

Trabajo de Fin de Grado

**Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA  
ENFARDADORA DE PALÉS CON PLATAFORMA  
GIRATORIA**

**MEMORIA**

**Autores:** Joan Comadran Freixas  
Pablo Domínguez Salvador  
**Director:** Dr. Emilio Angulo Navarro  
**Convocatoria:** Abril 2021



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resumen

El presente proyecto final de grado realizado consiste en diseñar una máquina semiautomática enfardadora de palés con plataforma giratoria capaz de enfardar de manera autónoma un palé de dimensiones normalizadas.

Se ha realizado un estudio del estado del arte sobre las máquinas enfardadoras de palés, los palés y las diferentes maneras de envolverlos y su evolución a lo largo del tiempo. También se ha hecho un estudio del sector del empaquetado para conocer las necesidades básicas que debe presentar un dispositivo de estas características. Es importante destacar que, a pesar de la situación sanitaria vivida en los últimos meses, se pudo visitar una empresa que dispone de una enfardadora y se pudo visualizar un dispositivo operando.

Después de los estudios de campo mencionados, se ha optado por un tipo concreto de enfardadora y se ha realizado el diseño y los cálculos necesarios para la ejecución de un primer prototipo. Esto incluye la potencia de los diferentes motores de la máquina, así como los esfuerzos soportados por la plataforma. También se ha realizado un análisis de la parte eléctrica del sistema y de las posibles maneras en las que se puedan controlar al dispositivo con un controlador lógico programable.

Una vez se ha obtenido el diseño conceptual del prototipo se ha procedido a su diseño en CAD con el programa *SolidWorks*. Se ha realizado un ensamblaje para cada uno de los diferentes sistemas de la enfardadora (plataforma, cadena, carro porta-bobinas y mástil) y finalmente se ha realizado el ensamblaje virtual del prototipo con la incorporación de otros elementos necesarios como una pantalla, un sensor de posición, los controladores necesarios y un botón de emergencia.

Finalmente se detalla una primera aproximación del presupuesto relativa a los gastos de ingeniería relacionados con el proyecto, seguida del apartado de impacto ambiental y conclusiones, donde se exponen los resultados del mismo. Estas conclusiones servirán como base para el futuro, ya que este proyecto queda abierto a modificaciones y a un posterior estudio de los demás componentes necesarios para su diseño final.

# Sumario

<b>Sumario</b>	<b>4</b>
<b>Sumario Figuras</b>	<b>7</b>
<b>Sumario Tablas</b>	<b>10</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>11</b>
1.1. Objetivos del proyecto.....	11
1.2. Alcance del proyecto.....	11
1.3. Justificación .....	12
1.3.1. Justificación industrial.....	12
1.3.2. Motivación personal.....	14
<b>2. Estado del arte</b>	<b>15</b>
2.1. El palé.....	15
2.1.1. Palé europeo.....	16
2.1.2. Palé americano .....	16
2.2. Enfardado .....	17
2.2.1. Beneficios del enfardado .....	18
2.3. Película Stretch.....	19
2.4. Máquinas enfardadoras .....	20
2.4.1. Beneficios de las máquinas enfardadoras .....	21
2.4.2. Tipos de máquinas enfardadoras.....	21
2.4.2.1. Máquinas enfardadoras semiautomáticas.....	21
2.4.2.1.1 .....Enfardadora semiautomática de plataforma giratoria.....	22
2.4.2.1.2 .....Enfardadora semiautomática de robots rotativos.....	23
2.4.2.1.3 .....Enfardadora semiautomática con brazo giratorio.....	24
2.4.2.2. Máquinas enfardadoras automáticas.....	25
2.4.2.2.1 .....Enfardadoras automáticas con anillo rotante .....	25
2.4.2.2.2 .....Enfardadoras automáticas de brazo giratorio .....	26
2.4.2.2.3 .....Enfardadoras automáticas orbitales .....	27
<b>3. Especificación básica</b>	<b>28</b>
<b>4. Diseño conceptual</b>	<b>29</b>
4.1. Coste .....	29
4.2. Tamaño de la enfardadora.....	29

4.3.	Intervención del operario.....	30
4.4.	Revisiones técnicas mensuales .....	30
4.5.	Volumen de producción .....	31
4.6.	Alternativa seleccionada .....	31
4.6.1.	Descripción básica de la enfardadora.....	32
4.7.	Ensamblaje definitivo de la enfardadora .....	33
<b>5.</b>	<b>Diseño detallado</b> .....	<b>37</b>
5.1.	Diseño de la plataforma circular .....	37
5.1.1.	Ensamblaje de la plataforma.....	37
5.1.2.	Perfiles tubulares.....	41
5.1.3.	Rodamiento cónico.....	42
5.1.4.	Ruedas de apoyo .....	43
5.1.5.	Análisis de la plataforma con elementos finitos.....	44
5.1.5.1.	Resultados del análisis .....	47
5.1.6.	Potencia necesaria para la rotación del disco giratorio .....	49
5.1.7.	Potencia necesaria para hacer girar las ruedas .....	52
5.1.8.	Potencia total y selección del motor.....	54
5.2.	Diseño de la cadena .....	55
5.2.1.	Diseño de la cadena.....	55
5.2.2.	Selección de la rueda dentada.....	56
5.2.3.	Diámetros primitivos de las ruedas dentadas.....	57
5.2.4.	Longitud de la cadena .....	58
5.2.5.	Comprobación de la velocidad lineal .....	58
5.2.6.	Elementos seleccionados .....	59
5.3.	Diseño del carro porta-bobinas .....	60
5.3.1.	Ensamblaje del carro.....	60
5.3.2.	Patrón de enfardado.....	63
5.3.3.	Pre-estirado del film.....	63
5.3.3.1.	Calibración del sistema de pre-estirado.....	63
5.3.4.	Rodillos del carro porta-bobinas .....	64
5.3.5.	Sistema de control de la tensión del film .....	64
5.3.5.1.	Célula de carga.....	64
5.3.5.2.	Controlador de tensión .....	65
5.3.5.3.	Freno electromagnético.....	66
5.4.	Diseño del mástil.....	68
5.4.1.	Ensamblaje del mástil .....	68
5.4.2.	Parámetros para el diseño .....	70
5.4.3.	Relación entre plataforma giratoria y el avance del carro lineal.....	71
5.4.4.	Descripción del actuador lineal .....	71
5.4.5.	Selección del motor.....	75

5.4.6.	Selección del actuador lineal .....	75
5.5.	Selección del sensor fotoeléctrico .....	76
5.5.1.	Tipos de sensores fotoeléctricos .....	76
5.5.1.1.	Modelo de barrera .....	76
5.5.1.2.	Modelo reflectivo .....	76
5.5.1.3.	Modelo retro reflectivo .....	77
5.5.2.	Sensor seleccionado .....	77
5.6.	Selección de la pantalla .....	78
5.7.	Selección del contador de vueltas.....	78
<b>6.</b>	<b>Estudio del controlador lógico programable _____</b>	<b>80</b>
6.1.	Controlador seleccionado .....	81
6.1.1.	PLC actuador lineal.....	82
6.1.2.	PLC principal.....	83
6.2.	Entradas y salidas de cada componente .....	84
6.3.	Compatibilidad de los elementos .....	85
6.3.1.	Compatibilidad entre PLCs .....	85
6.3.2.	Compatibilidad entre controlador principal y entradas .....	86
<b>7.</b>	<b>Planificación _____</b>	<b>88</b>
<b>8.</b>	<b>Impacto ambiental _____</b>	<b>89</b>
<b>9.</b>	<b>Presupuesto _____</b>	<b>90</b>
	<b>Conclusiones _____</b>	<b>93</b>
	<b>Agradecimientos _____</b>	<b>95</b>
	<b>Bibliografía _____</b>	<b>96</b>
	Referencias bibliográficas .....	96
	Bibliografía complementaria .....	98

## Sumario Figuras

Figura 1. Enfardado manual	13
Figura 2. Palé europeo	16
Figura 3. Palé americano	17
Figura 4. Palé con carga, envuelto con plástico film	17
Figura 5. Palés envueltos con plástico film en una nave industrial	18
Figura 6. Cargas sobre palés envueltas con plástico film	19
Figura 7. Película stretch	20
Figura 8. Operario utilizando una transpaleta eléctrica	22
Figura 9. Enfardadora semiautomática de plataforma giratoria	23
Figura 10. Enfardadora semiautomática de robot rotativo	24
Figura 11. Enfardadora semiautomática con brazo giratorio.	24
Figura 12. Enfardadora automática con anillo rotante	26
Figura 13. Enfardadora automática de brazo giratorio	26
Figura 14. Enfardadora automática orbital	27
Figura 15. Enfardadora semiautomática con plataforma giratoria	33
Figura 16. Vista isométrica de la enfardadora	33
Figura 17. Vista lateral de la enfardadora (1/2)	34
Figura 18. Vista lateral de la enfardadora (2/2)	34
Figura 19. Vista trasera de la enfardadora	35
Figura 20. Sistema de tensión del film, PLC y pantalla	35
Figura 21. Ensamblaje de la plataforma	36
Figura 22. Vista isométrica de la plataforma circular	38
Figura 23. Vista lateral de la plataforma circular	38
Figura 24. Vista superior de la plataforma circular	38
Figura 25. Vista inferior de la base y los perfiles tubulares	39
Figura 26. Vista de la base y los perfiles tubulares	39
Figura 27. Vista isométrica de la base inferior, rodamiento cónico y ruedas soporte	39
Figura 28. Vista frontal de base inferior, rodamiento cónico y ruedas de soporte	40
Figura 29. Vista de una rueda de soporte	40

Figura 30. Vista del rodamiento cónico _____	40
Figura 31. Tubos de sección cuadra S 355 J2H _____	42
Figura 32. Rodamiento cónico SKF Explorer 31309 _____	43
Figura 33. Diseño de las ruedas de apoyo _____	43
Figura 34. Diseño de la plataforma en SolidWorks _____	44
Figura 35. Resultados de los diferentes malladas _____	45
Figura 36. Mallado de 5 mm generado _____	46
Figura 37. Desplazamiento de la plataforma (1/2) _____	47
Figura 38. Desplazamiento de la plataforma (2/2) _____	48
Figura 39. Máxima tensión soportada por la plataforma _____	48
Figura 40. Segunda tensión principal de la plataforma _____	49
Figura 41. Tercera tensión principal de la plataforma _____	49
Figura 42. Qiangzhu KA 67 Y80S4 _____	55
Figura 43. Vista isométrica de la cadena diseñada _____	55
Figura 44. Clasificación de cadenas _____	56
Figura 45. Velocidades máximas de la cadena en m/s. _____	59
Figura 46. Vista isométrica del carro _____	61
Figura 47. Vista lateral del carro (1/2) _____	61
Figura 48. Vista lateral del carro (2/2) _____	62
Figura 49. Vista frontal del carro _____	62
Figura 50. Vista de sección del carro _____	62
Figura 51. Orientación de la célula de carga _____	65
Figura 52. Célula de carga seleccionada _____	65
Figura 53. Controlador de tensión _____	66
Figura 54. Freno electromagnético SEB series 340-1 _____	68
Figura 55. Vista isométrica del mástil _____	69
Figura 56. Vista superior del mástil _____	69
Figura 57. Vista lateral del mástil (1/2) _____	70
Figura 58. Vista lateral del mástil (2/2) _____	70
Figura 59. DLS Sistema de Posicionamiento y Accionamiento Lineal _____	72
Figura 60. Dimensiones del actuador lineal _____	72



Figura 61. CAD del actuador lineal. _____	73
Figura 62. Centro de gravedad del carro _____	73
Figura 63. Momentos que soporta el actuador lineal _____	75
Figura 64. Esquema de un sensor fotoeléctrico de barrera _____	76
Figura 65. Esquema de un sensor fotoeléctrico reflectivo _____	77
Figura 66. Esquema de un sensor fotoeléctrico retro reflectivo _____	77
Figura 67. Sensor fotoeléctrico 42JT Visisight _____	78
Figura 68. Pantalla 2711R-T4T _____	78
Figura 69. Contador 1756-HSC _____	79
Figura 70. Ciclo de funcionamiento de un PLC _____	81
Figura 71. Diagrama de bloques del sistema _____	81
Figura 72. PLC 160-BA01NSF1/C de la marca Allen-Bradley _____	82
Figura 73. Esquema de conexiones PLC-Actuador lineal _____	83
Figura 74. PLC 1752-L24BBBE de la marca Allen-Bradley _____	84
Figura 75. Compatibilidad entre controladores _____	86
Figura 76. Compatibilidad entradas con PLC _____	87
Figura 77. Cronograma global del proyecto. _____	88

## Sumario Tablas

Tabla 1. Ponderación del criterio de selección costes _____	29
Tabla 2. Ponderación del criterio de selección tamaño _____	29
Tabla 3. Ponderación del criterio de selección intervención del operario _____	30
Tabla 4. Ponderación del criterio revisiones técnicas mensuales _____	30
Tabla 5. Ponderación del criterio de volumen de producción _____	31
Tabla 6. Tabla de selección de alternativa estudio _____	31
Tabla 7. Tabla con los resultados de los diferentes mallados _____	45
Tabla 8. Cálculo del número de dientes de la rueda dentada _____	57
Tabla 9. Presupuesto de ingeniería _____	90

# 1. Introducción

## 1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es el diseño conceptual de un robot enfardador para la realización del embalaje de palés de manera semiautomática. Se trata de un robot que envuelve los palés de forma autónoma, reduciendo el número de operarios dentro de la planta y agilizando el proceso. La finalidad del robot es realizar un embalaje homogéneo de los palés mediante un plástico film, el cual protege la carga, agrupando los productos y evitando que se produzcan imperfecciones de embalaje de tal forma que se minimizan los problemas a la hora de transportar los productos.

## 1.2. Alcance del proyecto

El presente proyecto se centra en el diseño de un robot paletizador capaz de realizar un enfardado compacto y uniforme alrededor de una mercancía sobre un palé. El estudio preliminar consiste en un análisis de los diferentes robots de esta índole que hay actualmente en el mercado, de esta manera se puede tener una mejor visión sobre el diseño que se debe realizar.

El proyecto presenta el diseño del sistema de rotación del producto sobre un plato base, el sistema de tensión del film y el avance del plástico sobre el mástil, con una automatización de los procesos. El diseño se centra en el estudio mecánico y electrónico del robot. Así pues, se realiza un análisis del mecanismo de rotación de la plataforma giratoria, un estudio del mecanismo de avance del carro portador de la bobina de plástico film, juntamente con un análisis de los momentos necesarios para mantener una tensión constante en el film y, finalmente, un estudio del sistema electrónico necesario para su correcto funcionamiento.

Los requerimientos estudiados y analizados en el transcurso del presente proyecto son los siguientes:

- i. Diseño de la plataforma giratoria.
  - a. Análisis por elementos finitos
  - b. Cálculo y selección de la cadena de transmisión
  - c. Cálculo y selección del motor

- ii. Sistema de tensión del film
  - a. Diseño y cálculo del sistema de tensionado del stretch film
- iii. Sistema lineal de tracción vertical
  - a. Cálculo de fuerzas y momentos necesarios para elevar el carro portafilm
  - b. Cálculo y elección del motor
  - c. Elección del actuador lineal
- iv. Diseño y selección del sensor fotoeléctrico
- v. Estudio de la electrónica
  - a. Elección del programador lógico programable
  - b. Estudio de entradas y salidas del sistema
  - c. Conexiones entre los distintos elementos del sistema

Todos los diseños necesarios para la correcta ejecución del trabajo son realizados con el software SolidWorks de modelado 3D y el análisis estructural de la plataforma se lleva a cabo mediante el programa de elementos finitos ANSYS Workbench.

Finalmente se realiza un análisis de costes, incluyendo todos los gastos relacionados con el diseño del prototipo, así como un estudio del impacto ambiental que conlleva la realización del prototipo y se detallan las conclusiones obtenidas en el transcurso del proyecto.

En el presente proyecto se ha realizado el diseño conceptual del dispositivo y se ha avanzado bastante en el diseño detallado del mismo, pero, a pesar de ello, se requeriría de un mayor número de horas de ingeniería para terminar de completar los detalles del diseño de las piezas, así como la confección de planos y un estudio más profundo de la parte electrónica de la enfardadora. No se descarta que la evolución de este estudio se convierta en un Proyecto Final de Master por parte de los autores.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación industrial**

La optimización del tiempo de trabajo es el gran objetivo de la mayoría de las empresas de la sociedad moderna. Durante los últimos años, la tecnología ha evolucionado para ayudar a

alcanzar la meta de reducir el tiempo de producción y aumentar el beneficio al mismo tiempo. Es por este motivo que actualmente existen productos, como la máquina semiautomática enfardadora de palés, que consiguen reducir la mano de obra y realizan un trabajo rápido y preciso.

El enfardado manual es complejo e impreciso ya que depende exclusivamente de la labor del operario que realice el proceso. Se considera que es un trabajo difícil ya que no se puede controlar la tensión de aplicación del plástico film y un trabajo poco ergonómico y preciso para el operario al realizar las vueltas necesarias alrededor del palé. Por lo tanto, la cantidad de film utilizado es un factor demasiado variable en cada proceso de enfardado.

Otra de las limitaciones que presenta el enfardado manual son las dimensiones de la carga a envolver. Las dimensiones del palé y de la carga están limitadas por la capacidad del operario y si la carga presenta una altura elevada, se convierte en un proceso muy complejo y peligroso.



Figura 1. Enfardado manual

Fuente: Justdial [25]

La gran mayoría de máquinas enfardadoras funcionan rigiéndose por el principio de hacer rotar el palé o de girar ellas mismas alrededor de éste para conseguir aplicar plástico film de manera tensada alrededor de la carga. Durante muchos años este proceso se realizaba de manera manual, y se sigue realizando en la actualidad en industrias y empresas pequeñas, provocando malos acabados superficiales y una pobre optimización del tiempo de trabajo de los operarios.

Una máquina semiautomática enfardadora de palés ofrece un resultado óptimo para cualquier tamaño de palé, dentro de las dimensiones estándar y reguladas, y reduce el

espacio necesario frente a otros productos de índole similar.

La logística es un proceso que engloba el almacenamiento y el movimiento de materias y productos, de modo que empresas y consumidores puedan estar constantemente abastecidos de aquellos productos que necesitan. Es un sector en pleno auge industrial y en el que las compañías se involucran cada vez más. Por eso, dispositivos como el presentado en el actual proyecto son muy utilizados y cada vez más habituales en las diferentes naves y almacenes de trabajo. La adquisición de una máquina enfardadora es una inversión que a la larga reduce costes y ofrece un producto final de calidad.

### **1.3.2. Motivación personal**

Durante los diferentes años estudiando en la escuela, los autores han cursado varias asignaturas del departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería. Éstas han presentado una gran influencia en el desarrollo del grado y por este motivo contactaron con un profesor de dicho departamento.

Es importante remarcar que la obtención de nuevos conocimientos en el ámbito ingenieril es un desafío para los dos autores y con el objetivo de aprender y desarrollar los conocimientos que el proyecto puede ofrecer se ha realizado el diseño de una máquina semiautomática enfardadora de palés con plataforma giratoria.

La maquinaria desarrollada en el presente proyecto es un producto con distintos componentes, dos movimientos diferentes, con diversos motores y sensores que requiere de un estudio mecánico importante previo y la realización de varios cálculos de estructuras mediante elementos finitos, así como un componente electrónico destacado y el desarrollo de un prototipo en CAD. Toda esta combinación hace que el reto sea muy interesante para un proyecto final de grado, motivando a los autores a aprender más y desarrollar los conocimientos obtenidos durante el transcurso del grado.

## 2. Estado del arte

Una enfardadora de palés es una máquina utilizada en el proceso de enfardado. Es una instalación que embala la carga envolviéndola con un film de plástico transparente que protege la mercancía de suciedad y asegura la estabilidad durante el transporte y la manipulación de los productos.

Estas máquinas basan su funcionamiento en el principio de rotar sobre un palé que sostiene la carga con la mercadería que se desea empacar.

### 2.1. El palé

Un palé es una plataforma de tablas utilizada para almacenar y transportar mercancías. Es un objeto de uso cotidiano y convencional en las empresas de todos los sectores industriales ya que es una herramienta simple y eficaz para el almacenamiento, carga y transporte de mercancías de una gran gama de tamaño y volumen.

El uso del palé ofrece una gran variedad de ventajas tales como un coste de mantenimiento bajo, una vida útil larga (si es utilizado de manera correcta y por profesionales) y una capacidad de fácil reciclaje.

Es importante recalcar que los palés presentan una manejabilidad relativamente sencilla siempre y cuando los operarios se encuentren en disposición de una paleta transportadora. La gran revolución de los palés llegó con la creación de los primeros dispositivos que permitían elevar y mover cargas de manera dirigida. Este hecho permitió reducir los costes de transporte y manipulación y a la vez ofrecía una reducción del tiempo de carga y descarga de los productos.

El material más utilizado en la realización de los palés es la madera ya que en la década de 1920, cuando se originó este producto, era el material más económico y accesible. Actualmente se han realizado avances con nuevos materiales como plástico, poliestireno expandido o metal, aunque por un contexto histórico y por la relación entre resistencia, fiabilidad y precio que ofrecen los de madera siguen siendo los más utilizados.

Al tratarse de un objeto de uso internacional y con un elevado número de producciones anuales, existe una regulación y su fabricación está normalizada. Las medidas que dominan en el mercado actual son las del palé europeo y el palé americano.

### 2.1.1. Palé europeo

El palé europeo surgió de la necesidad de normalizar o estandarizar el uso de los palés con el fin de obtener un mejor aprovechamiento del espacio. A raíz de esta necesidad se determinaron las medidas del palé europeo, también conocido como europalé. En la actualidad, la fabricación de europalés en España está regulada con la norma UNE-EN 13698-1:2003.

Siguiendo los criterios constructivos para estos soportes establecidos por la norma citada anteriormente, se adoptaron las medidas de 1.200 x 800 mm para su dimensionamiento. En cuanto a la masa, un europalé ronda los 25 kg equivalente a un peso de 250 N.

La creación del palé europeo supuso un avance en los transportes y el almacenaje puesto que se pudieron unificar ciertos criterios a seguir a nivel internacional. Ello facilitó la manipulación de las mercancías y propició la apertura de fronteras a muchas empresas.

Es un palé que puede ser usado en cualquier sistema de almacenaje y que puede ser manipulado, sin restricciones, por cualquier carretilla o medio de manutención. Es importante destacar que las dimensiones de 1.200 x 800 mm son múltiplos de las cajas de plástico estándar, lo que facilita el agrupamiento de mercancías y productos, y están adaptadas a las medidas de los remolques de los camiones, hecho que facilita mucho su transporte.



Figura 2. Palé europeo

Fuente: Nozal, A., 01/2018, *Medidas de palets: ¿cuáles son los estándares más extendidos?* [1]

### 2.1.2. Palé americano

El palé americano, también conocido como isopalé por su regulación por la norma ISO 3676 o palé universal, es una herramienta de transporte que tiene su origen en Estados Unidos. En España, su fabricación está regulada por la normativa UNE-EN 13698-2:2010. Esta normativa establece que las dimensiones estándar son 1.000 x 1.200mm.



Se recomienda su utilización para cargas industriales pesadas ya que ofrece mayor resistencia a cargas dinámicas. El palé americano homologado tiene un peso de 300 N.



Figura 3. Palé americano

Fuente: Transeop, octubre 2020, *Palet Americano o Universal: Características, medidas y peso* [2]

## 2.2. Enfardado

El enfardado es la operación por la que se aseguran las cargas sobre un palé mediante la utilización de film plástico.

En la cadena logística de un producto intervienen una gran cantidad de proveedores, empresas y comerciantes, por lo que el flujo de materiales y recursos es constante y en determinadas ocasiones conlleva el transporte de mercancías. Para realizar un traslado seguro y eficaz de dichas mercancías, se recurre a recubrirlas y protegerlas durante las fases de carga, transporte, descarga y almacenamiento.



Figura 4. Palé con carga, envuelto con plástico film

Fuente: Canales, D. *Cómo evitar robos de mercancía en procesos logísticos* [21]

El enfardado permite compactar la carga dándole más rigidez de transporte, protegiendo los materiales de la lluvia y la suciedad, y evitando algunos desperfectos. Para proteger de la lluvia se suele poner una cubierta de plástico que cubre la pared superior y los laterales y que se enfarda también con el film.

La tensión del film es un elemento diferencial para conseguir la compactación y una rigidez adecuada en el proceso final. Pero es importante destacar que una tensión excesiva puede llegar a deformar o dañar los elementos transportados, por lo que el proceso debe ser muy preciso y cuidado para evitar desperfectos de los materiales a transportar.

### 2.2.1. Beneficios del enfardado

El principal beneficio del enfardado es optimización del tiempo de trabajo. Si las cargas se transportaran de manera individual por las naves y fábricas de las diferentes empresas, el tiempo de trabajo sería demasiado elevado y los operarios exclusivamente se podrían dedicar a esta tarea. Al realizar un enfardado, y agrupar diferentes cargas u objetos, aparece la opción de poder mover dicho material de una sola vez y con mayor seguridad.

Otro de los beneficios que presenta el enfardado es la disminución de los tiempos de carga y descarga de los vehículos, así como la reducción de los costos en estos procesos. Al tener unas cargas de volumen similar durante el transcurso de la jornada, los operarios pueden preparar la maquinaria necesaria para mover las cargas sin la necesidad preparar una situación diferente para cada palé y evitan hacer transportes de manera manual e individual.

El riesgo de producirse desperfectos también es menor ya que se reduce la manipulación por parte de los operarios. Con un buen enfardado se protege la mercancía de la suciedad y se obtiene un resultado compactado, a la vez que se asegura la estabilidad de la carga para el transporte y su manipulación. De esta forma, se garantiza la entrega al cliente final en perfectas condiciones y el producto no sufre ningún tipo de desperfecto.



Figura 5. Palés envueltos con plástico film en una nave industrial  
Fuente: Esteban, I. *Todo sobre la enfardadora y enfardadora de palets* [20]

Al realizar un enfardado de forma homogénea se obtiene un mejor aprovechamiento del espacio en las naves industriales un importante ahorro de espacio y una optimización de las divisiones; ya que permite agrupar la mercancía de forma uniforme y más ordenada. También se simplifica el manejo de las cargas a la hora de hacer inventarios o reposición de las mismas.

Por último, es importante remarcar que estos procesos ofrecen una mayor seguridad para el personal involucrado en el manejo de mercancías ya que algunos productos que se desean empacar pueden ser pesados ocasionando lesiones si caen encima de un operario.



Figura 6. Cargas sobre palés envueltas con plástico film

Fuente: Classic Shipping [26]

### 2.3. Película Stretch

La película stretch film es un material de plástico transparente de baja densidad lineal, característica que le permite tener una alta resistencia mecánica, y un bajo espesor utilizado para enfardar y contener mercancías y cargas. Su aplicación, habitualmente, se realiza a través de bobinas donde se enrolla el material creando cilindros concéntricos hasta alcanzar un diámetro/peso deseado. Su uso facilita el transporte y almacenaje de los artículos a un coste bajo.

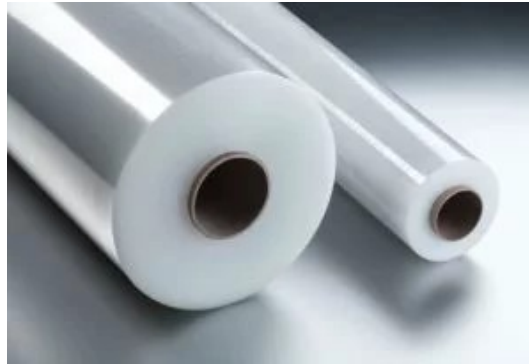


Figura 7. Película stretch

Fuente: Contreras, I., *¿De qué está hecho el stretch film o emplaye?* [3]

El stretch film ha vivido en los últimos años una gran revolución técnica gracias a los avances en densidades y resistencias hasta el punto de que en la actualidad un film de 7 micras es suficiente para asegurar una carga sobre el palé.

La aplicación de la película puede ser manual, con aplicadores simples o sin herramientas externas, o con maquinaria especializada. En función del método de enfiado se debe elegir un tipo de stretch film u otro. Los rollos de aplicación manual generalmente están diseñados para presentar una elongación del 150%. Los de uso más común se encuentran entre las 18 y 20 micras de espesor.

Los rollos utilizados en la aplicación automática son más pesados. Las máquinas requieren un stretch film más resistente a la elongación ya que ejercen fuerzas y tensiones superiores a las aplicadas manualmente. Este tipo de película film presenta un estiramiento mínimo de un 200%.

## 2.4. Máquinas enfiadoras

Una enfiadora es una máquina utilizada en el proceso final de embalaje. Es una instalación que embala la carga, situada sobre un palé, y la envuelve con un film de plástico transparente que protege la mercancía y asegura la estabilidad durante el transporte y la manipulación de los bienes.

Las máquinas enfiadoras funcionan rigiéndose por el principio de hacer rotar el palé o de girar ellas mismas alrededor de este para conseguir aplicar plástico film de manera tensada alrededor de la carga.

Si esta acción se realiza de forma manual es imprescindible fijar el origen del plástico film para poder empezar a envolver la carga. Esto se hace realizando un nudo en una las tablas

del palé. Una vez se ha establecido un punto de tensión inicial, el operario debe ir dando vueltas alrededor de la carga y, a su vez, debe ir tensando el plástico film. Esto provoca que la tensión no sea constante durante la envoltura y se desperdicie material.

La gran mayoría de grandes fábricas han decidido automatizar esta tarea para conseguir un mejor acabado de los productos y aumentar la productividad de su planta de trabajo.

#### **2.4.1. Beneficios de las máquinas enfardadoras**

La forma más eficiente de obtener rendimiento por parte de una empresa es reducir el tiempo de trabajo para obtener el mismo resultado que anteriormente y una manera de hacerlo es mecanizando las operaciones. El tiempo que usan estas máquinas para envolver una carga es mucho menor que el utilizado por un operario para realizar la misma labor.

Los principales beneficios de las máquinas enfardadoras son el aumento de la productividad y una calidad de enfardado muy superior a la manual. Estas máquinas realizan un proceso óptimo, sin desaprovechar plástico film y con un resultado eficiente utilizando una menor cantidad de mano de obra en las operaciones.

Otro de los beneficios de utilizar máquinas enfardadoras está relacionada con el poco contacto, en ocasiones nulo, que tienen los operarios con las cargas. Esto ofrece un menor riesgo de desperfectos y también ofrece una mayor seguridad al operario. Las lesiones más habituales que se pueden evitar gracias a estos tipos de máquinas son los dolores de espalda que se pueden, gracias a una actividad física menor pueden trabajar de una manera más cómoda y segura.

#### **2.4.2. Tipos de máquinas enfardadoras**

Para elegir la máquina enfardadora adecuada, se debe tener en cuenta el tipo de palé que se desea envolver, el espacio disponible para la instalación, el tipo de carga, la producción y el tipo de enfardado. Todo ello influye para seleccionar el tipo de máquina con el que se desea trabajar, aunque es importante destacar que todas ellas se rigen por el mismo principio de girar o hacer girar el palé.

##### **2.4.2.1. Máquinas enfardadoras semiautomáticas**

Las máquinas enfardadoras semiautomáticas son aquellas enfardadoras que requieren de la intervención del operario en una o varias partes del proceso. Las tareas principales que realizan dichos operarios son la colocación del film estirable en una zona habilitada para ello y, una vez se ha preparado el plástico para envolver, la activación de la maquinaria para proceder a envolver.

Otra de las funciones que debe realizar el operario para preparar la carga es su transporte a hasta la zona de enfardado. Si se trata de un palé de grandes dimensiones, lo más habitual es utilizar una carretilla elevadora o una transpaleta. Una carretilla elevadora, popularmente conocida como toro, es la máquina de tracción motorizada que se desplaza destinada fundamentalmente a transportar, empujar, tirar o levantar cargas. Una transpaleta o transpalé es una máquina, manual o eléctrica, que posee una horquilla horizontal y un brazo que permite su accionamiento.



Figura 8. Operario utilizando una transpaleta eléctrica

Fuente: Mecalux, *La transpaleta eléctrica y manual* [6]

Finalmente, el operario debe proceder a cortar y fijar manualmente el plástico film para desplazar el palé hasta su ubicación en el almacén.

Este tipo de maquinaria es ideal para el embalaje de cargas de grandes dimensiones y que presentan, o pueden presentar, una forma irregular. Tienen un arranque progresivo hasta alcanzar la velocidad óptima de trabajo y llevan incorporadas un sensor para captar las dimensiones de la carga que se desea envolver.

Dentro de las máquinas enfardadoras semiautomáticas se encuentra una clasificación en función de las características de movimiento que estas presentan. Hay enfardadoras semiautomáticas de plataforma giratoria, enfardadoras de robots rotativos y otras con brazo giratorio.

#### 2.4.2.1.1 Enfardadora semiautomática de plataforma giratoria

Las enfardadoras semiautomáticas de plataforma giratoria representan una solución simple y económica al problema estudio. El sistema está compuesto por una plataforma circular donde se deposita la carga y un carro donde se sitúa el plástico film que se desplaza a través de un mástil para aportar la tensión y el ángulo necesario para enfardar el producto con el film.

Las principales ventajas que ofrece este tipo de enfardadora es el reducido espacio de trabajo necesario para realizar la tarea deseada y su facilidad de uso para los operarios. Las bases circulares disponen de una rampa para poder incorporar las cargas a la plataforma o una sección de la plataforma preparada para introducir el toro mecánico con el palé. Una vez la plataforma está cargada, el operario debe configurar, con la ayuda del panel de control, las características del proceso deseado.

Se trata de un tipo de enfardadora eficiente pero que necesita del transporte de mercancías hasta el lugar indicado de trabajo. En la mayoría de casos se sitúa un papel film para tapar la parte superior de la carga y, además, el operario debe realizar un fijado del plástico film a al palé para empezar el proceso de la enfardadora. Una vez se han realizado las vueltas estimadas, el operario debe realizar un corte del plástico film para fijarlo y evitar fallos en el proceso definitivo.

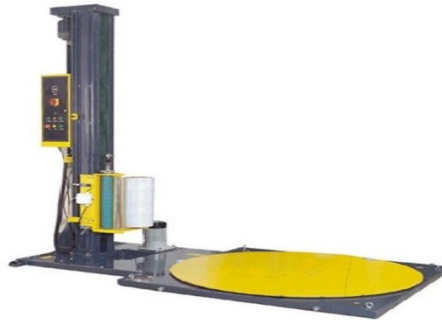


Figura 9. Enfardadora semiautomática de plataforma giratoria

*Fuente: Embalajes terra, Enfardadoras de palets: aplicaciones y tipos [6]*

#### 2.4.2.1.2 Enfardadora semiautomática de robots rotativos

La enfardadora semiautomática de robot rotativo, o enfardadora móvil, es una máquina enfardadora que se rige sobre el principio de girar sobre la carga a paletizar con el impulso de un operario mientras la máquina gira alrededor de ésta. Es una enfardadora que requiere de una participación activa del trabajador ya que este se encarga de realizar el movimiento circular sobre el palé. La traslación vertical a través del mástil se realiza de manera autónoma y la única tarea que realiza el operario es la de seguir el contorno del palé que se desea envolver.

La principal ventaja que ofrece este tipo de enfardadora es la capacidad de adaptarse a palés de cualquier tipo de dimensión, forma y peso. Puede desplazarse por toda la nave de trabajo, aunque conviene utilizar las enfardadoras móviles en producciones pequeñas ya que el tiempo de preparación y transporte de la máquina suele ser elevado.

Se recomienda no utilizar este tipo de enfardadoras con cargas con poco peso ya que el movimiento circular que se realiza puede provocar el desplazamiento o una desestabilización del producto a envolver.



Figura 10. Enfardadora semiautomática de robot rotativo

Fuente: Embalajes terra, *Enfardadoras de palets: aplicaciones y tipos* [6]

#### 2.4.2.1.3 Enfardadora semiautomática con brazo giratorio

Las enfardadoras semiautomáticas de brazo giratorio están compuestas de una estructura fija y un brazo que da vueltas alrededor del palé que se desea envolver.

Suele recurrirse a esta solución para embalar cargas o palé muy pesados. Una estructura con un brazo fijo se ancla en el techo y la otra móvil es la que se encarga de dar vueltas sobre el palé. Este modelo es el más caro de las tres enfardadoras semiautomáticas por la infraestructura que conlleva.



Figura 11. Enfardadora semiautomática con brazo giratorio.

Fuente: Direct Industry [8]



#### **2.4.2.2. Máquinas enfardadoras automáticas**

Las maquinas enfardadoras automáticas requieren una intervención mínima por parte de los operarios de la planta de trabajo y se encuentran integradas en la parte final de la cadena de embalaje o fabricación de un objeto.

En las máquinas automáticas, el enganche de film al palé y su posterior corte se realiza de forma automática, incorporando una pieza que sujeta el film para cuando empieza el ciclo.

Las máquinas enfardadoras automáticas presentan una gran eficiencia, aunque normalmente presentan un presupuesto mayor al de las enfardadoras semiautomáticas. Están compuestas por una cinta transportadora para el ingreso, movimiento y salida del palé, así como de diferentes tipos de agarre y sensores de posición.

Las máquinas automáticas, a diferencia de las semiautomáticas, no precisan de la intervención de un operario para transportar la carga hasta el punto de enfardado ya que disponen de una cadena de transporte totalmente automatizado. Esto no implica la reducción de la mano de obra ya que el operario que transporta el palé con la carga para el uso de una máquina semiautomática debe supervisar el correcto funcionamiento de la máquina enfardadora automática, proceso mucho más complejo.

El gran inconveniente de este tipo de maquinaria es que necesitan un gran espacio de trabajo, no solo para la enfardadora, sino para toda la cadena y sistema de transporte y movimiento requerido. Por lo tanto, la inversión inicial que se debe realizar para adquirir una máquina enfardadora automática es mucho superior a la de una semiautomática.

Dentro de las máquinas enfardadoras automáticas se encuentra una clasificación en función de las características de movimiento relativo al palé que estas presentan. Hay enfardadoras automáticas de brazo giratorio, enfardadoras con anillo rotante y otras denominadas enfardadoras orbitales.

##### **2.4.2.2.1 Enfardadoras automáticas con anillo rotante**

Las enfardadoras automáticas con anillo rotante son máquinas integradas dentro una línea de embalaje, normalmente al final de ésta. Los palés se desplazan a través de una cadena de rodillos de manera automática, por lo que la intervención del operario es mínima, y una vez se encuentran debajo de la estructura el anillo se desplaza de manera vertical y aplica el film.

Las enfardadoras de anillo giratorio permiten una alta producción. Su uso es especialmente adecuado para cargas poco estables y ligeras.



Figura 12. Enfardadora automática con anillo rotante

Fuente: Direct Industry [8]

#### 2.4.2.2.2 Enfardadoras automáticas de brazo giratorio

Las enfardadoras automáticas con brazo giratorio son máquinas integradas dentro una línea de embalaje, al igual que las de anillo rotante. Los palés se desplazan a través de una cadena de rodillos de manera automática, por lo que la intervención del operario es mínima, y una vez se encuentran debajo de la zona central del brazo se detiene el movimiento. En este momento el brazo empieza a dar vueltas alrededor de la carga y aplica el film.

Su uso está principalmente relacionado con el enfardado de palés con cargas muy inestables.



Figura 13. Enfardadora automática de brazo giratorio

Fuente: Direct Industry [8]

### 2.4.2.2.3 Enfardadoras automáticas orbitales

Las enfardadoras automáticas orbitales son una gran instalación que realiza el enfardado de una manera eficiente y rápida al mismo tiempo.

Este tipo de enfardadoras se usan principalmente en líneas de producción o células de trabajo. Su uso está pensado para envolver mercancías muy largas mediante la ayuda de un transportador que vaya desplazando la carga por la línea de producción.



Figura 14. Enfardadora automática orbital

Fuente: Direct Industry [8]

### 3. Especificación básica

Después de haber realizado un estudio del estado del arte de las distintas tipologías de máquinas enfardadoras, se ha considerado que por los conocimientos obtenidos las características del diseño deben cumplir una especificación básica del producto. Estos parámetros se han determinado teniendo como referencia las máquinas utilizadas en el mercado actual y se detallan a continuación.

Características de la máquina:

- Producción: 25 palés/hora
- Dimensiones de la plataforma: Ø 1.500 mm y 5 mm de grosor
- Tensión de alimentación 220 – 240 V, 50 / 60 Hz
- Freno electromagnético con un preestirado del 200%
- Velocidades de rotación regulable hasta 15 rpm
- Velocidad del carro vertical hasta 6 m/min
- Focélula para detección automática de la altura de la carga
- Velocidad de subida/bajada del carro sincronizada con la velocidad de rotación de la mesa giratoria para permitir un solapado del film del 20%
- Plataforma giratoria con arranque progresivo de 2 segundos
- Contador de ciclos de enfardado
- Vueltas de refuerzo superior e inferior de ajuste independiente
- Transmisión entre la guía, carro porta-bobinas y plataforma por cadena
- Control de maniobra por PLC con pantalla táctil LCD

Características de la carga:

- Medidas máximas palé y carga: 1.200 mm x 1.000 mm
- Altura máxima: hasta 2,20 m
- Masa máxima soportada: 1.800 kg

Características de las bobinas admisibles:

- Material: Film lámina PE
- Ancho: 500 mm
- Espesor: 18 µm

## 4. Diseño conceptual

Para establecer cuál será la enfardadora, automática o semiautomática, que se va a desarrollar en el presente proyecto se han establecido diferentes criterios de selección con ponderaciones asignadas según su importancia. Se ha decidido aplicar el método de tablas ponderadas ya que en diversas asignaturas del grado los autores han utilizado este método y se considera útil para pensar y comparar las funcionalidades de cada tipo de máquina.

### 4.1. Coste

El coste que se imputa para este criterio es el coste de la inversión realizada por la empresa que adquiere la enfardadora. Este precio, preestablecido por el fabricante, incluye tareas de diseño de prototipos, construcción de las diferentes piezas, costes de materiales utilizados en la fabricación y mano de obra de la fábrica correspondiente.

En referencia al coste, se han establecido los siguientes criterios:

Coste	Valor
+ 15.000 €	1
10.000 € - 15.000 €	2
5.000 € - 10.000 €	3
0 € - 5.000 €	4

Tabla 1. Ponderación del criterio de selección costes

Fuente: Elaboración propia

### 4.2. Tamaño de la enfardadora

El tamaño de la enfardadora es un aspecto a tener muy en cuenta a la hora de adquirir este tipo de maquinaria. Los almacenes disponen de un espacio limitado para guardar sus productos por lo que interesa que la zona de trabajo sea óptima.

En referencia al tamaño de la enfardadora, se han establecido los siguientes criterios:

Tamaño	Valor
+ 15 m <sup>2</sup>	1
10 – 15 m <sup>2</sup>	2
5 – 10 m <sup>2</sup>	3
0 – 5 m <sup>2</sup>	4

Tabla 2. Ponderación del criterio de selección tamaño

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Intervención del operario

Considerando que las enfardadoras realizan un trabajo eficiente y presentan un menor riesgo de fallo que un operario, la implicación por parte del mismo es otro aspecto a tener en cuenta a la hora de seleccionar una enfardadora. Hay que valorar la relación entre el precio de la enfardadora y el tiempo que el operario dedica a realizar la tarea deseada, considerando que el caso ideal es el funcionamiento autónomo de la enfardadora.

En referencia a la intervención del operario y se actividad principal en el proceso de enfardado, se han establecido los siguientes criterios:

Intervención operario	Valor
Enfardado manual	1
Transporte de la carga y preparación del proceso	2
Preparación del proceso	3
Supervisión del proceso	4

Tabla 3. Ponderación del criterio de selección intervención del operario

Fuente: Elaboración propia

### 4.4. Revisiones técnicas mensuales

Las revisiones de seguridad, a pesar de ser importantes para reducir riesgos laborales, minoran la capacidad productiva de una máquina ya que ésta no puede funcionar mientras se realiza dicha revisión. Se ha realizado una búsqueda de la media de las paradas técnicas (por cambios de bobinas, averías mecánicas, eléctricas, etc.) necesarias mensuales para cada tipo de máquina, así como de las revisiones preestablecidas por los fabricantes.

En referencia a las paradas realizadas, se han establecido los siguientes criterios:

Paradas técnicas / Revisiones mensuales	Valor
+ 15	1
10 – 15	2
5 -10	3
0 – 5	4

Tabla 4. Ponderación del criterio revisiones técnicas mensuales

Fuente: Elaboración propia

## 4.5. Volumen de producción

La capacidad de producción de una enfardadora es una característica fundamental de este tipo de maquinaria. El número de palés que pueden envolver por hora es la manera de cuantificar productividad que presentan.

En referencia al volumen de producción, se han establecido los siguientes criterios:

Volumen de producción por hora	Valor
0 – 20	1
20 – 40	2
40 – 60	3
+ 60	4

Tabla 5. Ponderación del criterio de volumen de producción

Fuente: Elaboración propia

## 4.6. Alternativa seleccionada

Una vez se han estudiado las diferentes opciones de enfardadoras de palés y se han definido los criterios de selección. Se ha determinado que los aspectos más importantes, con el mismo peso en el criterio, son el coste, el tamaño de la enfardadora y el volumen de producción y un menor porcentaje la intervención del operario y las paradas. Se ha realizado una tabla asignando valores a cada una de las alternativas según sigue.

		Semiautomática			Automática		
		Plataforma giratoria	Robot rotativo	Brazo giratorio	Anillo Rotante	Brazo giratorio	Orbital
<b>Coste</b>	25%	3	2	3	1	1	1
<b>Tamaño de la enfardadora</b>	25%	3	2	3	2	2	1
<b>Intervención operario</b>	10%	2	3	2	4	4	4
<b>Revisiones técnicas mensuales</b>	15%	3	4	2	1	2	1
<b>Volumen de producción</b>	25%	3	2	2	4	4	4
<b>TOTAL</b>		<b>2,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>	<b>2,45</b>	<b>2,05</b>

Tabla 6. Tabla de selección de alternativa estudio

Fuente: Elaboración propia

La puntuación máxima posible en esta tabla ponderada es de 4 puntos. Los valores de las diferentes alternativas estudiadas son parecidos pero la enfardadora semiautomática de plataforma giratoria es la que obtiene una puntuación ligeramente superior en comparativa al resto. El estudio expuesto ha sido utilizado para analizar de manera más profunda los diferentes tipos de máquinas enfardadoras y pensar en la mejor solución posible al problema planteado.

Por lo tanto, se concluye que la enfardadora que obtiene un mayor resultado y, según la opinión de los autores, se adapta mejor al mercado actual es la enfardadora semiautomática de plataforma giratoria.

#### **4.6.1. Descripción básica de la enfardadora**

Una vez se ha seleccionado el tipo de la máquina enfardadora se ha realizado un estudio de las prestaciones y del funcionamiento de una enfardadora semiautomática con plataforma giratoria.

El proceso comienza con el transporte de la carga y el palé con una transpaleta hasta la plataforma giratoria. Para poder acceder a esta, es necesario disponer de una rampa para poder cargar la mercancía a envolver.

Una vez se ha situado el palé en la zona habilitada, se retira la transpaleta y el operario debe hacer pasar la película de film a través de los rodillos. Cuando el plástico film ha realizado todo su recorrido, el operario es el encargado de fijarlo a la parte inferior del palé con un nudo. Esto sirve para fijar el punto de inicio de la envoltura.

Cuando el film se encuentra fijado, en la pantalla se debe seleccionar el pre-estirado deseado y el número de vueltas que se desean dar en la parte superior e inferior de la carga. En el momento que el operario ha introducido todos los valores demandados, comienza el proceso de enfardado.

La plataforma gira y el plástico film se sitúa de manera homogénea alrededor de la carga gracias al movimiento vertical de un carro porta-bobinas donde se sitúa la película de stretch. Una vez ha finalizado el proceso, la máquina se detiene y el operario debe cortar el stretch film para separarlo del rollo y fijarlo en cualquier superficie del producto envuelto.

El proceso finaliza cuando el operario retira el palé enfardado de la plataforma y lo transporta a la zona habilitada para guardarlo o al camión que lo debe transportar hasta su destino final.





Figura 15. Enfardadora semiautomática con plataforma giratoria  
Fuente: Direct Industry [8]

#### 4.7. Ensamblaje definitivo de la enfardadora

A continuación, se presentan diferentes imágenes del diseño realizado de la máquina semiautomática enfardadora de palés con plataforma giratoria. Se han añadido ciertos elementos de seguridad, como las carcasas naranjas y el redondeo de determinadas aristas para evitar lesiones del operario, así como un botón de parada de emergencia.

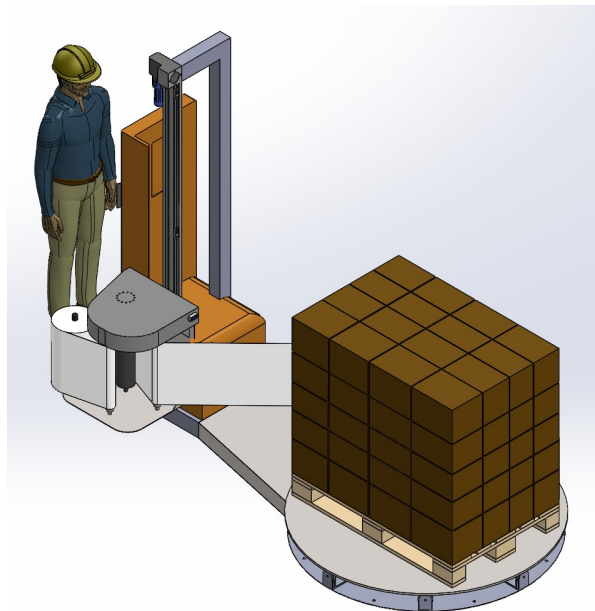


Figura 16. Vista isométrica de la enfardadora  
Fuente: Elaboración propia

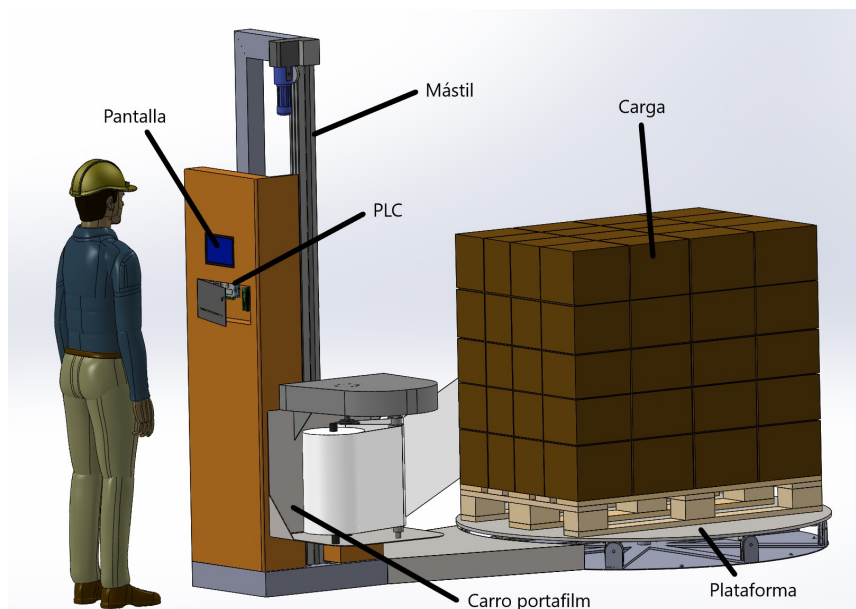


Figura 17. Vista lateral de la enfardadora (1/2)

Fuente: Elaboración propia

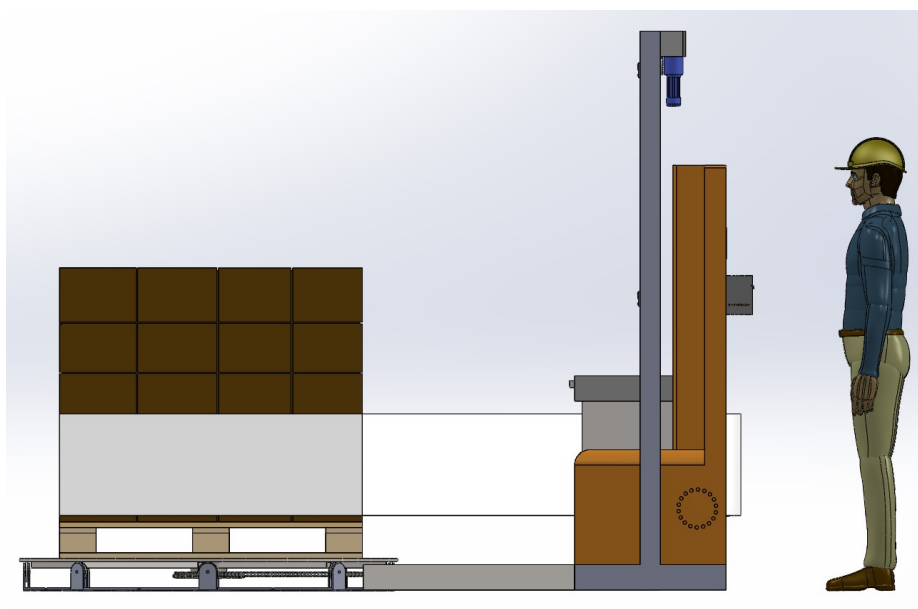


Figura 18. Vista lateral de la enfardadora (2/2)

Fuente: Elaboración propia

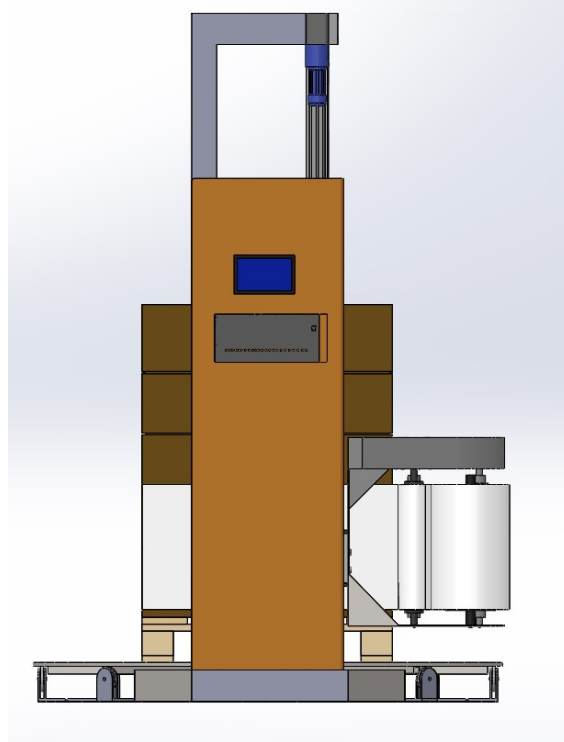


Figura 19. Vista trasera de la enfardadora

Fuente: Elaboración propia

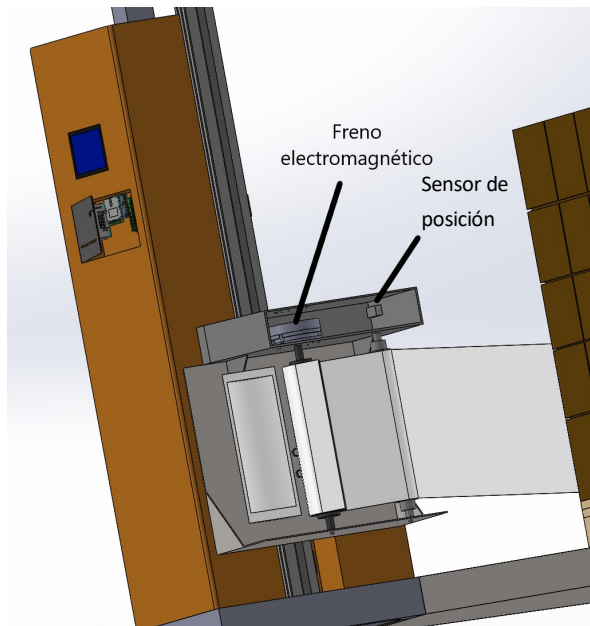


Figura 20. Sistema de tensión del film, PLC y pantalla

Fuente: Elaboración propia

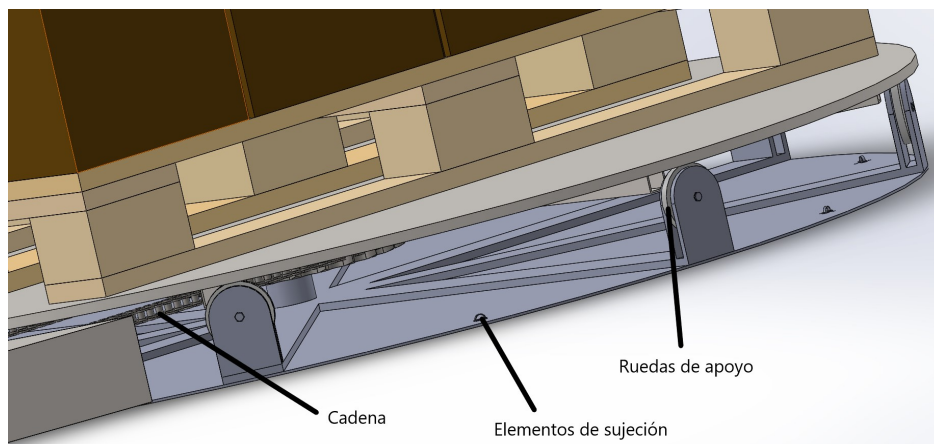


Figura 21. Ensamblaje de la plataforma

Fuente: Elaboración propia

## 5. Diseño detallado

Una vez se ha seleccionado la arquitectura del modelo a desarrollar y se han estudiado los sistemas que lo componen, se ha procedido al diseño del mismo. La máquina semiautomática enfardadora de palés con plataforma giratoria está compuesta de una plataforma circular plana, una cadena que transmite el movimiento del motor a la base donde se sitúa el palé, un carro porta-bobinas donde se sitúa el plástico film y un mástil por el que se desplaza el carro anteriormente mencionado. Para obtener información de la dimensión vertical de la carga que se desea paletizar, el mecanismo debe incorporar un sensor fotoeléctrico y para el control de todos los elementos que componen el sistema es necesario utilizar un controlador lógico programable. Asimismo, la máquina dispone de un sensor de lectura directa para obtener información de las vueltas realizadas en torno a la carga y una pantalla de interfaz hombre-máquina.

El diseño detallado no es completo hasta el último detalle ya que se ha realizado un diseño conceptual previo y dentro del diseño detallado se ha hecho un dimensionamiento general y selección de algunos componentes, pero no se ha realizado el diseño completo de todas las piezas de la máquina.

### 5.1. Diseño de la plataforma circular

#### 5.1.1. Ensamblaje de la plataforma

A continuación, se presentan diferentes imágenes del diseño realizado de la plataforma con las características que se justificarán en el presente apartado 5.1. El conjunto de la plataforma se compone de una chapa circular sobre la que se sitúa el palé con la carga a enfardar, unos perfiles tubulares para reforzar la base de la plataforma y un rodamiento cónico responsable de la rotación. También se dispone de unas ruedas de apoyo para permitir el giro, generado por un motor, de la chapa superior y reducir a valores mínimos la fricción, así como una rueda dentada donde se transmite el par para que gire. Se ha tapado la parte inferior de la enfardadora con una placa circular, atornillada al suelo, del mismo diámetro que la plataforma superior para garantizar la seguridad durante en proceso de enfardado.

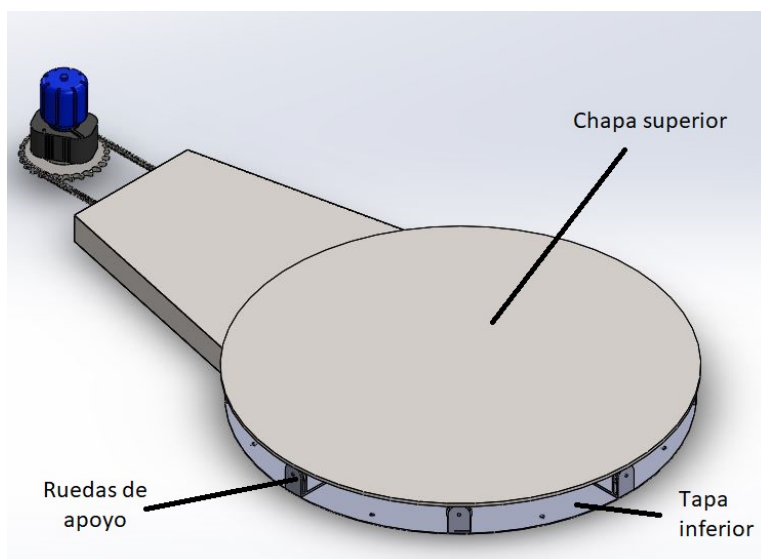


Figura 22. Vista isométrica de la plataforma circular

Fuente: Elaboración propia

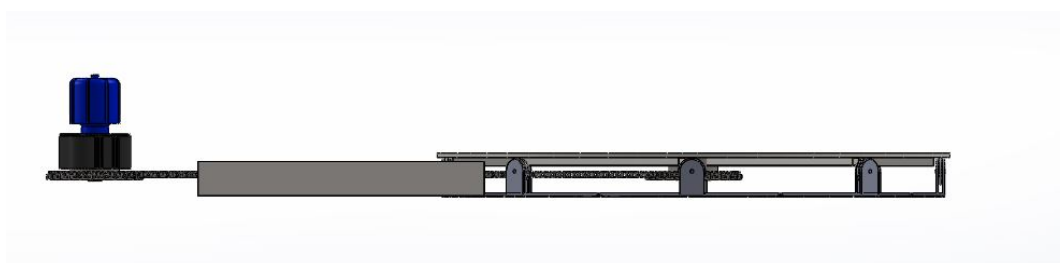


Figura 23. Vista lateral de la plataforma circular

Fuente: Elaboración propia

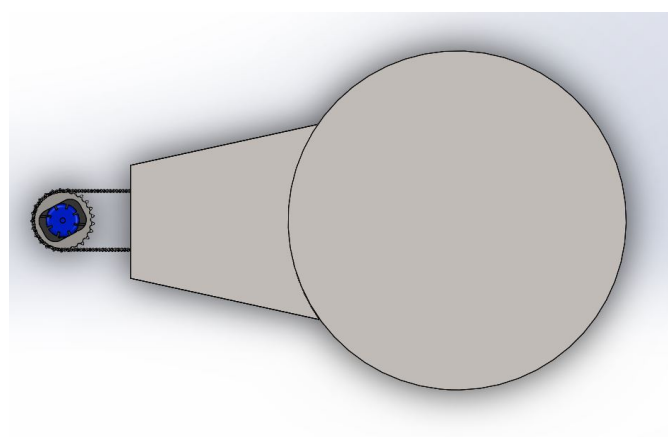


Figura 24. Vista superior de la plataforma circular

Fuente: Elaboración propia

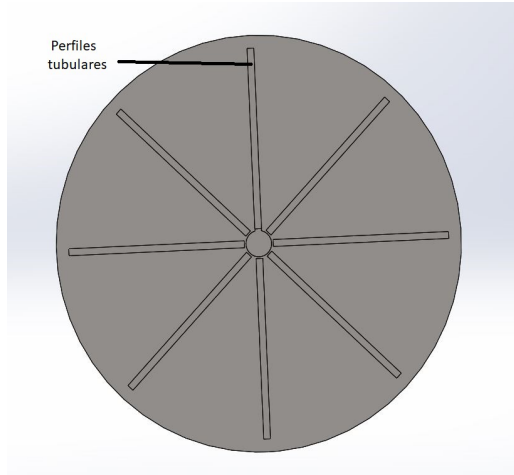


Figura 25. Vista inferior de la base y los perfiles tubulares

Fuente: Elaboración propia

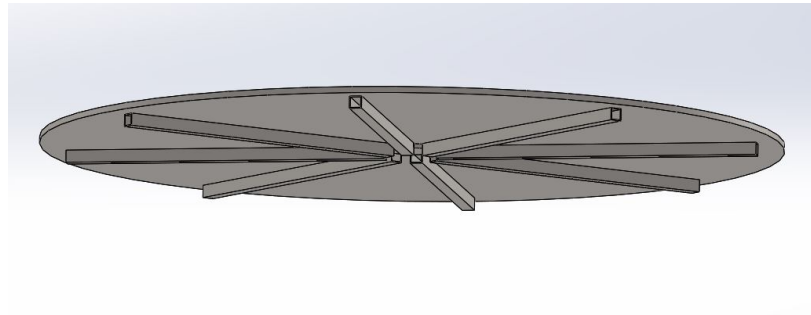


Figura 26. Vista de la base y los perfiles tubulares

Fuente: Elaboración propia

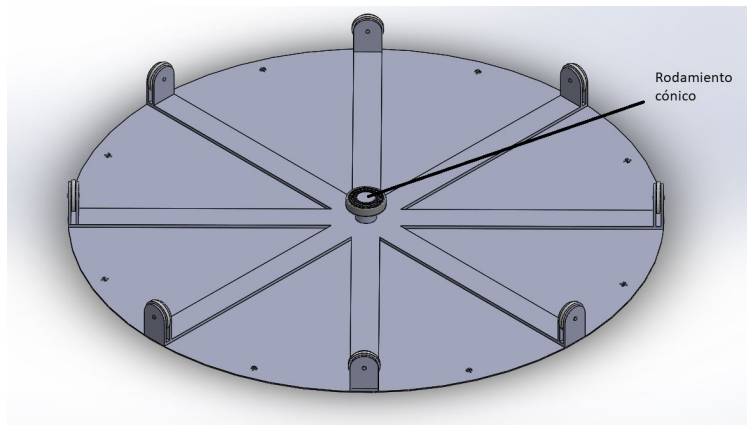


Figura 27. Vista isométrica de la base inferior, rodamiento cónico y ruedas soporte

Fuente: Elaboración propia

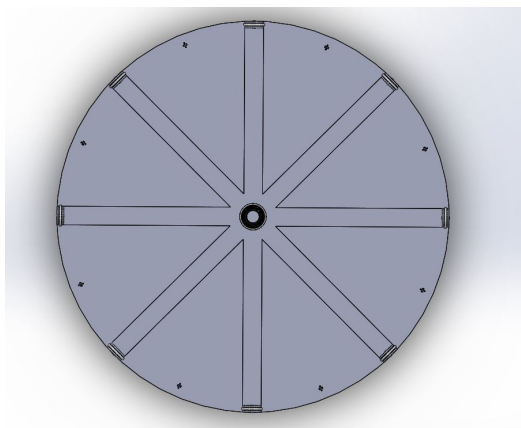


Figura 28. Vista frontal de base inferior, rodamiento cónico y ruedas de soporte

Fuente: Elaboración propia

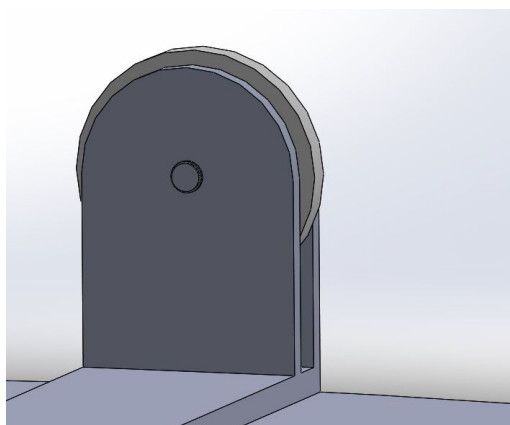


Figura 29. Vista de una rueda de soporte

Fuente: Elaboración propia

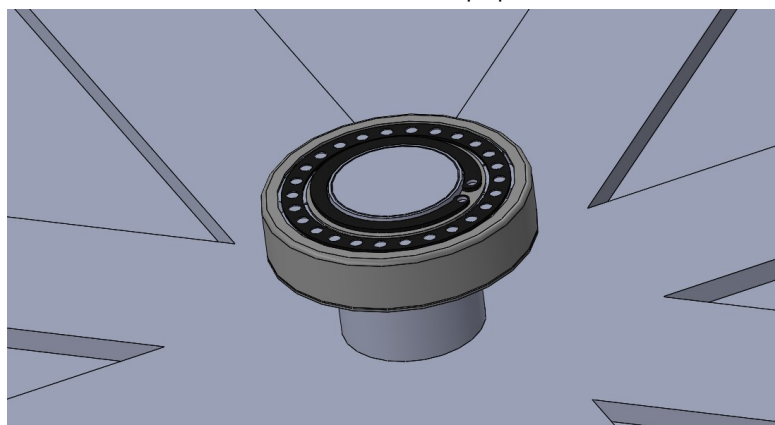


Figura 30. Vista del rodamiento cónico

Fuente: Elaboración propia



La plataforma del sistema será la encargada de soportar el peso de todos los productos a envolver, de tal manera que se debe diseñar teniendo en cuenta el peso máximo de las mercaderías a soportar.

Considerando las dimensiones estándar de un palé europeo, se ha establecido que el diámetro del disco giratorio debe ser de 1.500 m por lo que el área de la plataforma circular será de 1,76715 m<sup>2</sup>.

Tras un análisis de los diferentes robots enfardadores del mercado, se ha establecido un espesor del disco giratorio de 5 mm que se procede analizar y posteriormente se validará con FEM.

Para el diseño de la plataforma se ha seleccionado como material el acero S235<sup>1</sup>, el cual es usado principalmente como acero estructural y cumple la norma europea de acero estructural EN 10025:2004. Este material puede tener multitud de formas y es ideal para fabricar planchas, como la plataforma del presente proyecto. Se trata de un acero no aleado con muy buena resistencia a tracción destinado a la construcción de estructuras con soldaduras.

Las propiedades del acero S235 son (para más información consultar los anexos):

- Esfuerzo de fluencia del acero estructural:  $\sigma_y = 235$  MPa
- Densidad  $\rho = 7.860$  Kg/m<sup>3</sup>

### 5.1.2. Perfiles tubulares

El disco giratorio irá reforzado con unos tubos de perfil rectangular, los cuales han estado conformados en frío y sin tratamiento térmico posterior. Al disponer de estos tubos estructurales, se puede reducir el espesor de la plataforma ya que el uso de estos perfiles tubulares de acero proporcionará solidez a la plataforma, además de ser una solución más ligera y rentable del conjunto. Estos tubos serán proporcionados por el Grupo Condesa<sup>2</sup>.

El tubo elegido es de la gama perfil tubular - cuadrado con dimensiones de 25x25 mm y un espesor de 2 mm.

El acero escogido para la conformación de los tubos de sección cuadrada es el acero S355

---

<sup>1</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

<sup>2</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

J2H<sup>3</sup>, con una tensión de rotura entre un 37% y un 50% superior al acero S235. Los métodos de soldadura estándar para este grado de acero son:

- Soldadura TIG
- Soldadura por arco o arco sumergido
- Soldadura MAG alambre maciza



Figura 31. Tubos de sección cuadrada S 355 J2H

Fuente: Condesa Grupo [22]

### 5.1.3. Rodamiento cónico

Se ha seleccionado un rodamiento cónico para permitir el giro de la plataforma. Al tener que soportar una masa máxima de 1.876 kg (palé + plataforma), el tipo de rodamiento escogido es de una hilera con cilindros de perfil recto capaces de soportar grandes cargas.

La ventaja principal de este tipo de rodamientos es la alineación total de los rodillos. Su geometría cónica permite una rotación de la carga sin deslizamientos y un grado de fricción y rodadura muy bajo. En condiciones de funcionamiento estándares, el rodamiento cónico permite una distribución de tensiones completamente uniforme en sus contactos.

Además, se trata de un rodamiento desmontable e intercambiable; el aro interior puede montarse de forma independiente al aro exterior y los componentes son desmontables, hecho que facilita las inspecciones de mantenimiento rutinarias.

El rodamiento escogido es el SKF Explorer 31309<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

<sup>4</sup> Dimensiones y especificaciones disponibles en los anexos



Figura 32. Rodamiento cónico SKF Explorer 31309

Fuente: SKF [23]

#### 5.1.4. Ruedas de apoyo

La plataforma giratoria contiene un rodillo cónico en el centro para permitir su rotación accionada por el motor, tal y como se ha explicado en el punto anterior. Para poder facilitar su movimiento y evitar que se produzcan esfuerzos y flexiones de la plancha de acero se ha diseñado una estructura de soportes con ruedas de apoyo situadas en la periferia de la plataforma.

Un total de ocho ruedas de poliamida fundida ayudan a soportar el plato y lo mantienen en paralelo al plano horizontal. Se han colocado a una distancia de 700 mm del centro y están separadas entre ellas de forma equidistante. Además, se han construido en una plancha de acero que dispone de unos anclajes para poder sujetar la máquina enfardadora semiautomática al suelo y evitar que se produzcan movimientos no deseados que pueden resultar peligrosos para los operarios.

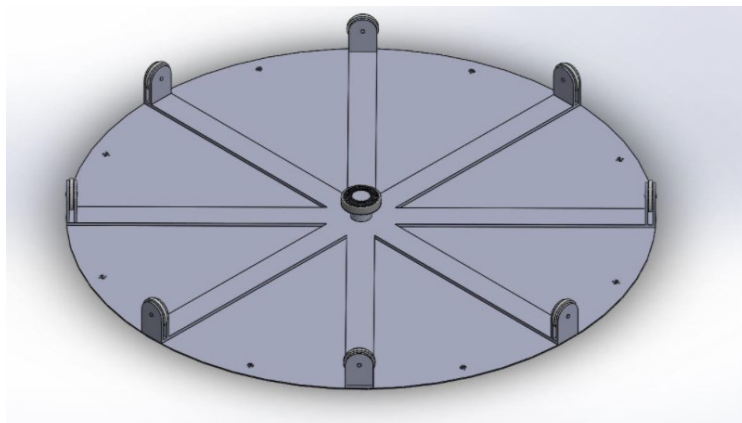


Figura 33. Diseño de las ruedas de apoyo

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.5. Análisis de la plataforma con elementos finitos

Una vez definido el diseño de la plataforma, se procede a un análisis de comportamiento de la estructura diseñada mediante una simulación de elementos finitos con el software ANSYS Workbench.

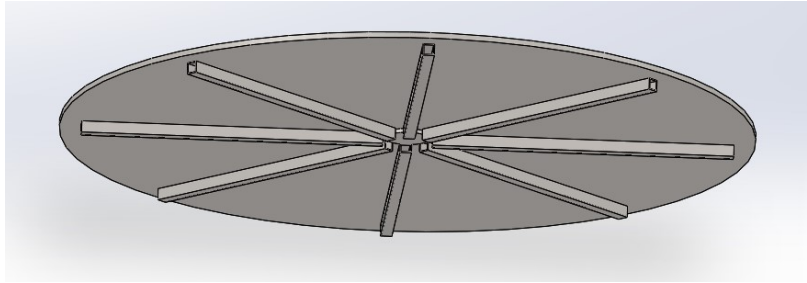


Figura 34. Diseño de la plataforma en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

Se selecciona el modelo *static structural* y se definen los parámetros necesarios del material a estudiar. Tal y como se ha mencionado anteriormente, se escoge como material el acero estructural con una densidad de  $7.860 \text{ kg/m}^3$  y un límite elástico de  $235 \text{ MPa}$ .

Tras importar la geometría diseñada en formato .SAT mediante el programa SolidWorks, se procede a establecer las condiciones de contorno para la pieza. Se ha establecido una condición de desplazamiento vertical nulo en los 8 puntos de contacto con las ruedas de apoyo, las cuales permiten el movimiento circular de la plataforma, manteniéndola completamente horizontal. También se ha establecido una condición de traslación nula, en los ejes Z, X e Y, en la superficie inferior del rodamiento cónico.

Se ha establecido una superficie de grosor mínimo simulando el contacto entre el palé y la plataforma circular, de esta forma se procede a añadir la presión que ejercerá el palé sobre ella y se ha considerado una presión referente a la carga máxima admitida por el sistema. Considerando la siguiente fórmula:

$$P = F/S$$

Donde:

P: Presión de la carga sobre la plataforma [Pa]

F: Carga máxima admisible [N].  $F = 17.659 \text{ N}$

S: Superficie de la plataforma [ $\text{m}^2$ ].  $S = 1,76 \text{ m}^2$

Se obtiene:

$$P = F/S = 9.992,38 \text{ Pa}$$

Ecuación 1

A continuación, se genera el mallado de la plataforma mediante elementos finitos con forma tetraédrica. Se ha realizado un estudio sobre qué mallado se aproxima de manera más exacta a la realidad, generando distintos mallados con tamaños de elemento diferentes. Al considerar como material de estudio el acero, se ha procedido a calcular la tensión equivalente de Von Mises ya que se trata de un material dúctil.

Medida del elemento (mm)	Número elementos	Tensión equivalente (Mpa)	Coficiente seguridad
40	6530	54,88	4,28
30	8200	58,17	4,04
20	17101	65,56	3,58
15	26437	74,48	3,16
10	53491	89,58	2,62
8	81338	99,03	2,37
6	177759	110,05	2,14
5	277365	117,90	1,99

Tabla 7. Tabla con los resultados de los diferentes mallados

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla 9 se pueden observar en el siguiente gráfico:

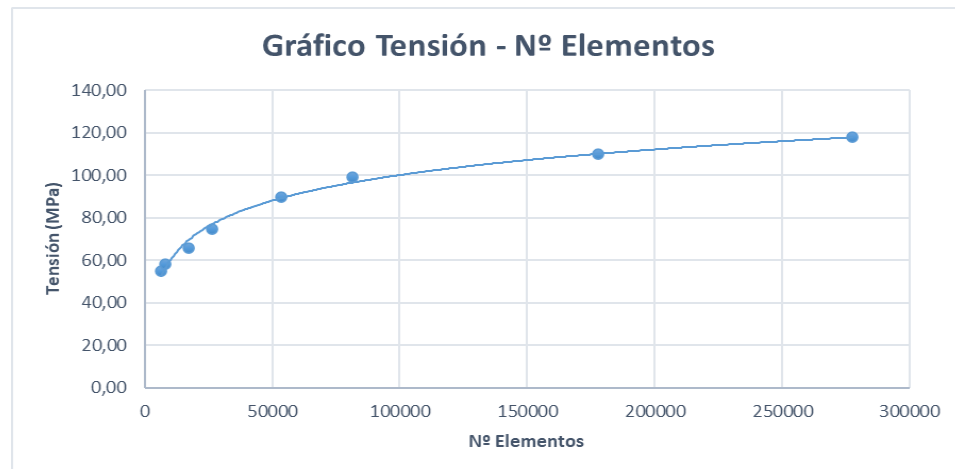


Figura 35. Resultados de los diferentes malladas

Fuente: Elaboración propia

La gráfica superior muestra una tendencia lineal una vez se han superado los 30.000 elementos generados, obteniendo una convergencia en medidas inferiores a 6 mm de tamaño del elemento. En la tabla 9 se ha procedido al cálculo del coeficiente de seguridad según las diferentes medidas de elementos. Así, se ha escogido como tamaño óptimo de cálculo 5 mm, ya que se considera que un coeficiente de seguridad de 1,99 es un valor que garantiza el correcto funcionamiento de la plataforma.

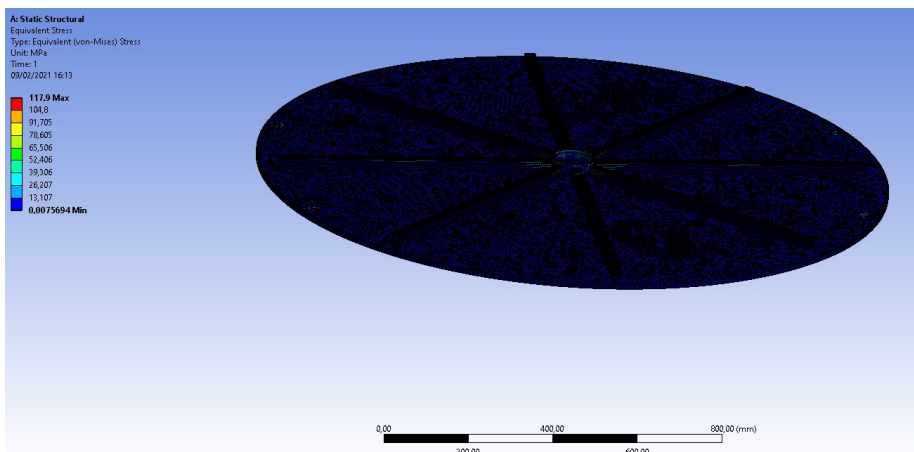


Figura 36. Mallado de 5 mm generado

Fuente: Elaboración propia

Al tener un tamaño de elemento de 5 mm, se obtiene la distribución de tensiones equivalente de Von Mises:  $\sigma_{eq} = 117,9$  MPa

Para la demostración del cálculo del coeficiente de seguridad se sabe que:

$$\gamma = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{eq}}$$

Donde:

$\gamma$ : coeficiente de seguridad

$\sigma_{eq}$ : tensión equivalente de Von Mises [MPa].  $\sigma_{eq} = 11,9$  MPa

$\sigma_{adm}$ : tensión máxima admisible [MPa].  $\sigma_{adm} = 235$  MPa

Por lo tanto,

$$\gamma = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{eq}} = \frac{235}{117,9} = 1,99$$

Ecuación 2

Se considera un valor suficiente como para aceptar el diseño realizado, de esta manera se procede al estudio de los desplazamientos y tensiones máximas sufridas por la carga aplicada.

#### 5.1.5.1. Resultados del análisis

Una vez se ha realizado el mallado de la figura se ha procedido a estudiar la deformación que sufre la plataforma cuando se aplica la carga del palé y la mercancía.

Para ello se ha diseñado una superficie de espesor mínimo que represente la fuerza realizada sobre la plataforma por la carga, en la cara superior de la plataforma, y se ha definido los puntos de desplazamiento nulo del sistema: el punto central del rodamiento cónico y los ocho puntos de contacto con las ruedas de apoyo. Una vez se ha establecido todas las condiciones de contorno se ha procedido a calcular el desplazamiento que puede llegar a sufrir la plataforma si se sitúa encima de ésta la carga máxima permitida.

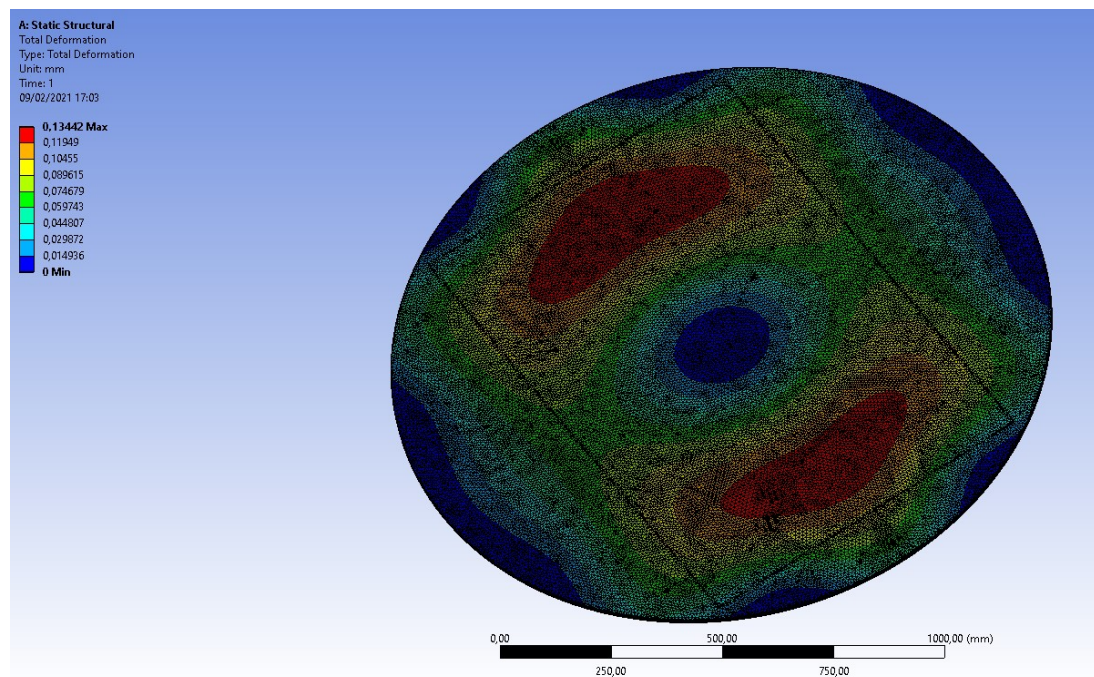


Figura 37. Desplazamiento de la plataforma (1/2)

Fuente: Elaboración propia

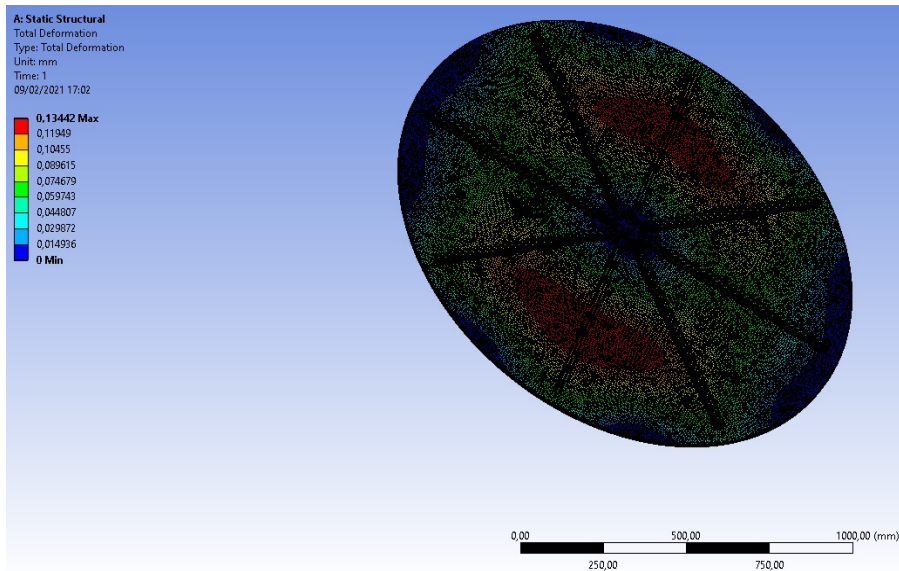


Figura 38. Desplazamiento de la plataforma (2/2)

Fuente: Elaboración propia

Se produce un desplazamiento máximo de 0,1314 mm localizado en la zona central de la plataforma, debido a los puntos de desplazamiento nulos expuestos anteriormente. Esta área corresponde a la superficie entre el palé y la plataforma.

También se ha procedido a realizar un estudio de las tensiones principales máximas que soporta la plataforma. A continuación, se adjuntan las figuras de las tensiones correspondientes a las tres direcciones principales.

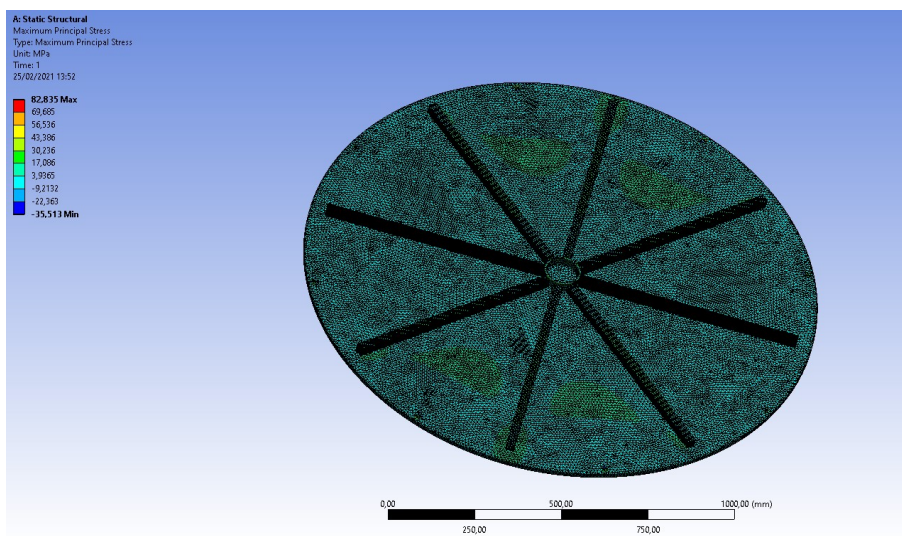


Figura 39. Máxima tensión soportada por la plataforma

Fuente: Elaboración propia



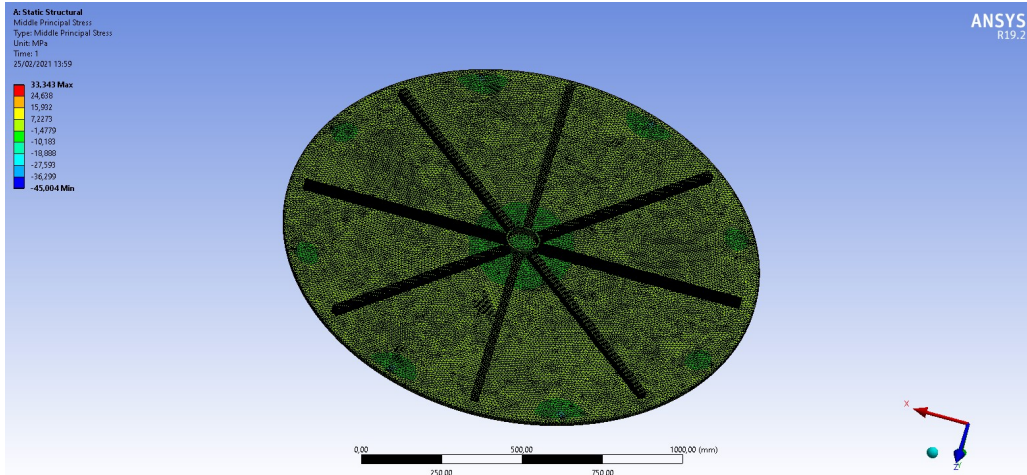


Figura 40. Segunda tensión principal de la plataforma

Fuente: Elaboración propia

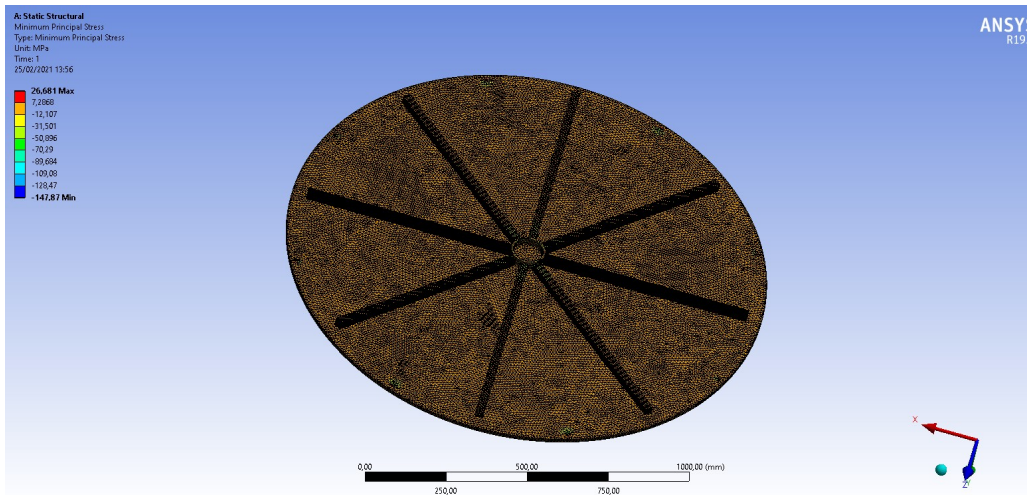


Figura 41. Tercera tensión principal de la plataforma

Fuente: Elaboración propia

Las tensiones máximas se producen en los puntos de contacto con el palé. Considerando el estudio realizado y los resultados obtenidos se puede concluir que la plataforma presenta un diseño correcto ya que los valores de tensión soportados son menores que la tensión de ruptura del acero S235 y el coeficiente de seguridad, tal y como se ha justificado anteriormente, es de 1,99.

### 5.1.6. Potencia necesaria para la rotación del disco giratorio

Dimensiones y características de la plataforma:

- Masa plataforma.  $m = 76,27 \text{ Kg}$
- Radio plataforma.  $r = 0,75 \text{ m}$
- Masa máxima a soportar  $M$ :  $1800 \text{ Kg}$
- Peso total a soportar  $P = 18.406,21 \text{ N}$  (considerando la masa de la plataforma y el parámetro  $M$ )

Con estas variables definidas se procede al cálculo de la potencia del motor para obtener la rotación de la plataforma.

Se sabe que la inercia del disco se calcula como:

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

Por lo tanto,

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = 21,45 \text{ kg/m}^2$$

Ecuación 3

Considerando la siguiente fórmula:

$$I' = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (a^2 + b^2)$$

Donde:

$I'$ : Inercia de la carga del palé [ $\text{kg/m}^2$ ]

$a, b$ : dimensiones admitidas del palé [ $\text{m}$ ]

$$a = 1,1\text{m}$$

$$b = 1,2\text{m}$$

$$M = 1.800 \text{ kg}$$

Se obtiene:

$$I' = \frac{1}{12} \cdot M \cdot (a^2 + b^2) = 397,5 \text{ kg/m}^2$$

Ecuación 4

Por lo tanto:

$$I_{tot} = I + I' = 21,45 + 397,5 = 418,95 \text{ kg/m}^2$$

Ecuación 5

Con los resultados obtenidos en las ecuaciones 4 y 5 se puede obtener el valor de la inercia total del sistema compuesto por la plataforma giratoria y la carga máxima admisible del palé. Esta inercia total del sistema es de 418,95 kg/m<sup>2</sup>.

Se desea que la plataforma presente un tiempo de arranque de 2 segundos y una velocidad angular de 15 rpm. Con estas dos variables mencionadas se procede a calcular la aceleración angular del sistema.

Considerando la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{w \cdot \frac{\pi}{30}}{t}$$

Donde:

$\alpha$ : Aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

w: Velocidad angular [rpm]

t: Tiempo de arranque de la plataforma [s]

Se obtiene:

$$\alpha = \frac{15 \cdot \frac{\pi}{30}}{2} = 0,785 \text{ rad/s}^2$$

Ecuación 6

Conociendo la inercia total del sistema (ecuación 5) y la aceleración total (ecuación 6) se puede obtener el momento angular.

Considerando la siguiente fórmula:

$$M' = I_{tot} \cdot \alpha$$

Con los valores a conocidos, se obtiene:

$$M' = I_{tot} \cdot \alpha = 329,04 \text{ Nm}$$

Ecuación 7

Una vez conocido el momento angular (ecuación 7) se puede obtener el valor de la potencia necesaria para vencer la inercia total con la siguiente fórmula:

$$Pot = M' \cdot \omega$$

Los valores  $M'$  y  $\omega$  ya son conocidos. Por lo tanto, se obtiene:

$$Pot = M' \cdot \omega = 329,04 \cdot 15 \cdot \pi/30 = 0,5168 \text{ kW}$$

Ecuación 8

La potencia necesaria para hacer girar la plataforma suponiendo que encima se sitúa la carga máxima admisible es de 0,5168 kW. Este cálculo no tiene en cuenta las fricciones del sistema ya que son muy bajas y más adelante, en el apartado 5.3.5.3 Freno electromagnético, se expone el cálculo del momento que hace el plástico film sobre la carga aplicada.

#### **5.1.7. Potencia necesaria para hacer girar las ruedas**

Debajo de la plataforma, se colocarán un total de 8 ruedas de soporte a una distancia de 0,7 m del centro (la plataforma tiene un radio de 0,75 m), tal y como se ha especificado en el apartado 5.1.4 del presente proyecto.

Teniendo en cuenta el peso de la plataforma y la carga máxima permitida, se sabe que las ruedas deberán soportar cada una un peso de 2.300,77 N.

La resistencia a la rodadura se produce cuando un cuerpo rueda sobre una superficie y uno de los dos se deforma por el movimiento relativo entre ambos. En el caso del diseño de una enfardadora semiautomática de plataforma giratoria se debe tener en cuenta la rodadura entre las ruedas de soporte y la plataforma.

A menor coeficiente de rodamiento, con mayor facilidad se desplazarán las dos superficies entre ellas. Un inconveniente de esta propiedad es que la rodadura provoca desgaste, lo que se relaciona directamente con la reducción de la vida útil del material y, consecuentemente, de la máquina enfardadora.

Se ha seleccionado la poliamida fundida<sup>5</sup> como material para las ruedas de soporte, ya que es un material que presenta muy buen comportamiento ante el desgaste y posee un coeficiente de fricción y rodadura muy bajo, lo que lo hace ideal para situaciones como la planteada en este problema. Además, puede soportar grandes cargas.

La potencia necesaria para vencer la rodadura producida entre las ruedas y la plataforma es despreciable, consultar los anexos, por lo que no se tiene en cuenta para la elección del motor.

Se ha procedido a calcular la potencia necesaria para vencer la rodadura entre las ocho ruedas de apoyo y la plataforma.

Considerando la fórmula:

$$C_{rr} = \frac{\mu_r}{R}$$

Donde:

$C_{rr}$ : coeficiente de rodadura entre poliamida fundida y acero S235 = 0,0055

R: radio = 6,25e-2 m

$\mu_r$ : coeficiente de resistencia a la rodadura [m]

Se obtiene:

$$0,0055 = \frac{\mu_r}{6,25 \cdot 10^{-2}}$$

Ecuación 9

Aislando el coeficiente de resistencia a la rodadura de la ecuación 9 se obtiene un valor de 0,619 m. Conociendo este valor se ha calcula la potencia necesaria par vencer la rodadura del caso estudio.

---

<sup>5</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

Considerando la fórmula:

$$P = M \cdot w$$

Donde:

P: potencia necesaria para vencer la rodadura [kW]

M: momento de la ocho ruedas [Nm]

w: velocidad angular [rad/s<sup>2</sup>]

Se obtiene:

$$P = (1800 \cdot 0,619) \cdot \frac{15 \cdot \pi / 30}{1000} = 9,72 \cdot 10^{-4} \text{ kW}$$

Ecuación 10

La potencia necesaria para vencer a la rodadura que se da entre las ruedas de apoyo y la plataforma es de 9,72e-4 kW por lo que se ha considerado negligible para el diseño de la máquina envolvente semiautomática de plataforma giratoria.

### 5.1.8. Potencia total y selección del motor

La potencia total necesaria para hacer girar la plataforma es la siguiente:

$$Pot_{TOT} = Pot = 0,5168 \text{ kW}$$

Ecuación 9

Una vez se ha obtenido la potencia necesaria y sabiendo la velocidad de giro de la plataforma, se procede a la selección del motor. Después de realizar un estudio de mercado y comparar los productos de diferentes compañías, se ha seleccionado el motor que más se ajusta a los requerimientos del montaje.

El motor escogido es el Qiangzhu KA 67 Y80S4<sup>6</sup> con una potencia nominal de 0,55 kW y presenta una masa de 36 kg Las dimensiones y especificaciones se encuentran en el anexo adjunto.

---

<sup>6</sup> Especificaciones y dimensiones disponibles en los anexos



Figura 42. Qiangzhu KA 67 Y80S4

Fuente: Direct Industry [8]

## 5.2. Diseño de la cadena

### 5.2.1. Diseño de la cadena

A continuación, se presentan diferentes imágenes del diseño realizado de la cadena expuesta en el presente apartado 5.2 donde se justifica el dimensionamiento de los elementos diseñados.

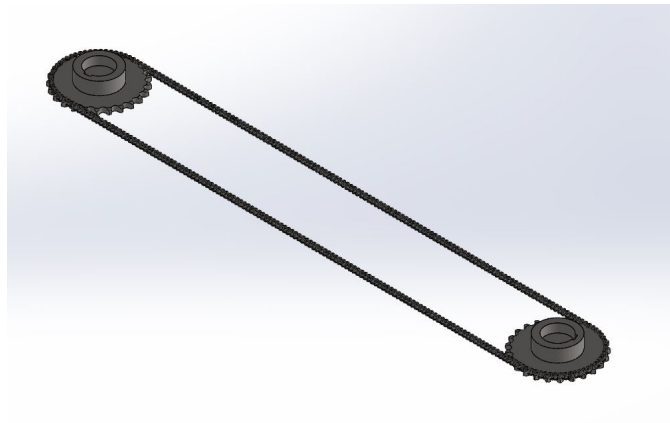


Figura 43. Vista isométrica de la cadena diseñada

Fuente: Elaboración propia

Una cadena es un componente de transmisión de potencia que está compuesto por una serie de eslabones conectados por pernos. Este diseño no solo es flexible, sino que también permite que la cadena transmita alta tensión.

Cuando se quiere transmitir potencia entre dos ejes giratorios, se precisa de una cadena

que encaja en los huecos de unos discos dentados llamados ruedas dentadas. El tipo de cadena más utilizado es la cadena de rodillos, la cual permite la transmisión de potencia con una fricción prácticamente nula entre cadena y ruedas dentadas.

Las cadenas de rodillos se pueden clasificar según sigue en la figura 44.

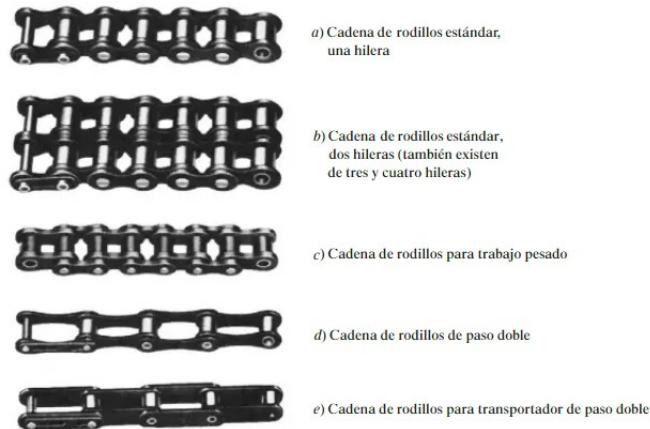


Figura 44. Clasificación de cadenas

Fuente: Vanegas, L. V., *Diseño de elementos de máquinas* (p.284) [9]

Para el diseño de una máquina semiautomática enfardadora de palés con plataforma giratoria se ha considerado trabajar con una cadena de una hilera con rodillos estándar ya que es el tipo que mejor se adapta a las necesidades del sistema.

### 5.2.2. Selección de la rueda dentada

Para la selección correcta de las ruedas dentadas necesarias para el sistema estudio se conocen los siguientes datos:

- Velocidad del motor: 15 rpm
- Potencia necesaria: 0,537 KW

Para poder seleccionar el sistema de cadena necesario para hacer girar la plataforma, primero se debe seleccionar el tamaño óptimo de cadena de rodillos. Este tipo de transmisión se caracteriza por su paso, que es la distancia entre las partes correspondientes de eslabones adyacentes. Una cadena de rodillos estándar tiene una designación de tamaño de 40 a 240. Estos dígitos indican el paso de la cadena, en octavos de pulgada.

Si se escoge una cadena de 40 con 0.5 pulgadas de paso, el número mínimo necesario de dientes sería de 45, hecho que requeriría de una rueda dentada demasiado grande para el



prototipo. Además, para satisfacer la potencia requerida por el motor, se necesita un modelo de cadena correspondiente al tamaño 60. Es por eso que se ha escogido el modelo inmediatamente superior al de tamaño 40, una cadena de rodillos de hilera simple de tamaño 60 y paso 0.75 pulgadas (19.05 mm).

Al precisar de un motor con una potencia de 0,537 KW y una velocidad de giro de las ruedas dentadas de 15 rpm, se obtiene el número de dientes necesarios para las dos ruedas dentadas, realizando una interpolación con las velocidades angulares conocidas hasta la velocidad necesaria.

Paso 19,05 cm (0,75")			
Nº dientes	RPM		
	10	25	15 (interpolación)
20	0,34	0,83	0,503
21	0,36	0,87	0,53
22	0,38	0,91	0,557

Tabla 8. Cálculo del número de dientes de la rueda dentada

Fuente: Elaboración propia basada en *Diseño de elementos de máquinas* (p.288) [9].

Las ruedas dentadas tienen una relación de transmisión de 1 ya que se considera que las dos girarán a la misma velocidad. El número de dientes de estas para satisfacer los requerimientos es:

$$N_1 = N_2 = 22 \text{ dientes}$$

### 5.2.3. Diámetros primitivos de las ruedas dentadas

Considerando la fórmula:

$$D_p = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{\pi}{N}\right)}$$

Donde:

$D_p$ : diámetro primitivo de la rueda dentada [mm]

$p$ : paso de la cadena [mm]

$N$ : número de dientes de cada rueda dentada

Se obtiene:

$$D_{P1} = D_{P2} = \frac{19,05}{\text{sen}\left(\frac{\pi}{22}\right)} = 133,85 \text{ mm}$$

Ecuación 11

El resultado obtenido en la ecuación 11 refleja que el diámetro primitivo de la rueda dentada, que es el mismo para las dos del diseño, es de 133,85 mm.

#### 5.2.4. Longitud de la cadena

Considerando la fórmula:

$$L = 2 \cdot O_1O_2 + \frac{N1 + N2}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4\pi^2 \cdot O_1O_2}$$

Donde:

L: longitud de la cadena en pasos

$O_1O_2$ : distancia entre centros de las ruedas dentadas en pasos

$N_1$ : número de dientes de la rueda dentada conductora

$N_2$ : número de dientes de la rueda dentada conducida

Se obtiene:

$$L = 2 \cdot \frac{180}{1,905} + \frac{22 + 22}{2} = 210,98 \text{ pasos}$$

Ecuación 12

Según el resultado obtenido en la ecuación 12, la longitud de la cadena es de 211 pasos que utilizando factores de conversión se obtiene una longitud total de 4.000 mm.

#### 5.2.5. Comprobación de la velocidad lineal

Una vez seleccionado el tipo de cadena a utilizar y el dimensionamiento de las ruedas dentadas, se ha procedido a realizar una comprobación referente a la tolerancia de la cadena con la velocidad lineal de funcionamiento del sistema.

Considerando la fórmula:



$$v = \frac{p \cdot N1 \cdot \omega}{60}$$

Donde:

v: velocidad lineal de la cadena [m/s]

p: paso de la cadena [m]

N1: número de dientes rueda dentada conductora

$\omega$ : velocidad angular [rpm]

Se obtiene:

$$v = \frac{0,01905 \cdot 22 \cdot 15}{60} = 0,105 \text{ m/s}$$

Ecuación 13

Para una cadena con un paso de 19,05 mm la velocidad lineal máxima tolerada es de 24 m/s, tal y como se puede observar en la figura 44. Como se puede observar, comparando el valor de la figura con el obtenido en la ecuación 13, no supone ningún problema el montaje de este sistema.

Velocidad máxima de la cadena		
Paso (mm)	Velocidad de rotación (min -1)	Velocidad máxima
9,525	10000	30
12,7	7000	28
15,875	5000	24
19,05	4000	24
25,4	2500	18
31,75	1600	16
38,1	1300	16
44,45	1000	14
50,8	700	11
63,5	500	10
76,2	400	9,5

Figura 45. Velocidades máximas de la cadena en m/s.

Fuente: Rodríguez, H., 2020, *Transmisión por Cadenas. Cálculo y diseño* [10]

## 5.2.6. Elementos seleccionados

Después de realizar un estudio de los esfuerzos que debe soportar la cadena y de los

elementos que la deben constituir, se ha decidido elaborar el diseño de la misma con las siguientes especificaciones:

- **Cadena:** Cadena simple de rodillos número 60 con 0,75 pulgadas de paso (1,905 cm).
- **Distancia entre centros:** 1.800 mm
- **Longitud de la cadena:** 211 pasos = 4.000,5 mm
- **Ruedas dentadas:** Relación de transmisión 1, número 60, 0,75 pulgadas de paso, 22 dientes y diámetro de 133,85 mm.

### 5.3. Diseño del carro porta-bobinas

#### 5.3.1. Ensamblaje del carro

La máquina enfardadora de palés que se desea diseñar pretende envolver la carga mediante la rotación de la plataforma y aplicando el stretch film, por lo que el movimiento de la película film es un aspecto fundamental en el correcto funcionamiento de la máquina. Para que el film se aplica de manera óptima se deben tener en cuenta ciertos aspectos como el pre-estirado o la tensión del film en el momento de salir de la bobina.

A continuación, se presentan diferentes imágenes del diseño realizado del carro porta-bobinas expuesto en el presente apartado 5.3. El carro dispone de un perfil tubular sólido en el que situar la película de stretch film, dos rodillos locos para guiar el film hasta la carga y un rodillo de fricción sobre el que se controla la tensión del film mediante un freno electromagnético. El subsistema también dispone de un controlador de tensión junto una célula de carga, para que la tensión permanezca constante en todo el proceso de enfardado. Es importante indicar que se han soldado unas cartelas en el carro para aguantar el peso de todos los componentes y que no se flexe la parte inferior del subsistema.

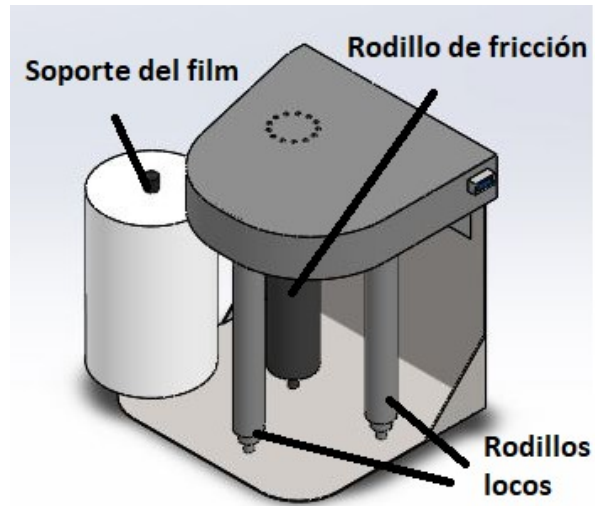


Figura 46. Vista isométrica del carro

Fuente: Elaboración propia

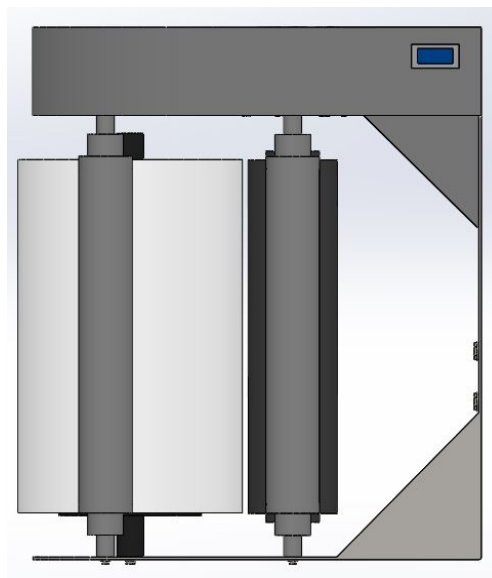


Figura 47. Vista lateral del carro (1/2)

Fuente: Elaboración propia

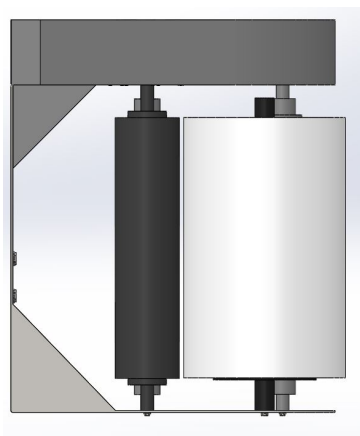


Figura 48. Vista lateral del carro (2/2)

Fuente: Elaboración propia

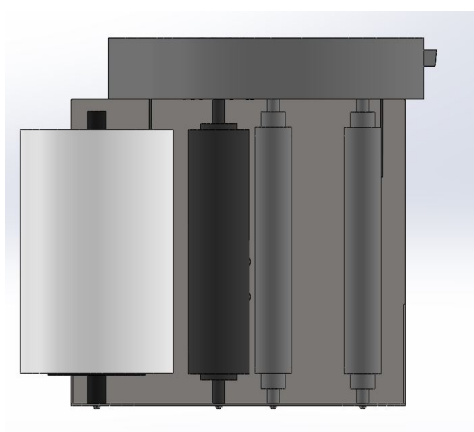


Figura 49. Vista frontal del carro

Fuente: Elaboración propia

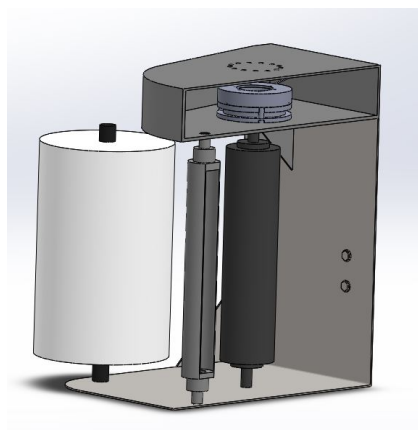


Figura 50. Vista de sección del carro

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2. Patrón de enfardado

El patrón de envoltura sobre la carga en una enfardadora semiautomática con plataforma giratoria da comienzo por la parte inferior de ésta, sujetando el stretch film al palé de forma manual y, una vez ha empezado a rotar la plataforma, el carro porta-film debe elevarse hasta la parte superior de la carga. Según el tipo de carga, es interesante envolver con más vueltas la zona inferior y superior de esta, así se asegura que la mercancía queda bien sujeta y la carga de contención será suficiente para su correcto transporte.

Para garantizar una mayor seguridad y evitar que el producto del palé quede dañado o sucio, es recomendable situar un plástico en la parte superior de la carga para que todas las superficies de palé queden tapadas. Esta capa superior queda sujeta a la carga envuelta con las vueltas que realiza el plástico film en el proceso.

### 5.3.3. Pre-estirado del film

Según el tipo de carga a enfardar, se debe envolver con mayor o menor tensión el film. La elongación elástica del stretch film favorece a una mayor carga de contención: cuanto más se estira el film, mayor será la fuerza de enfardado.

El stretch film tiene una capacidad de elongación elástica de hasta un 400%, aunque los porcentajes de pre-estirado más comunes se establecen sobre el 200%. De esta manera, si se dispone de diez milímetros de film, aplicándole un pre-estirado del 200% se obtienen 20 milímetros del mismo y el ahorro por parte de la empresa puede resultar significativo si el uso de la máquina es habitual.

Para poder determinar el porcentaje de pre-estirado se precisa de un freno electromagnético que aplique un momento resistente sobre la trayectoria del film. De esta manera, al provocar que el film se desplace a dos velocidades distintas por los rodillos del carro, se crea la elongación necesaria (pre-estirado) para envolver la mercancía.

El porcentaje de pre-estirado varía en función del film escogido por el cliente. Asimismo, se debe variar el momento resistente aplicado por el freno electromagnético.

#### 5.3.3.1. Calibración del sistema de pre-estirado

Para poder determinar el porcentaje de pre-estirado del stretch film el cliente debe realizar una pequeña calibración del freno electromagnético de la enfardadora.

1. El procedimiento para realizar la calibración es el siguiente:
2. Realizar dos marcas en el stretch film que estén separadas a una distancia conocida.

3. Aplicar un momento resistente mediante la pantalla.
4. Comenzar a enfardar una carga de prueba.
5. Medir la nueva distancia entre las dos marcas del stretch film.
6. Variar el momento resistente hasta conseguir el porcentaje de pre-estirado deseado.

#### **5.3.4. Rodillos del carro porta-bobinas**

Para el correcto funcionamiento de la enfardadora de plataforma giratoria, el plástico film debe hacerse para por un conjunto de rodillos antes de ser fijado en la base del palé.

Este conjunto mencionado está formado por dos rodillos locos de 300 mm de radio y un rodillo fijo de 500 mm de radio. Los rodillos locos son los encargados de guiar y colocar el film de la manera deseada y el rodillo fijo es el encargado de aplicar el pre-estirado deseado al film. En la base inferior del carro también se encuentra una sección tubular de plástico, con las dimensiones estándar del agujero de una película de fil, para introducir la dicha película y sobre la que el film gire con la velocidad angular aportada por la plataforma.

#### **5.3.5. Sistema de control de la tensión del film**

Una vez se ha encontrado el momento teórico necesario para pre-estirar el film, se precisa de un sistema para mantener la tensión constante durante todo el proceso de enfardado, ya que la tensión irá variando al tratarse de una carga rectangular: no hay la misma tensión al enfardar una cara lateral de la carga o al enfardar las esquinas.

Para poder solucionar este problema y que el film se aplique con la tensión adecuada en cada momento se requiere de una célula de carga. Durante la operación de la máquina, se mide la tensión aplicada en el film mediante la dicha célula, la cual mide la tensión aplicada en cada momento. Esta célula de carga va conectada a un sistema automático de control de tensión. El controlador compara el valor de salida de la célula de carga con el valor deseado por el operario, de esta manera envía una señal compensatoria al freno electromagnético para poder mantener la tensión constante.

##### **5.3.5.1. Célula de carga**

Tal y como se ha mencionado anteriormente, una célula de carga mide la tensión aplicada en el film en tiempo real y es un elemento necesario para el correcto funcionamiento de la enfardadora.

La célula de carga debe orientarse en la dirección de la bisectriz del ángulo formado por la trayectoria del stretch film al pasar por los tres rodillos. De esta manera, se consigue



controlar la tensión que se aplica en todo el proceso de enfardado. La señal que genera la célula de carga se enviará en forma de voltaje al PLC con el fin de corregir posteriormente el tensionado del film.

Gracias a la implementación de este sensor, se consigue medir de manera continua la tensión aplicada al film y ayuda a eliminar la posibilidad de que se pueda romper o agrietar debido a una tensión demasiado elevada.

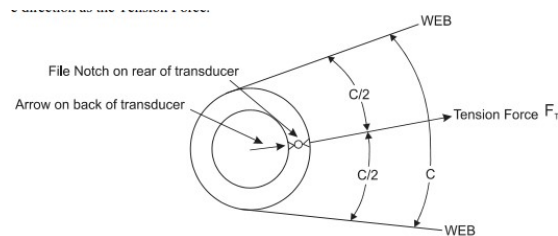


Figura 51. Orientación de la célula de carga

Fuente: DOVER FLEXO ELECTRONICS, INC. *INSTRUCTION MANUAL C Tension Transducer MODEL* [12]

El modelo seleccionado para la enfardadora de plataforma giratoria que se desea diseñar corresponde al fabricante Dover Flexo Electronics. Se trata del modelo: Model C Tension Transducer A 0 D S-25-1/2-6-FB<sup>7</sup>



Figura 52. Célula de carga seleccionada

Fuente: DOVER FLEXO ELECTRONICS, INC [13]

### 5.3.5.2. Controlador de tensión

La tensión del film se regula mediante el control del momento resistente del freno electromagnético. El sistema controlador de tensión admite entradas directas de señal provenientes de la célula de carga y dispone de una interfaz de usuario con un panel OLED para poder visualizar de forma clara y sencilla la tensión necesaria a aplicar. El controlador de tensión relaciona la célula de carga con el freno electromagnético.

<sup>7</sup> Especificaciones y dimensiones disponibles en los anexos

El controlador seleccionado para el diseño de la enfardadora pertenece a la gama de productos de Dover Flexo Electronics. Concretamente, se trata del modelo SteadyWeb 6 Digital Tension Controller<sup>8</sup>.



Figura 53. Controlador de tensión

Fuente: DOVER FLEXO ELECTRONICS [14]

### 5.3.5.3. Freno electromagnético

Los frenos electromagnéticos o electromecánicos ralentizan o detienen un determinado movimiento mediante la aplicación de una fuerza magnética con el fin de aplicar una resistencia mecánica. Funcionan mediante un accionamiento eléctrico, pero generan torque mecánicamente. Cuando se aplica voltaje o corriente al freno, la bobina del freno se convierte en un electroimán y genera líneas de flujo magnético. Este flujo de aire pasa a través de un pequeño espacio de aire entre la bobina y el inducido, tirando magnéticamente del inducido contra el cubo y generando una fuerza de sujeción.

Una vez el freno está completamente acoplado, se transmite el par de forma totalmente efectiva debido a la falta de desplazamiento relativo. Cuando se elimina el voltaje o la corriente, el inducido se aleja de la superficie dejando un hueco de aire.

Por norma general, la parte de campo magnético está atornillada a la superficie sólida. De esta forma, cuando el inducido es atraído hacia el campo, el momento de frenada se transfiere a la carcasa del mismo, desacelerando la carga.

Para el diseño de la enfardadora semiautomática enfardadora de palés con plataforma

---

<sup>8</sup> Especificaciones y dimensiones disponibles en los anexos

giratoria es necesario utilizar un freno situado en el carro para controlar la tensión del film y su porcentaje de estiramiento. El freno electromagnético es controlado mediante el controlador de tensión, el cual le envía la señal correctora de momento para aplicar más o menos fuerza sobre el rodillo de fricción.

Teniendo en cuenta la resistencia a la tracción del stretch film, se calcula el momento máximo necesario para realizar el pre-estirado.

Considerando la fórmula:

$$F = E \cdot L \cdot e \cdot p$$

Donde:

F: fuerza necesaria para la elongación deseada [N]

L: anchura del film [m]

e: espesor del film [m]

E: módulo de elasticidad [N/m<sup>2</sup>]

Se obtiene:

$$F = 1,4E7 \cdot 0,5 \cdot 1,8E - 5 \cdot 2 = 252 \text{ N}$$

Ecuación 14

Tal y como se observa en la ecuación 14, la elongación deseada del stretch film es del 200%, el espesor de film es de 18 µm y su anchura es de 0,5 m. Por lo tanto, la fuerza necesaria a superar por parte del freno electromagnético es de 252 N.

El freno electromagnético se desea situar sobre un rodillo fijo de 50 mm de radio.

Considerando la fórmula:

$$M = F \cdot r$$

Donde:

M: momento requerido por el freno electromagnético [Nm]

F: fuerza necesaria para obtener una elongación del 200% [N]

r: radio del rodillo fijo [m]

Se obtiene:

$$M = F \cdot r = 12,6 \text{ Nm}$$

Ecuación 15

Tal y como se observa en la ecuación 15, el momento que el freno electromagnético debe realizar es de 12,6 Nm.

Una vez se ha obtenido el valor deseado se ha procedido a buscar un freno que tolere el par necesario y pueda realizar la función deseada. Después de realizar un estudio de mercado y contemplar diversas opciones, se ha decidido seleccionar un freno de la empresa Sepac Inc. Concretamente, el modelo SEB series 340-1<sup>9</sup>.

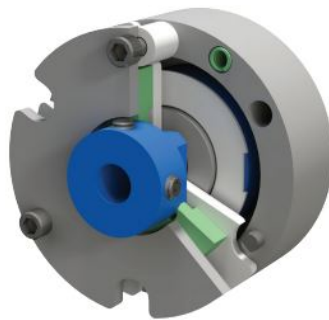


Figura 54. Freno electromagnético SEB series 340-1

Fuente: SEPAC [15]

Este motor soporta un par máximo de 19,7 Nm, una corriente máxima de 0,74 A y trabaja a 24 VDC. Para consultar más especificaciones consultar en los anexos.

## 5.4. Diseño del mástil

### 5.4.1. Ensamblaje del mástil

El mástil de la enfardadora es el sistema encargado de sujetar y desplazar el carro porta-

---

<sup>9</sup> Especificaciones y dimensiones disponibles en los anexos

bobinas con la finalidad de envolver toda la carga del palé. La torre debe ser capaz de desplazar el carro de forma longitudinal por toda la altura del producto mediante un actuador lineal.

Se ha optado por una solución formada por un arco rectangular que sirva de apoyo para la parte superior del mástil. Esta estructura adicional consta de un perfil tubular rectangular que ayuda a su sujeción y estabilidad. De esta manera se compensa el momento generado por el carro porta-film en su movimiento.

Con los requerimientos necesarios y tras haber realizado un estudio de mercado sobre los distintos actuadores presentes se ha seleccionado el modelo DLS de la empresa Hepco Motion. Se trata de un actuador lineal por correa que permite el acoplamiento de un motor de corriente alterna y una caja reductora.

A continuación, se presentan diferentes imágenes del diseño realizado del mástil expuesto en el presente apartado.

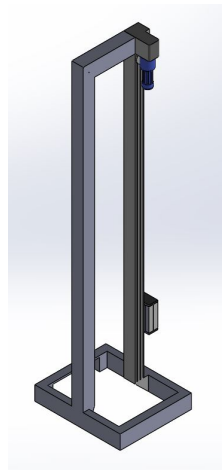


Figura 55. Vista isométrica del mástil

Fuente: Elaboración propia

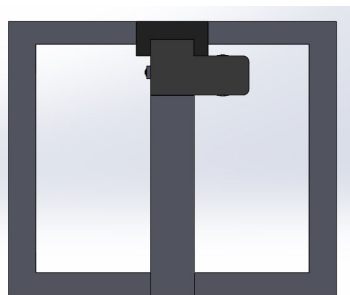


Figura 56. Vista superior del mástil

Fuente: Elaboración propia

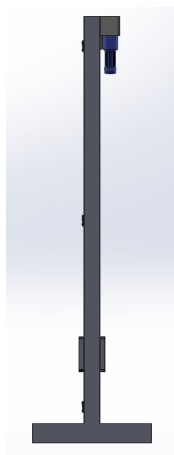


Figura 57. Vista lateral del mástil (1/2)

Fuente: Elaboración propia

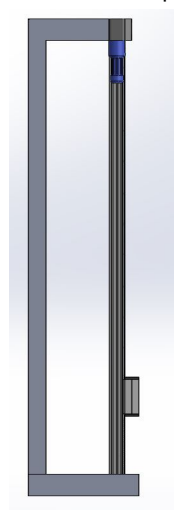


Figura 58. Vista lateral del mástil (2/2)

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2. Parámetros para el diseño

El diseño del mástil debe considerar unos parámetros de dimensión y peso para poder realizar la tarea de forma precisa y correcta. Estos son:

- Considerando las dimensiones estándar de un palé europeo y las dimensiones de la plataforma giratoria en la que se situará el palé, se ha considerado que el mástil debe presentar una altura de 2,20 m.
- La altura del carro porta-bobinas diseñado es de 500 mm.

- Considerando las dimensiones del mástil y las del carro porta-bobinas, la altura máxima a la que debe desplazarse el carro es de 2m.
- El peso a soportar por el actuador lineal es la suma de la masa del carro porta-bobinas y el plástico film. Esta masa es de 30 kg (25,67 kg + bobina de stretch film).

#### 5.4.3. Relación entre plataforma giratoria y el avance del carro lineal

Tal y como se ha explicado anteriormente, la plataforma giratoria presenta una velocidad angular de 15 rpm. Con esta velocidad y utilizando factores de conversión, se obtiene que la velocidad aporta una revolución cada 4 segundos.

El plástico film presenta una anchura de 50 cm y se considera que cada vuelta tenga 10 cm de solape sobre la carga, por lo que el carro porta-film tiene que elevarse 40 cm en cada vuelta para obtener el solape deseado. Esto se debe a que la carga debe quedar bien fijada por el plástico film y un cierto porcentaje de solapamiento ayuda a su transporte y contención.

Considerando la fórmula:

$$v = d / t$$

Donde:

v: Velocidad lineal del actuador [m/s]

d: Distancia [m]

t: Tiempo [s]

Se obtiene:

$$v = 0,4 / 4 = 0,1 \text{ m/s}$$

Ecuación 16

El resultado obtenido en la ecuación 16 muestra que el actuador lineal debe desplazarse por el mástil a una velocidad de 0,1 m/s.

#### 5.4.4. Descripción del actuador lineal

El actuador DLS de Hepco aporta la solución completa para el problema del accionamiento

lineal. Dispone de una correa de transmisión dentada que ofrece una gran precisión a la hora de controlar la posición del carro porta-film y al disponer de una viga rígida de aluminio, se puede usar como elemento directo de construcción de la máquina enfardadora. Además, incorpora un tensor de correa y un sensor final de carrera para controlar el final de trayectoria del carro.



Figura 59. DLS Sistema de Posicionamiento y Accionamiento Lineal

Fuente: Hepco Motion [16]

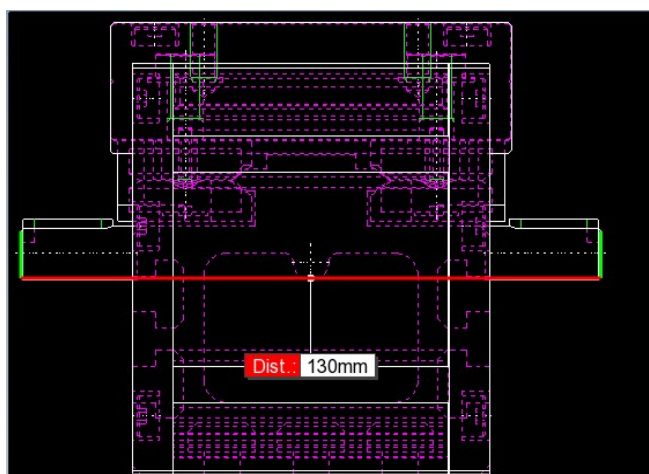


Figura 60. Dimensiones del actuador lineal

Fuente: Hepco Motion [16]



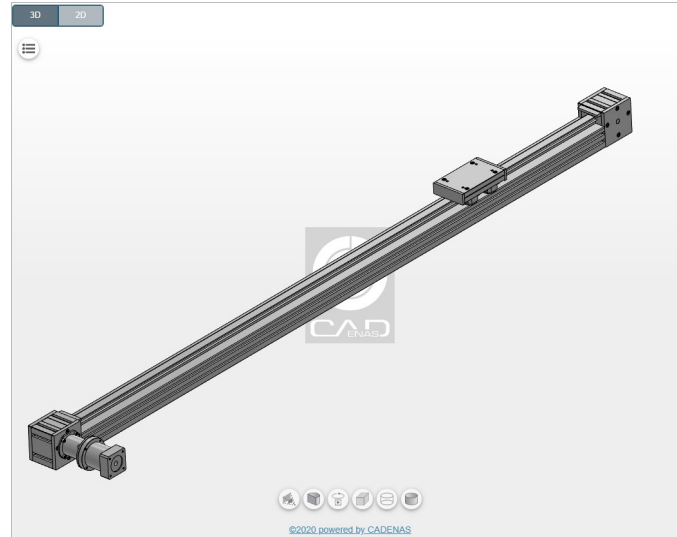


Figura 61. CAD del actuador lineal.

Fuente: Hepco Motion [16]

Con el diseño realizado en *SolidWorks* del carro porta-film y las dimensiones del actuador seleccionado, se puede indicar que la distancia entre el centro del actuador lineal hasta el centro de gravedad del carro porta-bobinas es de 307 mm. Con el valor de esta distancia conocida, se procede a calcular la potencia necesaria del motor que accionará el sistema lineal.

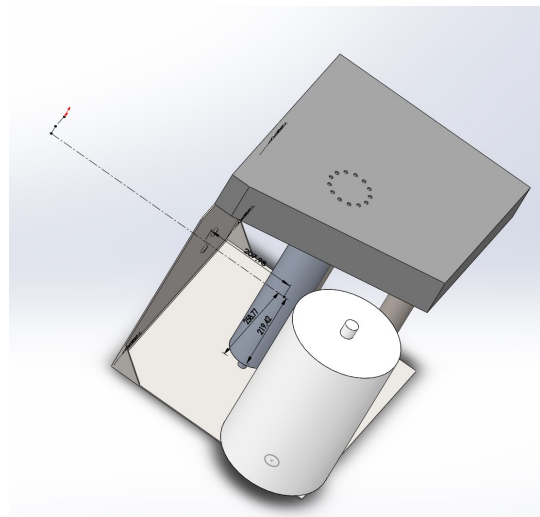


Figura 62. Centro de gravedad del carro

Fuente: Elaboración propia

Considerando la fórmula:

$$M = F \cdot r$$

Donde:

M: Momento necesario para elevar el carro porta-bobinas [Nm]

F: Fuerza necesaria para hacer subir el carro [N]

r: radio de la polea [m]

$$M = 30 \cdot 9,81 \cdot 0,06 = 17,66 \text{ Nm}$$

Ecuación 17

Considerando la masa del carro de 30 kg y un radio de polea de 60 mm, se precisa de un momento de 17,66 Nm por parte del actuador lineal.

Se conoce que la velocidad lineal del carro es de 0,1 m/s y el radio de polea de 0,06 m, por lo que se obtiene una velocidad angular de 1,67 rad/s.

Considerando la fórmula:

$$P = M \cdot w$$

Donde:

M: Momento necesario para elevar el carro porta-bobinas [Nm]

w: velocidad angular [rad/s]

P: potencia necesaria para realizar el movimiento requerido [KW]

$$P = 17,66 \cdot 1,66 = 29,43 \text{ W} = 0,02943 \text{ KW}$$

Ecuación 18

Así, según el resultado obtenido en la ecuación 18, la potencia necesaria para elevar el carro porta-film a una velocidad lineal de 0,1 m/s es de 0,02943 KW.

Se ha decidido trabajar con un sistema que disponga de una caja reductora de tornillo sin fin para poder controlar la irreversibilidad y evitar que se caiga el carro porta-film en caso de que la enfardadora se quede sin corriente. Hepco Motion proporciona reductores de tornillo

sin fin; unidades de costo muy efectivo y que se acoplan directamente a la polea motriz.

#### 5.4.5. Selección del motor

Considerando una velocidad lineal necesaria de 0,1 m/s, una potencia de 0,02943kW y una capacidad de fuerza lineal de 294 N, se ha estimado el motor adecuado para el sistema lineal es el modelo SW3 R30 1 M56L4 A1<sup>10</sup> de la marca Hepco Motion.

Se trata de un motor que pueden ofrecer una velocidad lineal máxima de 0,11 m/s, una potencia de 0,09 kW y una fuerza lineal de 514N. Por lo que cumple con todos los requerimientos necesarios.

#### 5.4.6. Selección del actuador lineal

Una vez calculados los datos requeridos, se procede a la elección del actuador lineal. Se ha seleccionado el actuador Hepco Motion DLS3<sup>11</sup>, el cual es capaz de resistir una carga lineal de 560 N (el modelo se ha diseñado con una carga lineal de 294,3 N).

El actuador lineal deberá soportar la carga del carro en el plano del movimiento longitudinal, por lo tanto, únicamente se debe considerar el momento flector que se muestra en la figura.

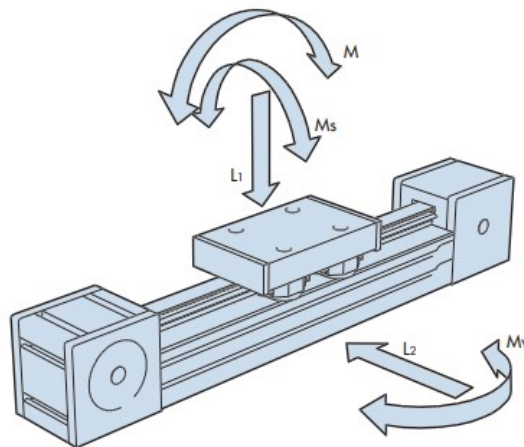


Figura 63. Momentos que soporta el actuador lineal

Fuente: Hepco Motion [16]

---

<sup>10</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

<sup>11</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

El momento  $M_s$  máximo de  $24 \text{ Nm}^{12}$  que soporta el modelo seleccionado es suficiente para soportar el momento que se generará al estirar el stretch film, de tal manera que no se tiene en cuenta para la selección del sistema.

Dentro de la gama DLS3, se ha decidido trabajar con el modelo L. Por lo que el actuador lineal definitivo de la máquina enfardadora es el DLS3 L de la empresa Hepco Motion.

## 5.5. Selección del sensor fotoeléctrico

Un sensor fotoeléctrico o fotocélula es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor.

### 5.5.1. Tipos de sensores fotoeléctricos

#### 5.5.1.1. Modelo de barrera

El emisor y el receptor están separados en cuerpos distintos, colocándose alineados y quedando ambos componentes enfrentados el uno con el otro. Se trata de un modo de funcionamiento fiable, pues toda la potencia que emite el emisor es enviada directamente al receptor, haciendo que la suciedad y la humedad del ambiente afecten en menor medida a su funcionamiento.

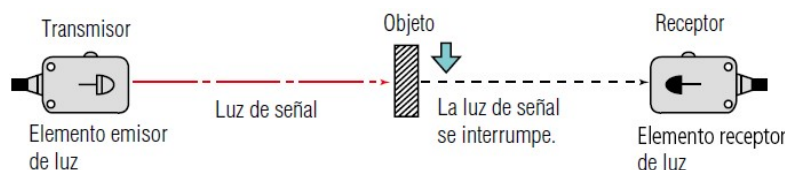


Figura 64. Esquema de un sensor fotoeléctrico de barrera

Fuente: Cruz, D. 2020, *¿Cómo funcionan los sensores fotoeléctricos/fotoceldas/fotobeams?* [18]

#### 5.5.1.2. Modelo reflectivo

Emisor y receptor se encuentran en un mismo encapsulado. En estos sensores, la luz emitida por el emisor es reflejada por un reflector y detectada por el receptor. Cuando el haz de luz es interrumpido por el objeto a detectar, la luz deja de llegar al receptor y se produce la detección. Se trata de un tipo de fotocélulas económicas y la principal ventaja de este tipo de sensores, es que al estar el emisor y el receptor en el mismo encapsulado, sólo se necesita un punto de alimentación y su montaje es rápido y sencillo. Estas fotocélulas se

<sup>12</sup> Disponible en los anexos

emplean en aplicaciones donde por espacio o accesibilidad resulta imposible colocar un componente receptor o espejo. El más común es el modelo reflectivo de reflexión difusa.

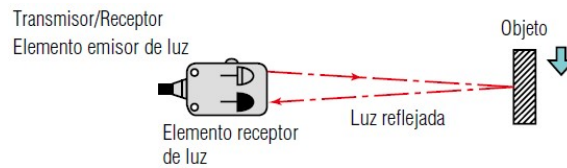


Figura 65. Esquema de un sensor fotoeléctrico reflectivo

Fuente: Cruz, D. 2020, *¿Cómo funcionan los sensores fotoeléctricos/fotoceldas/fotobeams?* [18]

### 5.5.1.3. Modelo retro reflectivo

En ellos modelos retro reflectivos, el emisor y receptor se encuentran en un mismo encapsulado. En estos sensores, la luz emitida por el emisor es reflejada por un reflector y detectada por el receptor. Cuando la luz es interrumpida por el objeto a detectar, esta deja de llegar al receptor y se produce la detección. Al tener exclusivamente un encapsulado, solamente es necesario tener tensión de alimentación en un único punto, lo que hace más sencillo su montaje en instalación.

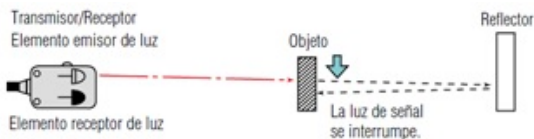


Figura 66. Esquema de un sensor fotoeléctrico retro reflectivo

Fuente: Cruz, D. 2020, *¿Cómo funcionan los sensores fotoeléctricos/fotoceldas/fotobeams?* [18]

## 5.5.2. Sensor seleccionado

Una vez se han definido los diferentes tipos de sensor fotoeléctricos se ha realizado un estudio de mercado de las diferentes marcas que elaboran este producto. Se ha considerado que el tipo de sensor que puede ofrecer un mejor rendimiento a la máquina enfardadora semiautomática de plataforma giratoria es un sensor reflectivo situado en la tapa lateral del carro porta-bobinas.

Finalmente, por sus características y relación calidad-precio, se optó por un producto de la empresa Allen Bradley, concretamente por el 42JT Visisight<sup>13</sup>. Se trata de un sensor fotoeléctrico rectangular de reflexión difusa con un rango de sensibilidad de hasta 2500 mm.

<sup>13</sup> Especificaciones disponibles en los anexos



Figura 67. Sensor fotoeléctrico 42JT Visisight

Fuente: Rockwell Automation [19]

## 5.6. Selección de la pantalla

Para conseguir un buen funcionamiento del sistema se ha decidido con una pantalla compatible con los controladores programables del sistema. Concretamente, el modelo utilizado es el 2711R-T4T<sup>14</sup> de la marca Allen Bradley. Se trata de un modelo de dimensiones 138 x 116 x 43 mm y cuya pantalla visual es de 480 x 272 pixels.



Figura 68. Pantalla 2711R-T4T

Fuente:Rockwell Automation [24]

## 5.7. Selección del contador de vueltas

Para que la carga presente una mayor estabilidad y conseguir un mejor transporte de la mercancía, se ha diseñado una función de refuerzo en las zona superior e inferior de la

---

<sup>14</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

carga y poder realizar de esta manera una cantidad de vueltas determinada en la zona que se desee. Se ha integrado un sensor contador de vueltas a la enfardadora de plataforma giratoria, un sistema permite controlar las vueltas que realiza la plataforma en distintos momentos del proceso.

El usuario, una vez ha colocado la carga y el palé encima de la enfardadora, puede programar mediante la pantalla táctil el número de vueltas que desea en la parte superior e inferior, valores independientes entre sí, para estabilizar el producto. El contador de vueltas funciona gracias a un sensor de proximidad inductivo que codifica cada vuelta de la plataforma como un impulso. Una vez se han realizado las vueltas indicadas, el actuador lineal empieza su recorrido sobre el mástil de la máquina.

El producto seleccionado para realizar esta tarea es un módulo contador de velocidad de la marca Allen Bradley, concretamente el modelo 1756-HSC<sup>15</sup>.



Figura 69. Contador 1756-HSC  
Fuente: Rockwell Automation [24]

---

<sup>15</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

## 6. Estudio del controlador lógico programable

Un controlador lógico programable, conocido como por sus siglas en inglés PLC (*Programmable Logic Controller*), es instrumento electrónico que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones. Las funciones principales que debe realizar un PLC es detectar diversos tipos de señales del proceso y elaborar y enviar acciones de acuerdo a lo que se ha programado.

Las partes principales de un PLC son la CPU, un módulo de memorias, módulos de entradas/salidas y la fuente de alimentación. La Unidad de Procesamiento Central (CPU) es la parte encargada de decodificar la programación del PLC, por lo que permite el funcionamiento de la computadora al realizar la interpretación de los códigos. El módulo de memorias es el lugar donde se almacena el software del PLC y los módulos de entradas/salidas son los anexos entre el CPU y el mecanismo a controlar. El de entrada se ocupa de retroalimentar al PLC para el correcto procesamiento de información y el de salida envía una respuesta, una vez se ha dado esta retroalimentación, directa a los actuadores para el control del proceso.

Para que un PLC funcione es necesario que se realice una programación previa a la función que va a realizar la maquinaria y para realizar esta programación se necesita un software específico adaptado a la marca y al lenguaje de programación que se va a desarrollar. Una vez programado, el PLC se conecta al sensor o pieza que se debe automatizar. Estas instrucciones se ejecutan internamente como lenguaje de programación, según la operativa que se necesite.

Un PLC funciona cíclicamente. Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC. El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de la entrada de los módulos de señal se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria. Después, la CPU ejecuta el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente) y durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida. Finalmente, tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se envían a los módulos de señal desde los datos de la memoria. Estas señales son entonces convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza uno nuevo.



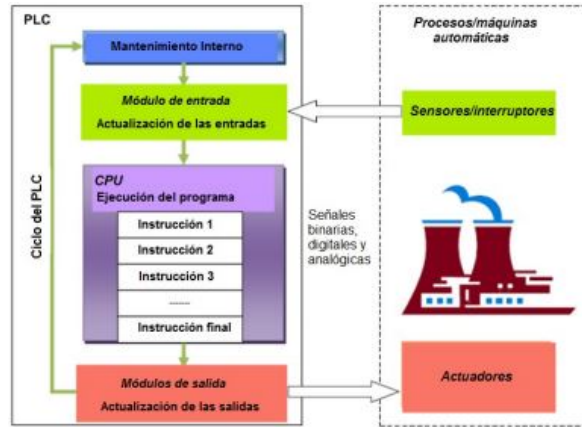


Figura 70. Ciclo de funcionamiento de un PLC

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica UNED, 2011, *Controladores Industriales Inteligentes* (p. 19) [17]

## 6.1. Controlador seleccionado

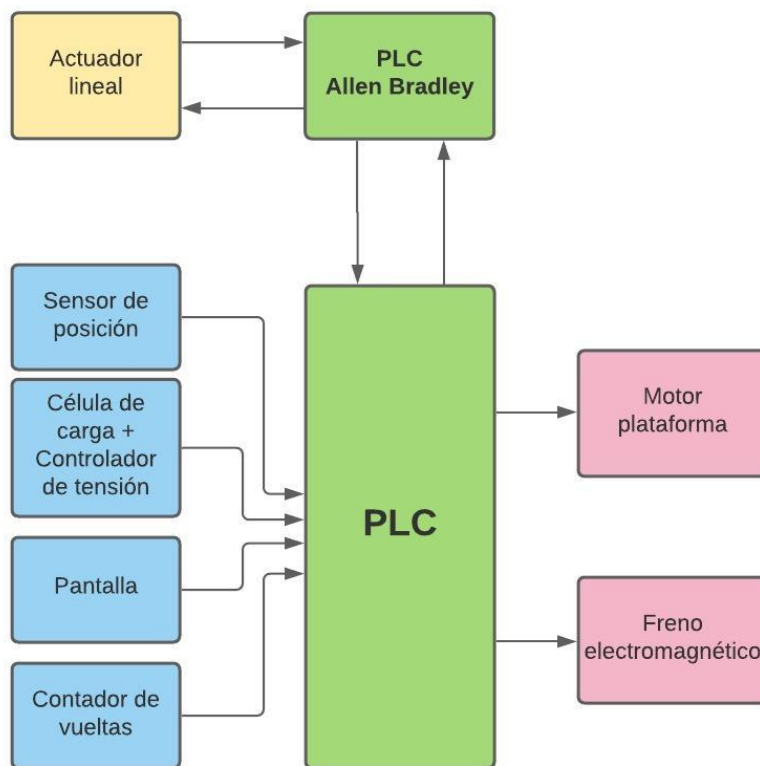


Figura 71. Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Elaboración propia

El sistema estudio presenta cuatro entradas: sensor de posición, célula de carga, sensor óptico cuentavuelgas y pantalla, y dos salidas: motor de la plataforma y freno electromagnético. El actuador lineal dispone de su propio PLC para controlar el movimiento, por lo que se buscará un PLC que controle a los otros terminales y que sea de la misma marca para lograr una buena compatibilidad con el mismo y con el resto de dispositivos del sistema.

### 6.1.1. PLC actuador lineal

El actuador lineal dispone de un PLC para controlar su posición en todo momento. Para el control del mástil y su actuador lineal se ha utilizado el modelo recomendado por el fabricante. Se trata del modelo 160-BA01NSF1<sup>16</sup>.

Este PLC tiene una salida de 3.0 A, con una escala de voltaje de funcionamiento de 180-265 V.



Figura 72. PLC 160-BA01NSF1/C de la marca Allen-Bradley

Fuente: Rockwell Automation [24]

A continuación, se muestra un esquema de las conexiones para el control del sistema del actuador lineal conjuntamente con el PLC seleccionado:

---

<sup>16</sup> Especificaciones disponibles en los anexos

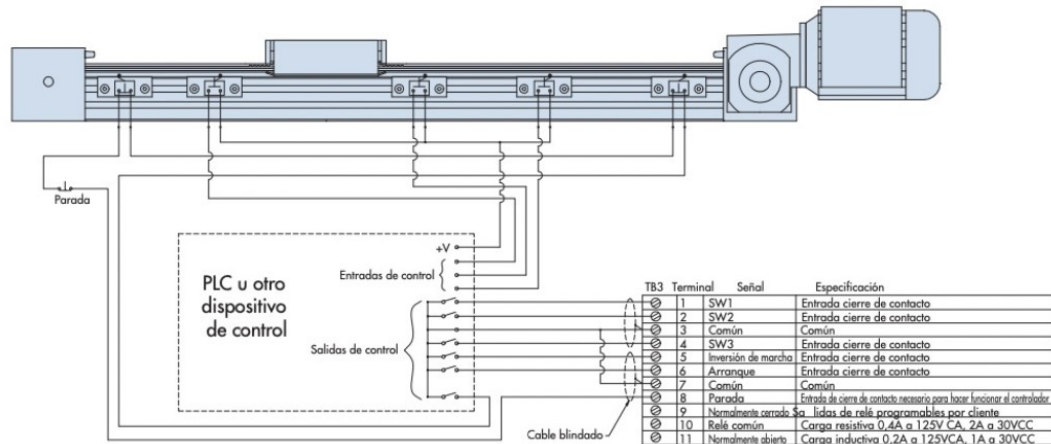


Figura 73. Esquema de conexiones PLC-Actuador lineal

Fuente: Hepco Motion [16]

El esquema anterior muestra el actuador lineal de velocidades preestablecidas conectado con el PLC seleccionado. Los interruptores de fin de carrera están conectados con el controlador de velocidades y la unidad de accionamiento se detiene si se enciende cualquiera de ellos, o el botón de parada de emergencia. El PLC se comunica con el controlador a través de las entradas de los interruptores y las entradas de arranque, parada e inversión de marcha.

### 6.1.2. PLC principal

Después de realizar un estudio de mercado comparando las distintas marcas y modelos existente se ha seleccionador el controlador lógico programable que mejor se adapta a las necesidades del proyecto. Se trata del modelo 1752-L24BBBE<sup>17</sup> del fabricante Allen Bradley Guardmaster, un modelo con suficientes entradas y salidas para abastecer las necesidades de la enfardadora.

Se trata de un sistema electrónicos programable que ofrece 8 entradas digitales, 4 salidas digitales y conexiones para comunicación USB y DeviceNet.

Las dimensiones del PLC son 99 x 90,4 x 131,4 mm. La tensión de alimentación es de 24 V, la corriente nominal de los contactos de 0,5 A y presenta una protección contra la sobrecarga con una posible desactivación de la salida afectada con reconexión cíclica después de unos segundos.

<sup>17</sup> Especificaciones disponibles en los anexos



Figura 74. PLC 1752-L24BBBE de la marca Allen-Bradley

Fuente: Rockwell Automation [24]

## 6.2. Entradas y salidas de cada componente

### Célula de carga

- Entrada: 5VDC
- Salida: Valor de tensión entre 0 y 10 V o 4-20 mA, mediante un amplificador *iAmp inline amplifier* con conexión EtherNet/IP

### Controlador tensión de la célula de carga (230V)

- Entrada: 86-26 VAC 60/50 Hz o 24 VDC
- Salida: 0-10 VDC o 4-20 mA

### Pantalla:

- Entrada: USB / Ethernet
- Salida: USB / Ethernet

### Freno electromagnético

- Entrada: 24 VDC
- Salida: 28 Nm, se establece una relación lineal entre los amperios y el torque necesario.

- Fórmula lineal para el cálculo de los amperios de salida:
  - $y = \frac{14}{0,94} x$ , donde 'y' corresponde al momento a aplicar por el freno y 'x' son los amperios necesarios para aplicar dicho momento.

Sensor de altura de la mercancía

- Entrada: 10 – 30 VDC.
- Salida: 100 mA.

Sensor contador de vueltas

- Entrada: Conteo acumulado de impulsos
- Salida: 0 - 30 VDC

Motor mástil

- Entrada: 200-230/380-460 V a 50/60Hz
- Salida: Torque mecánico

Motor plataforma

- Entrada: 230V a 50/60hz
- Salida: Torque mecánico

### 6.3. Compatibilidad de los elementos

Para el correcto uso de la enfardadora diseñada, se requiere comprobar la compatibilidad de todos los elementos que presentan una relación en el sistema electrónico estudio (véase figura 71).

La compatibilidad del PLC 160-BA01NSF1/C, de la empresa Allen Bradley, y del actuador lineal Hepco Motion DLS3 se da por válida ya que el modelo de controlador seleccionado es el recomendado por el fabricante en el manual de uso e instalación aportado.

#### 6.3.1. Compatibilidad entre PLCs

Los dos sistemas de control necesarios para el correcto funcionamiento de la enfardadora

deben presentar una compatibilidad adecuada ya que las salidas de ambos dependen de las entradas del otro controlador y viceversa. Un ejemplo de este hecho es que el actuador lineal debe trasladarse hasta la altura que el sensor de posición ha detectado u otro caso es que el actuador lineal debe empezar su movimiento vertical una vez se han realizado las vueltas predeterminadas por el usuario y detectadas por el contador de vueltas. Así que se debe establecer una conexión entre ambos PLCs para poder procesar la información recibida.

	Bulletin 160 Drives	1752-L24BBBE
	▲ 7.0 ▼	▲ 1.002 ▼
	📄	📄
	📧	📧
<b>Compatibility</b>		
Bulletin 160 Drives 7.0	✓	●
1752-L24BBBE 1.002	●	✓

Figura 75. Compatibilidad entre controladores

Fuente: Rockwell Automation

Para conectar el controlador recomendado para el actuador lineal de Hepco Motion con el escogido para el resto de elementos del sistema, se debe utilizar un cableado Ethernet/IP industrial y de esta manera se pueden comunicar ambos controladores.

### 6.3.2. Compatibilidad entre controlador principal y entradas

La mayoría de los sistemas entrada son fabricados por la misma empresa, Allen-Bradley (propiedad de Rockwell Automation), ya que se consideró que esto daría menos problemas de verificación que usar diferentes fabricantes para cada elemento y aportaría una mayor fiabilidad a la enfiardadora en forma de pocos errores.

Los dispositivos que forman las entradas del sistema relacionados con el controlador lógico principal son:

- Sensor de posición 42JT VisiSight
- Pantalla 2711R-T4T
- Contador 1756-HSC
- Célula de carga Model C Tension Transducer A 0 D S-25-1/2-6-FB

	1752-L24BBBE	1756 ControlLogix Chassis	42JT VisiSight	PanelView 800	1000F
	▼	▼	series B ▼	▼	▼
	▲ 1.002 ▼	▲ 2.0 ▼	▲ 10.29.15 ▼	▲ 6.011 ▼	▲ 1.085 ▼
<b>Compatibility</b>					
1752-L24BBBE 1.002	✓	●	●	●	●
1756 ControlLogix Chassis 2.0	●	✓	●	●	●
42JT VisiSight B 10.29.15	●	●	✓	●	●
PanelView 800 6.011	●	●	●	✓	●
1000F 1.085	●	●	●	●	✓

Figura 76. Compatibilidad entradas con PLC

Fuente: Rockwell Automation

Tal y como se puede observar en la figura 76 todas las entradas son compatibles con el controlador asociado a ellas. De este modo, una vez dichas entradas realicen la función para la cual han sido desarrolladas (detectar la altura de la carga, contar las vueltas que ha realizado la plataforma, etc.) emitirán la señal correspondiente y el controlador ordenará a los dispositivos de salida modificar su entorno para realizar la tarea necesaria como por ejemplo girar el motor de la plataforma.

## 7. Planificación

Los autores han querido llevar a cabo un proyecto de estudio sobre las máquinas enfardadoras de palés y el desarrollo de un prototipo de manera conceptual. A continuación, se presentan las tareas del proyecto y el diagrama de Gantt del transcurso del mismo.

En la planificación inicial, el inicio del proyecto se estableció el 5 de octubre de 2020 y su finalización se planificó para el 17 de enero de 2021. Finalmente, para llevar a cabo un estudio más profundo y detallado de la enfardadora se debía prorrogar la finalización del proyecto al mes de abril de 2021. En el presente apartado se detallan las actividades a llevar a cabo según la planificación según sigue:

- FASE 1: Estudio del proyecto. En esta actividad se realiza un análisis de la situación del mercado actual relacionada con las enfardadoras de palés y su composición tecnológica.
- FASE 2: Diseño del prototipo. En esta actividad se realiza el diseño de los diferentes componentes del sistema junto con todos los servicios necesarios para cumplir con las especificaciones marcadas.
- FASE 3: Conclusiones finales. Se elabora toda la documentación pertinente correspondiente con todo el contenido y experiencia extraídos del proyecto.

CRONOGRAMA INICIAL DEL PROYECTO	Octubre		Noviembre			Diciembre		Enero		Febrero		Marzo		Abril															
	05/10/2020	12/10/2020	19/10/2020	26/10/2020	02/11/2020	09/11/2020	16/11/2020	23/11/2020	30/11/2020	07/12/2020	14/12/2020	21/12/2020	28/12/2020	04/01/2021	11/01/2021	18/01/2021	25/01/2021	01/02/2021	08/02/2021	15/02/2021	22/02/2021	01/03/2021	08/03/2021	15/03/2021	22/03/2021	29/03/2021	05/04/2021	12/04/2021	
<b>1 FASE 1. ESTUDIO DEL PROYECTO</b>																													
1.1 Definición de los objetivos del proyecto																													
1.2 Estado del arte																													
1.3 Análisis tecnológico de las soluciones actuales																													
<b>2 FASE 2. DISEÑO DEL PROTOTIPO</b>																													
2.1 Especificación básica del producto																													
2.2 Diseño conceptual																													
2.3 Integración del sistema																													
2.4 Diseño detallado																													
<b>3 FASE 3. CONCLUSIONES FINALES</b>																													
3.1 Impacto ambiental																													
3.2 Presupuesto																													
3.3 Conclusiones																													
3.4 Entrega																													

Figura 77. Cronograma global del proyecto.

Fuente: Elaboración propia



## 8. Impacto ambiental

La máquina semiautomática enfardadora de palés con plataforma giratoria ofrece una solución eficaz al problema de la planta de producción.

El material usado para enfardar los palés es un polietileno lineal de baja densidad, pertenece a la familia de los plásticos y se estima que anualmente se consumen unos 10 millones de toneladas de plástico.

Tal cantidad de toneladas afecta negativamente al impacto ambiental. Con la plataforma giratoria enfardadora de palés se pretende disminuir, además de los costes de embalaje, el consumo de stretch film gracias al sistema de pre-estirado diseñado: Con un alargamiento de mínimo el 200% se consigue reducir a la mitad el consumo de film para envolver un palé.

El stretch film, al ser un plástico formado por cadenas de polímeros lineales, se puede reciclar para darle posteriormente otro uso, como por ejemplo la fabricación de envases desechables de plástico.

En el caso de los palés, se pueden llegar a reutilizar hasta 10 veces dependiendo del peso de la mercancía a soportar. Una vez se acaba su vida útil, se puede reciclar para proteger el medio ambiente.

El proceso de reciclaje de los palés se lleva a cabo a través de empresas especializadas. Una vez el palé entra en el proceso de reciclaje, puede reentrar al mercado como un palé reciclado, también puede ser usado para reparar otros palés en caso de estar con desperfectos y, si no se puede aprovechar para reciclar nuevos palés, se trata como biomasa para ser reciclada.

Los elementos formados por acero que conforman la enfardadora presentan un impacto ambiental positivo ya que se trata de un material reciclable y que puede reutilizarse en caso de destrucción o desmontaje de la máquina.

## 9. Presupuesto

Para calcular el presupuesto del presente proyecto se ha valorado el presupuesto de ingeniería por las tareas realizadas durante el transcurso del mismo por parte de los dos autores. Al tratarse de un proyecto académico y teórico no se conocen todos los componentes necesarios para la construcción de la máquina enfardadora semiautomática de plataforma giratoria.

La estimación de las horas destinadas se ha realizado teniendo en cuenta que el presente proyecto es un trabajo final de grado de 12 ECTS. La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB) expone en sus recomendaciones a los estudiantes que la dedicación que de 1 ECTS es de 25h por alumno. Por lo tanto, las horas totales de dedicación invertidas son 600 entre ambos autores (24 ECTS en total).

Estas horas de dedicación se han repartido según las tareas realizadas en cuatro grandes bloques:

- Redacción de documentos (25 €/h)
- Diseño conceptual y detallado (50 €/h)
- Estudio de elementos finitos (100 €/h)
- Diseño en CAD de la máquina (35 €/h)

Con esta clasificación, se ha calculado el presupuesto de ingeniería según sigue:

	Horas	Precio (€/h)	Coste (€)
<b>Redacción de documentos</b>	250	25	6.250 €
<b>Diseño conceptual y detallado</b>	180	50	9.000 €
<b>Estudio de elementos finitos</b>	20	100	2.000 €
<b>Diseño en CAD</b>	150	35	5.250 €
<b>TOTAL</b>			<b>22.500 €</b>

Tabla 9. Presupuesto de ingeniería

Fuente: Elaboración propia

El presupuesto es de ingeniería del presente proyecto es de 22.500 €.

Es importante remarcar que este precio es notablemente superior al de las enfardadoras con las mismas características que se encuentran en el mercado (sin considerar los elementos que la forman). Esto es debido a que en el proyecto se ha realizado un diseño del prototipo y, consecuentemente, un análisis de todos los sistemas y componentes del mismo. Por lo tanto, en caso de que este proyecto se pudiera llevar a cabo de forma experimental el presupuesto calculado formaría parte de la inversión inicial y no del precio de venta de la enfardadora.



## Conclusiones

El uso de las enfiadoras en las naves y fábricas industriales supone una mejora sustancial en la calidad final de los productos y un ahorro en los costes en el proceso de envolver las cargas. Por estos motivos y, después de realizar un estudio riguroso sobre todo lo que las relaciona, se considera que este producto aumenta la calidad y el rendimiento de una empresa.

Una vez ha concluido el diseño de la enfiadora semiautomática con plataforma giratoria se puede confirmar que el desarrollo teórico de todos los sistemas necesarios se ha realizado de manera adecuada para proceder a la verificación con pruebas experimentales más adelante si se requiere.

En el ámbito personal, destacar que la obtención de nuevos conocimientos ha sido una constante durante el transcurso del proyecto. La complejidad de algunas piezas de la enfiadora y el estudio de algunos sistemas han provocado que se hayan hechos diferentes modelos y variaciones hasta obtener el resultado reflejado en la presente memoria.

Una posible mejora que se ha observado en el transcurso del proyecto es la posibilidad de realizar el corte del plástico film de manera automática. No se descarta realizar un estudio de esta posibilidad más adelante, así como una evolución de todos los sistemas, en futuros trabajos del postgrado universitario en la escuela.



## Agradecimientos

Los autores del trabajo queremos agradecer el apoyo constante de nuestras familias durante la realización del proyecto, así como en todos los años que han transcurrido desde que empezamos el grado, motivándonos a superarnos día a día y a seguir trabajando y sobreponerse a las adversidades.

También queremos agradecer al tutor del presente proyecto, Dr. Emilio Angulo Navarro, por su constante ayuda y orientación en el transcurso del mismo y ofrecer siempre las mejores herramientas posibles para seguir formándonos. No ha sido una época sencilla, debido a la situación mundial producida por la pandemia del COVID-19, y él ha conseguido motivarnos e impulsarnos en todo momento.

Por último, agradecer a la empresa PRODUCTOS RAYEN S.L por facilitarnos en todo momento el acceso a sus instalaciones y por mostrarnos el funcionamiento de su máquina enfardadora semiautomática. Los operarios de almacén de la empresa merecen también una mención por su predisposición a ayudarnos en todo momento y por su trato hacia nosotros en todas las visitas realizadas.

# Bibliografía

## Referencias bibliográficas

[1] NOZAL, A. *Medidas de palets: ¿cuáles son los estándares más extendidos?*, 9 de Enero de 2018. [<https://www.logismarket.es/blog/medidas-palets-estandares-extendidos/>]

[2] *Palet Americano o Universal: Características, medidas y peso*, 15 de Octubre de 2020. [<https://www.transeop.com/blog/Palet-Americano-universal-caracteristicas-medidas/401/#:~:text=Ya%20que%20ambos%20palets%20se,mayor%20resistencia%20a%20cargas%20din%C3%A1micas>]

[3] CONTRERAS, I. *¿DE QUÉ ESTÁ HECHO EL STRETCH FILM O EMPLOYEE?* [<https://peliculaparaemplayar.com/de-que-esta-hecho-el-stretch-film/>]

[4] *Que es el Film Paletizable de Mundo Retráctil* [<https://www.abc-pack.com/noticias/que-es-el-film-paletizable-de-mundo-retractil/>]

[5] *La transpaleta eléctrica y manual* [<https://www.mecalux.es/manual-almacen/carretillas/transpaletas>]

[6] *Enfardadoras de palets: aplicaciones y tipos* [<https://www.embalajesterra.com/blog/enfardadoras-de-palets-uso-y-tipos/>]

[7] *5 claves de la enfardadora automática, un sistema que garantiza la sujeción y estabilidad del palet* [<https://www.innovamaquinaria.com/noticia/5-claves-de-la-enfardadora-automatica-un-sistema-de-que-garantiza-la-sujecion-y-estabilidad-del-palet/>]

[8] *Embalaje - Manutención - Logística > Acondicionamiento y Embalaje > Enfardadora* [<https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/enfardadora-73998.html>]

[9] VANEGAS, L. V. *Diseño de Elementos de Máquinas*, 2018 [<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8889/Dise%C3%B1o%20Elementos%20Maquinas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

[10] *Transmisión por Cadenas. Cálculo y diseño* [<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>]

[11] *Formas de construcción de cadenas articuladas de acero* [[http://www.cid.es/catalogos/wipp/Diseno\\_Transmision\\_Cadena\\_Rodillos\\_1.pdf](http://www.cid.es/catalogos/wipp/Diseno_Transmision_Cadena_Rodillos_1.pdf)]



- [12] *INSTRUCTION MANUAL C Tension Transducer MODEL C* [[https://dfe.com/pdfs/trn\\_modc-man-r12.pdf](https://dfe.com/pdfs/trn_modc-man-r12.pdf)]
- [13] *TENSION TRANSDUCERS Model C* [[https://dfe.com/pdfs/trn\\_modc-ds-r6.pdf](https://dfe.com/pdfs/trn_modc-ds-r6.pdf)]
- [14] *EasyWeb™ Torque Controller* [<https://dfe.com/products/easyweb.html>]
- [15] *SEB Series Spring-Engaged Power-Off Brakes* [<https://sepac.com/wp-content/uploads/protected/SEPAC-SEB-Data-Sheet-1.pdf>]
- [16] [<https://www.hepcomotion.com/>]
- [17] Departamento de ingeniería eléctrica, electrónica y de control UNED, *Controladores Industriales Inteligentes* [[http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE\\_6\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE_6_1_1.pdf)]
- [18] CRUZ, D. *¿Cómo funcionan los sensores fotoeléctricos/fotoceldas/fotobeams?*, Diciembre 2020 [<https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/360001380312--C%C3%B3mo-funcionan-los-sensores-fotoel%C3%A9ctricos-fotoceldas-fotobeams->]
- [19] *42JT VisiSight* [[https://rockwellautomation.custhelp.com/app/products/detail/categoryRecordID/RN\\_PRODUCT\\_2512/p/2512/~/42jt-visisight](https://rockwellautomation.custhelp.com/app/products/detail/categoryRecordID/RN_PRODUCT_2512/p/2512/~/42jt-visisight)]
- [20] Esteban, B. *Todo sobre la enfardadora y enfardadora de palets*, 12 de Noviembre de 2020 [<https://dealdos.com/blog/enfardadora-de-palets/>]
- [21] Canales, D. *Cómo evitar robos de mercancía en procesos logísticos: el rol de la máquina enfardadora de palets*, 9 de Setiembre de 2015. [<http://maquinaria-de-embalaje.com/128>]
- [22] [<http://www.condesa.com/inicio.html>]
- [23] Products - Rolling bearings - Roller bearings - Tapered roller bearings - Single row tapered roller bearings [<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-31309>]
- [24] [<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley.html>]
- [25] [<https://www.justdial.com/>]
- [26] [<http://www.classicshipping.in/pallet-packing.php>]

## Bibliografía complementaria

GÓMEZ, C. *Ventajas que ofrecen los palets*, 8 de Marzo de 2018. [<https://www.sertrans.es/transporte-de-mercancias/ventajas-que-ofrecen-los-palets-en-el-envio-de-mercancias/>]

*¿Qué es la Película Stretch?*, 16 de Enero de 2012. [<http://www.packsys.com/blog/que-es-la-pelicula-stretch/>]

*Tipos de enfardadoras*, 16 de Julio de 2015 [<http://www.mekkam.com/maquinas-industriales/tipos-de-enfardadoras/>]

*Descubre las ventajas del enfardado de palets: seguridad y estabilidad*, 19 de Agosto de 2015 [<https://www.maquituls.es/noticias/descubre-las-ventajas-del-enfardado-de-palets-seguridad-y-estabilidad/>]

*¿QUÉ ES UN PLC? ¿CÓMO FUNCIONA? ¿PARA QUÉ SIRVE?*, [<https://srcsl.com/que-es-un-plc/#:~:text=B%C3%A1sicamente%2C%20la%20funci%C3%B3n%20que%20tiene,de%20programaci%C3%B3n%20cuando%20son%20necesarias>]

*QUÉ ES UN AUTÓMATA PROGRAMABLE O PLC Y CÓMO FUNCIONA*, [<https://www.cursosaula21.com/que-es-un-automata-programable-o-plc-y-como-funciona/>]

*¿Qué tipos de sensores fotoeléctricos existen?*, 14 de Abril de 2016 [<https://www.contaval.es/que-tipos-de-sensores-fotoelectricos-existen/>]