



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

CASCADORA INDUSTRIAL DE ALMENDRAS

INDUSTRIAL ALMOND CRUSHER

Autor

**DANIEL GUILLÉN SEBASTIÁN**

Director

**Pedro Pablo Huerta Abad**  
Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

2020





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

**CASCADORA INDUSTRIAL DE  
ALMENDRAS**

**INDUSTRIAL ALMOND CRUSHER**

**424.17.47**

Autor: Daniel Guillén Sebastián

Director: Pedro Pablo Huerta Abad

Fecha: 4-02-2020



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
1.1. PALABRAS CLAVE	1
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>4. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
4.1. NORMATIVA	7
4.2. SEPARACIÓN POR TAMAÑOS INICIAL	9
4.2.1 TAMIZADORA	9
4.2.2 CILINDROS CON ÁNGULO DE SEPARACIÓN	10
4.2.3 SEPARACIÓN MEDIANTE SENSORES ÓPTICOS	11
4.3. MÉTODO PARA PARTIR CÁSCARAS	12
4.3.1 PLACA VIBRADORA	12
4.3.2 EJE EXCÉNTRICO	13
4.3.3 EJE	13
4.4. MÉTODO PARA SEPARAR ALMENDRAS DE CÁSCARAS	16
4.4.1 MESA DENSIMÉTRICA	16
4.4.2 CRIBAS VIBRATORIAS	17
4.5. ZONA DE CONTROL	18
4.5.1 DEFINICIÓN DE PLC	18
4.5.2 FUNCIONAMIENTO DEL PLC	19
4.5.3 ELECCIÓN DE PLC	20
4.5.4 ACTUADORES	20
4.5.5 SERVOMOTORES	21
4.5.6 MOTORES PASO A PASO	22
4.6. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA	25
<b>5. DESARROLLO</b>	<b>26</b>

5.1.	ALIMENTACIÓN Y CLASIFICACIÓN	26
5.1.1	TOLVA DE ALIMENTACIÓN	26
5.1.2	SISTEMA CLASIFICADOR	29
5.1.3	TAMAÑO DE LOS CILINDROS SEPARADORES	30
5.1.4	MOTORES PARA CILINDROS SEPARADORES	38
5.1.5	RODAMIENTOS PARA CILINDROS SEPARADORES	41
5.2	ZONA DE DESCASCARADO	49
5.2.1	ELECCIÓN MÉTODO PARA PARTIR ALMENDRAS	49
5.2.2	ENSAYO RESISTENCIA A ROTURA ALMENDRAS	50
5.2.3	MOTOR PARA EL EJE CASCADOR	52
5.2.4	ACTUADOR PARA CASCADOR	55
5.2.5	RODAMIENTOS PARA EL EJE CASCADOR	56
5.3	ZONA DE CRIBADO	60
5.3.1	ELECCIÓN MÉTODO SEPARADOR	60
5.3.2	DISEÑO FINAL ZONA DE CRIBADO	68
5.4	ESTRUCTURA	71
5.5	ZONA DE CONTROL	74
5.5.1	RED PROFIBUS	74
5.5.2	CUADRO DE MANDO	75
5.5.3	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	76
5.6	DISEÑO FINAL SISTEMA	81
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>82</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>83</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tamizadora .....	9
Ilustración 2. Tolva y cilindros .....	10
Ilustración 3. Sensor óptico.....	11
Ilustración 4. Placa vibratoria .....	12
Ilustración 5. Eje excéntrico .....	13
Ilustración 6. Eje con tres salientes.....	14
Ilustración 7. Eje con rombos .....	14
Ilustración 8. Pared de contragolpeo .....	14
Ilustración 9. Funcionamiento mesa densimétrica .....	16
Ilustración 10. Criba vibratoria .....	17
Ilustración 11. Servomotor .....	22
Ilustración 12. Esquema de grupos .....	25
Ilustración 13. Esquema general del sistema .....	25
Ilustración 14. Zona de alimentación y calibración .....	26
Ilustración 15. Tolva de sección cuadrada .....	27
Ilustración 16. Semejanza de triángulos .....	31
Ilustración 17. Semejanza de triángulos en este caso.....	31
Ilustración 18. Rodillos calibradores y tolvas .....	33
Ilustración 19. Unión motor a cilindros .....	33
Ilustración 20. Servomotor akm .....	34
Ilustración 21 . Actuador unido a estructura.....	34
Ilustración 22. Conexión encoder servomotor .....	35

Ilustración 23. Curva disparo magnetotermico.....	36
Ilustración 24. Rodamiento de bola a rótulo .....	41
Ilustración 25. Diagrama esfuerzos apoyo cilindro .....	42
Ilustración 26. Solución gráfica apoyos.....	42
Ilustración 27. Unión cilindro y motor con rodamiento .....	47
Ilustración 28. Cilindro conectado a motor con cardan.....	48
Ilustración 29. Zona de descascarado.....	49
Ilustración 30. Rodillo y pared de contragolpeo .....	50
Ilustración 31. Máquina ensayos.....	51
Ilustración 32. Especificaciones máquina ensayos .....	51
Ilustración 33. Almendra vertical .....	51
Ilustración 34. Almendra tumbada .....	51
Ilustración 35. Almendra horizontal.....	51
Ilustración 36. Descomposición de fuerzas .....	55
Ilustración 37. Zona de cribado .....	60
Ilustración 38. Biela excéntrica.....	61
Ilustración 39. Cribas .....	61
Ilustración 40. Cribas .....	62
Ilustración 41. Mecanismo biela.....	62
Ilustración 42. Rodamiento lineal.....	63
Ilustración 43. Cálculo de biela.....	64
Ilustración 44. Cálculo biela .....	64
Ilustración 45. Mesa lineal .....	67
Ilustración 46. Guía compacta .....	67
Ilustración 47. Conexión motor paso a paso .....	69

Ilustración 48. Estructura completa.....	71
Ilustración 49. Perfil estructural.....	71
Ilustración 50. Unión perfiles estructurales .....	72
Ilustración 51. Cubo conector perfiles 20x20 .....	72
Ilustración 52. Unión perfiles en perpendicular .....	72
Ilustración 53. Nivelador.....	73
Ilustración 54. Conector para tornillos .....	73
Ilustración 55. Zona de control .....	74
Ilustración 56. Esquema conexión profibus .....	75
Ilustración 57. Esquemas eléctricos .....	80
Ilustración 58. Diseño final sistema completo .....	81

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grosor almendras.....	30
Tabla 2. Selección cableado .....	37
Tabla 3. Coeficiente dinámico FL según el tipo de montaje y clases de esfuerzo	44
Tabla 4. Coeficiente de velocidad para rodamientos de bolas FN .....	45
Tabla 5. Coeficiente de temperatura de servicio FT .....	46
Tabla 6. Coeficientes radial y axial .....	46



# 1. RESUMEN

El objeto del trabajo final de grado es realizar el diseño de una cascadora de almendras, capaz de realizar una calibración inicial separando almendras grandes de pequeñas, romperlas tratando de que el mayor número de frutos salgan enteros, y realizar una separación final entre frutos y cáscaras.

Los tres procesos, calibración, descascarado y cribado final, serán controlados con un PLC, que controlará mediante una red PROFIBUS los servomotores y motores paso a paso de cada proceso, que se emplearán para buscar una alta precisión en cada proceso.

El sistema contará también con un panel de operador, formado por un interruptor principal, un botón de paro de emergencia, y una pantalla a través de la cual se pueda realizar el escada necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

## 1.1. PALABRAS CLAVE

**Calibrar:** Proceso mediante el cual se separan las almendras en diferentes tamaños

**Descascar:** Quitar la cáscara de las almendras, tratando de que los frutos queden intactos.

**Cribado:** Proceso en el que se hacen pasar las almendras por varias cribas, o mallas, de diferentes tamaños de agujeros, con la intención de separar los frutos de las cáscaras

**PLC:** Es un controlador lógico programable, (en inglés Programmable Logic Controller), y se trata de una computadora utilizada para la automatización de procesos industriales sensorizados, que indican el estado del proceso, permitiendo al autómatas ordenar a través de sus salidas (ya sean analógicas o digitales) realizar cambios en el mismo a través de actuadores.



**Servomotor:** Un servomotor es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado. Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición.

## 2. ABSTRACT

The purpose of the final degree work is to design an almond crusher, which could make an initial calibration, separating big almonds from small ones, breaking them up trying to get the largest number of fruits to come out whole, and make a final separation between fruits and shells.

The three processes, calibration, crushing and final screening, will be controlled by a PLC, which will control the servomotors and stepper motors of each process through a PROFIBUS network, which will be used to find high precision in each process.

The system will also have an operator panel, consisting of a principal switch, an emergency stop button, and a screen where you can make the necessary scada for the correct functioning of the system.

### 3. INTRODUCCIÓN

El proceso que sigue una planta dedicada al tratamiento de las almendras es el siguiente:

En primer lugar, se recibe en la planta el producto, y se realiza el pesaje y se toman muestras con las que se pueda determinar la calidad, el porcentaje de humedad, el porcentaje de almendras de clases mezcladas, el porcentaje de almendras no validas...

A continuación tiene lugar la prelimpia, que es el proceso mediante el cual se eliminan las impurezas que posean las almendras propias de la cosecha, como pueden ser hojas, tierra, ramas...

Una vez limpias, las almendras pasan a unos silos de almacenamiento, donde permanecen hasta que se transportan a los silos de mojado, en los que se procede a mojar las almendras para facilitar el posterior descascarado y evitar que se dañe el grano. La almendra ya mojada se almacena en silos entre 24 y 48 horas.

Pasado este tiempo, las almendras pasan una separación por calibres, donde se separan las almendras por distintos tamaños, y a continuación se produce la rotura de la cáscara.

Posteriormente, cáscaras y frutos pasan a una máquina separadora, donde se separan las cáscaras de los frutos ya cascados.

A continuación el grano se selecciona mediante medidas de selección visual, con objeto de que se cumplan los requisitos de calidad, evitando que pasen granos de calidad inferior a la deseada.

Las almendras que han pasado el proceso de selección, pasan a los secaderos, donde se secan al estar expuestas durante 6-8 horas a aire caliente.

Tras el secado, se da una nueva inspección para asegurar que no hayan pasado posibles impurezas en un banco selector manual, donde las almendras pasan y son inspeccionadas por un equipo humano, previamente a su envasado final.

En este caso, el trabajo fin de grado se va centrar en el diseño de un sistema capaz de realizar el calibrado inicial por tamaños, el descascarado, y separación final de cáscaras y frutos, orientado a dar servicio a pequeñas cooperativas de agricultores, o a agricultores que quieran vender su producto a nivel local.



El objetivo que se pretende es lograr un sistema que agrupe las partes de separación inicial por tamaños, descascarado y separación de cáscaras y frutos posterior al descascarado.

Se deberá incorporar un autómata que permita controlar la máquina.

El sistema deberá estar preparado para trabajar cascando almendras de distintos tamaños y de distintas durezas.

## 4. ANTECEDENTES

El cascado de las almendras se realizaba de forma completamente manual hasta la década de 1920-1930, donde aparecieron las primeras máquinas para partir frutos secos. En España, por ejemplo, la primera máquina que apareció fue en 1931, diseñada por la empresa IVARS.

Estas máquinas descascaraban alrededor de 2000 kilos de almendras al día, y era necesario hacer una separación manual total después del descascarado.

Entre los años 1941-42, de la empresa Borrell lanzó al mercado una nueva cascadora de almendras capaz de producir unos 4.000/4.500 Kg. Diarios, y además introducía la novedad de ser la primera máquina a la que se le podría acoplar una máquina separadora de cáscara.

Desde entonces hasta la actualidad, se ha avanzado mucho en este tipo de maquinaria.

Por ejemplo, la empresa Borrell mencionada anteriormente, a día de hoy sigue trabajando en maquinaria de este sector, y ha desarrollado una máquina que parte las almendras y las descascara a una velocidad de entre unos 1000kg/h hasta los 5000kg/h.

Otra empresa de este sector es Industrias Garriga S.L. La cual se dedica a montar plantas completas para realizar todo el procesado de las almendras. En este caso la empresa no especifica la velocidad de las cascadoras, sino que nos indica que sus plantas tienen la capacidad de procesar desde 500kg/h hasta 6000kg/h.

La empresa plachisa también tiene en el mercado una máquina, que trabaja a una velocidad de unos 100 kg/h. Esta además incorpora un sistema de separación inicial de almendras por tamaños, consistente en unos cilindros que se van separando con un determinado ángulo.

El objetivo de este trabajo fin de grado será diseñar un sistema que vaya orientado a dar servicio a pequeñas cooperativas de agricultores, o agricultores que quieran vender su producto directamente al consumidor.

## 4.1. NORMATIVA

Antes de comenzar con el diseño de la cascadora de almendras, se hace una búsqueda sobre la normativa que debe cumplir, al tratarse de una máquina que estará en contacto con alimentos.

Las instalaciones y equipos en la industria alimentaria deben estar diseñados y contruidos de acuerdo a unos principios de diseño higiénico para garantizar la seguridad de los alimentos.

La legislación europea establece en la Directiva 98/37/EC y el Reglamento 852/2004/CE algunos de los principios generales del diseño higiénico, como por ejemplo que el diseño de los equipos y locales permitirán un mantenimiento, limpieza y desinfección adecuados, su construcción, composición y estado de conservación deberán reducir al mínimo el riesgo de contaminación de los productos alimenticios, evitarán la acumulación de suciedad, el contacto con materiales tóxicos y el depósito de partículas en los productos alimenticios y la formación de condensación o moho indeseable en las superficies. Sin embargo, la legislación no establece requisitos específicos para garantizar el diseño higiénico. [1]

Otra norma internacional de referencia es la UNE-EN ISO 1672 con el título "Maquinaria para procesado de alimentos: conceptos básicos y requisitos de higiene", que especifica los requisitos de higiene comunes aplicables a la maquinaria para la preparación y el procesado de alimentos, con el fin de eliminar o minimizar el riesgo de contagio, infección, enfermedad o lesión causados por los alimentos.

De estas dos normas, se pueden sacar los siguientes criterios que deberá cumplir nuestra cascadora de almendras:

- Facilidad de limpieza: Un diseño higiénico correcto garantiza que la instalación o el equipo se pueden limpiar de forma adecuada y que sus superficies y componentes resisten el contacto con los productos alimentarios y los productos químicos que se utilizan para la limpieza.
- Accesibilidad y facilidad de desmontaje: Las partes principales de los equipos deben ser fáciles de desmontar para que se pueda realizar su limpieza de forma relativamente rápida, seguida de su montaje. Los elementos del equipo, para facilitar la limpieza, se deben poder desmontar fácilmente a mano o con herramientas sencillas.



Y en cuanto a los materiales a emplear, la normativa nos indica que deben ser resistentes a la corrosión, no tóxicos, mecánicamente estables, de fácil limpieza y no deben contribuir a la proliferación de microorganismos. Además deben ser completamente compatibles con el producto, el entorno, y los productos y los métodos de limpieza y desinfección. Su acabado superficial no debe verse afectado por las condiciones del uso al que se destinan. [2]

Los materiales más recomendados son:

- Acero inoxidable (los más utilizados en la industria alimentaria son el AISI-304L y el AISI-316L, aunque en casos donde haya un alto riesgo de corrosión se pueden emplear aceros AISI-410, AISI-409, AISI-329).
- Aluminio, dado que presenta una magnífica resistencia a la corrosión. Hay que tener en cuenta sin embargo que posee una dureza, lo que puede producir alto desgaste en según qué usos se emplee.
- Materiales polímeros, que presentan numerosas propiedades que los hacen aptos para la industria alimenticia, como por ejemplo su buena resistencia a la corrosión, su baja densidad o su amplio rango de utilización.

## 4.2. SEPARACIÓN POR TAMAÑOS INICIAL

Se debe realizar una separación por tamaños previa al descarado, ya que dentro de una misma clase de almendra, las variaciones de tamaño y forma pueden ser importantes, y de esta forma se podrá optimizar el rendimiento de la máquina para que rompa el mayor número de cáscaras posibles sin romper el fruto.[3]

En las plantas dedicadas al procesado de las almendras, la calibración tiene lugar en máquinas distintas a las de descascarado. La mayor parte de empresas que producen maquinaria para este sector, se dedican a realizar montaje de plantas enteras, por ello instalan máquinas dedicadas exclusivamente a la calibración de almendras por tamaños, ya que de esta forma pueden conseguir mayores velocidades de producto. Como podemos ver en los antecedentes, la máquina de la empresa Plachisa tiene una velocidad inferior a la descascadora de la empresa Borrel, y esto se debe a que la velocidad de la calibración es menor con el sistema implementado en la propia máquina que si este calibrado tiene lugar en máquinas aparte.[2]

Por tanto, en nuestra máquina, ya que el objetivo es diseñar una máquina que realice calibración, cascado y separación final, la velocidad vendrá determinada por el sistema de calibración

### 4.2.1 TAMIZADORA

Esta clasificación se podría realizar con una tamizadora, como la que se muestra en la imagen.

El tamizado es un proceso físico que sirve para separar elementos de diferentes tamaños. [5]

La tamizadora está formada por varias cribas en su interior, las cuales están sometidas a vibración. [6]

En este caso, cada nivel de criba tendría un orificio de salida por el que saldrían las almendras, y pasarían a una serie de tolvas, que se irían llenando cada una con almendras de tamaños similares.



**Ilustración 1. Tamizadora**

## 4.2.2 CILINDROS CON ÁNGULO DE SEPARACIÓN

Como se muestra en la imagen, el sistema consta de una tolva que termina sobre dos rodillos, que están en contacto al comienzo, y se van separando con un determinado ángulo.

En este sistema, se realizaría un llenado de la tolva, y las almendras irían cayendo y avanzando sobre los cilindros, hasta que llegaran al punto en el que la separación de los cilindros fuese tal que estas cayeran. Debajo de los cilindros, se colocarían unas nuevas tolvas que se irían llenando con almendras de tamaños similares, y de ahí ya pasarían directamente a la zona de descascarado. [7][8]

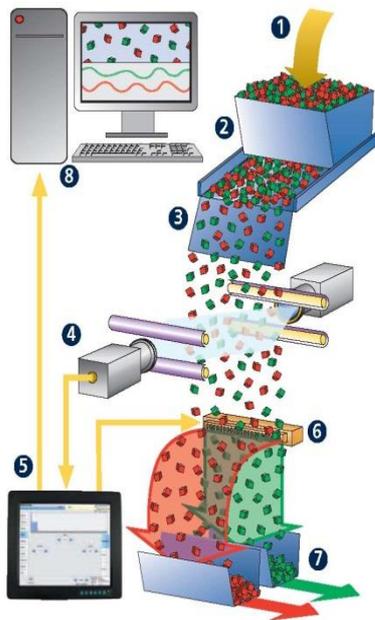


**Ilustración 2. Tolva y cilindros**

## 4.2.3 SEPARACIÓN MEDIANTE SENSORES ÓPTICOS

El funcionamiento de este tipo de sistemas de clasificación óptica es el siguiente:

A través de un alimentador vibrante, el material es suministrado como material suelto en forma de mono capa, sin que haya ningún elemento encima de otro, a una rampa. Aquí, es acelerado y escaneado a todo lo ancho de la superficie de trabajo por una o dos cámaras lineales a color de alta resolución mientras cae. Las imágenes escaneadas son evaluados por un ordenador que trabaja en paralelo y, en cuestión de pocos milisegundos, válvulas de aire comprimido actúan de manera controlada sobre las partículas indeseadas rechazándolas del flujo de material. [9]

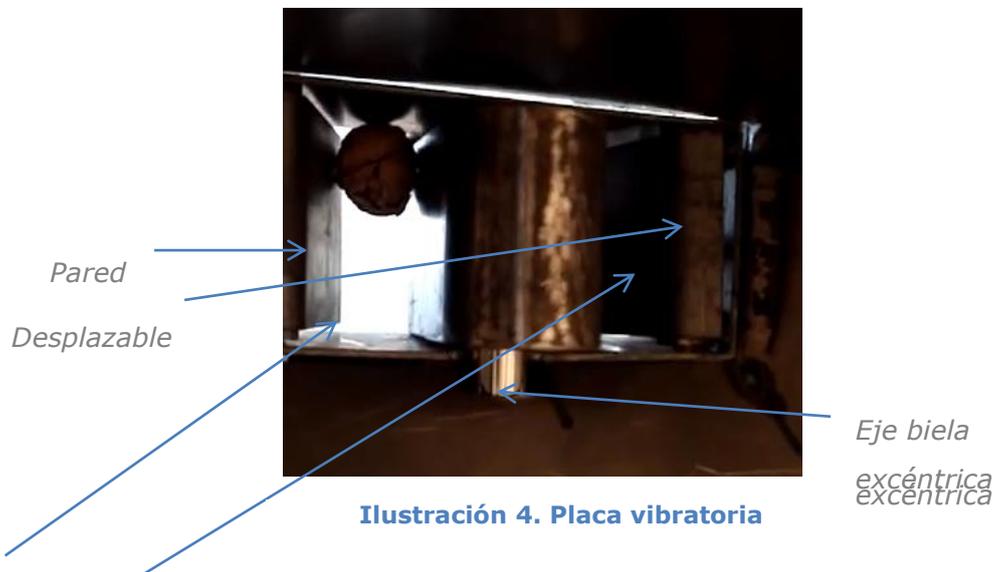


1. Entrada de material
2. Distribución y transporte
3. Aceleración y separación
4. Exploración del material mediante distintos sistemas ópticos
5. Evaluación mediante tecnología de procesadores paralelos de alta velocidad
6. Separación con exactos impulsos neumáticos
7. Salida de los productos por separado
8. Conexión a la red

Ilustración 3. Sensor óptico

## 4.3 MÉTODO PARA PARTIR CÁSCARAS

### 4.3.1 PLACA VIBRADORA



*Zonas en las que se colocan*  
*las almendras*

Las almendras se alojan en las dos zonas colocadas a los lados de la placa central, que será la que realice la rotura de estas. La placa realiza un movimiento de aproximación hacia cada una de las paredes, producido gracias a un eje excéntrico, conectado a un motor. La placa se aproxima hacia la pared de la derecha, rompe la almendra que esté en ese lugar, y seguido se aproxima hacia la pared de la izquierda hasta que produce la rotura de la almendra situada en esa zona. Al desplazarse hacia la pared del otro lado, la almendra ya cascada cae, y una nueva almendra ocupa el lugar vacío, y será cascada cuando la placa central vuelva hacia esta posición.

Las paredes laterales se pueden aproximar o alejar de la zona central, en función del tamaño de las almendras. [10]

### 4.3.2 EJE EXCÉNTRICO

Las almendras caen todas por el mismo lado del eje, el cual es excéntrico respecto al motor que le hace girar. Cada vuelta que da el eje, golpea a las almendras y produce la rotura.

La pared contra la que golpea es una pared desplazable, de modo que se pueda ajustar para calibrar la cascadora en función del tamaño de las almendras a cascar. [11]

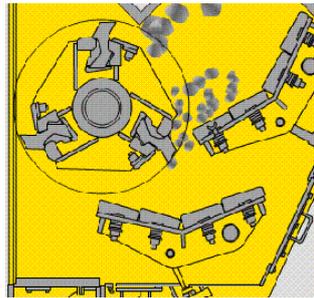


**Ilustración 5. Eje excéntrico**

### 4.3.3 EJE

Las almendras caen entre un eje, que gira a una velocidad constante, y una pared con una leve curvatura. La pared es desplazable, y será la forma de poder calibrar nuestra máquina para que se produzca la rotura a la fuerza y distancias necesarias en función de la clase de almendra con la que se esté trabajando.

Para que se produzca la rotura, el eje debe poseer unos salientes que sean los que golpeen contra las almendras.



**Ilustración 6. Eje con tres salientes**

En la imagen se aprecia un eje con tres salientes, que realizarán la rotura al golpear contra las almendras. La imagen está obtenida del funcionamiento de una machacadora de piedras por impacto. [12]

Otra opción para el eje, sería que su superficie estuviera llena de muescas con forma de rombo.



**Ilustración 7. Eje con rombos**

De este modo, las almendras serían arrastradas desde el interior del rombo, romperían cuando golpearan con la pared de contragolpeo, y la propia pared del rombo sirve para arrastrar la cáscara y los frutos para que caigan y no se produzca un atasco en la zona de descascarado.



**Ilustración 8. Pared de contragolpeo**

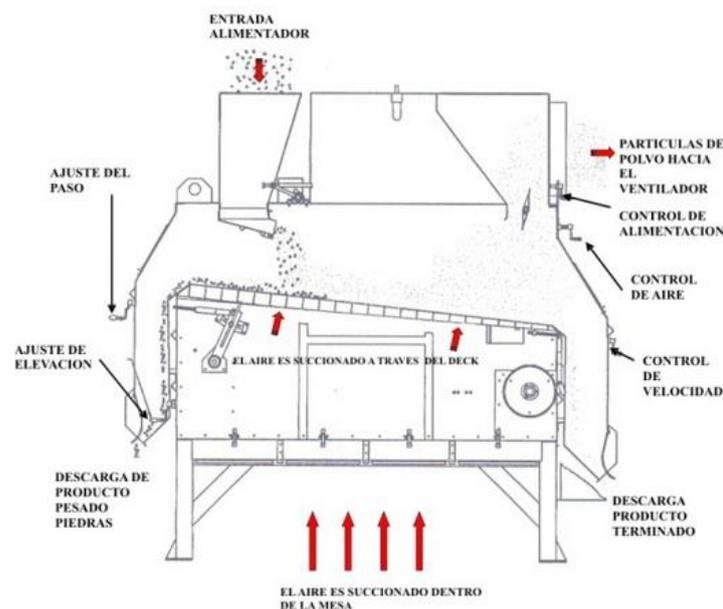


En la imagen se aprecia la forma que debería tener la pared contra la que golpea el eje. Se le debe dar una curvatura al final para que retenga las almendras hasta que sean descascaradas. [13]

## 4.4 MÉTODO PARA SEPARAR ALMENDRAS DE CÁSCARAS

### 4.4.1 MESA DENSIMÉTRICA

Una mesa densimétrica tiene la función de separar materiales con diferentes pesos y que sean de tamaños similares. A continuación se muestra una imagen para explicar su funcionamiento:

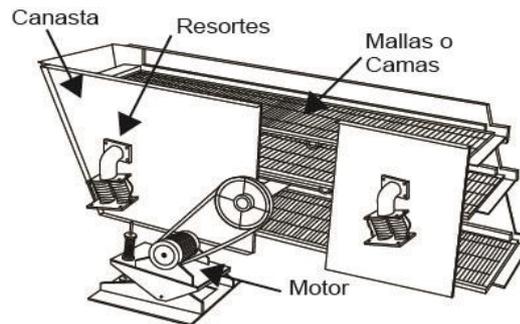


**Ilustración 9. Funcionamiento mesa densimétrica**

Los materiales a separar caen por la tolva de entrada. Pasan por una corriente de aire, donde empiezan a separarse los elementos más pesados de los más ligeros. Después, van llegando a la mesa inclinada, la cual se mueve con una vibración constante, de forma que los materiales más pesados caen por la parte superior de la rampa, mientras que los más ligeros caerán por la parte inferior. [14][15]

## 4.4.2 CRIBAS VIBRATORIAS

En este sistema, la separación consistirá en dos cribas, las cuales estarán en vibración constante. En primer lugar, una que tendrá los agujeros de tamaño mayor al tamaño de los frutos, para que estos caigan y se queden las cáscaras grandes encima. A continuación, caerán las almendras y las cáscaras pequeñas sobre otra criba con orificios más pequeños que el tamaño de las almendras, para que caigan las cáscaras pequeñas, y queden sobre esta las almendras ya cascadas. [16][17]



**Ilustración 10. Criba vibratoria**

## 4.5 ZONA DE CONTROL

Las diferentes soluciones dadas a los diferentes grupos que conforman el sistema tienen a priori un accionamiento manual e individual. Uno de los objetivos es lograr controlar todo el sistema desde un PLC.

El PLC deberá de poder controlar una red PROFIBUS, mediante la cual se podrán controlar diferentes partes de nuestro sistema.

También habrá que tener en cuenta que el sistema debe disponer de un panel de operador, para que el operario pueda interactuar con el sistema. Para ello, se utilizará un HMI.

Un HMI (Human-Machine Interface) es una 'interfaz hombre-máquina', un panel de control diseñado para conseguir una comunicación interactiva entre operador y proceso/máquina, con la función de transmitir ordenes, visualizar gráficamente los resultados y obtener una situación del proceso/máquina en tiempo real.

El HMI que se emplee deberá poder controlarse mediante la red PROFIBUS de nuestro sistema.

Además, el PLC deberá ser capaz de trabajar en condiciones de vibración y ser resistente al polvo.

### 4.5.1 DEFINICIÓN DE PLC

Un PLC, o controlador lógico programable, es un dispositivo electrónico que se utiliza para controlar de forma automática diferentes procesos o máquinas.

Un PLC se compone de diferentes partes, las cuales pueden estar integradas, o ir en diferentes módulos. Estas partes son:

- Fuente de alimentación: Suministra energía eléctrica a la CPU y a los diferentes módulos del PLC
- CPU: Es la unidad central de procesamiento. Es la encargada de procesar cada una de las órdenes que se incluyen en el PLC al programarlo

- Módulos de entrada y salida: Se emplean para crear una conexión física entre la CPU y el sistema a controlar. Módulos de entrada son aquellos que le mandan una realimentación al PLC para que este procese datos. Módulos de salida son aquellos por los que el PLC envía respuestas para controlar los procesos.
- Módulos de memoria: Son módulos en los que se almacenan los programas que incluimos en el PLC.[18]

## 4.5.2 FUNCIONAMIENTO DEL PLC

Una vez que se enciende, el procesador realiza una serie de tareas en el orden que se expone a continuación:

a) Al encender el procesador ejecuta un auto-chequeo de encendido y bloquea las salidas. A continuación, si el chequeo ha resultado correcto, el PLC entra en el modo de operación normal.

b) El siguiente paso lee el estado de las entradas y las almacena en una zona de la memoria que se llama tabla de imagen de entradas.

c) En base a su programa de control, el PLC actualiza una zona de la memoria llamada tabla de imagen de salida.

d) A continuación el procesador actualiza el estado de las salidas "copiando" hacia los módulos de salida el estado de la tabla de imagen de salidas (de este modo se controla el estado de los módulos de salida del PLC, relay, triacs, etc.).

e) Vuelve a ejecutar el paso b)

Cada ciclo de ejecución se llama ciclo de barrido (scan), el cual normalmente se divide en:

- Verificación de las entradas y salidas
- Ejecución del programa [19][20]

### 4.5.3 ELECCIÓN DE PLC

El PLC que se implantará en este proyecto será un Siemens SIPLUS S7-1200, de la gama SIPLUS EXTREME de Siemens. Es un PLC suficientemente preparado para esta cascadora de almendras, ya que está preparado para trabajar con normalidad en condiciones de vibración y es resistente al polvo.

Además, cumple con la normativa vigente de higiene, accesibilidad, y fácil limpieza para evitar que se acumulen elementos tóxicos que puedan llegar a entrar en contacto con los alimentos.

Para poder realizar la red PROFIBUS, se deberá acoplar el módulo Módulo CM 1243-5.

### 4.5.4 ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo que transforma energía eléctrica, hidráulica o neumática, con el objetivo de crear un efecto sobre un determinado proceso automatizado.

Existen dos tipos:

-Lineales que son los que generan una fuerza en línea recta, como lo efectúa un pistón.

-Rotativos que son los que crean una fuerza rotatoria, como lo realiza un motor eléctrico. [21]

En este caso, se necesitan actuadores lineales eléctricos, ya que será necesaria una precisión milimétrica, debido a que las diferencias entre almendras de una clase u otra es pequeña. Además, los cilindros eléctricos son autoblocantes, lo que significa que en estado de reposo no requieren energía. Esto hace que sean una alternativa mejor que los actuadores neumáticos e hidráulicos. [22]

Dentro de los actuadores lineales eléctricos, cuando sea necesario elegir uno, deberemos tener en cuenta que respecto al control de estos, puede haber actuadores eléctricos sin control, con dos pulsadores de fin de carrera, que permiten detectar cuando el émbolo ha alcanzado una posición terminal, o actuadores lineales

controlables, con un potenciómetro que proporcione una medida analógica de la posición del émbolo. [23]

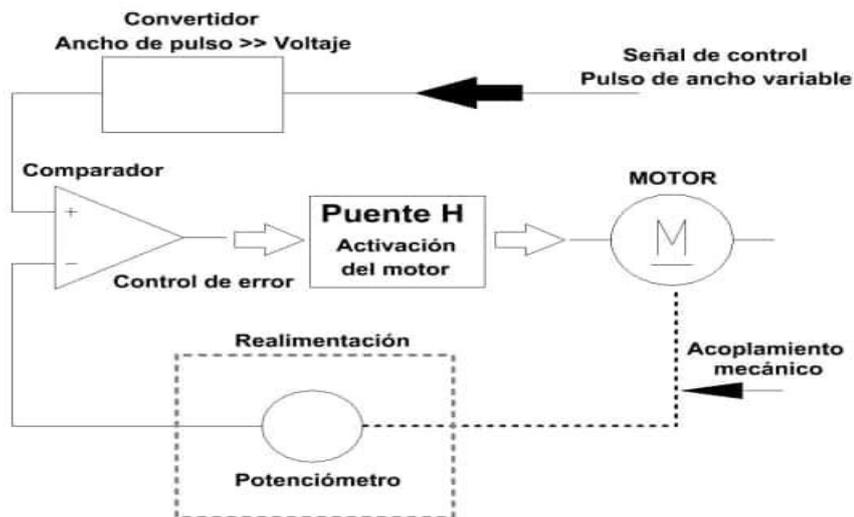
Como actuadores rotatorios, el sistema contará con un motor monofásico, que deberá ser calculado e incluido en la zona de descascarado, y dos motores de corriente continua, que se utilizarán en la zona de descascarado.

## 4.5.5 SERVOMOTORES

Un servomotor es un dispositivo de accionamiento para el control con precisión de velocidad, par motor y posición. En su interior se encuentra un encoder, que convierte el movimiento mecánico (giros del eje del motor) en pulsos digitales interpretados por un controlador de movimiento. También se emplea un driver para poder controlarlo, con el que se constituye un circuito para comandar posición, torque y velocidad. [24]  
[25]

Un servomotor se compone de las siguientes partes:

- **Un motor eléctrico:** Que es el encargado de generar el movimiento a través de su eje.
- **Un sistema de control:** Este sistema permite controlar el movimiento del motor mediante el envío de pulsos eléctricos.
- **Un sistema de regulación:** Está formado por engranajes por los cuales puede aumentar la velocidad y el par o disminuirlas.
- **Un potenciómetro:** Se encuentra conectado al eje central y permite en todo momento saber el ángulo en el que se encuentra el eje del motor. [26]



**Ilustración 11. Servomotor**

Para controlar los servomotores, hay diversas opciones. Por ejemplo, se podría calcular directamente desde las salidas analógicas del PLC, mediante las que se le podría enviar la corriente para accionar el servo.

Otra opción para controlar servos desde el PLC sería mediante la modulación de ancho de pulso, más conocida como PWM. Este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la posición del servo según se desee.

En este caso, el control se pretende realizar mediante la red PROFIBUS comentada anteriormente. Para ello, además del servomotor, será necesario contar con un driver que permita conectar servos y PLC mediante una conexión PROFIBUS.

## 4.5.6 MOTORES PASO A PASO

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso se emplean en mecanismos que requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8°. Por ello, pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un controlador.

El funcionamiento está basado en un estator construido por varios bobinados en un material ferromagnético, y un rotor que puede girar libremente en el estator.

Estos diferentes bobinados son alimentados uno a continuación del otro y causan un determinado desplazamiento angular que se denomina "paso". [27]

Existen tres tipos de motores paso a paso:

- De reductancia variable: Este motor no utiliza un campo magnético permanente, como resultado puede moverse sin limitaciones o sin un par de parada. Este tipo de montaje es el menos común y se usa, generalmente, en aplicaciones que no requieren un alto grado de par de fuerza, como puede ser el posicionamiento de un mando de desplazamiento.
- De imán permanente: Existen dos tipos de motores de imán permanente que son los más utilizados en la robótica:

**Unipolares**, que son motores con 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexionado interno, suelen ser 4 cables por los cuales se recibe los pulsos que indican la secuencia y duración de los pasos y los restantes sirven como alimentación del motor. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

**Bipolares**, que, por lo general, son motores con 4 cables de salida, necesitan ciertas manipulaciones para poder ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento, es necesario un puente H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor paso a paso de 4 cables (dos bobinas), se necesitan usar dos puentes H. Esto hace que la tarjeta controladora se vuelva más compleja y costosa. Su uso no es tan común como en el caso de los de tipo unipolar.

- Híbrido: La expresión Motor paso a paso híbrido se refiere a un motor eléctrico del tipo paso a paso, cuyo funcionamiento se basa en la combinación de los otros dos tipos de motores paso a paso explicados

anteriormente (motor de reductancia variable y motor de imán permanente).  
[28]

Al igual que los servomotores, hay varias opciones para poder controlar los motores paso a paso mediante el PLC.

Por ejemplo, el método más común es mediante PWM, que funciona de la misma manera que con los servomotores.

En este sistema, se controlará mediante la red PROFIBUS, de la misma manera que los servos. Para ello, se deberá contar con un driver que permita incluir los motores paso a paso en la red PROFIBUS.

## 4.6 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

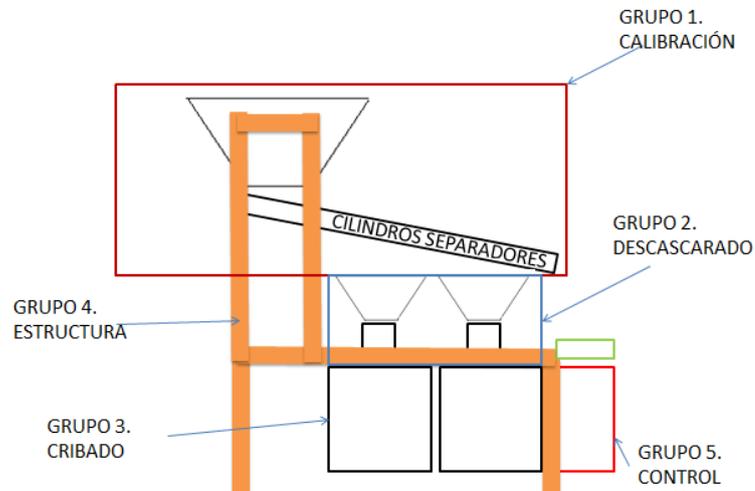


Ilustración 12. Esquema de grupos

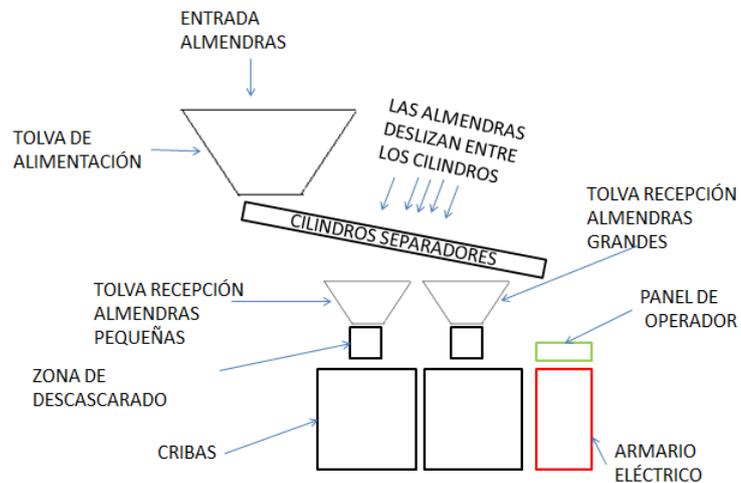
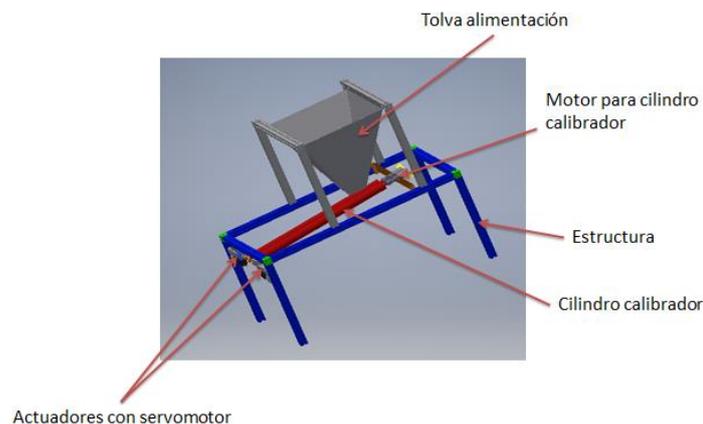


Ilustración 13. Esquema general del sistema

## 5. DESARROLLO

### 5.1. ALIMENTACIÓN Y CLASIFICACIÓN



**Ilustración 14. Zona de alimentación y calibración**

#### 5.1.1 TOLVA DE ALIMENTACIÓN

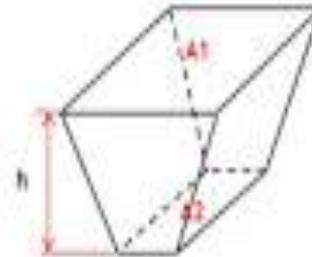
En primer lugar, se calcula el espesor que deberán tener las paredes de la tolva de alimentación, en función de unas medidas que se proporcionan como dato inicial, para que sea capaz de aguantar el peso de las almendras que caben en su volumen. El material con el que realizaremos nuestra tolva será acero.

En primer lugar, se calcula el volumen de la tolva. La tolva deberá tener capacidad para 30 kg de almendras. Dado que la densidad de las almendras con cáscara es de  $720 \text{ kg/m}^3$ , el volumen de nuestra tolva deberá ser de  $0,045 \text{ m}^3$  ( $0,045 \text{ m}^3 * 720 \text{ kg/m}^3 = 30 \text{ kg}$ ).

La sección inferior se define en función de la cantidad de almendras que se necesiten que caigan. En este caso, será una sección rectangular de 0,05m de ancho por 0,1m de largo.

En este caso, se dispone de una tolva rectangular, y la fórmula para hallar el volumen es la siguiente:

$$\frac{h}{3}(A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}) + A1 * h = Volumen(m^3)$$



**Ilustración 15. Tolva de sección cuadrada**

Donde, como se puede ver en la imagen:

A1= área superior (en  $m^2$ ), que será de  $0,4*0,4=0,16m^2$

A2= área inferior (en  $m^2$ ), de  $0,05*0,1=0,005m^2$

h= altura (en m), que será de 0,5m

Volumen= en este caso, deberá tener una capacidad de  $0,045m^3$

$$\frac{0,5m}{3}(A1 + 0,005m^2 + \sqrt{A1 * 0,005m^2}) + A1 * 0,5m = 0,045m^3$$

Despejando la ecuación, se obtiene que la tolva deberá tener una sección superior de  $0,16m^2$ . Por tanto, La tolva de alimentación dispondrá de una sección superior cuadrada de 0,4m de lado.

Más adelante se necesitará saber el diámetro equivalente de la sección mayor de la tolva, por lo que se procede a calcularlo. En este caso, al tratarse de una sección cuadrada, el diámetro hidráulico corresponde con el tamaño de un lado de nuestra tolva, es decir, 0'4 metros.

Para hallar la presión mínima que deberán soportar las paredes de la tolva, primero se debe calcular la presión que habrá en el fondo de esta, la cual viene dada por la siguiente expresión:

Autor: **Daniel Guillén Sebastián**

424.17.47

- 27 -

$$Pv = \frac{p^0 * g * D}{4 * \mu * K * g_c} * (1 - e^{\frac{-4 * z * \mu * K}{D}})$$

Dónde:

$p^0$  = densidad del material que almacena la tolva. En este caso caso almendras, y es de  $720 \text{ kg/m}^3$

$g$  = gravedad, en este caso  $9,8 \text{ m/s}^2$

$z$  = altura de la tolva, en este caso 0,5m

$D$  = Diámetro mayor de la tolva. En est caso, se empleará el diámetro hidráulico calculado anteriormente, 0,4m

$\mu$  = coeficiente de fricción, que depende de la pendiente de nuestra. En este caso, se tomará un valor de 0,45

$k$  = Se trata de una constante, y es 0,4

$g_c$  = Se trata de un factor de conversión. En este caso dado que se emplearán unidades del sistema internacional, le daremos valor de  $1 \text{ kg} * \text{m} / \text{N} * \text{s}^2$

$$Pv = \frac{p^0 * g * D}{4 * \mu * K * g_c} * (1 - e^{\frac{-4 * z * \mu * K}{D}}) =$$

$$\frac{720 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 0,4 \text{ m}}{4 * 0,45 * 0,4 * 1 \text{ kg} * \text{m} / \text{N} * \text{s}^2} * (1 - e^{\frac{-4 * 0,5 \text{ m} * 0,45 * 0,4}{0,4}}) = 2324,56 \text{ Pa}$$

Ahora que se tiene el valor de la presión, se calcula la presión que se ejerce en las paredes ( $P_w$ ):

$$P_w = Pv * K = 2324,56 \text{ Pa} * 0,4 = 929,824 \text{ Pa}$$

Una vez se conoce  $P_w$ , se puede a calcular el espesor mínimo de las paredes de la tolva con la siguiente expresión:  $t = \frac{P_w * r}{\sigma_f}$

Dónde:

$P_w$  = presión en las paredes de la tolva, calculada anteriormente, que es de 929,824Pa. Se convierten los Pa a  $\text{kg/cm}^2$  para tener todos datos en las mismas unidades, de modo que habrá una presión de  $0,00947 \text{ kg/cm}^2$

$r$  = radio hidráulico, en este caso de 20cm

$\sigma_f$  = Tensión admisible del acero,  $3700 \text{ kg/cm}^2$

$$t = \frac{P_w * r}{\sigma_f} = \frac{0,00947 \text{ kg/cm}^2 * 20 \text{ cm}}{3700 \text{ kg/cm}^2} = 5,11 * 10^{-5} \text{ cm}$$

$5,11 * 10^{-5} \text{ cm}$  sería el espesor mínimo que debería tener la tolva para soportar el peso de las almendras estando llena. Se diseñará una tolva con un espesor de chapa de 1mm [29]

## 5.1.2 SISTEMA CLASIFICADOR

Se valoran las distintas opciones explicadas en el apartado de antecedentes, y se llega a la conclusión de que para realizar una separación únicamente dependiente del tamaño de las almendras, es más conveniente emplear un sistema de separación física, como la tamizadora o los cilindros. Los sensores ópticos son más adecuados para otros procesos, como de calidad por ejemplo, donde hay que tener en cuenta otros parámetros más allá del tamaño, como forma, color, imperfecciones...

La tamizadora tiene como mayor inconveniente que en cada clase de almendras el tamaño medio es diferente, por lo que las cribas del interior de la tamizadora deberían sustituirse cada vez que cambiásemos de clase de almendras.

Por tanto, el método más práctico sería el de los cilindros. Estos podrían ser controlados con el PLC, con la ayuda de unos actuadores, de manera que en función de la clase de almendra con la que se esté trabajando, se puede colocar una separación entre los cilindros u otra, en función de la clase de almendra que se introduzca en la máquina.

### 5.1.3 TAMAÑO DE LOS CILINDROS SEPARADORES

Para saber las dimensiones que deberán tener los dos cilindros encargados de separar las almendras en grandes y pequeñas antes de que estas pasen a la zona de descascarado, es necesario saber el tamaño de las almendras.

Después de realizar una intensa búsqueda sin encontrar datos que puedan ser útiles, se decide proceder a realizar una medición experimental de almendras.

Se medirá el grosor de las almendras, y se hará de dos clases distintas. Las dos clases a medir son Larguetta y Marcona, dos de las clases más populares en Aragón y en España.

Los datos recogidos son los siguientes:

**Tabla 1. Grosor almendras**

<b>LARGUETTA</b>	<b>MARCONA</b>
19'7 mm	14'35 mm
12'3 mm	15'25 mm
14'65 mm	16'5 mm
15'6 mm	19'1 mm
14'4 mm	14'65 mm
16'1 mm	18'6 mm
16'6 mm	12'8 mm
18'2 mm	15'3 mm
15'1 mm	16'8 mm
14'5 mm	13'3 mm

En el caso de la clase Larguetta, la medida máxima del lote analizado es de 19'7mm, y la mínima de 12,3mm.

En el caso de la clase Marcona, la medida máxima del lote analizado es de 19'1mm, y la mínima de 12'8mm.

Para calcular el tamaño que deberán tener los dos cilindros, se toman los valores de la clase larguetta.

Tomando los datos obtenidos en la medición, se añade una tolerancia de  $\pm 2\text{mm}$  pensando en que pueda haber almendras de esta clase que estén por encima o por debajo de los tamaños medidos. Se fija que el punto máximo de separación será de 22mm y el punto de menor separación será de 10mm.

Se toma como tamaño de los cilindros una longitud de 600mm, y aplicamos la semejanza de triángulos para obtener otros datos que serán necesarios en el diseño:

$$\frac{AB}{AB'} = \frac{AC}{AC'} = \frac{BC}{BC'}$$

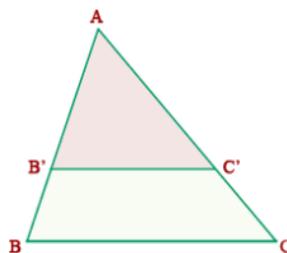


Ilustración 16. Semejanza de triángulos

En este caso, el triángulo a resolver será el siguiente:

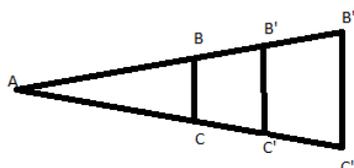


Ilustración 17. Semejanza de triángulos en este caso

Las rectas  $AB''$  y  $AC''$  representan a cada uno de los cilindros. En el extremo A los cilindros están fijos, mientras que los extremos  $B''$  y  $C''$  estarán unidos a un actuador cada uno, que se encargará de desplazar los cilindros en función de la clase de almendra que se vaya a cascar.

Las distancias que se conocen de nuestros cilindros son las siguientes:

- $AB''=AC''=600\text{mm}$
- $BC=10\text{mm}$
- $B'C'=16\text{mm}$
- $B''C''=22\text{mm}$

Se sabe también que la tolva de recepción de almendras pequeñas, estará colocada por debajo de los cilindros entre los puntos BC y B'C', y la tolva para almendras grandes entre los puntos B'C' y B''C''

Hay que calcular las distancias BB', B'B'', CC' y C'C'' para saber las dimensiones que deberán tener las tolvas:

$$\frac{AB'}{AB''} = \frac{AC'}{AC''} = \frac{B'C'}{B''C''}$$

$$\frac{AB'}{600} = \frac{AC'}{600} = \frac{16}{22}$$

Despejando, se obtiene que  $AB'=AC'=\mathbf{436\text{mm}}$

De modo que la distancia  $B'B''=C'C''=850-618=\mathbf{164\text{mm}}$

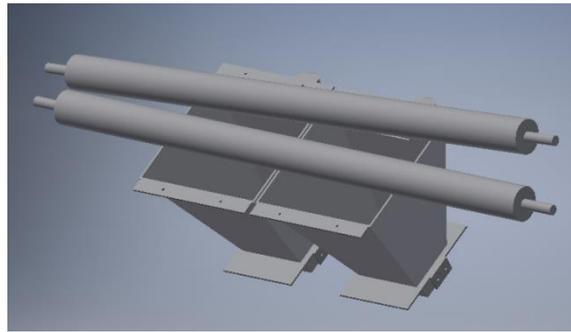
Se conoce que la distancia  $BB'=B'B''$  y que  $CC'=C'C''$ , que será  $\mathbf{164\text{mm}}$

Por tanto,  $AB=AC=618-232=\mathbf{272\text{mm}}$

En este caso, desde el punto A (punto donde están fijos los cilindros) hasta la zona donde comienza la tolva de almendras pequeñas (BC) será de 272mm. Se usará esta medida para realizar el diseño de la cascadora.

El punto donde los cilindros estén separados a 22mm (El tamaño máximo de almendras para clase largueta, que se ha medido anteriormente) será en el que estos miden 600mm (B''C''). El tamaño total de los cilindros será de 800mm (Se añaden 200mm más para poder dejar espacio para colocar los actuadores).

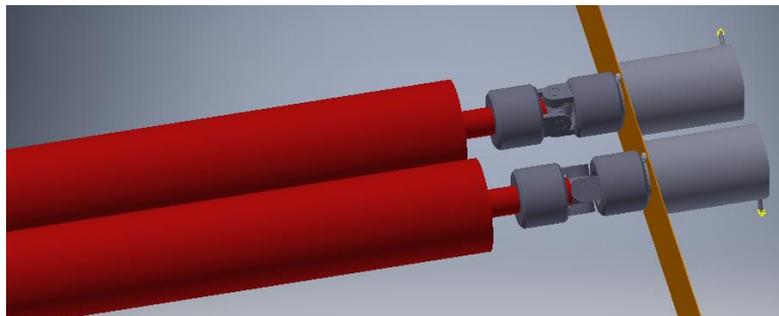
Las tolvas, tanto la de almendras pequeñas como las de almendras grandes, se juntarán en el punto donde la distancia entre los rodillos es de 16mm (B'C'), y tendrán una longitud de 180mm.



**Ilustración 18. Rodillos calibradores y tolvas**

En el extremo donde los cilindros estarán fijos, se unirán al motor mediante un acoplamiento especial, que les permita abrirse y cerrarse. Además, también hay que indicar que los cilindros se colocarán en la máquina con una inclinación de 10°, para facilitar el avance de las almendras por ellos.

La unión de los cilindros a los motores será como se muestra en la siguiente imagen



**Ilustración 19. Unión motor a cilindros**

En el otro extremo, los rodillos apoyarán sobre los **Cabezales articulados de rótula DIN ISO 12240-4 (DIN 648)**, de la marca **mbo**, seleccionados del catálogo "mbo Systematic solutions for linking technology" los cuales estarán unidos a los actuadores que serán los encargados de ajustar la distancia entre los rodillos en función de la clase de almendra con la que se esté trabajando

Los actuadores elegidos son de la gama **PC precisión linear Actuators** de la marca **Thomshon**, en concreto el modelo **PC25LX**, principalmente por dos motivos: El primero, es que pueden trabajar con cargas de hasta 1250N, lo que hace que sean suficientemente capaces de desplazar los cilindros. Además, funcionan gracias a

servomotores, con los que se puede controlar de forma muy precisa la posición del actuador.

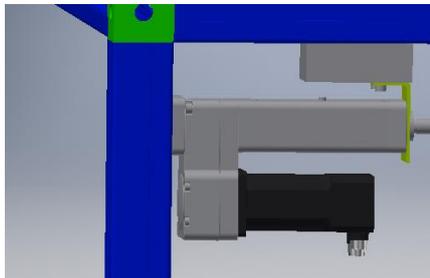
Para el funcionamiento y control de estos actuadores eléctricos, se emplearán los servomotores síncronos AKM, pertenecientes a la marca **KOLLORMORGEN**.

En concreto, el modelo **AKM24F**, que es el que recomienda nuestro proveedor de actuadores lineales.



**Ilustración 20. Servomotor akm**

Para colocar los actuadores en nuestra estructura, emplearemos un adaptador que nos proporciona el propio fabricante de los actuadores, y colocaremos una pieza maciza para lograr que el actuador quede a la altura que queremos.

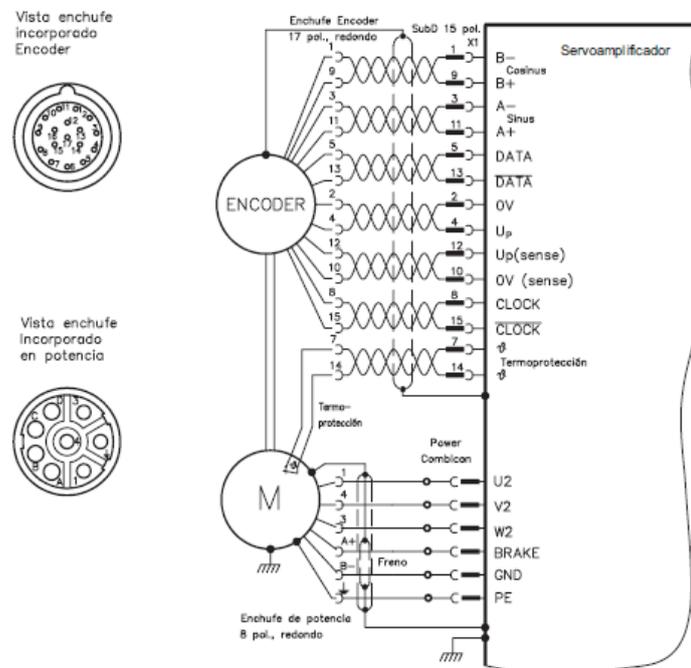


**Ilustración 21 . Actuador unido a estructura**

Para controlar los servomotores, emplearemos los driver AKD, de la misma marca que nos suministra los servomotores, **KOLLORMORGEN**, los cuales se conectan al PLC mediante una conexión PROFIBUS.

Estos servomotores incorporan de serie como unidad de retorno un resolver. Los servoamplificadores (driver) evalúan la posición resolver del rotor y alimentan los motores con corrientes sinusoidales. Mediante el PLC, se puede controlar que retornen siempre a una misma posición cuando se ponga en funcionamiento el sistema, y a partir de ahí, en función del programa que se quiera poner en funcionamiento, mover el servomotor hasta que alcance la posición deseada. Para poder realizar este control del servomotor, lo conectaremos al driver en la configuración encoder (que se indica

en el datasheet). A su vez, el driver irá conectado al PLC s7-1200 mediante una red PROFIBUS.

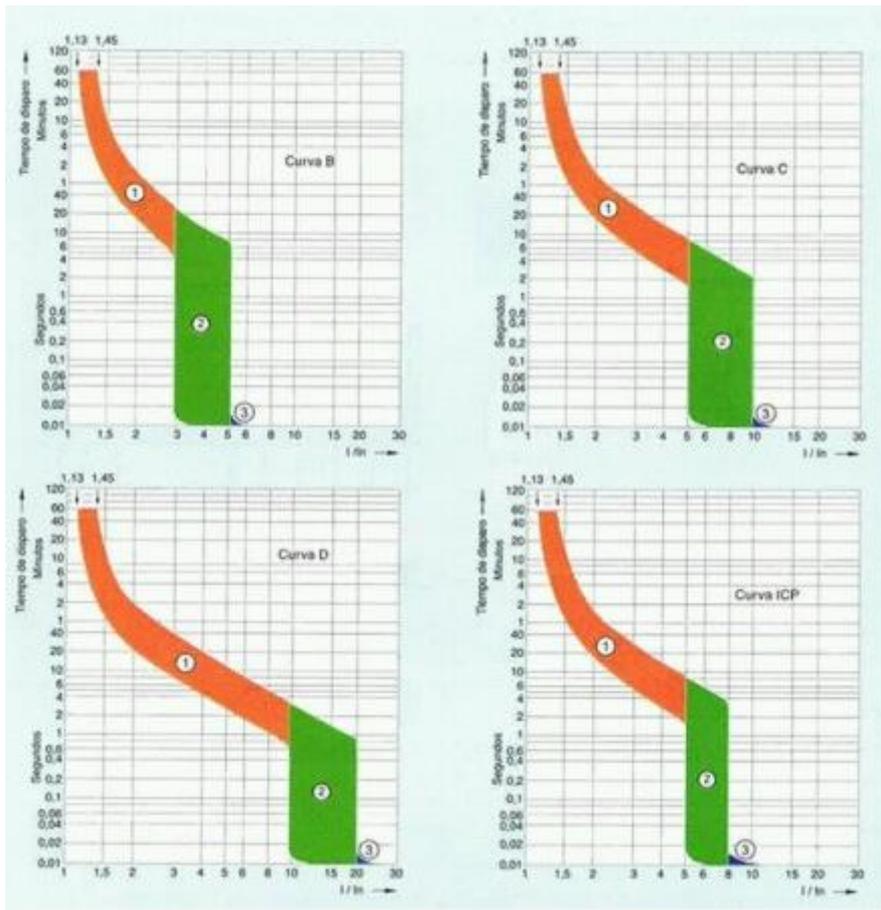


**Ilustración 22. Conexión encoder servomotor**

Para proteger el servomotor, se colocará un magnetotérmico. Un interruptor magnetotérmico es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando esta sobrepasa ciertos valores. De esta forma, nos aseguramos de que en caso de que por algún motivo haya demasiada corriente, esta no llegue al motor.

Para elegir un magnetotérmico apropiado, tenemos en cuenta que el driver se conecta a la red monofásica a 220V, y que el fabricante indica que la corriente nominal del motor es de 4,27A. Por ello, se elige un magnetotérmico que funcione en red monofásica a 220V, y se dispare a partir de 6A (valor comercial más próximo a lo que se necesita).

Para elegir el magnetotérmico adecuado, debemos elegir la curva de disparo que deberá tener. Las opciones se muestran en la siguiente imagen:

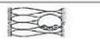
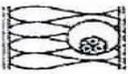


**Ilustración 23. Curva disparo magnetotermico**

El magnetotérmico en este caso tendrá una curva de disparo de tipo D, que es la que se recomienda para la protección de motores, según la norma UNE-20.460.

Por último, hay que calcular la sección que deberán tener los cables, para ello, teniendo en cuenta Norma UNE 20.460 -5-523, seleccionamos nuestro cable con la siguiente tabla:

Tabla 2. Selección cableado

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>A</b>		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
<b>A2</b>		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes.	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>B</b>		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>B2</b>		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial y empotrados en obra.			3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>C</b>		Cables multiconductores directamente sobre la pared								3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>E</b>		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3D								3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	
<b>F</b>		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D.								3x PVC		3x XLPE o EPR	
<b>G</b>		Cables unipolares separados mínimo D.									3x PVC	3x XLPE o EPR	
		<b>mm<sup>2</sup></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Cobre</b>	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	-
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	-
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	-
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	-
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	-
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	-
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	-
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	205	-
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250	-
	70				149	160	171	188	202	224	244	321	-
	95				180	194	207	230	245	271	296	391	-
	120				208	225	240	267	284	314	348	455	-
	150				236	260	278	310	338	363	404	525	-
185				268	297	317	354	386	415	464	601	-	
240				315	350	374	419	455	490	552	711	-	
300				360	404	423	484	524	565	640	821	-	

En esta aplicación, se contempla un cableado tipo C, cable pegado a la pared, y yendo a la tabla del cobre, se observa que se debe elegir cable de 1,5mm<sup>2</sup>. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la sección mínima para cualquier circuito de fuerza es de 2,5mm<sup>2</sup>, por tanto, en este caso, la sección del cable será de 2,5mm<sup>2</sup>.

Se comprueba que esta sección soportaría también la caída de tensión admisible (de un 5% en este caso).

Para calcular la caída de tensión que se dará en este caso, se calcula con la siguiente expresión:

$$e = \frac{p * 2 * L * I}{S}$$

## Desarrollo

Dónde:

$e$  = caída de tensión (en V, en este caso deberá ser menor a 11V)

$\rho$  = resistividad del cobre ( $0,0172 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ )

$L$  = longitud de la línea (1m en este caso)

2 = se multiplica por dos al tratarse de una línea monofásica formada por dos cables

$I$  = Intensidad (4,27A)

$S$  = sección ( $2,5 \text{mm}^2$ )

$$e = \frac{0,0172 * 2 * 1 * 4,27}{2,5} = 0,06V$$

Se observa que la sección es suficiente para la diferencia de tensión que se dará.

## 5.1.4 MOTORES PARA CILINDROS SEPARADORES

A continuación se va a proceder a calcular la potencia necesaria que deberán tener los motores cuya función será hacer girar los dos cilindros calibradores calculados.

Se colocaran dos motores porque cada uno de los cilindros girará en un sentido.

Para calcular la potencia necesaria que deberán tener los motores se emplearan las siguientes fórmulas:

$$P = F * V = M * \omega = Fr * r * \omega$$

$$Fr = \mu * N$$

Dónde:

- $P$  = Potencia
- $F$  = Fuerza
- $V$  = velocidad
- $M$  = momento
- $\omega$  = velocidad angular
- $Fr$  = fuerza de rozamiento
- $\mu$  = coeficiente rozamiento

- N= fuerza normal (peso del cilindro)

Ahora se calcula la fuerza de rozamiento:

$$Fr = \mu * N$$

Dónde:

- Fr= fuerza rozamiento (es lo que vamos a calcular, y lo obtendremos en Newton)
- $\mu$ = coeficiente rozamiento (0'61 en este caso)
- N=Fuerza normal (en este caso es igual al peso del cilindro, 10,85 kp)

$$Fr = \mu * N$$

$$0'61 * 10'85N = 6'62kp = 66'2N$$

Por último se calcula la potencia que deberá tener el motor de giro:

$$P = Fr * R * \omega$$

Dónde:

- P= potencia (Es lo que queremos calcular, el resultado serán Watios)
- Fr= fuerza de rozamiento (66,2N)
- R = radio (0,04mm)
- $\omega$  = velocidad angular (establecemos una velocidad de 120 rpm)

$$P = Fr * R * \omega$$

$$P = 66'2 * 0'04 * 2 * 2 * \pi = \mathbf{33'27w}$$

Para hacer girar a cada uno de nuestros los cilindros calibradores, se necesitará un motor que tenga a la salida una potencia mínima de 33,27.

El motor elegido finalmente será un **motor de dc Crouzet 89800008, 24 V dc, 36 W**. Este motor presenta un consumo de intensidad nominal de 1,5A (dato que nos proporciona el fabricante en el datasheet).

Para proteger nuestros dos motores, colocaremos en la línea un magnetotérmico, que funcione a 24V y que salte a partir de 2A (valor comercial más

cercano). Como se ha comentado anteriormente, estos magnetotérmicos deberán tener una curva de disparo tipo D.

También colocaremos en la línea un contactor, que nos permita conectar su circuito auxiliar al PLC para poder encender o apagar los motores. En concreto, emplearemos el MITSUBISHI SRD-N4 CONTACTOR, de 24V y 2A.

Por último, hay que calcular la sección que deberán tener los cables, para ello, seguimos el mismo procedimiento que con los servomotores, siguiendo la Norma UNE 20.460 -5-523 (ver punto 5.1.3). En esta aplicación, se observa que se debe elegir cable de  $1,5\text{mm}^2$ .

Al igual que en el caso anterior, se comprueba que la sección es suficiente para la caída de tensión:

$$e = \frac{p * 2 * L * I}{S}$$

Dónde:

e= caída de tensión (en V, en este caso deberá ser menor a 1,2V)

p= resistividad del cobre ( $0,0172 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$ )

L= longitud de la línea (1m en este caso)

2= se multiplica por dos al tratarse de una línea monofásica formada por dos cables

I= Intensidad (1,5A)

S= sección ( $1,5\text{mm}^2$ )

$$e = \frac{0,0172 * 2 * 1 * 1,5}{1,5} = 0,02V$$

Se observa que la sección es suficiente para la diferencia de tensión que se dará.

## 5.1.5 RODAMIENTOS PARA CILINDROS SEPARADORES

Para que los cilindros giren, una opción es colocarles rodamientos de bola a rótula, que hagan de apoyo en el extremo en el que los cilindros se unen a los motores.

Los rodamientos de bolas a rótula tienen dos hileras de bolas que apoyan sobre un camino de rodadura esférico en el aro exterior, permitiendo desalineaciones angulares del eje respecto al soporte.



**Ilustración 24. Rodamiento de bola a rótula**

Son utilizados en aplicaciones donde pueden producirse desalineaciones considerables, por ejemplo, por efecto de las dilataciones, de flexiones en el eje o por el modo de construcción. De esta forma, liberan dos grados de libertad correspondientes al giro del aro interior respecto a los dos ejes geométricos perpendiculares al eje del aro exterior.

Este tipo de rodamientos tienen menor fricción que otros tipos de rodamientos, por lo que se calientan menos en las mismas condiciones de carga y velocidad, siendo aptos para mayores velocidades.

A continuación se realizan los cálculos necesarios para determinar nuestros rodamientos:

En primer lugar, se obtiene el peso del cilindro. El material será de aluminio, ya que es un material más ligero que el acero, y dado que no va a sufrir golpes ni soportar grandes pesos, es apto para nuestra función.

La densidad del aluminio es de  $2700\text{kg}/\text{m}^3$ , por lo para hallar el peso del cilindro, primero se halla el volumen:

$$V = H * \pi * R^2$$

Dónde:

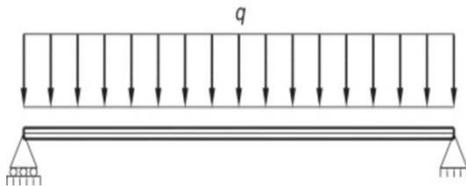
- V= volumen (es lo que debemos calcular, y lo obtendremos en  $\text{m}^3$ )
- H = longitud del cilindro (800mm, estimación)
- R=radio del cilindro (40mm)

$$v = 0'8 * \pi * (0'04)^2 = 4'0212 * 10^{-3} \text{m}^3$$

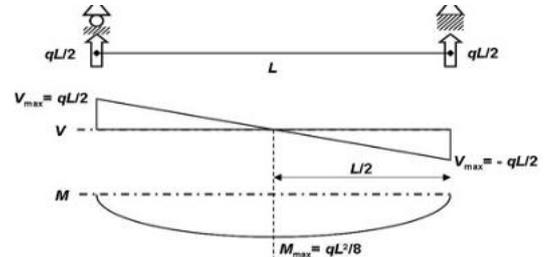
Una vez que se tiene el volumen, se obtiene la masa:

$$2700 = \frac{m}{4'0212 * 10^{-3} \text{m}^3} \rightarrow m = 10'85 \text{kg}$$

Ahora se calcula la fuerza de rozamiento. Para ello, se plantea el problema sabiendo que los cilindros están apoyados en los extremos, como se muestra en la siguiente imagen, donde la carga q corresponde al peso del cilindro por metro. Como los 10'85kg calculados anteriormente corresponden a la longitud de 0'8m, la carga distribuida del cilindro será de  $13'56\text{kg}/\text{m}$ , y la longitud L del cilindro es de 0,8m.



**Ilustración 25. Diagrama esfuerzos apoyo cilindro**



**Ilustración 26. Solución gráfica apoyos**

Como se puede apreciar en la ilustración 5, las reacciones y los diagramas de V (fuerza cortante) y MF (momento flector) presentan simetrías, es decir, las reacciones verticales son idénticas en A y en B (ya que los apoyos reaccionan de igual manera, es decir, absorbiendo cargas verticales), en el diagrama de FC se verifica una simetría central respecto de un punto en el centro de la luz de la viga, y en el de MF una simetría respecto de un eje vertical por el centro de la luz de la viga.

Las funciones de la fuerza cortante y del momento flector son, respectivamente, lineal (de primer grado) y cuadrática (de segundo grado). Dichas funciones tienen la forma:

$$V(x) = q * \frac{L}{2} - q * x \text{ (Fuerza Cortante)}$$

$$M(x) = q * \frac{Lx}{2} - q * x^2 \text{ (Momento Flector)}$$

Dónde:

- $q$  = carga distribuida ( 13,54 kg/m)
- $L$  = longitud del cilindro (0'8m)
- $x$  = punto dentro de la longitud del cilindro donde se desea calcular la fuerza cortante o el momento flector.

Es importante hacer notar que la FC tiene dos máximos absolutos: en A y en B, mientras que el MF sólo tiene un máximo en el centro de la luz.

Para poder calcular la fuerza de rozamiento que se deberá vencer con el motor, hace falta saber las reacciones, tanto en el apoyo A como en el B, las cuales son idénticas como se ha explicado anteriormente.

$$R_A = R_B = q * L/2 = 13'54 * \frac{0'8}{2} = 5'416 \text{ kg} = 54'16 \text{ N}$$

Con estos datos, se va a proceder a calcular los rodamientos en el apoyo A. El tamaño de un rodamiento se determina para cargas dinámicas con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_t} * F$$

Dónde:

- $C$  = capacidad de carga dinámica en kp ofrecida en catálogo para cada rozamiento
- $f_L$  = coeficiente de esfuerzos dinámicos
- $f_n$  = coeficiente de velocidad; depende únicamente del número de revoluciones, y se establecen dos grupos según se trate de rodamientos de bolas o de rodillos.
- $f_t$  = coeficiente de temperatura de servicio
- $F$  = Carga dinámica equivalente en kp

Elegimos el coeficiente  $f_L$  en la siguiente tabla

**Tabla 3. Coeficiente dinámico FL según el tipo de montaje y clases de esfuerzo**

<i>Lugar de montaje</i>	$f_L$	<i>Lugar de montaje</i>	$f_L$
Maquinaria en general		Engranajes	
Trenes de laminación	2.0-2.5	Engranajes universales pequeños	2.5-3.5
Rodamientos de empuje para barcos	2.9-3.6	Engranajes univ. de tipo medio	3.0-4.0
Rodamientos de ejes propulsores de hélices de barcos	> 6.0	Grandes engranajes para barcos	2.6-4.0
Ventiladores pequeños	2.5-3.5	Engranajes para vehículos sobre carriles	3.5-4.5
Ventiladores de tipo medio	3.0-4.5	Engranajes para laminadores	3.0-5.0
Ventiladores grandes	4.5-5.5	Vehículos	
Bombas centrífugas	2.5-4.5	Motocicletas	1.4-1.9
Centrifugadoras	3.0-4.0	Coches ligeros	1.6-2.1
Poleas para cables de extracción	4.5-5.0	Coches pesados	1.7-2.2
Rodillos para cinta transportadora	3.0-4.5	Camiones ligeros	1.7-2.2
Draga de rueda de paletas, rueda de paletas y elevador	> 6.0	Camiones pesados	2.0-2.6
Machacadoras de piedra	3.0-3.5	Autobuses	2.0-2.6
Molinos batidores	3.5-4.5	Tractores	1.6-2.2
Cribas vibratorias	2.5-2.8	Vehículos a orugas	2.1-2.7
Grandes apisonadoras vibratorias	1.6-2.0	Ruedas delanteras	
Excitadores excéntricos		Cajas de cambio	
Aparatos vibratorios	1.0-1.5	Eje de transmisión	
Prensa para briquetas	4.5-5.0	Motores eléctricos	
Grandes batidoras	3.5-4.0	Motores para aparatos electrodomésticos	1.5-2.0
Molinos de tubos	> 6.0	Motores pequeños de serie	2.5-3.5
Rodillos para hornos giratorios	4.5-5.0	Motores de tipo medio de serie	3.0-4.0
Tornos, fresadoras y taladradoras	2.7-4.5	Grandes motores estacionarios	3.5-4.5
Rectificadoras, lapeadoras y pulidoras	2.7-4.5	Motores eléctricos de tracción	3.0-4.0
Volantes	3.4-4.0	Cajas de grasa	
Maquinaria de imprenta	4.0-4.5	Vagonetas	3.0-4.0
Maquinas para la fabricación de papel	5.0-6.0	Tranvías	4.5-5.5
Máquinas para trabajar la madera	3.0-4.0	Coches de viajeros	4.0-5.0
Maquinaria textil	3.6-4.7	Vagones de mercancías	3.5-4.0
Máquinas para fundición centrifugada	3.4-4.0	Vagones de descombro	3.5-4.0
		Automotores	4.0-5.0
		Locomotoras	4.0-5.5
		(rodamientos exteriores)	
		Locomotoras	4.5-5.5
		(rodamientos interiores)	

La aplicación más parecida en este caso, serían rodillos para cinta transportadora, por lo tanto seleccionaremos  $f_L = 3.0$ .

Se elige el coeficiente de velocidad  $f_n$  en la siguiente tabla, en función de las rpm que tendrá el cilindro:

Tabla 4. Coeficiente de velocidad para rodamientos de bolas FN

<i>n</i> r.p.m.	<i>f<sub>n</sub></i>								
10	1.494	100	0.693	450	0.420	2100	0.251	8200	0.160
12	1.405	105	0.682	460	0.417	2200	0.247	8400	0.158
14	1.335	110	0.672	470	0.414	2300	0.244	8600	0.157
16	1.277	115	0.662	480	0.411	2400	0.240	8800	0.156
18	1.228	120	0.652	490	0.408	2500	0.237	9000	0.155
20	1.186	125	0.644	500	0.406	2600	0.234	9200	0.154
22	1.148	130	0.635	520	0.400	2700	0.231	9400	0.153
24	1.116	135	0.627	540	0.395	2800	0.228	9600	0.152
26	1.086	140	0.620	560	0.390	2900	0.226	9800	0.150
28	1.060	145	0.613	580	0.386	3000	0.223	10000	0.149
30	1.036	150	0.606	600	0.382	3100	0.221	10500	0.147
32	1.014	155	0.599	620	0.378	3200	0.218	11000	0.145
34	0.994	160	0.593	640	0.374	3300	0.216	11500	0.143
36	0.975	165	0.586	660	0.370	3400	0.214	12000	0.141
38	0.958	170	0.581	680	0.366	3500	0.212	13000	0.137
40	0.941	175	0.575	700	0.363	3600	0.210	14000	0.134
42	0.926	180	0.570	720	0.359	3700	0.208	15000	0.131
44	0.912	185	0.565	740	0.356	3800	0.206	16000	0.128
46	0.898	190	0.560	760	0.353	3900	0.205	17000	0.125
48	0.885	195	0.555	780	0.350	4000	0.203	18000	0.123
50	0.874	200	0.550	800	0.347	4100	0.209	19000	0.121
52	0.863	210	0.541	820	0.344	4200	0.199	20000	0.119
54	0.851	220	0.533	840	0.341	4300	0.198		
56	0.841	230	0.525	860	0.339	4400	0.196		
58	0.831	240	0.518	880	0.336	4500	0.195		
60	0.822	250	0.511	900	0.333	4600	0.193		
62	0.813	260	0.504	920	0.331	4700	0.192		
64	0.805	270	0.498	940	0.329	4800	0.191		
66	0.797	280	0.492	960	0.326	4900	0.190		
68	0.788	290	0.487	980	0.324	5000	0.188		
70	0.781	300	0.481	1000	0.322	5200	0.186		
72	0.774	310	0.476	150	0.317	5400	0.183		
74	0.767	320	0.471	1100	0.312	5600	0.181		
76	0.760	330	0.466	11150	0.307	5800	0.179		
78	0.753	340	0.461	1200	0.303	6000	0.177		
80	0.747	350	0.457	1300	0.295	6200	0.175		
82	0.741	360	0.453	1400	0.288	6400	0.173		
84	0.735	370	0.448	1500	0.281	6600	0.172		
86	0.729	380	0.444	1600	0.275	6800	0.170		
88	0.724	390	0.441	1700	0.270	7000	0.168		
90	0.718	400	0.437	1800	0.265	7200	0.167		
92	0.713	410	0.433	1850	0.262	7400	0.65		
94	0.708	420	0.430	1900	0.260	7600	0.164		
96	0.703	430	0.426	1950	0.258	7800	0.162		
98	0.698	440	0.423	2000	0.255	8000	0.161		

El coeficiente  $f_n$  será 0'681, ya que en la tabla se indica que este es el valor para 120 rpm.

Ahora se escoge el coeficiente  $f_t$  según la tabla siguiente:

**Tabla 5. Coeficiente de temperatura de servicio FT**

temperatura máxima de servicio	150°C	200°C	250°C	300°C
factor de temperaturas $f_t$	1'00	0'90	0'75	0'60

En este caso, la temperatura no será muy elevada, ni siquiera alcanzará los 150° que se muestran como valor mínimo en la tabla, por lo que se toma el menor valor de esta, siendo  $f_t = 1$

Por último, se calcula la fuerza F. Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$F = X * Fr + Y * Fa$$

Dónde:

- Fr= carga radial en kp (en nuestro caso será la reacción en el apoyo A calculada anteriormente, 5'41kp)
- Fa = carga axial en kp
- X = coeficiente radial del rodamiento
- Y = coeficiente axial del rodamiento

En este caso, solo se tiene carga radial, y en la siguiente tabla se elige el valor de X:

**Tabla 6. Coeficientes radial y axial**

Tipo de rodamiento	X1	Y1	X2	Y2
De contacto radial	1	0	0'5	1'4
De contacto angular suave	1	1'25	0'45	1'2
De contacto angular fuerte	1	0'75	0'4	0'75
De doble fila			0'83	1'25

En la tabla se aprecia que se ofrecen dobles parejas de valores X1, Y1, X2, Y2. Se debe calcular F con ambas parejas y se usará el mayor valor obtenido. En nuestro caso no se necesita el valor de la Y dado que sólo tendremos fuerza radial, y por lo tanto, el mayor resultado lo obtendremos al multiplicar por X1=1

$$F = X * Fr + Y * Fa$$

$$F = 1 * 5'41kp = 5'41kp$$

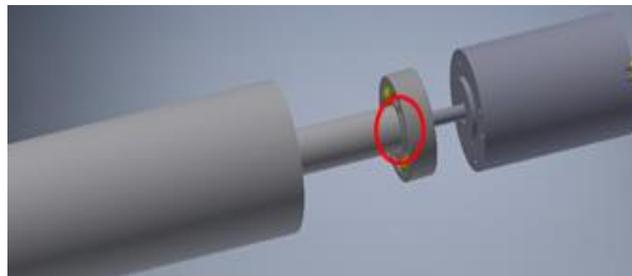
Ahora se sustituyen los valores en la formula comentada anteriormente para calcular la capacidad de carga dinámica de nuestro rodamiento:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_t} * F$$

$$C = \frac{3}{0'681 * 1} * 5'41 = 23'83kp$$

Una vez que se tiene este dato, se comprueba que no habrá problemas para elegir rodamientos, dado que se tiene un valor de carga dinámica muy pequeño.

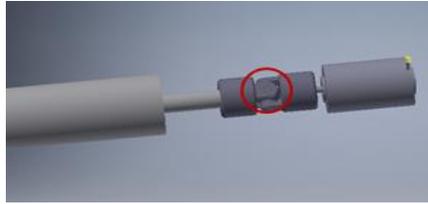
Al realizar el diseño en 3D, se detecta un fallo que no había sido contemplado. Al acercarse o alejarse los cilindros, el punto de giro coincide con el rodamiento, por lo que no será posible realizar el movimiento, ya que los motores que hacen girar a los cilindros deberán estar fijos. De realizarse el giro en ese punto, se rompería el eje del motor.



**Ilustración 27. Unión cilindro y motor con rodamiento**

En la imagen se muestra el punto de giro, que no sería posible.

La solución que se decide aplicar es sustituir los rodamientos por un acoplamiento o cardan, como el que se muestra en la imagen. En rojo se indica el punto de giro del sistema, que en este caso sí será posible



**Ilustración 28. Cilindro conectado a motor con cardan**

## 5.2 ZONA DE DESCASCARADO

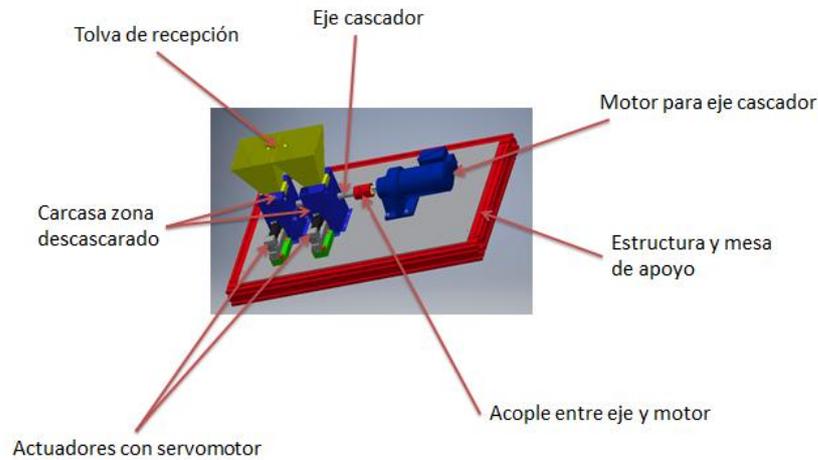


Ilustración 29. Zona de descascarado

### 5.2.1 ELECCIÓN MÉTODO PARA PARTIR ALMENDRAS

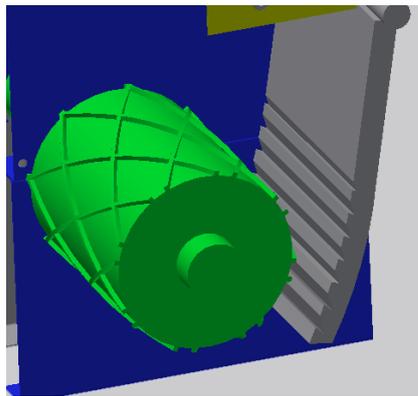
Para valorar los distintos sistemas y elegir el más adecuado de los explicados en el apartado anteriores, se tiene en cuenta el rendimiento que cada sistema puede dar, respecto a que deje sin romper el mínimo número de almendras, así como también rompa el mínimo número de frutos ya sin cáscara.

Otro factor a tener en cuenta, es que el sistema evite que se queden residuos en él, que podrían provocar atascos o un funcionamiento incorrecto de la máquina.

El sistema de la placa central que se va aproximando a las paredes de ambos lados para producir la rotura sería difícil de calibrar, ya que pueden caer almendras de tamaños diferentes en cada uno de los lados de la placa. Además, sería difícil controlar que no se rompan algunos frutos, y también sería probable que se fueran quedando residuos y terminara produciéndose algún atasco.

El sistema del eje excéntrico tiene como mayor problema que es probable que alguna almendra caiga mientras el eje está en lado contrario de la pared donde se produce el golpeo para romper la cáscara, provocando que salgan almendras con cáscara, sin romperse.

El sistema del eje sería el que mejor cumpliría las características que deberá presentar la máquina, y entre las dos opciones que se planteaban, el que tiene muescas en forma de rombo es más práctico, puede ayudarnos a trabajar a mayor velocidad, y además tiene menor riesgo de producir atascos en su interior. Además, la pared de contragolpeo puede controlarse de forma sencilla con la ayuda del PLC y un actuador eléctrico, accionado mediante un servomotor, que ajuste la distancia entre esta y el eje en función del tamaño del tipo de almendras con las que estemos trabajando. Los actuadores a emplear deberán tener una alta precisión, y podrían ser similares a los empleados en el sistema de separación por tamaños.



**Ilustración 30. Rodillo y pared de contragolpeo**

Será necesario poner dos ejes rompedores diferentes, uno que parta las almendras pequeñas y otro las grandes. Los ejes serán idénticos, pero lo que cambiará será la distancia que haya entre la pared de contragolpeo y el eje que produce el golpe.

## 5.2.2 ENSAYO RESISTENCIA A ROTURA ALMENDRAS

Tras realizar una búsqueda intensa, no se han encontrado datos acerca de la resistencia que presentan las cáscaras de almendra al ser quebradas. Por ello, se procede a realizar un ensayo para calcularla.

Se emplea una máquina multiensayo marca SUZPECAR SERVOSIS, modelo MEM 101/20

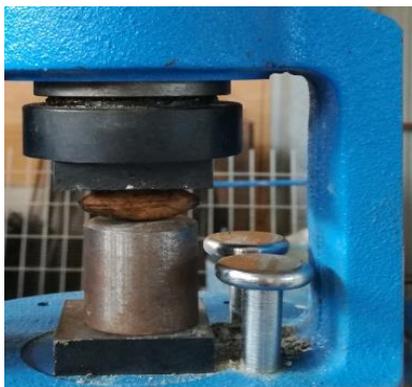


**Ilustración 32. Especificaciones máquina ensayos**



**Ilustración 31. Máquina ensayos**

Las pruebas se realizan con almendras de la variedad "Largueta", ya que de las variedades que más se producen, es de las que posee la cáscara con mayor resistencia.



**Ilustración 34. Almendra tumbada**



**Ilustración 33. Almendra vertical**



**Ilustración 35. Almendra horizontal**

Se realizan pruebas rompiendo almendras en distintas posiciones. Como conclusión, se obtiene que la fuerza necesaria para romper las almendras será de 90 k. Este dato lo usaremos a continuación cuando calculemos la potencia del motor que necesitaremos para romper nuestras almendras.

### 5.2.3 MOTOR PARA EL EJE CASCADOR

Ahora, se va a calcular la potencia que deberá tener el motor que se empleará para producir la rotura de las almendras. Para calcular la potencia necesaria que deberán tener los motores se emplearán las siguientes fórmulas:

$$P = Fr * r * \omega$$

$$Fr = \mu * N$$

Dónde:

- P= Potencia (es lo que se quiere calcular, y se obtendrá el resultado en Watios)
- Fr= fuerza de rozamiento (fuerza que se debe calcular. Es la fuerza que deberá vencer el motor para romper la almendra)
- $\omega$  = velocidad angular (conocemos que es de 180rpm)
- $\mu$ = coeficiente rozamiento
- N= fuerza normal (resistencia almendras – peso eje y las unidades serán en Kg)

En primer lugar, se calcula la fuerza de rozamiento:

$$Fr = \mu * N$$

Dónde:

- Fr= fuerza rozamiento (es lo que se va a calcular en este momento)
- $\mu$ = coeficiente rozamiento (0'74 entre acero y acero. En el diseño apoyará sobre un rodamiento, pero se establece un coeficiente rozamiento como si apoyara directamente en el acero, el cual es mayor, para tener más margen y que el motor final no vaya muy justo)

- N=Fuerza normal (en este caso es igual a la fuerza necesaria para romper la cáscara de la almendra, menos el peso del eje, ya que son fuerzas en sentido opuesto, como se muestra en el diagrama de fuerzas a continuación.)

La fuerza necesaria para romper una cáscara de almendra la fijamos en 90 kp. Esa fuerza se ha calculado a partir de un ensayo realizado con almendras de clase Largueta, ya que no fue posible encontrar datos numéricos para cuantificar esta resistencia a rotura, pero sí información que indicaba que Largueta es una de las clases cuya cáscara mayor resistencia a rotura tiene.

Además, en el caso más desfavorable se podría dar la situación de que cuatro almendras estén en la zona de descascarado al mismo tiempo, por lo que se multiplican los 90kp que sería la fuerza necesaria para romper una almendra por cuatro.

$$Fr = \mu * N$$

$$0'74 * (90 * 4 - 6'93) = 261'27kp = 2612'7N$$

Ahora, conociendo la fuerza de rozamiento, se calcula la potencia que deberá tener nuestro motor:

$$P = Fr * R * \omega$$

Dónde:

- P= potencia (es lo que se pretende calcular, y se obtendrá el resultado en Watios)
- Fr= fuerza de rozamiento (calculada anteriormente, es de 2612'7N)
- R= radio (en este caso es de  $\frac{15}{2}mm$ , porque el apoyo es un eje saliente del cascador de diámetro 15mm)
- $\omega$ = velocidad angular (se establece una velocidad de 3 rpm, porque sería una velocidad más que suficiente, y en caso de que fuese más despacio no importaría, por lo que con un motor capaz de darnos esta velocidad nos sería más que suficiente)

$$P = Fr * R * \omega$$

$$P = 2612'7 * \frac{0'015}{2} * 3 * 2 * \pi = 369'36w \rightarrow 0'5 CV \rightarrow 0,37kw$$

El motor que emplearemos para realizar la rotura será el **motorreductor CHHM-05-6095 DE LA MARCA SUMITOMO**, un motor que cumple nuestras necesidades de velocidad y de potencia requeridas. La unión entre el motor y el eje se realizará mediante un acoplamiento.

Para proteger este motor, se incorporará un interruptor magnetotérmico.

Como el fabricante no da la intensidad nominal, conociendo que el motor funciona a 220V y la potencia es de 370W, se calcula la intensidad.

$$I = \frac{P}{V * \cos\phi}$$

Donde la intensidad (I), es lo que se quiere calcular, la potencia (P) se sabe que son 370W, el voltaje (V) son 220V y el  $\cos\phi$  es el factor de potencia del motor, que el fabricante indica que es 0,8. Por tanto:

$$I = \frac{370}{220 * 0,8} = 2,12A$$

Se multiplica esta intensidad por 1,25 para dar un poco de margen, de tal forma que se requiera un magnetotérmico que resista 2,65. Será un magnetotérmico para corriente monofásica que salta a 3A (el valor comercial más próximo a lo que se ha calculado). Este magnetotérmico deberá tener una curva de disparo de tipo D

Se añade también, al igual que para los motores de los rodillos de calibración, un contactor. Emplearemos un contactor de 220V y que soporte 3A.

Por último, elegimos la sección del cable según la norma UNE 20.460 -5-523 (ver punto 5.1.3).

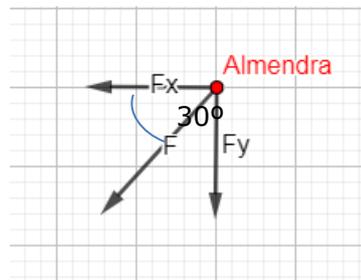
El cable debe soportar como mínimo la misma intensidad que el magnetotérmico o el contactor, por lo que elegimos un cable que soporte 3A. En este caso la sección que obtenemos es de  $1,5mm^2$ , pero como ya se ha comentado anteriormente, la sección mínima en este caso debe ser de  $2,5mm^2$ .

En este caso se sabe que la línea soportará, dado que la distancia de la línea es la misma que en el caso de los servomotores (1m), la sección es la misma ( $2,5mm^2$ ),

Y la intensidad es menor (2,65A).

## 5.2.4 ACTUADOR PARA CASCADOR

A continuación, se necesita elegir cuál será el actuador que desplace y fije nuestra placa de contragolpeo. Este actuador deberá poder soportar la fuerza que ejerce el eje para romper la almendra. En el siguiente diagrama, se observa la fuerza  $F$ , que es la fuerza de 90 kp necesaria para romper la almendra, golpea en un ángulo de 30 grados respecto al eje  $y$ . Se debe descomponer la fuerza en  $F_x$  y  $F_y$  para poder calcular la fuerza que deberá soportar nuestro actuador. En este caso, calcularemos  $F_x$



**Ilustración 36. Descomposición de fuerzas**

$$F_x = \sin(30) \cdot 90 \text{kp} = 45 \text{kp}$$

La fuerza que deberá soportar la pared de contragolpeo serán los 45 kp de necesarios para romper una almendra multiplicados por 4, ya que en el caso más desfavorable, podrían romperse cuatro almendras al mismo tiempo.

$$F_x \cdot n = F$$

$F_x$  = fuerza que soporta el actuador al romperse las almendras

$n$  = número de almendras en el caso más desfavorable

$$45 \cdot 4 = 180 \text{kp} = 1800 \text{N}$$

Utilizaremos unos actuadores de la misma gama que los que escogimos para desplazar los cilindros calibradores, **PC precisión linear Actuators** de la marca **Thomshon**, pero en este caso el modelo será **PC32LX** porque es el modelo que soportará nuestra carga de 1800 kp (soporta carga de hasta 3200 N).

Para el funcionamiento y control de estos actuadores eléctricos, se emplearán los mismos servomotores que para los actuadores de los cilindros calibradores. (Servomotores síncronos AKM, pertenecientes a la marca **KOLLORMORGEN**, modelo

**AKM24F).** Los controlaremos de la misma forma que los servomotores de la zona de calibración, y emplearemos la misma sección de cableado y las mismas protecciones.

## 5.2.5 RODAMIENTOS PARA EL EJE CASCADOR

En primer lugar, se obtiene el peso de eje. El material con el que se fabricará el eje cascador será acero, porque es un material que sufrirá poco desgaste al impactar con las cáscaras de almendras.

Sabemos que la densidad del acero es de  $7850\text{kg/m}^3$ , por lo que para hallar el peso del eje, primero se halla el volumen:

$$v = h * \pi * r^2$$

Dónde:

- V= volumen
- H = longitud del eje ( cada uno de los dos ejes cascadores medirá 100mm, pero como irán juntos, suponemos que será uno de 200mm)
- R=radio del cilindro ( $75/2\text{mm}$ )

$$v = 0'2 * \pi * \left(\frac{0'075}{2}\right)^2 = 8'8357 * 10^{-4} \text{m}^3$$

Una vez que se tiene el volumen, se obtiene la masa:

$$7850 = \frac{m}{8'8357 * 10^{-4} \text{m}^3} \rightarrow m = 6'93 \text{kg}$$

Ahora se calcula la fuerza de rozamiento. Para ello, se plantea el problema sabiendo que los cilindros están apoyados en los extremos, como se muestra en la siguiente imagen, donde la carga q corresponde al peso de nuestro cilindro por metro. Como los  $10'85\text{kg}$  calculados anteriormente corresponden a la longitud de  $0'8\text{m}$ , la carga distribuida del cilindro será de  $13'56\text{kg/m}$ , y la longitud L del cilindro es de  $0,8\text{m}$ . (Ver ilustraciones 24 y 25)

Como se puede apreciar en la ilustración 20, las reacciones y los diagramas de V (fuerza cortante) y MF (momento flector) presentan simetrías, es decir, las reacciones verticales son idénticas en A y en B (ya que los apoyos reaccionan de igual manera, es

decir, absorbiendo cargas verticales), en el diagrama de FC se verifica una simetría central respecto de un punto en el centro de la luz de la viga, y en el de MF una simetría respecto de un eje vertical por el centro de la luz de la viga.

Las funciones de la fuerza cortante y del momento flector son, respectivamente, lineal (de primer grado) y cuadrática (de segundo grado). Dichas funciones tienen la forma:

$$V(x) = q * \frac{L}{2} - q * x \text{ (Fuerza Cortante)}$$

$$M(x) = q * \frac{Lx}{2} - q * x^2 \text{ (Momento Flector)}$$

Dónde:

- $q$  = carga distribuida ( 34'65kg/m)
- $L$  = longitud del eje (0'2m)
- $x$  = punto dentro de la longitud del eje donde se desea calcular la fuerza cortante o el momento flector.

Es importante hacer notar que la FC tiene dos máximos absolutos: en A y en B, mientras que el MF sólo tiene un máximo en el centro de la luz.

Para poder calcular la fuerza de rozamiento que se deberá vencer con el motor, hace falta saber las reacciones, tanto en el apoyo A como en el B, las cuales son idénticas como se ha explicado anteriormente.

$$R_A = R_B = q * L/2 = 34'65 * \frac{0'2}{2} = 3'465 \text{ kg} = 34'65 \text{ N}$$

Con estos datos, se va a proceder a calcular los rodamientos en el apoyo A. El tamaño de un rodamiento se determina para cargas dinámicas con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_t} * F$$

Dónde:

- $C$  = capacidad de carga dinámica en kp ofrecida en catálogo para cada rozamiento
- $f_L$  = coeficiente de esfuerzos dinámicos
- $f_n$  = coeficiente de velocidad; depende únicamente del número de revoluciones, y se establecen dos grupos según se trate de rodamientos de bolas o de rodillos.
- $f_t$  = coeficiente de temperatura de servicio

- $F$  = Carga dinámica equivalente en kp

Para elegir el coeficiente  $f_L$ , ver tabla 3

La aplicación más parecida a nuestro caso, sería para machacadora de piedra, por lo tanto se selecciona  $f_L = 3.0$ .

Para elegir el coeficiente de velocidad  $f_n$ , ver tabla 4.

El coeficiente  $f_n$  será 0'57, ya que en la tabla se indica que este es el valor para 180 rpm.

Ahora se escoge nuestro coeficiente  $f_t$  según la tabla 5

En este caso, la temperatura no será muy elevada, ni siquiera alcanzará los 150° que se muestran como valor mínimo en la tabla, por lo que se toma el menor valor de esta, siendo  $f_t = 1$

Por último, se calcula la fuerza  $F$ . Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$F = X * Fr + Y * Fa$$

Dónde:

- $Fr$  = carga radial en kp (en nuestro caso será la reacción en el apoyo A calculada anteriormente, 3'465kp)
- $Fa$  = carga axial en kp
- $X$  = coeficiente radial del rodamiento
- $Y$  = coeficiente axial del rodamiento

En este caso, solo se tiene carga radial, y en la tabla 6 se elegirá el valor de  $X$ :

En la tabla se aprecia que se ofrecen dobles parejas de valores  $X_1, Y_1, X_2, Y_2$ . Se debe calcular  $F$  con ambas parejas y se usará el mayor valor obtenido. En este caso no se necesita el valor de la  $Y$  dado que sólo se tendrá fuerza radial, y por lo tanto, el mayor resultado se obtendrá al multiplicar por  $X_1=1$

$$F = X * Fr + Y * Fa$$

$$F = 1 * 5'41kp = 3'465kp$$

Ahora se sustituyen los valores en la formula comentada anteriormente para calcular la capacidad de carga dinámica de nuestro rodamiento:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_t} * F$$

$$C = \frac{3}{0'681 * 1} * 5'41 = 23'83kp$$

Al igual que en el caso en el que se han calculado los rodamientos para los cilindros calibradores, en este caso de nuevo se obtiene una capacidad de carga muy reducida, de modo que no se tendrán problemas con el rodamiento que se escojan. Los rodamientos que se emplearán en el diseño serán los **7202** de la marca **skf**.

## 5.3 ZONA DE CRIBADO

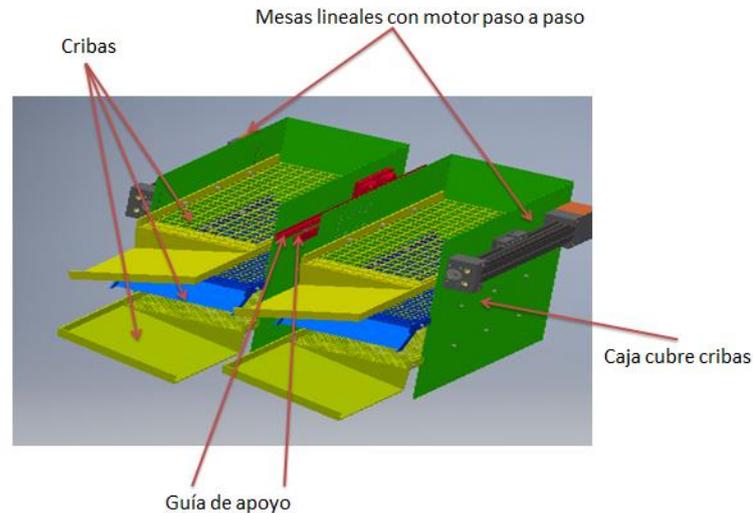


Ilustración 37. Zona de cribado

### 5.3.1 ELECCIÓN MÉTODO SEPARADOR

Dado que uno de los objetivos que se persigue es que un mismo sistema englobe las fases de calibración, descascarado y separación de cáscaras, se implementará el sistema de cribas. El principal motivo es que en el diseño de la máquina se pueden incluir unas cribas a la salida de la zona de descascarado, mientras que una mesa densimétrica sería una máquina a parte donde pasarían las almendras una vez descascaradas.

Es importante destacar que habrá que colocar tres depósitos diferentes a la salida de la criba, para que en uno caigan las cáscaras grandes, en otro los frutos enteros y en otro las cáscaras más pequeñas.

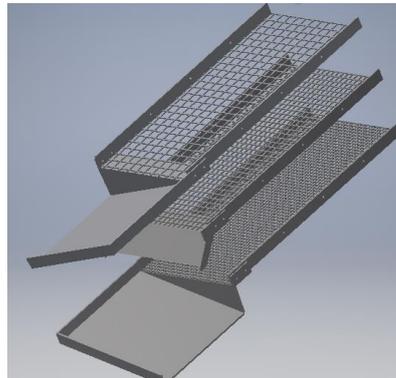
El sistema para realizar la vibración será una biela excéntrica, basándonos en un diseño ya existente, en el que la biela gira a 200rpm y está desviada 6mm del centro del eje de giro.



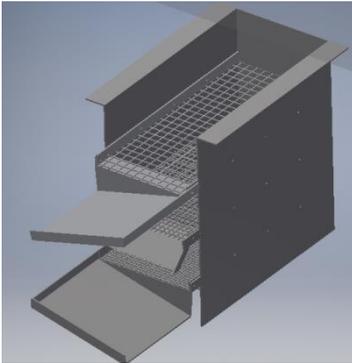
**Ilustración 38. Biela excéntrica**

En la imagen se observa la biela, que va unida a la parte inferior de la criba, provocando la vibración.

Las almendras pasarán por tres cribas, cada una con diferentes tamaños de agujeros (una para separar las cáscaras grandes, una intermedia en la que se queden las almendras, y una final donde se queden cáscaras más pequeñas).



**Ilustración 39. Cribas**

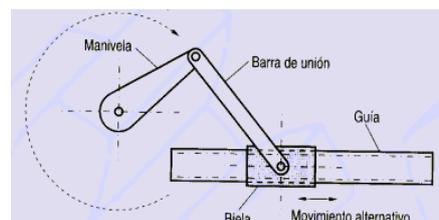


**Ilustración 40. Cribas**

Además, habrá dos zonas de cribas, una para las almendras pequeñas y otras para las grandes. Las tres cribas se unirán a una carcasa metálica, que impedirá que las almendras puedan salirse de las cribas

Para realizar la vibración, basando el diseño en el sistema elegido, emplearemos una biela con velocidad de giro de 200 rpm.

Para convertir este movimiento de giro en movimiento lineal, emplearemos una biela excéntrica. El sistema funciona como se muestra en la imagen



**Ilustración 41. Mecanismo biela**

El eje de la excéntrica se colocará a 6mm de desviación del centro del eje del motor. Con este dato, se sabe que la amplitud total del recorrido de la biela será de 12mm. La barra de unión tendrá una longitud de 300mm, para poder alojar el motor en la zona contraria a la zona por donde salen las almendras ya descascaradas. Esta barra será de acero, con una sección de  $6\text{cm}^2$ , y tendrá una geometría que permita que las dos cribas deslicen al mismo tiempo.

Al realizar el diseño, y teniendo en cuenta que para cumplir con la normativa internacional en cuanto a maquinaria para uso en la industria alimenticia las cribas deberán ser de acero inoxidable, con Inventor se puede obtener el peso de las cribas, que será de 29,400 kg (masa de las dos cribas juntas, la de almendras pequeñas y la de almendras grandes). Se obtiene el peso de las dos juntos porque la barra de la biela deslizará las dos a la vez.

En los extremos de la amplitud que recorrerá la criba, la barra de unión de la biela será sometida a esfuerzos de tracción y compresión. A continuación, se realizan unos cálculos para comprobar que la barra no sufrirá a tracción (si no sufre a tracción no sufrirá a compresión, ya que el acero tiene mayor resistencia a compresión que a tracción).

La barra de unión se fabricará con acero inoxidable AISI 316, que presenta una resistencia a tracción de  $75 \text{ kg/mm}^2$ . Como se ha indicado anteriormente, la barra tendrá una sección rectangular de  $600 \text{ mm}^2$ .

Conociendo que  $F = m \cdot a$

Donde  $F =$  fuerza, en este caso la mediremos en N

$m =$  masa, medida en kg, en este caso será de 30 kg

$a =$  aceleración, medida en  $\text{m/s}^2$

La fuerza de tracción que soportará la barra de unión será de  $75 \text{ kg/mm}^2$  multiplicada por los  $600 \text{ mm}^2$  de su sección será:

$$75 \text{ kg/mm}^2 \cdot 600 \text{ mm}^2 = 45000 \text{ kp} = \mathbf{450000 \text{ N}}$$

Despejando en la ecuación:

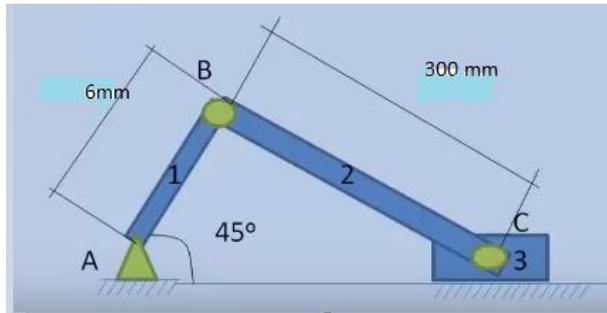
$$F = m \cdot a \rightarrow 45000 / 30 = a = \mathbf{1500 \text{ m/s}^2}$$

Como se puede comprobar, para que la barra de acero sufriera una deformación permanente, la aceleración que deberían llevar las cribas debería ser de  $1500 \text{ m/s}^2$ , una aceleración a la que es imposible que alcancemos con nuestro motor en ningún caso.



**Ilustración 42. Rodamiento lineal**

Para permitir el desplazamiento horizontal, se colocarán las cribas sobre unos rodamientos lineales. Estos elementos poseen un coeficiente de rozamiento mínimo. Este rodamiento se une con tornillos a la carcasa metálica donde están las tres cribas unidas, y deslizará por una barra de acero de 12mm de diámetro. El diámetro interior del rodamiento, de 12 mm, por eso será ese el diámetro de nuestra barra.

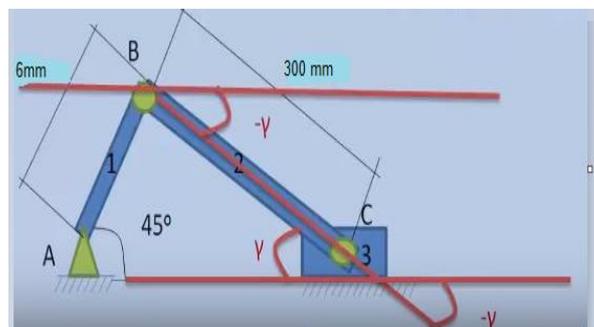


**Ilustración 43. Cálculo de biela**

A continuación, se va a calcular la velocidad y la aceleración a la que deslizará nuestra criba. Para ello, se plantea el problema de la siguiente forma, como un mecanismo biela-manivela, donde el primer tramo corresponde con los 6mm (0,6cm) de

desviación del eje de la excéntrica, y el segundo tramo será la barra de unión de 300mm (30cm). Otro dato que también se conoce es la velocidad angular de la barra 1, que será de 200rpm, o 20 rad/s, que será la unidad que se empleará al realizar los cálculos a continuación

Será necesario calcular las posiciones y ángulos de cada uno de los eslabones. En la siguiente imagen se observa el ángulo  $\gamma$



**Ilustración 44. Cálculo biela**

Se halla el valor de  $\gamma$  aplicando trigonometría:

$$0,6\text{cm} \cdot \text{sen}(45) = 30\text{cm} \cdot \text{sen}(\gamma)$$

Despejando la ecuación, se obtiene que  $\gamma = 0,81^\circ$

Ahora se conoce que la inclinación del eslabón 2 será de  $-0,81^\circ$ .

A continuación se calcula la velocidad del punto B, que será la siguiente:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{\omega}_1 * \vec{R}_{BA}$$

Donde se sabe que  $\vec{V}_A = 0$ , por tanto :

$$\vec{V}_B = \vec{\omega}_1 * \vec{R}_{BA}$$

$$\vec{V}_B = \begin{matrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 20 \\ 0,6 * \cos(45) & 30 * \text{sen}(45) & 0 \end{matrix}$$

$$\vec{V}_B = -8,48 \vec{i} + 8,48 \vec{j}$$

Y ahora se calcula la velocidad del punto C:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{\omega}_2 * \vec{R}_{CB}$$

Calculamos  $\vec{\omega}_2 * \vec{R}_{CB}$ :

$$\vec{\omega}_2 * \vec{R}_{CB} = \begin{matrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & w_2 \\ 0,6 * \cos(45) & 30 * \text{sen}(45) & 0 \end{matrix}$$

$$\vec{\omega}_2 * \vec{R}_{CB} = -0,42w_2 \vec{i} + 29,99w_2 \vec{j}$$

En principio, no se puede resolver porque se desconoce el valor de  $w_2$ , pero sí se sabe que C sólo tiene movimiento en el eje x, por lo que:

$$\vec{V}_{Cy} = 0$$

De esta forma se puede despejar el valor de  $w_2$  de la siguiente ecuación:

$$29,99w_2 + 8,48 = 0$$

Despejando  $w_2 \rightarrow w_2 = 0,28 \text{ rad/s}$

Y teniendo  $w_2$ , se calcula  $\vec{V}_C$ :

$$\vec{V}_{Cx} = \vec{V}_C = -0,42 * 0,28 = -0,1176 \text{ rad/s}$$

Sabemos que:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{ABt} + \vec{a}_{ABn}$$

Se resuelve la ecuación, y se sabe que:

$$\vec{a}_B = -w_1^2 * \vec{R}_{AB}$$

$$\vec{a}_B = -20^2 * (0,6 * \cos(45) \vec{i} + 0,6 * \text{sen}(45) \vec{j})$$

Por tanto la aceleración de B será:

$$\vec{a}_B = -169,7\vec{i} - 169,7\vec{j}$$

A continuación, nos disponemos a calcular  $\vec{a}_C$ :

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{BCt} + \vec{a}_{BCn}$$

De aquí despejamos  $\vec{a}_{BCt}$ :

$$\vec{a}_{BCt} = \vec{a}_C + \vec{R}_{BC}$$

$$\vec{a}_{BCt} = \begin{matrix} & \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \vec{a}_{BCt} = & 0 & 0 & \alpha_2 \\ & 0,6 * \cos(-0,81) & 30 * \text{sen}(-0,81) & 0 \end{matrix}$$

$$\vec{a}_{BCt} = 29,99 * \alpha_2 \vec{j} - 0,424\vec{i}$$

Podemos obtener el valor de  $\vec{a}_{BCn}$ :

$$\vec{a}_{BCn} = -w^2 * \vec{R}_{AC}$$

Ya que conocemos el valor de  $w^2$ , podemos obtener el valor de  $\alpha_2$ :

$$\vec{a}_{BCn} = -0,28^2 * (30 * \cos(-0,81) - 30 * \text{sen}(-0,81))$$

$$\vec{a}_{BCn} = -2,35\vec{i} + 0,0228\vec{j}$$

$$\vec{a}_{BCt} = 29,99 * \alpha_2 \vec{j} - 0,424\vec{i}$$

$$\vec{a}_B = -169,7\vec{i} - 169,7\vec{j}$$

Y como sabemos que el punto C solo se desplaza en el eje x:

$$\vec{a}_{Cy} = 0$$

Con estos datos, despejamos el valor de  $\alpha_2$ :

$$0 = 0,33 - 29,49 * 403 * \alpha_2 - 169,7$$

$$\alpha_2 = 403 \text{ rad/s}^2$$

De modo que la aceleración lineal final será:

$$\vec{a}_{Cx} = -2,35 - 29,49 * 403 - 169,4 = 11.793 \text{ cm/s}^2$$

En este punto, al incorporar el sistema de biela excéntrica anteriormente al diseño final de la máquina, se observan varios problemas. El principal es que dimensionalmente no se dispone de un lugar en el que se pueda colocar el motor para que la biela manivela trabaje bien.

Otro problema que se descubre es la dificultad que presenta el diseñar la pieza que nos permita hacer la acción de biela manivela a la vez en las dos cribas.

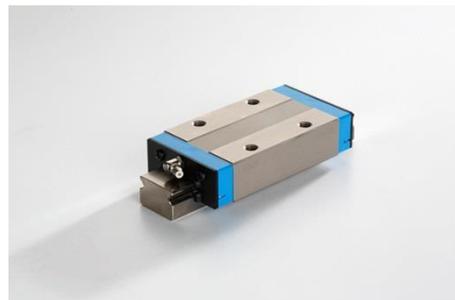
Además, se considera que el mecanismo de biela manivela es demasiado complejo para la poca amplitud que queremos dar a nuestra criba, de 12mm.

Se decide buscar una alternativa para realizar la vibración de las cribas.

La solución que se opta finalmente es colocar una guía, o mesa lineal, con un motor paso a paso a cada una de las cribas en uno de los lados, y apoyada en una guía compacta sin motor en el otro.



**Ilustración 45. Mesa lineal**



**Ilustración 46. Guía compacta**

Las principales características de este tipo de guías con motor, o mesas lineales, son las siguientes:

- Funcionan mediante un husillo trapezoidal montado y rodamientos montados
- Un rango de pasos de 2, 3, 12 y 50mm por vuelta
- Presentan un diseño compacto, ligero y de alta estabilidad
- Pueden mover grandes pesos, suficientes para este sistema

Estas guías funcionan con unos motores paso a paso, y se podrán controlar tanto la amplitud como la velocidad de vibración de las cribas desde el PLC.

### 5.3.2 DISEÑO FINAL ZONA DE CRIBADO

Las almendras deberán pasar tres cribas, con el objetivo de que en la superior se queden las cáscaras de mayor tamaño, en la criba intermedia se queden los frutos, y en la zona inferior se queden las cáscaras más pequeñas.

El material de las cribas deberá ser de acero inoxidable, dado que van a estar en contacto directo con los frutos, y nos las proporcionará la empresa Regio Cribas, una empresa especializada en la fabricación de mallas para cribas, y en concreto, especializada en cribas para la industria alimenticia.

Para agrupar las tres cribas, se realiza una cubierta de chapa, también de acero inoxidable, dado que la normativa lo exige al estar en contacto directo con los alimentos. Se realiza el diseño de la cubierta adaptándola a las cribas que proporciona el proveedor.

Para realizar la vibración de estas cribas, con una amplitud máxima de 12mm, emplearemos una mesa lineal, como se ha descrito anteriormente.

La mesa lineal seleccionada es **DRYLIN ZLW-1040** de la empresa **IGUS**. Esta mesa lineal funciona gracias a un motor paso a paso, el cuál podremos controlar desde nuestro PLC, para poder variar su velocidad o amplitud cuando se considere necesario.

El motor paso a paso que se empleará será del tipo NEMA23, que proporciona el mismo proveedor que nos dará las guías, **IGUS**.

Para el control de estos motores paso a paso, a diferencia de los servomotores, no se necesita que retornen siempre a una posición inicial, ya que en las cribas no es necesario que se posicionen en un punto concreto, si no que se necesitan controlar las variables de amplitud y velocidad. Estas variables se controlan mediante los impulsos que se envíen al motor paso a paso, y se definirán en la programación del PLC.

A continuación se muestra la conexión del motor paso a paso que se puede ver en el datasheet. Cabe indicar que en el datasheet se indica la conexión a un driver diferente, pero el que se ha elegido en esta ocasión de FESTO es compatible, y nos

permitirá conectar los motores paso a paso a la misma red PROFIBUS mediante la que se controlan los servomotores.

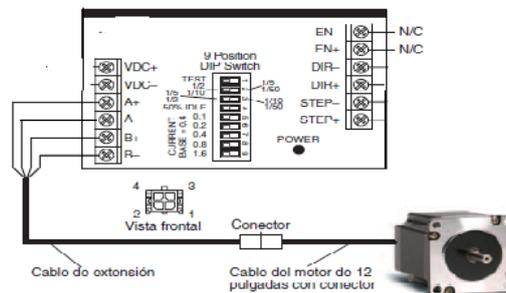


Ilustración 47. Conexión motor paso a paso

Para repartir el peso de nuestras cribas y darles más estabilidad, se les coloca una guía lineal en el lado contrario al que va la mesa lineal con motor. Esta guía lineal será una guía compacta, debido a que se dispone de poco espacio para colocarla. Nos suministrará también GUS, y será el modelo **DRYLIN T**.

Por último, se elige el magnetotérmico que deberá proteger los motores paso a paso, y el cableado que necesita.

En este caso, el driver se alimenta a 24V, y el fabricante indica que tienen una intensidad nominal de 8A. Por ello, elegimos un magnetotérmico que funcione a 24V, y 10A (valor comercial más cercano al que se necesita). Al igual que con los motores anteriores, la curva de disparo será de tipo D.

Para el cableado, al igual que en los casos anteriores, se sigue la UNE 20.460 -5-523, y se obtiene que se requiere una sección de  $1,5\text{mm}^2$ , pero al tratarse de motores, como se ha mencionado anteriormente, se instalará una sección mínima de  $2,5\text{mm}^2$

Al igual que en los casos anteriores, se comprueba que la sección es suficiente para la caída de tensión:

$$e = \frac{p * 2 * L * I}{S}$$

Dónde:

e= caída de tensión (en V, en este caso deberá ser menor a 1,2V)

p= resistividad del cobre ( $0,0172 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$ )

Autor: **Daniel Guillén Sebastián**

424.17.47

L= longitud de la línea (1m en este caso)

2= se multiplica por dos al tratarse de una línea monofásica formada por dos cables

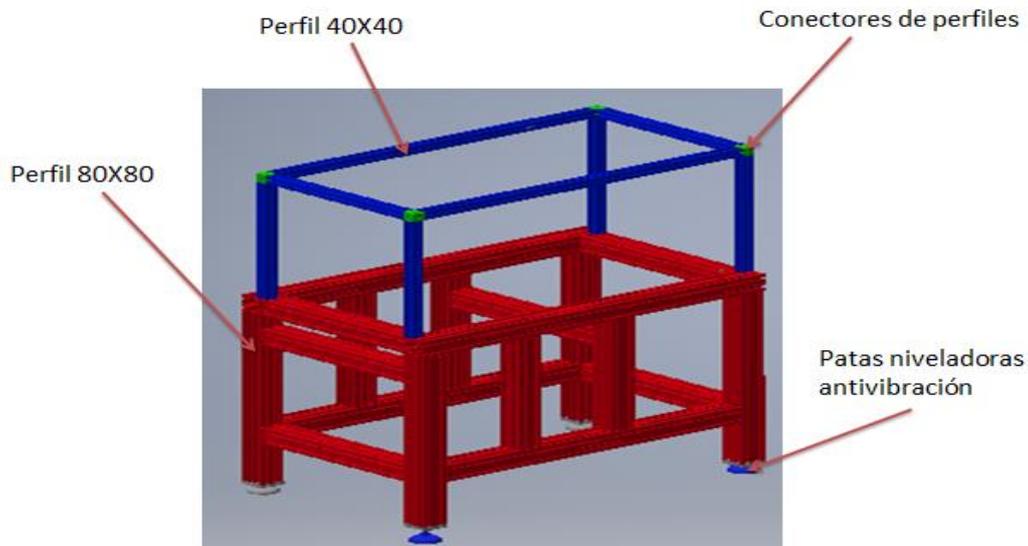
I= Intensidad (8A)

S= sección ( $2,5\text{mm}^2$ )

$$e = \frac{0,0172 * 2 * 1 * 8}{2,5} = 0,11V$$

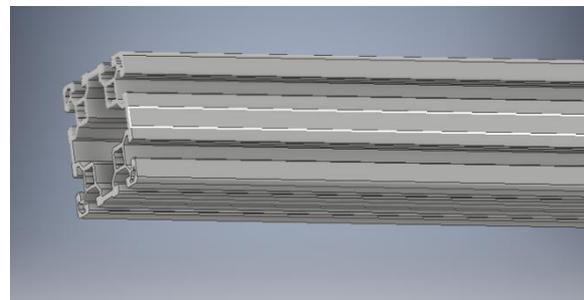
Se observa que la sección es suficiente para la diferencia de tensión que se dará.

## 5.4 ESTRUCTURA



**Ilustración 48. Estructura completa**

La estructura de la cascadora de almendras estará constituida por perfiles de aluminio de 80X80 de sección, con doble ranurado en cada cara. Este doble ranurado servirá para llevar por el cableado de los distintos componentes eléctricos que llevará nuestra máquina.

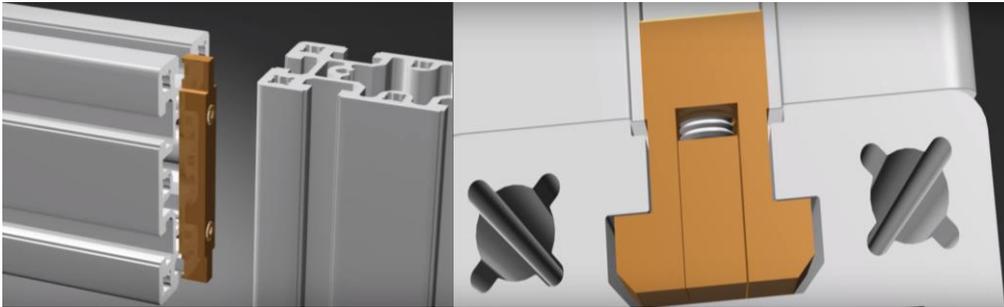


**Ilustración 49. Perfil estructural**

En la parte superior de la máquina, donde esté la tolva de alimentación y los cilindros calibradores, se empleará un perfil de sección menor, concretamente de 20X20mm.

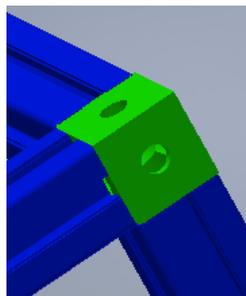
Los perfiles que se emplearán serán de la marca RK ROSE, y se unirán entre sí mediante un sistema por el cual no es necesario mecanizarlos. Este sistema consiste en una pieza que se introduce en la sección interior del perfil, y mediante el apreté de dos tornillos, ejerce una gran presión en las paredes del perfil, haciendo que quede

uno anclado a otro. Es un sistema que RK ROSE recomienda para usos industriales, y es resistente a vibraciones, por lo que es óptimo para esta máquina.



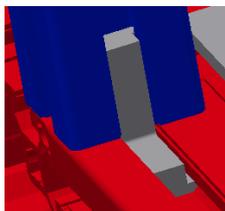
**Ilustración 50. Unión perfiles estructurales**

Para unir los perfiles de 40X40mm, emplearemos unos cubos conectores que nos ofrece el fabricante de los perfiles. Son los que aparecen en la siguiente imagen:



**Ilustración 51. Cubo conector perfiles 20x20**

Para unir los perfiles de 40X40mm a los de 80X80, y los de 40X40 en perpendicular entre sí, emplearemos los siguientes conectores, que van en el perfil como se muestra en la imagen:

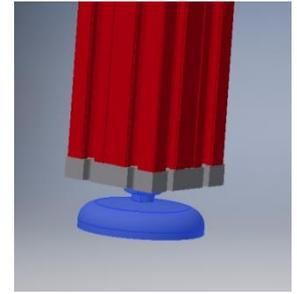


**Ilustración 52. Unión perfiles en perpendicular**

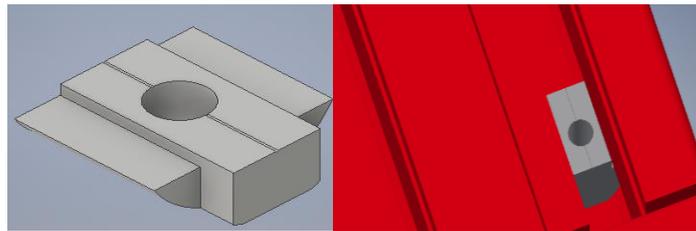
Para apoyar toda la estructura en el suelo, utilizaremos unas patas niveladoras especiales que absorben gran parte de la vibración de la máquina. Estos niveladores nos los suministra la misma empresa que nos suministra el resto de la estructura, **RK-**

**ROSE.** Hay que indicar que para colocar el nivelador, hay que emplear una unión especial, que va encajada en la parte final del perfil, como se muestra en la imagen.

Para atornillar la mesa sobre la que se apoya toda la zona de descascarado, se insertan en las ranuras del perfil los siguientes elementos, que permiten introducir un tornillo en su interior sin necesidad de mecanizar el perfil:



**Ilustración 53.**  
**Nivelador**



**Ilustración 54. Conector para tornillos**

## 5.5 ZONA DE CONTROL

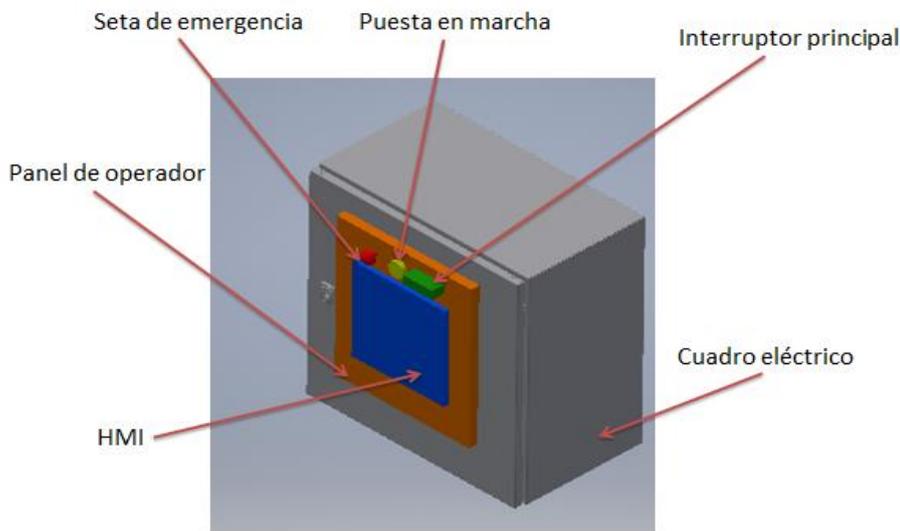


Ilustración 55. Zona de control

### 5.5.1 RED PROFIBUS

Tanto los servomotores como los motores paso a paso mencionados anteriormente, se controlarán mediante el **PLC Siemens 1200**, de la gama siplus exteme.

Los motores se conectarán a los drives, y estos irán conectados al PLC por una red PROFIBUS, concretamente mediante el módulo de **siemens CM 1243-5**. Este módulo permite que el PLC realice la función de master, en una conexión master/slave realizada mediante PROFIBUS.

Para realizar esta conexión PROFIBUS, hay que tener en cuenta varias cosas, como que para un funcionamiento sin perturbaciones, el cable del bus debe ser finalizado en ambos extremos con unas resistencias de finalización. Estas resistencias suelen ir incorporadas en el bus.

También hay que tener en cuenta que el cable debe ser alimentado por uno de sus extremos. En este caso esto no es un problema, ya que la alimentación se realiza a través de su conexión al PLC.

Para esta aplicación, se empleará el BUS **6XV1830-0EH10** de siemens, el cuál cumple todas especificaciones que se necesitan. Es el recomendado por siemens para

aplicaciones en condiciones de polvo y vibración, presenta una velocidad suficiente para este sistema, e incluye las resistencias de finalización comentadas anteriormente.

A continuación se muestra un esquema de la red profibus:

## RED PROFIBUS

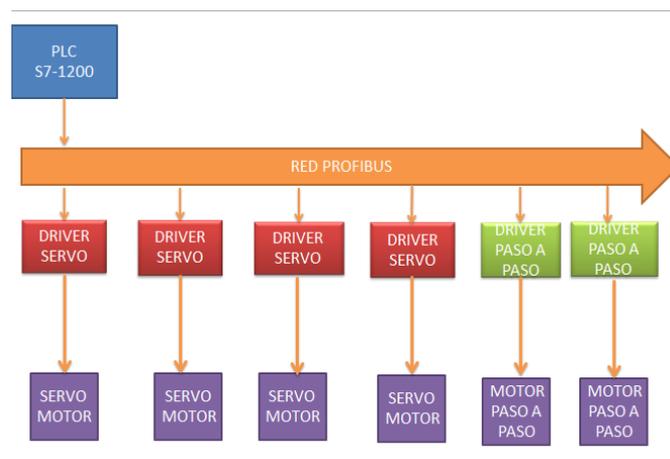
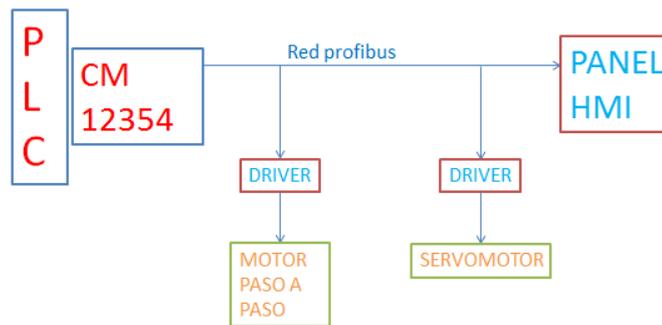


Ilustración 56. Esquema conexión profibus

### 5.5.2 CUADRO DE MANDO

La zona de control estará compuesta por el cuadro de mando, donde aparecerá el interruptor principal, un botón para realizar un paro de emergencia, y un HMI a través del cual se podrá realizar el scada del PLC, para poder controlar los servomotores y motores paso a paso.

El HMI que se incorporará a esta máquina será **KTP1200 Basic**, de Siemens, la misma marca que nos proporciona el PLC. Posee un panel táctil de pantalla ancha de 12 pulgadas con pantalla a color y 10 teclas de función, que son suficientes para realizar el control de este sistema. Con él, se puede realizar el SCADA necesario para este sistema. Este HMI se comunica con el PLC mediante la red PROFIBUS. Además, el fabricante nos recomienda protegerlo con un interruptor magnetotérmico de 24V y 1A.

Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es el conjunto de software y hardware que sirven para poder comunicar, controlar y supervisar diversos dispositivos de campo así como controlar de forma remota todo el proceso. Además suele incorporar HMI que proporciona un control del proceso mucho más intuitivo y rápido tomando en cuenta las prestaciones que una interface tiene. Todo esto, tiene como fin ayudar a los operarios y supervisores, otorgándoles de un mejor control y la posibilidad de realizar cambios de forma prácticamente inmediata. [30][31]

Este panel de operador se situará sobre del armario eléctrico, en el que se introducirán los diferentes elementos que requiere nuestra máquina para su funcionamiento, en concreto:

- PLC Siemens S7-1200
- Módulo CM 1243-5
- Magnetotérmicos para proteger motores
- Contactores
- Driver para servomotores
- Driver para motores paso a paso
- Fuente de alimentación

### 5.5.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación, alimenta tanto al PLC como a los motores paso a paso, a los motores calibradores y al HMI. Será de 24V/25A. Se calcula contando los consumos máximos que se pueden dar simultáneamente. Como en el caso más desfavorable pueden estar todos los elementos en funcionamiento, se calcula teniendo en cuenta los consumos de los motores paso a paso (8A cada uno), también se tiene en cuenta que los dos motores que harán girar a los cilindros calibradores con un consumo de 3,2A cada uno, y el consumo de nuestro HMI, de 550mA. Se alimentarán

a partir de esta fuente de alimentación, así como el PLC. Estos datos se pueden consultar en anexos, donde se incluye la información de cada motor (datasheets).

A continuación se procede a calcular la sección del cable general. Para ello, tendremos en cuenta la intensidad nominal del elemento que tenga mayor consumo de intensidad, y se multiplicará por 1,25. La mayor tensión nominal es la que alimenta los driver de los servomotores, que es de 4,27A. Multiplicamos esta intensidad por 1,25 de manera que se obtienen 5,33A. Por último, se elige la sección del cable según la norma UNE 20.460 -5-523 (ver punto 5.1.3). Se observa que la sección debería ser de  $1,5mm^2$ , pero como ya se ha comentado anteriormente, la sección mínima en este caso debe ser de  $2,5mm^2$ .

Al igual que en los casos anteriores, se comprueba que la sección es suficiente para la caída de tensión:

$$e = \frac{p * 2 * L * I}{S}$$

Dónde:

e= caída de tensión (en V, en este caso deberá ser menor a 1,2V)

p= resistividad del cobre ( $0,0172 \frac{\Omega * mm^2}{m}$ )

L= longitud de la línea (1m en este caso)

2= se multiplica por dos al tratarse de una línea monofásica formada por dos cables

I= Intensidad (5,33)

S= sección ( $2,5mm^2$ )

$$e = \frac{0,0172 * 2 * 1 * 5,33}{2,5} = 0,07V$$

Se observa que la sección es suficiente para la diferencia de tensión que se dará.

Se elegirá el interruptor principal teniendo en cuenta la intensidad nominal de todos elementos, y multiplicando x 1,25 la intensidad nominal de los elementos de la línea principal.

Así que, teniendo en cuenta la intensidad del motor de 0,5CV (2,12A), la intensidad que entra al transformador (sabiendo que entran 220V, y salen 24V y 25A, se puede saber que entran 2,72A), y la intensidad que alimenta los 4 servomotores (4,27A cada uno), se obtiene una intensidad de 22,45A



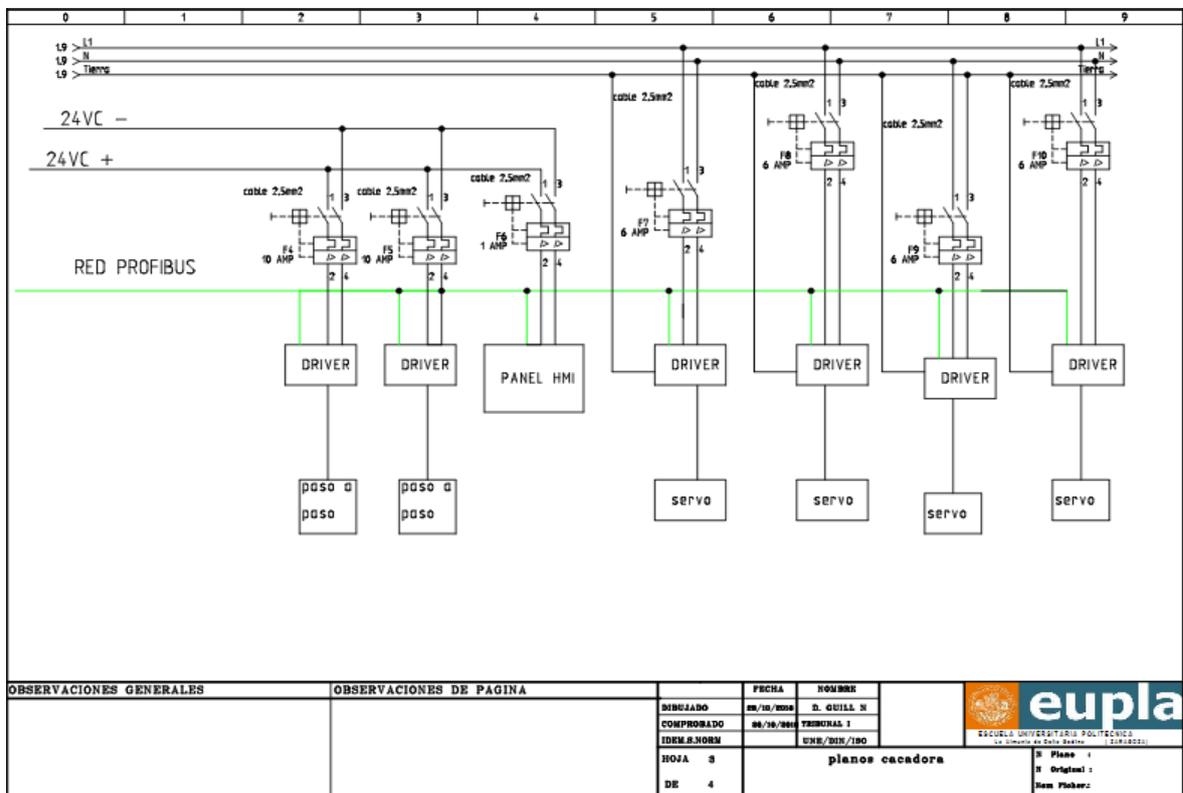
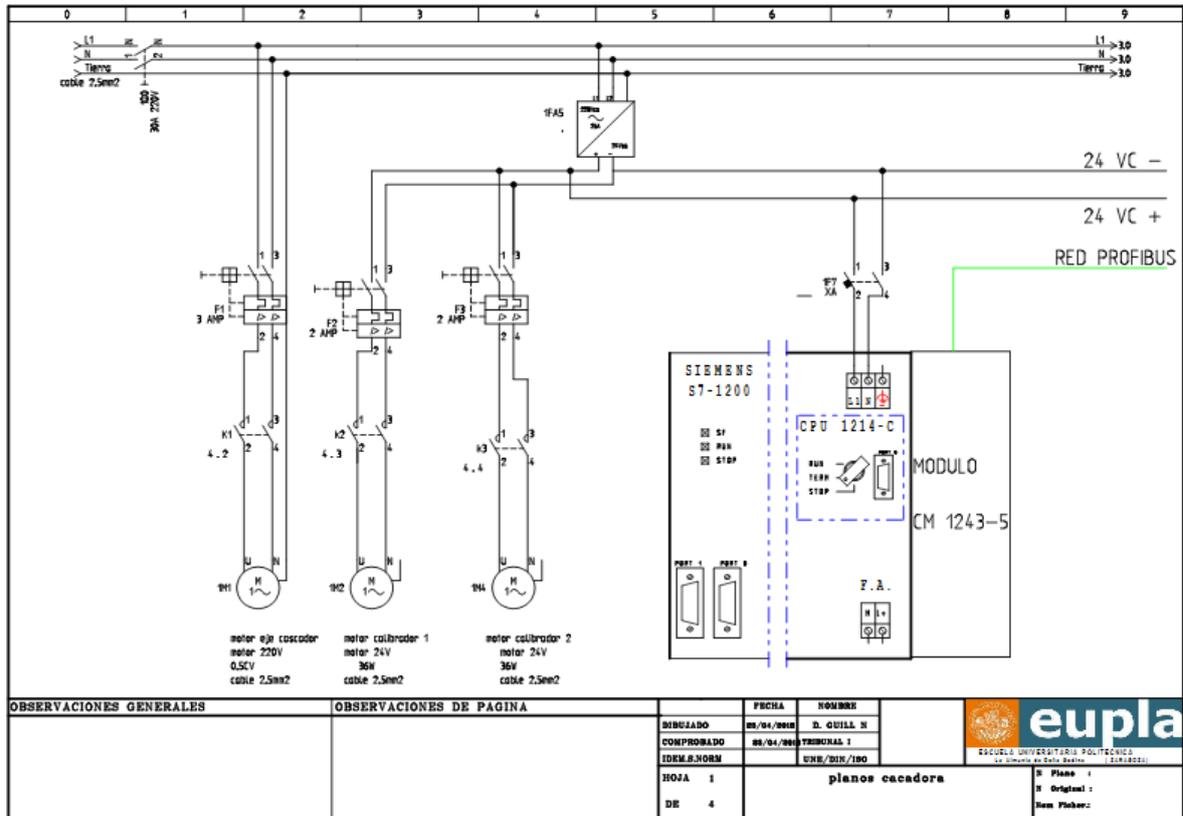
Por lo tanto, se multiplica 22,45A por 1,25, y se obtiene que se necesitará un interruptor para 28,06A. Se elegirá un interruptor que funcione a 220V y soporte 30A, ya que es el valor comercial más próximo al valor que se ha calculado que será necesario.

También se tiene en cuenta que el sistema deberá tener una toma de tierra, que deberá cumplir las siguientes funciones:

Proporcionar un camino seguro y de baja impedancia para la corriente de cortocircuitos a niveles que no representen riesgo de choque eléctrico para las personas.

Disminuir en estado estacionario a valores mínimos las tensiones de objetos metálicos que se encuentran influenciados por inducciones de objetos energizados. Para garantizar esto se requieren valores bajos de resistencia de puesta a tierra y que los objetos metálicos se encuentren correctamente conectados al sistema de puesta a tierra.

A continuación, se muestra el esquema eléctrico del sistema:



Autor: **Daniel Guillén Sebastián**

- 79 -

424.17.47

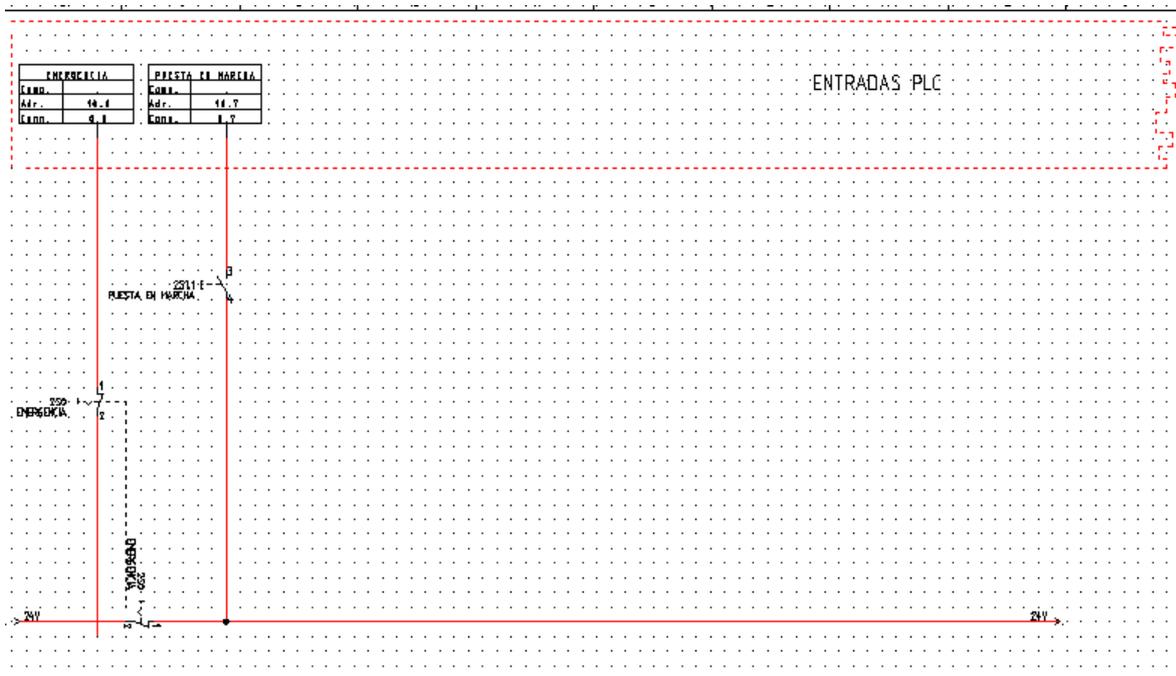
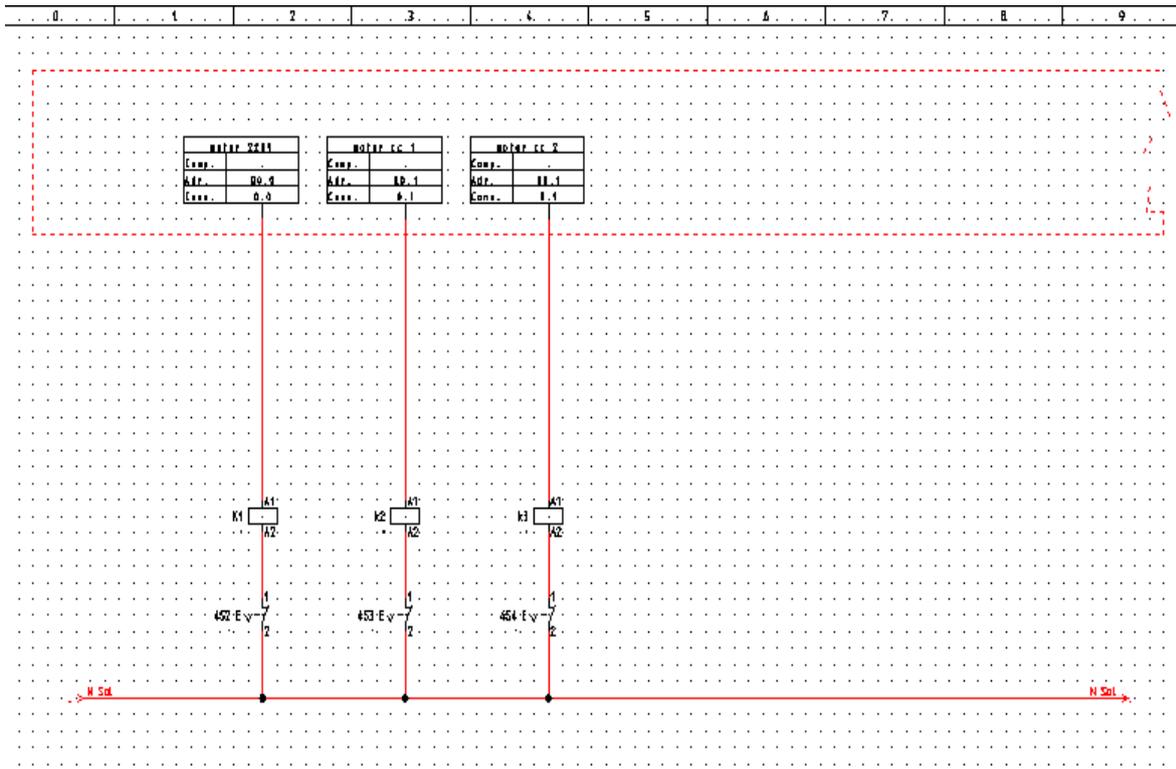
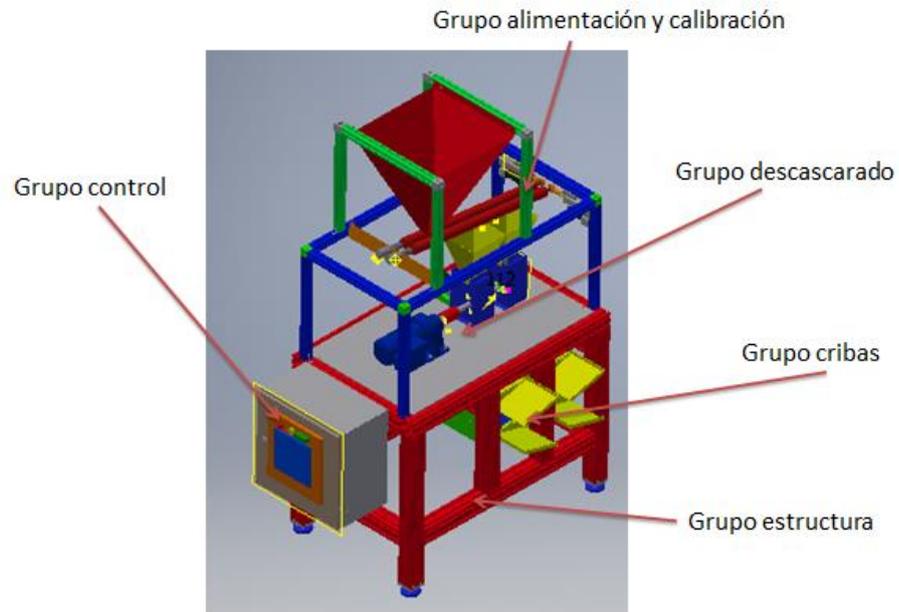


Ilustración 57. Esquemas eléctricos

## 5.6 DISEÑO FINAL SISTEMA



**Ilustración 58. Diseño final sistema completo**

## 6. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el diseño, se procede a evaluar en qué medida se han logrado los objetivos iniciales.

En general, se ha logrado el objetivo principal, que consistía en el diseño de una cascadora de almendras que realizara las funciones de calibrado, descascarado y separación de cáscaras y frutos, se ha conseguido.

Una modificación importante es que al realizar un primer estudio de las máquinas que hay en el sector, se comprobó que todas empresas que rompen almendras a nivel industrial emplean plantas enteras, dividiendo los distintos procesos (en unas máquinas calibran, en otras descascaran y en otras separan), y finalmente se ha diseñado una máquina que engloba los tres procesos, que puede ir más enfocada a agricultores que quieran vender su producto a nivel local, o a cooperativas que quieran también vender directamente.

De cara al futuro, este trabajo tiene varias vías de continuidad. Una de ellas sería buscar que la máquina pueda ser empleada para romper diferentes tipos de frutos secos, como pistachos, nueces, castañas...

También se podría hacer un estudio económico de esta máquina, y buscar alternativas para reducir costes.

Otro punto en el que no se ha hecho hincapié y debería realizarse, sería en la programación del PLC, para controlar los diferentes servomotores y motores paso a paso, mediante la red profibus u otro sistema que se implante. También se podría hacer un estudio general y mejora de toda parte eléctrica, incluyendo el panel del operador.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alma Milvaques, «Diseño higiénico en la industria alimentaria», *Seguridad e Higiene alimentaria*, 25-mar-2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.betelgeux.es/blog/2015/03/25/disenio-higienico-en-la-industria-alimentaria/>.
- [2] «Aecosan - Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición», 13-feb-2015. [En línea]. Disponible en: [http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad\\_alimentaria/detalle/materiales\\_contacto\\_alimento.htm](http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/detalle/materiales_contacto_alimento.htm).
- [3] Luis Cremades Belmonte, «Almendras Luis Cremades Belmonte e Hijos, S.A.», 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.almendrascremades.com/historia.html>.
- [4] «BORRELL S.A. | Maquinaria para Almendras, Frutos Secos y Semillas - Home», 21-sep-2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.jborrell.es/>.
- [5] Allgaier Mogensen SL ,«Tamizadoras»,5-nov-2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.almo.es/es/tamizadoras>.
- [6] Marco Noguera, «DEFINICIÓN TAMIZADORA»,16-may-2014. [En línea]. Disponible en: <http://tamizadoperacionesunitarias.blogspot.com/2014/05/definicion.html>
- [7] plachisa2008, *Partidora de Almendras Automatica PLACHISA*, 4-may-2012 [En línea]. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=RLHMj\\_K9Dhw&t=5s](https://www.youtube.com/watch?v=RLHMj_K9Dhw&t=5s)
- [8] Plachisa S.L., «Partidora de Almendra | Plachisa».7-may-2015 [En línea]. Disponible en: <http://plachisa.com/partidora-de-almendra-2/>.
- [9] Allgaier Mogensen SL «Separación óptica», 8-mar-2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.almo.es/es/separacion-optica>.
- [10] Bruno G, *Cascadora de nueces, explicación*, 5-abr-2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=CGOnAiho758>
- [11] Honorio Hernandez, *Cascadora de almendras casera*. 30-mar-2013 [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=1o1YOp2Q4Jk>
- [12] FMB, «Machacadora de ImpactosMéxico,Machacadora de Piedra Tipo Impacto , 8-oct-2011. [En línea]. Disponible en: <http://trituradoras-de-roca.com/noticias/1596.html>.
- [13] Víctor Yepes, «¿Qué es una trituradora de impactos? », 23-mar-2013 . [En línea]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/03/23/que-es-una-trituradora-de-impactos/>
- [14] José Luis Condón, *Cascadora de almendras con limpai*, 3-ene-2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Ja1Uq0bfzY&t=122s>
- [15] Allgaier Mogensen SL «Mesas de separación densimétrica», 17-abr-2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.almo.es/es/mesas-de-separacion-densimetica>.
- [16] TYMSA, «Cribas Vibratorias fabricante en México».21-nov-2012 [En línea]. Disponible en: <http://www.trituracionmolienda.com/Cribas.html>.

- [17] VIBRASCREENER, «Industrial Screening Equipment | Vibrating Sifter Machines | Industrial Sieves», 2017. [En línea]. Disponible en: <http://vibrascreener.com/es/bisonte-separador/>
- [18] Paloma Prieto, «Lenguajes de programación - Principios básicos de PLC | Observatorio Tecnológico», 8-oct-2007. [En línea]. Disponible en: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>.
- [19] F. Mecafenix, «Que es y para que sirve un PLC?», *Ingeniería mecafenix*, 16-ene-2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>
- [20] Siemens, «SIMATIC S7 - 1200 - El Futuro de la Industria - Siemens», 2017. [En línea]. Disponible en: [http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/controlador\\_basico\\_s71200/pages/s7-1200.aspx](http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/controlador_basico_s71200/pages/s7-1200.aspx).
- [21] Luis Llamas «Ejercer grandes fuerzas con actuador lineal y Arduino», 27-dic-2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-actuador-lineal/>
- [22] Nelson Fime «Actuadores », 21-dic-2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos15/actuadores/actuadores.shtml>.
- [23] Valvias «Tipos de actuadores - electricos, manuales, hidraulicos», 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.valvias.com/tipos-de-actuadores.php>.
- [24] Anthony García «¿Qué es y cómo funciona un servomotor? », 2-dic-2016. [En línea]. Disponible en: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- [25] CLR «¿Qué es un servomotor y cuándo se utiliza? », 15-mar-2016. [En línea]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/servomotor-cuando-se-utiliza/>
- [26] F. Mecafenix, «Servomotor ¿Que es y como funciona?», *Ingeniería mecafenix*, 18-abr-2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/>
- [27] F. Mecafenix, «Motor paso a paso ¿que es y como funciona?», *Ingeniería mecafenix*, 20-abr-2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>
- [28] PROMETEC «Motores paso a paso », 14-jun-2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.prometec.net/motores-paso-a-paso/>.
- [29] Alfredo Jesús Paredes, «MECANOTECNIA: DISEÑO MECÁNICO DE TOLVAS INDUSTRIALES (TERCERA PARTE)», 30-abr-2017. [En línea]. Disponible en: <http://mecanotecnia.blogspot.com.es/2017/04/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>
- [30] Carlos deCastro Lozano, «Sistemas SCADA», 1-dic-2017. [En línea]. Disponible en:
- [31] Wonderware Iberia «¿Qué es SCADA? », 24-nov-2016 [En línea]. Disponible en: <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-scada/>

