

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño de un alimentador de barras para un torno de control numérico



Máster Universitario en
Ingeniería Industrial

Trabajo Fin de Máster

DOCUMENTO 1: MEMORIA

Autor: Aitor Eneko Martínez Landa

Director: Dr. Jesús María Pintor Borobia

Codirector: Dr. Javier Marcos Álvarez

Pamplona, Junio 2018



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	5
LABURPENA	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. La empresa	8
1.2. Productos fabricados.....	8
1.3. Definición del proyecto	9
1.4. Alcance del proyecto	10
1.5. Antecedentes	10
1.6. Estado inicial.....	11
2. DIFERENTES SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN	13
2.1. Alimentación manual	13
2.2. Alimentación automática	14
2.3. Alimentación autónoma.....	14
2.4. Sistema de alimentación propuesto	15
3. ELEMENTOS EN EL SISTEMA ORIGINAL	16
3.1. El torno	16
3.2. La estructura del contenedor	17
3.3. El contenedor	17
4. REQUISITOS Y LIMITACIONES	18
5. DIFERENTES SOLUCIONES	18
5.1. Estructura solidaria a la bandeja de entrada	18
5.2. Banda transportadora horizontal.....	19
5.3. Elevador con cadenas.....	21
5.4. Elevador con banda transportadora	24
6. DISEÑO DEL ALIMENTADOR	26
6.1. Elevador.....	27
6.1.1. Estructura del elevador	27
6.1.2. Rampa superior	29
6.1.3. Protector frontal del elevador.....	30
6.1.4. Protector posterior del elevador.....	31
6.2. Estructura inferior	32



6.3.	Rampa inferior.....	33
6.4.	Elementos comerciales	33
6.4.1.	Banda del elevador.....	34
6.4.2.	Rodillos de la banda transportadora.....	35
6.4.3.	Rodamientos	35
6.4.4.	Tensor de la banda.....	36
6.5.	Elementos eléctricos y electrónicos.....	37
6.5.1.	Motor eléctrico.....	37
6.5.2.	Sensores de barras	39
6.5.3.	Circuito de señal.....	44
6.5.4.	Interruptor de encendido y apagado	46
6.5.5.	Seta de emergencia.....	47
7.	PRESUPUESTO	48
8.	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES.....	49
9.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	50
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Vista exterior de la fábrica en Orcoyen.....	8
Figura 1. 2: Ejemplo de vástago roscado.....	9
Figura 1. 3: Ejemplo de pieza de piecerío.....	9
Figura 1. 4: Contenedor sobre estructura en el sistema original.....	11
Figura 1. 5: Bandeja de entrada al torno.....	12
Figura 1. 6: Bandeja de salida del torno:.....	13
Figura 1. 7: Torno de control numérico.....	16
Figura 1. 8: Vista lateral esquemática de sistema con estructura solidaria.....	19
Figura 1. 9: Vista en planta esquemática de sistema con banda horizontal.....	20
Figura 1. 10: Ejemplo de banda transportadora con empujadores.....	20
Figura 1. 11: Geometría externa del alimentador de cadenas.....	22
Figura 1. 12: Estructura interna alimentador de cadenas.....	22
Figura 1. 13: Cadena con gancho para elevador con cadenas.....	23
Figura 1. 14: Estructura inferior para alimentador de banda.....	24
Figura 1. 15: Rampa inferior para alimentador de banda.....	25
Figura 1. 16: Alimentador de barras con bandeja del torno y contenedor.....	25
Figura 1. 17: Estructura del elevador.....	28
Figura 1. 18: Barra 'antilibro'.....	28
Figura 1. 19: Chapa protectora de banda.....	29
Figura 1. 20: Rampa superior.....	30
Figura 1. 21: Protector frontal.....	31
Figura 1. 22: Protector posterior.....	32
Figura 1. 23: Estructura inferior.....	33
Figura 1. 24: Banda del elevador.....	34
Figura 1. 25: Ejemplo de rodillos para banda transportadora.....	35
Figura 1. 26: Modelo en 3D de rodamiento.....	36
Figura 1. 27: Ejemplo de tensor para banda transportadora.....	37
Figura 1. 28: Motor eléctrico para banda elevadora.....	38
Figura 1. 29: Posiciones 1 y 2 para la colocación de los sensores.....	41
Figura 1. 30: Posiciones 3 y 4 para la colocación de los sensores.....	41
Figura 1. 31: Esquema simplificado del sistema de señal empleando puertas lógicas.....	45
Figura 1. 32: Ejemplo de interruptor para elevador.....	47
Figura 1. 33: Ejemplo de seta de emergencia para elevador.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Tipos de arranques y paradas en función del número de sensores utilizados.....	44
Tabla 1. 2: Estados del sistema de puertas lógicas.....	45
Tabla 1. 3: Costes del diseño del alimentador.....	48



RESUMEN



LABURPENA



ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado, se hará una breve introducción de la **empresa**, así como de **los productos** que fabrica. Por otra parte, se definirá el **objetivo** y el **alcance** del presente proyecto, así como sus **antecedentes**. Por último, también se presentará la **situación inicial** como punto de partida.

1.1. La empresa

Industrias Javer comenzó su actividad en 1985 bajo esa denominación. Sin embargo, su experiencia en el mecanizado se remonta hasta 1960. Pese a que el grueso de su negocio este situado en el mercado nacional, esta fábrica situada en Orcoyen, también vende sus productos internacionalmente en países como Estados Unidos o Italia.



Figura 1. 1: Vista exterior de la fábrica en Orcoyen

Superando la veintena de empleados, esta empresa fabrica mediante mecanizado de **máquina herramienta** cinco grupos de productos diferentes. Dichos productos son los relacionados con: Automoción, estructuras, mobiliario, línea blanca y mecanizado general. Sin embargo, se pueden clasificar en dos grupos más generales, que son el **vástago roscado** (principalmente para el sector de la automoción) y el **piecerío**.

1.2. Productos fabricados

Como se ha comentado en el apartado anterior, los dos tipos de productos generales que se fabrican son el **vástago roscado** y el **piecerío**. Las piezas producidas se fabrican en lo que la propia empresa denomina como serie corta: que supone una producción de 50 unidades o inferior, serie media: de en torno a 1.000 piezas y serie larga: para una producción de 20.000 unidades o más, todas ellas referidas a un tiempo de 1 mes.

Las piezas de vástago roscado, son utilizadas principalmente para amortiguadores del sector de la automoción. Este sector representa el 85% de la fabricación. Este tipo de piezas son denominadas decoletaje y son piezas de escasa complejidad y fabricadas en grandes series. El resto de la producción está dirigida a vehículos agrícolas, trenes, conectores...



Figura 1. 2: Ejemplo de vástago roscado

Por otra parte, el resto de la producción incluida en el piccerío, corresponde a piezas de mayor complejidad geométrica en las que se pueden incluir bulones específicos y piezas con métricas también específicas y poco comunes. Normalmente, este tipo de piezas se corresponden a series más bien cortas de producción.



Figura 1. 3: Ejemplo de pieza de piccerío

1.3. Definición del proyecto

La idea de realizar el presente proyecto tiene su origen en la **evolución y desarrollo** lógico que está ocurriendo en torno a los procesos de fabricación. De este modo, se plantea la necesidad de realizar el **proceso de carga** de un torno de control numérico de manera **automática**.

La necesidad de la automatización de los procesos viene motivada a su vez por las diversas ventajas que aporta si se lleva a cabo. Algunas de estas ventajas son:

- 1) **Reducción de costes** de recursos humanos: Se reduce el trabajo de mano de obra pudiéndose emplear dichos recursos humanos en otras tareas.
- 2) **Reducción de tiempos** de fabricación: Al realizar el proceso de manera automática se reducen en este caso los tiempos de carga.
- 3) Posibilidad de **aumentar el tiempo productivo**: Al realizarse tareas de manera automática aumenta las posibilidades de estar produciendo durante más tiempo.



Estas ventajas, se traducen a su vez en reducciones de costes que finalmente, resultan en una **ventaja competitiva** en la fabricación.

Los objetivos principales del proyecto son los siguientes:

- a) Realizar un **diseño** de un sistema capaz de alimentar un torno CNC y satisfacer las necesidades requeridas en condiciones seguras y realizando un desempeño de calidad.
- b) Realizar un **seguimiento en el montaje** para cumplir el diseño proyectado.
- c) Realización de los **ajustes** necesarios para la **puesta en funcionamiento** del sistema

El proyecto está compuesto por las siguientes partes:

- Memoria
- Cálculos
- Planos
- Pliego de condiciones
- Presupuesto
- Anexos

1.4. Alcance del proyecto

En el presente proyecto se incluye el **diseño y las especificaciones necesarias** para el **montaje y la puesta en marcha** del **alimentador** para el torno CNC. Del mismo modo también se incluye el diseño y todo lo necesario para la construcción de una estructura que soporte tanto el alimentador como el contenedor de las barras. Fuera del alcance, quedara lo relacionado con la programación de la electrónica de los sensores, no obstante, se determinarán los componentes a emplear y sus fichas técnicas.

1.5. Antecedentes

La primera toma de contacto vino de la mano de la realización de un trabajo para la asignatura **Sistemas y Procesos de Fabricación** (Primer semestre del plan de estudios en el *Máster en Ingeniería Industrial*) relacionado con los sistemas de fabricación y propuestas de mejora.

En dicho trabajo se incluyó la automatización del proceso de carga como propuesta de mejora (habiendo observado que dicho proceso estaba ya automatizado para otras máquinas).

Más adelante, la empresa (que ya había planteado la opción de automatización tiempo atrás) fue quien propuso la realización del proyecto a modo de trabajo de final de máster.

El hecho de resultar un proyecto en el que se ven involucradas las **tres principales ramas técnicas** de la ingeniería industrial (**Mecánica**: Diseño mecánico, **Eléctrica**: Accionamiento eléctrico y **Electrónica**: Sistema de sensores) y de ser un proyecto destinado a su implementación real, motivaron la realización del mismo.

1.6. Estado inicial

A continuación, se explicará el funcionamiento general en el proceso de fabricación del vástago roscado (previo al inicio del presente proyecto).

En un primer momento, se reciben las barras con el **material virgen en contenedores** (habitualmente es el propio cliente quien hace el envío de este material), este material se recibe por la zona del **almacén** y dependiendo de la prioridad de fabricación, pasa directamente **al área de trabajo** o de lo contrario se queda a la **espera** en el almacén.

El proceso de fabricación comienza **transportando el contenedor** con las barras hacia el torno concreto que trabajará las barras. Los contenedores se llevan utilizando una **carretilla elevadora** y son depositados en una **estructura** a una altura de en torno a **1m**.

La estructura donde se coloca el contenedor es móvil y no forma parte del torno. Tiene una **inclinación alrededor de 3°** que hace que las barras vayan **deslizándose** a una bandeja (que forma parte de la estructura) a través de unas compuertas situadas en la parte inferior del contenedor.



Figura 1. 4: Contenedor sobre estructura en el sistema original

Una vez la bandeja de la estructura está llena, un operario se encarga de llevar las barras desde la bandeja de la estructura hasta la propia bandeja del torno. Este proceso es **totalmente manual**.



Figura 1. 5: Bandeja de entrada al torno

Con la bandeja del torno ya cargada con las barras, el torno de control numérico realiza el proceso propio de mecanizado del vástago roscado con las especificaciones deseadas.

Las barras mecanizadas se van acumulando en la **bandeja de salida** del propio torno y de nuevo, un operario las deposita en un contenedor. En este punto, el contenedor con las barras mecanizadas, de ser necesario, es transportado a otras máquinas herramienta como por ejemplo roscadoras, y en caso contrario, es llevado al almacén de producto terminado.



Figura 1. 6: Bandeja de salida del torno:

Partiendo de esta situación, se busca **automatizar el proceso de carga** del torno CNC. De este modo, en el presente proyecto, se diseñará y llevará a cabo una máquina capaz de transportar los ejes **desde el contenedor** hasta la **bandeja de entrada** del torno CNC.

2. DIFERENTES SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

En esta sección, se hará una breve descripción de las diferentes posibilidades que existen a la hora de alimentar un torno. En concreto, se analizarán la alimentación **manual, automática y autónoma** con el objetivo de seleccionar cual se adapta mejor al proceso y teniendo en cuenta su contexto (referido al tipo de planta de fabricación, nivel de producción...).

2.1. Alimentación manual

Como ya se ha comentado en el apartado introductorio, este es el método que se emplea en el **sistema inicial**.

En este caso, el operario, coge las barras desde la bandeja de la estructura que soporta el contenedor y rellena la bandeja de entrada del torno.

Los principales inconvenientes son:

- **Riesgo de accidente debido al factor humano:** Al ser un proceso manual, existe el riesgo de que las barras se le caigan al operario durante su transporte.



- **Fatiga del operario:** Al producirse movimientos repetitivos, aumenta la fatiga en el operario.
- **Tiempos de retardo:** Se puede dar la situación en la que la bandeja del torno se quede vacía y la producción se detenga a la espera de que el operario vuelva a rellenarla.

2.2. Alimentación automática

En un suministro automático, se tiene una máquina que lleva las barras desde el contenedor hasta la bandeja de entrada del torno. La **intervención** del operario vendría a la hora de **poner en marcha o detener la máquina** en caso de que fuera necesario.

Bajo este modo de funcionamiento, se consiguen eliminar los puntos negativos del proceso manual. No existe riesgo de accidente debido al factor humano, no se produce fatiga en el operario (o se reduce a la mínima expresión) y no se producen retardos debido a que se consigue un **flujo continuado** de las barras.

Como aspectos negativos están:

- **Necesidad de realizar una inversión:** Dependiendo de este punto puede darse el caso de ser inviable económicamente.
- **Probabilidad de fallo:** Siempre existirá un porcentaje de fallo que impida que el sistema de carga funcione y su origen podrá deberse a diferentes causas como fallo de componentes, falta de suministro...
- **Mayor coste energético:** En este caso, aumentaría el consumo eléctrico.

2.3. Alimentación autónoma

Este tipo de alimentación puede verse como el **máximo grado de automatización** alcanzable. Ajustando su definición para el caso concreto de este trabajo, se tendría un torno que se alimentara de manera automática y **sin necesidad de intervención humana**.

Bajo esta tipología de funcionamiento, el sistema autónomo se encargaría por si solo de seleccionar el contenedor necesario del almacén y transportarlo hasta el torno para posteriormente cargar la bandeja de entrada.

Las principales ventajas de este sistema son:

- **Se elimina la mano de obra:** Se traduce en un ahorro económico.



- **Trabajo ininterrumpido:** En principio se podría trabajar continuamente (sin tener en cuenta fallos en el sistema o fallos externos).

Las principales desventajas son:

- **Inversión elevada:** El gran coste y complejidad de estos sistemas pueden hacerlos inviables económicamente.
- **Necesidad de intervención humana:** Sería necesaria dicha intervención en casos de avería o fallos externos. Para evitar esto sería necesario que la planta entera fuera un sistema autónomo.

2.4. Sistema de alimentación propuesto

Tal y como se ha definido el proyecto, el objetivo es diseñar un sistema capaz de alimentar un torno CNC de **manera automática** en condiciones de **calidad y seguridad**, por lo que resulta evidente que la alimentación manual queda descartada. No obstante, económicamente podría darse el caso de **no resultar viable** y tener que continuar manualmente.

Si se analiza la transición de un sistema manual a uno automático y se tiene en cuenta cualitativamente la inversión necesaria, tal como se ha comentado, se consiguen eliminar la mayoría de los inconvenientes del modo manual con una **inversión a priori asumible** (más adelante en el presupuesto se confirmará si lo es o no).

Por otra parte, el paso de un sistema automático a uno autónomo, no acaba con los principales inconvenientes del sistema automático (probabilidad de errores), resulta de una inversión pura y dura que solo resultaría atractiva en caso de reducirse los gastos en salarios lo suficiente.

Analizando el contexto tecnológico actual, existen ciertos casos de procesos autónomos, pero resultan casos excepcionales. La implantación de un sistema autónomo requeriría a parte de una **gran inversión**, un tiempo relativamente grande debido a la necesidad de **aprendizaje y optimización del sistema**.

De este modo, el paso de **manual a automático** puede entenderse como el **desarrollo lógico** en la evolución de los procesos siendo un paso intermedio al grado máximo de automatización que es un sistema autónomo. Por estas razones, el sistema propuesto es el de una **alimentación de carácter automático**.

3. ELEMENTOS EN EL SISTEMA ORIGINAL

A continuación, se hará una pequeña descripción de los principales elementos que se tienen alrededor del torno en el **sistema de partida**, que son, a parte del propio torno CNC: La estructura que soporta el contenedor y el contenedor. También se comentarán ciertas **características** de dichos elementos que resultarán **útiles** a la hora de realizar el diseño del alimentador.

3.1. El torno

El torno es el principal elemento encargado de realizar el **proceso de mecanizado**. Es una máquina herramienta clásica utilizada para piezas que cuentan con geometría de revolución. En este caso, el torno que se tiene trabaja en un eje por lo que las piezas que pasan por el giran respecto de un único eje a la vez que las diferentes herramientas de corte van conformando la pieza requerida.

Una vez se tiene un diseño, es necesario programar el torno mediante un código de control numérico para hacer que las herramientas de corte actúen de la manera necesaria para dar la forma requerida a la pieza.



Figura 1. 7: Torno de control numérico

Para el caso del presente proyecto, se toma un tiempo de mecanizado de **1 minuto**, es decir, desde que entra la barra con el material virgen hasta que sale ya mecanizado transcurre 1 minuto. Este tiempo resulta especialmente relevante puesto que fijará el **tiempo mínimo** que deba tardar el alimentador en **suministrarle las barras** al torno.

Por otra parte, focalizándose más en la parte del diseño, la **zona de entrada** del torno (la bandeja de entrada), es la parte que se debe analizar con más detalle. Su geometría, definirá a su vez las características geométricas del alimentador, tales como la altura a la que se entreguen las



barras, la anchura... De este modo, se buscará un diseño que encaje perfectamente con la bandeja de entrada del torno (*Ver figura 6*).

3.2. La estructura del contenedor

Esta estructura, es la encargada de **soportar el contenedor** con las barras vírgenes en su interior. Mantiene el contenedor a una **altura de 1,2 metros** sobre el suelo y tiene una inclinación de $3,2^\circ$ que hace posible que las barras rueden a través del contenedor y que se pueda vaciar por completo. En uno de los lados cuenta con una extensión a modo de **bandeja** con un tope donde se **acumulan las barras**. También cuenta con ruedas que posibilitan su desplazamiento con un objetivo de poder ajustarse en la zona, en ningún caso como elemento de transporte del contenedor (*Ver figura 4*).

El hecho de tener esta altura facilita al operario la recogida de barras desde la bandeja de la estructura, sin embargo, no es lo más deseable tener grandes **cargas en altura** por los **riesgos** que puede haber en caso de accidente.

3.3. El contenedor

El contenedor, es el elemento encargado de **confinar las barras** de materia prima y sirve para poder transportar las barras antes y después del mecanizado. Usualmente contienen las barras de una orden determinada de fabricación o parte de una orden de varios contenedores con el mismo tipo de barras.

Las barras pueden tener una longitud desde 100 hasta 350mm y un peso máximo por barra de 3kg. El contenedor en carga puede alcanzar un peso de algo más de 300kg.

Las **dimensiones** del volumen capaz de transportar son 500 x 590 x 720mm (0,21m³ aproximadamente) mientras que las dimensiones totales del contenedor son 670 x 800 x 660mm.



4. REQUISITOS Y LIMITACIONES

Con todo lo visto hasta este punto, se pueden establecer los **requisitos principales** que se le van a exigir al sistema de alimentación:

- **Suministro de barras al torno:** Es la principal finalidad del sistema
- **Control en el suministro:** Capacidad para iniciar y detener el sistema.
- **Velocidad mínima requerida:** Se deberá de suministrar como mínimo una barra por minuto.
- **Carga soportada** (el sistema deberá de soportar 3 barras en carga).

Por otra parte, existen **otros requisitos** que, sin ser básicos, han sido pedidos por la empresa y que se valorarán muy positivamente a la hora de elegir una solución determinada:

- **Evitar cargas pesadas en altura:** Con el sistema inicial de la empresa se tienen cargas con un peso considerable a una altura también considerable que se quieren evitar.
- **Sistema fácilmente transportable:** No se busca un sistema con una ubicación fija sino que se pueda llevar con facilidad empleando para ello una carretilla elevadora.

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta son las **limitaciones**. Para el presente proyecto se deberá de ajustar el sistema completo (incluido el contenedor de las barras de 0,8m de longitud) para que tenga una **longitud máxima** de en torno a **1m**. Esto se debe a las propias limitaciones de espacio en la planta y la necesidad de espacio para que pase la carretilla elevadora.

Esta limitación se da en la **dirección perpendicular a la bandeja** de alimentación del torno. Para la anchura y la altura, a pesar de existir límites físicos, estos, no suponen una limitación que afecte a la hora de definir el diseño.

5. DIFERENTES SOLUCIONES

En esta sección se presentarán diferentes formas de abordar el problema y se comentarán sus ventajas y desventajas, finalmente se elegirá la opción que se desarrollará en apartados posteriores del proyecto.

5.1. Estructura solidaria a la bandeja de entrada

Quizá esta opción resulte la más intuitiva o sencilla. Mediante esta solución, se buscaría imitar de alguna manera el sistema inicial haciendo que el contenedor estuviera en una estructura similar al del estado inicial y que la bandeja de **la estructura coincidiera con la bandeja** de entrada al torno.

De esta manera, las barras **deslizarían** desde el contenedor directamente a la bandeja del torno pasando por una bandeja intermedia entre ambas que formaría parte de la estructura.

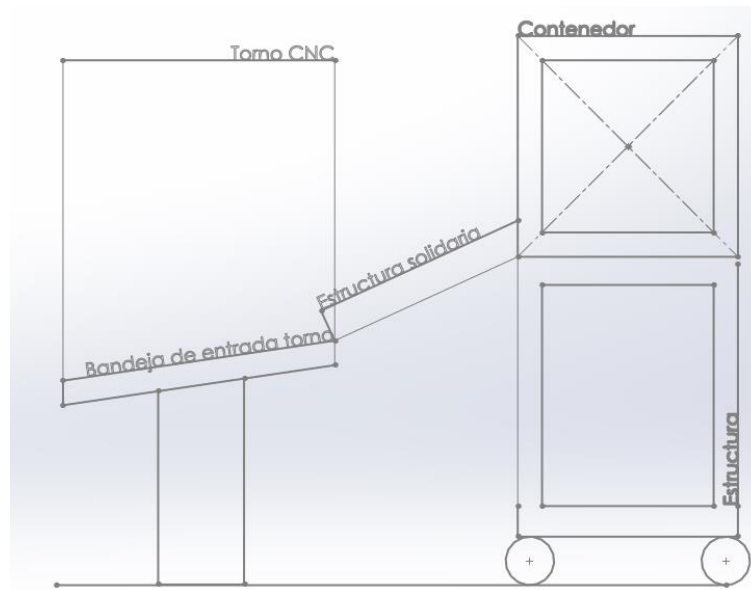


Figura 1. 8: Vista lateral esquemática de sistema con estructura solidaria

A pesar de resultar una opción bastante **simple**, tiene varios aspectos que hacen que no resulte la más adecuada.

Por una parte, **se pierde el control** sobre las barras que entran al torno, ya que irían cayendo continuamente a no ser que se cerrara la compuerta del contenedor.

Por otra parte, el contenedor seguiría estando en una **altura considerable** (de más de 1m). Como ya se ha comentado en el apartado de requisitos y limitaciones, se debe de buscar el poder dejar el contenedor a nivel del suelo y de este modo evitar tener cargas pesadas en altura.

Con estos dos aspectos negativos, se abandona, en principio, esta solución y se pasará a estudiar diferentes alternativas.

5.2. Banda transportadora horizontal

Este sistema consistiría en utilizar una **banda transportadora en posición horizontal** y con forma de 'J' de manera que uniera la bandeja de la estructura del contenedor y la bandeja de entrada del torno.

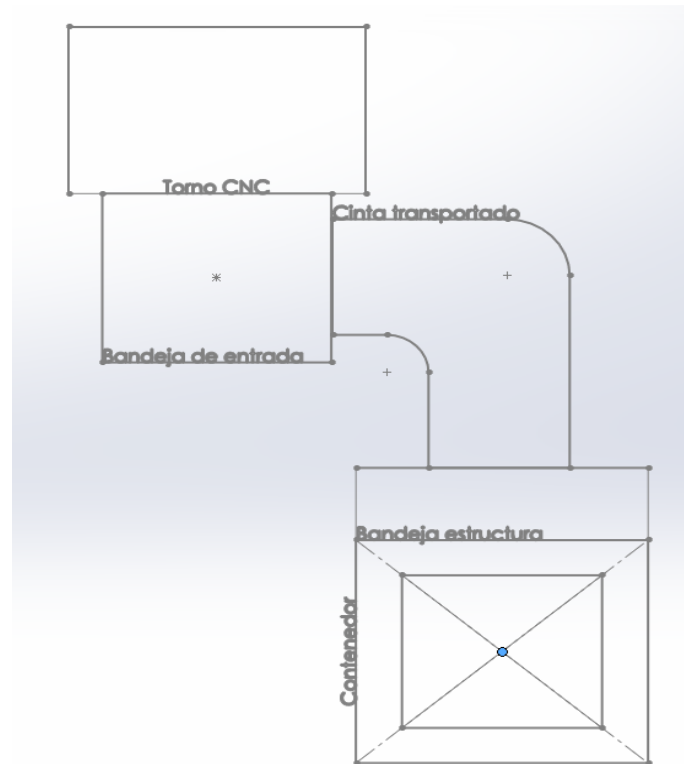


Figura 1. 9: Vista en planta esquemática de sistema con banda horizontal

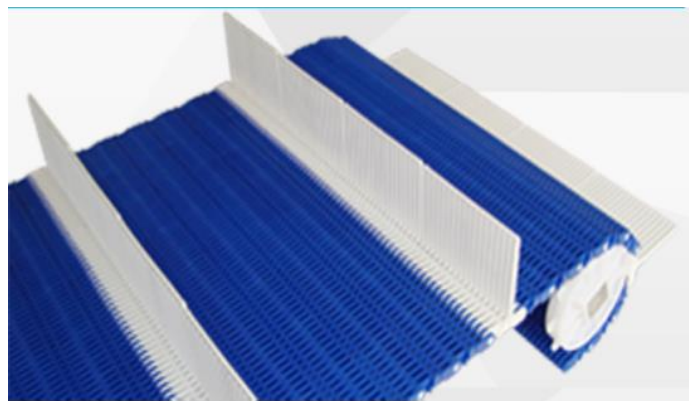


Figura 1. 10: Ejemplo de banda transportadora con empujadores

(fuente: www.bandasplasticas.com)

La banda transportadora contaría con **empujadores** que empujarían las barras hasta la bandeja de entrada del torno y estaría situada a la misma altura que esta. La bandeja de la estructura del contenedor se ajustaría también para hacerla coincidir con esta altura.

Los propios empujadores harían de **tope** para las barras que fueran cayendo desde el contenedor. Las barras realizarían el recorrido en forma de 'J' mencionado describiendo un ángulo de 90° con respecto del eje axial.



Mediante esta configuración, se lograría tener un **control en la alimentación** puesto que la banda transportadora podría accionarse o detenerse de manera manual o automática con ayuda de sensores.

Por otra parte, se consigue **aprovechar la estructura del sistema inicial** y la **limitación** de espacio en dirección perpendicular a la bandeja de entrada del torno **se reduce completamente** (ya que el contenedor colocado en esa posición ocupa menos en dicha dirección).

Sin embargo, al contar con mejores características que el anterior sistema, en este caso, se sigue teniendo el problema de tener **cargas en altura** y el diseño de una banda transportadora con curvatura resulta **más complejo** que una banda lineal, además, los empujadores deberían ser lo suficientemente fuertes ya que deberían hacer de tope para las barras que caigan del contenedor aumentando de esta manera sus requerimientos.

Por estas razones, se decide seguir analizando otras opciones que vienen a continuación.

5.3. Elevador con cadenas

Tratando de cubrir la totalidad de las necesidades presentadas en el apartado previo, se propone el siguiente diseño.

Mediante este sistema se consigue alimentar al torno elevando las barras desde el contenedor hasta la bandeja de entrada del torno. De este modo, se reduce la problemática de tener cargas pesadas en altura.

El mecanismo estaría compuesto por **6 cadenas y 12 piñones**. La mitad de los piñones estarían en un **eje superior** donde se realizaría la tracción mediante un motor eléctrico. El resto de piñones irían en un **eje inferior** alineados con su propia cadena y piñón superior. La parte del elevador quedaría definida con una apropiada estructura que diera apoyo a estos elementos.

Para que las barras caigan desde el contenedor, se diseñaría una estructura inferior con la misma **inclinación** que tenía el sistema inicial (con la diferencia de que esta estructura estaría prácticamente a nivel de suelo). Una vez llegaran a la parte del alimentador, este haría de tope haciendo que el flujo de barras se detuviera.

Cada cierto número de eslabones, se tendría un eslabón que contaría con un **par de ganchos** de modo que pudiera enganchar la barra y llevarla hacia arriba.

Una vez la barra estuviera en la zona más elevada, habría un rebase respecto de la bandeja de entrada al torno para hacer que las barras pudieran **deslizar** hacia la bandeja.

Las próximas figuras muestran un esquema de este mecanismo:

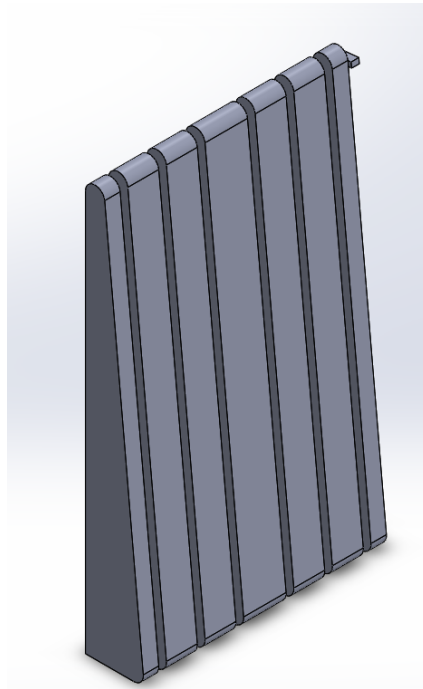


Figura 1. 11: Geometría externa del alimentador de cadenas

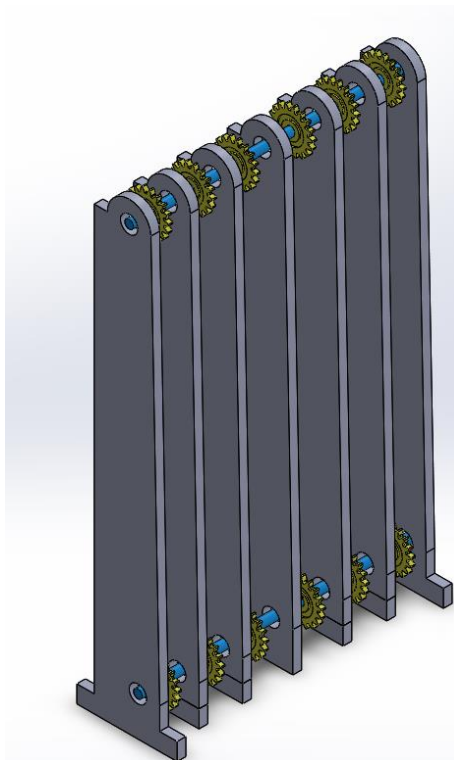


Figura 1. 12: Estructura interna alimentador de cadenas



Figura 1. 13: Cadena con gancho para elevador con cadenas

Este mecanismo, **cubre todas las necesidades** propuestas, se tiene **control** sobre la alimentación mediante el motor eléctrico (botón de arranque y parada) y además se podrían añadir **sensores** de modo que el alimentador se detuviera al detectar la bandeja de entrada al torno llena. Como se ha comentado, el **problema de cargas en altura** también queda **resuelto** y con una estructura inferior a la que vaya unido el elevador y pueda soportar el contenedor, se consigue un sistema fácilmente **transportable**.

Sin embargo, a pesar de dar respuesta a todas las necesidades, resulta de un sistema que debe de estar **perfectamente ajustado**. Los piñones y cadenas deberían estar perfectamente alineados (para que los ganchos que eleven las barras también lo estén) y a pesar de que los engranajes estarían fijados mediante chavetero a los ejes, cualquier desajuste haría que el sistema no funcionara correctamente.

Por otra parte, al tratarse de un sistema **muy específico**, habría que recurrir a una fabricación de cadenas **fuera del ámbito comercial**, esto tiene dos principales inconvenientes, encarecimiento del sistema y dificultad a la hora de conseguir repuestos (tiempo de entrega y disponibilidad principalmente).

Por último, se trata de un sistema con un número considerable de **piezas móviles** que deben estar perfectamente ajustadas, esto aumenta las posibilidades de que se produjera algún fallo que dejara la máquina fuera de servicio.

Por todas estas razones, se intentará buscar un sistema algo **más simple** que minimice las probabilidades de fallo.

5.4. Elevador con banda transportadora

Con el objetivo de responder a todos los requisitos e intentar evitar los puntos negativos de las anteriores soluciones de este apartado, se propone el siguiente diseño.

El funcionamiento de este sistema es prácticamente idéntico al del 'Elevador con cadenas' del apartado 3.3. Únicamente cambia el sistema que se emplea para elevar las barras. De manera muy simplificada, este alimentador sería el resultado de coger el elevador del apartado 3.3 y **sustituir los engranajes y cadenas por una cinta transportadora** (colocada en posición vertical y con empujadores).

De manera similar a la propuesta anterior, el contenedor con las barras se colocará en una **estructura inferior** sobre la que se apoyará también el elevador. La zona de la estructura sobre la que vaya el contenedor tendrá una **inclinación aproximada de 3,2°** (la misma que tiene el sistema inicial) para que las barras deslicen por si solas y asegurar que el contenedor se **vacía completamente**.

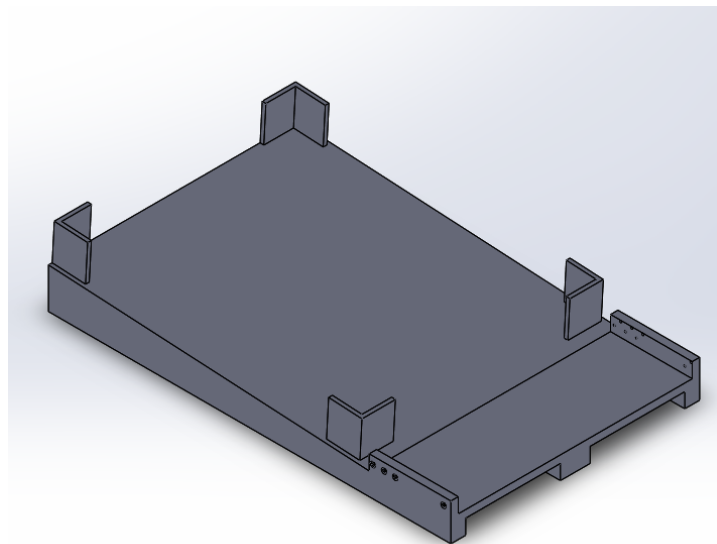


Figura 1. 14: Estructura inferior para alimentador de banda

Entre el contenedor y el elevador, se situará una **pieza intermedia** a modo de **rampa**. Esta pieza contará con muescas en uno de los extremos para permitir el paso de los empujadores de la cinta elevadora. La inclinación con respecto del suelo será de 3,2° de modo que sea **paralela a la superficie** donde se apoya el **contenedor**. Su función es proporcionar soporte para que las barras pasen del contenedor al elevador, también se puede ver como algo similar a la bandeja de salida en la estructura del sistema original.



Figura 1. 15: Rampa inferior para alimentador de banda

Después de haber pasado por la pieza intermedia las barras se quedarán a la espera de que la cinta elevadora las recoja. Mediante los empujadores las barras se subirán hacia la bandeja de entrada del torno. En la zona superior, habrá una pieza a modo de chapa que una el elevador con la bandeja de entrada al torno. Las **barras rodarán sobre esta pieza**.

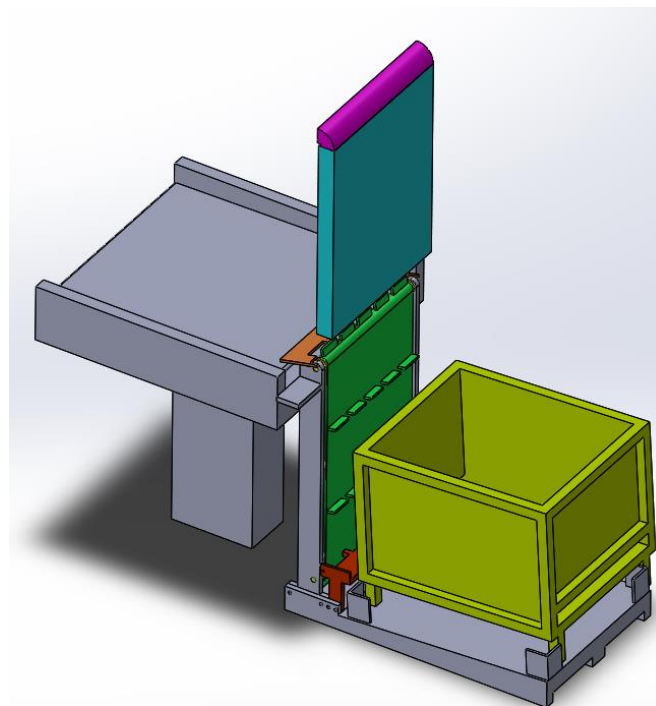


Figura 1. 16: Alimentador de barras con bandeja del torno y contenedor

Habiendo entendido el funcionamiento de este último diseño, es se comprueba que **cumple con los requerimientos** establecidos.



Se consigue alimentar el torno de **manera controlada**. El motor eléctrico que mueve la banda elevadora contará con un botón de marcha y detención. Por otra parte, en la bandeja de entrada al torno se situarán **sensores** que indiquen cuando este la bandeja vacía (entonces se accionará el elevador) y llena (en este momento el alimentador se detendrá).

Se reduce el problema de las **cargas pesadas en altura** haciendo que el contenedor se sitúe prácticamente a **nivel del suelo** y el sistema es **fácilmente transportable** ya que cuenta con la estructura inferior que soporta el contenedor y el alimentador, de este modo, el conjunto completo puede llevarse de un sitio a otro empleando una **carretilla transportadora**.

En comparación con el sistema basado en cadenas, **se reducen** en gran cantidad **las piezas en movimiento**, esto supone reducir considerablemente las probabilidades de fallo. Por otra parte, la banda con empujadores puede encontrarse comercialmente, cosa que no era tan sencilla en el caso de la cadena con ganchos.

De esta manera, este sistema presenta ventajas en casi todos los puntos con respecto a las otras soluciones, sin embargo, si se compara con la solución 3.2 en este caso sí que habrá que prestar atención a la **profundidad** que deba tener el elevador ya que es una de las limitaciones. Con una longitud máxima de alrededor de 1m en dirección perpendicular a la bandeja de entrada del torno, el alimentador debe de tener una profundidad que se ajuste a los 20cm restantes que quedan de espacio.

Un sistema que mezclara las soluciones 3.2 y 3.4 evitaría en gran medida la limitación del espacio, pero esto haría que el sistema fuera más complejo y caro.

Habiendo analizado todas estas opciones, se puede ver que un alimentador que emplee una banda transportadora con empujadores resulta una **opción óptima** en relación a la simplicidad y el desempeño que se requieren en esta aplicación.

6. DISEÑO DEL ALIMENTADOR

A lo largo de este apartado se presentará el diseño que se ha escogido para el alimentador. Se deberán tener muy en cuenta los requerimientos las limitaciones y los elementos que se tienen en el sistema original. De este modo se realizará un **diseño ajustado** y se emplearán los recursos disponibles de una manera correcta.

Dos de los aspectos clave a la hora de realizar el diseño son el diseño de **piezas funcionales** y que estas tengan un **coste razonable**. De no cumplirse estas premisas el diseño no será el más adecuado.

El diseño se ha llevado a cabo empleando el software de diseño asistido por ordenador (CAD) *SolidWorks 2017*.

Se pueden diferenciar 2 bloques dentro del diseño. Por una parte, estaría el *elevador* propiamente dicho, y por otra parte estaría la *estructura inferior*. A continuación, se detallará el diseño y se explicarán las **funciones de cada pieza** (tanto comerciales como no comerciales) que componen el sistema del alimentador.



6.1. Elevador

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el elevador será el encargado de subir las barras desde el contenedor situado prácticamente a nivel del suelo, hasta la bandeja de entrada del torno.

6.1.1. Estructura del elevador

Esta estructura será la encargada de **dar cuerpo y soporte al elevador**. Soportará principalmente el peso de la banda elevadora, rodillos de la banda, motor eléctrico y por supuesto de las barras que suba. Estará compuesto por la *estructura principal*, la *barra 'antilibro'* y la *chapa de protección de banda*.

6.1.1.a. *Estructura principal*

Como ya se ha comentado, la función de esta estructura es la de **soportar el peso** de los diversos elementos que componen el elevador.

Se realiza un diseño sencillo con **dos laterales unidos por un nervio**, todos ellos de acero.

Ambos laterales cuentan con agujeros destinados a los rodamientos y las barras de los rodillos de la banda elevadora. Los orificios superiores situados encima de los agujeros para el rodillo superior son para la colocación de la pieza que se ha nominado chapa superior que se presentará más adelante.

La geometría de los agujeros para el rodillo inferior se tiene en cuenta para poder colocar los tensores de la banda.

Uno de los laterales cuenta con un **saliente** destinado a proporcionar una **superficie estable al motor eléctrico** que traccionará el rodillo superior, dicho saliente al igual que el resto de la estructura será de acero.

Respecto a los esfuerzos que se vayan a soportar en esta estructura, el más relevante es la compresión que se ejerce sobre ambos laterales y que es debida al propio peso de los elementos y de la tensión de la banda.

Los laterales, el nervio inferior y el soporte para el motor no formarán una única pieza y estarán unidos **mediante tornillos**.

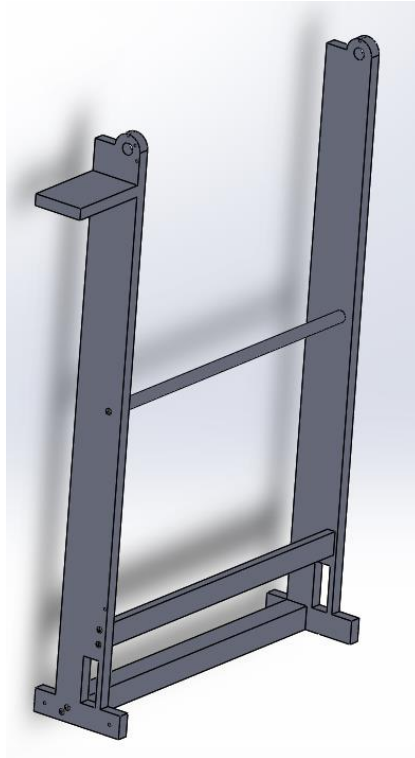


Figura 1. 17: Estructura del elevador

6.1.1.b. Barra anti-libro

El objetivo de esta barra que se ha denominado anti-libro, es la de mantener los laterales de la estructura principal paralelos y **evitar que se puedan alejar** o acercar del modo que se abre o cierra un libro.

El material empleado será acero y la unión a la estructura principal será atornillada a los laterales.

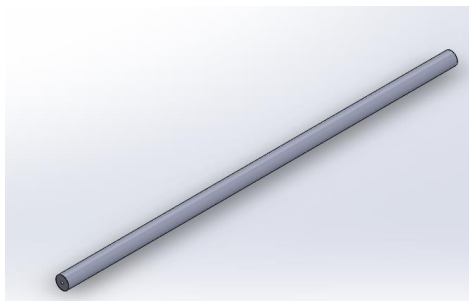


Figura 1. 18: Barra 'antilibro'

6.1.1.c. *Chapa de protección de banda*

Tal como indica el nombre que se ha escogido para este elemento, su función consiste en proteger la banda elevadora.

Las barras saldrán mediante gravedad rodando gracias a la inclinación que se le dé al contenedor. Estas barras rodantes, impactaran con la banda antes de que los empujadores las vayan subiendo. El propio **impacto** de las barras y la acumulación de estas provocaría que la **banda se destensara** y el sistema dejara de funcionar de la manera prevista. De esta manera esta chapa protegerá la banda evitando que las barras no puedan hundirla en esa dirección.

El material para la chapa será acero e irá unida mediante tornillos a los laterales. Su colocación ha de ser **precisa** para evitar las siguientes situaciones: Si resulta demasiado pegada, la chapa rozara con la banda produciéndose un desgaste que dañaría la banda, de lo contrario, si se coloca demasiado alejada, se reducirá su efectividad permitiendo que las barras puedan deformar la banda.

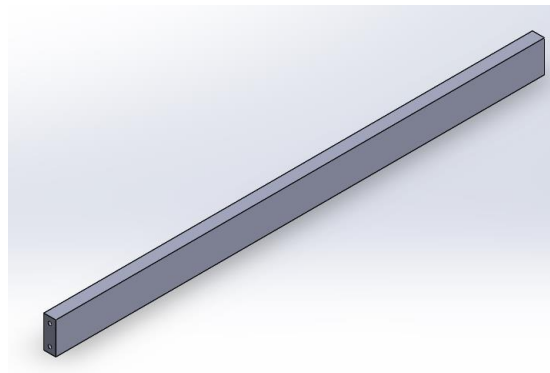


Figura 1. 19: Chapa protectora de banda

6.1.2. Rampa superior

Tal y como puede apreciarse en la bandeja de entrada del torno (*Ver figura 5*) la rampa del propio torno no se extiende hasta el vértice y aunque lo hiciera, los empujadores de la cinta elevadora impiden el situar la banda muy próxima a la bandeja de entrada. Por esta razón, es necesario proporcionar un **camino a las barras cuando son subidas** para que abandonen el elevador y pasen a la bandeja del torno.

La solución que se ha escogido es la de colocar una chapa a **modo de puente** entre la bandeja y el elevador.

La chapa estará hecha de acero y un lado se apoyará sobre la propia bandeja, en el lado opuesto, tendrá dos apoyos sobre los laterales del elevador. Estos apoyos se realizarán mediante dos agujeros atravesados por un pasador que a su vez pase por los dos orificios superiores de los laterales formando un mecanismo similar al de una bisagra. Este grado de libertad de giro de la chapa hará que se pueda **ajustar correctamente a la bandeja** del torno.

Hay que prestar especial atención a la **inclinación** que tenga la chapa (determinado principalmente por la altura de la estructura), para que sea la suficiente para hacer que las barras rueden suavemente. Una inclinación insuficiente, podría ocasionar que las barras se acumularan en la parte superior pudiendo quizá atascar el elevador y por otra parte, con una inclinación muy pronunciada, las barras rodarían excesivamente rápido pudiendo dañarse o salirse de su trayectoria prevista.

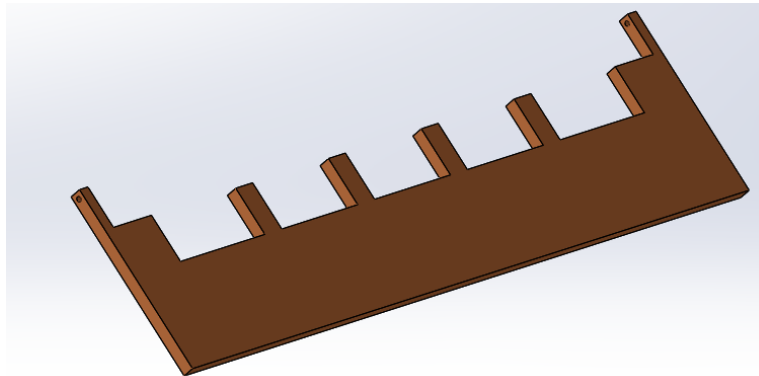


Figura 1. 20: Rampa superior

6.1.3. Protector frontal del elevador

Con el motivo de realizar un accionamiento lo más seguro posible, se propone el colocar esta pieza en el alimentador.

Este protector, tiene como principal objetivo **evitar el contacto directo** de las piezas móviles (principalmente la banda con los empujadores y los rodillos) que pudiera producirse por accidente con las personas u objetos que pudieran caer encima de la máquina. Además de cumplir con este propósito, se tendrá una funcionalidad extra como consecuencia de su propia geometría. Esta pieza, al estar situada a poca distancia de los empujadores y recubrirlos, **evitará** que las barras que están siendo elevadas puedan **caer hacia atrás** (aunque la principal medida sea la inclinación de los empujadores de la cinta elevadora, el protector evita físicamente la posibilidad de caída).

Su diseño geométrico se adecua de tal forma para que **recubra** prácticamente **todo el trayecto de elevación** de las barras.

El material empleado para esta pieza será principalmente **metacrilato transparente** y se acoplará a la estructura mediante una unión atornillada a los laterales de la estructura. La elección de este material hace que sea **visible en todo momento el estado de la máquina** (en carga, descargada parada o en marcha) y que se puedan detectar con mayor facilidad ciertas averías que puedan suceder.

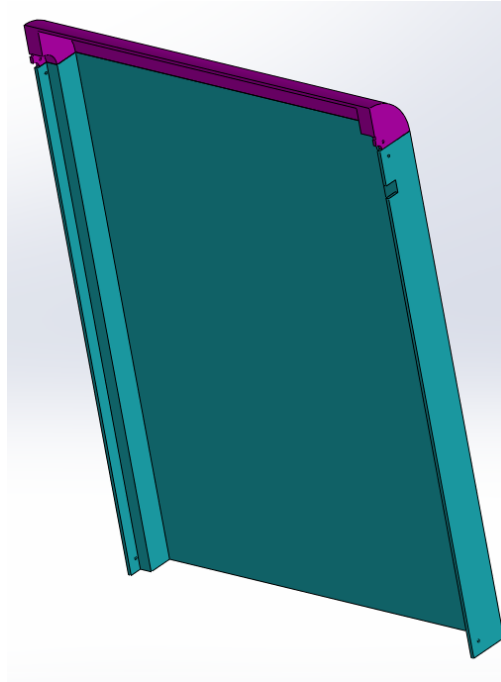


Figura 1. 21: Protector frontal

6.1.4. Protector posterior del elevador

Del mismo modo que en el caso del protector frontal, el protector posterior, se diseña con el objetivo de atender a las necesidades mínimas de seguridad y **evitar** que personas u objetos puedan accidentalmente tener **contacto con las partes móviles** del alimentador.

En este caso, no cuenta con la funcionalidad extra de evitar que las barras se caigan, puesto que en este caso se recubre el trayecto de bajada en el que los empujadores van vacíos.

La geometría es lo más sencilla posible dando como resultado un rectángulo que **recubre toda la parte posterior** de la máquina. El material empleado en este caso será también el metacrilato para que se puedan apreciar ciertos fallos lo más fácilmente posible y de igual manera ira atornillado a los laterales de la estructura.

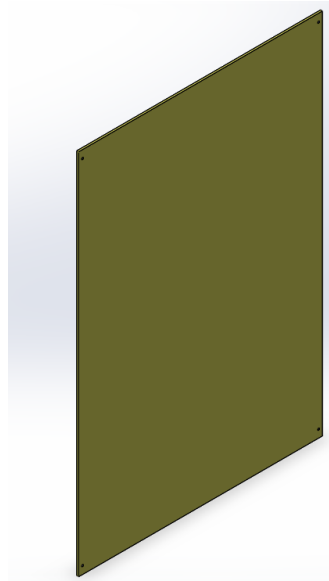


Figura 1. 22: Protector posterior

6.2. Estructura inferior

Tal como se ha comentado en apartados anteriores, este elemento será el encargado de **soportar el elevador y el contenedor** con las barras en su interior.

Se podrán diferenciar 2 superficies en esta pieza: **Una superficie horizontal** una y una **superficie inclinada**.

Sobre la superficie horizontal, irán situados el elevador y la rampa inferior. Ambos elementos se fijarán a la estructura empleando una unión atornillada.

En la superficie inclinada, se colocará el contenedor. Se diseña una **pendiente idéntica** al que tenía el sistema **original de 3,2°** y la que asegura que las barras del interior salgan rodando hasta vaciar el contenedor por completo. Debido a esta inclinación, para que el contenedor no se pueda desplazar en exceso y se pueda mantener sobre la estructura en todo momento, se colocaran 4 sendos resaltes que ejercerán de **tope** sobre las 4 patas del contenedor. Estos resaltes serán perpendiculares a la superficie y tendrán forma de 'L'. La unión será mediante soldadura.

La geometría de la parte inferior de esta estructura tendrá algo similar a **dos carriles** por los que la carretilla elevadora pueda introducir las **horquillas** y elevar el alimentador en su conjunto incluido el contenedor. Este diseño, está basado en **la geometría de un palé** de transporte.

Esta estructura, estará compuesta en su totalidad por distintas piezas de acero soldadas entre si que den como resultado el diseño propuesto.

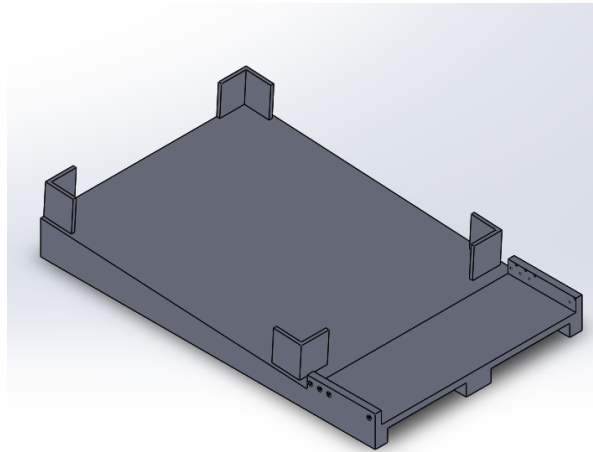


Figura 1. 23: Estructura inferior

6.3. Rampa inferior

El objetivo de esta pieza es hacer que las **barras pasen rodando del contenedor hasta el elevador** al abrir la puerta del contenedor.

Para lograr dicho objetivo, se opta por diseñar una rampa con la misma pendiente que la que se le da al contenedor. Se puede ver como algo similar a la bandeja de la estructura del sistema inicial.

Por otra parte, esta pieza contará con unos **resaltes laterales** que impedirán que las barras puedan caer. El lado más próximo al elevador tendrá una forma dentada de manera que los empujadores del elevador puedan pasar a la vez que se evita que las barras puedan caer.

Como ya se ha comentado, esta pieza irá atornillada a la estructura inferior y el material que se usará para conformarla será acero. Se podría plantear que la unión fuera mediante soldadura, pero esto restaría versatilidad a la hora de tener contenedores de distintas alturas.

En caso de tener un contenedor más bajo, las barras no podrían salir y chocarían con la rampa, en esta situación, una posible solución sería calzar el contenedor de alguna forma. En el caso contrario de tener un contenedor más alto, las barras verían un escalón mientras rodaran que podría hacer que las barras resultaran dañadas. Sin embargo, al poder desmontar la rampa, esta se podría ajustar mediante algún sistema o simplemente se tendría otra rampa de distinta altura para ese tipo de contenedor.

6.4. Elementos comerciales

En este apartado se mostrarán los elementos comerciales que se emplearán en el alimentador explicando sus principales funciones.

6.4.1. Banda del elevador

Quizá sea el elemento más representativo del alimentador y sin duda el más visual a la hora de ver el sistema en funcionamiento. A pesar de ser el resultado de un diseño específico para esta aplicación y posiblemente con características únicas, se ha decidido incluirlo en la sección de elementos comerciales ya que, en definitiva, se puede ver como un diseño personalizado en base a elementos comerciales.

Es el sistema que se ha escogido para subir las barras a la bandeja de entrada del torno y cuenta con dos principales elementos. Una banda transportadora situada en **posición vertical y 6 empujadores**.

El principal objetivo de la banda transportadora es el de **llevar las barras** y dar soporte al **sistema cíclico**. Por otra parte, los empujadores tienen la función de retener las barras al inicio del ciclo de subida, evitando que estas caigan y dejarlas rodar en la parte superior para bajar descargadas y volver a iniciar el ciclo.

La banda tendrá una **longitud de 2,1m** y estará compuesta de TPU (poliuretano termoplástico). La unión de los empujadores a la banda y el conformado de la propia banda puede hacerse mediante un proceso de soldadura con aire caliente o de alta frecuencia.

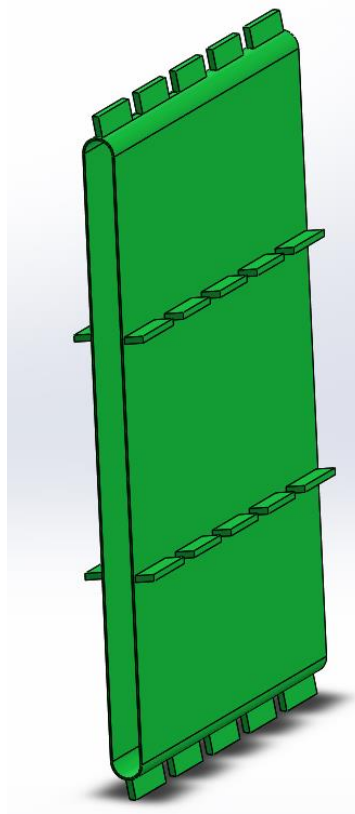


Figura 1. 24: Banda del elevador

6.4.2. Rodillos de la banda transportadora

Estos rodillos, son los encargados de dar **soporte y fijar la banda** con los empujadores. Su principal función, es hacer que la banda de la cinta transportadora avance. Mediante su giro, harán que la cinta se mueva y que gire a su vez.

Para este elemento, es fundamental tener muy presente la limitación de espacio que se tenía. Si se desea que la máquina tenga una profundidad máxima de en torno a 20cm, el diámetro de los rodillos podrá ser como máximo de 14cm (ya que los empujadores sobresaldrán 3cm por cada lado) sin tener en cuenta los márgenes que habrá en realidad y que limitarán más aun esta dimensión.

Por otra parte, tal y como se muestra en el apartado de los cálculos, cuanto mayor sea el diámetro del rodillo, mayor será el par a realizar por el motor y en definitiva, se requerirá de un motor con mayor potencia. De este modo hay que dimensionar los rodillos para que den un punto de robustez a la banda transportadora y que no sean excesivamente grandes.

Ambos rodillos irán sobre sus correspondientes rodamientos y en el caso del rodillo inferior dichos rodamientos formarán parte del conjunto del tensor.

Los rodillos estarán fabricados en acero y tendrán una longitud de 630mm.



Figura 1. 25: Ejemplo de rodillos para banda transportadora

(fuente: <http://www.directindustry.es>)

6.4.3. Rodamientos

Los rodamientos, son los encargados de hacer que los **rodillos giren** de la manera más **suave y con la menor fricción** posible.

Los elementos principales de los cuales se componen los rodamientos son: **Anillo interno, anillo externo, elemento rodante y separadores.**

En la mayoría de las aplicaciones, el anillo externo es el que queda fijado haciendo que el interno gire junto con el eje, este será el caso que se tendrá en los rodillos del elevador.

El elemento intermedio o elemento rodante, es el que está situado entre los dos anillos y puede tener distintas geometrías dependiendo de la aplicación y de los esfuerzos que se requieran que el rodamiento soporte. Hay dos grupos principales de elementos rodantes: los de bola y los cilíndricos. Para el presente proyecto, al no tener que soportar esfuerzos axiales serán válidos tanto los rodamientos de bolas o como los de cilindros.

Por último, el lubricante se emplea para reducir la fricción entre los elementos rodantes y los anillos, aunque se pueden encontrar rodamientos sin lubricante.

En el documento dedicado a los cálculos se hace una estimación del nº de ciclos que soportaran y de su vida útil.

Se emplearán 2 rodamientos para el rodillo superior y otros 2 para el rodillo inferior (que formarán parte del tensor). Los rodamientos elegidos tendrán un diámetro interior de 20mm y una anchura de 10mm.

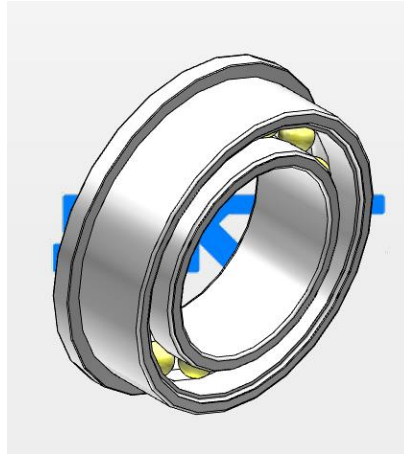


Figura 1. 26: Modelo en 3D de rodamiento

(fuente: <http://skf-preview-e.partcommunity.com>)

6.4.4. Tensor de la banda

El tensor, se emplea para hacer que la **cinta este tensa en todo momento**. La tensión de la banda tiene que ser la suficiente para que los rodillos puedan transmitir el movimiento a la banda, en caso contrario, habría desplazamiento entre el rodillo y la parte de la banda en contacto con el rodillo y no se tendría el funcionamiento requerido.

En definitiva, el tensor puede verse como un elemento que permite **alargar la vida útil de la banda transportadora**. Aunque se parta de un diseño perfectamente ajustado, gradualmente, la banda se deformará perdiendo tensión. Cuando se detecte esta falta de tensión, se hará uso del tensor para restablecer el nivel de tensión requerido para el correcto funcionamiento.

Se recuerda también, que la chapa de protección de banda evita que las barras deformen la cinta transportadora (esto provocaría en definitiva una elongación de la banda) se pierda tensión. Por lo tanto, ambos elementos tienen el objetivo final de aumentar la durabilidad de la banda transportadora.

Evidentemente, la elongación de la banda es un proceso que, en circunstancias normales, se da **muy lentamente**. Por lo tanto, el uso del tensor no es algo que vaya a ser de uso diario. Finalmente, cuando el tensor esté al máximo de su recorrido y la banda no tenga la debida tensión, será el momento de reemplazar la banda por una nueva.



Figura 1. 27: Ejemplo de tensor para banda transportadora

(fuente: <http://rivet.cl>)

6.5. Elementos eléctricos y electrónicos

En este apartado se describirán los elementos eléctricos y electrónicos que formarán parte del alimentador.

A pesar de poder incluir perfectamente dichos elementos en la categoría de elementos comerciales, se decide hacer esta separación por que se considera que tienen un carácter diferente respecto a los del diseño puramente mecánico del resto del alimentador que se ha visto en los apartados previos a este.

El sistema eléctrico y electrónico queda formado por: **El motor eléctrico, Interruptor de encendido y apagado, seta de emergencia y el sistema de medición y control** (sensores, microprocesador...)

6.5.1. Motor eléctrico

Es sin duda el corazón de la máquina puesto que es el encargado de **hacer funcionar al elevador**.

Un correcto diseño, hará que no se necesite una excesiva potencia de motor y con un buen ajuste a sus requerimientos se logrará un correcto dimensionamiento.

Aunque se comentará y se detallará más a fondo en el apartado de cálculos, las principales características a tener en cuenta para el motor eléctrico son: El par de arranque, el par nominal y la potencia requerida.

Se contemplan dos posibilidades a la hora de escoger el tipo de motor eléctrico. Por una parte, un **motor asíncrono** con una transmisión mediante engranajes al eje del rodillo y por otra parte, un motor asíncrono directamente unido al eje con variador de velocidad. Como ya se ha comentado, los fundamentos teóricos y los detalles se encuentran en el apartado de los cálculos aquí únicamente se analizarán los aspectos positivos y negativos de cada sistema

En el caso de un motor asíncrono con un **par de engranajes o reductora**:

- Aspecto positivo:
 - El motor es más barato.
- Aspectos negativos:
 - Se tienen más piezas móviles (mayor desgaste).
 - Se requiere un diseño de los engranajes.
 - La velocidad del accionamiento es fija.

Para un motor asíncrono directamente unido al eje **con variador**:

- Aspectos positivos:
 - Se tienen menos piezas móviles
 - Es posible regular la velocidad del accionamiento.
- Aspecto negativo:
 - El motor es más caro.

Viendo las ventajas e inconvenientes de cada una de las soluciones se opta por la opción de incorporar un motor con un variador de velocidad.

Debido a los requerimientos de velocidad y carga que va a soportar (9kg más el peso de la banda) se puede anticipar que la potencia necesaria no será muy elevada. Como consecuencia el tamaño y el peso tampoco lo serán. Esto permitirá situar el motor en el saliente de la estructura lateral del elevador y alineado con el eje del rodillo superior.

El motor ira atornillado al saliente del lateral de la estructura mientras que, para unir el motor a el eje del rodillo, se usará un acoplamiento intermedio.

El motor escogido tendrá una potencia eléctrica de 103W y será capaz de dar un par de 0,35Nm a 1355 rpm.



Figura 1. 28: Motor eléctrico para banda elevadora



6.5.2. Sensores de barras

El sistema de sensores será el que haga que el sistema de alimentación sea un **sistema en lazo cerrado** ya que dependiendo de la lectura que den los sensores, el elevador actuará o se detendrá.

La bandeja de entrada al torno, o su estado (llena, vacía o un estado intermedio), puede verse como la salida del sistema, el sensor leerá esta salida y en función de su lectura dará una señal u otra al motor eléctrico.

6.5.2.a. *Sistema sin sensores*

Existe la posibilidad de realizar una configuración **en lazo abierto** puesto que se trata de un sistema relativamente sencillo. Habitualmente, los sistemas en lazo abierto requieren un conocimiento profundo del sistema y la simplicidad del sistema con el que se trabaja lo permitiría. Bajo este modo de operación, es necesario conocer el tiempo que tarda el torno en mecanizar una barra y actuar en función de este tiempo.

Por ejemplo, si el torno tarda 1 minuto en realizar el mecanizado, habría que ajustar la velocidad para que el elevador suministre una barra cada minuto. Se pueden dar diferentes casos:

- **El ajuste es exacto:** No ocasionaría ningún problema y funcionaría correctamente. El tiempo de fabricación sería el mínimo.
- **El ajuste no es exacto y el alimentador entrega las barras en menos tiempo:** Si el error es del orden de los segundos, en tiradas de fabricación de 300 o más unidades, la bandeja de entrada terminaría rebosándose y esto podría ocasionar diferentes problemas incluso dañar el alimentador.
- **El ajuste no es exacto y el alimentador tarda más en suministrar las barras:** En este caso no se provocaría ningún conflicto a nivel físico, pero el torno quedaría a la espera con la bandeja de entrada vacía durante intervalos y provocaría que la orden de fabricación se llevara a cabo en un tiempo mayor al técnicamente necesario. De nuevo, si el error no es significativo, apenas habría diferencia.

La implementación en la práctica del sistema de alimentación sin sensores podría llevarse a cabo con un **accionamiento de velocidad variable**, puesto que nos permite **regular la velocidad** del motor con un cierto rango, para así, poder ajustarse a la velocidad del torno. Con un accionamiento de velocidad fija, el ajuste se realizaría a través del diseño de los piñones entre el motor y el eje, pero esta solución sería exclusiva para un tiempo de fabricación determinado. Es decir, se tendría un **sistema sin flexibilidad**.

Cabe destacar que, si no se pudiera lograr el funcionamiento con un ajuste exacto, habría que hacer que la velocidad del alimentador fuera menor que la del torno. De esta manera, el torno tendría intervalos en los que estuviera parado, pero se evitaría el riesgo de colapsar la bandeja de entrada.



Como último punto, es necesario remarcar, que este sistema podría considerarse únicamente para casos en el que el tiempo de fabricación fuera siempre el mismo, de lo contrario, habría que andar **ajustando la velocidad para cada orden** de fabricación y resultaría **poco práctico** (imposible en el caso de accionamiento de velocidad fija). En el ámbito para el que se va a realizar este diseño, es habitual tener diferentes diseños de piezas que llevan implícito un tiempo de fabricación determinado por lo que el sistema sin sensores no resulta el más apropiado.

6.5.2.b. Sistema con sensores

Como ya se ha comentado, esta configuración correspondería a un sistema de **control en lazo cerrado**.

A la hora de diseñar un sistema de sensado, son fundamentales los siguientes aspectos: **Tipo de sensor, nº de sensores** (si se necesitan más de uno), la **ubicación** de los sensores y como se trabajará con la señal que den los sensores (medio físico, adecuación de la señal...).

El tipo de sensor elegido es un sensor denominado **inductivo** y ampliamente usado en la actualidad. Sus características, hacen que sea apropiado para la **detección de piezas metálicas**, pero no sirve para detectar piezas no metálicas como las fabricadas en plástico, madera... En '*Complemento al trabajo*' del presente proyecto, se expone su fundamento teórico.

Para determinar el nº de sensores que se necesitan, se analizarán las posibles ubicaciones lógicas y estratégicas para los sensores y en función de ello se deducirán los **sensores necesarios** y se compararán diferentes alternativas.

De acuerdo con el sistema de alimentación que se tiene, se pueden considerar las siguientes 4 localizaciones para los sensores que aportarían la siguiente información:

- **Bandeja de entrada del torno-próximo a la entrada del torno (posición 1)**: Mediante este sensor, se podría conocer si la bandeja del torno estuviera vacía.
- **Bandeja de entrada del torno-alejado de la entrada del torno (posición 2)**: Con un sensor en esta posición, se podría determinar si la bandeja del torno está llena.
- **Bandeja inferior-próximo al elevador (posición 3)**: Este sensor, daría información de si hay o no hay barras disponibles para subir.
- **Bandeja inferior-alejado del elevador (posición 4)**: Un sensor ubicado aquí, permitiría saber si hay más barras que subir después de que se suba la siguiente barra.

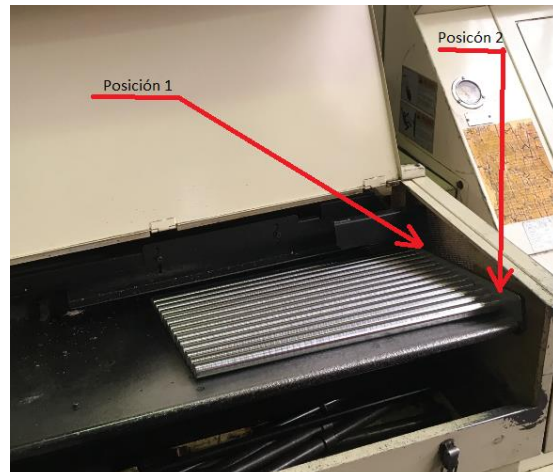


Figura 1. 29: Posiciones 1 y 2 para la colocación de los sensores

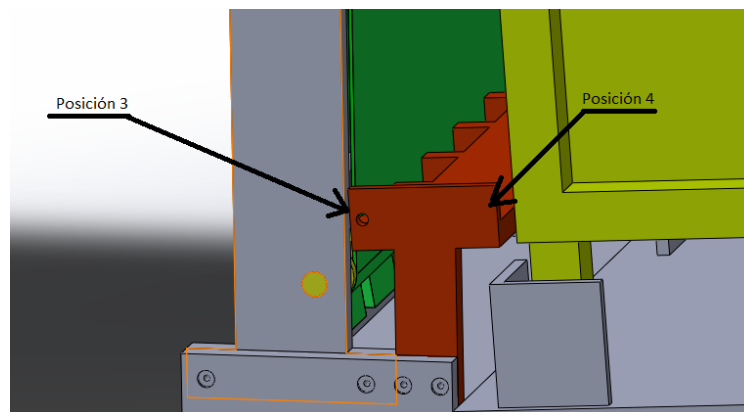


Figura 1. 30: Posiciones 3 y 4 para la colocación de los sensores

Habiendo visto las cuatro localizaciones relevantes para los sensores, se verán distintas configuraciones dependiendo del nº de sensores.

-Sistema con 1 sensor:

- **En la posición 1:** El elevador se pondría en marcha cuando la bandeja estuviera vacía. Si es el elevador es capaz de suministrar barras en un tiempo menor al de mecanizado será correcto (condición necesaria para cualquier configuración). Cuando las barras se acaben, la bandeja quedará vacía y el elevador seguirá en funcionamiento. Necesario parar manualmente (o introducir una consigna de parada automática en función del tiempo).
- **En la posición 2:** El elevador estará en funcionamiento hasta llenar la bandeja de entrada. De nuevo cuando se agoten las barras seguirá en funcionamiento. Necesario parar manualmente o consigna de parada.



- **En la posición 3:** Siempre que haya una barra en la rampa inferior el elevador estará en funcionamiento. No se controlan las barras en la bandeja del torno. Peligro de rebosar la bandeja de entrada.
- **En la posición 4:** Se daría la misma situación que en el de la posición 3 pero en este caso las barras finales que quedarían entre las posiciones 3 y 4 quedarían sin subirse.

Analizando el sistema con 1 sensor, se puede ver que, tanto situar el sensor en la posición 1 como en la 2, haría que la alimentación funcionara correctamente con la necesidad de parar la maquina manualmente o con alguna consigna. En la posición 3, se necesitaría regular la velocidad del alimentador para que fuera inferior a la del torno puesto que no se controla el estado de carga de la bandeja del torno. La posición 4, a pesar de poder dar información más o menos relevante, de por si solo no aporta lo suficiente como para que se considere de aquí en adelante. Un sensor en la posición 4 resultaría de más interés en sistemas de monitorización en tiempo real (tipo SCADA o similares).

-Sistema con 2 sensores:

- **En las posiciones 1 y 2:** El elevador subirá las barras cuando ambos sensores o el sensor de la posición 2 no detecten barras. Se parará cuando la bandeja del torno este llena. Cuando las barras se acaben, el elevador seguirá en funcionamiento, necesario parar manualmente o consigna de parada.
 - **No hay barras ni en 1 ni 2:** Elevador en marcha.
 - **Hay barra en 1 pero no en 2:** Elevador en marcha.
 - **Hay barras en 1 y 2:** Elevador parado.
 - **Hay barra en 2 y pero no en 1:** Situación no posible estacionariamente.
- **En las posiciones 1 y 3:** El elevador funcionará cuando el sensor en la posición 1 no detecte nada y el de la posición 3 si lo haga. En el resto de los casos estará parado.
 - **No hay barras ni en 1 ni 3:** Elevador en detenido.
 - **Hay barra en 1 pero no en 3:** Elevador detenido.
 - **Hay barras en 1 y 3:** Elevador detenido.
 - **Hay barra en 3 pero no en 1:** Elevador en marcha.
- **En las posiciones 2 y 3:** El elevador actuará únicamente en caso de no detectar barras en 2 y detectar barras en 3.
 - **No hay barras ni en 2 ni 3:** Elevador en detenido.
 - **Hay barra en 2 pero no en 3:** Elevador detenido.
 - **Hay barras en 2 y 3:** Elevador detenido.



➤ **Hay barra en 3 pero no en 2:** Elevador en marcha.

Como se deduce del funcionamiento, teniendo sensores en 1 y 2, el resultado obtenido es el mismo al de tener un único sensor en dichas posiciones por separado. Puesto que, el elevador no se detiene cuando se acaban las barras del contenedor. Por otra parte, el funcionamiento con sensores en las posiciones 1,3 y 2,3 también es similar. En ambos casos el elevador se detiene si no hay barras disponibles por lo que se detendrá automáticamente al final. Sin embargo, con sensores en 2 y 3 se hace un mayor aprovechamiento de la bandeja del torno ya que estará la mayor parte del tiempo llena (esto no ocurre con la configuración 1,3 puesto que la bandeja estará como máximo con una barra, aunque realmente, esto no conlleva ningún retraso a la hora de fabricar).

-Sistema con 3 sensores:

- **En las posiciones 1, 2 y 3:** El sistema funcionará cuando se detecten barras en 3 y no en 2.
- - **No hay barras en 1,2,3:** Elevador en detenido.
 - **Hay barras en 1,2 pero no en 3:** Elevador detenido.
 - **Hay barras en 1,3 pero no en 2:** Elevador en marcha
 - **Hay barras en 2,3 pero no en 1:** Situación no posible.
 - **Hay barra en 3 pero no en 1,2:** Elevador en marcha.
 - **Hay barra en 2 pero no en 1,3:** Situación no posible.
 - **Hay barra en 1 pero no en 2,3:** Elevador detenido.
 - **No hay barras en 1,2,3:** Elevador detenido.

Es inmediato comprobar, que el añadir un tercer sensor no aporta ninguna ventaja o funcionalidad extra a la hora de alimentar el torno. Si bien es cierto que ocurre como en el caso de colocar un sensor en la posición 4, dicha información extra que se tiene podría ser útil en sistemas de monitorización en tiempo real, pero ese no es el objetivo de este proyecto.

Si únicamente se pudiera disponer de un sensor, su colocación tendría que ir en la posición 1 o 2 y se debería tener en cuenta que la maquina debería de ser parada manualmente o introducir algún tipo de consigna para detener el sistema.

Como resultado de este análisis, se puede afirmar que la configuración con mejores prestaciones con la menor cantidad de sensores, es la de utilizar una disposición de dos sensores en las posiciones 2 y 3 o 1 y 3, dependiendo de si se desea tener la bandeja del torno la mayor parte del tiempo vacía o no. En ambos casos el torno se pararía al acabarse las barras. Por lo tanto, está será la opción elegida.

Aunque se considera que el número de los sensores no supone mayor diferencia en el coste final, si que se ha optado por buscar un compromiso en el que se aseguren las prestaciones buscadas, a la vez que no se tienen sensores de más que no aporten nuevas funcionalidades.

La siguiente tabla resume lo analizado en este apartado:



Nº de sensores	Arranque	Parada
1	Automático	Manual/Consigna
2	Automático	Automático
3	Automático	Automático

Tabla 1. 1: Tipos de arranques y paradas en función del número de sensores utilizados

6.5.3. Circuito de señal

Una vez se tiene claro cómo se va a medir, donde se va a medir y como se quiere que el sistema actúe en base a dichas medidas, es necesario diseñar el circuito que dará soporte a esas señales que emitan los sensores. En este caso, se pueden contemplar dos opciones: Realizar el circuito de señal en base a **puertas lógicas o utilizar un microprocesador**.

6.5.3.a. *Circuito usando puertas lógicas*

Este modo, es sin duda más visual y consiste en utilizar puertas lógicas combinadas de tal forma que se consiga activar el switch de encendido bajo las condiciones deseadas. El switch de encendido es un componente que permite activar distintos elementos (en este caso el motor eléctrico) a través del circuito de señal, ya que de por si sola, la señal de control no tiene energía suficiente para activar dichos elementos.

Para el caso concreto de trabajo, se puede lograr implementar el circuito de señal utilizando únicamente una **puerta NOT y una puerta AND**.

La puerta NOT, devuelve la señal negada de su entrada, es decir, si por ejemplo un sensor no detecta ninguna barra la señal de entrada a la puerta NOT será un 0 y la salida que de será un 1.

La puerta AND, solo dará un 1 a su salida si, y solo si, todas sus entradas tienen un valor de 1 (en este caso se tendrá una puerta AND de 2 entradas). Como ejemplo, si se conectaran 2 sensores a las entradas de la puerta AND, y los sensores detectaran barras (por lo tanto, darían un 1 a su salida) entonces la salida de la puerta AND sería 1. En cualquier otro caso sería 0.

Entendiendo este funcionamiento y viendo las condiciones en las que se quiere que el motor actúe, se necesitaría la señal del sensor en la posición 2 negada y la señal del sensor 3 unidas mediante la puerta AND, la salida de esta puerta iría al switch de encendido.

El siguiente esquema muestra este sencillo circuito simplificado:

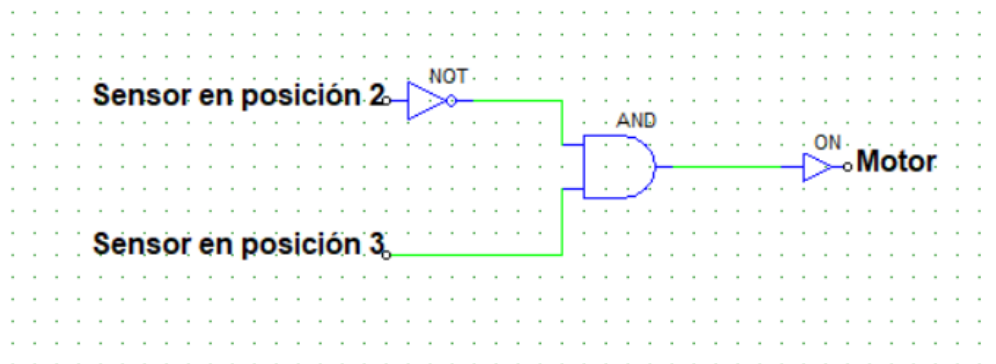


Figura 1. 31: Esquema simplificado del sistema de señal empleando puertas lógicas.

Para comprobar si el sistema concuerda con lo expresado en el anterior apartado se muestra la siguiente tabla de estados:

	Sensor pos. 2	Sensor pos. 3	Entrada AND	Salida AND	Switch ON
Estado	0	0	10	0	0
	0	1	11	1	1
	1	0	00	0	0
	1	1	00	0	0

Tabla 1. 2: Estados del sistema de puertas lógicas

Es fácilmente revisable, que sólo se dará la orden de encendido cuando el sensor 2 no tenga barra y el sensor 3 la tenga. Este resultado, concuerda con lo que se buscaba en el anterior apartado.

6.5.3.b. Circuito usando un microprocesador

El circuito basado en las puertas lógicas se puede **reemplazar utilizando un microprocesador**, este, se puede ver en el fondo como una caja negra que contiene puertas lógicas programables en su interior. Es decir, mediante el código con el que se programe, el microprocesador actuará de una manera u otra.

Como el sistema es **relativamente sencillo**, el código a implementar también lo será. Para este caso en un idioma de programación en C, el código podría realizarse en **pocas líneas**.

Para el ejemplo en particular con el que se va a trabajar, la sencillez hace que ambos sistemas resulten bastante intuitivos y poco complicados en su implementación. Sin embargo, se pueden comparar otros aspectos entre el uso de puertas lógicas o un microprocesador.



Uso de puertas lógicas:

- Ventajas:
 - Es más barato.
 - Es más rápido en funcionamiento.
- Desventajas:
 - Es un circuito fijo.

Uso de un microprocesador:

- Ventajas:
 - Es flexible y modificable (reprogramable).
 - Menos componentes.
- Desventajas:
 - Algo más caro.
 - Funcionamiento algo más lento.

De las ventajas que tienen las puertas lógicas, se puede decir, por una parte, que el aspecto económico no tendrá gran impacto sobre el coste final ya que la **diferencia en el coste es pequeña** (esto sería discutible en el caso de tener que hacer miles o millones de unidades, pero se está trabajando para realizar un único circuito de señal). Por otra parte, su funcionamiento más rápido, no supone diferencia por que la aplicación no requiere de altas velocidades de respuesta.

El funcionamiento más lento del microprocesador viene del hecho de tener que medir unas entradas (muestrearlas), realizar cálculos y de dar una salida. Las puertas lógicas, por otra parte, actúan de manera prácticamente instantánea en función de sus entradas.

La ventaja más notoria del microprocesador es la **flexibilidad** que se tiene al **poder reprogramarlo** introduciendo otro código. En el caso de imprevistos o de un mal diseño de un circuito de puertas lógicas, el circuito queda inservible por lo menos para la aplicación que se requería, con el microprocesador en cambio, se puede corregir o hacer frente a aspectos de funcionamiento no previstos mediante el cambio de código.

Por estas razones, se implementará el circuito de señal utilizando un microprocesador.

6.5.4. Interruptor de encendido y apagado

El objetivo de este elemento es el de **encender o apagar** la máquina siempre que está este conectada a red. Una vez encendida el sistema actuará en función de las lecturas de los sensores y la programación que se tenga.

Este interruptor será el de uso habitual para el encendido y apagado y no se tiene por que prestar especial atención a la accesibilidad. Una posición cercana al motor podría ser una buena opción.



Figura 1. 32: Ejemplo de interruptor para elevador

(fuente: <https://www.banggood.com>)

6.5.5. Seta de emergencia

La función de la seta de emergencia será proporcionar un medio para la **desconexión inmediata** de la máquina.

Como su nombre indica, es de uso exclusivo para situaciones, en principio no habituales, de emergencia. Por esta razón y al contrario de lo que ocurre con el interruptor de encendido, el **acceso a la seta de emergencia debe de ser fácil** y que se ajuste a los requerimientos de seguridad.



Figura 1. 33: Ejemplo de seta de emergencia para elevador

(fuente: <http://puertasgraells.com>)



7. PRESUPUESTO

A continuación, se muestra la tabla que resume el coste del diseño del alimentador de barras. El origen de estas cifras se puede analizar en el correspondiente documento: *Presupuesto*.

El coste total del alimentador se reparte entre: El coste del propio diseño, los costes de los materiales y el coste de montaje y puesta a punto.

	COSTE (€)
DISEÑO	8713,97
MATERIALES	2274,19
MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA	1331
TOTAL	12319,16

Tabla 1. 3: Costes del diseño del alimentador

Al implantar el alimentador, lo que se consigue principalmente es **eliminar los tiempos** en los que la bandeja de entrada al torno **permanece vacía**. Esto se debe a que el operario se retrasa en realizar la recarga y provoca en última instancia que la productividad del torno en (piezas/hora) caiga.

Suponiendo que en la bandeja entran 10 barras (dependiendo del diámetro de estas entrarán más o menos) y un contenedor de 200 barras, hay que hacer 20 recargas completas. Si se estima que se tarda 30s en realizar la recarga (esta estimación resulta muy conservadora puesto que se han llegado a registrar retrasos de 5 minutos) se tiene una pérdida de 10 minutos de producción por contenedor.

Visto de otro modo, si con una estimación optimista se tarda 310 minutos en fabricar 300 barras, con el alimentador se tardaría 300 minutos. Esto supone un aumento de 58,06 piezas/hora a 60 piezas/hora y por lo tanto que se puedan producir alrededor de **45 piezas más al día**. Aunque la diferencia no sea notoria, se remarca que la estimación del retraso es muy conservadora.

En términos anuales supondría un aumento de **más de 10.000 piezas anuales**. Por otra parte, como ya se ha comentado, también se reducirá la carga de trabajo física, fatiga, el estrés... de los operarios.



8. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

El impacto medioambiental del proceso de mecanización de las barras, en relación con los desperdicios y generación de residuos durante la fabricación, queda fuera del alcance del proyecto ya que en lo que se está trabajando es exclusivamente en la parte de abastecimiento del torno.

De este modo, analizando únicamente el proceso de alimentación del torno, se puede afirmar que **no se producen desperdicios ni residuos** en su **uso directo** (de nuevo, el posible impacto ambiental indirecto debido a la fabricación de los componentes del alimentador queda fuera del alcance).

Respecto al consumo que supone la utilización de este sistema, se puede decir que siempre que el diseño sea correcto y este dimensionado adecuadamente, no será excesivo. En este caso, se estima que el **consumo eléctrico sea relativamente bajo**, algo más de **100W** eléctricos (que es la potencia del motor y a eso habría que añadirle el bajo consumo del sistema de sensores, microprocesador...).

Este consumo, irá acorde con el desempeño que se exige y se puede considerar una **máquina limpia** en comparación a accionamientos de carácter hidráulico (utilizados también para el propósito de abastecer de barras) que producen mayor impacto ambiental y desperdicios en su uso. El menor impacto producido en comparación a los accionamientos hidráulicos, se debe, a que estos últimos, requieren un mayor mantenimiento y la renovación periódica de ciertos elementos tales como el fluido hidráulico.

A nivel acústico, se puede decir que la contaminación acústica que se genere por el simple funcionamiento del elevador será prácticamente nulo e inapreciable en comparación al resto de maquinaria. Sin embargo, sí que se generará ruido debido al golpe que se producirá cuando las barras rueden y se detengan en la bandeja (tanto en la de entrada del torno como en la rampa inferior), en este caso también se puede asegurar, que **no será un ruido relevante** a nivel de planta (incluso puede que sea menor que el de la alimentación manual).

El ruido de la bandeja del torno se podría atenuar ajustando la pendiente que se le dé, en la rampa inferior, sin embargo, la pendiente queda fijada por la necesidad de vaciar el contenedor y no será modificable, aunque como se ha comentado, no se espera tener que realizar ninguna acción para minimizar este ruido.



9. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Viendo el desarrollo completo del proyecto, se puede decir que **se han cumplido los objetivos** propuestos en el *apartado 1.3*, (Definición del proyecto) y con las limitaciones que se tenían del *apartado 4*. (Requisitos y limitaciones).

Por una parte, se han diseñado o presentado, todos los elementos que forman parte del sistema de alimentación del torno. Dichos elementos que intervienen en el diseño se pueden dividir en 3 grupos: de diseño propio, comerciales basados en el diseño (con especificaciones concretas y hechos a medida) y los elementos propiamente comerciales. Como resultado se ha obtenido un elevador en una **superficie muy reducida** (170 x 630 se recuerda que la dimensión limitante es la profundidad a la que afectan mínimamente los 170mm y la anchura viene marcada por el tamaño de barras de hasta 550mm) acorde con las características exigidas, el sistema completo incluyendo la estructura inferior ocupa una **superficie de 1,09 x 0,67m** con un peso de en torno a 45kg.

Por otra parte, también se ha detallado el diseño que se podría catalogar de 'menos intangible' correspondiente a la programación del microprocesador. Es evidente que, sin el diseño y el desarrollo físico de la parte puramente mecánica del elevador, no se podría continuar, puesto que este es el punto de partida. Sin embargo, el concepto de **automatizar un proceso** cobra un sentido real y palpable cuando la **parte electrónica** entra en juego.

Sin la parte de sensores y control, se tendría una máquina que subiría las barras (pulsando un botón) y debería de estar muy bien ajustada en tiempos para poder funcionar, además, se necesitarían reajustes de velocidad en función del tipo de producto a fabricar. En cambio, al contar con elementos de medición y el microprocesador, se consigue una máquina que se puede considerar realmente automática puesto que **es flexible ante variaciones de productos** a fabricar y tanto su arranque como su parada son automáticos.

Analizando la utilidad del diseño, se puede afirmar que su **implementación** queda totalmente **justificada** por las ventajas que supone. En primer lugar, desaparecen los retrasos en la recarga del torno. En segundo lugar, se reducen los riesgos de accidente tanto como por que se evitan los posibles errores humanos, como por llevar el pesado contenedor prácticamente a nivel del suelo. Por último, al automatizar el proceso se consigue eliminar una tarea física que puede ocasionar fatiga y estrés a los operarios.

Se considera que el proyecto resulta muy completo por lo que no se pueden proponer secuelas que continúen con el proyecto fuera del ámbito de **pequeñas mejoras o ajustes** incluyendo alguna funcionalidad extra (como por ejemplo la comunicación con otras máquinas o envío de datos). Sin embargo, como posible línea futura, se podría proponer la **automatización del proceso de descarga** del torno, de este modo, lo único que se haría alrededor del torno sería colocar 2 contenedores, uno con las barras de materia prima y otro vacío para recoger las barras ya mecanizadas.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Proyectos de fin de carrera y trabajos de fin de grado

- [1] Álvaro Olcoz Alonso (2016). *Diseño de un troquel progresivo para la fabricación de discos de freno de bicicleta*. Proyecto de final de grado. Universidad Pública de Navarra Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones.
- [2] Eduardo Lorenzo Rodríguez Coloma (2014). *Diseño mecánico de alimentador de barras cortas para torno de control numérico*. Proyecto de final de carrera. Pontificia Universidad Católica de Perú Facultad de ciencias e ingeniería.
- [3] Rafael Balderrama Gastelu y Carlos A. Iglesias Barreiro (2001). *Diseño y construcción de un sistema alimentador de barras para un torno de control numérico*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela Facultad de ingeniería Escuela de Mecánica.

Libros y artículos en formato digital y apuntes de asignatura

- [4] Virginia Badiola. (2004). *Diseño, cálculo y ensayo de máquinas*. Departamento de ingeniería mecánica, energética y de materiales. Universidad Pública de Navarra.
- [5] Pérez Artieda, Miren Gurutze y Ripodas Agudo, Francisco Javier. “Sistemas de fabricación”. *Sistemas y Procesos de fabricación*. Universidad Pública de Navarra. Curso 2016-2017.
- [6] Pintor Borobia, Jesús María y Olza Donazar, Jon.” *Diseño de máquinas” Diseño y ensayo de máquinas*. Universidad Pública de Navarra. Curso 2016-2017.

Sitios web de proveedores y empresas

<http://puertasgraells.com>

<https://www.elmeq.es>

<https://www.banggood.com>

<http://www.skf.com>

<http://rivet.cl>

<http://www.bandasplasticas.com>

<http://www.flexco.com>

<http://www.habasit.com>

<http://www.directindustry.es>