



## **Diseño de un desapilador de canastas en la cooperativa COLANTA**

Juan José García Arroyo

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesores

Carlos Alberto Mejía Blandón, Magíster (MSc) en ingeniería

Jhonatan David Marulanda Benjumea, Especialista (Esp) en Diseño  
mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

<b>Cita</b>	(García Arroyo, 2022)
<b>Referencia</b>	García Arroyo, J.J (2022). <i>Diseño de un desapilador de canastas en la cooperativa COLANTA</i> , [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN .....	11
2. INTRODUCCIÓN.....	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
4. MARCO TEÓRICO.....	13
5. ESTADO DEL ARTE .....	16
5.1 Procesos y máquinas similares.....	16
5.1.1 Desapilador automático de canastas XUCLA: .....	16
5.1.2 Desapilador de canastas ULMA: .....	16
5.1.3 Desapilador de canastas PROCESS CLEANERS:.....	17
5.1.4 Desapilador de canastas BRILLOPAK:.....	18
6. OBJETIVOS.....	20
6.1 Objetivo General .....	20
6.2 Objetivos Específicos .....	20
7. METODOLOGÍA .....	21
8. CRONOGRAMA .....	23
9. ASPECTOS PARA TENER EN CUENTA en EL DISEÑO .....	23
9.1 Cantidad de canastas desapiladas por hora.....	23
9.2 Especificaciones de la canasta .....	24
9.3 Localización.....	26
9.4 Normas de seguridad y salud.....	26
9.5 Lista de requerimientos.....	28
10. PROCESO DE DISEÑO .....	29
10.1 Análisis funcional.....	29
10.1.1 Análisis funcional: Caja Negra.....	29
10.1.2 Funciones principales y secundarias de la máquina .....	30
10.1.3 Análisis funcional: Caja transparente .....	31
10.2 Diseño conceptual .....	32
10.2.1 Etapa 1: Sistema de elevación de canastas .....	32
10.2.2 Etapa 2: Sistema de transporte .....	32
10.2.3 Etapa 3: Sistema de sujeción de canastas .....	33

10.2.4	Etapa 4: Sistema de separación de canastas .....	33
10.2.5	Etapa 5: Sistema para voltear las canastas .....	33
10.2.6	Etapa 6: Sistema de detección .....	33
10.3	Alternativas de diseño .....	34
10.4	Análisis de alternativas .....	38
10.4.1	Sistema de elevación .....	38
10.4.1.1	Alternativa N°1: Elevación hidráulica.....	38
10.4.1.2	Alternativa N°2: Elevación por ejes lineales .....	38
10.4.1.3	Alternativa N°3: Rampa o plano inclinado .....	39
10.4.2	Sistema de transporte de las canastas.....	39
10.4.2.1	Alternativa N°1: Cadena transportadora cardánica .....	39
10.4.2.2	Alternativa N°2: Banda transportadora de rodillos.....	39
10.4.2.3	Alternativa N°3: Banda transportadora modular .....	40
10.4.3	Sistema de sujeción de canastas.....	40
10.4.3.1	Alternativa N°1: Actuador neumático compacto de doble efecto 40	
10.4.3.2	Alternativa N°2: Actuador neumático de sujeción lineal y giratorio 40	
10.4.3.3	Alternativa N°3: Pinzas Metálicas .....	41
10.4.4	Sistema de separación de canastas .....	41
10.4.4.1	Alternativa N°1: Sistema de cadenas con guías lineales .....	41
10.4.4.2	Alternativa N°2: Cilindros multiposición.....	41
10.4.4.3	Alternativa N°2: Técnica de vacío (Ventosas) .....	41
10.4.5	Sistema de volcamiento de canastas .....	42
10.4.5.1	Alternativa N°1: Estructura móvil accionada por un actuador neumático.....	42
10.4.5.2	Alternativa N°2: Estructura con elementos de guiado y lamina en espiral	42
10.4.5.3	Alternativa N°3: Estructura con barras circulares en espiral .....	42
10.4.6	Sistema de detección de canastas.....	43
10.4.6.1	Alternativa N°1: Sensores de proximidad capacitivos .....	43
10.4.6.2	Alternativa N°2: Sensores Fotoeléctricos.....	43

10.5	Criterios de selección de alternativas .....	43
10.6	Diseño preliminar.....	47
11.	SISTEMA DE ELEVACIÓN DE CANASTAS .....	50
11.1	Generalidades .....	50
11.1.1	Infraestructura de la automatización eléctrica.....	50
11.2	Ejes lineales eléctricos .....	51
12.	SISTEMA DE SUJECIÓN DE CANASTAS .....	52
12.1	Generalidades .....	52
12.1.1	Cilindros neumáticos de doble efecto .....	53
13.	SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CANASTAS.....	54
13.1	Cilindros eléctricos .....	54
14.	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES .....	55
14.1	Sistema de elevación de canastas: Ejes lineales eléctricos.....	55
14.1.1	Montaje del eje lineal eléctrico.....	57
14.1.2	Selección del servomotor.....	59
14.2	Sistema de transporte: Transportador de cadena cardánica.....	62
14.3	Sistema de sujeción de canastas: Cilindros neumáticos compactos.....	63
14.3.1	Tanque de almacenamiento de aire comprimido:.....	67
14.4	Sistema de separación de canastas: Cilindros eléctricos .....	70
14.5	Sistema de volcamiento de canastas .....	71
14.6	Automatización del sistema .....	72
14.6.1	Definición del sistema de control .....	72
14.6.2	Definición de variables del sistema de control.....	73
14.6.3	Componentes del sistema de control .....	74
14.6.3.1	Pulsadores .....	74
14.6.3.2	Sensores capacitivos .....	77
14.6.3.3	Sistema de procesamiento de señales (PLC): .....	78
14.6.3.4	Electroválvulas.....	79
14.6.3.5	Gabinete de control.....	81
14.6.3.6	Fuente de alimentación .....	83
14.6.3.7	Lenguaje LADDER.....	83

14.7	Modelo 3D .....	86
14.7.1	CAD Sistema de elevación de canastas .....	86
14.7.2	CAD Sistema de transporte de canastas .....	86
14.7.3	CAD Sistema de sujeción de canastas.....	87
14.7.4	CAD Sistema de separación de canastas .....	87
14.7.5	CAD Cabina desapilador de canastas.....	88
14.7.6	CAD Sistema volcador de canastas .....	88
15.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	89
15.1	Análisis de elementos finitos.....	89
15.2	Análisis de elementos finitos a Lámina del Sistema de elevación de canastas .....	90
15.3	Análisis de elementos finitos a la cabina desapilador de canastas .....	97
16.	CONCLUSIONES .....	105
17.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Desapilador de canastas XUCLA.....	16
Ilustración 2. Desapilador de canastas ULMA.....	17
Ilustración 3. Desapilador de canastas Process Cleaners. Fuente [3] .....	18
Ilustración 4. Especificaciones técnicas desapilador BRILLOPAK. ....	19
Ilustración 5. Desapilador de canastas BRILLOPAK. ....	19
Ilustración 6. Metodología de diseño. ....	22
Ilustración 7. Plano de la canasta para transporte de leche pasteurizada. ....	24
Ilustración 8. Peso de la canasta.....	25
Ilustración 9. Canastas apiladas.....	25
Ilustración 10. Zona de lavado de canastas.....	26
Ilustración 11. Tarea de arrastre [Izquierda] y colocación de canastas apiladas [Derecha]. ....	28
Ilustración 12. Tarea de separación de canastas apiladas. ....	28
Ilustración 13. Análisis funcional de caja negra de la máquina para desapilación de canastas.....	29
Ilustración 14. Esquema de funciones y subfunciones de la máquina. ....	30
Ilustración 15. Análisis funcional de caja transparente de la máquina para desapilación de canastas. ....	31
Ilustración 16. Diseño preliminar de la máquina. ....	48
Ilustración 17. Diseño preliminar sistema de separación. ....	48
Ilustración 18. Diseño preliminar sistema de volcamiento de canastas.....	49
Ilustración 19. Disposición jerárquica automatización eléctrica.....	51
Ilustración 20. Eje lineal eléctrico accionado por correa dentada. Fuente: Festo. ....	52
Ilustración 21. Disposición de un sistema de control electroneumático. Fuente: Aula21. ....	52
Ilustración 22. Cilindro de doble efecto (Izquierda) y simbología (Derecha). ....	53
Ilustración 23. Cilindro neumático compacto ADN. Fuente: Festo.....	54
Ilustración 24. Vista en sección de un cilindro eléctrico. Fuente: Festo. ....	54
Ilustración 25. Modelo 3d de la lámina de elevación. ....	55
Ilustración 26. Propiedades físicas de la lámina de elevación. ....	56
Ilustración 27. Especificaciones técnicas del eje lineal eléctrico. Fuente: Festo. ....	57
Ilustración 28. Fuerzas admisibles para el eje lineal eléctrico. Fuente: Festo.....	57
Ilustración 29. Cuadro general de periféricos. Fuente: Festo. ....	58
Ilustración 30. Elemento de fijación seleccionado.....	58
Ilustración 31. Fijación por pies HPE-80. Fuente: Festo.....	59
Ilustración 32. Especificaciones técnicas del servomotor. Fuente: Festo.....	60
Ilustración 33. Especificaciones del servomotor elegido. Fuente: Festo. ....	61
Ilustración 34. Unión cardánica elegida. Fuente: Festo.....	61

Ilustración 35. Especificaciones generales de la cadena. Fuente: Pladesan. ....	62
Ilustración 36. Dimensiones del piñón. Fuente: Pladesan. ....	62
Ilustración 37. Fuerzas y energía del impacto del cilindro compacto ADN. Fuente: Festo. ....	64
Ilustración 38. Especificaciones de la tubería elegida. Fuente: Imporinox. ....	69
Ilustración 39. Longitud requerida del tanque. ....	69
Ilustración 40. Tanque de almacenamiento de aire. ....	70
Ilustración 41. Datos mecánicos del cilindro eléctrico. Fuente: Festo. ....	71
Ilustración 42. Sistema de volcamiento de canastas. ....	72
Ilustración 43. Ubicación de entradas y salidas del sistema de control en la máquina. ....	74
Ilustración 44. Botón pulsador de arranque XB4BA31. Fuente: Schneider Electric. ....	74
Ilustración 45. Especificaciones botón pulsador verde. ....	75
Ilustración 46. Botón de parada de emergencia XB4BS8445. Fuente: Schneider Electric. ....	76
Ilustración 47. Especificaciones botón paro de emergencia. ....	76
Ilustración 48. Sensor capacitivo XT112S1PAL2. Fuente: Schneider Electric. ....	77
Ilustración 49. Especificaciones sensor capacitivo. ....	77
Ilustración 50. PLC elegido: LOGO!8. Fuente: Siemens. ....	78
Ilustración 51. Módulo de expansión para PLC LOGO! 6ED1055-1CB10-0BA2. Fuente: Siemens. ....	78
Ilustración 52. Especificaciones electroválvula MHE2-MS1H-3/2G-M7. Fuente: Festo. ....	80
Ilustración 53. Especificaciones electroválvula MHE2-MS1H-3/2G-M7. Fuente: Festo. ....	80
Ilustración 54. Especificaciones del armario. Fuente: Rittal-The System. ....	82
Ilustración 55. Armario seleccionado. Fuente: Rittal-The System. ....	82
Ilustración 56. Fuente de alimentación seleccionada: 6EP1332-5BA10 SITOP. Fuente: SIEMENS. ....	83
Ilustración 57. Programación lenguaje Ladder de la máquina. Parte 1. ....	84
Ilustración 58. Programación lenguaje Ladder de la máquina. Parte 2. ....	85
Ilustración 59. Programación lenguaje Ladder de la máquina. Parte 3. ....	85
Ilustración 60. CAD Sistema de elevación de canastas. ....	86
Ilustración 61. CAD Sistema de transporte de canastas. ....	86
Ilustración 62. CAD Sistema de sujeción de canastas. ....	87
Ilustración 63. CAD Sistema de separación de canastas. ....	87
Ilustración 64. CAD Cabina desapilador de canastas. ....	88
Ilustración 65. CAD Sistemas volcador de canastas. ....	88
Ilustración 66. Soportes de la estructura y punto de aplicación de la fuerza. ....	90
Ilustración 67. Esfuerzo de Von Misses. Lámina de elevación de canastas. ....	91



Ilustración 68. Desplazamiento de Lámina de elevación de canastas. ....	91
Ilustración 69. Factor de seguridad Lámina de elevación de canastas.....	91
Ilustración 70. Vista general del proyecto en ANSYS.....	92
Ilustración 71. Pestaña de diseño de experimentos Lámina de elevación de canastas. ....	93
Ilustración 72. Tabla de puntos de diseño.....	93
Ilustración 73. Pestaña de superficie de respuesta Lámina de elevación de canastas. ....	94
Ilustración 74. Gráfico de respuesta para Factor de seguridad Lámina de elevación de canastas. ....	95
Ilustración 75. Gráfico de respuesta para el Esfuerzo Von Misses Lámina de elevación de canastas. ....	96
Ilustración 76. Gráfico de respuesta para la deformación total de la Lámina de elevación de canastas. ....	97
Ilustración 77. Soportes fijos de la cabina y fuerzas aplicadas. ....	98
Ilustración 78. Esfuerzo de Von Misses Cabina desapilador de canastas.....	99
Ilustración 79. Deformación total Cabina desapilador de canastas. ....	99
Ilustración 80. Factor de seguridad Cabina desapilador de canastas.....	100
Ilustración 81. Pestaña de diseño de experimentos Cabina desapilador de canastas. ....	100
Ilustración 82. Tabla puntos de diseño Cabina desapilador de canastas. ....	101
Ilustración 83. Pestaña de superficie de respuesta Cabina desapilador de canastas. ....	101
Ilustración 84. Gráfico de respuesta Factor de seguridad Cabina desapilador de canastas. ....	102
Ilustración 85. Gráfico de respuesta Esfuerzo de Von Misses Cabina desapilador de canastas.....	103
Ilustración 86. Gráfico de respuesta Deformación total Cabina desapilador de canastas. ....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas desapilador de canastas PROCESS CLEANERS. .....	17
Tabla 2. Cronograma de actividades. ....	23
Tabla 3. Especificaciones canasta trapezoidal. ....	24
Tabla 4. Especificaciones de canastas trapezoidales apiladas. ....	25
Tabla 5. Informe de riegos elaborado por SST de la cooperativa. ....	27
Tabla 6. Lista de requerimientos de la máquina. ....	28
Tabla 7. Alternativas de diseño del sistema de elevación. ....	34
Tabla 8. Alternativas de diseño del sistema de transporte. ....	35
Tabla 9. Alternativas de diseño del sistema de sujeción de canastas. ....	35
Tabla 10. Alternativas de diseño del sistema de separación de canastas. ....	36
Tabla 11. Alternativas de diseño del sistema de volcamiento de canastas. ....	37
Tabla 12. Alternativas del sistema de detección de canastas. ....	37
Tabla 13. Criterios de selección. ....	44
Tabla 14. Importancia criterios de selección. ....	44
Tabla 15. Criterios de selección para el sistema de elevación. ....	45
Tabla 16. Criterios de selección para el sistema de transporte. ....	45
Tabla 17. Criterios de selección para el sistema de sujeción. ....	46
Tabla 18. Criterios de selección para el sistema de separación. ....	46
Tabla 19. Criterios de selección para el sistema de volcamiento. ....	46
Tabla 20. Selección de alternativas. ....	47
Tabla 21. Resultados obtenidos para el cilindro ADN-32-20-A-P-A. ....	67
Tabla 22. Variables del sistema de control del desapilador de canastas. ....	73
Tabla 23. Resultados obtenidos en la simulación para Lámina de elevación de canastas. ....	90
Tabla 24. Resultados obtenidos en la simulación para la cabina del desapilador de canastas. ....	98

## **1. RESUMEN**

En la planta Jenaro Pérez de la Cooperativa COLANTA ubicada en la ciudad de Medellín, se tienen actividades laborales que presentan riesgos biomecánicos para los empleados de la planta. En el área de producción de la Cooperativa más precisamente en la zona de lavado de canastas, los empleados realizan diversas actividades que representan un alto riesgo biomecánico tales como: levantamiento de cargas pesadas, posturas forzadas en miembro superior y columna, movimientos repetitivos en ciclos de trabajo cortos y alta concentración de movimientos en hombros y muñecas. Todos estos riesgos mencionados anteriormente se presentan durante el proceso de empuje, levantamiento, separación y volcamiento de las canastas utilizadas para la distribución y transporte de leche pasteurizada.

El proyecto que se va a llevar a cabo durante este periodo de prácticas en la Cooperativa es el diseño de una máquina desapiladora de canastas, la cual se encargará de realizar el proceso de levantamiento, separación y volcamiento de canastas ya que actualmente el todo el proceso se realiza de manera manual y como se ha mencionado anteriormente representa riesgos biomecánicos para el personal de la zona de lavado de canastas.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los riesgos ergonómicos (riesgos disergonómicos o riesgos derivados de la ausencia de una correcta ergonomía laboral), son la probabilidad de desarrollar un trastorno musculoesquelético debido (o incrementada) por el tipo e intensidad de actividad física que se realiza en el trabajo.

El factor de riesgo ergonómico es una característica del trabajo que puede incrementar la probabilidad de desarrollar un trastorno musculoesquelético, ya sea por estar presente de manera desfavorable o debido a que haya presencia simultánea con otros factores de riesgo. [5]

Los principales factores de riesgo ergonómico a considerar son:

- La generación de fuerzas.
- La alta frecuencia de movimientos.
- La duración larga de la exposición.
- La ausencia de períodos de recuperación.
- El estatismo postural.
- La exposición a vibraciones.

Durante el periodo de práctica se va a realizar el proyecto basándose en la necesidad que tiene la cooperativa de mitigar los riesgos biomecánicos a los que están expuestos el personal que se encuentra trabajando en el área de producción más precisamente en la zona de lavado de canastas. En dicha zona los operarios se encargan de empujar, levantar, separar y volcar las canastas de manera manual. Este proceso como se ha mencionado anteriormente produce en el personal riesgos biomecánicos, es por esta razón, que se desea realizar el diseño de una máquina que permita mitigar los riesgos biomecánicos mencionado en la sección anterior.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el área de producción de la cooperativa COLANTA de la planta Jenaro Pérez ubicada en Medellín, se lleva a cabo el proceso de lavado de canastas, que son utilizadas para la distribución y el transporte de algunos de los productos producidos en la planta tales como: leche pasteurizada y leche UHT. La cooperativa requiere el diseño de una máquina desapiladora de canastas, para que posteriormente las canastas que llegan con productos de devolución o en mal estado sean llevadas a una máquina lavadora de canastas.

Para realizar el proceso de lavado de canastas, el operario debe empujar las canastas apiladas (generalmente se encuentran sin residuos), que son entregadas por los coches de distribución mediante una banda transportadora ubicada en la parte trasera del edificio de producción. El operario debe empujar las canastas una distancia de 2 m aproximadamente. Posteriormente se realiza la tarea de levantamiento y colocación de las canastas en una estructura metálica, en la cual se realiza el proceso de separación (desapilación) y volcamiento para su posterior entrada en la máquina lavadora de canastas.

Según un informe de la ARL de la cooperativa dichas tareas poseen un alto riesgo biomecánico para el operario (Hombro, muñecas y columna) debido a su repetitividad y manipulación de altas cargas. Es por esto que desde la cooperativa se tiene la iniciativa de realizar el diseño de una máquina desapiladora de canastas para que ayude a mitigar los riesgos biomecánicos a los que están expuestos los operarios de la zona de lavado de canastas.

### **4. MARCO TEÓRICO**

El sistema Osteomuscular es el soporte de nuestro organismo, aquel que nos permite movernos, desplazarnos, realizar tareas, actividades deportivas, etc. Está compuesto básicamente de las siguientes estructuras: huesos, articulaciones, ligamentos, músculos y tendones. ¿Cómo está organizado? Pues bien, nuestros huesos se unen entre ellos en articulaciones -con mayor o menor movilidad-, estas articulaciones se estabilizan mediante ligamentos, y consiguen movimiento gracias a los músculos que transmiten su fuerza a los huesos mediante los tendones que atraviesan la articulación.[6]

Las lesiones osteomusculares de origen laboral se constituyen como una de las enfermedades más frecuentes que afectan a trabajadores de todos los sectores y de todos los oficios. Este tipo de enfermedad puede ocasionar incapacidad permanente o temporal, según sea el nivel de grado de la condición en la que se encuentre el trabajador.

De acuerdo con, la Segunda Encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Sistema General de Riesgos Laborales de Colombia, el 88% de las enfermedades laborales, corresponden a las lesiones musculoesqueléticas; una cifra bastante alta que pone en aumento los porcentajes de ausentismo laboral e incapacidad prolongada, representando un alto impacto en la productividad de las empresas.[7]

En la actualidad la automatización de procesos industriales viene en auge debido a que, mediante su utilización permite a las empresas optimizar recursos y producir productos de alta calidad. Cuando hablamos de automatización industrial nos referimos a la aplicación de varias tecnologías que han sido orientadas al control y monitoreo de un proceso, aparato, máquina o dispositivo que por lo general realiza tareas repetitivas, haciendo que funcione de forma automática y disminuyendo al máximo la intervención de personas.

El objetivo principal de la automatización de los procesos industriales es fabricar el mayor número de productos en el menor tiempo posible, reduciendo costos y garantizando calidad [8]. En este caso se requiere una máquina que tenga la capacidad de brindarle a la cooperativa la posibilidad de automatizar el proceso de separación de canastas que son utilizadas para el transporte y distribución de leche pasteurizada.

En la industria actualmente los sistemas empleados para la desapilación o apilación de canastas se basan en la utilización de sistemas de transmisión de potencia (engranajes, cadenas, poleas, etc.), sensores y dispositivos electroneumáticos. El sistema se basa en una estructura capaz de levantar las canastas mediante los sistemas de transmisión de potencia y combinando la fuerza producida por estos entran los sistemas electroneumáticos que brindan rapidez de respuesta y precisión a la hora de realizar este trabajo.

La electroneumática se utiliza habitualmente en muchas áreas de la automatización industrial. También se utiliza en sistemas de producción, ensamblaje, farmacéuticas, químicas y de envasado. Los sistemas electroneumáticos integran las tecnologías neumáticas y eléctricas en un sistema en el que el medio de señal/control es eléctrico y el medio de trabajo es el aire comprimido. En este tipo de sistema, se pueden utilizar dispositivos como relés, electroválvulas, interruptores de límite y PLC para interconectar el control eléctrico con la acción neumática. [9]

**Neumática:** La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire y proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos y se aplican en herramientas, válvulas de control, etc. [10]

**Actuadores neumáticos:** Son componentes capaces de transformar la energía potencial latente en el aire comprimido en trabajo mecánico para el accionamiento de máquinas o mecanismos. [10]

**Electroneumática:** La energía eléctrica substituye a la energía neumática como el elemento natural para la generación y transmisión de las señales de control que se ubican en los sistemas de mando. [11]

**Electroválvulas:** Pueden ser usadas como elementos intermedios de control cuando se acude a ellas para accionar los actuadores que ejercerá el trabajo necesario para un proceso, también se pueden usar como elementos finales de control cuando ellas mismas son el elemento que actúa sobre el proceso. [11]

**Sensor:** Un sensor es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional. [12]

## 5. ESTADO DEL ARTE

### 5.1 Procesos y máquinas similares

#### 5.1.1 Desapilador automático de canastas XUCLA:

Desapilador automático de cajas limpias o sucias de diferentes formatos. Diseño compacto que asegura una máxima fiabilidad en el desapilado. Producción 2.000 cajas/hora.[1]



*Ilustración 1. Desapilador de canastas XUCLA.*

#### 5.1.2 Desapilador de canastas ULMA:

Se trata de un sistema de abastecimiento de cajas de forma unitaria partiendo de una pila o columna. Existe una versión neumática y otra motorizada servo comandada para dar solución dependiendo el requerimiento en velocidad.

Las cajas a desapilar pueden ser de diferentes tipos, tamaños o materiales, de bases desmontables o de cartón. Para mayor ergonomía la célula de desapilado, puede disponer de un módulo de elevación de pilas, elevando desde la altura del palé hasta la altura de trabajo definido.



Para una mayor autonomía de cajas, este sistema puede disponer de una acumulación de pilas de cajas que se alimentarán automáticamente a la célula de desapilado.[2]



Ilustración 2. Desapilador de canastas ULMA.

### 5.1.3 Desapilador de canastas PROCESS CLEANERS:

Tabla 1. Especificaciones técnicas desapilador de canastas PROCESS CLEANERS.

<b>APILADOR / DESAPILADOR PARA DIFERENTES PROPÓSITOS:</b>
- Apilado.
- Desapilado.
- Combinación de apilado y desapilado.
- Cajas, papeleras, bandejas y pallets de todos los tamaños.
- Función de elevación: motores neumáticos o lineales.
- Función de agarre: neumático.

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:</b>
- Capacidad: estándar de 800 a 1200 bandejas / hora.
- Altura de las pilas: máx. 3.500 milímetros.
- Bandejas de entrada y salida en la parte inferior.
- Velocidad variable por control de frecuencia.
- Control PLC con Siemens S7 y Touchpanel.
- Componentes de aire.
- Ruido máx. 85 días (B) A.
- Tope de retención mecánico.
- Direcciones de transporte: a lo largo.
- Construcción: AISI 304.

<b>OPCIONES:</b>
- Plataformas de servicios.
- Movable.
- Parada de retención por vacío.
- Bandejas de entrada y salida en la parte superior.
- Datos de entrada y salida por Ethernet o profibus.

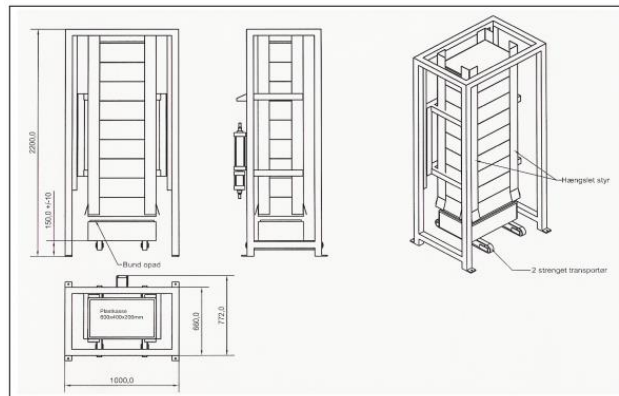


Ilustración 3. Desapilador de canastas Process Cleaners. Fuente [3]

#### 5.1.4 Desapilador de canastas BRILLOPAK:

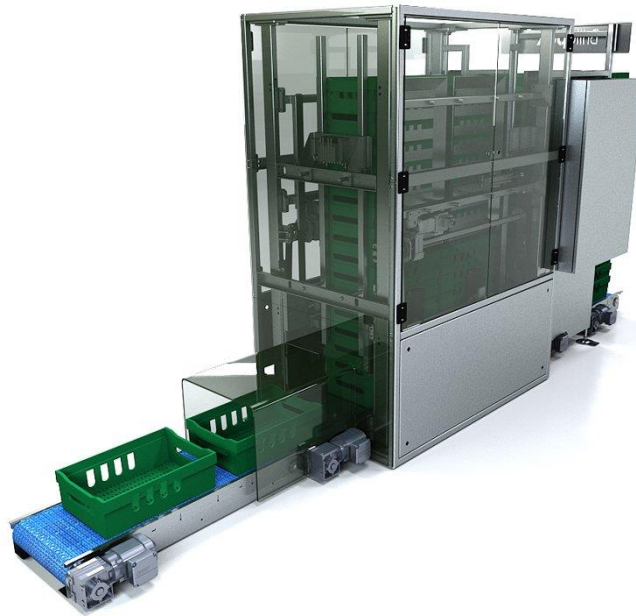
El desapilador de cajas es un sistema robusto de acero inoxidable diseñado para dispensar cajas de venta al por menor anidadas vacías.

Además de seguir el ritmo de las líneas de embalaje de gran volumen, el sistema puede dispensar 1,2 o 3 cajas a la vez en una o varias líneas, según su situación. El sistema está disponible en 2 formatos; cargador único que dispensa 10 cajas por minuto y cargador doble que dispensa 16 cajas por minuto. El desapilador de cajas acumulará una carga de paleta de 5 pilas completas de cajas de 600 mm x 400 mm o 10 pilas completas de cajas de 300 mm x 400 mm, lo que significa una mínima intervención del operador en su uso.[4]

## Crate DESTAKer Technical Data

Suitable for	600mm x 400mm and 300mm x 400mm rigid tapered nesting crates.
Build	Stainless steel frame. Contact points stainless steel.
Max. Stack height	1.8m
Conveyor height	Outfeed 155mm, infeed 155mm
Speed	8 – 18 crates per minute.
Pneumatic supply	Compressed air at 6 bar min.
Geared drives:	SEW Eurodrive geared motors, Z axis motion via servo motors
Control System	Machine automation controller with HMI touch screen, with EtherCAT devices and motion control using Omron NX controller
Electrical & Pneumatic Components	Enclosure/Motor Specification: Minimum IP55 dust, splash proof. ISO/DIN standard.
Electrical	3ph+N+E x 400/440 Vac, 50 Hz, 16amp supply Control Circuit 24v DC.
Safety	Machine guarding via Safety light curtains linked to safety controller
CE Marking	CE marked. From January 1st 2021 UKCA (UK Conformity Assessed)
Dimensions	Base machine dimensions for transport: Single 1440mm x 1180mm x Height 2310mm Dual 2040mm x 1180mm x Height 2310mm

*Ilustración 4. Especificaciones técnicas desapilador BRILLOPAK.*



*Ilustración 5. Desapilador de canastas BRILLOPAK.*

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina que permita realizar levantamiento, separación y volcamiento de canastas.

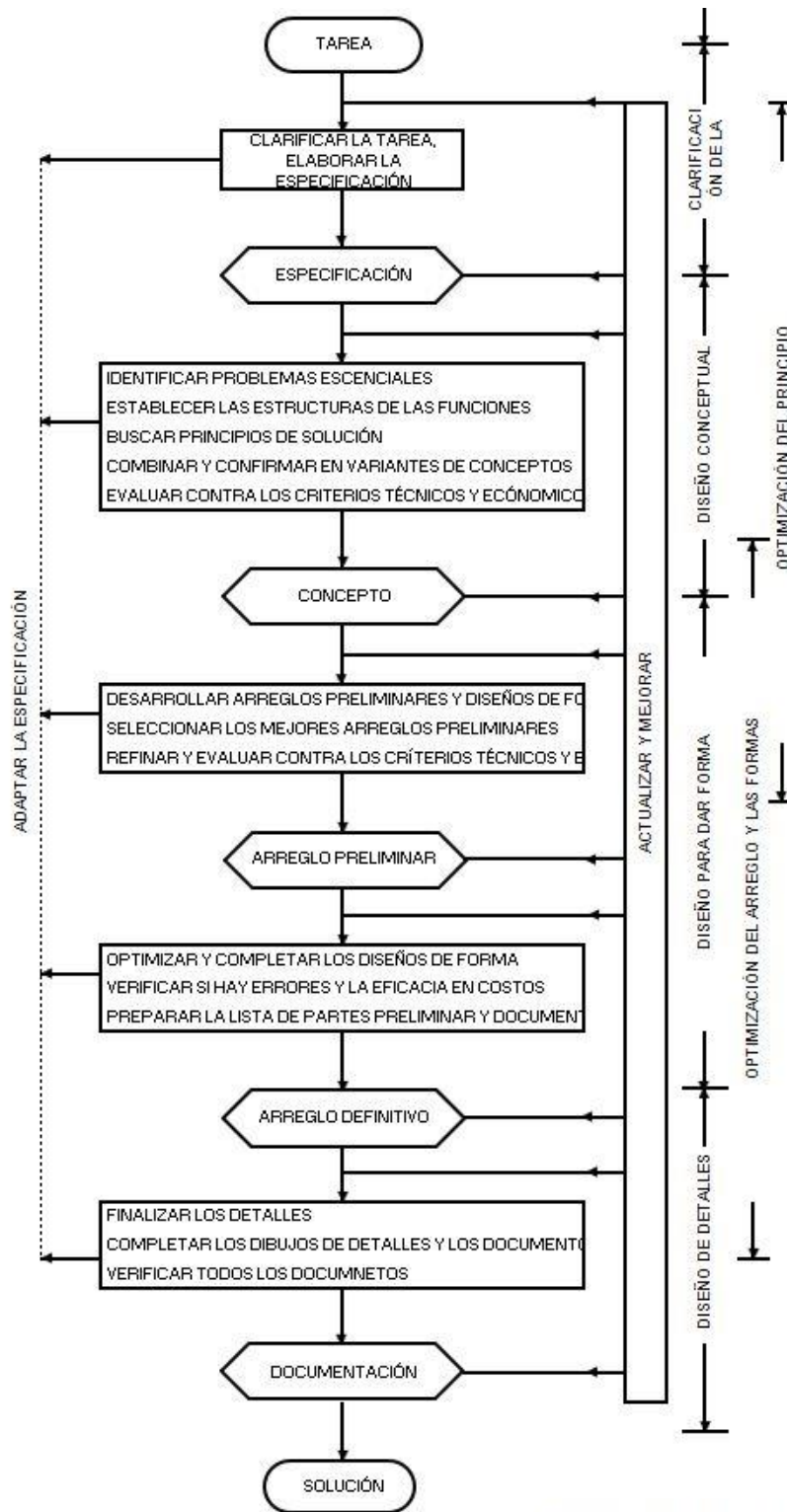
### **6.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar una máquina en la que se puedan implementar elementos de automatización que permitan obtener un control y monitorización del proceso de separación de canastas, con la finalidad de mitigar los riesgos biomecánicos (muñecas, hombros y columna) causados a los operarios por la realización de trabajos repetitivos y levantamiento de cargas pesadas.
- Adaptar el diseño de la máquina a los estándares de calidad establecidos en UNE-EN ISO 12100, UNE-EN ISO 13857 y UNE-EN 415-2.
- Diseñar una máquina que permita al operario trabajar de manera cómoda y segura. Teniendo en cuenta las necesidades y características físicas de los operarios.

## 7. METODOLOGÍA

Para realizar el diseño de la máquina desapiladora de canastas mediante la metodología de diseño sugerida en el libro Ingeniería del diseño de Pahl y Beitz [13] se van a realizar las siguientes actividades:

- Exploración y recopilación de información además revisión bibliográfica de antecedentes y procesos similares al requerido para el desarrollo del proyecto.
- Realización del estado del arte, en donde se mostrarán las generalidades que envuelven el proceso de separación de canastas.
- Investigación de elementos mecánicos y electrónicos de respuesta rápida que permitan realizar el proceso separación de canastas.
- Diseño conceptual de la máquina en donde se mostrará las posibles etapas que tendrá la máquina de acuerdo con los requisitos planteados. Además, de realizar el planteamiento, selección y análisis de alternativas de acuerdo con las etapas definidas en el diseño conceptual buscando obtener la mejor opción para satisfacer la necesidad que se tiene.
- Determinación de los requerimientos de la máquina, realización del diseño preliminar en donde se va a hacer una identificación de las funciones que deberá realizar la máquina.
- Diseño y desarrollo en detalle del proyecto: Selección de los equipos a utilizar en el sistema y se realizará el diseño de la máquina a partir de las alternativas elegidas, en donde se incluyen cálculos, selección de componentes, modelo 3D y elaboración de plano de ensamble.



Modelo Pahl y Beitz del Proceso de Diseño

Ilustración 6. Metodología de diseño.

## 8. CRONOGRAMA

Tabla 2. Cronograma de actividades.

ETAPA	ACTIVIDAD	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA						
	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA						
	ESTADO DEL ARTE						
	MEDICIONES PARA ESTABLECER LOS REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO						
2	IDENTIFICACIÓN DE FUNCIONES PRINCIPALES DE LA MÁQUINA						
	BUSQUEDA DE PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN						
	ELABORACIÓN DEL CONCEPTUAL						
3	ELABORACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO						
	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO						
	ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO						
	ELABORACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR						
4	CÁLCULOS DE INGENIERÍA						
	ELABORACIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA						
	ENSAMBLE DE LA MÁQUINA						
	PLANO DE ENSAMBLE DE LA MÁQUINA						

## 9. ASPECTOS PARA TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO

### 9.1 Cantidad de canastas desapiladas por hora

Para el empacado de bolsas de leche pasteurizada, se cuentan con 6 empacadoras cada una con 2 boquillas de llenado, en las cuales por cada segundo se empaca 1 bolsa de leche. Además, en 1 canasta se empacan 22 bolsas de leche pasteurizada.

Para estimar la cantidad de canastas que se utilizan en el proceso de las empacadoras de leche pasteurizada se hace lo siguiente:

$$1 \text{ Bolsa de leche pasteurizada} \rightarrow 1 \text{ s}$$

$$X \rightarrow 3600 \text{ s}$$

$$X = 3600 \frac{\text{Bolsas de leche}}{h} * 12 (\# \text{Total de boquillas de las empacadoras})$$

$$X = 43200 \frac{\text{Bolsas de leche}}{h}$$

1 Canasta → 22 Bolsas de leche

$$X \rightarrow 43200 \frac{\text{Bolsas de leche}}{h}$$

$$X = 1963.63 \frac{\text{Canastas}}{h} \cong 1964 \frac{\text{Canastas}}{h}$$

La cooperativa requiere un total de 2000 UND/h aproximadamente.

## 9.2 Especificaciones de la canasta

Tabla 3. Especificaciones canasta trapezoidal.

ESPECIFICACIONES DE LA CANASTA			
LARGO: 510 mm	ANCHO: 400 mm	ALTO: 240 mm	PESO: 2 kg

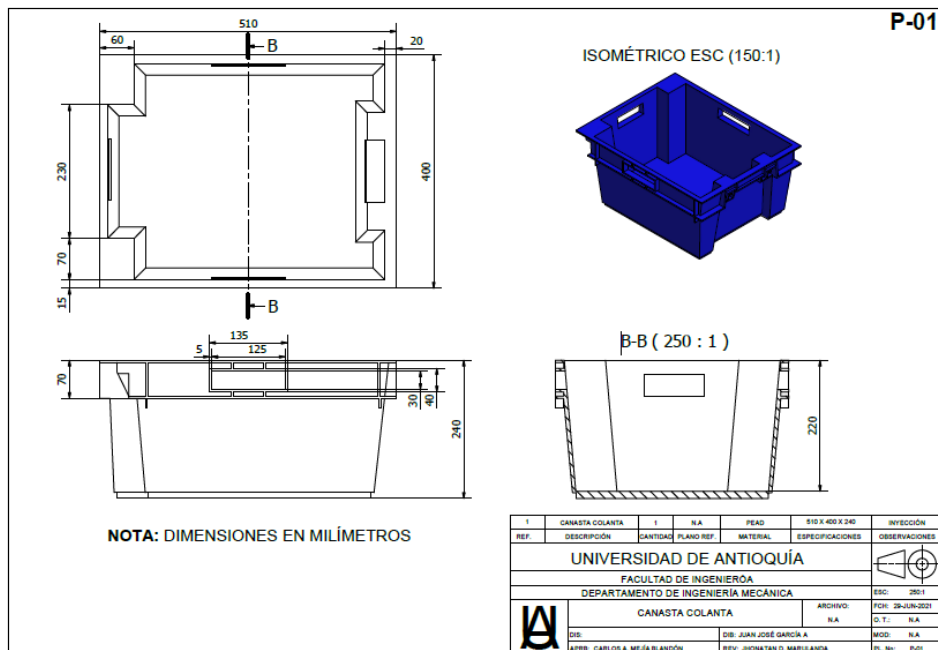


Ilustración 7. Plano de la canasta para transporte de leche pasteurizada.





Ilustración 8. Peso de la canasta.

Ahora se deben tener en cuenta las especificaciones de la pila de canastas. Actualmente en la planta se apilan entre 20 a 25 canastas para su posterior paso a la máquina de lavado de canastas. Se tomarán 25 canastas como la cantidad total a desapilar:

Tabla 4. Especificaciones de canastas trapezoidales apiladas.

ESPECIFICACIONES PILA DE CANASTAS			
<b>LARGO:</b> 510 mm	<b>ANCHO:</b> 400 mm	<b>ALTO:</b> 2140 mm	<b>PESO:</b> 50 Kg



Ilustración 9. Canastas apiladas.

### 9.3 Localización

La localización de la máquina es otro aspecto importante para tener en cuenta ya que se debe saber el espacio donde va a estar situada la máquina.

**Dimensiones máximas recomendadas:** Largo: 2000-2500 mm, Ancho: 1500-2000 mm y Alto: 2500 mm.

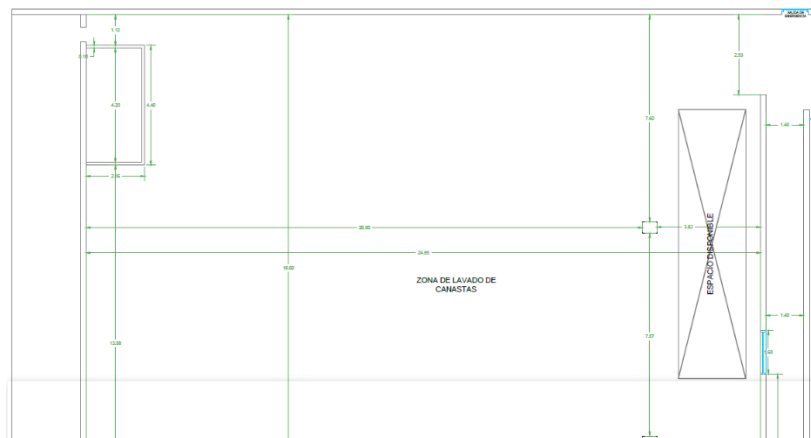


Ilustración 10. Zona de lavado de canastas.

### 9.4 Normas de seguridad y salud

#### A. Ley 1562 de 2012:

Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional. Incluye dentro de los servicios de promoción y prevención el diseño y la asesoría en la implementación de áreas, puestos de trabajo, maquinarias, equipos y herramientas para los procesos de reinserción laboral, con el objeto de intervenir y evitar los accidentes de trabajo y enfermedades laborales.

**B.** Estándares de calidad establecidos en UNE-EN ISO 12100, UNE-EN ISO 13857 y UNE-EN 415-2.

**UNE-EN ISO 12100:** Establece una guía aplicable durante el proceso de fabricación de una máquina, instaurando procedimientos específicos orientados a la seguridad en el diseño de las máquinas.

**UNE-EN ISO 13857:** Establece valores para las distancias de seguridad en entornos industriales y no industriales para evitar que las personas alcancen las zonas de peligro de la maquinaria.

**UNE-EN 415-2:** Establece los requisitos de seguridad para el diseño y fabricación de maquinaria de embalaje para contenedores rígidos preformados.

**C. Manejo manual de cargas-ARL de la Cooperativa (Sura):**

La actividad de lavado de canastas posee riesgos biomecánicos para el personal implicado en dicha actividad es por esto que en la cooperativa se ha realizado una inspección operativa de la actividad de lavado de canastas y han encontrado lo siguiente:

*Tabla 5. Informe de riesgos elaborado por SST de la cooperativa.*

N°	PROCESO					TIPO DE RIESGO BIOMECÁNICO
	PROCESO	ÁREA	ACTIVIDAD	TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO DE RIESGO DE CARGA FÍSICA
1	Producción	Lavado de canastas	Lavada de canastas	Transportar las canastas apiladas	Las canastas luego de ser utilizadas llegan apiladas de 20 a 25 canastillas, con el fin de ser lavadas para luego ser enviadas de nuevo al proceso. El trabajador debe mover las canastas apiladas hasta la banda donde van a ser transportadas para ser lavadas, para esto el colaborador debe sujetar las canastas apiladas con ambas manos, aproximadamente 1 metro y ubicarlo encima de la banda transportadora de forma horizontal para luego ser separado.	Combinación: Repetitividad, postura, manipulación de cargas.
2	Producción	Lavado de canastas	Lavado de canastas	Separar las canastas	Con las canastillas ubicadas de forma horizontal en la banda transportadora. El colaborador debe sacar una a una de las canastillas, las ubica boca abajo para que sean transportadas para ser lavadas.	Combinación: Repetitividad y postura.



Ilustración 11. Tarea de arrastre [Izquierda] y colocación de canastas apiladas [Derecha].



Ilustración 12. Tarea de separación de canastas apiladas.

## 9.5 Lista de requerimientos

Tabla 6. Lista de requerimientos de la máquina.

Lista de requerimientos		
Parte	Descripción	Requerimiento
Canastas	Geometría	Largo: 510 mm
		Ancho: 400 mm
		Alto: 240 mm
Máquina		Largo: (2000-2500) mm
		Ancho: (1000-1500) mm
		Alto: 2500 mm
Canastas	Cantidad	Desapilación de hasta 60 canastas por minuto
Máquina	Presión	Presión de trabajo: (5-8) Bar

Canastas	Materiales	Canastas: PED [Polietileno de alta densidad]
Máquina		Estructura: Acero estructural.
Máquina	Producción	2000 canastas/hora
Máquina	Operación	Parcialmente automática
Máquina	Condiciones ambientales	Ambiente normal Suelo húmedo.
Máquina	Seguridad	Indicadores de zonas peligrosas, paro de emergencia, redondear aristas.
Máquina	Ergonomía	Controles, botones y sensores visibles y en zonas accesibles.
Máquina	Mantenimiento	Reducción de tiempos de mantenimiento, sistemas de ensamble y desensamble fácil.
Máquina	Presupuesto	\$100'000.000-250'000.000

## 10. PROCESO DE DISEÑO

### 10.1 Análisis funcional

Para realizar el proceso de desapilación de canastas, se plantearán diferentes alternativas de diseño haciendo énfasis en los principales componentes que intervienen en cada etapa del proceso, para el que se utilizará un análisis de caja negra y caja transparente, para así poder determinar la mejor opción con base a los requerimientos y especificaciones previamente establecidos.

#### 10.1.1 Análisis funcional: Caja Negra



*Ilustración 13. Análisis funcional de caja negra de la máquina para desapilación de canastas.*

## 10.1.2 Funciones principales y secundarias de la máquina

Como se observa en la caja negra (**Ilustración 13**), la función principal que se tiene es desapilar canastas, sin embargo, existen funciones secundarias en la cuales se descompone esta función principal las cuales son:

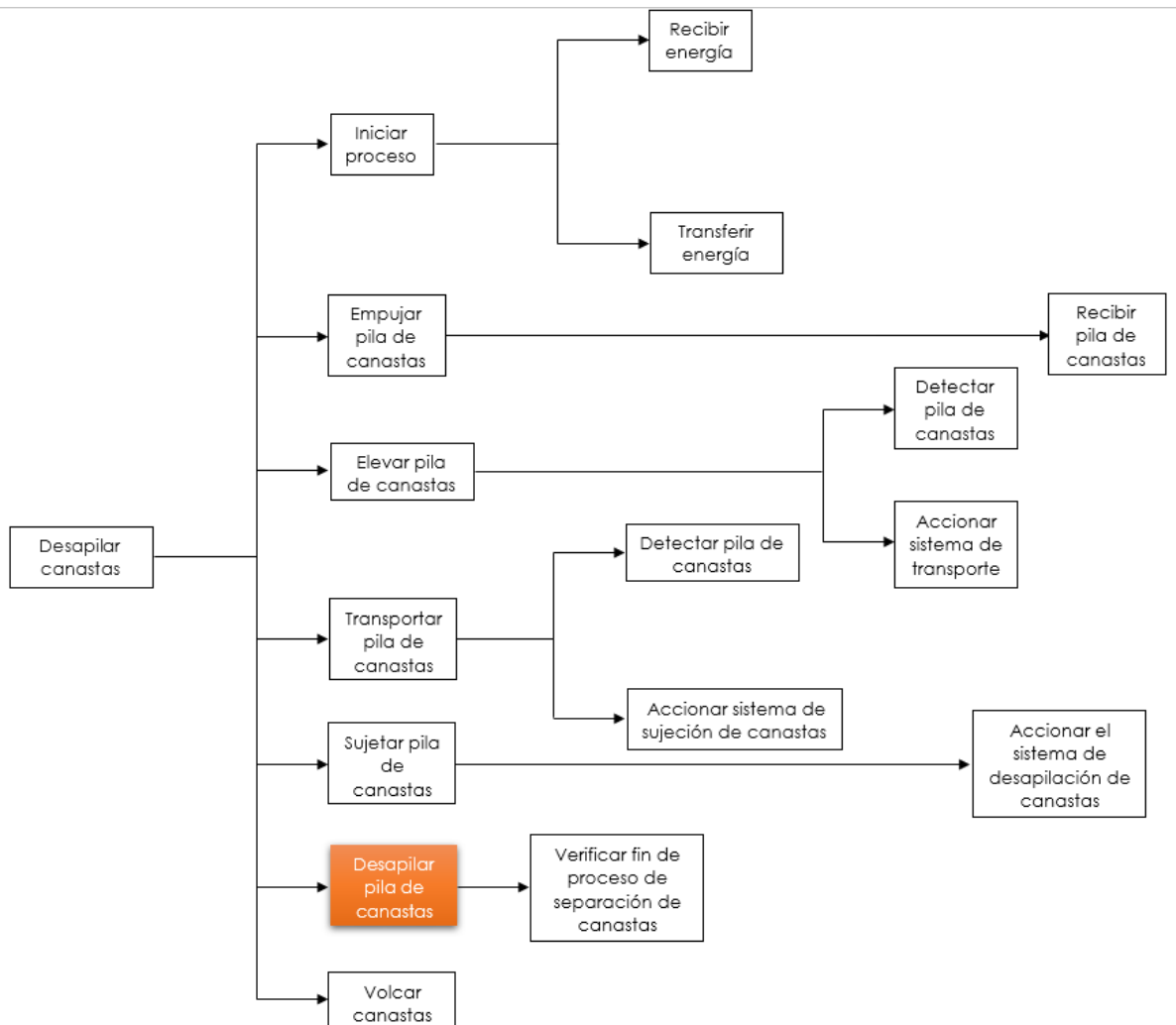


Ilustración 14. Esquema de funciones y subfunciones de la máquina.

N°	Subfunción	Descripción general
1	Recibir energía	Recepción de energía externa para realizar las funciones de la máquina.

2	Transferir energía	Se transmite la energía recibida a los componentes de la máquina.
3	Recibir pila de canastas	Recepción de las canastas apiladas.
4	Detectar pila de canastas	Detección de las canastas apiladas.
5	Accionar sistema de transporte	Se envía orden de encendido a el sistema de transporte que conforma la máquina luego de que se ha detectado la presencia de las canastas apiladas.
6	Detectar pila de canastas	Detección de las canastas apiladas.
7	Accionar sistema de sujeción de canastas	Se envía orden de encendido a el sistema de sujeción que conforma la máquina luego de que se ha detectado la presencia de las canastas apiladas.
8	Accionar el sistema de separación de canastas	Se envía orden de encendido a el sistema de separación que conforma la máquina luego de que se ha detectado la presencia de las canastas apiladas.
9	Verificar fin de proceso de separación de canastas	Se verifica que no queden canastas apiladas en el sistema de separación de canastas.

### 10.1.3 Análisis funcional: Caja transparente

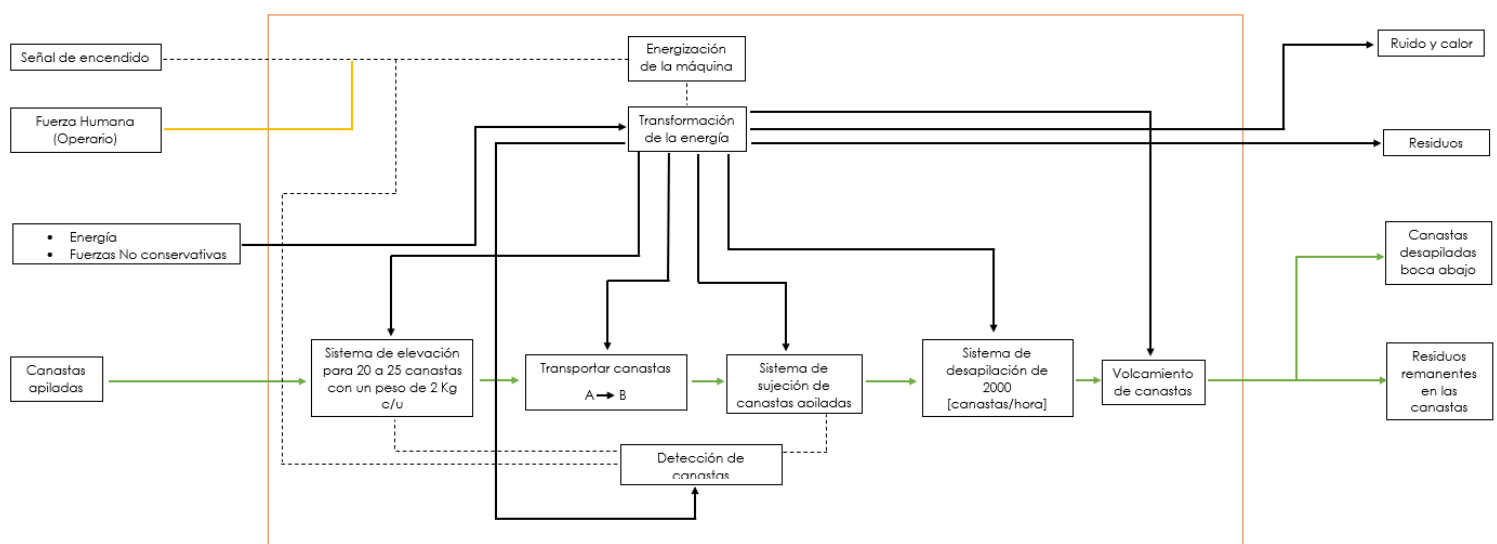


Ilustración 15. Análisis funcional de caja transparente de la máquina para desajuste de canastas.

En este análisis se han tenido en cuenta las 5 etapas principales que conformarían el proceso de funcionamiento de la máquina. Comenzando con la llegada de las canastas, para luego ser levantadas por medio de un sistema de elevación, que garantizará la llegada de las canastas a la banda transportadora, la cual hace parte de la etapa 2 del proceso de funcionamiento de la máquina. En esta etapa se cuenta con una banda transportadora, que se encargará de trasladar las canastas hasta el punto de sujeción de las canastas apiladas, este sistema de sujeción hace parte de la etapa 3 del proceso de funcionamiento de la máquina. En esta etapa se va a realizar el proceso de sujeción de las canastas para que luego de que sean separadas y pasen a la etapa 5 del proceso de funcionamiento de la máquina. En la última etapa del proceso se realiza la expulsión y volcamiento de las canastas para que luego puedan ingresar a la máquina lavadora de canastas.

## **10.2 Diseño conceptual**

Teniendo en cuenta el diseño preliminar elaborado previamente, y conociendo que en la cooperativa se quiere encontrar una forma de reducir los riesgos biomecánicos, a los que se encuentran expuestos los trabajadores en la zona de lavado de canastas además, de que la máquina que sea diseñada debe ser rápida y eficiente debido a la cantidad de canastas que requieren para el proceso de lavado, y posteriormente para ser utilizadas en el transporte y distribución de productos, se plantea que la máquina este dividida en 4 etapas las cuales son:

### **10.2.1 Etapa 1: Sistema de elevación de canastas**

Se encargará de elevar la pila de 25 canastas a la altura de la banda transportadora para poder iniciar el proceso de transporte y posteriormente de separación (desapilación) de canastas.

### **10.2.2 Etapa 2: Sistema de transporte**

Tendrá una banda transportadora ubicada longitudinalmente la cual se encargará de trasladar las canastas después de ser puestas en la banda



transportadora por el sistema de elevación a los sistemas de sujeción y desapilación de canastas y también al sistema de volcamiento.

### **10.2.3 Etapa 3: Sistema de sujeción de canastas**

Se tendrán dos sistemas de sujeción uno para la primera canasta del arrume que va sobre la banda transportadora y otro para las canastas encima de esta.

### **10.2.4 Etapa 4: Sistema de separación de canastas**

Articulado con el sistema de sujeción de las canastas apiladas se tendrá el sistema de separación que tendrá la función de elevar las canastas para garantizar la separación de la canasta más baja del arrume, este proceso se repetirá hasta que se separen las 25 canastas apiladas.

### **10.2.5 Etapa 5: Sistema para voltear las canastas**

Sistema que se encargará de volcar las canastas para dejarlas boca abajo y así puedan ingresar a la máquina lavadora de canastas.

### **10.2.6 Etapa 6: Sistema de detección**

Sistema que se encargará de detectar las canastas una vez sean pasen por el sistema de elevación y así poder encender los motores que dan movimiento al sistema de transporte. Además, se contará con otro sistema de detección de las canastas antes de llegar al sistema de separación (torre de desapilación) para que se pueda accionar el sistema de sujeción y de separación.

### 10.3 Alternativas de diseño

Tabla 7. Alternativas de diseño del sistema de elevación.

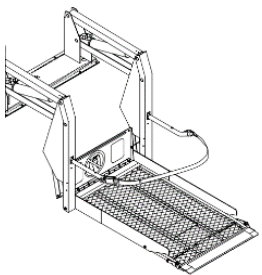
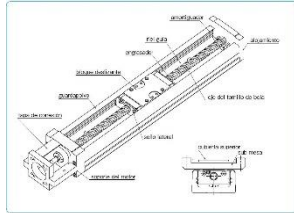
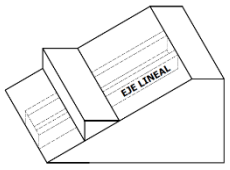
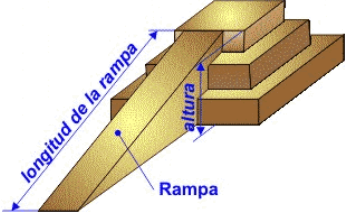
SISTEMA DE ELEVACIÓN			
ALTERNATIVA	Nº1	Nº2	Nº3
OPCIÓN	Elevación Hidráulica	Elevación por ejes lineales	Rampa de elevación
REPRESENTACIÓN		 	
DESCRIPCIÓN	El sistema posee una bomba electrohidráulica la cual se encargará de alimentar el sistema que está compuesto por cilindros hidráulicos los cuales se encargaran de elevar las canastas.	Sistema compuesto por un par de ejes lineales de accionamiento por husillo. Se puede accionar mediante un motor paso a paso o un servomotor.	Rampa para elevar las canastas a la altura de la banda transportadora para comenzar a realizar el proceso de separación de canastas.

Tabla 8. Alternativas de diseño del sistema de transporte.




SISTEMA DE TRANSPORTE DE CANASTAS			
ALTERNATIVA OPCIÓN	Nº1	Nº2	Nº3
	Cadena transportadora cardánica	Banda transportadora de rodillos	Banda transportadora modular
REPRESENTACIÓN			
DESCRIPCIÓN	Banda continua arrastrada por 2 tambores la cual va a permitir el desplazamiento de las canastas luego de ser elevadas por el sistema de elevación.	Banda compuesta por rodillos la cual va a permitir el desplazamiento de las canastas luego de ser elevadas por el sistema de elevación.	Banda conformada por un conjunto de módulos la cual va a permitir el desplazamiento de las canastas luego de ser elevadas por el sistema de elevación.

Tabla 9. Alternativas de diseño del sistema de sujeción de canastas.


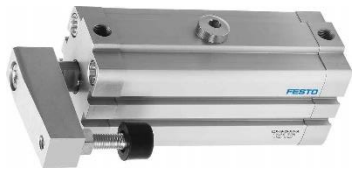
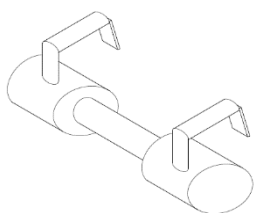
SISTEMA DE SUJECIÓN DE CANASTAS			
ALTERNATIVA OPCIÓN	Nº1	Nº2	Nº3
	Actuador neumático compacto doble efecto	Actuador neumático de sujeción lineal y giratoria	Pinzas metálicas
REPRESENTACIÓN			
DESCRIPCIÓN	El sistema contará con 2 actuadores neumáticos, ubicados a ambos lados de la estructura, estos se encargarán de realizar la sujeción de la canasta que vaya cayendo de la torre de separación.	El sistema contará con 4 actuadores neumáticos de sujeción lineal. Dos (2) de ellos ubicados a cada lado de la estructura, y estos se encargarán de realizar la sujeción de la canasta que vaya cayendo de la torre de separación.	Sistema conformado por un par de pinzas metálicas unidas a un par de acoples. Los acoples mediante un eje giraran debido a un servomotor, lo cual provocará que las pinzas sujeten la canasta.

Tabla 10. Alternativas de diseño del sistema de separación de canastas.

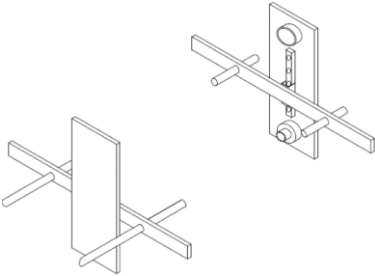
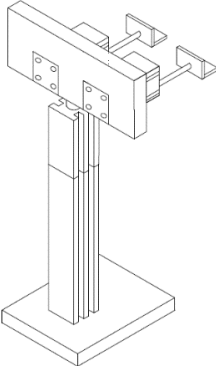
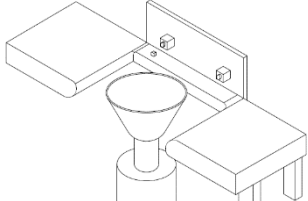
<b>SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CANASTAS</b>			
<b>ALTERNATIVA</b>	<b>Nº1</b>	<b>Nº2</b>	<b>Nº3</b>
<b>OPCIÓN</b>	Sistema de Cadenas con guías lineales	Cilindros Multiposición	Ventosas
<b>REPRESENTACIÓN</b>	 <p>The diagram shows a vertical chain mechanism. A horizontal bar is supported by two vertical guides. A chain is attached to the bar, and a vertical plate is connected to the chain. The plate is shown in two positions: one where it is raised and one where it is lowered, indicating its function in separating baskets.</p>	 <p>The diagram shows a vertical assembly. At the top, there is a horizontal bar with two pneumatic cylinders. Below this bar is a vertical shaft that can move up and down. The shaft is supported by a base. The pneumatic cylinders are used to control the vertical movement of the shaft.</p>	 <p>The diagram shows a vacuum suction system. A horizontal bar is supported by two vertical guides. A vertical plate is attached to the bar. Below the plate, there is a funnel-shaped suction cup. The suction cup is used to suck the basket down from the pile.</p>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<p>Sistema compuesto por una transmisión por cadenas que se encargan de darle movimiento a una guía lineal la cual está unida a un bastidor horizontal en el cual hay 2 actuadores neumáticos redondos, que se encargan de mover las pinzas de soporte que levantan la pila de canastas.</p>	<p>Sistema compuesto por un cilindro multiposición al cual se le acoplan dos cilindros neumáticos compactos. El cilindro multiposición se encargará de realizar el movimiento de elevación y descenso, mientras que los cilindros neumáticos compactos acoplados se encargarán de sujetar la pila de canastas.</p>	<p>Sistema compuesto por ventosas las cuales generando vacío succionaran la canasta que este más abajo de la pila de canastas.</p>

Tabla 11. Alternativas de diseño del sistema de volcamiento de canastas.

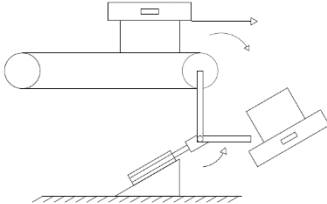
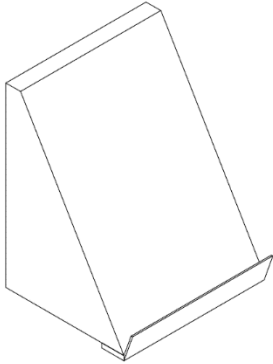

<b>SISTEMA DE VOLCAMIENTO DE CANASTAS</b>			
<b>ALTERNATIVA</b>	<b>Nº1</b>	<b>Nº2</b>	<b>Nº3</b>
<b>OPCIÓN</b>	Estructura móvil accionada por un actuador neumático	Estructura inclinada con lamina guía	Estructura con barras circulares en espiral
<b>REPRESENTACIÓN</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Sistema compuesto por una estructura móvil la cual posee un pivote que hace que gire al ser empujada por el actuador neumático apoyado en un plano inclinado.	Esta alternativa posee una estructura inclinada sobre la cual se deslizarán las canastas luego de ser separadas. Las canastas chocarán con la lámina ubicada en la parte inferior lo cual permitirá que se giren.	Sistema utilizado en la máquina lavadora de canastas de la cooperativa. Cuenta con una estructura en la cual van soldados perfiles circulares en forma de espiral que hacen girar la canasta.

Tabla 12. Alternativas del sistema de detección de canastas.

<b>SISTEMA DE DETECCIÓN DE CANASTAS</b>		
<b>ALTERNATIVA</b>	<b>Nº1</b>	<b>Nº2</b>
<b>OPCIÓN</b>	Sensores de proximidad capacitivos	Sensores fotoeléctricos
<b>REPRESENTACIÓN</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Sensores electrónicos que son accionados cuando cualquier objeto (granos, vidrio, plástico) invade su área sensible. Estos se accionarán luego de detectar las canastas al ser elevadas por el sistema de elevación y en la torre de desapilación.	El sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos se accionarán luego de detectar las canastas al ser elevadas por el sistema de elevación y en la torre de desapilación.

## **10.4 Análisis de alternativas**

### **10.4.1 Sistema de elevación**

#### **10.4.1.1 Alternativa N°1: Elevación hidráulica**

Uno de los motivos por los cuales la cooperativa está evaluando realizar este diseño, es por los riesgos biomecánicos a los que están expuestos el personal de lavado de canastas. Uno de ellos es levantamiento de cargas pesadas de una manera repetitiva, por tal motivo en el diseño de la máquina se debe tener en cuenta que se debe eliminar este riesgo de levantamiento de cargas pesadas. Es por esto, que en esta alternativa se cuenta con un sistema de elevación hidráulico, el cual es una buena opción debido a que puede levantar cargas pesadas, y permite tener un buen control sobre el sistema debido a que trabaja con un fluido hidráulico.

A pesar de lo mencionado anteriormente, este sistema puede tener un costo elevado, y, además, al ser un sistema hidráulico se le debe realizar un mantenimiento exhaustivo a todos los componentes que hacen parte de este sistema, y una constante revisión del estado del fluido hidráulico. También, posee una estructura muy robusta la cual ocuparía mucho espacio, que como se ha mencionado anteriormente es un aspecto muy importante para tener en cuenta pues se debe garantizar que la máquina no ocupe una gran cantidad de espacio en la zona de lavado de canastas.

#### **10.4.1.2 Alternativa N°2: Elevación por ejes lineales**

Es un sistema bastante innovador y que además ofrece una total automatización del proceso, además, posee una alta eficiencia y velocidad que es uno de los aspectos que se deben tener en cuenta ya que se debe mantener o mejorar el tiempo de duración de todo el proceso de desapilado.

### **10.4.1.3 Alternativa N°3: Rampa o plano inclinado**

Esta alternativa se plantea en caso tal de que la banda transportadora de la máquina a diseñar tenga una altura entre 15 a 20 cm sobre el nivel del suelo.

En este caso es una buena alternativa ya que no se tiene un alto grado de complejidad en su fabricación y no se tienen que utilizar sistemas mecánicos (cadenas, engranajes, etc.), ni sistemas neumáticos o hidráulicos, permitiendo así un ahorro de energía y de costos.

## **10.4.2 Sistema de transporte de las canastas**

### **10.4.2.1 Alternativa N°1: Cadena transportadora cardánica**

Método de transporte utilizado en la cooperativa para transportar las canastas que van a la máquina lavadora de canastas. Los transportadores de cadena cardánica se basan en una cadena de plástico multiflex ajustada que ofrece recorridos a rectos, horizontales y verticales.

Las curvas horizontales cerradas permiten acceder con mayor facilidad a las máquinas, ahorrando espacio. Las curvas verticales también ahorran espacio al permitir el transporte multinivel y facilitar el acceso.

### **10.4.2.2 Alternativa N°2: Banda transportadora de rodillos**

Las bandas transportadoras de rodillos poseen muchas ventajas en donde encuentra un menor consumo energético, reducción del nivel de ruido, ahorro de tiempo y aumento de eficiencia en la planta, son de fácil instalación y además son de fácil limpieza y ensamblaje.

### **10.4.2.3 Alternativa N°3: Banda transportadora modular**

Las bandas transportadoras modulares tienen múltiples beneficios de gran valor para la industria tales como: resistencia a la corrosión y a la abrasión, permite casi cualquier medida con tramos ascendentes o descendentes, de casi cualquier ancho y diversas formas.

Además, Si la banda transportadora modular llega a verse dañada por alguna razón, solo es necesario cambiar las partes afectadas lo cual facilita el mantenimiento.

### **10.4.3 Sistema de sujeción de canastas**

#### **10.4.3.1 Alternativa N°1: Actuador neumático compacto de doble efecto**

Los actuadores neumáticos de doble efecto poseen dos tomas de aire que permiten que el émbolo pueda moverse en dos direcciones: avance y retroceso. Debido a lo anterior, una de las ventajas que poseen los cilindros doble efecto es que pueden utilizarse cuando se requieren altas velocidades siendo este el caso. Como se necesita realizar la sujeción de la canasta más baja de la pila en periodos muy cortos de tiempo esta alternativa parece ideal para ser implementada.

#### **10.4.3.2 Alternativa N°2: Actuador neumático de sujeción lineal y giratorio**

Este actuador neumático se utiliza para realizar actividades de sujeción de diversos tipos permitiendo efectuar operaciones de introducción y recogida de piezas. También es una alternativa ideal ya que brindaría seguridad a la hora de realizar la sujeción de las canastas dado a su movimiento giratorio facilitaría su montaje en distintas posiciones.



### **10.4.3.3 Alternativa N°3: Pinzas Metálicas**

Esta alternativa posee un bajo costo de fabricación y además está conformada por elementos de fácil adquisición en el mercado y su principio de funcionamiento es bastante sencillo. Ahora bien, un posible inconveniente que podría presentar es la seguridad que podría brindar a la hora de sujetar las canastas pues en este caso el área en donde se realizaría la sujeción de las canastas serían en las pestañas que estas poseen.

## **10.4.4 Sistema de separación de canastas**

### **10.4.4.1 Alternativa N°1: Sistema de cadenas con guías lineales**

Esta alternativa es bastante versátil ya que se cuenta con sistemas mecánicos que siempre son confiables y si se les realiza el mantenimiento adecuado funcionan de buena manera. Además, el proceso es totalmente automatizado y controlado que es uno de los factores para tener en cuenta en el diseño.

### **10.4.4.2 Alternativa N°2: Cilindros multiposición**

En este caso se contaría con un sistema totalmente neumático, el cual garantiza control y una alta velocidad de respuesta en el proceso de separación de canastas. Se tendría un sistema bastante compacto lo cual hace que no ocupe una gran cantidad de espacio a comparación de la alternativa N°1. Una de las desventajas que posee es quizás su alto costo; pues los componentes que conforman dicho sistema tienden a tener un alto costo.

### **10.4.4.3 Alternativa N°2: Técnica de vacío (Ventosas)**

Es un sistema que se utiliza para la sujeción de materiales en la industria alimenticia, paletizado automático de botellas, envasado, bebidas, automoción, productos farmacéuticos y piezas de electrónica.

Los materiales adecuados para trabajos de coger y dejar piezas por medio de equipos de vacío son principalmente materiales con poco espesor, deformables, cartón, plástico, etc.

Es un sistema que favorece la manipulación de piezas a gran velocidad, posee gran precisión además es un sistema neumático que permite integrarlo a los procesos de una manera sencilla debido a su flexibilidad.

#### **10.4.5 Sistema de volcamiento de canastas**

##### **10.4.5.1 Alternativa N°1: Estructura móvil accionada por un actuador neumático**

En este caso se tiene una estructura que se puede fabricar fácilmente y que también al tener un actuador neumático brinda una respuesta rápida y gran precisión para el trabajo que se tiene.

##### **10.4.5.2 Alternativa N°2: Estructura con elementos de guiado y lamina en espiral**

Esta alternativa es una solución bastante buena ya que representaría un bajo costo de fabricación, debido a que es una estructura hecha a base de láminas metálicas y tubería estructural y los elementos de guiado son dos barras circulares.

##### **10.4.5.3 Alternativa N°3: Estructura con barras circulares en espiral**

Al igual que la anterior alternativa representaría un bajo costo de fabricación y, además, como se mencionó anteriormente la máquina lavadora de canastas tiene esta estructura para volcar las canastas y ponerlas boca arriba una vez salen del proceso de lavado. Es por esto que esta alternativa resulta bastante atractiva ya que se tiene al alcance y además su funcionabilidad está garantizada.

## 10.4.6 Sistema de detección de canastas

### 10.4.6.1 Alternativa N°1: Sensores de proximidad capacitivos

Los sensores capacitivos tienen una buena adaptación a los entornos industriales y permiten detectar objetos o fluidos sin necesidad de contacto físico. Es una alternativa económica pero quizás una gran desventaja es su alcance ya que dependiendo de su tamaño puede tener un alcance de 60 mm.

### 10.4.6.2 Alternativa N°2: Sensores Fotoeléctricos

El sensor fotoeléctrico al igual que el sensor capacitivo puede detectar objetos sin necesidad de contacto físico y además a gran velocidad. A diferencia de los sensores capacitivos este sensor posee una buena distancia de detección y, además, permite detectar por tamaño, color o brillo del objeto.

Los sensores fotoeléctricos se dividen en varios tipos según la necesidad que se tenga, lo cual hace que en muchos casos su costo sea elevado.

## 10.5 Criterios de selección de alternativas

A continuación, se muestran los criterios de selección y asignación de valores para elegir la alternativa que más ajusta para cada sistema, con calificación de 1, 3 y 5, siendo 1 insatisfactoria y 5 la más adecuada. Además, se realizó una encuesta a la persona encargada de SST (Seguridad y salud en el trabajo), Fisioterapeuta y al Coordinador y Supervisor de mantenimiento industrial de la planta para conocer la importancia que tienen los criterios de evaluación mencionados en la **(Tabla 13)** para cada uno de ellos. El nivel de importancia va de 1 a 100, siendo 1 sin importancia y 100 importante **(Tabla 14)**. Luego de que cada persona realizará la evaluación correspondiente para cada criterio, se deben sumar los valores de cada criterio y se obtiene un valor total para cada uno. Después, se deben sumar todos los valores totales obtenidos de cada criterio para obtener el valor total. Con esto se podrá obtener el peso de cada criterio realizando una división entre el valor total del criterio y la suma general.

**Ejemplo:** Para el criterio del costo de fabricación se tiene una suma total del valor de importancia de 205 y la suma total general de 1483 por lo tanto el **peso** obtenido para el criterio de **Costo de fabricación** es: 0.138.

Tabla 13. Criterios de selección.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	DEFINICIÓN	EVALUACIÓN X		
		1	3	5
Costos de Fabricación	Costos estimados de fabricación o adquisición por sistema	$x > \$15 \text{ M}$	$\$5 \text{ M} > x \leq \$15 \text{ M}$	$x \leq \$5 \text{ M}$
Facilidad de Montaje	Tiempo necesario para instalar cualquier sistema de la máquina	$x = \text{Tiempo} > 1 \text{ mes}$	$x = \text{Tiempo entre } 15 \text{ días a } 1 \text{ mes}$	$x = \text{Tiempo} < 15 \text{ días}$
Tiempos de Mantenimiento	Tiempo que se tarda en realizar el mantenimiento a cualquier sistema	$x > 6\text{h}$	$1\text{h} > x \leq 6\text{h}$	$x \leq 1\text{h}$
Interacción Hombre Máquina	Número de operaciones para iniciar el proceso	$x > 5$	$1 > x \leq 5$	$x = 0$
Seguridad	Tipos de sistemas de seguridad integrados en el sistema	$x = \text{Sin sistema de seguridad}$	$x = \text{Sistema de seguridad manual}$	$x = \text{Sistema de seguridad automático}$
Ergonomía	Manipulación de cargas	$x > 50 \text{ Kg}$	$25 \text{ Kg} < x \leq 50 \text{ Kg}$	$x < 25 \text{ Kg}$
Facilidad de fabricación	Cantidad de componentes que se deben fabricar para el montaje del equipo	$x > 5$	$1 > x \leq 5$	$x = 0$

Tabla 14. Importancia criterios de selección.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	DISEÑO			
		DISEÑO	FISIOTERAPEUTA Y SEGURIDAD ST	MONTAJES Y MANTENIMIENTO	TOTAL
Costos de Fabricación	0.138	70	65	70	205
Facilidad de Montaje	0.057	25	20	40	85
Tiempos de Mantenimiento	0.128	60	80	50	190
Interacción Hombre Máquina	0.179	90	90	85	265
Seguridad	0.189	95	95	90	280
Ergonomía	0.202	100	100	100	300
Facilidad de Fabricación	0.107	30	98	30	158
		470	548	465	1483
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>				

Tabla 15. Criterios de selección para el sistema de elevación.

SISTEMA DE ELEVACIÓN DE CANASTAS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	ELEVACIÓN HIDRÁULICA		ELEVACIÓN POR EJES LINEALES NEUMÁTICOS		RAMPA DE ELEVACIÓN	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costos de Fabricación	0.138	3	0.414699933	5	0.691166554	5	0.691166554
Facilidad de Montaje	0.057	3	0.171948753	3	0.171948753	5	0.286581254
Tiempos de Mantenimiento	0.128	1	0.128118678	3	0.384356035	5	0.640593392
Interacción Hombre Máquina	0.179	3	0.536075523	3	0.536075523	1	0.178691841
Seguridad	0.189	3	0.56641942	5	0.944032367	1	0.188806473
Ergonomía	0.202	5	1.01146325	5	1.01146325	3	0.60687795
Facilidad de Fabricación	0.107	1	0.106540796	3	0.319622387	3	0.319622387
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>2.94</b>		<b>4.06</b>		<b>2.91</b>

Tabla 16. Criterios de selección para el sistema de transporte.

SISTEMA DE TRANSPORTE DE CANASTAS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	TRANSPORTADOR DE CADENA CARDÁNICA		BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS		BANDA TRANSPORTADORA MODULAR	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costos de Fabricación	0.138	1	0.138233311	1	0.138233311	1	0.138233311
Facilidad de Montaje	0.057	5	0.286581254	5	0.286581254	5	0.286581254
Tiempos de Mantenimiento	0.128	5	0.640593392	3	0.384356035	5	0.640593392
Interacción Hombre Máquina	0.179	5	0.893459204	5	0.893459204	5	0.893459204
Seguridad	0.189	5	0.944032367	5	0.944032367	5	0.944032367
Ergonomía	0.202	5	1.01146325	5	1.01146325	5	1.01146325
Facilidad de Fabricación	0.107	5	0.532703978	5	0.532703978	5	0.532703978
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>4.45</b>		<b>4.19</b>		<b>4.45</b>

Tabla 17. Criterios de selección para el sistema de sujeción.

SISTEMA DE SUJECIÓN DE CANASTAS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	CILINDRO NEUMÁTICO DOBLE EFECTO		CILINDRO NEUMÁTICO GIRATORIO		PINZAS METÁLICAS	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costos de Fabricación	0.138	5	0.691166554	5	0.691166554	5	0.691166554
Facilidad de Montaje	0.057	3	0.171948753	3	0.171948753	5	0.286581254
Tiempos de Mantenimiento	0.128	3	0.384356035	3	0.384356035	3	0.384356035
Interacción Hombre Máquina	0.179	5	0.893459204	5	0.893459204	5	0.893459204
Seguridad	0.189	5	0.944032367	5	0.944032367	5	0.944032367
Ergonomía	0.202	5	1.01146325	5	1.01146325	5	1.01146325
Facilidad de Fabricación	0.107	5	0.532703978	5	0.532703978	3	0.319622387
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>4.63</b>		<b>4.63</b>		<b>4.53</b>

Tabla 18. Criterios de selección para el sistema de separación.

SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CANASTAS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	TORRE DE SEPARACIÓN CON GUÍAS LINEALES Y CILINDROS NEUMÁTICOS		CILINDROS MULTIPOSICIÓN		VENTOSAS	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costos de Fabricación	0.138	3	0.414699933	5	0.691166554	3	0.414699933
Facilidad de Montaje	0.057	3	0.171948753	3	0.171948753	3	0.171948753
Tiempos de Mantenimiento	0.128	3	0.384356035	5	0.640593392	5	0.640593392
Interacción Hombre Máquina	0.179	5	0.893459204	5	0.893459204	5	0.893459204
Seguridad	0.189	5	0.944032367	5	0.944032367	5	0.944032367
Ergonomía	0.202	5	1.01146325	5	1.01146325	5	1.01146325
Facilidad de Fabricación	0.107	3	0.319622387	5	0.532703978	3	0.319622387
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>4.14</b>		<b>4.89</b>		<b>4.40</b>

Tabla 19. Criterios de selección para el sistema de volcamiento.

SISTEMA DE VOLCAMIENTO DE CANASTAS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	ESTRUCTURA ACCIONADA POR ACTUADOR NEUMÁTICO		ESTRUCTURA INCLINADA CON LÁMINA GUÍA		ESTRUCTURA CON BARRAS CIRCULARES EN ESPIRAL	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costos de Fabricación	0.138	3	0.414699933	5	0.691166554	5	0.691166554
Facilidad de Montaje	0.057	3	0.171948753	3	0.171948753	3	0.171948753
Tiempos de Mantenimiento	0.128	5	0.640593392	5	0.640593392	5	0.640593392
Interacción Hombre Máquina	0.179	5	0.893459204	5	0.893459204	3	0.536075523
Seguridad	0.189	1	0.188806473	1	0.188806473	1	0.188806473
Ergonomía	0.202	5	1.01146325	5	1.01146325	5	1.01146325
Facilidad de Fabricación	0.107	3	0.319622387	3	0.319622387	3	0.319622387
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
			0		0		0
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>3.64</b>		<b>3.92</b>		<b>3.56</b>

Después de realizar la evaluación de cada una de las alternativas propuestas, se eligen las que han obtenido una mayor puntuación. Las cuales se mostrarán a continuación:

Tabla 20. Selección de alternativas.

<b>Etapa</b>	<b>Alternativa elegida</b>
<b>Sistema de elevación</b>	Alternativa N°2: Elevación por ejes lineales neumáticos.
<b>Sistema de transporte</b>	Alternativa N°1: Cadena transportadora cardánica.
<b>Sistema de sujeción</b>	Alternativa N°1: Actuador neumático compacto doble efecto.
<b>Sistema de separación</b>	Alternativa N°2: Cilindros multiposición.
<b>Sistema de volcamiento</b>	Alternativa N°2: Estructura inclinada con lámina guía.
<b>Sistema de detección</b>	Alternativa N°2: Sensores fotoeléctricos.

## 10.6 Diseño preliminar

Para comenzar, las canastas apiladas van a ser levantadas por un sistema de elevación (**ilustración 16.a**) que ayudará a colocar las canastas en la banda transportadora (**ilustración 16.b**). Al seguir la pila de canastas su trayectoria es detectada por un par sensores que provocan que se accionen los dos actuadores neumáticos (**ilustración 16.d**) que sujetarán la canasta más baja. Al tener sujeta la canasta más baja de la pila inmediatamente entrará en acción el sistema de separación de canastas (**ilustración 16.c**) el cual se encargará de levantar las canastas dejando solamente la canasta inferior que ha sido sujeta por el sistema mostrado en la (**ilustración 16.c**). Este proceso se repetirá hasta que todas las canastas sean separadas.

Para finalizar cada canasta de la pila que vaya siendo separada seguirá su trayectoria en la banda transportadora y pasará por el sistema de volcamiento de canastas (**ilustración 16.e**).

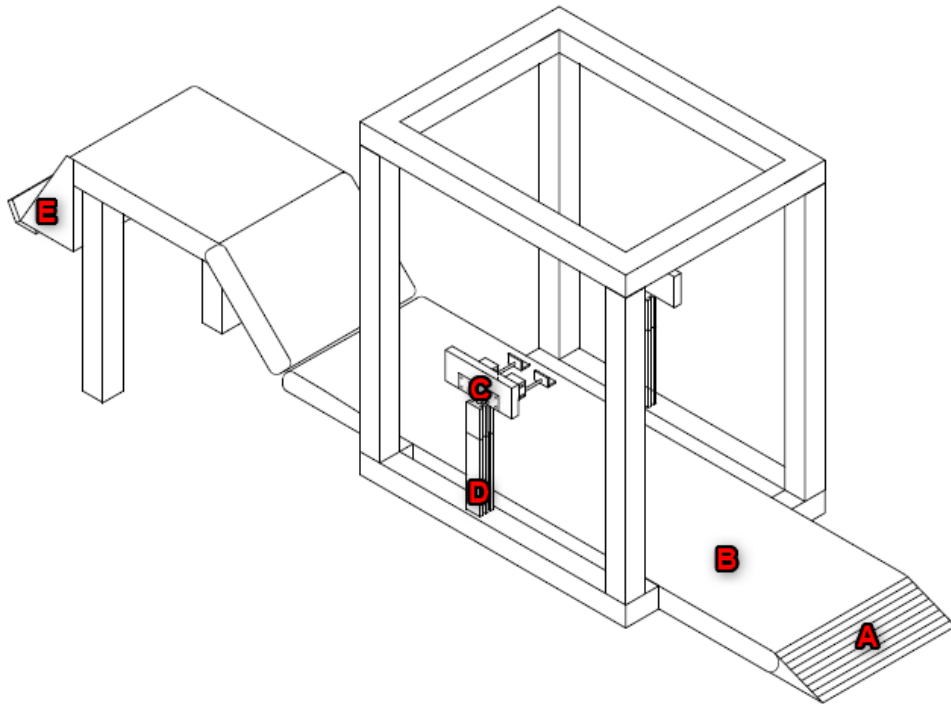


Ilustración 16. Diseño preliminar de la máquina.

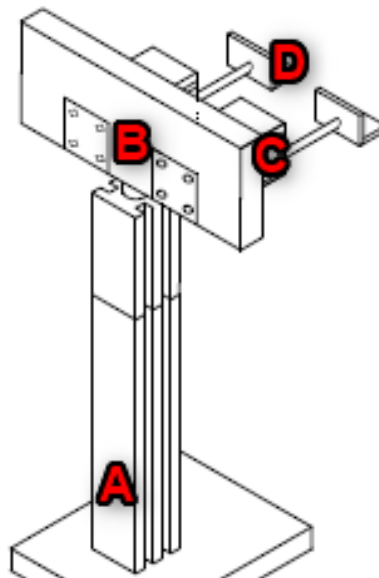
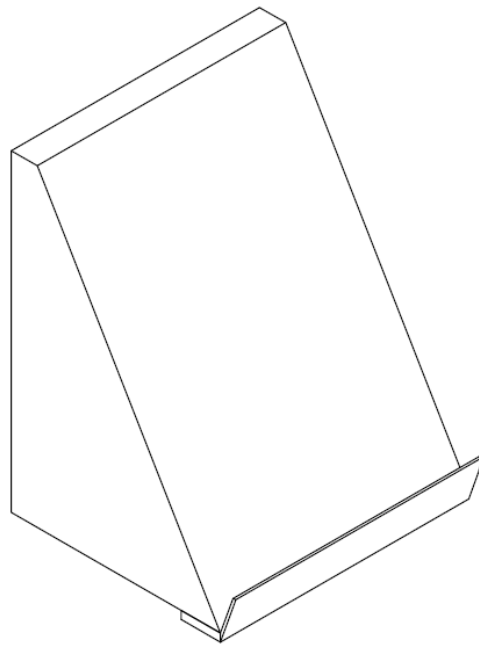


Ilustración 17. Diseño preliminar sistema de separación.

El sistema de separación de canastas (**ilustración 17**) se compone de un cilindro multiposición (**ilustración 17.a**) que será el encargado de levantar la pila de



canastas luego de que la primera canasta sea sujeta por el sistema de sujeción. Acoplado a este cilindro multiposición van a estar montados dos cilindros neumáticos compactos (**ilustración 17.c**) que se encargaran de sujetar desde la segunda canasta en adelante para que luego las canastas sujetadas sean levantadas por el cilindro multiposición. Estos cilindros neumáticos compactos estarán acoplados mediante un soporte (**ilustración 17.b**) que está unido al cilindro multiposición. Adicionalmente, los cilindros neumáticos compactos tendrán en la cabeza de su vástago una especie de pinzas (**ilustración 17.d**) que serán las encargadas de sujetar la pila de canastas para su elevación.



*Ilustración 18. Diseño preliminar sistema de volcamiento de canastas.*

El sistema de volcamiento (**ilustración 18**) de canastas se compone de una estructura inclinada. En la parte inferior se colocará una pestaña que será la encargada de generar que cada canasta que vaya cayendo sea volteada y pueda entrar a la máquina lavadora de canastas.

## **11. SISTEMA DE ELEVACIÓN DE CANASTAS**

### **11.1 Generalidades**

El sistema de elevación será de control electromecánico. Los controles electromecánicos ofrecen las siguientes ventajas frente a los actuadores neumáticos e hidráulicos:

- Los actuadores eléctricos tienden a ser más compactos y livianos que los actuadores neumáticos e hidráulicos.
- No requieren de la instalación de bombas, tanques de acumulación, tuberías, etc.
- Debido a su diseño tienden a ser más silenciosos que los actuadores neumáticos e hidráulicos.
- Facilitan la integración en el sistema de control electrónico de una máquina.
- Permiten un rango de operación de velocidad y potencia mucho más amplio que los equipos neumáticos e hidráulicos.
- Permiten obtener un mayor de precisión posicional debido a que sus partes móviles se basan en una tecnología de rodamiento de elementos rodantes bien comprendida.

#### **11.1.1 Infraestructura de la automatización eléctrica**

La eficiencia energética es un criterio esencial en cualquier empresa, pues genera costes considerables y, además, porque la protección del medio ambiente ha adquirido una importancia cada vez mayor. También los sistemas

eléctricos albergan un importante potencial de ahorro. El éxito depende de la aplicación de un análisis completo de los sistemas eléctricos.

Las aplicaciones son múltiples. Sin embargo, la mayoría de los sistemas incluyen tres componentes esenciales. En primer lugar, un servocontrolador o un sistema de accionamiento que controla o regula el sistema. En segundo lugar, un actuador eléctrico que, por lo general, es un motor eléctrico que transforma la energía eléctrica en energía de accionamiento mecánico, para ejecutar movimientos lineales o giratorios. Y, en tercer lugar, un mecanismo que ejecuta los movimientos necesarios. [13]

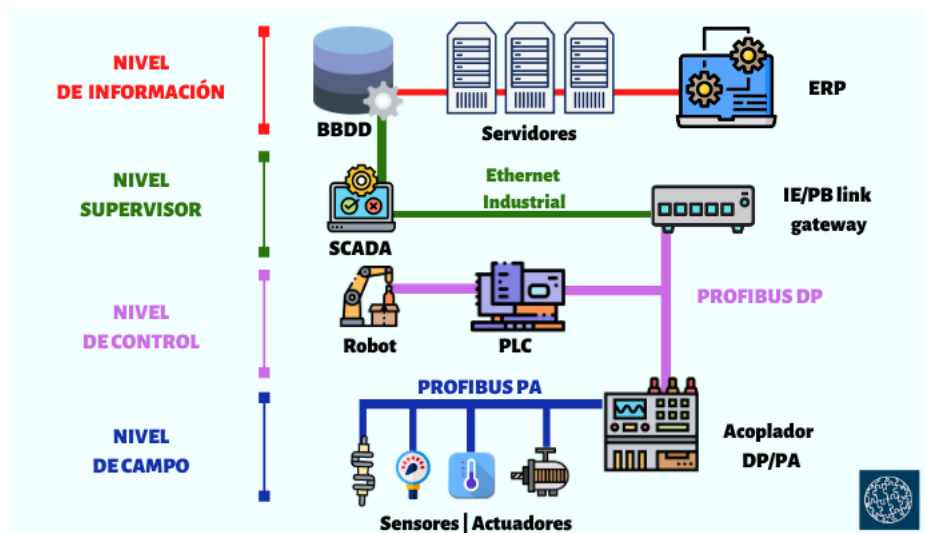


Ilustración 19. Disposición jerárquica automatización eléctrica.

## 11.2 Ejes lineales eléctricos

Los ejes eléctricos son actuadores lineales mecánicos en los que el movimiento giratorio generado por un motor se transforma en movimiento lineal por medio del accionamiento de una correa dentada o el accionamiento de un husillo. En este caso se cuenta con un eje eléctrico accionado por correas dentadas el cual es compacto y liviano. Además, la presencia de guías de rodamiento de bolas concede elevada rigidez y resistencia a las cargas externas.

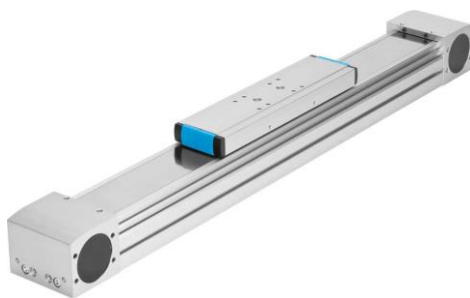


Ilustración 20. Eje lineal eléctrico accionado por correa dentada. Fuente: Festo.

Se utilizarán ejes lineales eléctricos de la marca Festo. Se van a tener los ejes lineales de accionamiento por correa dentada ELGA-TB-G los cuales poseen una sección optimizada y única para la rigidez y la carga admisible máximas. Como actuador lineal dinámico alcanza una gran velocidad incluso con una carga elevada y carreras largas.

## 12. SISTEMA DE SUJECCIÓN DE CANASTAS

### 12.1 Generalidades

El sistema de sujeción de canastas se va a realizar por medio de un sistema de control electroneumático. Un sistema electroneumático es una integración de la energía eléctrica y los componentes mecánicos que tienen como fuente de alimentación el aire comprimido. En resumen, un sistema electroneumático es aquel en donde el control de los componentes neumáticos se realiza por medio de impulsos eléctricos.

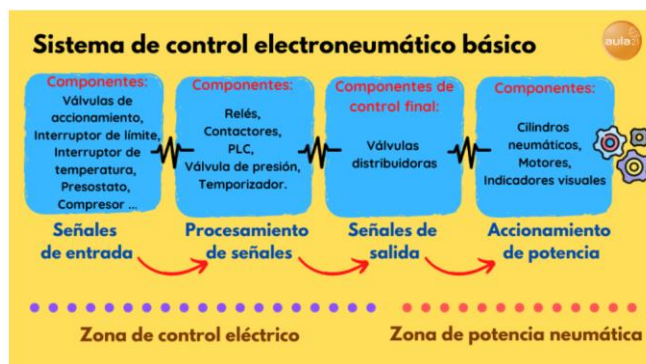


Ilustración 21. Disposición de un sistema de control electroneumático. Fuente: Aula21.

### 12.1.1 Cilindros neumáticos de doble efecto

Los cilindros neumáticos son actuadores que transforman la energía potencial del aire comprimido en movimiento para las máquinas neumáticas en sistemas automatizados.

Los cilindros de doble efecto son capaces de producir trabajo útil en dos sentidos, ya que disponen de una fuerza activa tanto en avance como en retroceso, es decir que el aire comprimido genera los dos movimientos de entrada y salida del vástago. Los cilindros de doble efecto permiten un mayor control de la velocidad.[14]

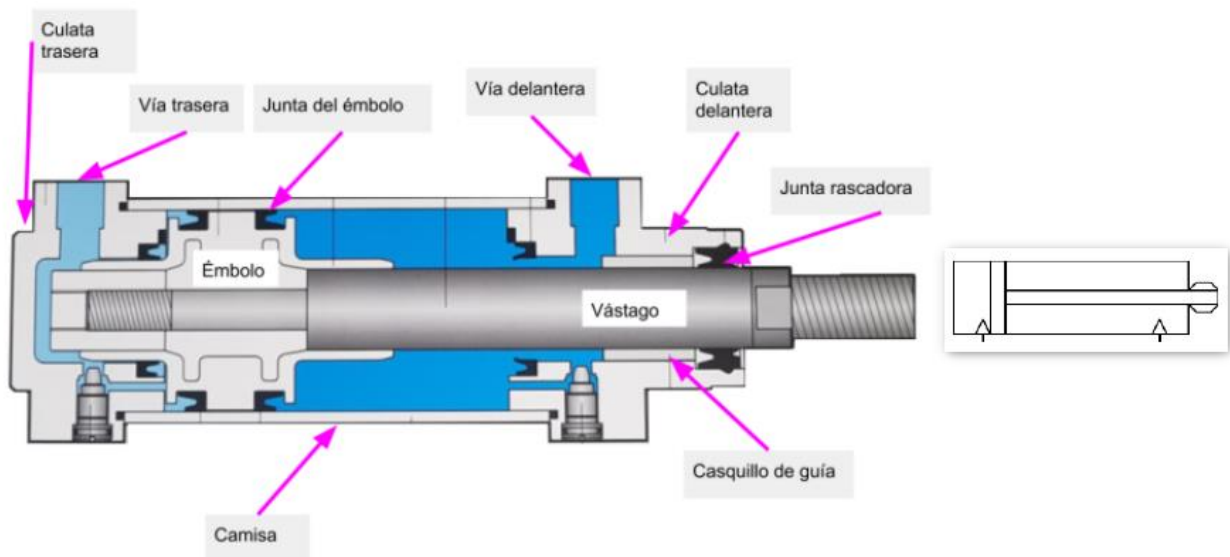


Ilustración 22. Cilindro de doble efecto (Izquierda) y simbología (Derecha).

Para este caso se requieren cilindros neumáticos de una carrera corta y que sean compactos, es por esto por lo que se van a utilizar Cilindros compactos ADN doble efecto marca Festo.



Ilustración 23. Cilindro neumático compacto ADN. Fuente: Festo.

## 13. SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CANASTAS

### 13.1 Cilindros eléctricos

Al igual que los ejes lineales eléctricos los cilindros eléctricos son actuadores lineales mecánicos en los que el movimiento giratorio generado por un motor se transforma en movimiento lineal por medio del accionamiento de un husillo.

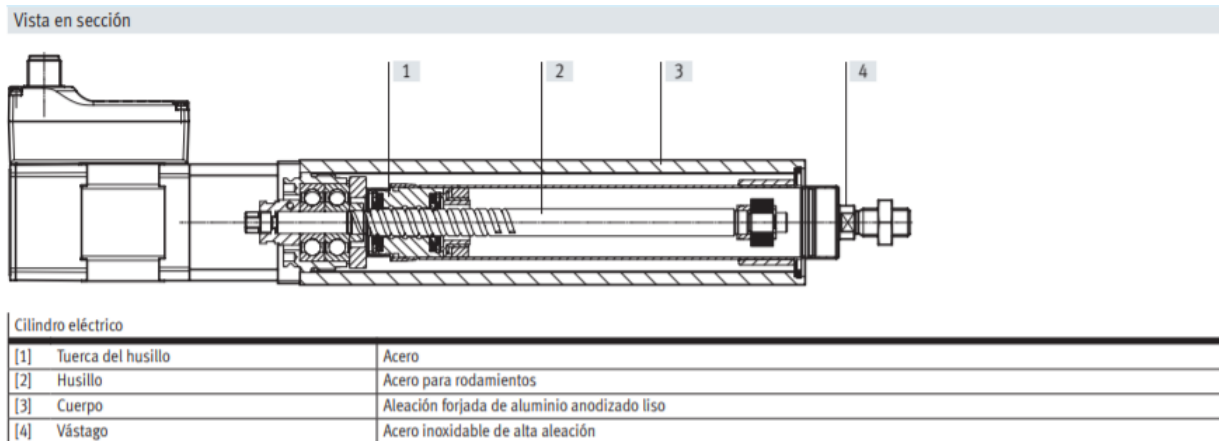


Ilustración 24. Vista en sección de un cilindro eléctrico. Fuente: Festo.

## 14. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

### 14.1 Sistema de elevación de canastas: Ejes lineales eléctricos

Para realizar la elevación de las canastas se debe tener en cuenta:

- Cantidad de canastas en el arrume.
- Peso del arrume de canastas.
- Peso de la lámina de elevación de las canastas.

Como se ha mencionado en secciones anteriores, en la zona de lavado de canastas se encuentran arrumes de hasta 25 canastas. Entonces:

$$M_{Canasta} = 2 \text{ kg}$$

$$M_{arrume} = 50 \text{ kg}$$

$$W_{arrume} = M_{arrume} * \text{gravedad} \rightarrow W_{arrume} = 50 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{arrume} = 490.50 \text{ N}$$

Ahora con ayuda del software Autodesk Inventor se buscará la masa de la lámina en la que serán elevadas las canastas.

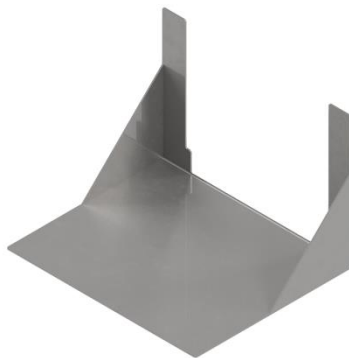


Ilustración 25. Modelo 3d de la lámina de elevación.

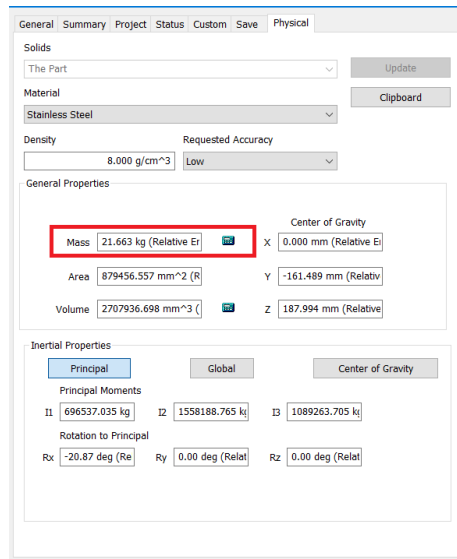


Ilustración 26. Propiedades físicas de la lámina de elevación.

De la **ilustración 26** se obtiene la masa de lámina, con la cual se procede a calcular el peso:

$$M_{lámina} = 21.66 \text{ kg}$$

$$W_{lámina} = M_{lámina} * \text{gravedad} \rightarrow W_{lámina} = 21.66 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{lámina} = 212.49 \text{ N}$$

Ahora conociendo el peso del arrume de 25 canastas y la lámina de elevación se procede a seleccionar los ejes lineales:

$$W_{total} = W_{arrume} + W_{lámina}$$

$$W_{total} = 490.50 + 212.49 \rightarrow W_{total} = 702.99 \text{ N}$$



Especificaciones técnicas generales				
Tamaño		70	80	120
Forma constructiva		Eje electromecánico con correa dentada		
Guía		Guía deslizante		
Posición de montaje		Indistinta		
Carrera de trabajo	[mm]	50 ... 8500	50 ... 8500	50 ... 8500
Fuerza de avance máx. $F_x$	[N]	350	800	1300
Momento máx. de giro sin carga <sup>1)</sup>	[Nm]	0,5	1	3
Resistencia máx. al desplazamiento sin carga <sup>1)</sup>	[N]	35	50	114
Par de accionamiento máximo	[Nm]	5	15,9	34,1
Velocidad máx. <sup>2)</sup>	[m/s]	5		
Aceleración máx.	[m/s <sup>2</sup> ]	50		
Precisión de repetición	[mm]	±0,08		

Ilustración 27. Especificaciones técnicas del eje lineal eléctrico. Fuente: Festo.

Fuerzas y pares admisibles				
Tamaño		70	80	120
$F_{y\text{máx.}}$	[N]	80	200	380
$F_{z\text{máx.}}$	[N]	400	800	1600
$M_{x\text{máx.}}$	[Nm]	5	10	20
$M_{y\text{máx.}}$	[Nm]	30	60	120
$M_{z\text{máx.}}$	[Nm]	10	20	40

Ilustración 28. Fuerzas admisibles para el eje lineal eléctrico. Fuente: Festo

Se selecciona un eje lineal accionado por correa dentada ELGA-TB-G con una carrera de trabajo de 750 mm que es la altura solicitada para elevar el arrume de canastas al sistema de transporte (Cadena transportadora cardánica).

### 14.1.1 Montaje del eje lineal eléctrico

Los ejes lineales pueden sujetarse a una estructura o a una máquina de manera fija o articulada. Los puntos de sujeción pueden ser el cuerpo del eje o en sus extremos (culata).

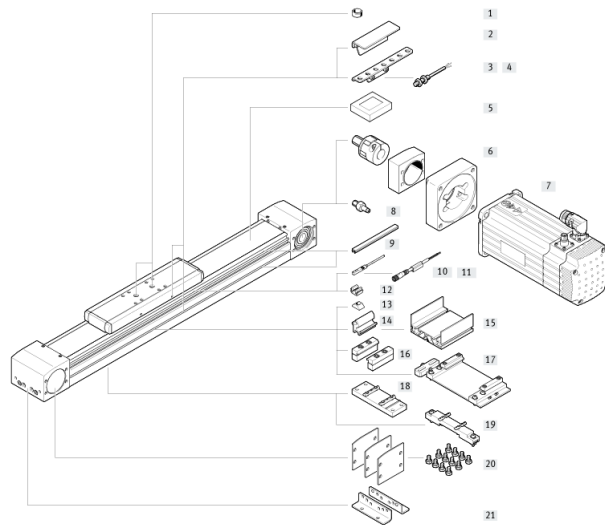


Ilustración 29. Cuadro general de periféricos. Fuente: Festo.

### Cuadro general de periféricos

Accesorios		
Tipo/código del pedido	Descripción	→ Página/Internet
[1] Pasador de centrado/casquillo para centrar ZBS, ZBH	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para centrar cargas y anexos en el carro</li> <li>Incluido en el volumen de suministro: <ul style="list-style-type: none"> <li>Con tamaño 70: 2x ZBS-5</li> <li>Con tamaños 80, 120: 2x ZBH-9</li> </ul> </li> </ul>	108
[2] Leva de conmutación SA, SB, SC, SD, SE, SF	Para detectar la posición del carro	105
[3] Soporte para sensor SC, SD, SE, SF	Para la fijación de los sensores de proximidad inductivos (redondos) en el eje	106
[4] Sensor de proximidad, M8 SC, SD, SE, SF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensor de proximidad inductivo, redondo</li> <li>Con el código del pedido SC, SD, SE, SF, el suministro incluye 1 leva de conmutación y un máximo de 2 soportes para sensor</li> </ul>	110
[5] Elemento de fijación EADT	Herramienta para retensar la cinta de recubrimiento	108
[6] Conjunto de sujeción axial EAMM	Para montaje axial del motor (compuesto por: acoplamiento, caja de acoplamiento y brida del motor)	94
[7] Motor EMME, EMMS	Motores especialmente adaptados al eje, con o sin reductor, con o sin freno	94
[8] Gorrón EA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede utilizarse como conexión alternativa, según sea necesario</li> <li>Para combinaciones de eje y motor → página 94 no se requiere gorrón</li> </ul>	99
[9] Tapa de la ranura NS, NC	Para la protección contra el ensuciamiento	108
[10] Sensor de proximidad para ranura en T SA, SB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensor de proximidad inductivo para ranura en T</li> <li>Con el código del pedido SA, SB, el suministro incluye 1 leva de conmutación</li> </ul>	109
[11] Cable de conexión CA	Para sensores de proximidad (código del pedido SE y SF)	110
[12] Clip CM	Para la fijación del cable del sensor de proximidad en la ranura	108
[13] Tuerca deslizante NM	Para la fijación de anexos	108
[14] Kit adaptador DHAM	Para la fijación del soporte perfilado en el eje	109
[15] Soporte perfilado HMA	Para la fijación y el guiado de una cadena de energía	109
[16] Fijación para perfil MA	Para la fijación lateral del eje en el perfil	101
[17] Kit de ajuste EADC-E16	Permite fijar el eje a una superficie vertical. Una vez realizada la fijación, el eje se puede orientar horizontalmente	104
[18] Soporte central EAHF-L5	Para la fijación inferior del eje en el perfil	102
[19] Kit de ajuste EADC-E15	Ajustable en altura. Permite compensar fácilmente las irregularidades de la superficie de apoyo	103
[20] Conjunto de tapa EASC-L5	Para la protección lateral de la tapa del accionamiento	108
[21] Fijación por pies MF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para la fijación del eje en la culata posterior</li> <li>Si las fuerzas y momentos son mayores, es recomendable fijar el eje a través del perfil</li> </ul>	100

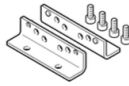
Ilustración 30. Elemento de fijación seleccionado.

Por lo anterior, se elige la fijación por pies HPE-80 de Festo.

**Fijación por pies  
HPE-80**

Número de artículo: 558322

FESTO



**Hoja de datos**

Característica	Valor
Abreviatura de tipo	HPE
Clase de resistencia a la corrosión CRC	1 - riesgo de corrosión bajo
Peso del producto	150 g
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS

Ilustración 31. Fijación por pies HPE-80. Fuente: Festo.

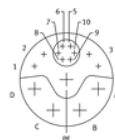
### 14.1.2 Selección del servomotor

Como se mencionó anteriormente, los ejes lineales eléctricos aprovechan el movimiento giratorio de un motor en movimiento lineal. Por lo tanto, se debe seleccionar un servomotor o motor paso a paso adecuado para la aplicación requerida. En este caso se selecciona el servomotor recomendado por el proveedor.

Por lo tanto, se elige un servomotor EMMT-AS-80-M-LS-RSB de la marca Festo.

**Servomotor**  
**EMMT-AS-80-M-LS-RSB**  
 Número de artículo: 5255435

FESTO



**Hoja de datos**

Característica	Valor
Abreviatura de tipo	EMMT-AS
Temperatura ambiente	-15 °C ... 40 °C
Nota sobre la temperatura ambiente	Hasta 80 °C con derating de -1,5% por grado centígrado
Máx. altura de montaje	4000 m
Nota sobre la altura máxima de montaje	A partir de 1.000 m solo con reducción de -1,0 % por 100 m
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ... 70 °C
Humedad relativa del aire	0 - 90 %
Conforme a la norma	IEC 60034
Clase térmica según EN 60034-1	F
Temperatura máxima de devanado	155 °C
Clase de dimensionado según EN 60034-1	S1
Supervisión de la temperatura	Transferencia de calor del motor digital vía EnDat 2.2
Forma de motor según EN 60034-7	IM B5 IM V1 IM V3
Posición de montaje	Cualquiera
Grado de protección	IP40
Nota sobre el grado de protección	IP40 para el árbol del motor sin anillo de obturación radial IP65 para el árbol del motor con anillo de obturación radial IP67 para la caja motor, incluida la técnica de conexión
Vida útil del cojinete en condiciones nominales	20000 h
Código de interfaz, salida motor	80P
Conexión eléctrica 1, tipo de conexión	Conector híbrido
Conexión eléctrica 1, técnica de conexión	M23x1
Conexión eléctrica 1, cantidad de contactos/hilos	15
Conexión eléctrica 1, distribución de conexiones	00995913
Grado de ensuciamiento	2
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Clase de resistencia a la corrosión CRC	0 - sin riesgo de corrosión
LABS-Conformity	VDMA24364-Zona III

Ilustración 32. Especificaciones técnicas del servomotor. Fuente: Festo.

Característica	Valor
Resistencia a las vibraciones	Control para el transporte con grado de severidad 2 según FN 942017-4 y EN 60068-2-6
Resistencia a los golpes	Control de impactos con grado de severidad 2, según FN 942017-5 y EN 60068-2-27
Certificación	RCM c UL us - Recognized (OL)
Marcado CE (véase la declaración de conformidad)	Según Directiva de máquinas CEM de la UE Según la Directiva de baja tensión de la UE Según la Directiva RoHS de la UE
Organismo que expide el certificado	UL E342973
Tensión nominal de funcionamiento DC	325 V
Tipo de conmutación del devanado	Estrella interior
Número de pares de polos	5
Momento de giro en reposo	2.6 Nm
Momento de giro nominal	2.2 Nm
Momento de giro máximo	6.4 Nm
Revoluciones nominales	3000 1/min
Revoluciones máx.	6150 1/min
Revoluciones mecánicas máx.	14000 1/min
Potencia nominal del motor	690 W
Corriente permanente en reposo	4.9 A
Corriente nominal del motor	4.1 A
Corriente de pico	17.1 A
Constante del motor	0.54 Nm/A
Constantes del momento de giro en reposo	0.62 Nm/A
Constante de tensión, fase/fase	37.3 mV/min
Resistencia del devanado fase-fase	2.04 Ohm
Inductancia del devanado fase-fase	8.9 mH
Devanado inductancia longitudinal Ld (fase)	5.4 mH
Inductancia transversal Lq del devanado (fase)	6.6 mH
Constante de tiempo eléctrica	6.5 ms
Constante de tiempo térmica	45 min
Resistencia térmica	0.78 K/W
Brida de medición	250 x 250 x 15 mm, acero
Par de salida total de inercia	2.07 kgcm <sup>2</sup>
Peso del producto	3360 g
Carga axial admisible del eje	120 N
Esfuerzo radial admisible del eje	620 N
Transmisor de posición del rotor	Encoder absoluto, monovuelta
Designación del fabricante del transmisor de posición del rotor	ECI 1118
Vueltas detectables de manera absoluta del transmisor de posición del rotor	1

Ilustración 33. Especificaciones del servomotor elegido. Fuente: Festo.

El servomotor elegido se encargará de accionar ambos ejes lineales eléctricos para esto caso se va a utilizar una unión cardánica. Por lo anterior, se selecciona un eje de conexión KSK-80-630 de marca Festo.

**Eje de conexión  
KSK-80-**

Número de artículo: 562521



FESTO

**Hoja de datos**

Hoja de datos completa: los valores individuales dependen de su configuración.

Característica	Valor
Tamaño	80
Longitud nominal	200 mm ... 2000 mm
Abreviatura de tipo	KSK
Posición de montaje	Horizontal
Humedad relativa del aire	0 - 95 %
Temperatura ambiente	-10 °C ... 60 °C
Nota sobre el material	Contiene sustancias que afectan al proceso de pintura Conformidad con la Directiva RoHS

Ilustración 34. Unión cardánica elegida. Fuente: Festo.

## 14.2 Sistema de transporte: Transportador de cadena cardánica

Para realizar el transporte del arrume de canastas por sugerencia de la cooperativa se va a utilizar un transportador de cadena cardánica. Este tipo de cadena cardánica es el usado en la cooperativa para realizar el ingreso de las canastas luego de ser desapiladas en la máquina lavadora de canastas. A continuación, se muestran las características para la cadena cardánica Multiflex serie 1400.

	MM	IN	
Paso / Pitch	82.5	3.25	
Ancho del eslabón	50.0	1.97	
Ancho del eslabón (incluyendo el tab)	66.0	2.59	
Paso:	Tipo:	Desplazamiento:	Resistencia:
3.25" (82.5mm)	Cadena cardánica	Recto y/o curvo	650 Kg (Alta)
	MM	IN	
Diámetro pin	11.11	0.44	
Tipo de pin	Barra de acero inox		




Ilustración 35. Especificaciones generales de la cadena. Fuente: Pladesan.

Número dientes:	Tipo:	Dirección de giro:	Diámetro primitivo:
10	Entero	Bi-direccional	267.2mm (10.52")
Aplicaciones:	Todo tipo de transportadores.		
	MM	IN	
Dirección de giro	Bi-direccional <sup>[1]</sup>		
Tipo	Entero		
Número de dientes	10		
Diámetro primitivo	267.2	10.52	
Diámetro exterior	279.0	10.98	
Diámetro del cubo	73.5	2.89	
Espesor del piñón	42.0	1.65	
Altura h	115.5	4.54	

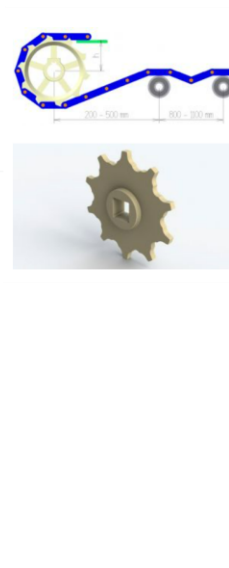


Ilustración 36. Dimensiones del piñón. Fuente: Pladesan.

### 14.3 Sistema de sujeción de canastas: Cilindros neumáticos compactos

Para seleccionar un cilindro neumático adecuado para realizar la sujeción de las canastas se tienen en cuenta las siguientes simplificaciones:

- Se va a efectuar el cálculo de los cilindros compactos que están montados en el sistema de separación de canastas, que además se van a utilizar en este sistema de sujeción.
- Presión de trabajo: 6 bar
- Carga útil: 50 kg (Masa de 25 canastas)

$$W_{canastas} = 50 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} \rightarrow W_{canastas} = 490.5 \text{ N}$$

$$\text{Dado a que son 2 cilindros} \rightarrow \frac{W_{canastas}}{2} = 245.25 \text{ N}$$

Con esto se procede a calcular el área del émbolo:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{P} \rightarrow A = \frac{245.25 \text{ N}}{0.6 \frac{N}{mm^2}} \rightarrow A = 408.75 \text{ mm}^2$$

Luego conociendo el área del émbolo se procede a encontrar el diámetro:

$$A = \frac{\pi * \phi_{embolo}^2}{4} \rightarrow \phi_{embolo} = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \rightarrow \phi_{embolo} = 22.85 \text{ mm}$$

El diámetro del émbolo que se va a utilizar en este caso es de 32 mm debido a que, al dimensionar los cilindros neumáticos, se recomienda aprovechar únicamente el 50 % de las fuerzas teóricas indicadas. Por lo tanto, se va a realizar la comprobación de lo dicho anteriormente:

## Hoja de datos

Fuerzas [N] y energía del impacto [J]	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
Diámetro del émbolo											
Fuerza teórica a 6 bar, avance											
-	68	121	188	295	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
S1	-	-	-	295	-	754	-	1870	-	4712	-
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
Fuerza teórica a 6 bar, retroceso											
-	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
S1	-	-	-	247	-	633	-	1681	-	4417	-
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
Energía máx. de impacto en las posiciones finales											
-	0,07	0,15	0,2	0,3	0,4	0,7	1	1,3	1,8	2,5	3,3
S1	-	-	-	0,3	-	0,7	-	1,3	-	2,5	-
S6	0,035	0,075	0,1	0,15	0,2	0,35	0,5	0,65	0,9	1,25	1,75
K10	-	-	0,16	0,24	0,32	0,56	0,8	1	1,4	2	2,6
S20	-	0,016	0,024	0,083	0,15	0,39	0,48	0,62	0,8	0,9	0,95

Ilustración 37. Fuerzas y energía del impacto del cilindro compacto ADN. Fuente: Festo.

$C_a =$  Coeficiente de aprovechamiento de carga

$$C_a = \frac{\text{Fuerza necesaria}}{\text{Fuerza Teórica de Avance}}$$

$$C_a = \frac{245.25 \text{ N}}{483 \text{ N}} \rightarrow C_a = 0.508$$

**Presión trabajo ( $p$ ):**

$$p_{min} = \frac{F_p}{A} \rightarrow p_{min} = \frac{F_p}{\pi * r^2} \rightarrow p_{min} = \frac{245.25 \text{ N}}{\pi * (0.016)^2} \rightarrow p_{min} = 304943.36 \text{ Pa}$$

$$p_{min} = 304943.36 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ Psi}}{6894.76 \text{ Pa}} = 44.23 \text{ Psi} \rightarrow p_{min} = 3.05 \text{ Bar}$$

Teniendo en cuenta el resultado anterior, la presión de trabajo ( $p$ ) será de 4 Bar.

Para el cilindro seleccionado ADN-32-20-A-P-A marca Festo, se utilizarán las siguientes ecuaciones que se van a introducir en una hoja de Microsoft Excel. En la hoja se ingresarán ciertos datos básicos para que se arrojen los resultados de manera automática:



### Área y volumen interno sin contar el vástago ( $A$ ):

$$\text{Área sin vástago} \rightarrow A = \pi * \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Volúmen de avance} \rightarrow V_A = A * C_V = \left[\pi * \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2\right] * C_V \text{ [cm}^3\text{]}$$

### Área y volumen internos contando el vástago ( $A_V$ ):

$$\text{Área con vástago} \rightarrow A_V = \pi * \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 - \pi * \left(\frac{\phi_V}{2}\right)^2 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Volúmen de retroceso} \rightarrow V_R = (A - A_V) * C_V = \left(\pi * \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 - \pi * \left(\frac{\phi_V}{2}\right)^2\right) * C_V \text{ [cm}^3\text{]}$$

### Velocidad ( $v$ ):

$$v = \frac{C_V}{t} \text{ [m/s]}$$

**Fuerza teórica de avance:** Fuerza ejercida por el émbolo para mover el vástago hacia el exterior de la camisa.

$$\text{Fuerza teórica de avance} \rightarrow F_{ta} = p * A \text{ [N]}$$

**Fuerza real de avance:** Fuerza ejercida por el émbolo para mover el vástago hacia el exterior de la camisa.

$$\text{Fuerza real de avance} \rightarrow F_{ra} = F_{ta} - (F_{rozamiento} + F_{fricción})$$

En la práctica es necesario conocer la fuerza real que realiza el émbolo. Para calcularla hay que tener en cuenta los rozamientos que existen, lo que provoca unas pérdidas sobre la fuerza teórica. En condiciones normales de servicio

(presiones de 4 a 8 bar) se puede considerar que las fuerzas de rozamiento suponen entre un 5 a un 15% de la fuerza teórica calculada ( $F_{ta}$ ). Por lo anterior se asumirá un valor del 10% de la fuerza teórica calculada ( $F_{ta}$ ).

$$(F_{rozamiento} + F_{fricción}) = 0.1 F_{ta} [N]$$

**Fuerza teórica de retroceso:** Fuerza ejercida por el émbolo para mover el vástago al interior de la camisa.

$$Fuerza teórica de retroceso \rightarrow F_{tr} = p * A_v$$

**Fuerza real de retroceso:** Fuerza ejercida por el émbolo para mover el vástago al interior de la camisa.

$$Fuerza real de retroceso \rightarrow F_{rr} = F_{tr} - (F_{rozamiento} + F_{fricción})$$

$$Fuerza real de retroceso = F_{tr} - [0.1 F_{ta}]$$

**Ciclos por minuto ( $n$ ):**

$$n = \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}} = \frac{\text{ciclos}}{\text{seg}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

**Tiempo para realizar un ciclo ( $t$ ):**

$$t = \frac{1 \text{ s}}{n}$$

**Relación de compresión ( $R_c$ ):**

$$R_c = \frac{(101,3 + p)}{101,3} \text{ p en [Kpa]}$$

## Consumo de aire:

$$Q = C_V * n * R_C * (A + A_V) \left[ \frac{L}{\text{min}} \right]$$

Tabla 21. Resultados obtenidos para el cilindro ADN-32-20-A-P-A.

INGRESO DE DATOS			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diámetro del embolo	$\phi_E$	3.2	cm
Diámetro del vástago	$\phi_V$	1.2	cm
Carrera	$C_V$	2	cm
Presión de trabajo	$p$	4	Bar
		58.0152	Psi
		400000	Pa
Ciclos por segundo	$n_s$	0.416666667	Ciclos/s
Ciclos por minuto	$n$	25	Ciclos/min
Tiempo en hacer un ciclo	$t$	2.4	s
Cantidad de cilindros	$c$	8	-
RESULTADOS			
<b>Área y volumen internos sin contar el vástago</b>			
Área sin vástago	$A$	8.04247719424	cm <sup>2</sup>
Volúmen de avance sin vástago	$V_A$	16.08495439	cm <sup>3</sup>
<b>Área y volumen internos contando el vástago</b>			
Área con vástago	$A_V$	6.9115038388	cm <sup>2</sup>
Volúmen de retroceso con vástago	$V_R$	13.8230076776	cm <sup>3</sup>
Volumen muerto	$V_M$	2.990796207	cm <sup>3</sup>
Volúmen total	$V_T$	32.89875827269	cm <sup>3</sup>
Fuerza teórica de avance	$F_{ta}$	321.69908776960	N
Fuerza teórica de retroceso	$F_{tr}$	276.46015355200	N
Masa teórica de avance	$M_{ta}$	32.79297530781	Kg
Masa teórica de retroceso	$M_{tr}$	28.18146315515	Kg
Fuerza real de avance	$F_{ra}$	289.52917899264	N
Fuerza real de retroceso	$F_{rr}$	248.81413819680	N
Masa real de avance	$M_{ra}$	29.51367777703	Kg
Masa real de retroceso	$M_{rr}$	25.36331683963	Kg
Velocidad	$v$	0.008333333	m/seg
Relación de compresión	$R_C$	4.947693067	-
<b>Caudal</b>			
Caudal de aire de un cilindro	$Q$	3.699385414	L/min
		0.130642778	Cfm
<b>Caudal requerido por todos los cilindros</b>			
Caudal de aire de C cilindros	$Q$	1.045142223	Cfm
		0.000493251735304	m <sup>3</sup> /s
		29.5950833117	L/min
<b>Compresor</b>			
Potencia	$P$	197.3006941	W
		0.264584544	Hp

### 14.3.1 Tanque de almacenamiento de aire comprimido:

Un depósito de aire, a veces denominado tanque de aire comprimido es una parte integral de cualquier sistema de aire comprimido. El objetivo principal es

actuar como almacenamiento temporal para adaptarse a los picos de demanda de un sistema y optimizar la eficiencia de funcionamiento del sistema.

### ❖ Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aire

Cuando se trata de dimensionar un tanque de almacenamiento de aire, una buena regla general para recordar es permitir de 3 a 4 galones por cada CFM o de 10 a 15 litros por cada litro / segundo de aire comprimido, dependiendo del tipo de compresor de aire utilizado y la aplicación. De manera similar al tamaño de un compresor de aire, hay una serie de factores que deben tenerse en cuenta al identificar el tamaño correcto de receptor de aire para su instalación [15].

Se recomienda encarecidamente tener en cuenta los siguientes factores:

- Minimizar las fluctuaciones/ Caídas de presión.
- Satisfacer las demandas de aire pico a corto plazo.
- Consideraciones energéticas.
- Consideraciones de seguridad.

Como en este caso se cuenta con un consumo de aire mínimo (**1.045 CFM**) por parte de los cilindros compactos que se tienen instalados en la máquina, por lo tanto, para realizar el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aire se tiene que:

$$1 \text{ CFM} \rightarrow 3 \text{ gal}$$

$$1.045 \text{ CFM} \rightarrow x$$

$$X = 3.135 \text{ gal}$$

Es decir, el tanque de almacenamiento de aire que se requiere instalar para abastecer la demanda de aire de la máquina es un tanque de 3.135 gal (**14.252 L  $\approx$  15 L**).

Para la fabricación del cuerpo del tanque se usará Tubería SCH 10 con un diámetro nominal de 6 in, las especificaciones se pueden observar en la **ilustración 37**

**TABLA EQUIVALENCIAS**

DIAM. PULG.	DIAM EXT MM	SCH 10		SCH 40	
		ESP PARED	KG/METRO	ESP PARED	KG/METRO
1/8"	10.3	1.24	--	1.73	0.36
1/4"	13.7	1.65	0.50	2.24	0.63
3/8"	17.1	1.65	0.65	2.31	0.85
1/2"	21.3	2.11	1.03	2.77	1.27
3/4"	26.7	2.11	1.40	2.87	1.68
1"	33.4	2.77	2.20	3.38	2.50
1 1/4"	42.2	2.77	--	3.56	3.38
1 1/2"	48.3	2.77	3.20	3.68	4.05
2"	60.3	2.77	4.20	3.91	5.44
2 1/2"	73.0	3.05	5.30	5.16	8.62
3"	88.9	3.05	6.50	5.49	11.29
4"	114.3	3.05	8.40	6.02	16.07
5"	141.3	3.40	11.60	6.55	21.78
6"	168.3	3.40	13.83	7.11	28.26
8"	219.1	3.40	20.17	8.18	42.53
10"	273.0	4.75	31.44	9.27	60.29

*Ilustración 38. Especificaciones de la tubería elegida. Fuente: Imporinox.*

Ahora que ya se conoce el tipo de tubería y las especificaciones se procede a encontrar la longitud adecuada del tanque para que pueda almacenar el volumen de aire comprimido requerido.

Tanque de almacenamiento		
Descripción	Cantidad	Unidad
Volumen requerido	15	L
	3.3	Gal
	915.484	Cubic in
Diámetro Nominal	6	in
	152.4	mm
Diámetro Exterior	6.625	in
	168.3	mm
Área del tanque	28.27433388	Square in
Longitud requerida del tanque	32.37862309	in
	822.4170266	mm
	82.24170266	cm
	0.822417027	m

*Ilustración 39. Longitud requerida del tanque.*

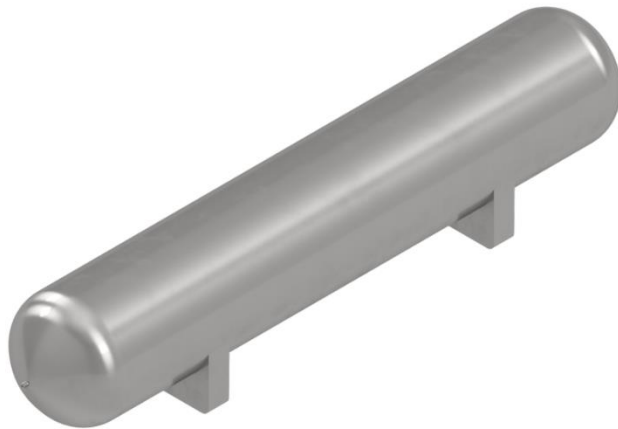


Ilustración 40. Tanque de almacenamiento de aire.

#### 14.4 Sistema de separación de canastas: Cilindros eléctricos

Para realizar la función de separación del arrume de canastas se va a contar con cilindros eléctricos. Se utilizarán este tipo de cilindros por recomendación del proveedor, estos cilindros brindan una mayor confiabilidad y, además permiten las posiciones intermedias durante el recorrido del vástago con la posibilidad de variar su torque y velocidad.

Para realizar el proceso de separación de las canastas se debe tener en cuenta:

- Cantidad de canastas en el arrume.
- Peso del arrume de canastas.

Como se ha mencionado en secciones anteriores, en la zona de lavado de canastas se encuentran arrumes de hasta 25 canastas. Entonces:

$$M_{Canasta} = 2 \text{ kg}$$

$$M_{arrume} = 50 \text{ kg}$$

$$W_{arrume} = M_{arrume} * gravedad \rightarrow W_{arrume} = 50 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{arrume} = 490.50 \text{ N}$$

Por lo dicho anteriormente se va a tener una carga útil de 25 Kg ya que serán 2 cilindros eléctricos los que se encargarán de levantar el arrume de canastas. Por lo tanto, el cilindro eléctrico elegido es EPCS-BS-60-500-5P de marca Festo. En la **ilustración 40** se mostrarán las especificaciones mecánicas del actuador.

Datos mecánicos		32		45		60	
Tamaño		3P		8P		10P	
Ejecución del husillo		3P		8P		12P	
Paso del husillo	[mm/giro]	3	8	3	10	5	12
Diámetro del husillo	[mm]	8	8	10	10	12	12
Carga útil máx.							
Horizontal	[kg]	24	24	60	40	120	56
Vertical	[kg]	12	9	23	13	46	18
Fuerza de avance máx. $F_x$	[N]	150	150	450	250	900	375
Fuerza radial máx. <sup>1)</sup>	[N]	75	75	180	180	230	230
Velocidad máx.	[m/s]	0,079	0,21	0,074	0,23	0,09	0,22
Velocidad "Speed Press"	[m/s]	0,01					
Aceleración máx.	[m/s <sup>2</sup> ]	1,5	5	1,5	5	1,5	5
Precisión de repetición	[mm]	±0,02					
Holgura en la inversión de sentido <sup>2)</sup>	[mm]	≤ 0,1					
Detección de posiciones		Para sensor de proximidad A través de IO-Link					

Ilustración 41. Datos mecánicos del cilindro eléctrico. Fuente: Festo.

## 14.5 Sistema de volcamiento de canastas

Luego de que las canastas salgan del sistema de separación, van a ser volteadas para que puedan ingresar boca abajo a la máquina lavadora de canastas. Para realizar esta tarea, la máquina tendrá una estructura **ilustración 41** que estará conformada por:

1. **Estructura general:** Elaborada en tubería estructural cuadrada.
2. **Barra circular:** La barra circular se encuentra unida a la estructura mediante soldadura. Esta barra va a permitir el deslizamiento de las canastas.
3. **Lámina doblada:** Una vez las canastas se deslicen sobre las barras circulares se va a aprovechar la inercia y los efectos de la gravedad

para que caigan sobre una lámina doblada y terminen su proceso de volcamiento. Dicha lámina se encuentra unida a la estructura mediante soldadura.



*Ilustración 42. Sistema de volcamiento de canastas.*

## 14.6 Automatización del sistema

### 14.6.1 Definición del sistema de control

Para realizar la automatización del sistema se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1. Señales de entrada:** En este caso se contará con un botón pulsador que será el encargado de energizar el servomotor que acciona los ejes lineales del sistema de elevación de canastas. Además, se contará con un botón de paro de emergencia y 3 sensores capacitivos que se encargarán de detectar la presencia de las canastas.
- 2. Procesamiento de señales:** Para realizar el procesamiento de las señales se va a contar con un PLC que será el encargado de la lectura,



grabación, realización y registro del programa encargado de realizar el ciclo de funcionamiento de la máquina desapiladora de canastas.

3. **Señales de salida:** Las señales de salida elegidas para este caso son electroválvulas que serán las encargadas de accionar los cilindros neumáticos que se encargan de la sujeción de las canastas.
4. **Accionamiento de potencia:** Para este caso se tienen en máquina los siguientes elementos: Ejes lineales eléctricos en el sistema de elevación de canastas, cilindros eléctricos en el sistema de separación de canastas, cilindros neumáticos en los sistemas de sujeción de canastas y elevación de canastas y servomotor en el sistema de elevación de canastas.

#### 14.6.2 Definición de variables del sistema de control

Tabla 22. Variables del sistema de control del desapilador de canastas.

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
I <sub>1</sub> : Botón pulsador inicio servomotor.	Q <sub>1</sub> : Servomotor sistema de elevación.
I <sub>2</sub> : Botón de paro de emergencia.	Q <sub>2</sub> : Cilindros neumáticos sistema de sujeción segundo arrume de canastas.
T <sub>1</sub> : Tiempo de empuje manual de canastas.	Q <sub>3</sub> : Cilindros neumáticos de sujeción sistema de separación segundo arrume de canastas.
S <sub>1</sub> : Sensor segundo arrume de canastas.	Q <sub>4</sub> : Cilindros neumáticos sistema de sujeción primer arrume de canastas.
S <sub>2</sub> : Sensor primer arrume de canastas.	Q <sub>5</sub> : Cilindros neumáticos de sujeción sistema de separación primer arrume de canastas.
S <sub>3</sub> : Sensor viajero segundo arrume a primer arrume de canastas.	Q <sub>6</sub> : Cilindros eléctricos sistema de separación segundo arrume de canastas.
	Q <sub>7</sub> : Cilindros eléctricos sistema de separación primer arrume de canastas.
	Q <sub>8</sub> : Variador de velocidad motor banda transportadora.

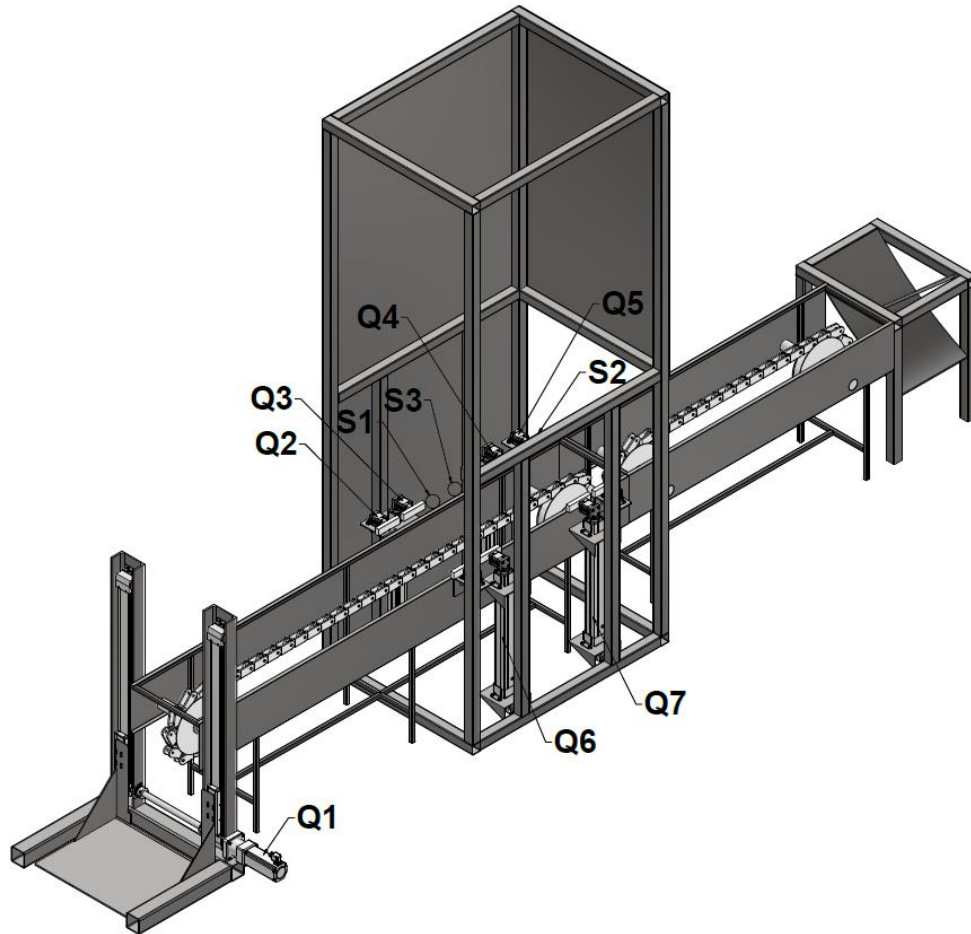


Ilustración 43. Ubicación de entradas y salidas del sistema de control en la máquina.

### 14.6.3 Componentes del sistema de control

A continuación, se muestran los componentes elegidos para el sistema de control y automatización de la máquina:

#### 14.6.3.1 Pulsadores



Ilustración 44. Botón pulsador de arranque XB4BA31. Fuente: Schneider Electric.

## Principal

Gama de producto	Harmony XB4
Tipo de producto o componente	Botón pulsador
Nombre corto del dispositivo	XB4
Material del bisel	<= 3 dB
Material anillo fijación	Zamak
Diámetro de montaje	22 mm
Se vende en cantidades indivisibles	1
Forma del cabezal de unidad de señalización	Redondo
Tipo de operario	retorno de resorte
Perfil de operador	Verde empotrado, sin marca
Tipo de cabezal	Estándar
Tipo y composición de contactos	1 NA
Funcionamiento de contacto	Rupt. lenta
Conexiones - terminales	Terminales de fijación por tornillo, <= 2 x 1,5 mm <sup>2</sup> con terminal acorde a EN/IEC 60947-1 Terminales de fijación por tornillo, 1 x 0,22-2 x 2,5 mm <sup>2</sup> sin terminal acorde a EN/IEC 60947-1

## Complementario

Altura	47 mm
Ancho	30 mm
Profundidad	52 mm
Descripción terminales ISO n°1	(13-14)NO
Peso del producto	0,08 kg
Endurancia mecánica	10000000 Ciclos
Par de apriete	0,8...1,2 N.m acorde a EN 60947-1
Forma de la cabeza de tornillo	Cruzado compatible con Philips n° 1 destornillador Cruzado compatible con Pozdriv n° 1 destornillador Con ranuras compatible con plano 4 mm Ø destornillador Con ranuras compatible con plano 5,5 mm Ø destornillador
Material de contactos	Aleación de plata (Ag/Ni)
Protección contra cortocircuito	10 A fusible de cartuchos tipo gG acorde a EN/IEC 60947-5-1
[Ith] corriente térmica convencional	10 A acorde a EN/IEC 60947-5-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	600 V (grado contaminación 3) acorde a EN/IEC 60947-1
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV acorde a EN/IEC 60947-1
[Ie] corriente asignada de empleo	3 A en 240 V, AC-15, A600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 6 A en 120 V, AC-15, A600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 0,1 A en 600 V, DC-13, Q600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 0,27 A en 250 V, DC-13, Q600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 0,55 A en 125 V, DC-13, Q600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 1,2 A en 600 V, AC-15, A600 acorde a EN/IEC 60947-5-1
Durabilidad eléctrica	1000000 Ciclos, AC-15, 2 A en 230 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, AC-15, 3 A en 120 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, AC-15, 4 A en 24 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, DC-13, 0,2 A en 110 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, DC-13, 0,5 A en 24 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C
Montantes funcionales	$\bar{I}_b < 10 \exp(-6)$ en 5 V y L/R = 1 mA en entorno limpio acorde a EN/IEC 60947-5-4 $\bar{I}_b < 10 \exp(-8)$ en 17 V y L/R = 5 mA en entorno limpio acorde a EN/IEC 60947-5-4
Presentación del dispositivo	Producto completo

Ilustración 45. Especificaciones botón pulsador verde.



Ilustración 46. Botón de parada de emergencia XB4BS8445. Fuente: Schneider Electric.

<b>Principal</b>	
<b>Gama de producto</b>	Harmony XB4
<b>Tipo de producto o componente</b>	Pulsador monofásico de apagado de emergencia Pulsador de parada de emergencia
<b>Nombre corto del dispositivo</b>	XB4
<b>Material del bisel</b>	<= 3 dB
<b>Material anillo fijación</b>	Zamak
<b>Diámetro de montaje</b>	22 mm
<b>Se vende en cantidades indivisibles</b>	1
<b>Forma del cabezal de unidad de señalización</b>	Redondo
<b>Tipo de operario</b>	acción de activación y enganche mecánico
<b>Tipo de cabezal</b>	Estándar
<b>Reset</b>	Girar para liberar
<b>Perfil de operador</b>	Red redondo Ø 40, sin marca
<b>Funcionamiento de contacto</b>	Rupt. lenta
<b>Conexiones - terminales</b>	Terminales de fijación por tornillo, <= 2 x 1,5 mm <sup>2</sup> con terminal acorde a EN 60947-1 Terminales de fijación por tornillo, >= 1 x 0,22 mm <sup>2</sup> sin terminal acorde a EN 60947-1
<b>Endurancia mecánica</b>	300000 Ciclos
<b>Par de apriete</b>	0,8...1,2 N.m acorde a EN 60947-1
<b>Forma de la cabeza de tornillo</b>	Cruzado compatible con Philips nº 1 destornillador Cruzado compatible con Pozidriv nº 1 destornillador Con ranuras compatible con plano 4 mm Ø destornillador Con ranuras compatible con plano 5,5 mm Ø destornillador
<b>Material de contactos</b>	Aleación de plata (Ag/Ni)
<b>Protección contra cortocircuito</b>	10 A fusible de cartuchos tipo gG acorde a EN/IEC 60947-5-1
<b>[Ith] corriente térmica convencional</b>	10 A acorde a EN/IEC 60947-5-1
<b>[UI] tensión asignada de aislamiento</b>	600 V (grado contaminación 3) acorde a EN 60947-1
<b>[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques</b>	6 kV acorde a EN 60947-1
<b>[Ie] corriente asignada de empleo</b>	3 A en 240 V, AC-15, A600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 6 A en 120 V, AC-15, A600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 0,1 A en 600 V, DC-13, Q600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 0,27 A en 250 V, DC-13, Q600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 0,55 A en 125 V, DC-13, Q600 acorde a EN/IEC 60947-5-1 1,2 A en 600 V, AC-15, A600 acorde a EN/IEC 60947-5-1
<b>Durabilidad eléctrica</b>	1000000 Ciclos, AC-15, 2 A en 230 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, AC-15, 3 A en 120 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, AC-15, 4 A en 24 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, DC-13, 0,2 A en 110 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C 1000000 Ciclos, DC-13, 0,5 A en 24 V, ritmo funcion <3600 cyc/h, factor de carga: 0,5 acorde a EN/IEC 60947-5-1 anexo C
<b>Montantes funcionales</b>	I <sub>s</sub> < 10exp(-6) en 5 V y L/R = 1 mA en entorno limpio acorde a EN/IEC 60947-5-4 I <sub>s</sub> < 10exp(-8) en 17 V y L/R = 5 mA en entorno limpio acorde a EN/IEC 60947-5-4
<b>Presentación del dispositivo</b>	Producto completo

Ilustración 47. Especificaciones botón paro de emergencia.

### 14.6.3.2 Sensores capacitivos



Ilustración 48. Sensor capacitivo XT112S1PAL2. Fuente: Schneider Electric.

<b>Principal</b>	
<b>Gama de producto</b>	Sensor conectado a la nube Telemecanique XIOT
<b>Tipo de sensor</b>	Sensores de proximidad capacitivo
<b>Aplicación específica de producto</b>	Detección de materiales aislados o conductores
<b>Nombre de detector</b>	XT1
<b>Diseño del detector</b>	M12 cilíndrico
<b>Tamaño</b>	50 mm
<b>Tipo de cuerpo</b>	Fijo
<b>Capacidad de montaje empotrado</b>	Montaje empotrado
<b>Material</b>	Acero inoxidable
<b>Material del envoltorio</b>	Acero inoxidable 303
<b>Tipo de señal de salida</b>	Discreta
<b>Técnica de cableado de detector</b>	3 hilos
<b>Distancia de detección nominal</b>	2 mm
<b>Función de salida digital</b>	1 NA
<b>Tipo circuito de salida</b>	CC
<b>Tipo de salida digital</b>	PNP
<b>Consecutivo, seguido, continuo, adosado</b>	Cable
<b>Longitud de cable</b>	2 m
<b>[Us] tensión de alimentación nominal</b>	24 V C.C con capacidad de sujeción: protección de polaridad inversa
<b>Maximum delay response</b>	5 ms
<b>Grado de protección IP</b>	IP67 acorde a Activar / desactivar Ig IP67 acorde a IEC 60947-5-2
<b>Complementario</b>	
<b>Rosca ISO</b>	M12 x 1
<b>Superficie de detección</b>	Frontal

Ilustración 49. Especificaciones sensor capacitivo.

### 14.6.3.3 Sistema de procesamiento de señales (PLC):



Ilustración 50. PLC elegido: LOGO!8. Fuente: Siemens.

Además, es necesario utilizar un módulo de expansión debido a que se tienen más salidas en de las que brinda el PLC elegido por lo tanto se selecciona el siguiente módulo de expansión:



Ilustración 51. Módulo de expansión para PLC LOGO! 6ED1055-1CB10-0BA2. Fuente: Siemens.

#### **14.6.3.4 Electroválvulas**

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. En general, el accionamiento eléctrico es el adecuado cuando las distancias de transmisión son muy largas y los tiempos de conexión son cortos.

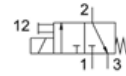
Las electroválvulas de un solo solenoide al ser desexcitadas tienen el retorno del émbolo por muelle y se llaman monoestables, mientras que las electroválvulas de doble solenoide permiten que la válvula vaya de una posición a la otra mediante una señal eléctrica de impulso a la bobina opuesta (sistema biestable de doble pilotaje).

De este modo permanecen en la posición deseada sin que sea necesario que la bobina esté excitada de forma permanente (el émbolo se queda inmóvil una vez desaparecida la señal de mando – función de memoria).[10]

Para la aplicación se requieren electroválvulas de rápida respuesta dado que se necesita separar la mayor cantidad de canastas posibles. Es por esto, que se seleccionan electroválvulas de conmutación rápida MHE2-MS1H-3/2G-M7 la cual, posee un tiempo de conmutación a la conexión menor a 2 ms y una dispersión de tiempo a la conmutación de 0.2 ms.

**Electroválvula**  
**MHE2-MS1H-3/2G-M7**  
 Número de artículo: 196131

FESTO



**Hoja de datos**

Característica	Valor
Función de la válvula	3/2 cerrada monoestable
Tipo de accionamiento	Eléctrico
Anchura	10 mm
Caudal nominal normal	100 l/min
Conexión neumática de utilización	M7
Tensión de alimentación	24 V DC
Presión de funcionamiento	-0.09 MPa ... 0.8 MPa
Presión de funcionamiento	-0.9 bar ... 8 bar
Forma constructiva	Válvula de asiento con descarga de presión
Tipo de reposición	Muelle mecánico
Grado de protección	IP65
Certificación	RCM c UL us - Recognized (OL)
Símbolo KC	KC-CEM
Marcado CE (véase la declaración de conformidad)	Según Directiva de máquinas CEM de la UE
Díámetro nominal	2 mm
Patrón uniforme	14 mm
Nota sobre el patrón uniforme	La distancia mínima entre las válvulas es de 4 mm
Abreviatura de tipo	MH2
Función de escape	Estrangulable
Principio de sellado	Blando
Posición de montaje	Cualquiera
Tiempo de conmutación OFF	2 ms

Ilustración 52. Especificaciones electroválvula MHE2-MS1H-3/2G-M7. Fuente: Festo.

Característica	Valor
Tiempo de conmutación ON	1.7 ms
Tolerancia para tiempo de conmutación OFF	+10 %/- 30 %
Tolerancia para tiempo de conmutación ON	+10%/- 30%
Dispersión tiempo de conmutación a partir de 1 Hz	0.2 ms
Tiempo de conexión	100%
Valores característicos de las bobinas	24 V DC, fase de corriente de baja intensidad 1,25 W, fase de corriente de alta intensidad 5,0 W
Fluctuaciones de tensión admisibles	+/- 10 %
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4-4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (o cual requiere seguir utilizándolo)
Resistencia a las vibraciones	Control para el transporte con grado de severidad 2 según FN 942017-4 y EN 60068-2-6
Limitación de la temperatura ambiente y de los medios	En función de la frecuencia de conmutación (véase el diagrama)
Resistencia a los golpes	Control de impactos con grado de severidad 2, según FN 942017-5 y EN 60068-2-27
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura del medio	-5 °C ... 60 °C
Temperatura ambiente	-5 °C ... 60 °C
Peso del producto	60 g
Conexión eléctrica	2 pines Conector
Tipo de fijación	Con taladro pasante
Conexión neumática 1	M7
Conexión neumática 2	M7
Conexión neumática 3	M7
Nota sobre el material	Sin cobre ni PTFE Conformidad con la Directiva RoHS
Material de las juntas	HNBR NBR
Material del cuerpo	Fundición inyectada de cinc Recubierto
Material de los tornillos	Acero Galvanizado

Ilustración 53. Especificaciones electroválvula MHE2-MS1H-3/2G-M7. Fuente: Festo.



#### 14.6.3.5 Gabinete de control

Los tableros eléctricos son gabinetes donde se alojan todos los equipos de protección, maniobra, control, medición, comunicación, conexión y señalización que realizan funciones específicas dentro de un proceso de automatización. Los tableros eléctricos que suministra nuestra compañía tienen como objetivo:

- Garantizar la seguridad de los operadores e instalaciones cuando el sistema esta energizado.
- Proteger los equipos frente de las condiciones ambientales o propias del proceso de producción.
- Prevenir acceso no autorizado al hardware del sistema de control, comunicación, maniobra o cualquier otro que ponga en peligro el estado del proceso de producción.
- Garantizar una adecuada puesta a tierra de los equipos alojados en su interior.
- Proveer condiciones adecuadas de ventilación, climatización e iluminación del equipamiento interno. [17]

En este caso se selecciona un armario compacto básico AX-Rittal de referencia AX 1180 con las siguientes especificaciones:

<b>Material:</b>	Caja: chapa de acero Puerta: chapa de acero, junta continua de poliuretano inyectado
<b>Superficie:</b>	Caja y puerta: imprimación por inmersión, exterior texturizado, pintura estructurada Placa de montaje: galvanizada
<b>Color:</b>	RAL 7035
<b>Grado de protección IP según IEC 60 529:</b>	IP 66
<b>Grado de protección NEMA:</b>	NEMA 1, 3R, 4, 12
<b>Tipo de comunicación según UL 50E:</b>	Type 1, 3R, 4, 12
<b>Código IK:</b>	IK10
<b>Unidad de envase:</b>	Armario con puerta(s) Placa(s) entrada de cables en el suelo de la caja Placa de montaje Listón de puerta perforado Cierre: doble paletón 3 mm
<b>Material básico:</b>	Chapa de acero
<b>Dimensiones:</b>	Anchura: 800 mm Altura: 1000 mm Profundidad: 300 mm
<b>Grosor del material:</b>	Caja: 1,5 mm Puerta: 2 mm Placa de montaje: 2,5 mm
<b>Placa de montaje:</b>	Anchura: 745 mm Altura: 975 mm
<b>Número puertas:</b>	1
<b>Bisagras a la derecha, intercambiables a izquierda:</b>	si
<b>Nº de cierres de aldabilla:</b>	2
<b>Ejecución cierre:</b>	Aldabilla
<b>Nº de cierres:</b>	2
<b>Bombín de cierre:</b>	Doble paletón 3 mm
<b>Placa de entrada de cables, tamaño:</b>	5
<b>Placa de entrada de cables, cantidad:</b>	2
<b>Unidad de embalaje:</b>	1 pza(s)
<b>Peso/UE:</b>	62 kg

Ilustración 54. Especificaciones del armario. Fuente: Rittal-The System.



Ilustración 55. Armario seleccionado. Fuente: Rittal-The System.

### 14.6.3.6 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación debe suministrar el voltaje que requiere la unidad central de proceso como todos los módulos electrónicos que posea el PLC.

Por lo tanto, se selecciona una fuente de alimentación marca Siemens, la cual tiene una salida de 4 A a 24 VDC lo que la hace apta para los componentes que se van a instalar (los equipos de automatización requieren normalmente 24V).



*Ilustración 56. Fuente de alimentación seleccionada: 6EP1332-5BA10 SITOP. Fuente: SIEMENS.*

### 14.6.3.7 Lenguaje LADDER

La lógica Ladder (también conocida como diagrama Ladder o LD) es un lenguaje de programación que se utiliza para programar un PLC (controlador lógico programable). Es un lenguaje gráfico de programación de PLC que expresa operaciones lógicas con notación simbólica. La lógica Ladder está hecha de peldaños de lógica, formando lo que parece una escalera, de ahí el nombre "Lógica Ladder".

La lógica Ladder es principalmente para operaciones de lógica de bits, aunque es posible escalar una entrada analógica de PLC. Incluso las operaciones de

lógica de bits simples pueden ser beneficiosas en programas de PLC más avanzados y en la programación del sistema SCADA. [18]

Luego de definir las variables de entrada y salida y seleccionar los componentes electrónicos que harán parte del sistema, mediante la utilización del software LOGO! Soft de Siemens se realiza la programación lógica de la máquina utilizando lenguaje Ladder.

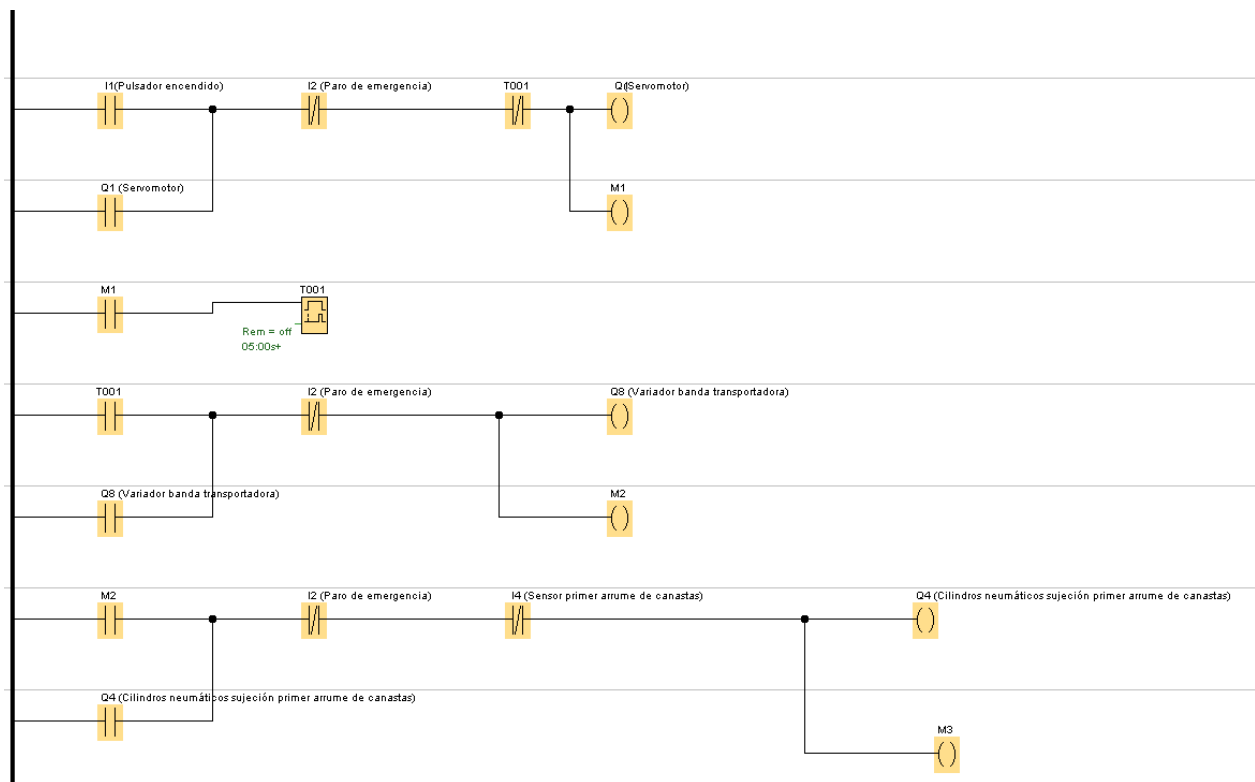


Ilustración 57. Programación lenguaje Ladder de la máquina. Parte 1.



Ilustración 58. Programación lenguaje Ladder de la máquina. Parte 2.

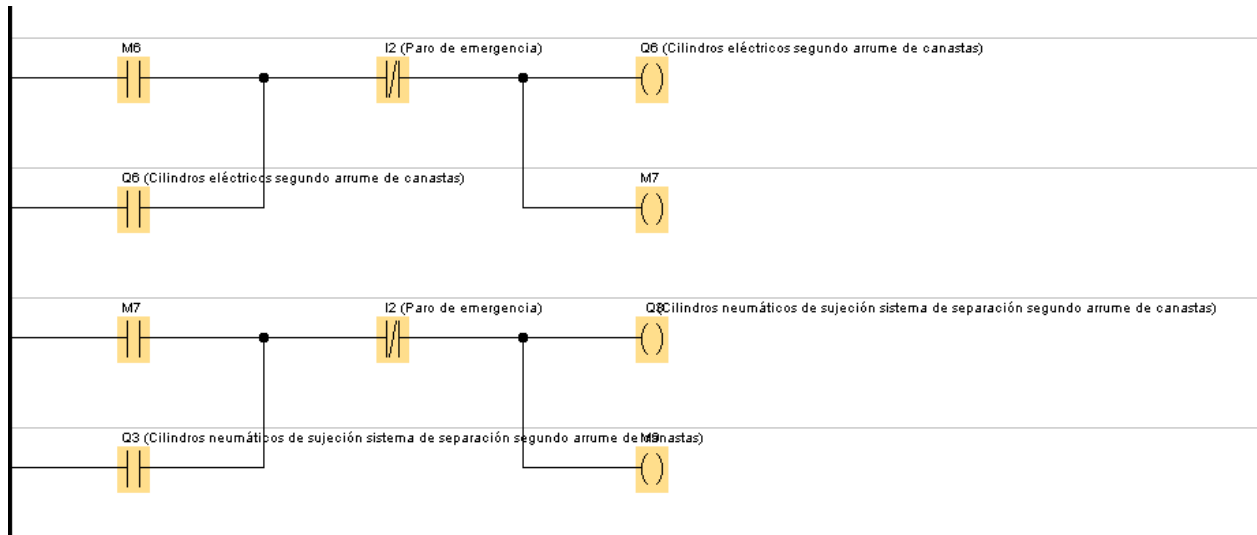


Ilustración 59. Programación lenguaje Ladder de la máquina. Parte 3.

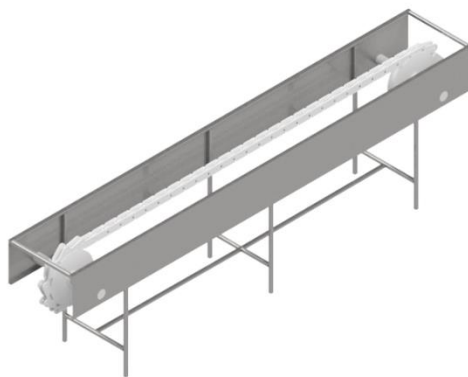
## 14.7 Modelo 3D

### 14.7.1 CAD Sistema de elevación de canastas



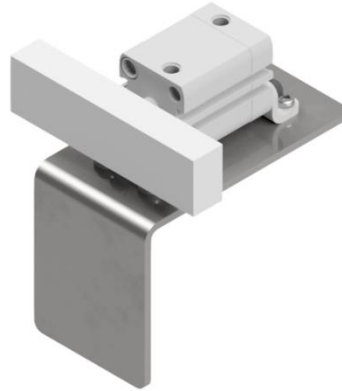
*Ilustración 60. CAD Sistema de elevación de canastas.*

### 14.7.2 CAD Sistema de transporte de canastas



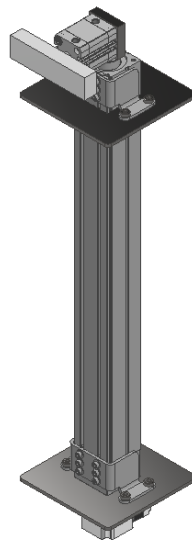
*Ilustración 61. CAD Sistema de transporte de canastas.*

### 14.7.3 CAD Sistema de sujeción de canastas



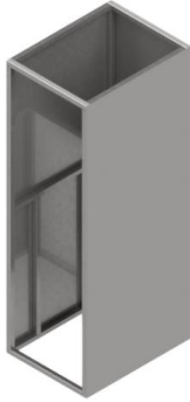
*Ilustración 62. CAD Sistema de sujeción de canastas.*

### 14.7.4 CAD Sistema de separación de canastas



*Ilustración 63. CAD Sistema de separación de canastas.*

### 14.7.5 CAD Cabina desafilador de canastas



*Ilustración 64. CAD Cabina desafilador de canastas.*

### 14.7.6 CAD Sistema volcador de canastas



*Ilustración 65. CAD Sistemas volcador de canastas.*



## **15. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **15.1 Análisis de elementos finitos**

La simulación computacional se utiliza ampliamente en las empresas para hacer análisis y mejorar la calidad de los productos y proyectos. La mayoría de estos análisis se llevan a cabo mediante uso de softwares que utilizan el Método de Elementos Finitos, lo cual permite obtener respuestas para numerosos problemas de ingeniería.

#### **¿Cómo funciona el método?**

La geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, lo que permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia.

#### **Aplicación del Método de Elementos Finitos**

El método puede ser aplicado en la resolución y diagnóstico de problemas de análisis estructural para la obtención de desplazamientos, deformaciones y tensiones, también permite representar diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. También las variaciones del método de los elementos finitos permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento lineal al no lineal, como cuando se tienen grandes desplazamientos o contacto entre las partes de un conjunto. [16]

Para este caso, se realizará el análisis de elementos finitos a la lámina que realiza la elevación de las canastas y a la estructura de la máquina, sobre la cual están montados los cilindros que se encargan de separar las canastas.

## 15.2 Análisis de elementos finitos a Lámina del Sistema de elevación de canastas

La lámina del sistema de elevación es una estructura soldada compuesta por láminas de acero inoxidable de calibre 3/16" soldada a dos pie amigo del mismo calibre e igual material.

Estableciendo como soporte fijo los agujeros ubicados en las láminas verticales y aplicandole una fuerza de 490.5 N **ilustración 60**, se procede a realizar el análisis estático estructural.

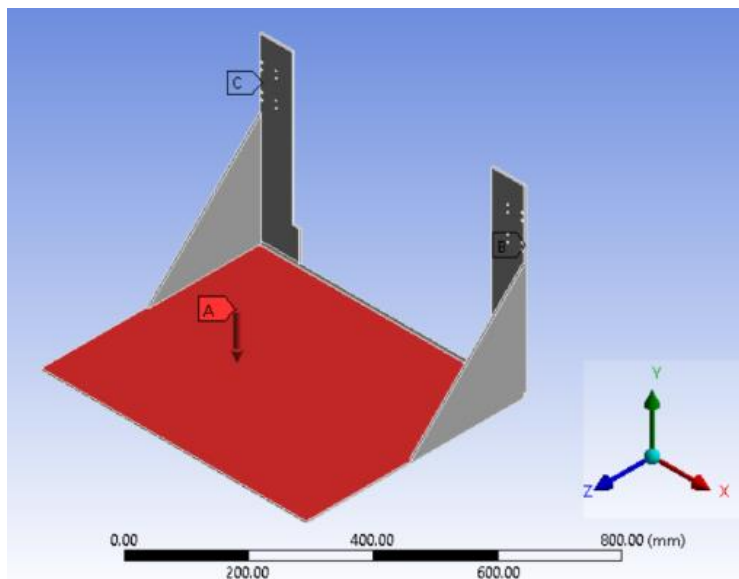


Ilustración 66. Soportes de la estructura y punto de aplicación de la fuerza.

Después de realizar la simulación se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 23. Resultados obtenidos en la simulación para Lámina de elevación de canastas.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Esfuerzo Von Mises	107.9 MPa
Deformación Total	2.454 mm
Factor de seguridad	2.317

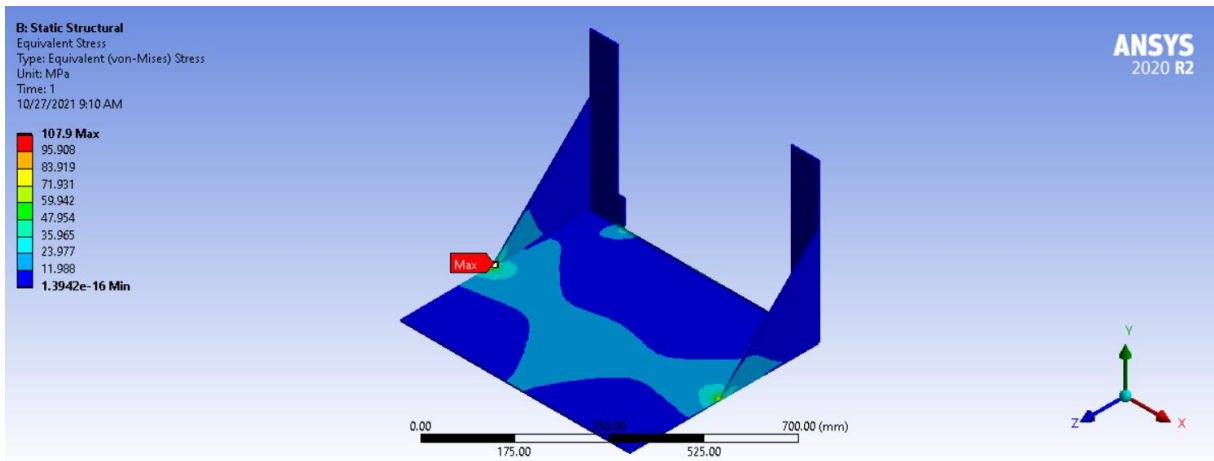


Ilustración 67. Esfuerzo de Von Misses. Lámina de elevación de canastas.

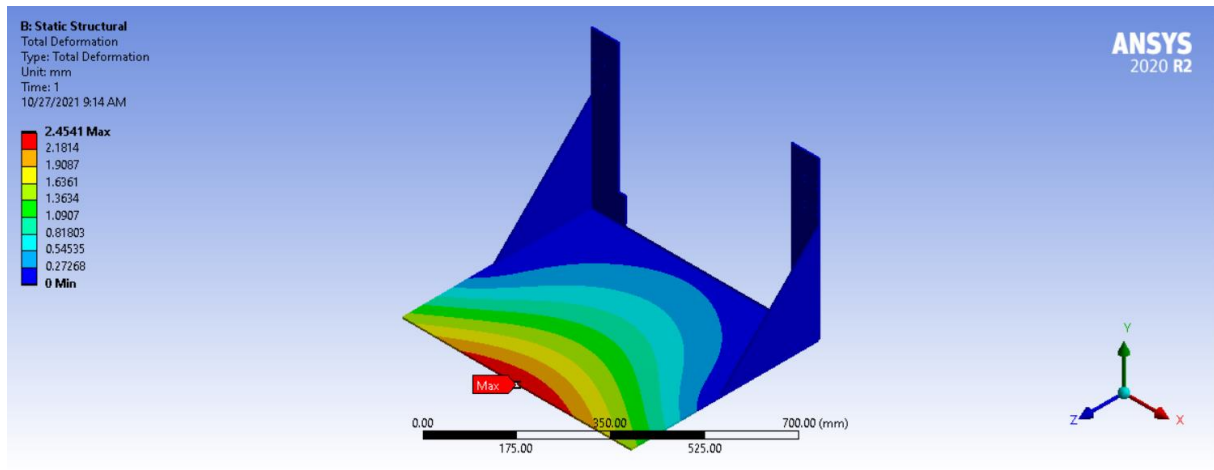


Ilustración 68. Desplazamiento de Lámina de elevación de canastas.

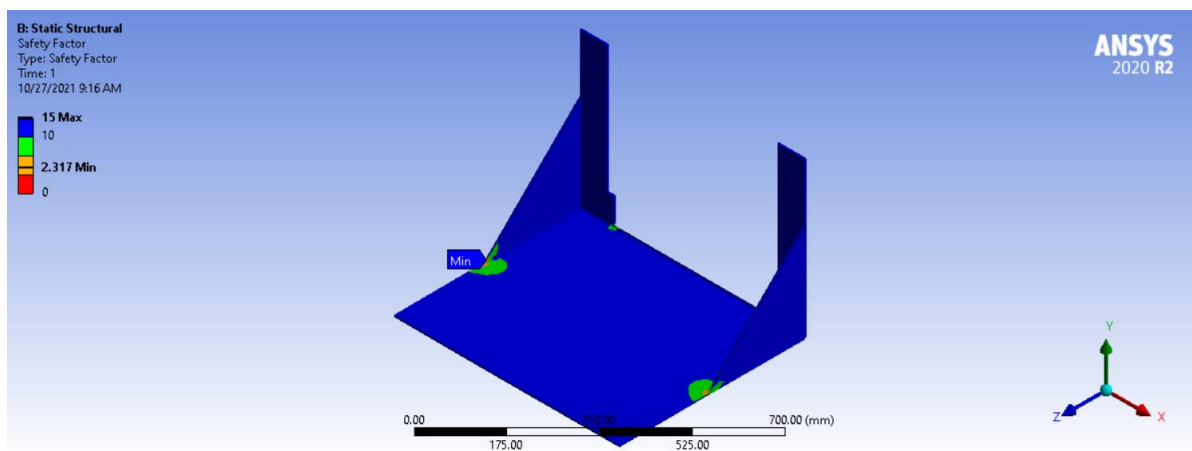


Ilustración 69. Factor de seguridad Lámina de elevación de canastas.

Una vez terminado el análisis estático estructural se realiza una exploración de diseño la cual es un enfoque para diseñar y comprender la respuesta de análisis de piezas y ensamblajes. El sistema de exploración de diseño que se va a utilizar es una Optimización de la superficie de respuesta.

Para realizar la optimización de la superficie de respuesta se cuentan con 3 pestañas:

- Diseño de experimentos
- Superficie de respuesta
- Optimización.

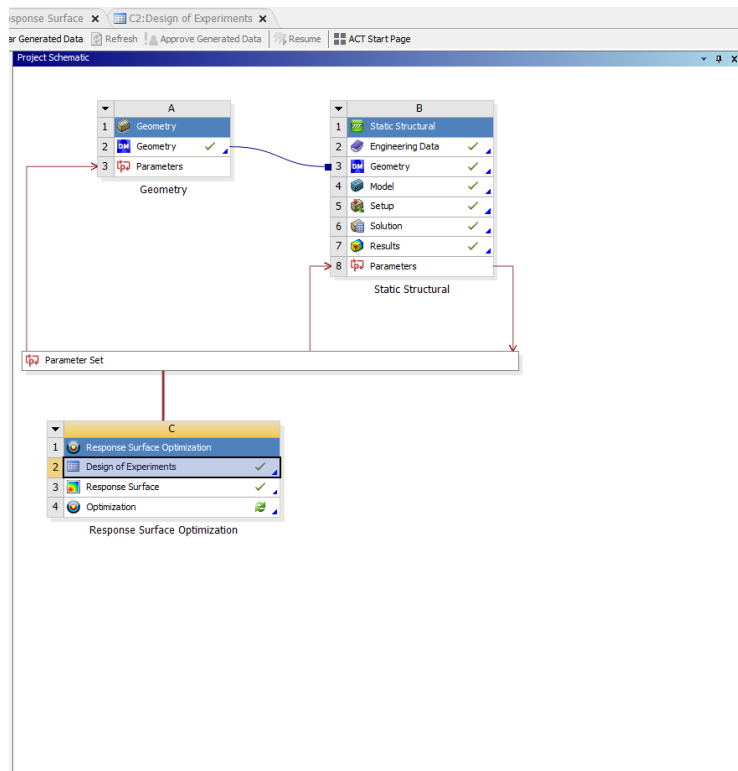


Ilustración 70. Vista general del proyecto en ANSYS.

En la pestaña Diseño de experimentos se permite obtener una vista previa o generar puntos de diseño. En la pestaña Diseño de experimentos, se pueden establecer límites de parámetros de entrada y propiedades para el DOE y ver la tabla de puntos de diseño y varios gráficos de parámetros.

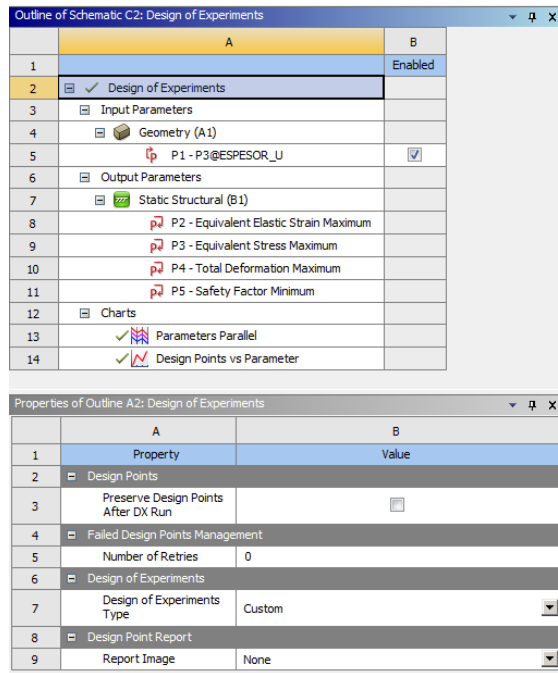


Ilustración 71. Pestaña de diseño de experimentos Lámina de elevación de canastas.

Se establece el Tipo de diseño de experimentos personalizado, la cual permite agregar puntos directamente en la tabla de puntos de diseño ingresando manualmente los parámetros de entrada. En este se caso, solo se cuenta con un solo parámetro de entrada el cual es el calibre de la lámina. Mientras que, los parámetros de salida establecidos son: Esfuerzo de Von Misses, Deformación total, Deformación elástica y Factor de seguridad.

Table of Outline A2: Design Points of Design of Experiments						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - P3@ESPESOR_U	P2 - Equivalent Elastic Strain Maximum (mm/mm <sup>2</sup> -1)	P3 - Equivalent Stress Maximum (MPa)	P4 - Total Deformation Maximum (mm)	P5 - Safety Factor Minimum
2	2 DP	4.7625	0.00056338	107.9	2.4541	2.317
3	4 DP	6.35	0.00030272	57.722	1.0306	4.3311
4	5 DP	7.9375	0.00018757	35.814	0.52537	6.9806
5	1 DP	9.525	0.0001264	24.234	0.303	10.316
6	3	12.7	6.712E-05	12.866	0.12715	15

Ilustración 72. Tabla de puntos de diseño.

Luego de establecer los puntos de diseño y obtener los valores para cada uno de los criterios de salida establecidos se procede a realizar la superficie de respuesta.

Se construye una superficie de respuesta a partir de los parámetros de entrada y salida de los puntos de diseño en la pestaña Diseño de experimentos en función de un tipo de superficie de respuesta elegido. El tipo de superficie de respuesta elegido es agregación genética, el cual, es el algoritmo predeterminado para generar superficies de respuesta por parte de ANSYS. Automatizando el proceso de selección, configuración y generación del tipo de superficie de respuesta que mejor se adapta a cada parámetro de salida del problema.

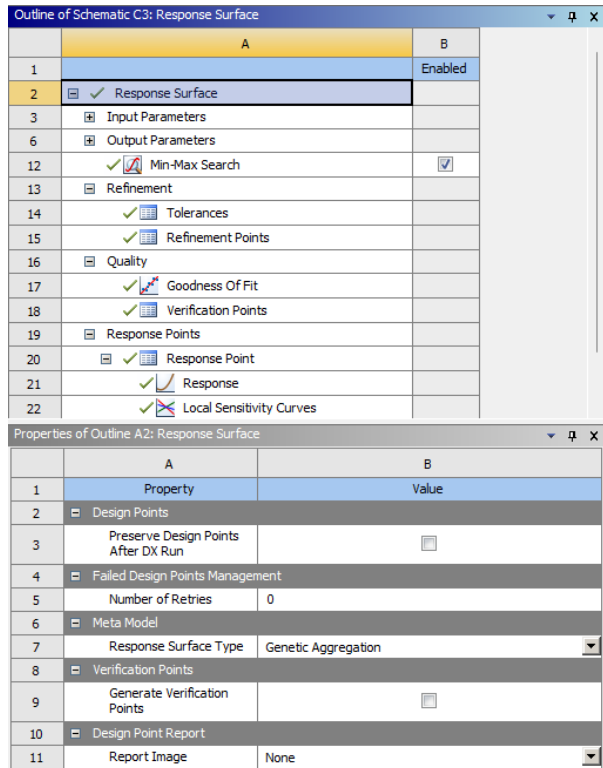


Ilustración 73. Pestaña de superficie de respuesta Lámina de elevación de canastas.

Como se puede observar, durante el análisis estático el factor de seguridad obtenido fue de 2.317 en donde se estaba utilizando un calibre para las láminas que conforman la estructura de 3/16" (4.7625 mm). Luego de realizar el diseño de experimentos y observar cómo se comportan los parámetros de salida mencionados anteriormente, se puede ver que el calibre recomendado para este caso es de 1/4" (6.35 mm). Con este calibre se tiene un factor de seguridad 4.331 que cumple con el requisito mínimo exigido (**FS > 3**).

Dicho esto, se cambia el calibre de estructura de elevación de canastas a 1/4". Se debe decir que los cálculos realizados para la selección de los componentes eléctricos y mecánicos que hacen parte del sistema de elevación se hicieron teniendo en cuenta estos resultados obtenidos en la exploración del diseño, que se pueden observar a continuación:

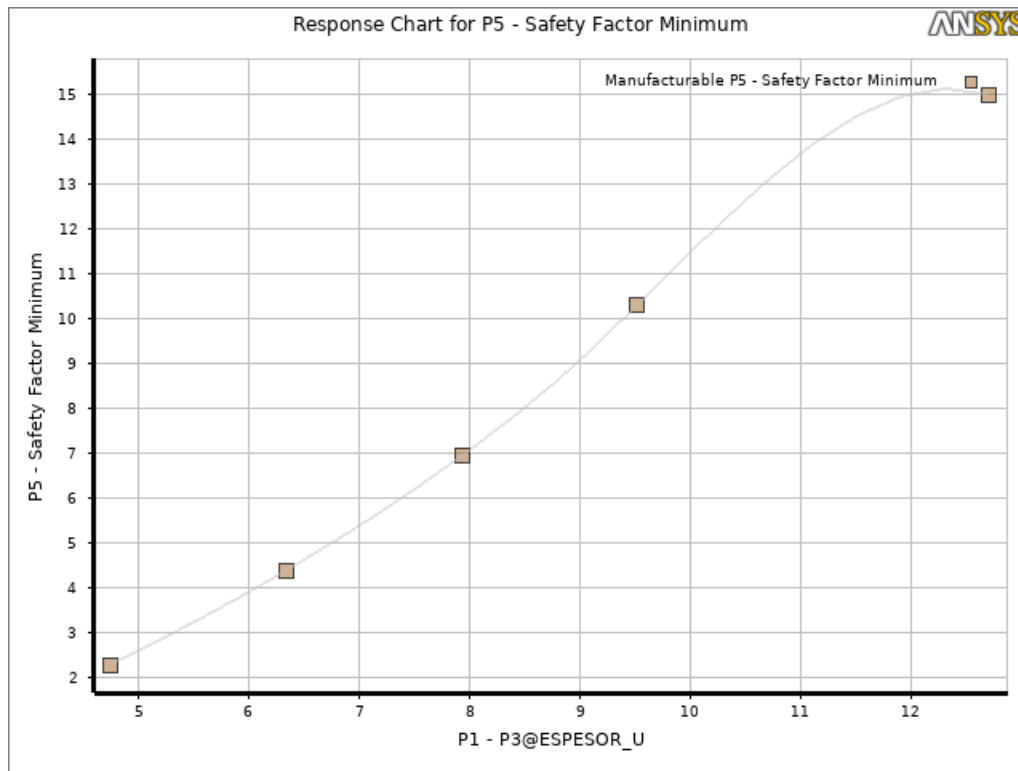


Ilustración 74. Gráfico de respuesta para Factor de seguridad Lámina de elevación de canastas.

En la **ilustración 74** se muestra el comportamiento que tiene el Factor de seguridad a medida que se cambia el espesor (calibre) de la lámina de elevación. Se puede observar que el factor tiende a aumentar a medida que se cambia el valor del calibre de lámina, hasta llegar a un punto máximo en el cual se mantiene constante y luego comienza a disminuir su valor. Este fenómeno puede ocurrir dado a que se pueden presentar concentraciones de esfuerzos en algunas superficies de la lámina (redondeos, esquinas o uniones entre piezas) las cuales producen dicha acumulación de esfuerzos debido al aumento en el espesor.

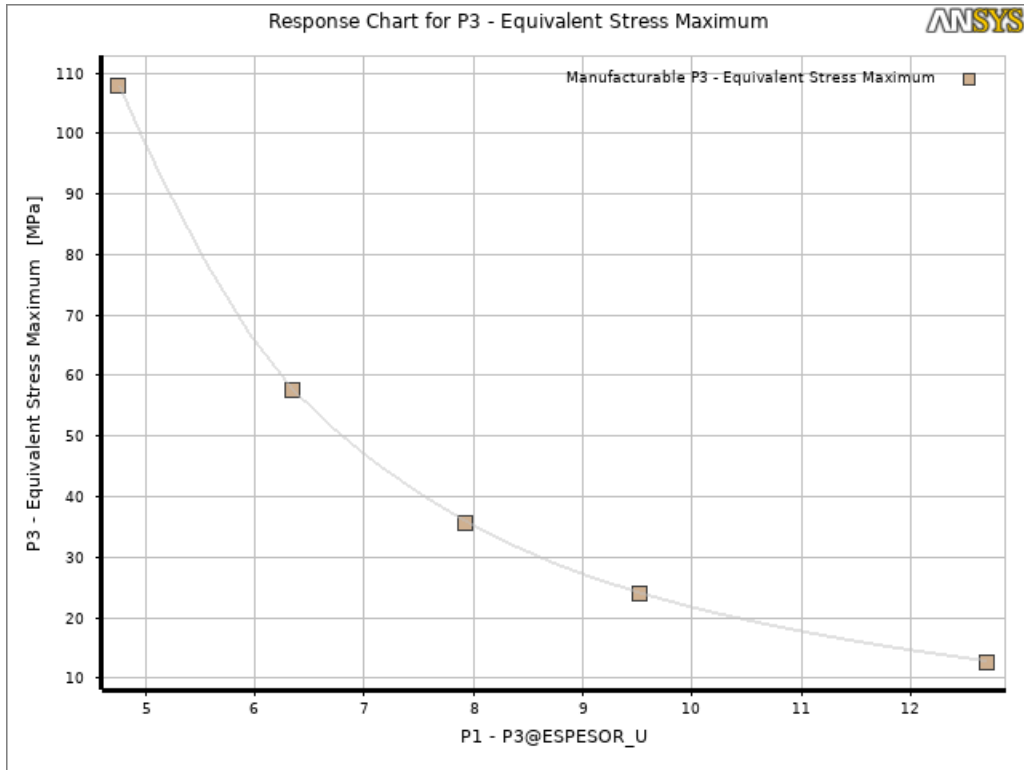


Ilustración 75. Gráfico de respuesta para el Esfuerzo Von Mises Lámina de elevación de canastas.

Para la **ilustración 75** se tiene el comportamiento del esfuerzo respecto a la variación del espesor de la lámina en este caso se puede ver que el esfuerzo disminuye a medida que aumenta el espesor. Si es en función del esfuerzo cualquiera de los calibres de lámina elegidos en el proceso de diseño de experimentos cumplen, pues se puede ver que el máximo esfuerzo que soporta la estructura a la carga 490.5 N ejercida es de 107.9 MPa con un calibre de 3/16", está por debajo del esfuerzo de fluencia del material elegido (acero inoxidable) que es de 250 MPa.



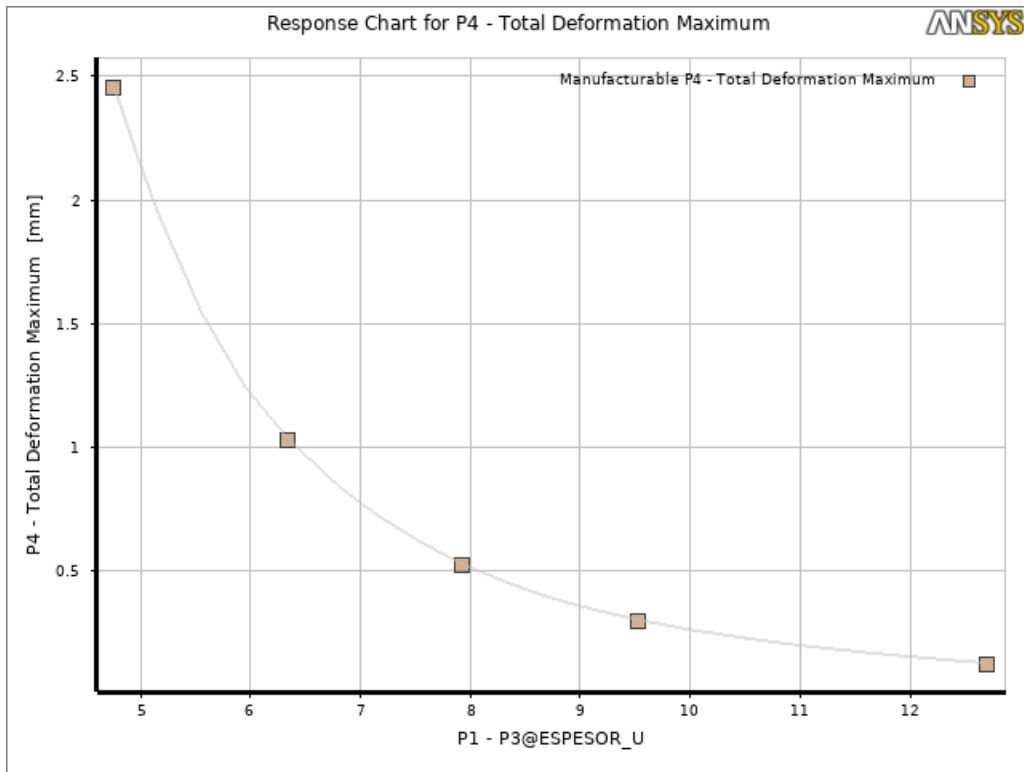


Ilustración 76. Gráfico de respuesta para la deformación total de la Lámina de elevación de canastas.

En la **ilustración 76** se puede observar el comportamiento de la deformación total en función del espesor. Al igual que con la **ilustración 57** se tiene un comportamiento inversamente proporcional pues el valor de la deformación total tiende a disminuir respecto al aumento del espesor de la lámina. Teniendo en cuenta que se ha elegido un calibre para la lámina de  $\frac{1}{4}$ " se tiene una deformación total de 1.0306 mm.

### 15.3 Análisis de elementos finitos a la cabina desapilador de canastas

La cabina del desapilador de canastas es una estructura conformada por 19 miembros de tubería cuadrada con una sección transversal 50 x 50 mm, un espesor de 2 mm y su material de elaboración es acero inoxidable.

Estableciendo como soportes fijos dos de los largueros que se encuentran en la parte inferior de la cabina se procede a realizar el análisis estático estructural

para encontrar de manera similar a la lámina el comportamiento cuando está estructura es sometida a una carga de 490.5 N y su respectivo par debido a la traslación de la fuerza.

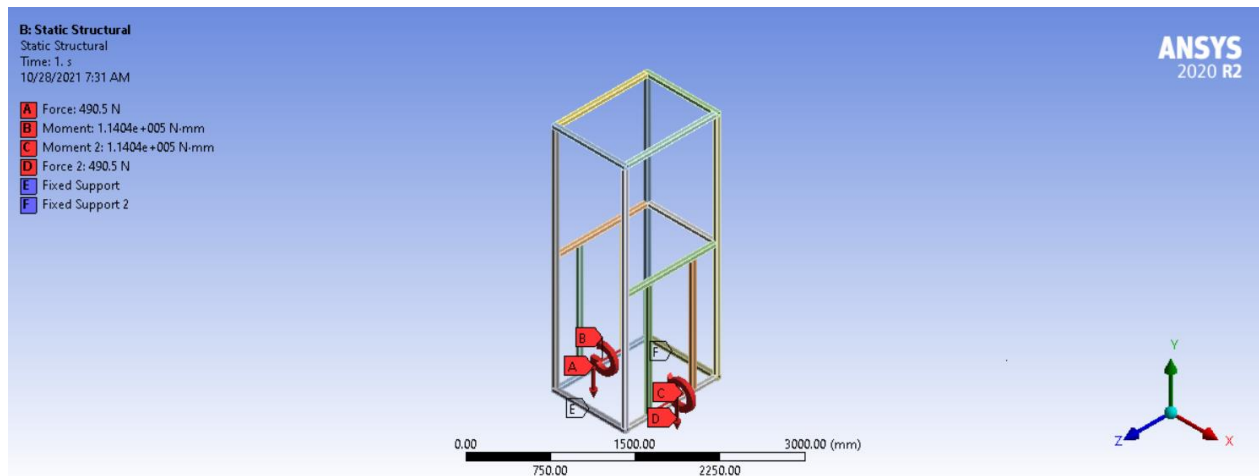


Ilustración 77. Soportes fijos de la cabina y fuerzas aplicadas.

Después de realizar el análisis estático estructural se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 24. Resultados obtenidos en la simulación para la cabina del desapilador de canastas.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Esfuerzo Von Mises	72.127 MPa
Deformación Total	0.1418 mm
Factor de seguridad	3.466

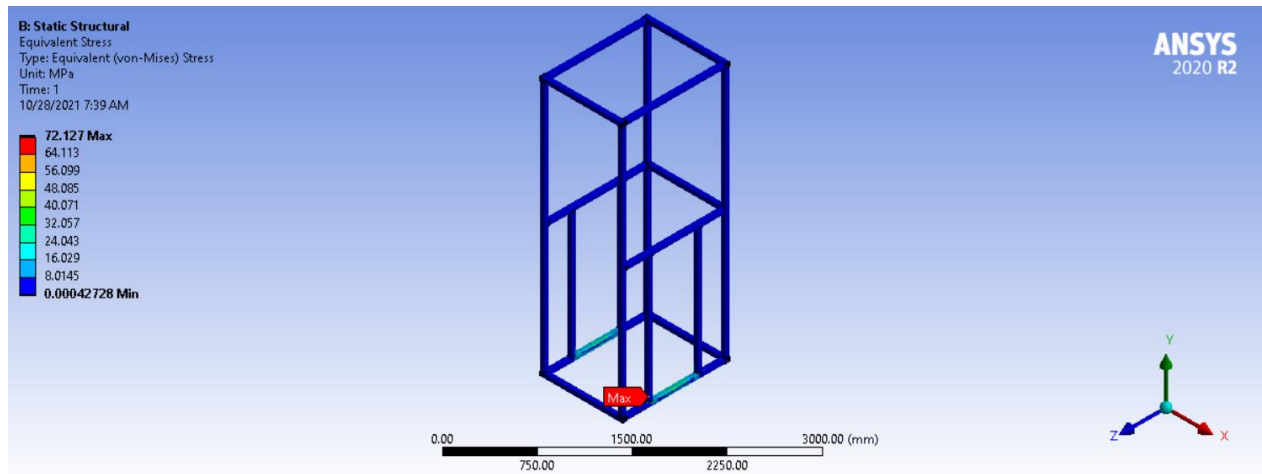


Ilustración 78. Esfuerzo de Von Mises Cabina desapilador de canastas.

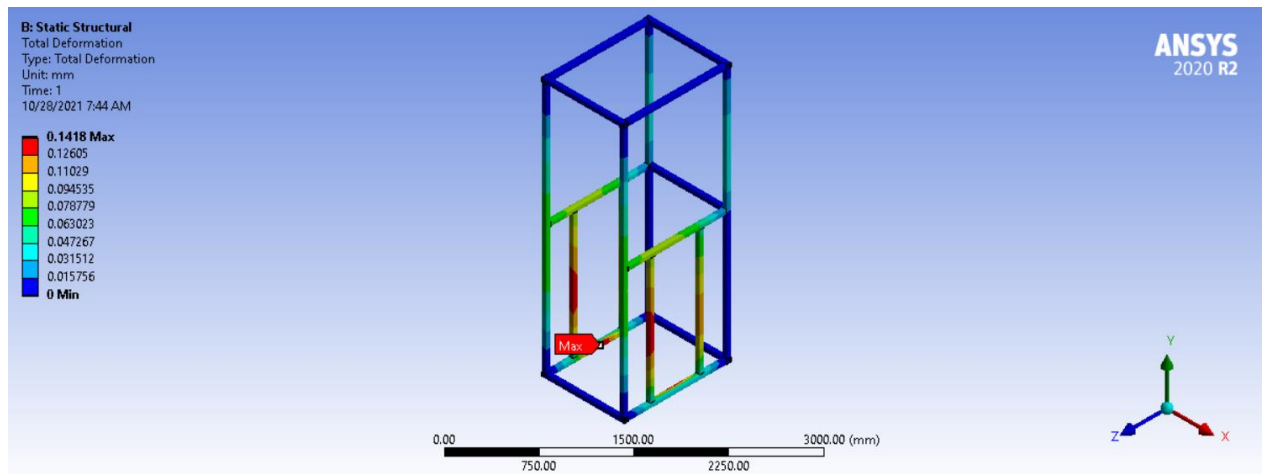


Ilustración 79. Deformación total Cabina desapilador de canastas.

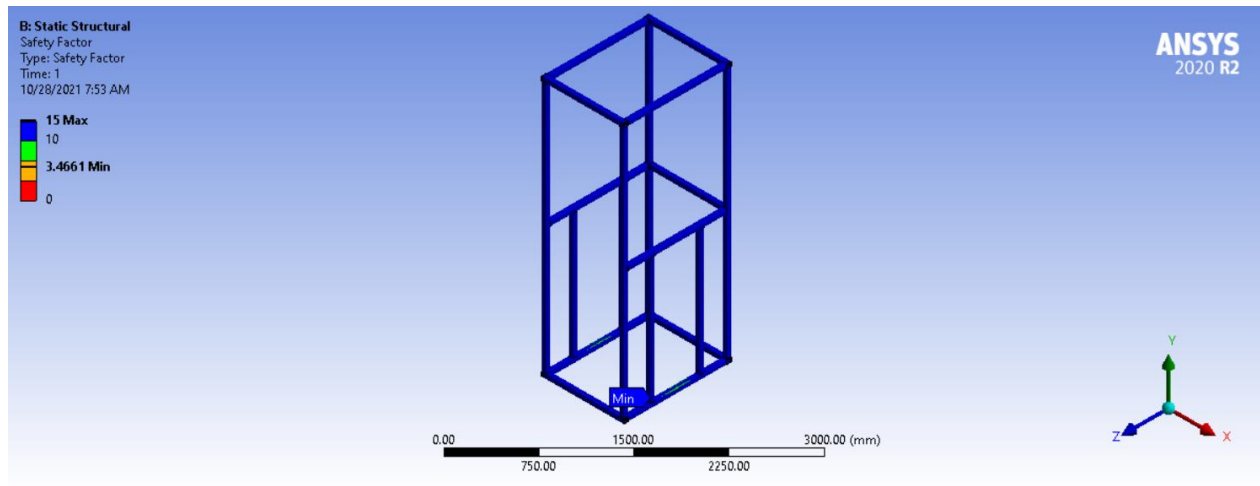


Ilustración 80. Factor de seguridad Cabina desapilador de canastas.

Al igual que para la lámina de elevación de las canastas, se realiza el diseño de exploración para la cabina del desapilador de canastas, para este caso se va a tomar como parámetro de entrada el espesor de la sección transversal y se va analizará el comportamiento del esfuerzo de Von Mises, la deformación total y el factor de seguridad.

Outline of Schematic C2: Design of Experiments		
	A	B
1		Enabled
2	✓ Design of Experiments	
3	Input Parameters	
4	Geometry (A1)	
5	P1 - A1@ESPESOR_SECCION_TRANSVERSAL	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Output Parameters	
7	Static Structural (B1)	
8	P2 - Total Deformation Maximum	
9	P3 - Equivalent Elastic Strain Maximum	
10	P4 - Equivalent Stress Maximum	
11	P5 - Safety Factor Minimum	
12	Charts	
13	Parameters Parallel	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Design Points vs Parameter	<input checked="" type="checkbox"/>

Properties of Outline A2: Design of Experiments		
	A	B
1	Property	Value
2	Design Points	
3	Preserve Design Points After DX Run	<input type="checkbox"/>
4	Failed Design Points Management	
5	Number of Retries	0
6	Design of Experiments	
7	Design of Experiments Type	Custom
8	Design Point Report	
9	Report Image	None

Ilustración 81. Pestaña de diseño de experimentos Cabina desapilador de canastas.

Table of Outline A2: Design Points of Design of Experiments						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - A1@ESPESOR_SECCION_TRANSVERSAL	P2 - Total Deformation Maximum (mm)	P3 - Equivalent Elastic Strain Maximum (mm mm <sup>-1</sup> )	P4 - Equivalent Stress Maximum (MPa)	P5 - Safety Factor Minimum
2	1 DP	2	0.1418	0.00039158	72.127	3.4661
3	2	2.5	0.14175	0.00039156	72.123	3.4663
4	3	3	0.1418	0.00039155	72.121	3.4664
5	4	4	0.1418	0.00038996	71.926	3.4758
6	5	5	0.14181	0.0004124	75.743	3.3006

Ilustración 82. Tabla puntos de diseño Cabina desapilador de canastas.

Una definidos los puntos de diseño y terminado el análisis de diseño de experimentos, al igual que con lámina de elevación de canastas se construye una superficie de respuesta a partir de los parámetros de entrada y salida de los puntos de diseño en la pestaña Diseño de experimentos en función del tipo de superficie de respuesta elegido. El tipo de superficie de respuesta elegido para este caso es agregación genética al igual que con el análisis anterior.

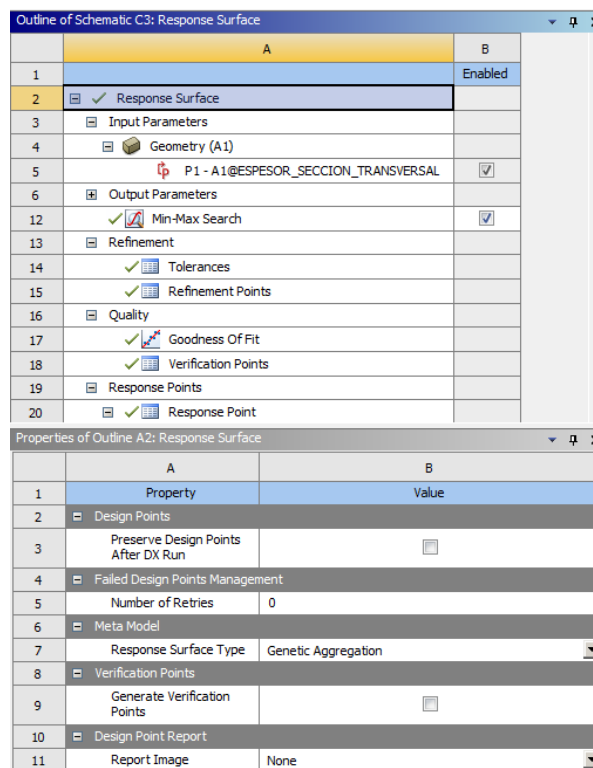


Ilustración 83. Pestaña de superficie de respuesta Cabina desapilador de canastas.

Una vez configurado el tipo de superficie de respuesta se procede a realizar la simulación, la cual arroja los siguientes resultados:

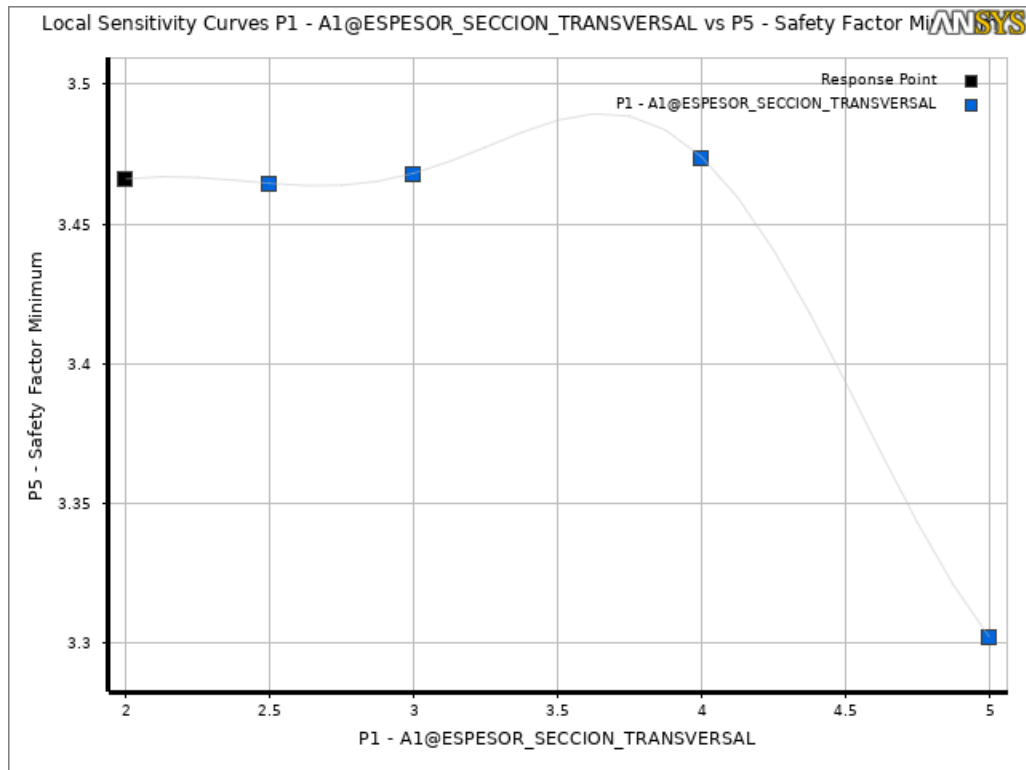


Ilustración 84. Gráfico de respuesta Factor de seguridad Cabina desapilador de canastas.

En la **ilustración 84** se puede observar que el comportamiento que presenta el factor de seguridad frente a la variación del espesor de la sección transversal es inversamente proporcional, pues a pesar de que en el rango de 2 a 4 mm de espesor presenta un leve aumento, después de pasar a los 5 mm de espesor el factor de seguridad tiende a disminuir. Esto se presenta debido a la concentración de esfuerzos que tiene la sección transversal, pues a medida que aumenta su espesor se concentran los esfuerzos en los redondeos de las esquinas de la sección transversal. En este caso el factor de seguridad arrojado durante el análisis estático estructural es de 3.466, por tal motivo, la sección transversal elegida es correcta.

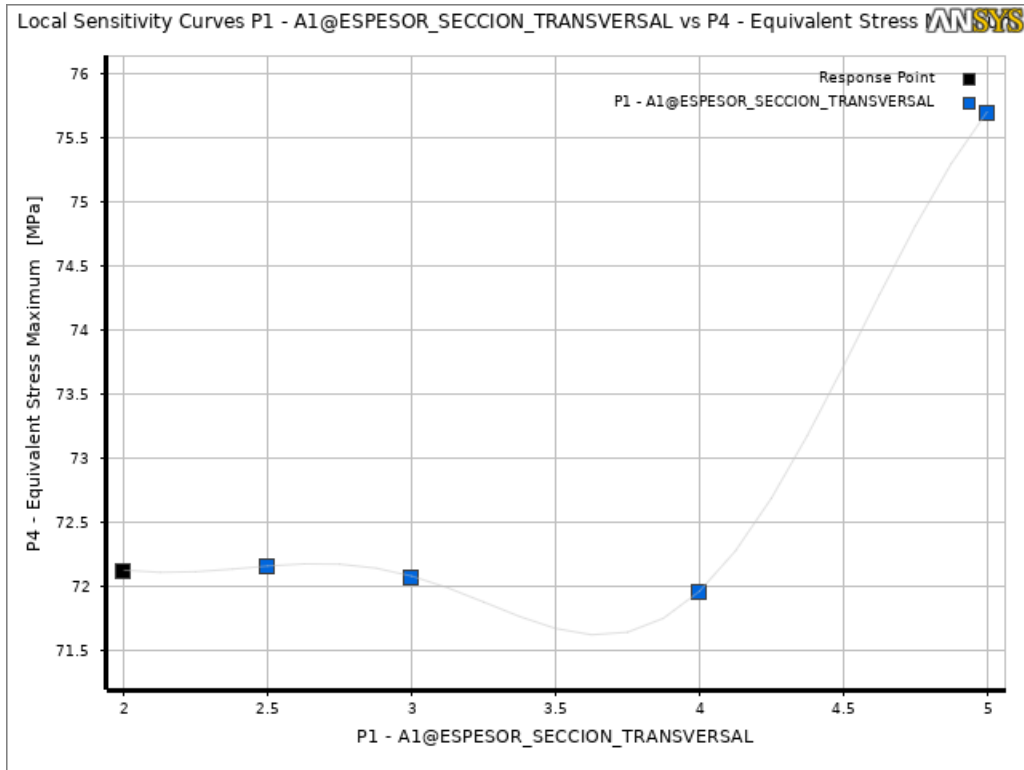


Ilustración 85. Gráfico de respuesta Esfuerzo de Von Misses Cabina desapilador de canastas.

La **ilustración 85** muestra el comportamiento del esfuerzo de Von Misses respecto a la variación del espesor de la sección transversal. En este caso se puede ver que en la región de 2 a 4 mm de espesor de la sección transversal el esfuerzo tiene a disminuir, mientras que, al pasar los 4 mm comienza a tener una tendencia de aumento el esfuerzo. Por tal razón, el espesor de sección transversal elegido (2 mm) es ideal para el diseño de la cabina del desapilador de canastas, dado que el máximo valor para el esfuerzo es de 72.127 MPa el cual está por debajo del esfuerzo de fluencia del material (250 MPa).

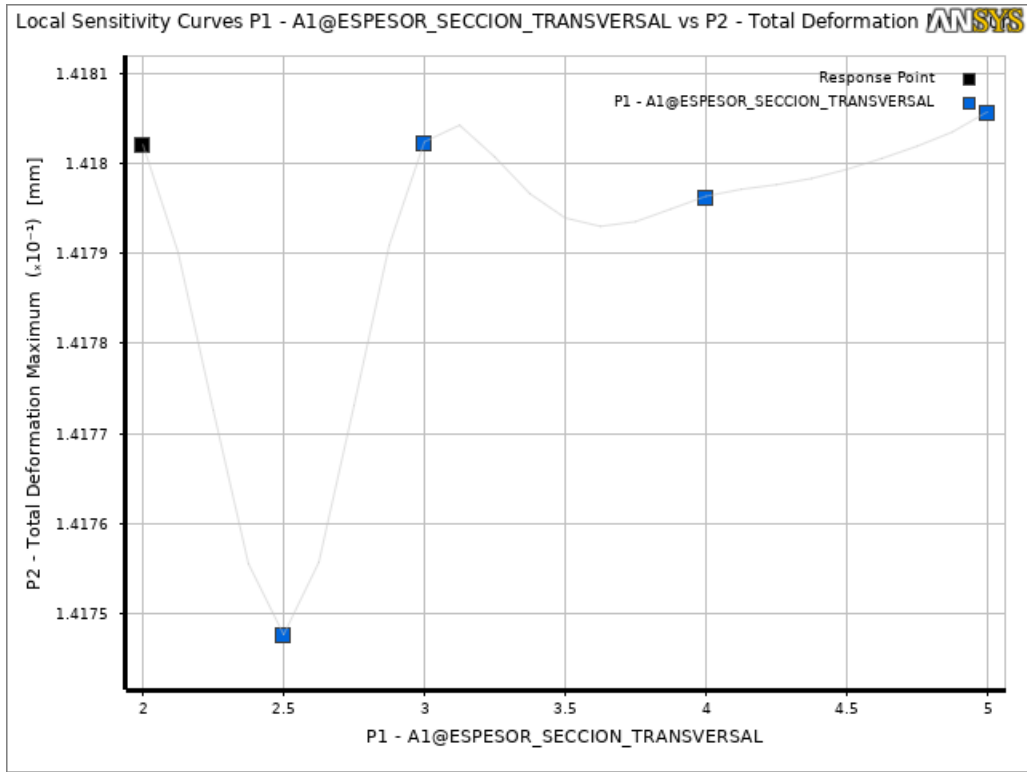


Ilustración 86. Gráfico de respuesta Deformación total Cabina desopilador de canastas.



## 16. CONCLUSIONES

Para una empresa es importante conocer los factores de riesgo en los lugares de trabajo de sus empleados. Por tal motivo, se hace necesario garantizar la seguridad del personal expuesto a trabajos que pueden producir riesgos a nivel ergonómico es por esto, que el diseño de la máquina para desapilar las canastas en la zona de lavado de canastas es una solución para minimizar los riesgos ergonómicos y brindar a sus empleados una mayor calidad para realizar su trabajo. Para lograr tal objetivo, durante el diseño de la máquina se han tenido en cuenta algunas soluciones que ofrece el mercado actual, todo esto ha resultado útil para lograr calcular y seleccionar cada uno de los componentes que hacen parte de la máquina.

En cuanto al diseño y selección de los componentes mecánicos de la máquina se realizó mediante la parametrización del diseño, en donde vinculando el software CAD Autodesk Inventor con ANSYS Workbench y realizando un análisis de exploración del diseño, se logra obtener un análisis completo del comportamiento bajo ciertas condiciones de carga y variando los parámetros de entrada tales como el espesor del material de componentes como la Lámina de elevación de las canastas y la Cabina del desapilador. En este caso, se pudo observar cómo cambian los distintos parámetros de salida y así al momento de tomar alguna decisión a la hora de la selección de componentes se realizará de manera objetiva.

Durante el proceso de diseño, se pudo observar cómo se ha mencionado anteriormente las distintas soluciones que hay en el mercado actualmente, en las que se ve de una manera muy clara la implementación de elementos de automatización, en donde se garantiza seguridad, precisión y en algunos casos gran cantidad de canastas desapiladas por hora. Por lo mencionado anteriormente, mediante la utilización del software LOGO! Soft de Siemens se realizó la lógica de programación de la máquina, mediante la utilización de lenguaje Ladder. Además, se hizo la selección del PLC, sensores, electroválvulas y fuente de alimentación que forman parte del circuito electrónico de la máquina.

## 17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Xuclá. *Desapilador automático de cajas*. 2021, julio 12, de Xuclá. Recuperado de: <https://bit.ly/2VxGYHJ>

[2] Ulma. *Encajado en caja de plástico*. 2021, julio 12, de Ulma. Recuperado de: <https://bit.ly/3CgcV8i>

[3] Process Cleaners A/S. *Stackers and Destackers*. 2021, julio 12, de Process Cleaners. Recuperado de: <https://bit.ly/3CIN1jE>

[4] Brillopak Innovative Automation. *CrateDESTAKer*. 2021, julio 12, de Brillopak. Recuperado de: <https://bit.ly/37oN7Zv>

[5] CENEA. (2021). *¿Qué son los riesgos ergonómicos? – guía definitiva*. 2021, julio 12, de Cenea la ergonomía laboral del s.XXI. Recuperado de: <https://bit.ly/2X3w90X>

[6] HC Marbella. *Unidad de Lesiones Osteomusculares*. 2021, julio 20, de HC Marbella. Recuperado de: <https://bit.ly/3fzEX4P>

[7] Simeon. (2016). *Lesiones osteomusculares de origen laboral ¿cómo prevenirlas?* 2021, julio 20, de Seguridad y Salud Laboral Integrada con Tecnología (Simeon). Recuperado de: <https://bit.ly/3ittAgR>

[8] B, Fabian. (2019). *Automatización Industrial, ¿Qué es y cómo funciona?* 2021, julio 20, de Vester Industrial Training Center. Recuperado de: <https://bit.ly/3jx7idk>

[9] Aula 21. *Electroneumática: Qué es y cómo funciona*. 2021, julio 20, de Centro de Formación Técnica para la Industria. Recuperado de: <https://bit.ly/3xnRwGE>

[10] Creus Solé, Antonio. (2007). *Neumática e Hidráulica*.

[11] Millán, Salvador. (1995). *Automatización neumática y Electroneumática*.

[12] Maloy Smith, Grant. 2020. *¿Qué es un sensor y Qué hace?* 2021, julio 20, de DEWESoft. Recuperado de: <https://bit.ly/3is0bDK>

[13] Eficiencia-energética@Festo. (2014, octubre). Recuperado de: <https://bit.ly/3lHxu6b>

[14] Neumática. Pdf. Ingeniería de sistemas y automática ISA.

[15] Atlas Copco. What is an Air Receiver? 2021, octubre 4, de Atlas Copco. Recuperado de: <https://bit.ly/3ovTZxP>

[16] Mirlisenna, Guisepe. (2016). Método de los elementos finitos: ¿Qué es? 2021, octubre 26, de ESSS Recuperado de: <https://bit.ly/3BkeOPw>

[17] Rocatek. (2020). Tableros de control. 2021, noviembre 5, de Rocatek S.A.S Recuperado de: <https://bit.ly/3bMiGyw>

[18] PETER. (2017). PLC Ladder Logic Programming Tutorial (Basics). 2021, noviembre 5, de PLC Academy Recuperado de: <https://bit.ly/3bQnlzt>