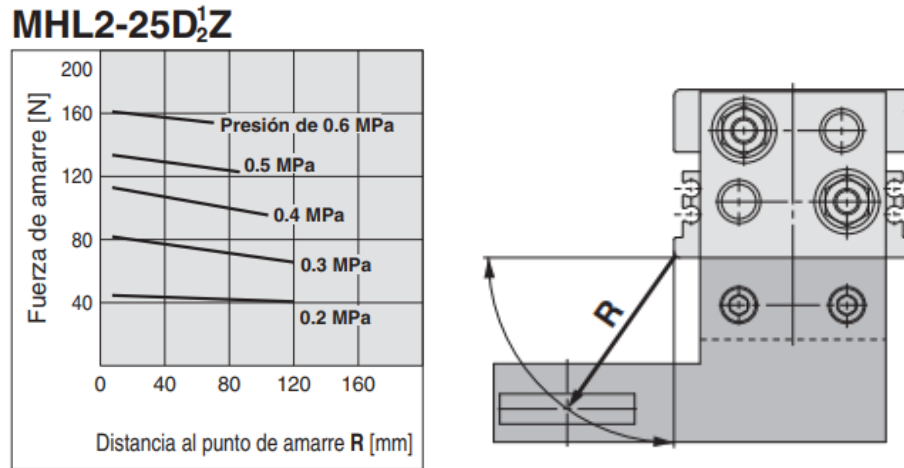


Fig. 3.26 Fuerza de amarre en función de la distancia al punto

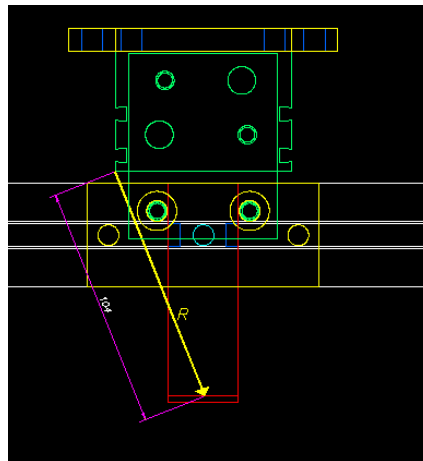


Fig. 3.27 Distancia R al punto de amarre, suponiendo la distancia de la imagen.

En nuestro caso hemos considerado el dedo justo debajo de la pinza, no es exactamente así pero hemos visto que por cada pareja de pinzas tenemos un perfil modular de aluminio que portan los dedos, supondremos esta unión infinitamente rígida y tendremos en cuenta un solo dedo debajo de cada pinza.

La presión de trabajo de la máquina es de 0,6 MPa, no obstante nos interesa tener la menor fuerza horizontal ya que la idea es sopesar la pletina por

la parte inferior de los dedos y así ejercerle la menor fuerza horizontal posible. Se instalará un regulador de presión para el aire comprimido de tal forma que la fuerza de las pinzas trabajen a una presión menor para ejercer una fuerza menor sobre las pletinas, se bajará la presión al mínimo posible, en nuestro caso el mínimo posible es 0,2 MPa ya que hemos comprobado en la práctica que a menos presión las tensiones mecánicas del conjunto en sí impiden que se muevan con facilidad.

A 0,2 MPa y una distancia $R = 104$ mm tenemos una fuerza de amarre:

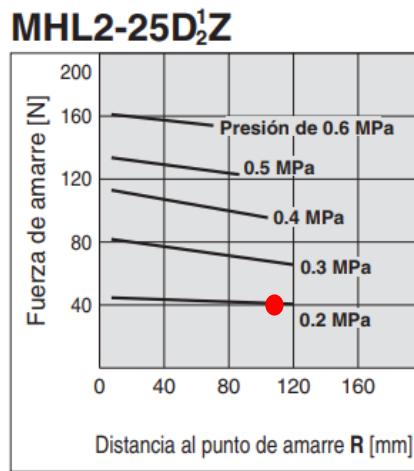


Fig. 3.28 Fuerza de amarre para nuestro caso, 40 N

Tenemos una fuerza de amarre de 40 N de manera lateral, como tenemos una pareja de pinzas con un perfil común que las une tendremos que multiplicar la fuerza de amarre por el número de pinzas y dividirla por el número de dedos.

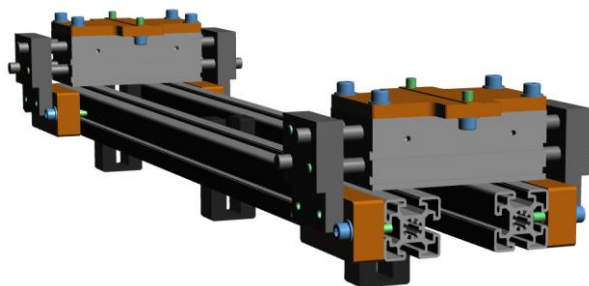


Fig. 3.29 Pareja de pinzas con perfiles y dedos

$$F_h = F_{amarre} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ pinzas}}{\text{parejas de dedos}} = 40 \text{ N} \cdot \frac{2}{3} = 26,7 \text{ N}$$

La fuerza vertical que sopesarán los dedos la calcularemos dividiendo el peso propio de la pletina más grande entre el número de dedos.

$$F_v = \frac{(\text{Peso propio}_{80x10x1})}{n^{\circ} \text{ dedos}} = \frac{430 \text{ N}}{38 \text{ dedos}} = 11,32 \text{ N}$$

Una vez claras las fuerzas que actuarán sobre cada dedo vamos a realizar un estudio mediante elementos finitos con el módulo que trae implementado el software de CAD Solid Edge ST8. El diseño del dedo en solid es el siguiente:

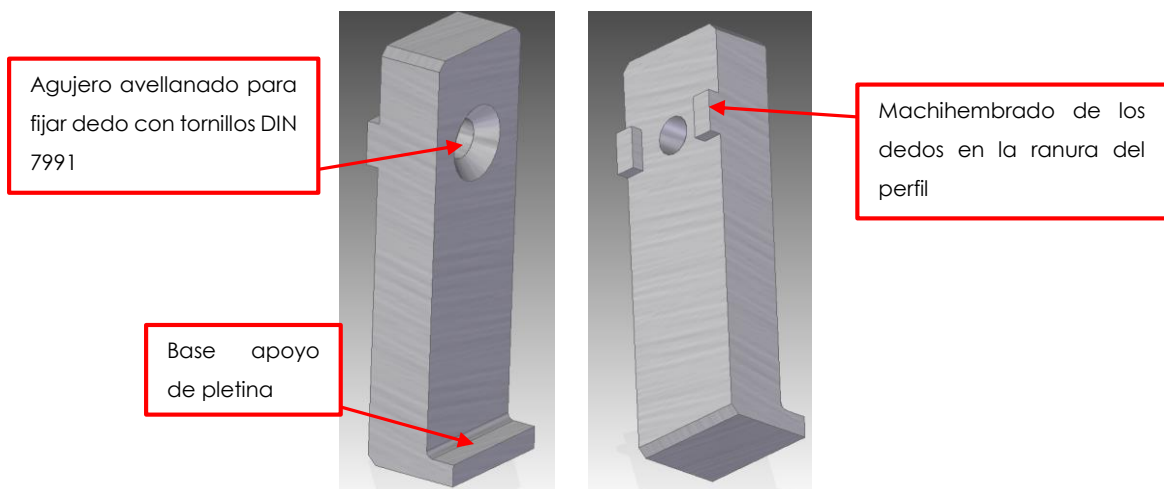


Fig. 3.30 Imagen CAD del dedo a estudiar

Para realizar el estudio lo primero que tenemos que definir son las condiciones de contorno. El dedo está fijado al perfil modular de aluminio de la siguiente manera:

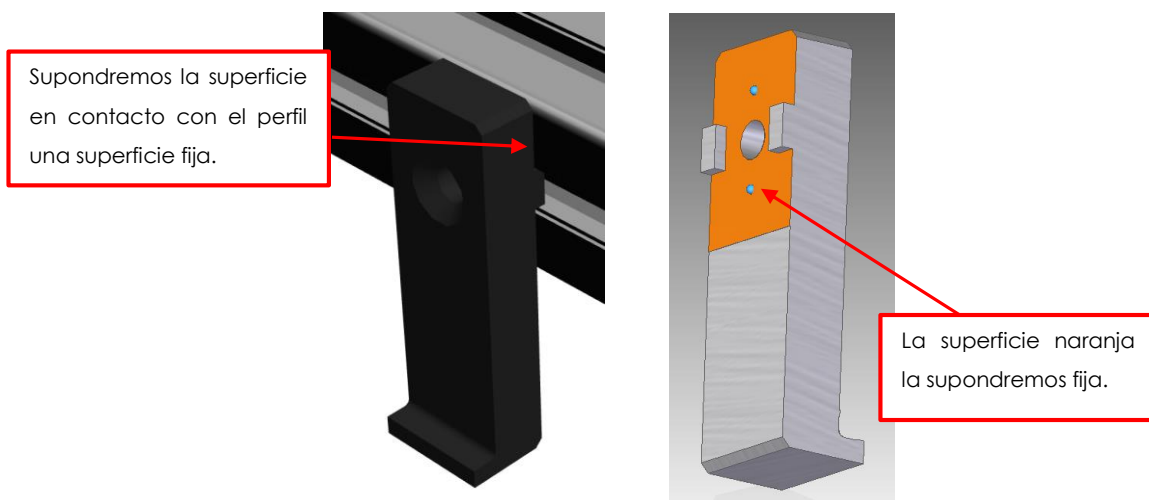


Fig. 3.31 Condiciones de contorno de los Dedos que manipulan las pletinas

A continuación se insertarán la hipótesis de carga más desfavorable.

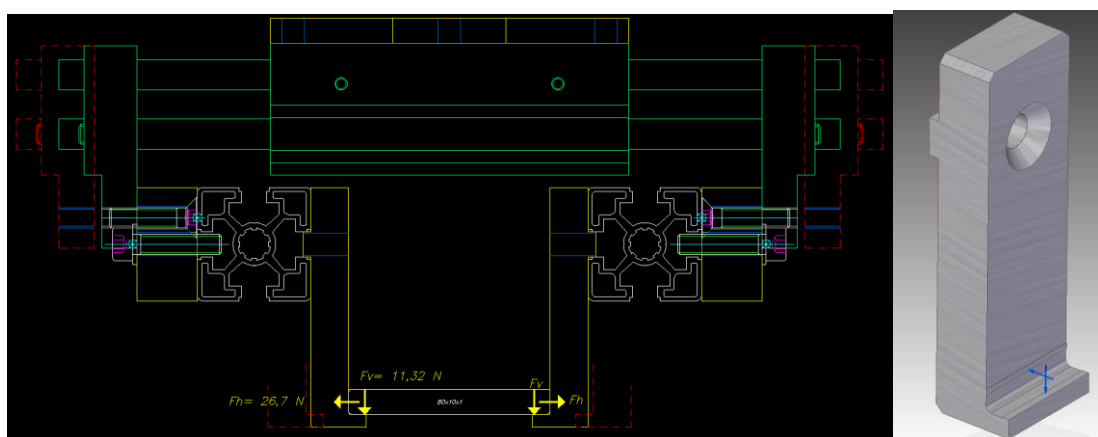


Fig. 3.32 Dedo con hipótesis de carga

Antes de realizar los cálculos se debe elegir el material a emplear en la fabricación de los dedos. Se ha elegido la aleación de Aluminio 7075 ya que tiene buenas propiedades mecánicas y además es un material más blando que el cobre, evitando así marcas en él.

El aluminio 7075 es una aleación de aluminio con zinc como principal elemento. Es fuerte, con buena resistencia a la fatiga frente a otros metales y es fácil de mecanizar, pero no es soldable y tiene menos resistencia a la corrosión que muchas otras aleaciones.

Su composición es de 5.1-6.1 % zinc, 2.1-2.9 % magnesio, 1.2-2.0 % cobre y pequeños porcentajes de silicio, hierro, manganeso, cromo, titanio y otros metales.

Las propiedades mecánicas del aluminio son las siguientes:

PROPIEDADES MECÁNICAS ALUMINIO 7075-T6	
Densidad	2,8 gr/cm ³
Módulo de elasticidad	72230 MPa
Carga de rotura Rm.	572 MPa
Límite elástico Rp 0,2,	450 MPa
Coefficiente de Poisson	0,33
Dureza Brinell	165

Fig. 3.33 Tabla con las características mecánicas del Aluminio a considerar

El análisis de tensiones creado con Solid Edge ST8 nos da el resultado de la tensión de Von Mises en cada punto.

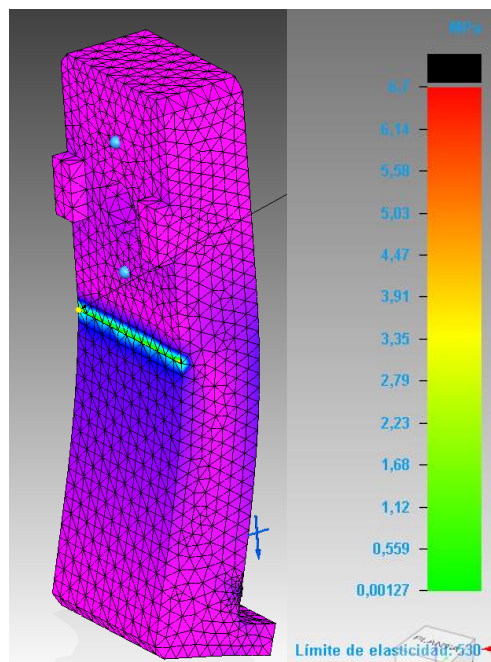


Fig. 3.34 Análisis de tensiones en dedo. Valor de la tensión de Von Mises.

Como podemos observar la tensión máxima aparece en el punto donde se acaba la parte en la que la condición de contorno la tenemos como fija.

Tanto la fuerza horizontal como la vertical nos crea el momento máximo en esa sección del dedo que da lugar a la tensión máxima.

No obstante en ese punto tenemos un valor de tensión máxima de 6,7 MPa, muy lejos del límite elástico.

Vemos a continuación, obviando lo que ocurre en ese punto cómo se comporta el dedo en las demás zonas, para ello se ha representado como máximo un valor de tensión mucho menor al valor de tensión máxima. Como valor máximo se ha usado 1,5 MPa. Se puede apreciar mucho mejor la distribución de las tensiones en todo el dedo.

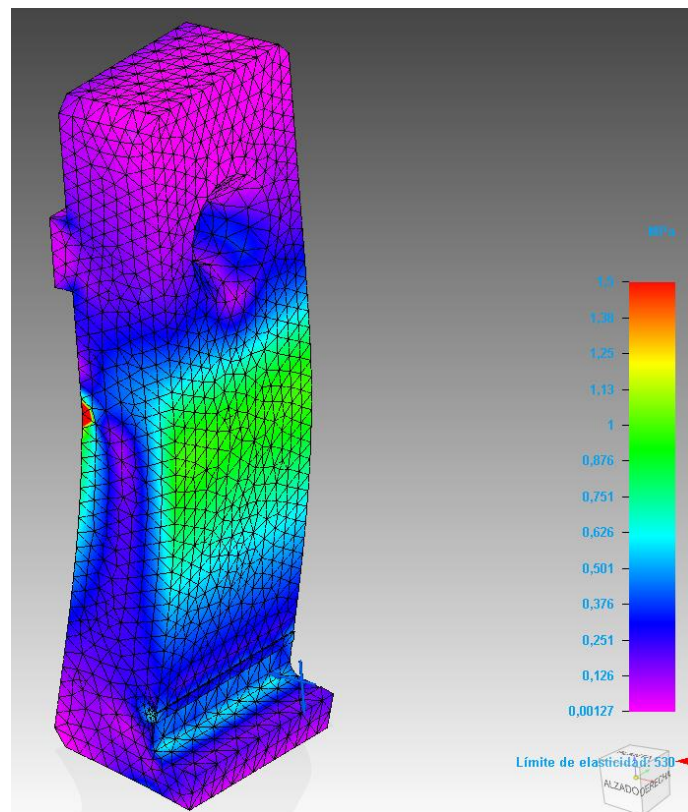


Fig. 3.35 *Análisis de Tensiones. Escala de tensiones hasta 1,5 MPa*

En la siguiente imagen se va a representar las deformaciones que ocurren en el dedo cuando se manipula una pletina.

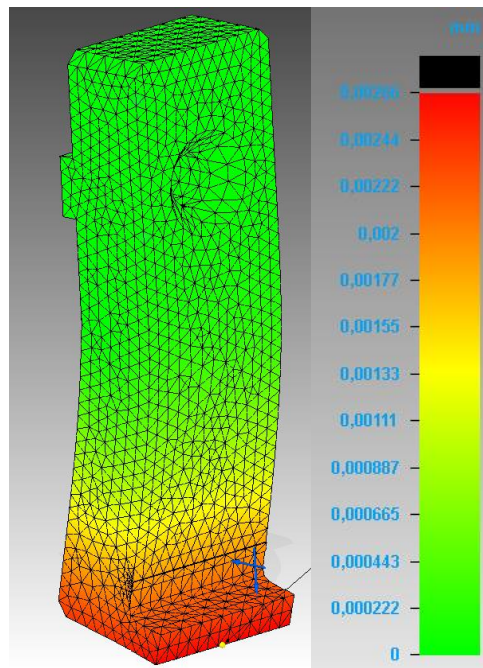


Fig. 3.36 Desplazamientos en el dedo debido a la pletina

Como hemos visto en la imagen anterior el desplazamiento máximo se produce en el extremo inferior del dedo, justamente donde sopesamos el peso de la pletina. No obstante se produce un desplazamiento de $2,6 \cdot 10^{-3}$ mm, prácticamente nada.

Analicemos también el factor de seguridad suponiendo un funcionamiento estático, comparando el límite elástico con el valor máximo de la tensión de Von Mises.

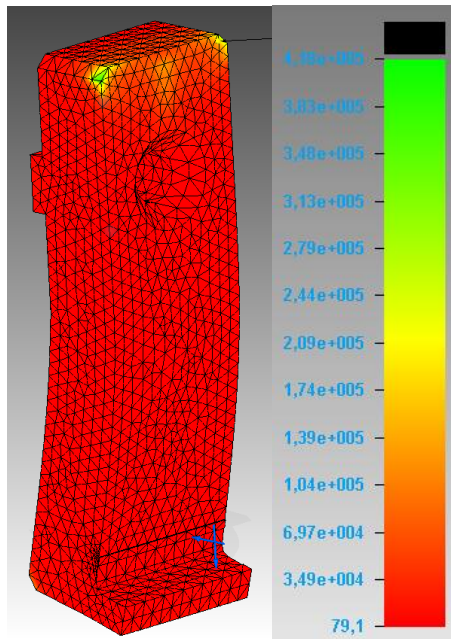


Fig. 3.37 Factor de seguridad de tensiones

Hemos comprobado que para un análisis estático la geometría elegida cumple sobradamente con la hipótesis de carga del funcionamiento real de la máquina. No obstante, estamos ante un elemento que está sometido a distintos ciclos de carga, concretamente un ciclo cada 12,5 segundos en el caso más desfavorable.

$$\text{Número ciclos por hora} = \frac{3600}{12.5} = 288 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$$

$$\text{Número ciclo por año} = 288 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \cdot \frac{365 \cdot 24 \text{ hora}}{\text{año}} = 2.522.880 \frac{\text{Ciclos}}{\text{año}}$$

Vamos a representar en la pieza que nos ocupa la tensión principal máxima, que será la que utilizaremos para comprobar la resistencia a fatiga de la pieza.

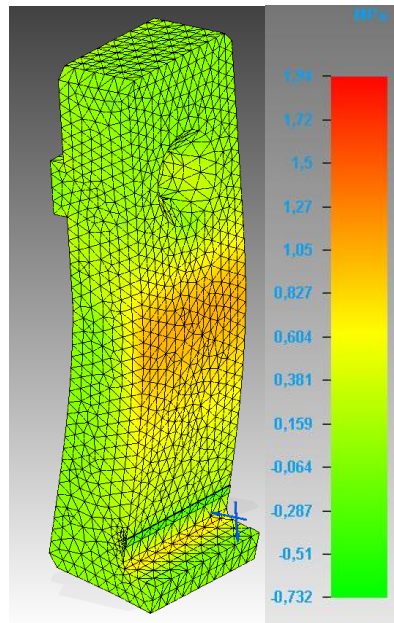


Fig. 3.38 Tensión principal máxima en la pieza

Aunque en la imagen anterior se aprecia bien cuál es la zona donde la pieza está trabajando más vamos a acotar más la zona donde la tensión principal es máxima, para representar bien esa zona limitaremos la tensión máxima en la representación y podremos apreciar mucho mejor la zona donde trabaja más, se representará en color negro la zona a partir de la cual la tensión es superior al límite superior que elijamos, en este caso, se limitará la tensión superior a 1 MPa.

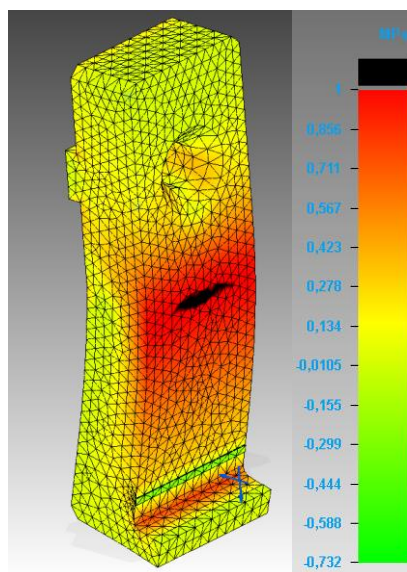


Fig. 3.39 Tensión principal máxima, escala 0-1 MPa

Por lo tanto en la zona en negro de la pieza anterior es donde se encuentra la tensión principal máxima de 1,94 MPa.

Realizaremos un estudio esfuerzo-vida para el dedo. Para establecer la resistencia a fatiga de un material, se necesita un número muy grande de ensayos debido a la naturaleza estadística de la fatiga. En el caso del ensayo con una viga rotativa, se aplica una carga constante de flexión y se registra el número de revoluciones de la viga hasta que se presenta la falla, se hace con distintos niveles de carga y se obtiene el diagrama S-N (Tensión-Vida), donde se representa la resistencia a fatiga S_f frente al número de ciclos N. En nuestro caso se utilizará la aleación de Aluminio 7075-T6, cuyos datos de fatiga para el diagrama S-N los obtendremos en la página www.efatigue.com.

Tensión última del material S_u	572 MPa
Límite de fatiga S_{FL}	195 MPa
Ciclos de límite de Fatiga N_{FL}	10^6 Ciclos
Intersección de la curva	727 MPa

Fig. 3.40 Tabla características mecánicas a fatiga. Fuente: www.efatigue.com

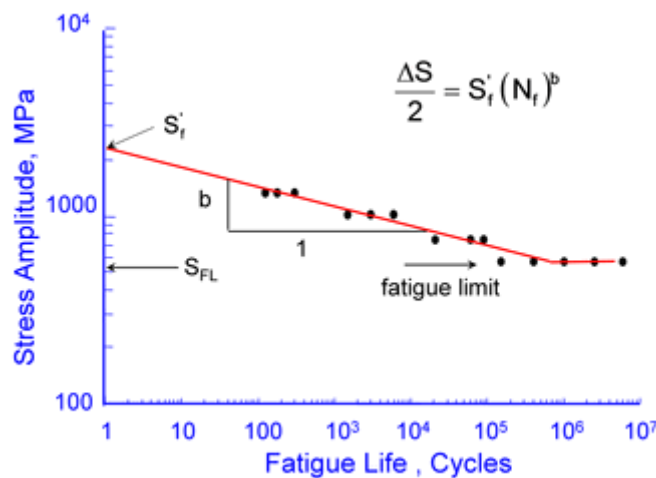


Fig. 3.41 Gráfica S-N. Web: www.efatigue.com

En el caso de los metales ferrosos y aleaciones la gráfica se hace horizontal después de que el material se sometió a esfuerzo durante un número de ciclos pero en el caso del aluminio, que es el que nos ocupa, esta curva no se hace horizontal nunca con lo cual se suele tomar el límite de fatiga a un determinado número de ciclos, en este caso 10^6 .

Se ha visto que la muestra para el ensayo en máquina rotativa en el laboratorio para determinar los límites de resistencia a la fatiga se prepara con mucho cuidado y se ensaya bajo condiciones muy controladas. No es posible esperar que el límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico real o estructural iguale los valores que se obtuvieron en el laboratorio.

La ecuación de Marín identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, tamaño, carga, temperatura y varios otros puntos. La cuestión es ajustar el límite de resistencia a fatiga por medio de correcciones multiplicativas. La ecuación de Marin es la siguiente:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Donde:

- k_a = *factor de modificación de la condición superficial.*
- k_b = *factor de modificación del tamaño.*
- k_c = *factor de modificación de la carga.*
- k_d = *factor de modificación de la temperatura.*
- k_e = *factor de confiabilidad.*
- k_f = *factor de modificación de efectos varios.*
- S'_e = *límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa*
- S_e = *límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría o condición de uso.*

Cuando no se dispone de ensayos de resistencia a la fatiga de partes, las estimaciones se hacen aplicando los factores de Marin al límite de resistencia a la fatiga. Determinaremos los distintos coeficientes multiplicativos para nuestro caso:

- Factor de superficie k_a :

En la viga rotativa la superficie está muy pulida, además en dirección axial. Este factor depende de la calidad del acabado de la superficie y de la resistencia a la tensión. Los datos se pueden representar por la expresión siguiente:

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Donde S_{ut} es la resistencia mínima a la tensión y los valores de a y b se encuentran en la tabla:

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fig. 3.42 Tabla factor multiplicativo límite a fatiga por acabado superficial.

En nuestro caso es una pieza mecanizada con lo que $a = 4.51$ y $b = -0.265$

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b = 4.51 \cdot 572^{-0.265} = 0.838$$

- Factor de tamaño k_b :

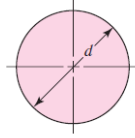
Se determina mediante la fórmula:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Para los elementos de perfiles estructurales no rotativos tomamos los datos de la siguiente tabla:

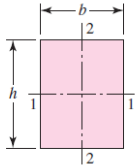
Tabla 6-3

Áreas $A_{0.95\sigma}$ de perfiles estructurales no rotativos



$$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$$

$$d_e = 0.370d$$



$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$

$$d_e = 0.808\sqrt{hb}$$

Fig. 3.43 Tabla de perfiles estructurales, Area $A_{0.95}$

Con lo que tenemos

$$d_e = 0.808\sqrt{hb} = 0.808\sqrt{15 \cdot 30} = 17.14 \text{ mm}$$

$$A_{0.95} = 0.05 \cdot hb = 0.05 \cdot 15 \cdot 30$$

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = \left(\frac{17.14}{7.62}\right)^{-0.107} = 0.91$$

- Factor de modificación carga k_c :

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

En nuestro caso tenemos un elemento a flexión con lo que tenemos

$$k_c = 1$$

- Factor de temperatura k_d :

Suponemos que trabaja a temperatura ambiente, con lo que $k_d = 1$

- Factor de confiabilidad k_e :

Para ponernos en el caso más desfavorable elegiremos una confiabilidad del 99.9999 % con lo cual tendremos un factor de confiabilidad $k_e = 0.620$

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fig. 3.44 Tabla factor de confiabilidad.

Ya con todos los factores disponibles estamos en disposición de obtener el límite a resistencia real que será:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S_e = 0,838 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 195 \text{ MPa} = 92,20 \text{ MPa}$$

Como podemos ver tenemos un valor de tensión principal máxima en el trabajo normal de la pieza a 1.94 MPa, un valor muy inferior al límite de resistencia a fatiga. Tenemos un factor de seguridad muy elevado con el cual podemos dar el diseño por válido. Se podría pensar que el diseño del dedo está muy sobredimensionado pero en este caso, al ser unas dimensiones contenidas, daremos el diseño como óptimo ya que la cantidad de piezas a fabricar no es muy elevada y no supone un coste elevado.

Las dimensiones del dedo de manipulación de pletinas son las siguientes:

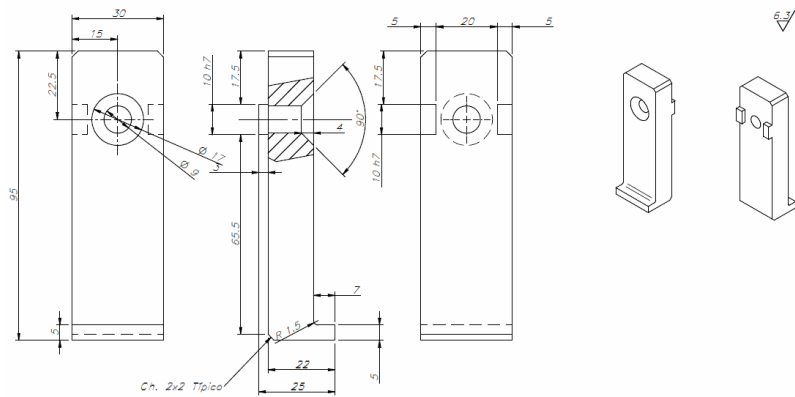


Fig. 3.45 Dimensiones de Dedo de Manipulación de Pletinas



Fig. 3.46 Pinzas con dedos en la máquina acabada

3.4 Movimiento Vertical.

El movimiento vertical, como ya hemos visto, se va a realizar mediante pistones neumáticos. Recapitulando, el movimiento se va a realizar así por las siguientes razones:

- 1) Para recoger la pletina tenemos cierto margen de tolerancia a la hora de parar el movimiento vertical, en la siguiente imagen se ve cómo tenemos tolerancia para parar el movimiento de tal forma que aunque nos pasemos de cota vertical cuando se cierran las pinzas y subamos

hacia arriba con el pistón neumático vamos a coger la pletina igual, apoyándola en la base inferior de los dedos.

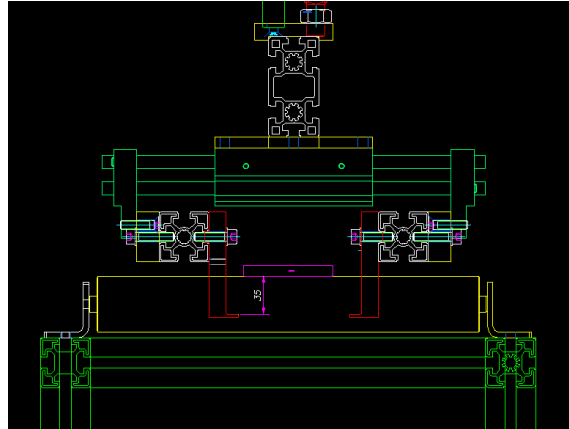


Fig. 3.47 Detalle tolerancia coger pletina.

- 2) A la hora de soltar la pletina pararemos el movimiento vertical con un sensor de medición que nos detecte la distancia a la que tenemos la superficie de abajo. Parando aproximadamente a la misma distancia de la base inferior siempre.

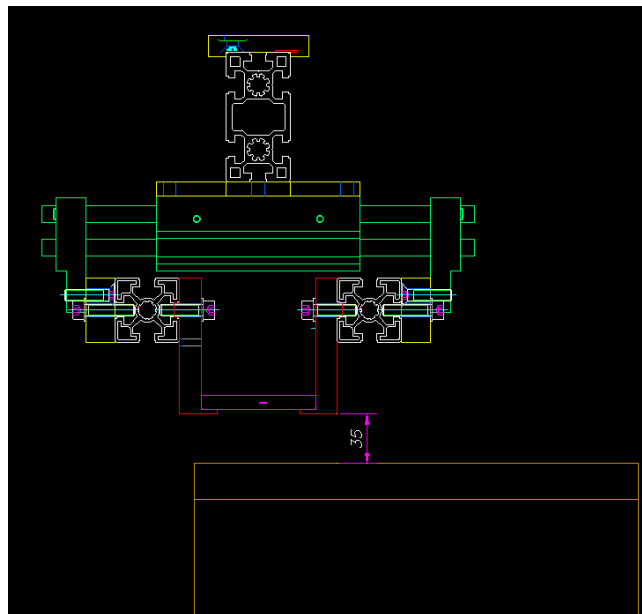


Fig. 3.48 Altura aproximada a la que pararía el Pick and Place para soltar pletina.

Lo primero que tenemos que hacer para dimensionar el sistema a montar es ver el peso total de la estructura que levantaremos verticalmente. Vamos a

contar con 3 pistones neumáticos que sopesarán el peso de todas las pinzas de manipulación de pletinas, con lo que estudiaremos independiente sólo el peso que sopesará un pistón.

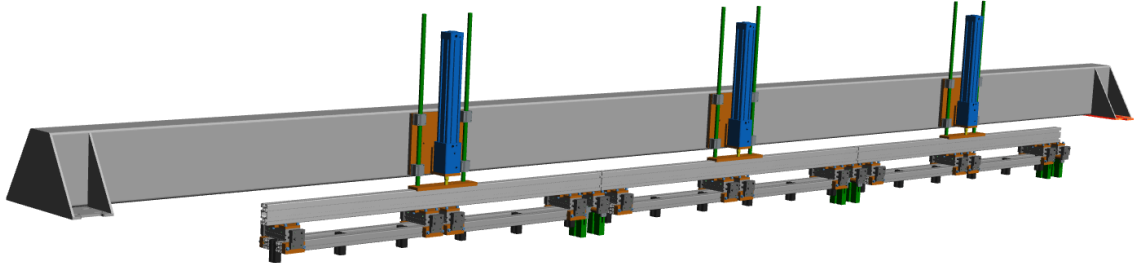


Fig. 3.49 Movimiento vertical del Pick and Place.

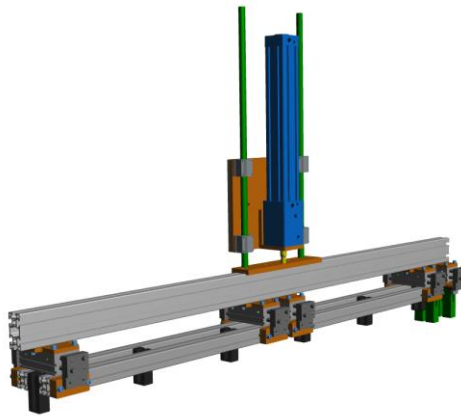


Fig. 3.50 Pistón individual movimiento vertical

Estudiaremos el peso de los elementos que sustentará el pistón neumático, son los que aparecen en la siguiente imagen y debajo de ella se detalla el peso propio de cada elemento que lo compone.

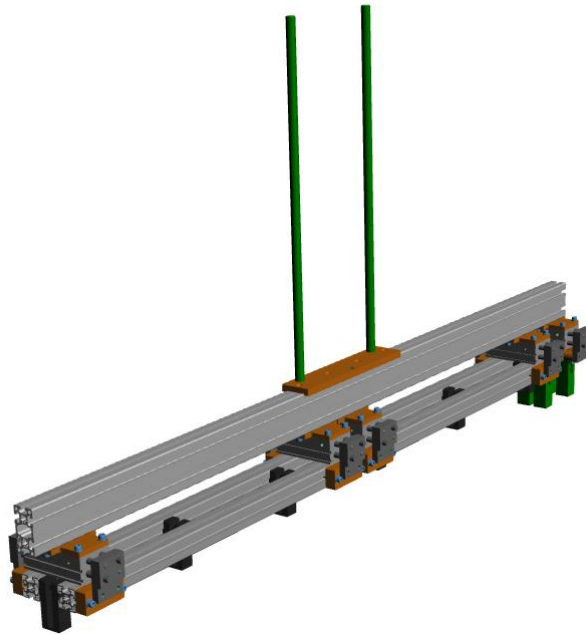


Fig. 3.51 Elementos que sopesará el pistón neumático

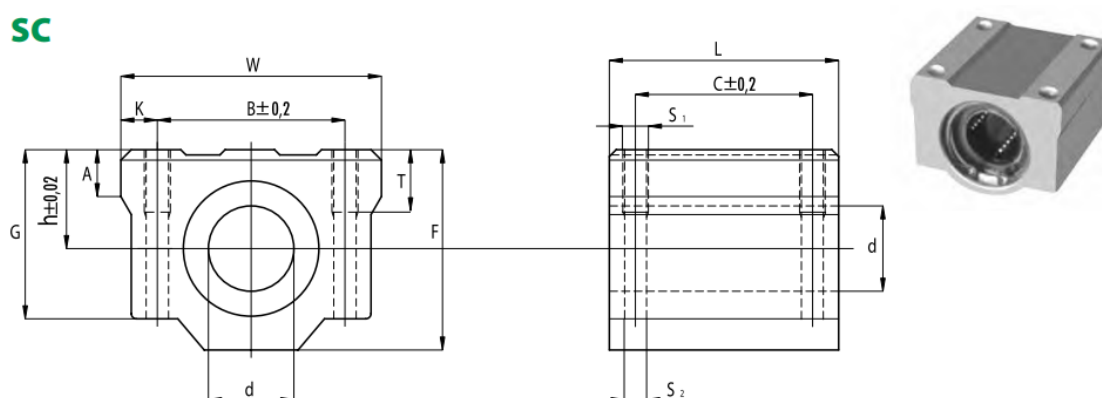
ELEMENTO	PESO PROPIO (Kg)/ UD)	CANTIDAD	TOTAL (Kg)
Pinzas neumáticas	2,56	5	12,8
Dedos	0,336	12	4,032
Perfil aluminio 45x45 porta-dedos	2	3,424	6,8
Perfil aluminio 45x90 porta-pinzas	4,3	1,94	8,342
Eje Lineal Ø=20 mm	1,873	2	3,746
Placas de aluminio mecanizado			2,876
Parte de pletina 80x10x1 que le corresponde	7,16	2	14,32

Fig. 3.52 Tabla con el peso propio de los elementos a sopesar por el pistón

Todos los elementos juntos pesan en total de 52,91 Kg.

Para el movimiento vertical, que se accionará mediante un pistón neumático, se ha provisto de un guiado lineal compuesto por 4 rodamientos lineales para 2 ejes cilíndricos. Éste guiado será de la firma Eurobearing y será el siguiente:

El rodamiento lineal que se ha elegido es para eje de diámetro 20 mm, el modelo SC20, este modelo tiene una capacidad de carga de 900 N.



Tipología Type	Peso Weight [kg]	d [mm]	W [mm]	F [mm]	L [mm]	h [mm]	G [mm]	T [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	K [mm]	S ₁ [mm]	S ₂ [mm]	Capacità di Carico Load capacity rating [N]	
															C	C ₀
SC 08	0.056	8	34	22	30	11	18	6	5	24	18	5	M 4	3.4	280	400
SC 10	0.090	10	40	26	35	13	21	8	6	28	21	6	M 5	4.3	380	560
SC 12	0.112	12	44	30	36	15	25	12	8	33	26	5.75	M 5	4.3	420	610
SC 13	0.123	13	44	30	39	15	24.5	8	5.5	33	26	5.5	M 5	4.3	520	800
SC 16	0.189	16	50	38.5	44	19	32.5	9	7	36	34	7	M 5	4.3	790	1200
SC 20	0.237	20	54	42	53	21	35	11	7	40	40	7	M 6	5.2	900	1400
SC 25	0.555	25	76	51.5	67	26	42	12	11	54	50	11	M 8	6.8	1000	1600
SC 30	0.685	30	78	59.5	76	30	49	18	10	58	58	10	M 8	6.8	1600	2800
SC 35	1.100	35	90	68	80	34	54	18	10	70	60	10	M 8	6.8	1700	3200
SC 40	1.600	40	102	78	90	40	62	20	11	80	60	11	M 10	8.6	2200	4100
SC 50	3.350	50	122	102	110	52	80	25	11	100	80	11	M 10	8.6	3900	8100
SC 60	4.270	60	132	114	122	58	94	30	21	108	90	12	M 12	10.7	4800	10200

Fig. 3.53 Tabla de rodamientos lineales modelo SC de la firma Eurobearing

Los rodamientos lineales para el sistema de guiado se han dispuesto de la siguiente manera:

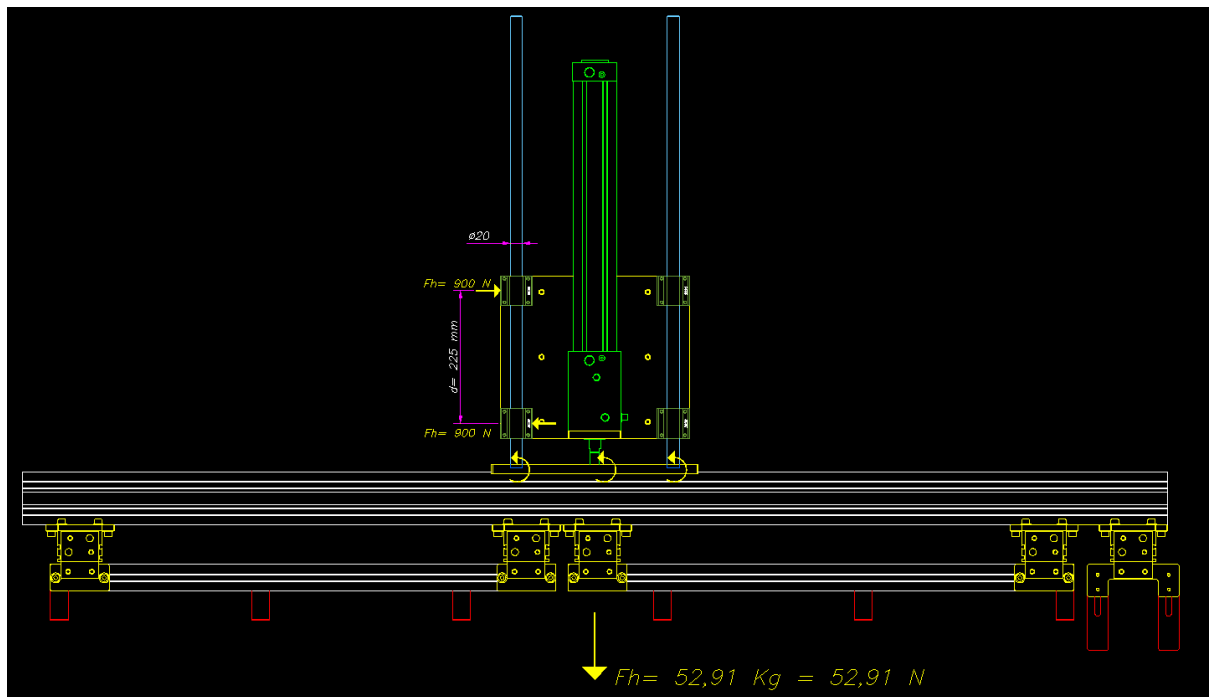


Fig. 3.54 Cargas a tener en cuenta para el dimensionado del pistón neumático

El momento que aguantarían los ejes guiados debido al apoyo de los dos rodamientos sería:

$$\text{Momento eje guiado} = 900N \cdot 0,225 m = 202,5 N \cdot m$$

Este momento lo soportarían los ejes en todos los sentidos ya que el eje es redondo. Cada eje a su vez está empotrado en una placa de aluminio que une los dos ejes entre sí y el vástago del pistón neumático aportándole una rigidez suficientemente grande como para suponer el sistema de guiado+pistón rígido.

Como hemos visto anteriormente tenemos 3 sistemas verticales iguales, para el dimensionado basta con estudiar uno de ellos pero hay que tener en cuenta que una vez se ha realizado el montaje total se unen todos los perfiles entre sí, formando los 3 pistones neumáticos con su guiado un sistema infinitamente rígido. Consideraremos, por tanto, que cada pistón debe levantar el peso propio del sistema sin sufrir ninguna tensión ni fuerza lateral en su vástago.

El pistón neumático elegido es un pistón con bloqueo de la firma SMC, concretamente un pistón de la serie CP95N. Estos pistones son idóneos para esta aplicación debido a que tiene una función de bloquear el vástago, es decir, cuando dejamos de pilotar con aire comprimido el pistón el vástago se queda

totalmente bloqueado, con lo que nos facilitará la tarea de recoger y soltar pletinas de forma más precisa.

El pistón neumático tiene las siguientes dimensiones:

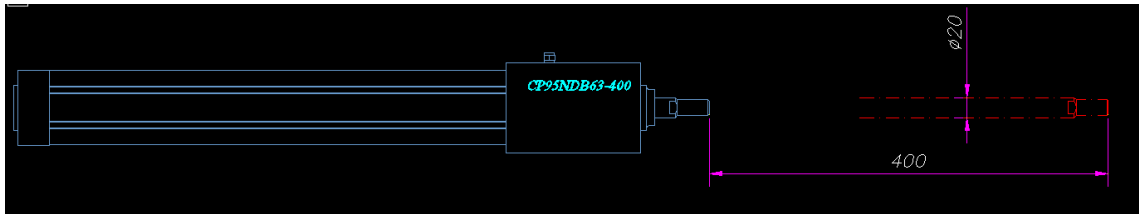


Fig. 3.55 Pistón neumático para movimiento vertical CP95NDB63-400

Este pistón tiene un diámetro del émbolo de 63 mm y un diámetro del vástago de 20 mm. El sistema se alimenta a una presión de 0,6 MPa. La fuerza total que ejerce el pistón es:

$$\text{Fuerza pistón hacia fuera} = \text{Área}_{\text{embolo}} \cdot \text{Presión}_{\text{trabajo}}$$

$$F_{\text{fuera}} = \frac{(\varnothing_{\text{embolo}}^2 \cdot \pi)}{4} \cdot \text{Presión} = \frac{(63^2 \cdot \pi)}{4} \text{ mm}^2 \cdot 0.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1870 \text{ N} = 187 \text{ Kg}$$

$$\text{Fuerza pistón hacia dentro} = (\text{Área}_{\text{embolo}} - \text{Área}_{\text{vástago}}) \cdot \text{Presión}_{\text{trabajo}}$$

$$F_{\text{fuera}} = \frac{((\varnothing_{\text{embolo}}^2 - \varnothing_{\text{vástago}}^2) \cdot \pi)}{4} \cdot \text{Presión} =$$

$$\frac{((63^2 - 20^2) \cdot \pi)}{4} \text{ mm}^2 \cdot 0.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1681 \text{ N} = 168,1 \text{ Kg}$$

El pistón debe levantar al menos la fuerza debida al peso propio de cada conjunto de 529,1 N. En el caso más desfavorable tenemos que puede con 1681 N con lo cual el pistón es el adecuado.

4 RESUMEN Y OTROS ELEMENTOS

En el apartado anterior se ha explicado el diseño mecánico de algunos elementos, sin embargo la máquina la constituyen muchos más elementos de los que se han hablado y explicado. Elementos que se comentarán de forma menos extensa.

La estructura metálica en general ha sido sobredimensionada, se han usado perfiles estructurales de sección cuadrada y rectangular, el uso de estos perfiles obedecen también a un criterio estético para que la máquina además de robusta quede con mejor apariencia.

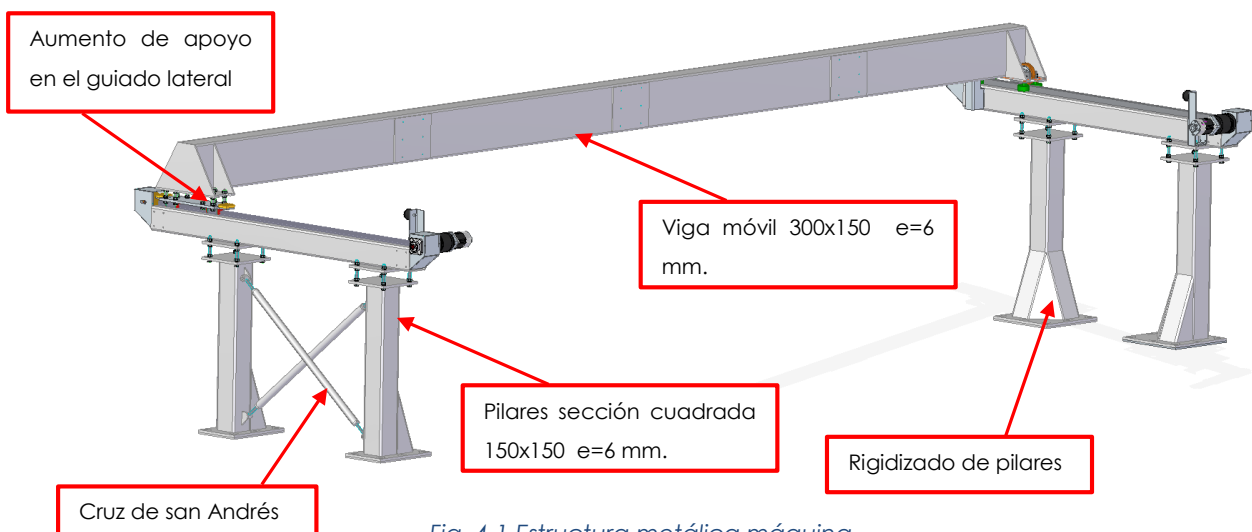


Fig. 4.1 Estructura metálica máquina

Para el movimiento horizontal se han usado servomotores con reductoras que son los encargados de accionar las correas que mueven la viga móvil superior, estos dos servomotores están sincronizados eléctricamente provocando el movimiento sincronizado de la viga superior.

En la imagen inferior se ve el sistema elegido:

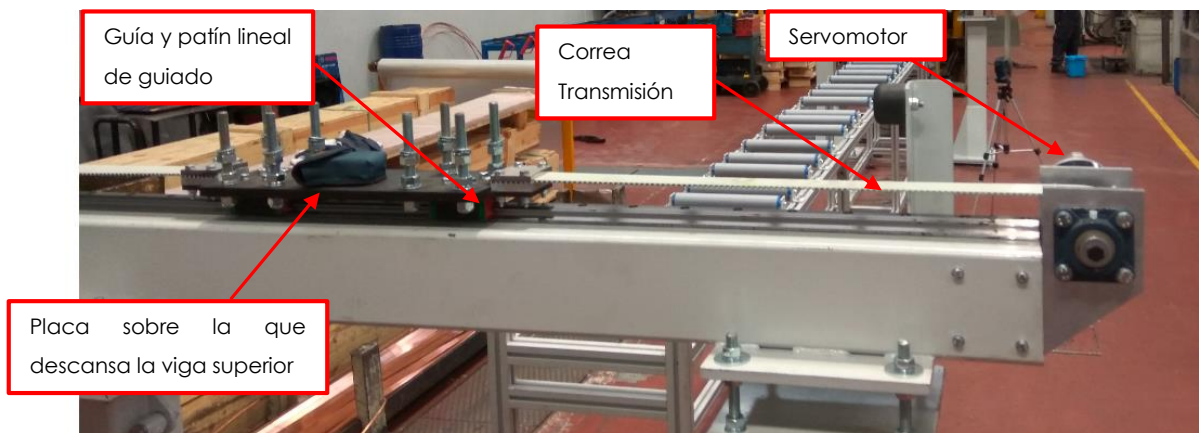


Fig. 4.2 Detalle de transmisión horizontal

Para completar el diseño de la máquina solo queda la zona de colocación de pletinas, se ha explicado la zona de recepción de pletinas, el movimiento vertical, así como la manipulación de pletinas. Una vez manipulada una pletina esta se debe colocar en un palet ubicado en una zona segura. La zona de colocación de pletinas es la siguiente:

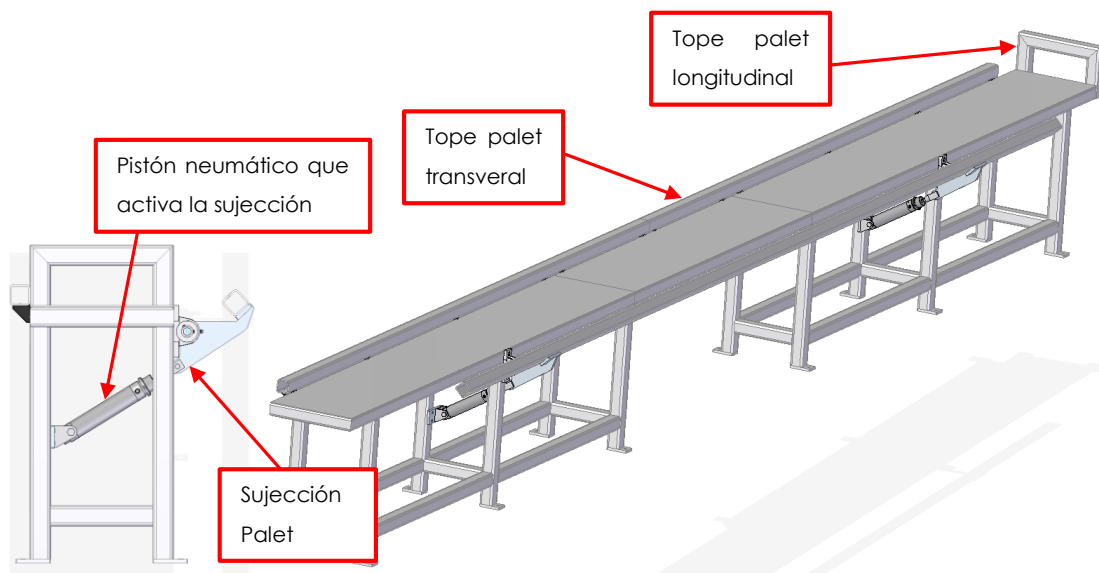


Fig. 4.3 Zona de colocación de pletinas

5 CONCLUSIONES

La máquina de paletizado de pletinas se ha diseñado meticulosamente en función a dos pilares fundamentales, la experiencia profesional y el estudio ingenieril de distintas partes.

En algunas partes de la máquina el diseño se ha realizado en función de la experiencia, en otras ocasiones por recomendaciones de proveedores y en otras ocasiones mediante cálculos ingenieriles obteniendo un resultado muy sobredimensionado a las sollicitaciones que se presentan.

El trabajar de esta forma, sin el estudio exhaustivo de todas partes que componen la máquina, es principalmente debido al factor tiempo. Una vez se ha producido el encargo del prototipo de paletizado se dispone de muy poco tiempo para llevar a cabo el proyecto que va desde la toma de datos en fábrica, el diseño, la fabricación hasta el montaje de todos los componentes y puesta a punto en fábrica.

6 ESTADO ACTUAL DE LA MÁQUINA

La máquina lleva funcionando dos años ininterrumpidamente sin ningún tipo de problema hasta la actualidad, sufriendo desgaste algunas partes debido al propio funcionamiento. Esto verifica que el diseño que se ha llevado a cabo ha sido el correcto. A continuación se muestra una fotografía actual de la máquina.



Fig. 6.1 Fotografía actual de la máquina

6.1 POSIBLES MEJORAS

En estos dos años la única avería que ha sufrido el paletizador ha sido en el pistón asociado al movimiento vertical del Pick and Place, como anteriormente se ha explicado se ha diseñado el sistema con un sistema de guiado con ejes redondos unidos, junto al pistón, a una placa de aluminio.

En la siguiente imagen lo vemos se aprecia en detalle

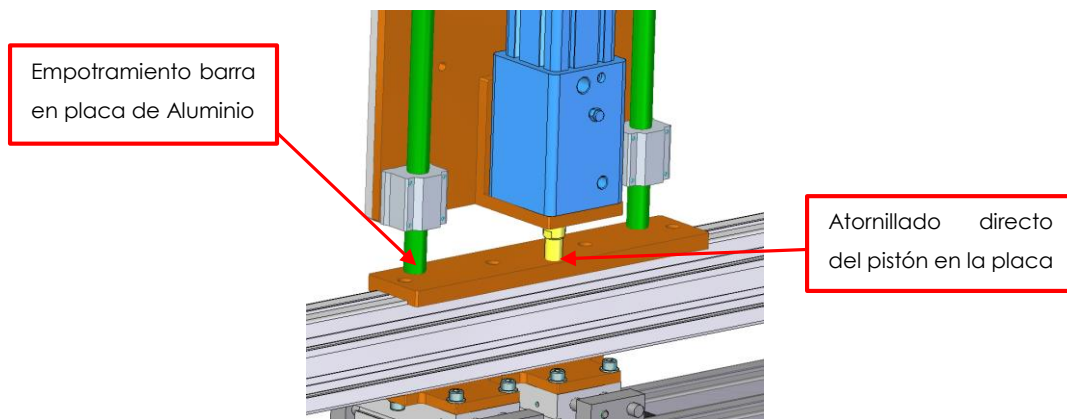


Fig. 6.2 Detalle de ejes redondos y pistón empotrados en la placa de aluminio.

La avería que se ha producido ha sido la rotura del vástago del pistón neumático, debido al montaje rígido de los 3 elementos (ejes guiados, pistón y placa). Tras un funcionamiento continuo del paletizador las deformaciones que se producen en el propio movimiento cíclico producen a su vez tensiones al no permitir ningún grado de libertad posible, esto ha producido una rotura del vástago por fatiga.

En la siguiente imagen se puede observar el vástago del pistón reparado, se ha soldado y montado nuevamente en la misma posición:

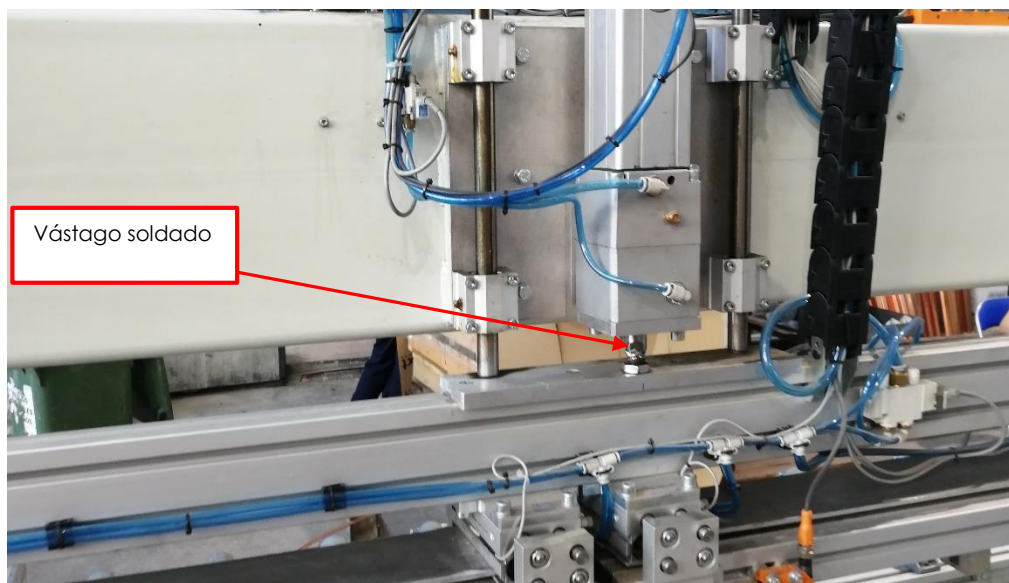


Fig. 6.3 Reparación vástago pistón

Esto es una reparación para seguir funcionando pero no es una solución final al problema debido a que el montaje mecánico de esa unión sigue siendo crítico en los tres pistones neumáticos. Para solucionar el problema de manera definitiva se ha instalado una junta de compensación entre el pistón neumático y la placa neumática. La junta de compensación es el siguiente elemento:

Dimensiones: Accesorios de montaje del vástago

Junta flotante: JA

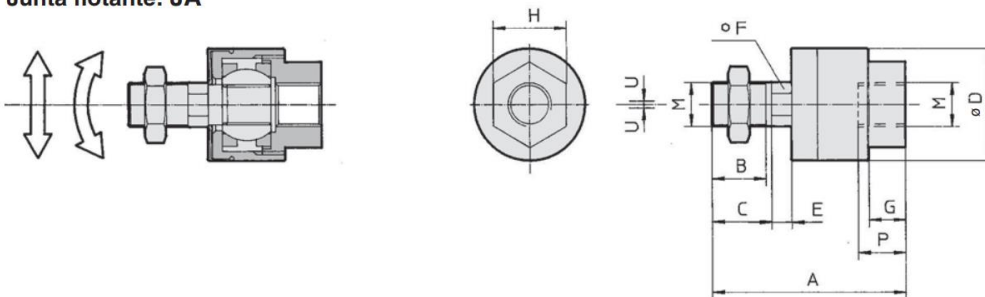


Fig. 6.4 Junta flotante

Esta junta flotante admite dos grados de libertad en la unión del pistón neumático con la placa, de tal forma que pueden existir desalineaciones ligeras entre la unión del vástago y el propio vástago en sí, además, ante posibles deformaciones también permite el giro relativo entre el vástago y la unión con la placa. Esto hace que no existan tensiones en el pistón neumático de forma transversal y éste solo trabaje como ha de hacerlo, axialmente en dirección al vástago sopesando la fuerza del Pick and Place.