

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de una máquina empaquetadora de tarrinas de margarina”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Henry Rafael Delgado Rodríguez

Geanella Carolina Villalba Espinoza

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

A Dios por acompañarme durante el transcurso de mi vida y permitirme llegar a este momento tan importante en mi desarrollo profesional.

A mi familia por su sacrificio y paciencia, por sus consejos, por estar conmigo en todo momento, y por no dudar en que llegara a cumplir mis objetivos profesionales.

**Henry Rafael Delgado Rodríguez**

Dedico este trabajo a Dios por guiarme en todo momento.

A mi madre Jenny Espinoza y a mi hermano Victor Villalba por su amor, paciencia y apoyo incondicional recibido durante el transcurso de mi vida y que me ha permitido lograr mi objetivo.

A la memoria de mi padre Victor Villalba y mi madrina María López, a quienes recuerdo con mucho cariño por sus buenas enseñanzas.

**Geanella Carolina Villalba Espinoza**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a los docentes que me brindaron sus conocimientos a lo largo de mi preparación.

A mi familia por su apoyo incondicional durante mi carrera universitaria.

**Henry Rafael Delgado Rodríguez**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a sus docentes que en el transcurso de mi carrera universitaria me guiaron y brindaron sus conocimientos. A mis tutores por su tiempo y dedicación en la realización de este proyecto. A mis compañeros y amigos que me han apoyado durante todo este tiempo y me han dado gratos recuerdos y consejos que llevo en mi corazón.

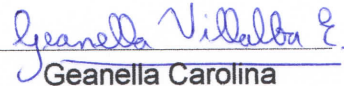
**Geanella Carolina Villalba Espinoza**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; damos nuestro consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

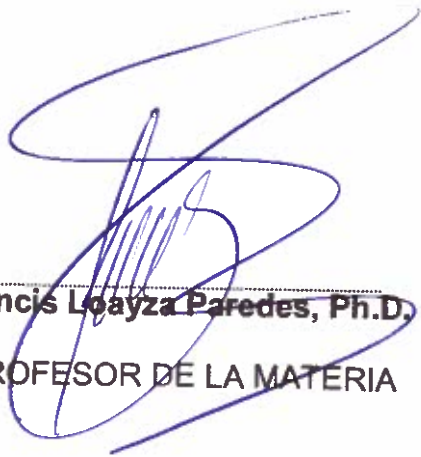


Henry Rafael  
Delgado Rodríguez



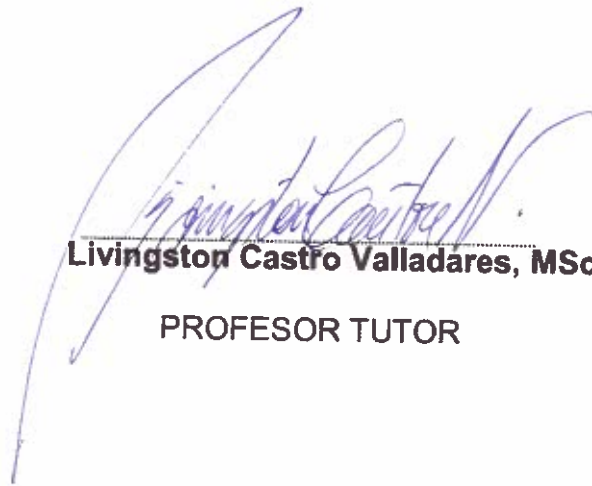
Geanella Carolina  
Villalba Espinoza

## EVALUADORES



**Francis Loayza Paredes, Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA



**Livingston Castro Valladares, MSc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En el país hay una gran variedad de industrias alimenticias, donde la gran mayoría de estas, el empaquetamiento del producto provoca muchas veces para los trabajadores lesiones debido a movimientos repetitivos y mala postura durante el proceso. Se tiene como objetivo principal el diseño detallado de una máquina empaquetadora de tarrinas de margarina en cajas de cartón para ergonomizar el proceso.

El diseño consistió en tres zonas. La primera zona consistió en la alineación de las tarrinas por medio de un actuador lineal y guías. La segunda zona consistió en el empaquetamiento de las tarrinas, que por medio de un actuador electromecánico y con un sistema de ventosas de vacío tomaban las tarrinas, luego unos actuadores giratorios abrían las compuertas y finalmente bajaban las tarrinas y se depositaban en la caja. La tercera zona consistió en el transporte de caja por medio de bandas transportadoras y un actuador lineal para el detenimiento de esta durante el proceso de empaquetado.

Se dibujaron en software CAD todos los componentes y se realizaron simulaciones para verificar que los componentes diseñados fueran dimensionados correctamente. Se realizó un análisis de costo del presente proyecto el cual tiene un retorno al segundo año que es considerado muy bueno. Finalmente se realizaron los planos de fabricación y ensamble considerando materiales disponibles en el país o de distribuidores de marcas internacionales.

**Palabras Clave:** Actuadores, Máquina empaquetadora, Sistema de vacío, Tarrina de margarina

## **ABSTRACT**

*In the country there is a wide variety of food industries, where in the vast majority of these, the packaging of the product often causes injuries to workers due to repetitive movements and poor posture during the process. The main objective is the detailed design of a packing machine for margarine tubs in cardboard boxes to ergonomize the process.*

*The design consisted of three zones. The first zone consisted in the alignment of the tubs by means of a linear actuator and guides. The second area consisted in the packing of the tubs, which by means of an electromechanical actuator and with a system of vacuum cups took the tubs, then rotary actuators opened the floodgates and finally the tubs were deposited in the box. The third area consisted of the transport of boxes by means of conveyor belts and a linear actuator for the maintenance of this during the packaging process.*

*All the components were drawn in CAD software and simulations were carried out to verify that the designed components were correctly sized. A cost analysis of the present project was carried out, which has a return to the second year, considered very good. Finally, manufacturing and assembly plans were made considering materials available in the country or distributors of international brands.*

**Keywords:** *Actuators, Packing machine, Vacuum system, Margarine tub*

# ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| RESUMEN.....   | I    |
| ABSTRACT .....                                       | II   |
| ÍNDICE GENERAL .....                                 | III  |
| ABREVIATURAS.....                                    | VI   |
| SIMBOLOGÍA.....                                      | VII  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                              | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                | XI   |
| ÍNDICE DE PLANOS.....                                | XIII |
| CAPÍTULO 1.....                                      | 1    |
| 1. Introducción .....                                | 1    |
| 1.1 Descripción del problema .....                   | 2    |
| 1.2 Justificación del proyecto .....                 | 2    |
| 1.3 Objetivos .....                                  | 3    |
| 1.3.1 Objetivo General .....                         | 3    |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                     | 3    |
| 1.4 Marco teórico.....                               | 3    |
| 1.4.1 Margarina.....                                 | 3    |
| 1.4.2 Máquinas y Mecanismos en la industria .....    | 4    |
| 1.4.3 Sistema de Ventosas .....                      | 8    |
| CAPÍTULO 2.....                                      | 10   |
| 2. Metodología del diseño.....                       | 10   |
| 2.1 Análisis del proceso (Diagrama de flujo) .....   | 10   |
| 2.2 Diagrama de proceso de línea de producción ..... | 11   |
| 2.3 Bases y Consideraciones .....                    | 12   |
| 2.3.1 Requerimientos de diseño .....                 | 12   |
| 2.3.2 Requerimientos de operación .....              | 12   |
| 2.3.3 Consideraciones .....                          | 13   |
| 2.4 Casa de la Calidad .....                         | 13   |
| 2.5 Criterios de Selección.....                      | 17   |
| 2.6 Alternativas de solución.....                    | 19   |



|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| 2.6.1           | Alternativa A.....   | 19 |
| 2.6.2           | Alternativa B.....   | 20 |
| 2.6.3           | Alternativa C .....  | 21 |
| 2.7             | Selección de Alternativas .....  | 21 |
| 2.8             | Diseño conceptual.....   | 22 |
| 2.9             | Diseño Detallado .....   | 25 |
| 2.9.1           | Zona de alineación de tarrinas.....                                    | 26 |
| 2.9.2           | Zona de Empaquetado de tarrinas.....                                   | 26 |
| 2.9.3           | Zona de Transporte de cajas .....                                      | 26 |
| 2.10            | Herramientas para el cálculo de los componentes .....                  | 27 |
| 2.10.1          | Sistema de succión de vacío .....                                      | 27 |
| 2.10.2          | Selección de actuador electromecánico ( <i>"pick and place"</i> )..... | 30 |
| 2.10.3          | Selección de Actuadores neumáticos Lineales.....                       | 31 |
| 2.10.4          | Selección Actuador eléctrico para alineación de tarrina .....          | 33 |
| 2.10.5          | Sistema de Compuerta .....   | 36 |
| 2.10.6          | Selección de actuador giratorio.....                                   | 37 |
| 2.10.7          | Diseño de Banda Transportadora .....                                   | 38 |
| 2.10.8          | Selección de perfiles para estructura .....                            | 40 |
| 2.10.9          | Análisis de Soldadura .....  | 40 |
| 2.10.10         | Consumo de aire para funcionamiento de equipo.....                     | 42 |
| 2.10.11         | Tiempo de proceso de empaquetado .....                                 | 42 |
| 2.11            | Simulación del diseño (Análisis de Elementos Finitos).....             | 43 |
| 2.12            | Análisis de Costos .....   | 43 |
| CAPÍTULO 3..... |  | 45 |
| 3.              | RESULTADOS Y ANÁLISIS .....  | 45 |
| 3.1             | Análisis de Resultados .....   | 45 |
| 3.1.1           | Zona de alineación de tarrinas.....                                    | 45 |
| 3.1.2           | Zona de empaquetado de tarrinas .....                                  | 54 |
| 3.1.3           | Zona de transporte de cajas .....                                      | 70 |
| 3.1.4           | Consumo de aire para funcionamiento de equipo.....                     | 74 |
| 3.1.5           | Tiempo de proceso .....  | 75 |
| 3.2             | Resultados de simulación.....  | 76 |
| 3.2.1           | Estructura de soporte de la máquina .....                              | 76 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| 3.2.2           | Estructura de la compuerta.....               | 78 |
| 3.3             | Análisis de Costos.....                       | 81 |
| 3.3.1           | Listado y costo detallado de componentes..... | 81 |
| 3.3.2           | Resumen: Costo Total de la máquina.....       | 85 |
| 3.3.3           | Estudio de Factibilidad.....                  | 85 |
| CAPÍTULO 4..... |   | 88 |
| 4.              | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....           | 88 |
| 4.1             | Conclusiones.....                             | 88 |
| 4.2             | Recomendaciones.....                          | 89 |
| BIBLIOGRAFÍA    |   |    |
| APÉNDICES       |   |    |

## **ABREVIATURAS**

|       |  |
|-------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral                       |
| FIMCP | Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción |
| AWS   | American Welding Society                                       |
| ISO   | International Organization for Standardization                 |
| ASTM  | American Society for Testing and Materials                     |
| INEN  | Instituto Ecuatoriano de Normalización                         |
| CAD   | Dibujo asistido por computador                                 |
| VAN   | Valor Actual Neto  |
| TIR   | Tasa Interna de Retorno  |

## SIMBOLOGÍA

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| m   | Metro                      |
| mm  | Milímetro                  |
| kg  | Kilogramo                  |
| kw  | Kilowatts                  |
| g   | Gramo                      |
| m   | Metro                      |
| min | Minutos                    |
| s   | Segundos                   |
| hr  | Hora                       |
| \$  | Dólares americanos         |
| Bar | Bares                      |
| psi | Libra por pulgada cuadrada |
| MPa | Megapascal                 |
| GPa | Gigapascal                 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. 1. Forma de empaque por caída libre. Fuente: Combi Packaging Systems LLC,2015 .....    | 4  |
| Figura 1. 2. Forma de empaque horizontal. Fuente: Combi Packaging Systems LLC.,2015 .....        | 5  |
| Figura 1. 3. Movimientos del sistema pick and place. Fuente: Cortés et al., 2012 .....           | 6  |
| Figura 1. 4. Mecanismo Fluid Cylinder – Inverted U shape. Fuente: Patente USO0556488A .....      | 8  |
| Figura 1. 5. Ventosas más comunes. Fuente: (Balderas Sánchez & Rivera Martínez, 2016). .....     | 9  |
| Figura 2. 1. Diagrama de flujo de la metodología .....   | 11 |
| Figura 2. 2. Diagrama de proceso de línea de producción de tarrina de margarina. ....            | 11 |
| Figura 2. 3. Estructura de “House of Quality”. Fuente: Dieter & Schmidt, 2009 .....              | 14 |
| Figura 2. 4. Casa de la calidad del presente proyecto.....                                       | 15 |
| Figura 2. 5. Sistema Cartesiano (2 Dimensiones). ....  | 20 |
| Figura 2. 6. Mecanismo “Pick and Place”. ....  | 20 |
| Figura 2. 7. Mecanismo Leva-seguidor. ....   | 21 |
| Figura 2. 8. Vista Frontal del Diseño conceptual de toda la máquina.....                         | 23 |
| Figura 2. 9. Zona de alineación de tarrinas .....  | 23 |
| Figura 2. 10. Zona de empaquetado (compuerta). Vista Superior.....                               | 24 |
| Figura 2. 11. Zona de transporte de cajas.....   | 24 |
| Figura 2. 12. Diagrama de proceso de margarina (Vista Superior) .....                            | 25 |
| Figura 2. 13. Diagrama de proceso de margarina (Vista Superior) .....                            | 25 |
| Figura 2. 14. Unidades de presiones de vacío. Fuente: Parker, 2007 .....                         | 28 |
| Figura 2. 15. Fuerza de levantamiento de ventosa. Fuente: Parker .....                           | 28 |
| Figura 2. 16. Diagrama Fuerza transversal - Carrera para cilindro eléctrico. Fuente: Festo ..... | 33 |
| Figura 2. 17. Diagrama Fuerza de compresión - Carrera del vástago. Fuente: Festo .....           | 34 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2. 18. Diagrama de velocidad máxima de avance - Carrera del vástago. Fuente: Festo.....                   | 35 |
| Figura 2. 19. Diagrama simplificado de la compuerta.....   | 36 |
| Figura 2. 20. Factores geométricos para analizar la soldadura como una línea. Fuente: Norton,2012.....           | 41 |
| Figura 2. 21. Carga por longitud t de la garganta según esfuerzo sobre soldadura. Fuente: Norton, 2012.....      | 41 |
| Figura 3. 1. Resultado de Zona de alineación de tarrinas .....   | 45 |
| Figura 3. 2. Guías de orientación de tarrinas.....   | 46 |
| Figura 3. 3. Estructura de soporte para guías .....  | 47 |
| Figura 3. 4. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: SkyCiv .....  | 48 |
| Figura 3. 5. Diagrama de Fuerza Cortante. Fuente: SkyCiv .....   | 48 |
| Figura 3. 6. Diagrama de Momento flector. Fuente: SkyCiv .....   | 49 |
| Figura 3. 7. Método gráfico (carrera del actuador) .....   | 52 |
| Figura 3. 8. Diagrama de Fuerza transversal – Carrera. Fuente: Festo. ....                                       | 52 |
| Figura 3. 9. Diagrama de Fuerza de compresión – Carrera (ESBF-40). Fuente: Festo. ....                           | 53 |
| Figura 3. 10. Diagrama Fuerza de velocidad máxima de avance - Carrera del vástago (ESBF-40). Fuente: Festo ..... | 54 |
| Figura 3. 11. Zona de empaquetado. ....  | 55 |
| Figura 3. 12. Ventosa ESG seleccionada. Fuente: Festo.....   | 56 |
| Figura 3. 13. Generador de vacío OVEM. Fuente: Festo .....   | 57 |
| Figura 3. 14. Presión de vacío en función de presión de funcionamiento. Fuente: festo.....                       | 58 |
| Figura 3. 15. Tiempo de evacuación en función de la presión de vacío para un volumen de 1 l. Fuente: Festo ..... | 59 |
| Figura 3. 16. Consumo de aire en función de la presión de funcionamiento. Fuente: Festo .....                    | 59 |
| Figura 3. 17. Racor rápido roscado QSM, tipo X, serie mini. Fuente: Festo.....                                   | 60 |
| Figura 3. 18. Actuador eje en voladizo ELCC. Fuente: Festo.....  | 61 |
| Figura 3. 19. Sistema completo del actuador ELCC. Fuente: Festo.....   | 62 |
| Figura 3. 20. Motor, Reductor, Conjunto de sujeción para el Actuador ELCC. Fuente: Festo .....                   | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3. 21. Selección de actuador giratorio DRVS. Fuente: Festo .....   | 64 |
| Figura 3. 22. Momento de inercia de la masa J en función del tiempo de giro.<br>Fuente: Festo .....                     | 65 |
| Figura 3. 23. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Software libre .....  | 65 |
| Figura 3. 24. Diagrama cortante del marco estructural de zona de<br>empaquetado. Fuente: Software libre.....            | 66 |
| Figura 3. 25. Diagrama de momento flector del marco estructural de zona de<br>empaquetado. Fuente: Software libre ..... | 66 |
| Figura 3. 26. Sección crítica para análisis de soldadura. ....  | 68 |
| Figura 3. 27. Zona de transporte de cajas.....  | 70 |
| Figura 3. 28. Actuador neumático DSBC 32. Fuente: Festo.....  | 72 |
| Figura 3. 29. Diagrama Fuerza transversal - Carrera para actuador DSBC.<br>Fuente: Festo .....                          | 73 |
| Figura 3. 30. Mallado de estructura de soporte .....  | 76 |
| Figura 3. 31. Esfuerzo Von Mises de estructura de soporte.....  | 77 |
| Figura 3. 32. Deformación de estructura de soporte .....  | 77 |
| Figura 3. 33. Factor de seguridad de estructura de soporte.....   | 78 |
| Figura 3. 34. Mallado de compuerta.....   | 79 |
| Figura 3. 35. Esfuerzo Von Mises para la compuerta.....   | 79 |
| Figura 3. 36. Deformación de la compuerta.....  | 80 |
| Figura 3. 37. Factores de seguridad de la compuerta .....   | 80 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. 1. Clasificación de los sistemas de sujeción. Fuente: Balderas Sánchez, M., & Rivera Martínez, D.,2016 ..... | 6  |
| Tabla 1. 2. Tipos de sistema “Pick and Place”.....  | 7  |
| Tabla 1. 3. Patentes de tipos de “pick and place” .....   | 8  |
| Tabla 2. 1. Dimensiones de tarrina con tapa .....   | 12 |
| Tabla 2. 2. Dimensiones de la caja de cartón.....   | 12 |
| Tabla 2. 3. Arreglo de tarrinas en la caja.....   | 13 |
| Tabla 2. 4. Resumen de requerimientos de cliente: Criterios .....   | 16 |
| Tabla 2. 5. Escala para tabla de comparación. Fuente: (Dieter & Scmidt, 2009). .....                                  | 17 |
| Tabla 2. 6. Tabla de ponderación de criterios: Cálculo del peso (porcentaje) .....                                    | 17 |
| Tabla 2. 7. Criterios de Selección con su ponderación.....  | 19 |
| Tabla 2. 8. Matriz de Decisión .....  | 22 |
| Tabla 2. 9. Diámetro de boquilla del generador con respecto al diámetro de ventosa. Fuente: Parker, 2007 .....        | 30 |
| Tabla 2. 10. Normas ISO aplicable para cilindros neumáticos según diámetro de émbolo y carrera. Fuente: Festo.....    | 32 |
| Tabla 2. 11. Tamaño mínimo de soldadura en filete. Fuente AWS D1.1 .....  | 42 |
| Tabla 3. 1. Descripción de cada elemento del ensamble en la zona de alineación de tarrinas. ....                      | 46 |
| Tabla 3. 2. Tabla de barra redonda lisa. Fuente: DIPAC .....  | 47 |
| Tabla 3. 3. Tabla de Perfil estructural cuadrado. Fuente: IPAC.....   | 50 |
| Tabla 3. 4. Tabla de Planchas de acero estructural .....  | 51 |
| Tabla 3. 5. Descripción de cada elemento del ensamble en la zona de empaquetado de tarrinas.....                      | 55 |
| Tabla 3. 6. Mínimo diámetro de tubos de conexión para generador de vacío OVEM 14. Fuente: Festo .....                 | 58 |
| Tabla 3. 7. Actuador ELCC. Manejo de masa total. Fuente Festo.....  | 60 |
| Tabla 3. 8. Tabla de Perfil estructural cuadrado. Fuente: Ipac .....  | 67 |
| Tabla 3. 9. Actuadores planos EZH, DZF. Fuente: Festo .....   | 69 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 3. 10. Descripción de cada elemento del ensamble en la zona de transporte de cajas ..... | 71 |
| Tabla 3. 11. Lista de detalles de precios: Componentes metálicos (Alineación).....             | 81 |
| Tabla 3. 12. Lista de detalles de precios: Accesorios (Alineación) .....                       | 82 |
| Tabla 3. 13. Lista de detalles de precios: Trabajos complementarios (Alineación).....          | 82 |
| Tabla 3. 14. Lista de detalles de precios: Componentes metálicos (Empaquetado).....            | 83 |
| Tabla 3. 15. Lista de detalles de precios: Accesorios (Empaquetado) .....                      | 83 |
| Tabla 3. 16. Lista de detalles de precios: Trabajos complementarios (Empaquetado).....         | 84 |
| Tabla 3. 17. Lista de detalles de precios (Tranporte de Cajas) .....                           | 84 |
| Tabla 3. 18. Resumen de Costo Total de la máquina.....   | 85 |
| Tabla 3. 19. Resumen de Costo Total de la máquina.....   | 85 |
| Tabla 3. 20. Tablas de Betas desapalancados. Fuente: Damodaram .....                           | 86 |
| Tabla 3. 21. Flujo de Caja (250 gr) .....  | 87 |

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Proceso de empaquetado - Vista General
- PLANO 2 Zona de alineación de tarrinas - Ensamble general
- PLANO 3 Máquina empaquetadora - Ensamble general
- PLANO 4 Estructura de soporte
- PLANO 5 Placa del actuador lineal
- PLANO 6 Placa para ventosas
- PLANO 7 Placa compuerta
- PLANO 8 Seguidor
- PLANO 9 Acople para placa compuerta
- PLANO 10 Acople actuador lineal
- PLANO 11 Placa para actuador giratorio
- PLANO 12 Zona de transporte de cajas – Ensamble general

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador se encuentran una gran variedad de industrias de tipo metalúrgicas, alimenticias, farmacéuticas, agrícolas, acuicultoras, entre otras. La industria alimenticia es una de las de mayor demanda en el mercado actual y en particular existe una empresa que lidera la fabricación de productos como grasas, aceites, oleoquímicos, biocombustibles, para el cuidado del hogar y personal. En este trabajo nos enfocaremos en la línea de producción de margarina, especialmente en el sistema de empaclado.

La margarina es fabricada cumpliendo normas alimenticias y es envasada en tarrinas de forma redonda con diferentes presentaciones, las cuales pueden diferenciarse por su peso siendo de 250 g, 500 g y 1 kg. Una vez envasada la margarina, las tarrinas son desplazadas por medio de una banda transportadora a la línea de empaclado, donde los trabajadores esperan para tomar las tarrinas y colocarlas dentro de cajas de cartón en un arreglo establecido.

Debido a las condiciones antiergonómicas de los trabajadores, estos suelen presentar problemas de salud, por lo que es recomendable la implementación de una máquina empacladora que se encargue de alinear, colocar, empaclar y sellar las tarrinas dentro de una caja de cartón. El objetivo de este proceso es otorgar protección, servir como un aislante térmico y fácil transporte de dicho producto alimenticio mediante una envoltura adecuada. Además de esto, se agiliza el proceso de almacenamiento mejorando la eficiencia, lo que se traduce en ahorro de tiempo, personal, y costos generales para la empresa.

## **1.1 Descripción del problema**

En esta empresa existe la necesidad de empaacar las tarrinas de margarina en cajas de cartón, para una posterior distribución de manera local, nacional o internacional. Por lo que, actualmente, al final de la línea de producción, se disponen de 2 trabajadores que realizan el empaquetado de manera manual, lo que conlleva a largas jornadas de actividades antiergonómicas que producen a largo plazo lesiones que pueden ser leves, graves o permanentes.

Estas actividades antiergonómicas son: movimientos repetitivos, movilización de cargas, sobrecarga en la postura, sobreesfuerzo, mala postura o postura forzada. Algunas de las dolencias que más se presentan en los trabajadores han sido: dolor de cuello, brazos, dolor cervical, dorsal o lumbar, mialgias y en algunos casos llegar a padecer desórdenes musculoesqueléticos, afectando su salud y provocando un impacto en su vida personal.

## **1.2 Justificación del proyecto**

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de empresas que ofrecen soluciones para la automatización del proceso de empacado para una infinidad de productos, mediante la implementación de máquinas que mejoran la ergonomía del proceso. Además, presentan flexibilidad para incrementar la velocidad de producción sin incurrir en incidentes laborales y reducir el tiempo de empaado, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso. Sin embargo, debido a factores como costos elevados, incompatibilidad de la tecnología del equipo con la tecnología presente en la empresa, falta de personal técnico para operación y mantenimiento, la decisión final de adquirir una de estas máquinas es dejada a un segundo plano.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una máquina empacadora con un bajo costo de fabricación y tecnológicamente compatible con la capacidad de la empresa y el personal, que mejore el proceso de empaado, la ergonomía del proceso actual, reduzca tiempo, costos y evite lesiones que, según cifras de la Dirección de Riesgos del Trabajo IESS, en el 2015 a escala

nacional se han reportado cinco de cada 1000 trabajadores como casos por lesiones laborales por los trabajos repetitivos en fábricas, sin mencionar los 249 casos de lesiones permanentes registrados en el año 2011 (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2015).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina que permita empaquetar tarrinas de margarina en cajas de cartón de forma automática.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Crear un diseño conceptual de una máquina que permita resolver el problema presente.
2. Diseñar los elementos y componentes mecánicos de la máquina empaquetadora.
3. Modelar el funcionamiento del equipo usando software CAD/CAE.
4. Realizar planos de detalle de cada uno de los componentes de la máquina.
5. Realizar análisis de costos de la implementación de la máquina considerando componentes disponibles en Ecuador.

### **1.4 Marco teórico**

En esta sección se describe los conceptos básicos para el desarrollo del presente proyecto.

#### **1.4.1 Margarina**

La margarina tiene un amplio consumo en casi todos los países del mundo. Es un alimento que se obtienen por procesos industriales a partir de grasas vegetales. Además de ser una fuente de vitaminas A y E, su buen sabor y aroma, amplía sus usos culinarios.

En el Ecuador, la producción de este se rige bajo la norma técnica ecuatoriana INEN 271: Margarina de mesa. Requisitos (INEN 276:2005), INEN 2 184: Margarina Industrial. Requisitos (INEN 2 184:98). Su envase

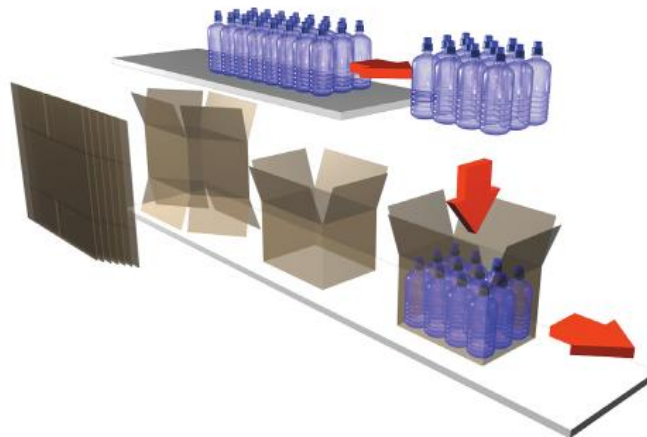
es de un material plástico conocido como Polipropileno (PP) el cual es usado generalmente para la fabricación de varios alimentos.

## 1.4.2 Máquinas y Mecanismos en la industria

### 1.4.2.1 Empaque por caída libre

También conocido en inglés como “*Drop Packers*”. En estos sistemas la caja espera en la parte inferior ubicada sobre una compuerta, hasta que el producto se forme y se deje caer cuando se abra esta compuerta como se ve en la Figura 1.1.

Es recomendable para productos con envases resistentes y de medidas pequeñas debido a que mucho peso podría dañar o romper el envase o el material de la caja por el golpe tras la caída (Cortés, 2011). Entre las empresas que ofrecen este equipo son: Combi Packaging System LLC., AFA Systems Ltd., Paxiom, Kraken Automation, Frain Industries, Standard Knapp.



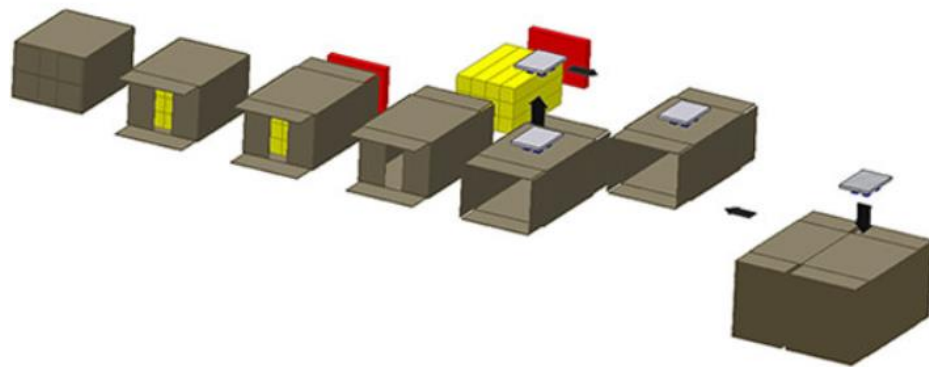
**Figura 1. 1. Forma de empaque por caída libre. Fuente: Combi Packaging Systems LLC,2015**

### 1.4.2.2 Empaque horizontal

También conocidos en inglés como “*Horizontal Loaders*”. En este sistema la caja espera acostada de lado, hasta que se tengan los productos formados en un plano, como se muestra en la Figura 1.2.

Luego, por medio de un pistón se los transporta horizontalmente a una cinta transportadora donde espera la caja, y una vez el producto dentro de la caja esta gira para volver a dejar verticalmente.

Entre las empresas que ofrecen este equipo son: Combi Packaging System LLC, CAM Automatic Packaging Machines, Serpa Packaging Solutions, Econocorp Inc., AFA Systems Ltd., Brenton.



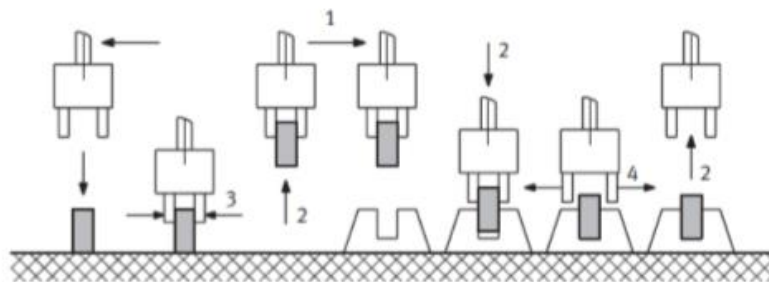
**Figura 1. 2. Forma de empaque horizontal. Fuente: Combi Packaging Systems LLC.,2015**

#### **1.4.2.3 Empaque por Sistemas “*Pick and Place*”**

Los sistemas “*Pick and Place*” (en inglés se traduce como recoger y colocar), son mecanismos que se utilizan para recoger productos que salen de la línea de producción sobre bandas transportadoras y colocarlas en cajas para su respectivo empaquetado.

En la figura 1.3, se muestran los movimientos cíclicos que tiene este tipo de mecanismo, se distinguen tres operaciones básicas y repetitivas que son:

- Tomar la pieza, denominado en inglés “*pick-up*”
- Trasladar la pieza, denominado en inglés “*transfer*”
- Posicionar y dejar la pieza en un lugar destinado, denominado en inglés *place* (Cortés Osorio, J., & Mendoza Vargas, J., & Muriel Escobar, J.,2012)



**Figura 1. 3. Movimientos del sistema pick and place. Fuente: Cortés et al., 2012**

Generalmente, estos sistemas vienen acompañados con una cámara de visión artificial para la ubicación del producto y su orientación.

**Tabla 1. 1. Clasificación de los sistemas de sujeción. Fuente: Balderas Sánchez, M., & Rivera Martínez, D.,2016**

| Sistema de sujeción para robots                                     |                          |  |
|---|--------------------------|--|
| Tipo  | Accionamiento            | Usos   |
| Pinza de presión<br>Desplazamiento lineal<br>Desplazamiento angular | Neumático o<br>Eléctrico | Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar |
| Pinzas de enganche  | Neumático o<br>Eléctrico | Piezas grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión |
| Ventosa de vacío  | Neumático                | Cuerpos, superficies poco porosas (cristal, plástico, etc.)            |
| Electroimán   | Eléctrico                | Piezas ferromagnéticas   |

Además, de un “*end effector*” (en inglés, actuador final) el cual es el componente que para la sujeción de los objetos y se los puede clasificar según el producto a sujetar, como se muestra en la Tabla 1.1. (Balderas Sánchez, M., & Rivera Martínez, D.,2016).

Los tipos de mecanismos “*pick and place*” más presentes en el mercado son: cartesianas/rectilíneas, de brazo articulado, Scara, tipo delta, tipo



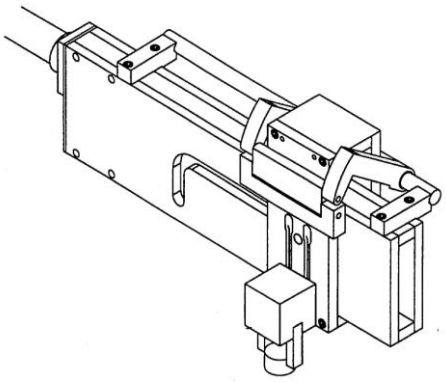
cuádruple, entre otros. A continuación, en la tabla 1.2 se muestra el resumen de los tipos de mecanismos, detallados con sus características y las empresas más conocidas que se dedican a su fabricación.

**Tabla 1. 2. Tipos de sistema “Pick and Place”.**

| <b>Tipos</b>              | <b>Características</b>   | <b>Empresas</b>  |
|---------------------------|--|--|
| Cartesiana/<br>Rectilínea | Tiene 3 GDL. Todas sus articulaciones son prismáticas. Requiere espacios grandes de trabajo.                                   | Yamaha, Prodec Flex-tech, Serpa Packaging Solutions, AFA Systems, Paxiom, Kraken Automation, Prodec, Brenton |
| De brazo articulado       | Tiene 3 GDL. Sus juntas son revolutas. Se asemeja al brazo humano, es decir un sistema con cintura, hombro, codo y muñeca.     | KUKA, Denso Robotics, ABB, Econocorp Inc.  |
| Scara                     | Tiene 3 GDL. Son dos juntas revolutas y una traslacional. Permite realizar movimientos horizontales de gran alcance.           | Yamaha, Omron, Denso robotics, Prodec  |
| Tipo delta                | Tiene 3 GDL. Sus juntas son traslacionales y es accionado por tres motores rotativos. Puede desplazarse a altas aceleraciones. | Omron, ABB, AFA Systems Ltd,   |

Además de la investigación de mercado, se realiza una investigación de patentes que proponen mecanismos para una máquina “pick and place” como se ve en la Tabla 1.3.

**Tabla 1. 3. Patentes de tipos de “pick and place”**

| Tipo  | Descripción  | Origen                 |
|---|--|------------------------|
| Mecanismo<br>Fluid<br>Cylinder –<br>Inverted U<br>shape | El sistema convierte el movimiento lineal de un cilindro hidráulico a un recorrido de una U invertida como se ve en la Figura 1.4.<br><br><br><b>Figura 1. 4. Mecanismo Fluid Cylinder – Inverted U shape. Fuente: Patente USO0556488A</b> | Patente<br>USO0556488A |

### 1.4.3 Sistema de Ventosas

Las ventosas, son los elementos que se encuentran en contacto directo con la pieza a manipular son las que mantienen el vacío en su interior durante la succión. Por esta razón, de todo el sistema de vacío, la selección adecuada de las ventosas constituye el requerimiento más importante para su correcto funcionamiento. (Balderas Sánchez & Rivera Martínez, 2016).

En la Figura 1.5, se muestra una gama amplia de ventosas que existen en el mercado, entre las cuales se enlistan a continuación las más importantes:

- Copa y planas
- Fuelle
- Rectangular
- Perfil Continuo
- Espuma



**Figura 1. 5. Ventosas más comunes. Fuente: (Balderas Sánchez & Rivera Martínez, 2016).**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

La metodología de este proyecto se basó en una adaptación del proceso de diseño ingenieril ilustrado en el libro “*Engineering Design*” de Dieter & Schmidt.

La primera etapa llamada “Diseño Conceptual”, sirvió para identificar las características que debía poseer el producto a diseñar para satisfacer la necesidad del cliente. Consistió en identificar y definir el problema, seguido de la realización de una investigación preliminar que incluía patentes y artículos científicos, se plantearon los objetivos, se obtuvieron los factores de diseño por medio de la herramienta “*House of Quality*”, para finalmente generar las alternativas de solución y evaluarlas en una matriz de decisión. El resultado de esta matriz fue el diseño de forma del proceso de empaquetado.

La segunda etapa llamada “Diseño para Manufactura”, consistió en el desarrollo del diseño detallado donde se dimensionaron los componentes del sistema, se seleccionó su material de construcción considerando criterios de diseño para evitar fallas durante su operación, se modeló el funcionamiento del equipo usando software CAD/CAE para comprobar el correcto diseño de todos los elementos del sistema.

Por último, la tercera etapa constituyó el análisis y estimación de costos del sistema, además de la realización de planos detallados de cada uno de los elementos de la máquina, junto con su ensamble.

### 2.1 Análisis del proceso (Diagrama de flujo)

El diseño del presente proyecto siguió el proceso descrito en el diagrama de flujo de la metodología empleada como se muestra en la Figura 2.1.

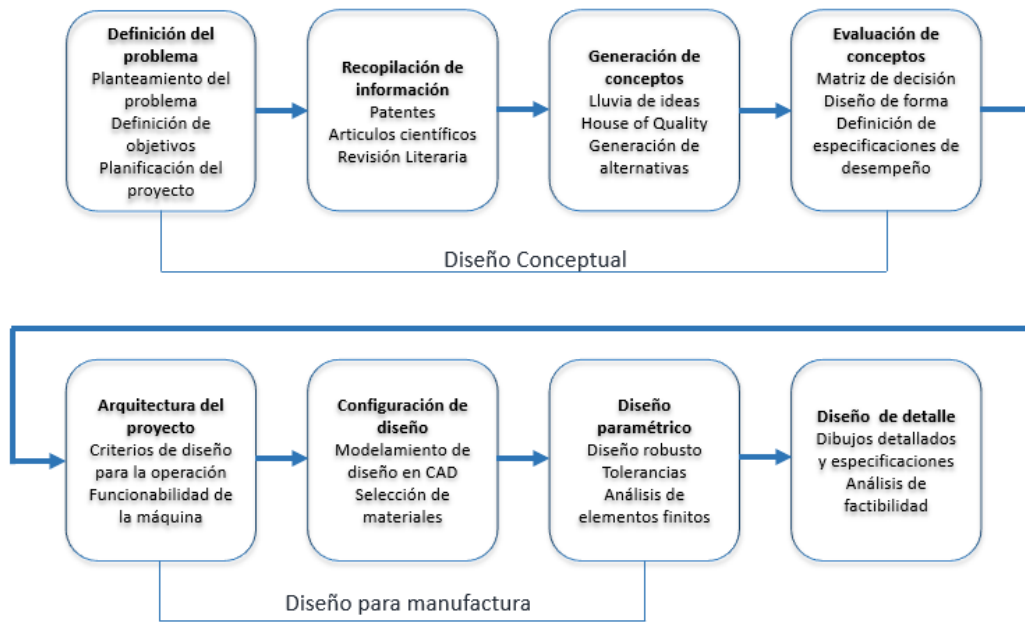


Figura 2. 1. Diagrama de flujo de la metodología

## 2.2 Diagrama de proceso de línea de producción

En la Figura 2.2 se muestra un diagrama del proceso actual en la empresa de la línea de producción de tarrinas de margarina.

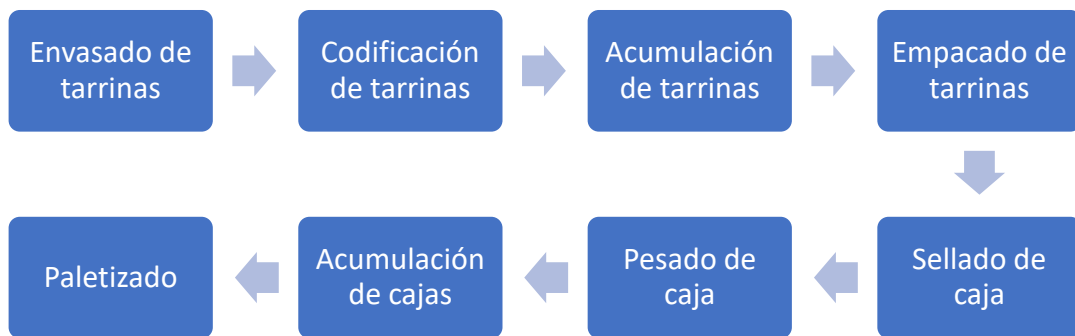


Figura 2. 2. Diagrama de proceso de línea de producción de tarrina de margarina.

## 2.3 Bases y Consideraciones

Durante el desarrollo del proyecto se consideraron las especificaciones dadas por el cliente para la elaboración del diseño, dividiéndose en requerimientos de diseño u operación según su naturaleza.

### 2.3.1 Requerimientos de diseño

- El producto a manipular es la tarrina de margarina, cuyas presentaciones pueden ser de 250 g o de 500 g.
- Las dimensiones de la tarrina con tapa según su presentación son descritas en la tabla 2.1.

**Tabla 2. 1. Dimensiones de tarrina con tapa**

| Presentación | Diámetro tarrina (cm) | Diámetro tapa (cm) | Altura (cm) |
|--------------|-----------------------|--------------------|-------------|
| 250 g        | 10                    | 12                 | 6           |
| 500 g        | 10                    | 12                 | 10          |

- Las dimensiones de la caja es la misma para ambas presentaciones. Las medidas son descritas en la Tabla 2.2.

**Tabla 2. 2. Dimensiones de la caja de cartón**

| Medidas de caja | Largo (cm) | Ancho (cm) | Altura (cm) |
|-----------------|------------|------------|-------------|
| Interna         | 48         | 36         | 24          |
| Externa         | 4.5        | 36.5       | 24.5        |

- El diseño de la máquina debe ser fácilmente desmontable para permitir realizar mantenimiento.
- El diseño de los componentes y del sistema en general debe cumplir normativas que se exigen para las máquinas empaquetadoras y para la industria alimenticia.

### 2.3.2 Requerimientos de operación

- La capacidad de la empaquetadora no debe sobrepasar a la de la envasadora de tarrinas de margarina según su presentación. La capacidad

de la empaquetadora requerida es de 2,08 cajas/min para las tarrinas de 250 g y 3,13 cajas/min para la de 500 g.

- El sistema debe operar tal que el arreglo en la caja de cartón sea como el descrito en la Tabla 2.3.

**Tabla 2. 3. Arreglo de tarrinas en la caja**

| Presentación | Dimensiones (unidades) |       |        | Total (unidades) |
|--------------|------------------------|-------|--------|------------------|
|              | largo                  | ancho | altura |                  |
| 250 g        | 4                      | 3     | 4      | 48               |
| 500 g        | 4                      | 3     | 2      | 24               |

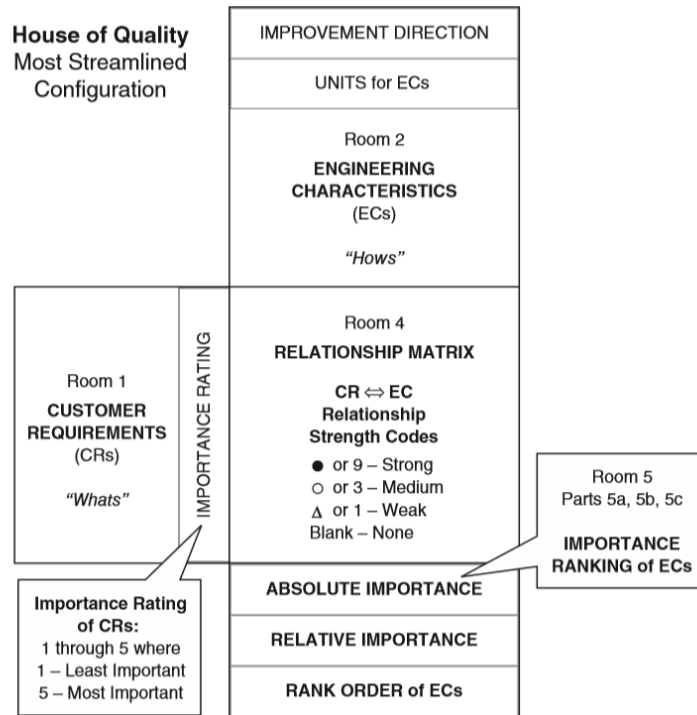
- La velocidad de la cinta transportadora es de 0,21 m/s.

### 2.3.3 Consideraciones

- En la banda transportadora en la que vienen las tarrinas, estas vienen formadas en dos filas con un espaciado de 25 cm cada dos tarrinas juntas.
- El sistema de aire comprimido trabaja con una presión de 8 bares y llega a los equipos de la planta a una presión de 6 bar.
- Dos personas se encargan de realizar el proceso de empaquetado al final de la línea de producción.

## 2.4 Casa de la Calidad

También conocido en inglés como "*House of Quality*". Este método relaciona los requerimientos del cliente sobre un producto con las características o desempeño del producto adicionando las críticas consideradas por el usuario. Los pasos para la construcción y los criterios de ponderación se pueden ver de manera gráfica en la Figura 2.3.

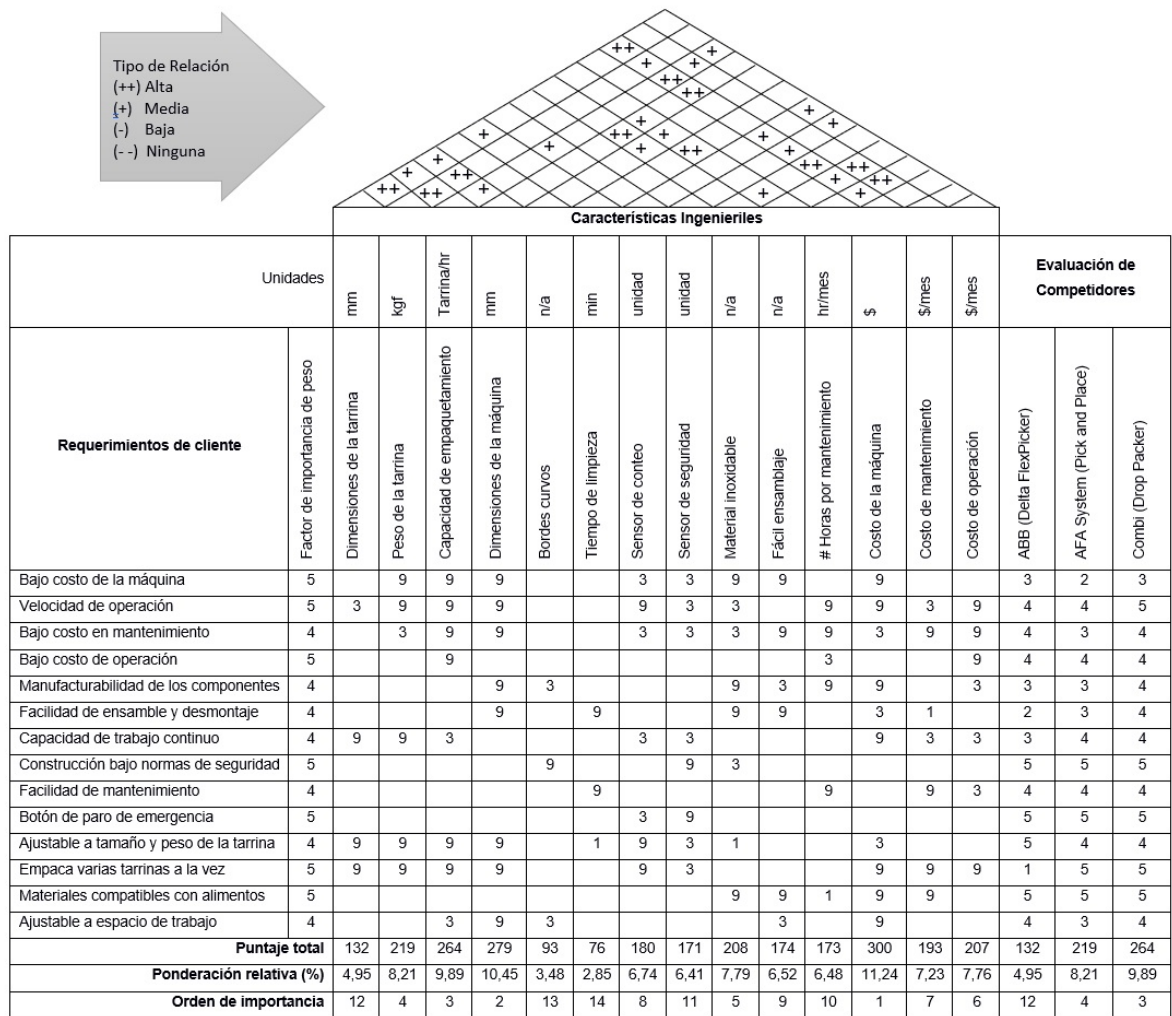


**Figura 2. 3. Estructura de "House of Quality".  
Fuente: Dieter & Schmidt, 2009**

Se convirtieron los requerimientos del cliente en variables de diseño cuantificables lo que se conoce como características ingenieriles, permitiendo utilizarlos como restricciones o criterio de diseño para un buen diseño conceptual. Este método es importante ya que es un precursor para el establecimiento de las especificaciones de diseño. (Dieter & Schmidt, 2009).

En la sección de Evaluación de competidores, también conocido como "Benchmarking", se mostró el análisis de las características de los productos de los principales competidores frente a los requerimientos del cliente. En la Figura 2.4 se muestra la casa de la calidad del presente proyecto.





**Figura 2. 4. Casa de la calidad del presente proyecto**

Luego, se realizó un resumen de todos los requerimientos del cliente y se obtuvieron los criterios de selección, necesarios para evaluar las alternativas de solución como se ve en la Tabla 2.4.

**Tabla 2. 4. Resumen de requerimientos de cliente: Criterios**

| <b>Requerimientos de cliente</b>        | <b>Valoración</b>           |
|---|-----------------------------|
| <b>Costo</b>                            |                             |
| Bajo costo de la máquina                | < \$30.000                  |
| <b>Desempeño</b>                        |                             |
| Velocidad de operación                  | ≥ 120 cajas/hr              |
| Ajustable a tamaño y peso de la tarrina | 250 g y 500 g               |
| Empaca varias tarrinas a la vez         | > 6 tarrinas a la vez       |
| <b>Tamaño</b>                           |                             |
| Ajustable a espacio de trabajo          | < 4.9 x 4.0 x 3.5 m.        |
| <b>Materiales</b>                       |                             |
| Materiales de grado alimenticio         | Resistente a la corrosión   |
| <b>Consumo Energético</b>               |                             |
| Bajo costo de operación                 | Consumo < 5 kW              |
| Capacidad de trabajo continuo           | ≥ 8 horas diarias           |
| <b>Mantenibilidad</b>                   |                             |
| Facilidad de mantenimiento              | -                           |
| Facilidad ensamble y desmontaje         | -                           |
| <b>Manufacturabilidad</b>               |                             |
| Manufacturabilidad de los componentes   | -                           |
| Construcción bajo normas de seguridad   | AWS, ISO, ASTM, INEN<br>DIN |
| <b>Seguridad</b>                        |                             |
| Botón de paro de emergencia             | -                           |

Para las tablas de ponderación, se utilizó la escala descrita en la Tabla 2.5 para comparar y juzgar el nivel de importancia de un criterio respecto a otro, utilizando como guía el rango obtenido de la casa de la calidad. (Dieter & Schmidt, 2009).

**Tabla 2. 5. Escala para tabla de comparación.  
Fuente: (Dieter & Schmidt, 2009).**

| Escala  |  |
|---------|--|
| 1       | Igualmente, importante                           |
| 3       | Moderadamente importante                         |
| 5       | Más importante                                   |
| 7       | Mucho más importante                             |
| 9       | Extremadamente importante                        |
| 2,4,6,8 | Valores intermedios entre dos escalas adyacentes |
| 1/n     | Recíproco: Para comparación inversa              |

En la Tabla 2.6 se obtuvo el pesaje de cada criterio.

**Tabla 2. 6. Tabla de ponderación de criterios: Cálculo del peso (porcentaje)**

| Criterio                  | Costo | Tamaño | Desempeño | Materiales | Seguridad | Consumo | Mantenibilidad | Manufacturabilidad | Total  | Peso |
|---------------------------|-------|--------|-----------|------------|-----------|---------|----------------|--------------------|--------|------|
| <b>Costo</b>              | 1,00  | 3,00   | 2,00      | 5,00       | 7,00      | 5,00    | 3,00           | 4,00               | 30,00  | 0,25 |
| <b>Desempeño</b>          | 0,33  | 1,00   | 2,00      | 3,00       | 5,00      | 5,00    | 2,00           | 3,00               | 21,33  | 0,18 |
| <b>Tamaño</b>             | 0,50  | 0,50   | 1,00      | 3,00       | 6,00      | 4,00    | 5,00           | 5,00               | 25,00  | 0,20 |
| <b>Materiales</b>         | 0,20  | 0,33   | 0,33      | 1,00       | 5,00      | 1,00    | 3,00           | 1,00               | 11,87  | 0,10 |
| <b>Seguridad</b>          | 0,14  | 0,20   | 0,17      | 0,20       | 1,00      | 3,00    | 5,00           | 5,00               | 14,71  | 0,12 |
| <b>Consumo</b>            | 0,20  | 0,20   | 0,25      | 1,00       | 0,33      | 1,00    | 2,00           | 3,00               | 7,98   | 0,07 |
| <b>Mantenibilidad</b>     | 0,33  | 0,50   | 0,20      | 0,33       | 0,20      | 1,00    | 1,00           | 3,00               | 6,57   | 0,05 |
| <b>Manufacturabilidad</b> | 0,25  | 0,33   | 0,20      | 1,00       | 0,20      | 1,00    | 0,33           | 1,00               | 4,32   | 0,03 |
| <b>Total</b>              |       |        |           |            |           |         |                |                    | 121,78 | 1,00 |

## 2.5 Criterios de Selección

Para realizar un buen diseño fue necesario considerar factores importantes que influenciarían en el proceso, los mismos que fueron obtenidos de la Casa de la calidad desarrollada con anterioridad, además de la consideración de valores referenciales obtenidos del mercado. Los criterios de selección son los siguientes:

- **Costo:** es el costo de la máquina. Se considera los costos de compra del material y componentes, su manufactura, construcción. El costo debe ser menor a \$30.000 según comparaciones en el mercado.
- **Desempeño:** el diseño debe satisfacer los requerimientos del cliente, considerando la ergonomía del proceso y la facilidad de operación tal que no necesite personal especializado. También se refiere a la cantidad de tarrinas empacadas por unidad de tiempo (al menos 6 tarrinas por movimiento) y con una velocidad de operación de 120 cajas/hora. Además de su adaptación al cambio de tamaño (altura) y peso de las tarrinas.
- **Tamaño:** las dimensiones de la máquina deben estar dentro del espacio de trabajo disponible. Espacio menor a los 19.6 m<sup>2</sup>, sin salir de un rango de dimensiones de 4.9 x 4.0 x 3.5 m.
- **Material:** el material de los elementos del diseño debe cumplir las normativas correspondientes para el manejo de productos alimenticios (resistente a la corrosión). Material como: acero inoxidable, acero galvanizado o aluminio.
- **Consumo Energético:** el consumo de la máquina tanto como energético como el tiempo de consumo u operación. Tiempo de operación de por lo menos 8 horas continuas y potencia de consumo mínima de 5kw.
- **Mantenibilidad:** la característica de fácil ensamble y desmontaje de los componentes de la máquina permite realizar un correcto mantenimiento, además de considerar el costo de los repuestos y su obtención.
- **Manufacturabilidad:** los componentes del sistema deben ser de fácil manufactura, es decir, de fácil construcción y ensamble. Por ejemplo, que un componente sea fácil de maquinar y no necesite procesos complejos para su obtención.
- **Seguridad:** el diseño debe cumplir con normativas de seguridad correspondiente a este tipo de máquinas, como los son: AWS para soldadura, ISO, ASTM, INEN DIN.

A continuación, en la Tabla 2.7 se presenta un resumen de los criterios de selección con una breve descripción junto a su ponderación.

**Tabla 2. 7. Criterios de Selección con su ponderación**

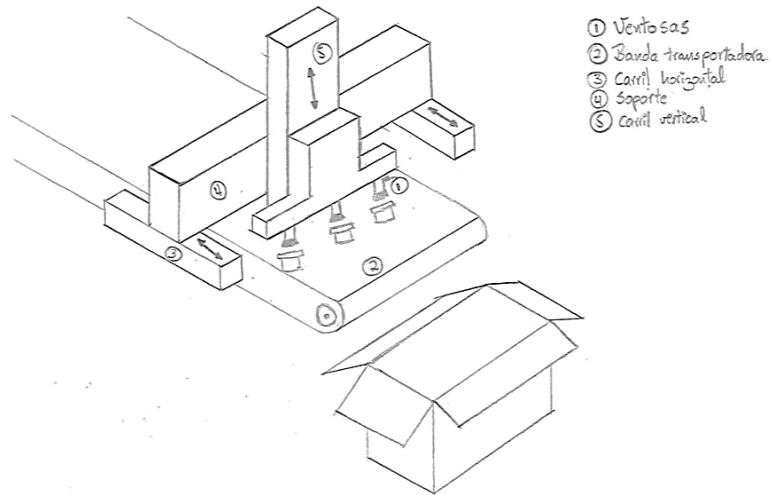
| <b>Criterio de Selección</b> | <b>Descripción</b>   | <b>Ponderación</b> |
|------------------------------|--|--------------------|
| <b>Costo</b>                 | Costo de construcción o compra de máquina                    | 25 %               |
| <b>Desempeño</b>             | Capacidad de la máquina (tarrinas/hora)                      | 18 %               |
| <b>Tamaño</b>                | Dimensión del espacio ocupado por la máquina.                | 20 %               |
| <b>Material</b>              | Material inoxidable para los componentes del sistema.        | 10 %               |
| <b>Seguridad</b>             | Protección completa y seguros.                               | 12 %               |
| <b>Consumo</b>               | Consumo energético y tiempo de operación.                    | 7 %                |
| <b>Mantenibilidad</b>        | Desmontaje ágil para el mantenimiento de los componentes.    | 5 %                |
| <b>Manufacturabilidad</b>    | Dificultad en la construcción y ensamble de los componentes. | 3 %                |

## **2.6 Alternativas de solución**

En esta sección se presentan tres alternativas de solución presentes en el mercado para la selección del sistema de empaquetado de tarrinas de margarina y una breve descripción de su funcionamiento.

### **2.6.1 Alternativa A**

En la Figura 2.5, se muestra una alternativa que consta de un brazo guía que por medio de absorción sujeta doble fila de tarrinas con ayuda de un sistema neumático, para el movimiento lineal se utilizan controladores de velocidad, los cuales ayudan a colocar las tarrinas en la caja de forma adecuada. Este movimiento se realiza en dos dimensiones siendo parecido a la función de un brazo robótico con la diferencia que esta alternativa ofrece una mejor estabilidad al realizarse solo dos movimientos en la carga y descarga del producto.

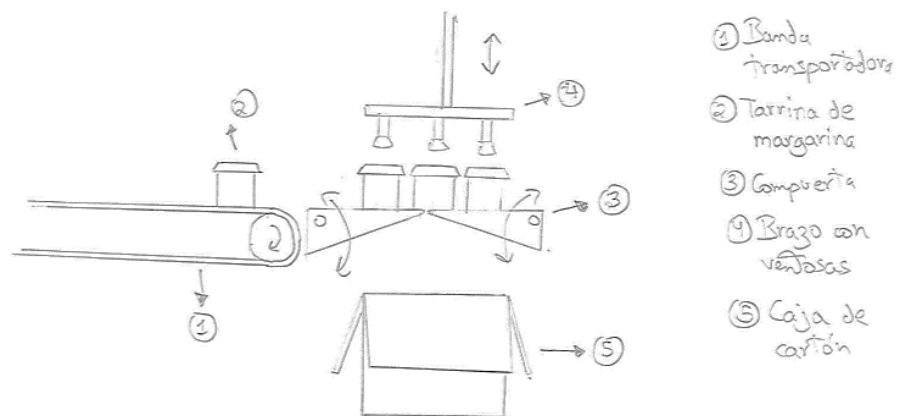


**Figura 2. 5. Sistema Cartesiano (2 Dimensiones).**

### 2.6.2 Alternativa B

En la Figura 2.6, se muestra una alternativa que consta de un sistema de compuerta y banda transportadora, donde luego de que el número de tarrinas necesarias se acumulan, un brazo desciende de manera vertical y por medio de absorción con el uso de un sistema neumático (ventosas) se sujetan dos filas de tarrinas y se las deposita en la caja.

Esta máquina se ayuda de actuadores para controlar la compuerta, el paso de las tarrinas y el movimiento de la caja. La ventaja es que el tiempo de colocación del producto es más rápida que si se utilizara algún mecanismo para la carga y descarga de esta.



**Figura 2. 6. Mecanismo "Pick and Place".**

### 2.6.3 Alternativa C

En la figura 2.7, se muestra una alternativa que consta de un mecanismo que posee 6 eslabones y un efector final con una ventosa, la cual está acoplada a un sistema neumático que le permite la succión de las tarrinas para colocarlas en la caja. Este mecanismo es accionado por un sistema de doble leva-seguidor. Cuenta con 2 grados de libertad, 2 juntas prismáticas y 6 juntas rotacionales. El movimiento del efector final en dirección vertical final es accionado por una leva A, mientras que su movimiento horizontal es accionado por una leva B. Ambas levas rotan juntas y se acoplan en un solo eje al motor.

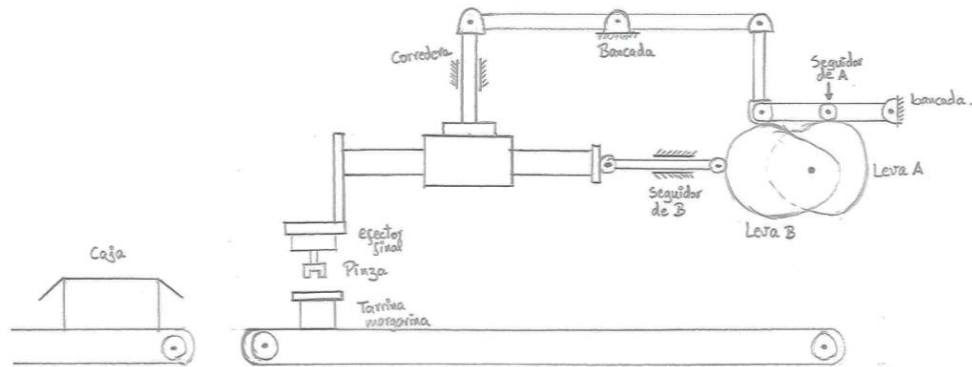


Figura 2. 7. Mecanismo Leva-seguidor.

## 2.7 Selección de Alternativas

La matriz de decisión, tomada del libro de Dieter, fue utilizada para la obtención de la mejor solución de las tres alternativas propuestas, como se muestra en la Tabla 2.8. Los criterios de selección utilizados fueron los resumidos en la Tabla 2.7.

Además, la calificación se evalúa con una escala del 1 al 5, donde 1 es bajo, 3 es medio y 5 es alto. (Dieter & Schmidt, 2009).

**Tabla 2. 8. Matriz de Decisión**

| Criterio de selección     | Peso (%) | Alternativas |                      |              |                      |              |                      |
|---------------------------|----------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|
|                           |          | A            |                      | B            |                      | C            |                      |
|                           |          | Calificación | Puntuación ponderada | Calificación | Puntuación ponderada | Calificación | Puntuación ponderada |
| Costo                     | 25       | 3            | 75                   | 4            | 100                  | 4            | 100                  |
| Desempeño                 | 18       | 5            | 90                   | 5            | 90                   | 3            | 54                   |
| Tamaño                    | 20       | 4            | 80                   | 4            | 80                   | 4            | 80                   |
| Materiales                | 10       | 5            | 50                   | 5            | 50                   | 5            | 50                   |
| Seguridad                 | 12       | 5            | 60                   | 4            | 48                   | 3            | 36                   |
| Consumo                   | 7        | 4            | 28                   | 4            | 28                   | 4            | 28                   |
| Mantenibilidad            | 5        | 3            | 15                   | 4            | 20                   | 3            | 15                   |
| Manufacturabilidad        | 3        | 3            | 9                    | 4            | 12                   | 4            | 12                   |
| <b>Calificación Total</b> | 100      | 407          |                      | 428          |                      | 375          |                      |
| <b>Rango</b>              |          | 2            |                      | 1            |                      | 3            |                      |

Por lo tanto, se tiene que la mejor opción es la alternativa B, el mecanismo “*Pick and Place*”

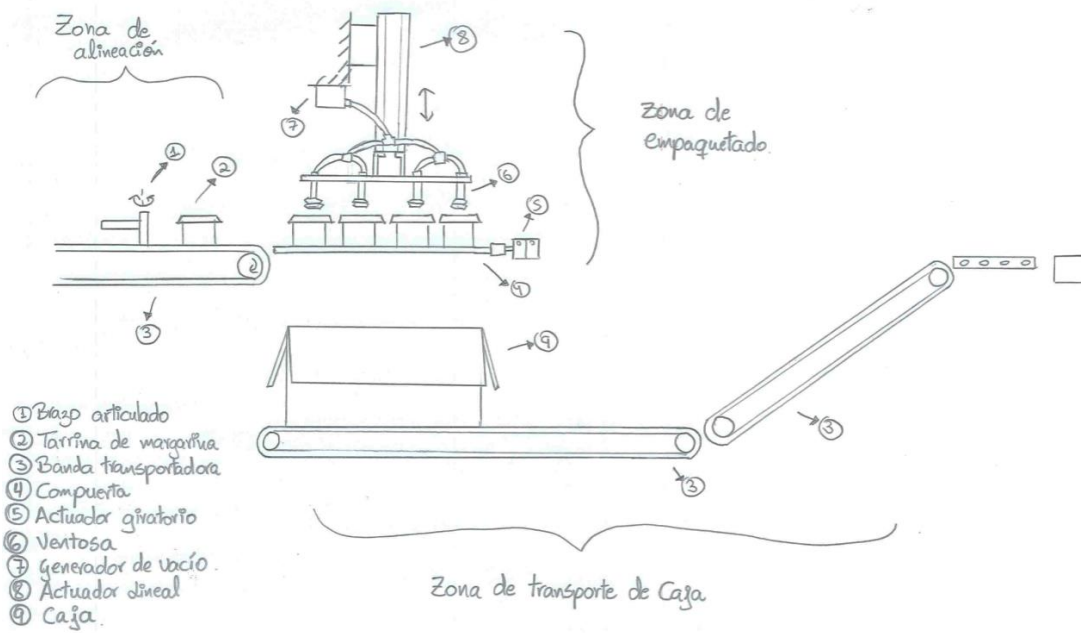
## 2.8 Diseño conceptual

Acorde a la solución escogida, se procedió a realizar un boceto del diseño de forma del sistema tal como se ve en la Figura 2.8.

Por facilidad, el diseño se dividió en las siguientes zonas:

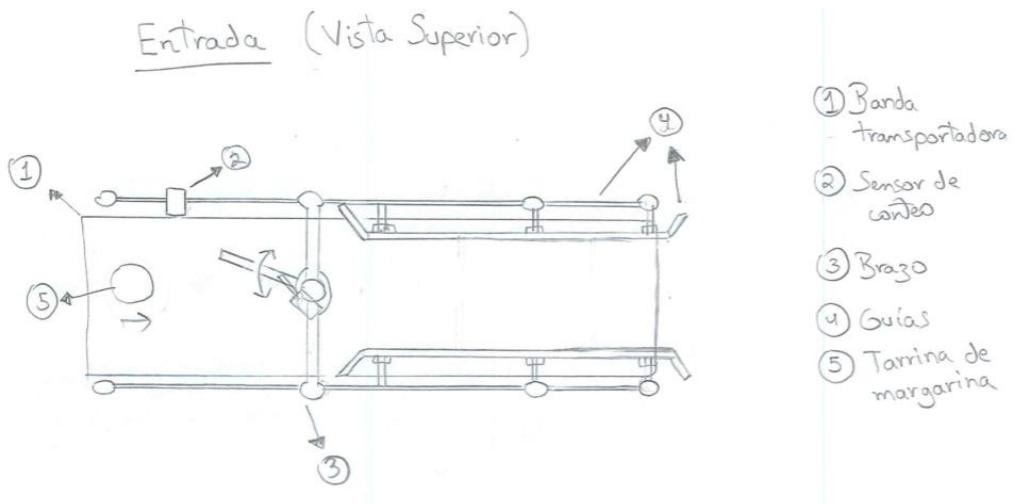
- Zona de alineación de tarrinas
- Zona de empaquetado de tarrinas.
- Zona de transporte de cajas.





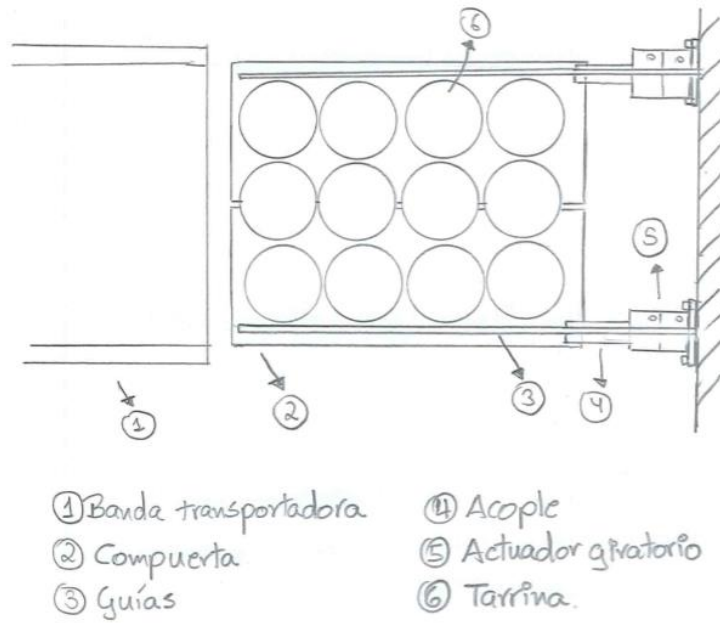
**Figura 2. 8. Vista Frontal del Diseño conceptual de toda la máquina.**

En la Figura 2.9 se muestra la zona de alineación de tarrinas en vista superior para una mejor visualización del mecanismo que permitiría orientar las tarrinas que salen de la línea de producción de dos filas a las tres filas requeridas.



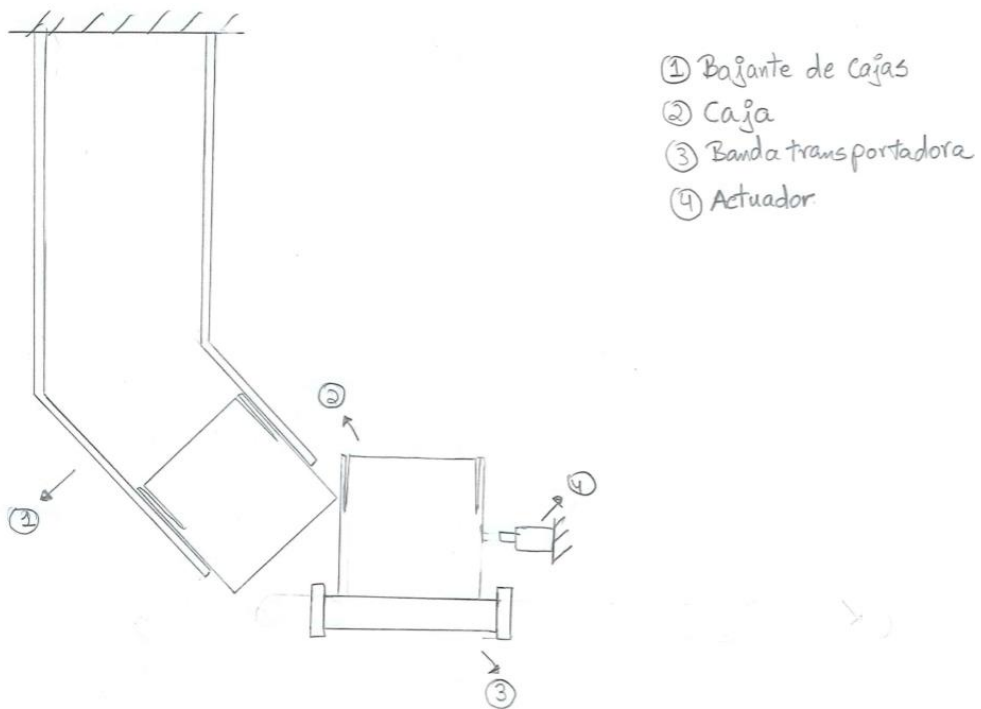
**Figura 2. 9. Zona de alineación de tarrinas**

En la Figura 2.10 se muestra la zona de empaquetado en vista superior, donde se aprecia el arreglo de tarrinas y la compuerta debajo de estas.



**Figura 2. 10. Zona de empaquetado (compuerta). Vista Superior**

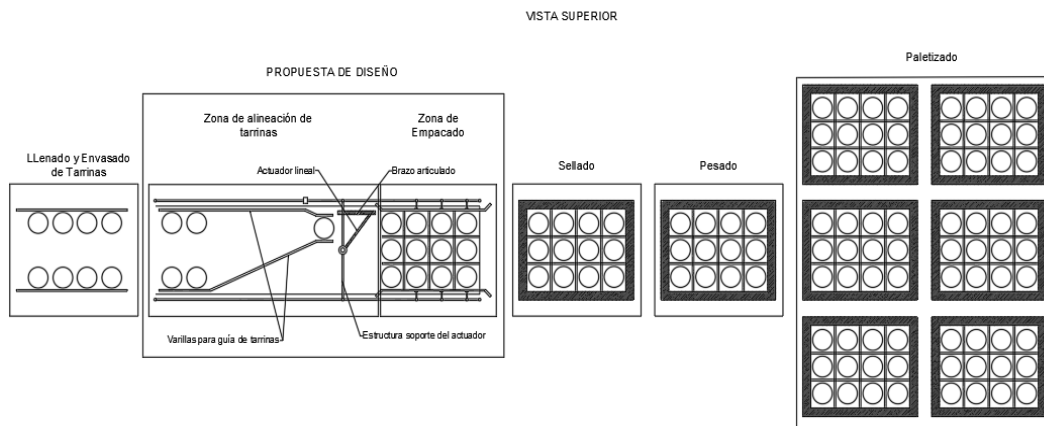
En la Figura 2.11 se observa la estructura de soporte y mecanismo para la automatización del transporte de las cajas.



**Figura 2. 11. Zona de transporte de cajas**

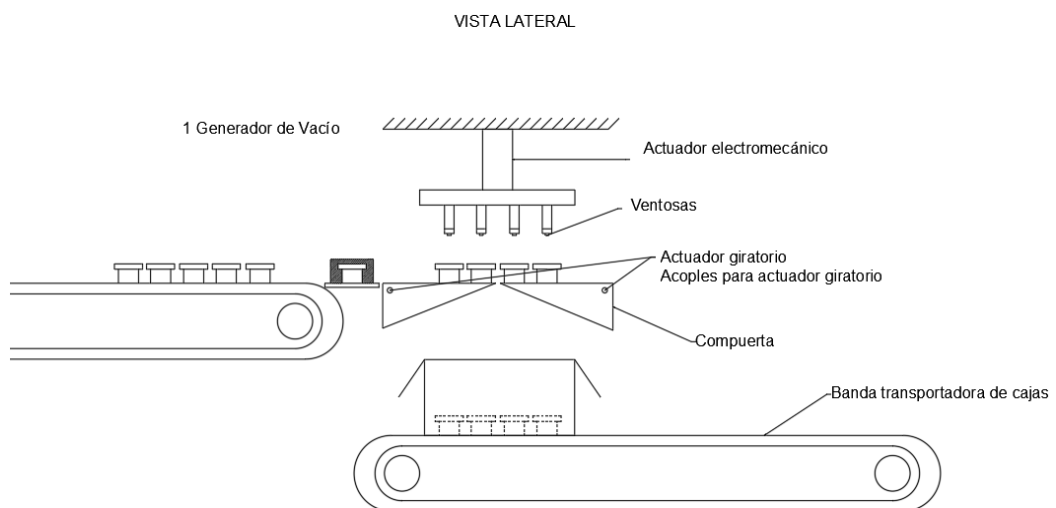
## 2.9 Diseño Detallado

En la Figura 2.12, se muestra todo el proceso de producción de la margarina, junto con el diseño del mecanismo propuesto en vista superior.



**Figura 2. 12. Diagrama de proceso de margarina (Vista Superior)**

Mientras que en la figura 2.13, se muestra el diseño del mecanismo “*pick and place*” en su vista lateral



**Figura 2. 13. Diagrama de proceso de margarina (Vista lateral)**

A partir de esto, se realizó el detalle de cada zona del sistema para la automatización del proceso de empaquetado, donde se describen los elementos necesarios para cada zona.

### **2.9.1 Zona de alineación de tarrinas**

Se encuentra entre la envasadora de tarrinas y el empaquetado como se observa en la Figura 2.12. Consiste en el diseño de un mecanismo que orienta y alinea las tarrinas que vienen en dos filas a tres filas.

Para el completo diseño se necesitaron de los siguientes elementos:

- Estructura para soporte del actuador
- Varillas para guías de las tarrinas.
- Brazo articulado para distribución de las tarrinas.
- Actuadores lineales para movimiento del brazo de distribución de tarrinas.
- Ejes y rodamientos para transmisión de movimiento.

### **2.9.2 Zona de Empaquetado de tarrinas**

Se encuentra luego de la zona de alineación de tarrinas. Esta zona consiste en la colocación de las tarrinas en la caja de cartón. Este sistema de empaquetado cuenta con una variedad de equipos como se aprecia en la Figura 2.13, donde se considera que el que cumple la función de “*pick and place*” debe ser un mecanismo tal que permita el control de varias posiciones según la presentación de la tarrina.

Para el completo diseño se necesitaron de los siguientes elementos, en el siguiente orden:

- Sistema de succión de vacío (ventosas, generador de vacío, tuberías).
- Actuador para “*pick and place*” de las tarrinas.
- Compuerta con acople a un actuador giratorio.
- Estructura de soporte para los actuadores

### **2.9.3 Zona de Transporte de cajas**

Esta zona consiste en el transporte de la caja, la cual llega armada desde un ducto vertical hasta una banda transportadora, la cual pasa por la zona

de empaquetado de tarrinas hasta llegar a la selladora como se observa en las Figuras 2.12 y Figura 2.13 respectivamente.

Para el completo diseño de esta zona se necesitaron de los siguientes elementos:

- Banda transportadora para el desplazamiento de la caja en la parte inferior.
- Actuador lineal para detención de la caja.

## **2.10 Herramientas para el cálculo de los componentes**

En esta sección se plantearon distintas ecuaciones para el dimensionamiento o selección de los componentes mecánicos que hay en todo el diseño del sistema, y que en la mayoría de los casos se repetían dependiendo del requerimiento en cada zona.

### **2.10.1 Sistema de succión de vacío**

El sistema de succión de vacío consiste en: ventosas, generador de vacío, además de tuberías y acoples para las conexiones.

Para determinar el tipo de ventosa a utilizar se necesitó conocer el material que se maneja, siendo en este caso la tarrina de margarina, específicamente la parte superior de la tapa, la cual es de plástico. (Vaccon, 2016). Inicialmente se contempló un material no poroso, sin embargo, debido a su flexibilidad y espesor se lo consideró como material poroso, por lo que la presión de funcionamiento del sistema de vacío se escogió según el valor propuesto en la industria que es una presión de vacío de -10.5 psi (71.1 kPa o -0.7 bar) que equivale a un 70% de vacío como se ve en la Figura 2.14. (Parker, 2007).

| Negative Gauge Pressure PSIG             | Absolute Pressure PSIA | Inches of Mercury inHg |
|--|------------------------|------------------------|
| 0  | 14.7                   | 0                      |
| Atmospheric Pressure at Sea Level        |                        |                        |
| -1.5                                     | 13.2                   | 3                      |
| -3.0                                     | 11.7                   | 6                      |
| -4.5                                     | 10.2                   | 9                      |
| Typical Porous Vacuum Level              |                        |                        |
| -6.0                                     | 8.7                    | 12                     |
| -7.5                                     | 7.2                    | 15                     |
| -9.0                                     | 5.7                    | 18                     |
| -10.5                                    | 4.2                    | 21                     |
| Typical Non-Porous Vacuum Level          |                        |                        |
| -12.0                                    | 2.7                    | 24                     |
| -13.5                                    | 1.2                    | 27                     |
| -14.7                                    | 0                      | 29.92                  |
| Perfect Vacuum (Zero Reference Pressure) |                        |                        |

**Figura 2. 14. Unidades de presiones de vacío. Fuente: Parker, 2007**

Para el cálculo de la fuerza de levantamiento por la ventosa se utilizó la ecuación 2.1 (Parker, 2007):

$$F = m (a_g + a) S \quad (2.1)$$

Donde:

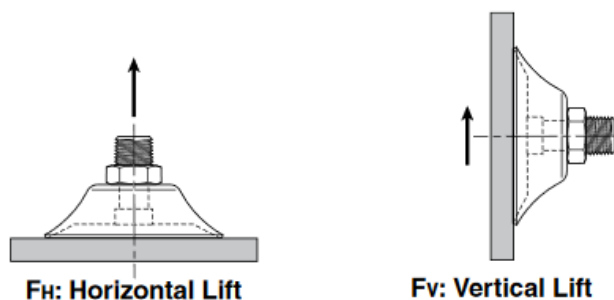
$F$ : Fuerza de levantamiento [N]

$m$ : Masa [kg]

$a_g$ : Aceleración de gravedad [ $m/s^2$ ]

$a$ : Aceleración del movimiento [ $m/s^2$ ]

$S$ : Factor de seguridad



**Figura 2. 15. Fuerza de levantamiento de ventosa. Fuente: Parker**

El factor de seguridad depende de si la fuerza de levantamiento es de manera vertical u horizontal como se ve en la Figura 2.15. Siendo un valor de 2 si es vertical o 4 si es horizontal (Parker, 2007).

Luego, se calculó el diámetro de la ventosa con la ecuación 2.2. (Parker, 2007)

$$d = 35.7 \sqrt{\frac{F}{P_v n}} \quad (2.2)$$

Donde:

F: fuerza de levantamiento [N]

$P_v$ : presión de vacío [kPa]

$n$ : número de ventosas

De acuerdo a la presión de vacío y al diámetro calculado se determinó la fuerza teórica que puede levantar la ventosa según lo expuesto en el catálogo de Festo. Si este valor es mayor a la fuerza calculada entonces el diámetro escogido es aceptable. (Festo).

Se recomienda utilizar ventosa con fuelles debido a que cuando se necesitan varias ventosas sobre una superficie regular, el uso de estas asegura de que todas tengan contacto sobre el material (Vaccon, 2016).

El generador de vacío es neumático, y para su selección fue necesario conocer si va a ser de manera centralizada (un generador para todas las ventosas) o descentralizada (un generador para cada ventosa).

Si es de manera descentralizada, entonces el diámetro de boquilla se escogía según diámetro de la ventosa como se muestra en la Tabla 2.9, si en cambio es de manera centralizada entonces el área de todas las ventosas debía corresponder al área con un diámetro equivalente a una ventosa. Para calcular dicho diámetro se utilizó la ecuación 2.3.

$$d_e = \sqrt{n} d \quad (2.3)$$

Donde:

$n$ : Número de ventosa

$d$ : Diámetro de una ventosa

**Tabla 2. 9. Diámetro de boquilla del generador con respecto al diámetro de ventosa. Fuente: Parker, 2007**

| Nozzle Diameter | Maximum Suction Cup Diameter inches (mm) |
|-----------------|--|
| 0.5 mm          | .79 (20)                                 |
| 1.0 mm          | 1.97 (50)                                |
| 1.5 mm          | 2.36 (60)                                |
| 2.0 mm          | 4.72 (120)                               |
| 2.5 mm          | 5.91 (150)                               |
| 3.0 mm          | 7.87 (200)                               |

Seleccionado el diámetro de boquilla se utilizó el software de la página de Festo y se buscó un generador de vacío con el diámetro de boquilla, además de presentar la recomendación de accesorios para este equipo.

Luego, en el catálogo del equipo escogido se seleccionó el diámetro mínimo de la tubería según su longitud. Además, en el mismo catálogo se pudo ver el tiempo de evacuación de aire y el consumo de aire.

Para hallar el tiempo de evacuación de aire total para la generación de vacío, se debió considerar el volumen de las ventosas y el volumen de la tubería con la ecuación 2.4:

$$t = (nV_{ventosa} + V_{tubería}) * t' \quad (2.4)$$

Donde:

$t$ : Tiempo de evacuación de aire [s]

$V_{ventosa}$ : Volumen de aire en una ventosa [l]

$n$ : Número de ventosas

$V_{tubería}$ : Volumen de aire en la tubería [l]

$t'$ : tiempo de evacuación de aire por 1 l [s]

### **2.10.2 Selección de actuador electromecánico (“pick and place”)**

Para la selección de un actuador que funcione como “pick and place”, era necesario que se pueda controlar para diferentes posicionamientos y



pueda ser montado de manera vertical, por lo que se decidió utilizar un actuador electromecánico con un servomotor de Festo. Según el catálogo, se escogió el tamaño del actuador según la máxima masa permitida que puede mover, considerando la masa acoplada al carril y la masa que se adiciona por el sistema de succión de vacío (las tarrinas). Además de también considerar fuerzas de alimentación del actuador y la carrera necesitada. (Festo)

### **2.10.3 Selección de Actuadores neumáticos Lineales**

Para la selección del actuador lineal se recomienda que sea neumático debido a que es una empresa alimenticia, además de que manejan una considerable carga y tienen alta rapidez de operación. La presión del sistema de aire comprimido es de 6 bar como lo recomienda la norma ISO 8778 y con la cual se trabaja en la empresa.

La selección del diámetro del émbolo se obtuvo mediante gráficas dependiendo de la dirección de la fuerza, es decir, si esta es con la dirección del émbolo o de manera transversal. Pero en este proyecto los actuadores neumáticos del diseño del sistema estaban expuestos a una fuerza transversal, por lo que al escoger un modelo que tenga la carrera apropiada que se necesitaba, en el catálogo de este se presentaban diagramas de fuerza transversal en función de la carrera y con esto se seleccionó el diámetro del émbolo.

En la Tabla 2.10 se puede ver las normas aplicables a los actuadores según el diámetro del émbolo, además de ver la desviación admisible de la carrera.

**Tabla 2. 10. Normas ISO aplicable para cilindros neumáticos según diámetro de émbolo y carrera. Fuente: Festo**

| Norma aplicable | Diámetro del émbolo [mm] | Carrera [mm]  | Desviación admisible de la carrera [mm] |
|-----------------|--------------------------|---------------|---|
| ISO 6432        | 8, 10, 12, 16, 20, 25    | 0 ... 500     | +1,5                                    |
| ISO 15552       | 32                       | 0 ... 500     | +2                                      |
|                 | 40, 50                   | 500 ... 12500 | +3,2                                    |
|                 | 63                       | 0 ... 500     | +2                                      |
|                 | 80, 100                  | 500 ... 12500 | +4                                      |
|                 | 125, 160                 | 0 ... 500     | +4                                      |
|                 | 200, 250, 320            | 500 ... 2000  | +5                                      |
| ISO 21287       | 20, 25                   | 0 ... 500     | +1,5                                    |
|                 | 32, 40, 50               | 0 ... 500     | +2                                      |
|                 | 63, 80, 100              | 0 ... 500     | +2,5                                    |

Una vez obtenido el diámetro del émbolo, longitud de carrera y norma ISO aplicable, se procedió a hacer uso de la herramienta que se puede encontrar en la página de Festo en donde se encuentra un software en línea que al ingresar los datos mencionados nos recomendaba un actuador neumático junto con los respectivos accesorios. Seleccionado el actuador se buscó en la hoja técnica del producto el diámetro del vástago y se calculó su consumo de aire según catálogo de Festo.

Para el consumo de aire por avance  $Q_a$  se calculó con la ecuación 2.5:

$$Q_a = \frac{\pi}{4} (d_1^2) h (p + 1) 10^{-6} \quad (2.5)$$

Para el consumo de aire por retroceso  $Q_r$  se calculó con la ecuación 2.6:

$$Q_r = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) h (p + 1) 10^{-6} \quad (2.6)$$

Donde:

$Q$ : Consumo de aire por cm de carrera [l]

$d_1$ : Diámetro del émbolo [mm]

$d_2$ : Diámetro del vástago [mm]

$h$ : Carrera [mm]

$p$ : Presión relativa de funcionamiento [bar]

Por tanto, el consumo de aire total es la suma del consumo de aire por avance y por retroceso. Se calculó con la ecuación 2.7:

$$Q_t = Q_a + Q_r \quad (2.7)$$

### 2.10.4 Selección Actuador eléctrico para alineación de tarrina

Según el catálogo de Festo, para la selección del actuador eléctrico accionado por husillo, primero se debió elegir el tipo de husillo. El fabricante (Festo), recomienda que para aplicaciones de multiposición y de bajo soporte de carga se utilice husillos de bolas.

Luego de esto, con la fuerza transversal que soporta el actuador y la carrera que realiza, se determinaron el diámetro del vástago y la serie correspondiente, utilizando el diagrama mostrado en la Figura 2.16, a continuación (Festo).

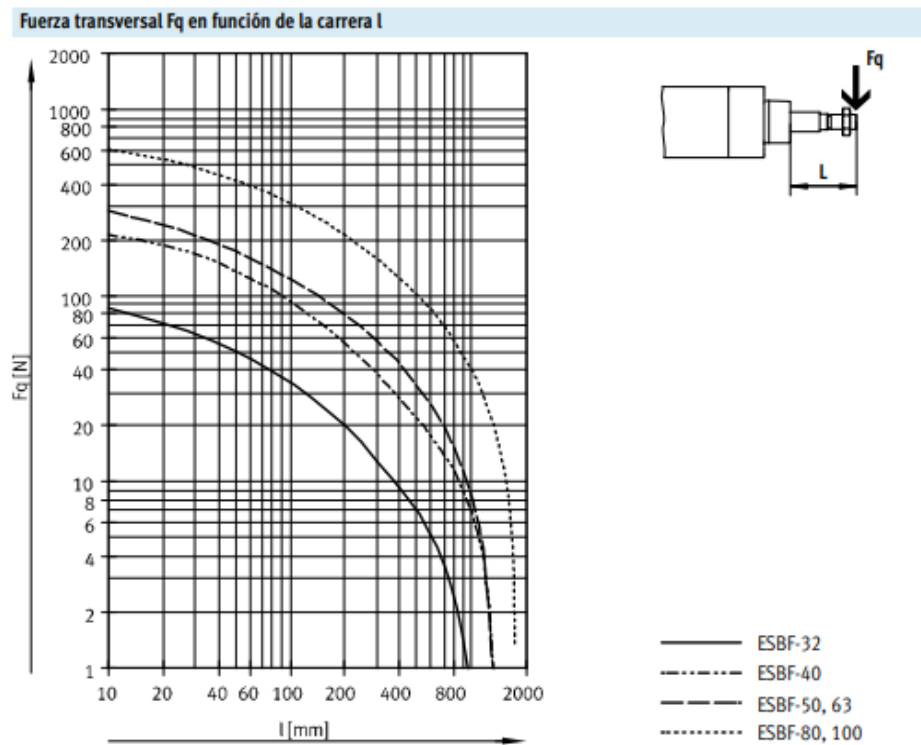


Figura 2. 16. Diagrama Fuerza transversal - Carrera para cilindro eléctrico.  
Fuente: Festo

Para calcular la fuerza transversal, fue necesario conocer la carga directa que va a soportar el actuador, que en este caso sería el brazo articulado. Para obtener el peso ejercido de dicho brazo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$W = \rho * g * V \quad (2.8)$$

Donde:

$W$ : Peso del brazo articulado [N]

$\rho$ : Densidad del material del brazo [Kg/m<sup>3</sup>]

$g$ : Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$V$ : Volumen del brazo [m<sup>3</sup>]

Para este caso particular se tiene que:

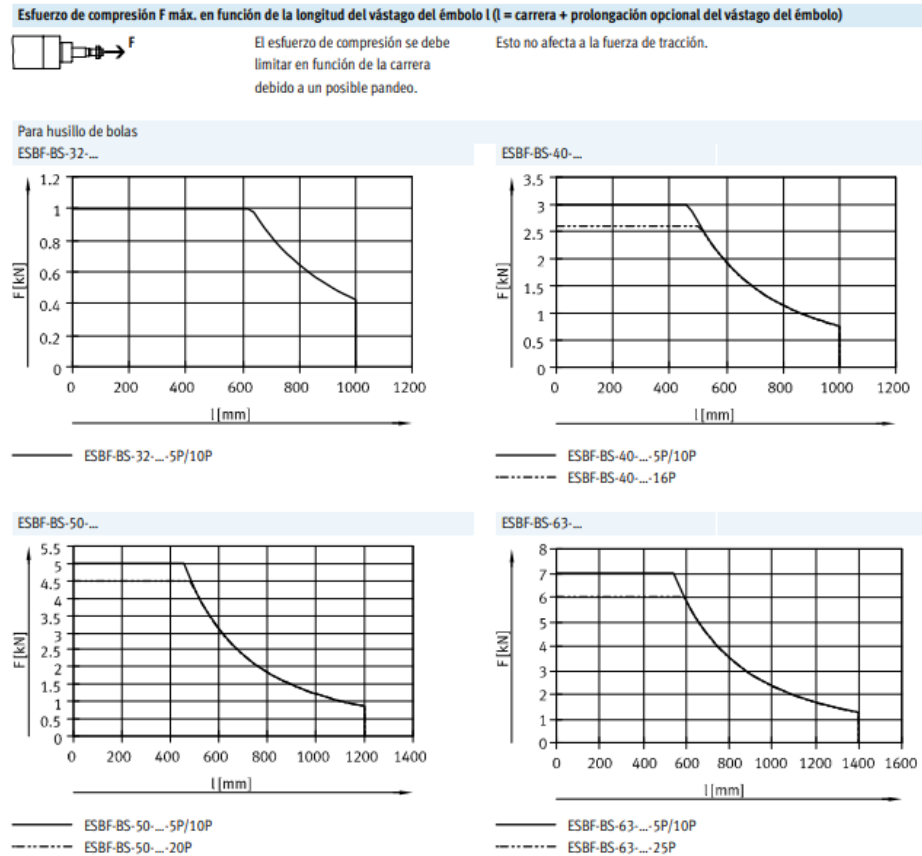
$$F_q = W \quad (2.9)$$

Donde:

$F_q$ : Fuerza transversal

$W$ : Peso del brazo

A continuación, se verificó que el cilindro no sufra un posible pandeo, para esto, Festo en su catálogo muestra un diagrama (Figura 17), en el que evalúa la fuerza de compresión del cilindro con la carrera máxima permisible.



**Figura 2. 17. Diagrama Fuerza de compresión - Carrera del vástago. Fuente: Festo**

Para determinar la fuerza de compresión que sufre el vástago del cilindro, se identificó las cargas con las que se está interactuando. En este caso, el cilindro debe ser capaz de mover el brazo articulado más 3 tarrinas de margarina a la vez. Para esto, se utiliza la siguiente ecuación:

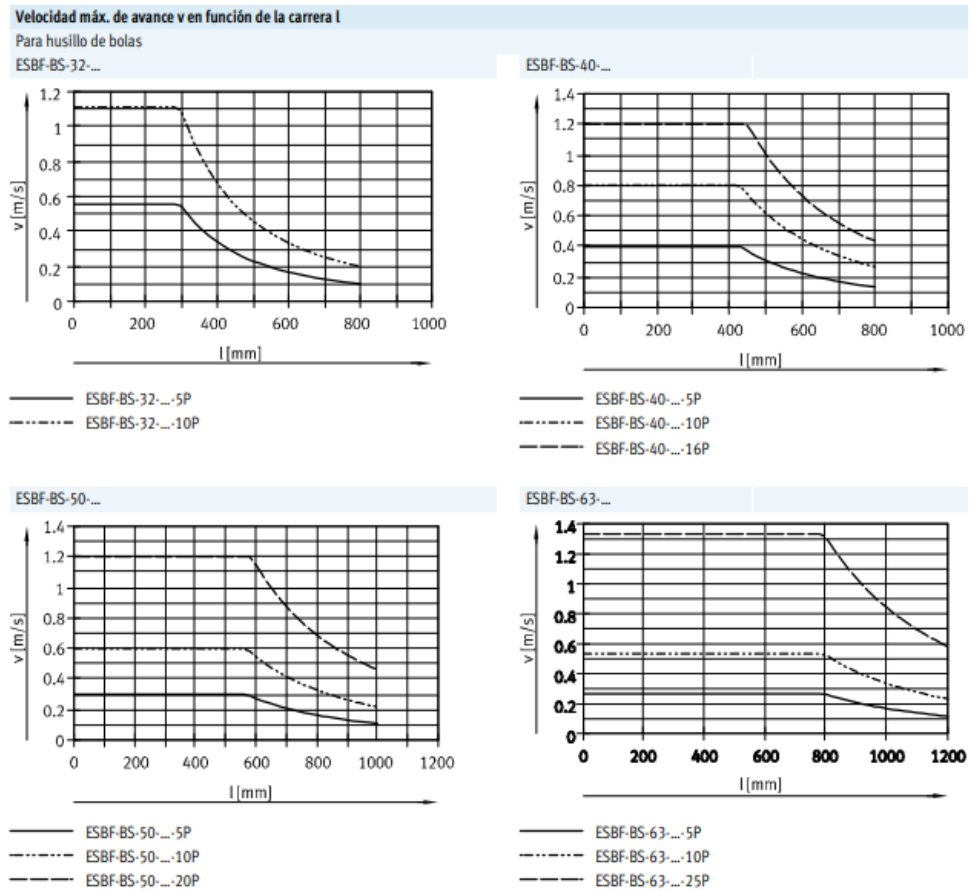
$$F = (3 * W_t) + W \quad (2.10)$$

$F$ : Fuerza de compresión [N]

$W_t$ : Peso de tarrina de margarina [N]

$W$ : Peso del brazo [N]

Finalmente, usando el diagrama mostrado en la Figura 2.18, se determina la velocidad máxima de avance en función de la carrera del cilindro. (Festo)

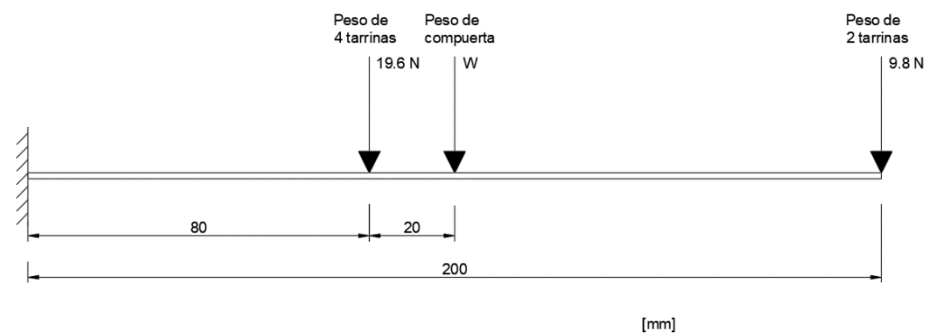


**Figura 2. 18. Diagrama de velocidad máxima de avance - Carrera del vástago. Fuente: Festo**

### 2.10.5 Sistema de Compuerta

Las tarrinas deben entrar a la caja en un arreglo de 4x3, y considerando el diámetro de la tapa de 12 cm, se tiene que el área de las tarrinas es de 48x36 cm, teniendo justamente las medidas internas de la caja. Por lo que, para el diseño de la compuerta se consideró una placa de acero galvanizado debido a que es una industria alimenticia, con medidas aproximadas a las mencionadas, es decir de 500x400 mm.

Para asegurar que la selección de el espesor fuera aceptable se realizó un cálculo de deflexión de la placa, considerando que a un extremo está empotrada y el peso de las tarrinas se consideran como fuerzas puntuales como se puede ver en un diagrama simplificado en la Figura 2.19.



**Figura 2. 19. Diagrama simplificado de la compuerta**

La deflexión de la tarrina depende de la posición de la fuerza, donde se tiene tres casos de deflexión. Las fórmulas para estas deflexiones se pueden obtener del libro de Shigley:

- Para la deflexión por peso de las tarrinas a un extremo se utiliza la ecuación 2.11:

$$\Delta_1 = \frac{PL^3}{3EI} \quad (2.11)$$

- Para la deflexión por peso de las tarrinas a una distancia se utiliza la ecuación 2.12:

$$\Delta_2 = \frac{Pa^3}{6EI} (3L - a) \quad (2.12)$$

- Para la deflexión por peso de la compuerta, considerándola en la mitad, se utiliza la ecuación 2.13:

$$\Delta_3 = \frac{5PL^3}{48EI} \quad (2.13)$$

Donde:

$P$ : carga puntual [N]

$L$ : longitud [m]

$E$ : Módulo de elasticidad [Pa]

$I$ : Inercia [m<sup>4</sup>]

Se obtuvo el valor del módulo de elasticidad del acero igual a 200GPa del libro de Shigley, y la inercia se calculó con la ecuación 2.14 para un área transversal rectangular:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 \quad (2.14)$$

Donde:

$b$ : ancho [m]

$h$ : altura o espesor [m]

La deflexión total  $\Delta_T$  de la compuerta es la suma de las tres deflexiones calculadas con la ecuación 2.10, 2.11 y 2.12, y se obtuvo con la ecuación 2.15:

$$\Delta_T = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \quad (2.15)$$

### 2.10.6 Selección de actuador giratorio

Para el movimiento de la compuerta se consideró el uso de un actuador giratorio conectado por medio de un acople a la placa de acero galvanizado, el cual se diseñó por forma de tal manera que se acople al actuador por chaveta y a la placa por una pasante.

El actuador giratorio se seleccionó en base al ángulo de giro y al momento de inercia de la masa que movía, cuyo momento de inercia consideró a la compuerta como una placa rectangular con eje de giro en un extremo y se calculó con la ecuación 2.16:

$$I = \frac{1}{3}ml^2 \quad (2.16)$$

Donde:

$I$ : Momento de inercia de masa [kg.m<sup>2</sup>]

$l$ : longitud desde el eje de giro hasta el extremo [m]

$m$ : masa de compuerta [kg]

Siendo la masa de la compuerta calculada con la ecuación 2.17:

$$m = \rho V \quad (2.17)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

$V$ : Volumen [m<sup>3</sup>]

### 2.10.7 Diseño de Banda Transportadora

Se realizó el diseño de la banda transportadora, siendo dos, una para que la caja pase por el empaquetado y otra inclinada para subir a la selladora de cajas. Se asume que es la misma para ambas. Para la selección de la banda se toma en consideración la Norma DIN 22101, la cual nos indicó como calcular el diámetro mínimo del tambor de accionamiento para bandas textiles con la ecuación 2.18:

$$D = \frac{360 F}{P \pi \alpha \beta} \quad (2.18)$$

Donde:

$D$ : Diámetro de tambor matriz [m]

$F$ : Fuerza de accionamiento de tambor matriz [Kg]

$P$ : Capacidad de transmisión tambor banda [Kg/m<sup>2</sup>]

$\alpha$ : Ángulo abrazado a tambor matriz [°]

$\beta$ : Ancho de banda [m]



Siendo el valor de  $P$  un valor estándar de  $1600 \text{ kg/m}^2$  dada en la norma DIN 22101, y la fuerza de accionamiento o de fricción se calculó con la ecuación 2.19:

$$F = \mu_T * W \quad (2.19)$$

Siendo el valor  $\mu_T$  el coeficiente de fricción, cuyo valor se obtuvo del catálogo de Forbo Movemente System y  $W$  el peso de todas las cajas sobre la banda transportadora.

La longitud de la banda se la calcula debido a su geometría y diámetros de tambores, mediante la ecuación 2.20:

$$L = 2d_t + \pi D \quad (2.20)$$

Donde:

$L$ : Longitud de banda [m]

$d_t$ : Distancia entre tambores de banda [m]

$D$ : Diámetro de tambor [m]

El valor de  $d_t$  se asume considerando el espacio necesario para que la caja se empaque. Para la potencia de accionamiento del motor se calculó con la ecuación 2.21:

$$P = \frac{Fv}{\eta} \quad (2.21)$$

Donde:

$P$ : Potencia de motor [W]

$F$ : fuerza de accionamiento para transporte de caja [N]

$v$ : velocidad de banda [m/s]

$\eta$ : eficiencia de transmisión

Se recomienda que para bandas de tipo textil o lisa la inclinación sea menor o igual a  $20^\circ$  (Habasit Holding)

### 2.10.8 Selección de perfiles para estructura

En varias partes del sistema, como son en la zona de empaquetado y en la zona alineación de tarrinas, hay elementos que soportan cargas de flexión, por lo que se calculó el módulo de resistencia con la ecuación 2.22:

$$W = \frac{\eta * M}{S_y} \quad (2.22)$$

Donde

$W$ : Módulo de resistencia [ $m^3$ ]

$\eta$ : Factor de seguridad. Se consideró un valor de 4

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material [Pa]

$M$ : Momento [N.m]

La resistencia a la fluencia es de 250 MPa según en el libro de Norton (2012) y se asume un factor de seguridad de 4. El momento se calculó con ayuda de un software en línea al colocar las condiciones a las que se encuentre el perfil. Una vez calculado  $W$ , se buscó en la tabla del perfil escogido de la página de alguna empresa metalera, uno con un valor igual o mayor a este.

### 2.10.9 Análisis de Soldadura

La estructura es en su mayoría soldada entre sí, por lo que se realizó un análisis de soldadura en las áreas más críticas, considerando a la soldadura como línea. Dependiendo del contorno de la soldadura se tiene los factores geométricos como se ve en la Figura 2.20 el cual en este proyecto se consideró soldadura en todo el contorno, y la carga por espesor de soldadura se relaciona con el esfuerzo al que se encuentra sometido como se observa en la Figura 2.21.

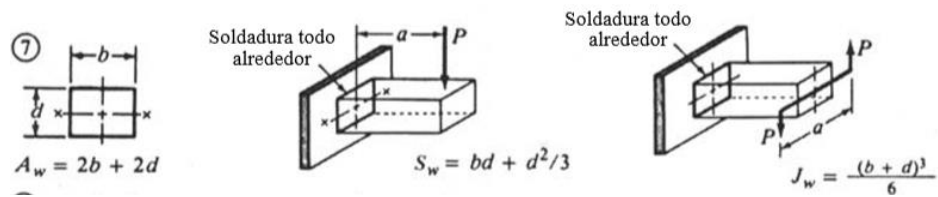


Figura 2. 20. Factores geométricos para analizar la soldadura como una línea. Fuente: Norton,2012

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| tensión o compresión directa | $f_n = \frac{P}{A_w}$  |
| cortante directo             | $f_s = \frac{V}{A_w}$  |
| flexión                      | $f_b = \frac{M}{S_w}$  |
| torsión                      | $f_t = \frac{Tc}{J_w}$ |

Figura 2. 21. Carga por longitud  $t$  de la garganta según esfuerzo sobre soldadura. Fuente: Norton, 2012

Una vez calculado todas las cargas se sumaron de forma geométrica para obtener la carga máxima o fuerza resultante  $F_r$ , y con la ecuación 2.23 se obtuvo el espesor de soldadura:

$$t = \frac{F_r}{0.3S_{ut}} \quad (2.23)$$

Donde:

$S_{ut}$ : Esfuerzo último de la soldadura.

$F_r$ : fuerza resultante

La soldadura se escogió considerando que es para acero galvanizado y tenga un  $S_{ut}$  igual o menor al material. Luego, se comparó con la Tabla 2.11 para corroborar si el tamaño de la soldadura es adecuado.

**Tabla 2. 11. Tamaño mínimo de soldadura en filete. Fuente AWS D1.1**

| Espesor del metal base (T) | Tamaño mínimo de la soldadura |
|----------------------------|-------------------------------|
| <u>tamaño en pulgadas</u>  |                               |
| $T \leq 1/4$               | 1/8                           |
| $1/4 < T \leq 1/2$         | 3/16                          |
| $1/2 < T \leq 3/4$         | 1/4                           |
| $3/4 < T$                  | 5/16                          |
| <u>tamaños en mm</u>       |                               |
| $T \leq 6$                 | 3                             |
| $6 < T \leq 12$            | 5                             |
| $12 < T \leq 20$           | 6                             |
| $20 < T$                   | 8                             |

\* Fuente: tabla 5.8 AWS D1.1

#### **2.10.10 Consumo de aire para funcionamiento de equipo**

Al final de la selección de todos los componentes neumáticos, se calculó el consumo de aire de todos los sistemas neumáticos sumando el consumo por todos los actuadores lineales, los actuadores giratorios y el sistema de vacío para conocer el consumo de aire comprimido total del sistema, conociendo que hay una cantidad de dos actuadores neumáticos lineales (1 en zona de transporte de cajas y 1 en zona de empaquetado), dos actuadores giratorios (zona de empaquetado) y un generador de vacío con 12 ventosas y 2 m de tubería.

#### **2.10.11 Tiempo de proceso de empaquetado**

Se calculó un estimado del tiempo total de empaquetado con el uso de la tarrina de 250 g, ya que es la que necesita empaquetarse con 4 niveles, siendo el de mayor tiempo comparado con los 2 niveles para la de 500 g. Por lo que se resume en cuatro tiempos:

- Tiempo por actuador electromecánico
- Tiempo por actuador giratorio
- Tiempo por movimiento de las tarrinas
- Tiempo para succión de vacío

La suma de todos los tiempos debe ser tal que se obtenga el tiempo de empaquetado de una caja con 48 tarrinas de 250 g.

### **2.11 Simulación del diseño (Análisis de Elementos Finitos)**

Para comprobar el dimensionamiento del diseño se realizó un análisis a la estructural del diseño con el software Inventor (versión estudiantil).

Para esto, primero se activó la opción de análisis estructural en la pestaña de “*environments*”, luego se seccionó el ensamble y se excluyeron del estudio los elementos a los que no se les debe realizar el análisis estructural.

A continuación, se le asignó el material a cada pieza del ensamble, se utilizó acero galvanizado para toda la estructura. Luego, en la opción de “constraints” se colocaron las restricciones de puntos fijos o “bancada”, estas varían en función del elemento analizado.

Se colocaron las cargas respectivas en cada elemento y se realizó el mallado. Las configuraciones del mallado fueron las mismas independientemente del elemento a analizar, y estas fueron tamaño promedio 0.1, tamaño mínimo de 0.2, factor de rejilla 1.5 y con ángulo máximo de redondeo de 1.05 rad.

Finalmente se seleccionó la opción “simulate” y se mostraron los resultados para esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad para el ensamble.

### **2.12 Análisis de Costos**

Para la realización de la factibilidad del proyecto, primero se debió estimar el costo total de la máquina, en el cual se consideraron dos rubros el costo por la compra de todos los materiales y el costo por la manufactura, construcción y conexión de los equipos. Una vez obtenido el costo de la máquina se analizó su costo de mantenimiento y de operación. Luego, se consideró el costo de las personas que la máquina reemplazaría, y finalmente con todos estos costos se realizó un análisis de factibilidad.

Para estimar la tasa de descuento del proyecto, se utilizó la siguiente ecuación:

$$CAPM = R_f + B_u * (R_m - R_f) \quad (2.24)$$

Donde:

$R_f$ : Rentabilidad del activo libre de riesgo USA o tasa libre de riesgo

$B_u$ : Beta desapalancado

$R_m - R_f$ : Prima por riesgo de Mercado o diferencia entre el rendimiento esperado del mercado y la tasa libre de riesgo

Se procede a escoger  $R_m$  y  $R_f$ , en base a los datos históricos que se encuentran en la página de Damodaram. (Damodaram, 2018).

Para el cálculo de  $B_u$ , se debe seleccionar primero a que industria pertenece. En la página de Damodaram se obtiene el valor de Beta. (Damodaram, 2018).

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos, se analizan las dimensiones calculadas y los criterios de selección utilizados. Los componentes del sistema se dibujaron en software CAD (Asistente de Diseño Computacional) para una representación gráfica de la máquina tanto en 3D como en 2D, además de la elaboración de planos para su posterior construcción. Los resultados fueron basados en el caso más crítico, donde se utilizó la presentación de 500g.

### 3.1 Análisis de Resultados

#### 3.1.1 Zona de alineación de tarrinas

A continuación, en la Figura 3.1 se muestra el resultado del ensamble de la zona de alineación de las tarrinas, detallando cada uno de sus componentes en la tabla 3.1.

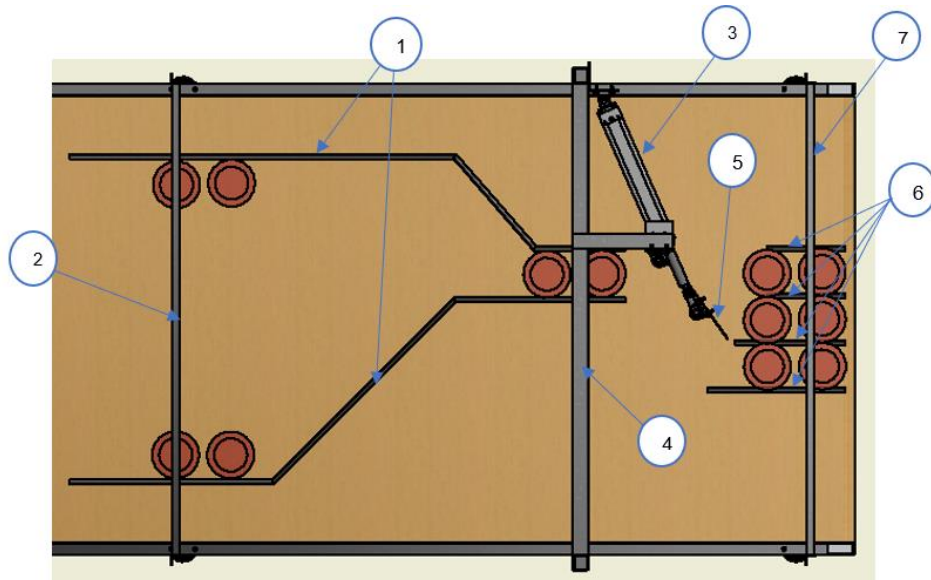


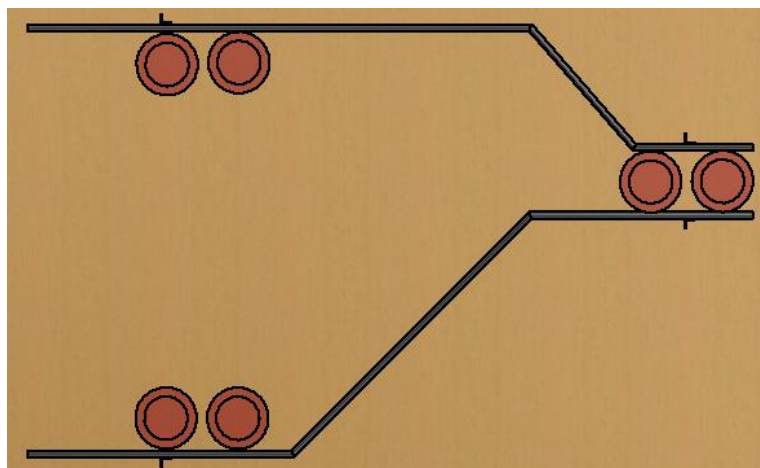
Figura 3. 1. Resultado de Zona de alineación de tarrinas

**Tabla 3. 1. Descripción de cada elemento del ensamble en la zona de alineación de tarrinas.**

| Número | Descripción                                  |
|--------|--|
| 1      | Guías para orientación de tarrinas (Entrada) |
| 2      | Estructura de soporte para guías (Entrada)   |
| 3      | Actuador cilíndrico eléctrico                |
| 4      | Estructura de soporte para actuador          |
| 5      | Brazo articulado para alineación             |
| 6      | Guías para orientación de tarrinas (Salida)  |
| 7      | Estructura de soporte para guías (Salida)    |

### 3.1.1.1 Selección de guías de orientación

Para la selección de las guías de orientación de las tarrinas (Figura 3.2), tanto para entrada como la salida, se las seleccionó únicamente por forma y geometría, debido a que estas no soportan ninguna carga en particular y solo funcionan como carriles para la orientación de las tarrinas. Por lo tanto, se utilizó una barra cuyo diámetro sea lo más aproximado a ½" en el mercado local. Según el catálogo de DIPAC, la que más se aproxima a este valor es la VRL 12 (Tabla 3.2), cuyo diámetro de 12 mm y su material que es acero galvanizado bajo norma ASTM A36.



**Figura 3. 2. Guías de orientación de tarrinas**

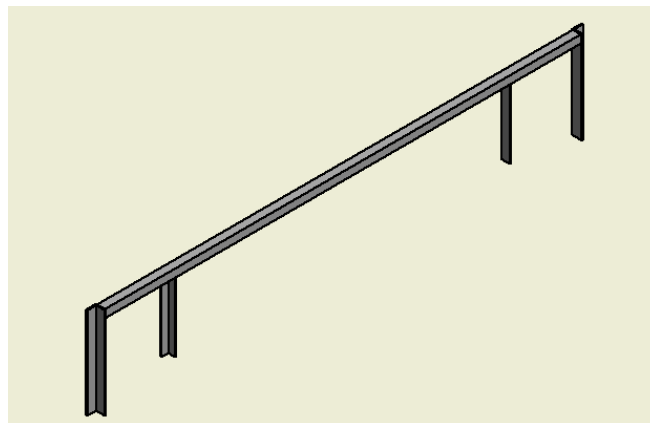


**Tabla 3. 2. Tabla de barra redonda lisa. Fuente: DIPAC**

| Denominación | Diámetro |      | Peso  |                 | Área |
|--------------|----------|------|-------|-----------------|------|
|              | D        | kg/m | kg/6m | cm <sup>2</sup> |      |
| VRL 5,5      | 5.5      | 0.34 | 2.04  | 0.43            |      |
| VRL 8        | 8.0      | 0.50 | 2.96  | 0.63            |      |
| VRL 10       | 10.0     | 0.62 | 3.70  | 0.79            |      |
| VRL 12       | 12.0     | 0.89 | 5.33  | 1.13            |      |
| VRL 15       | 15.0     | 1.39 | 8.32  | 1.77            |      |
| VRL 18       | 18.0     | 2.00 | 11.98 | 2.55            |      |
| VRL 22       | 22.0     | 2.98 | 17.90 | 3.80            |      |
| VRL 24,5     | 24.0     | 3.70 | 22.20 | 4.71            |      |

### 3.1.1.2 Estructura de soporte para guías

Para determinar las dimensiones de la estructura de soporte ya sea la superior o inferior, como se muestra en la Figura 3.3, se realizó un análisis de flexión, cuyas únicas cargas son el peso de las guías, colocadas a una distancia de 186 mm desde un extremo hacia el centro de la guía.

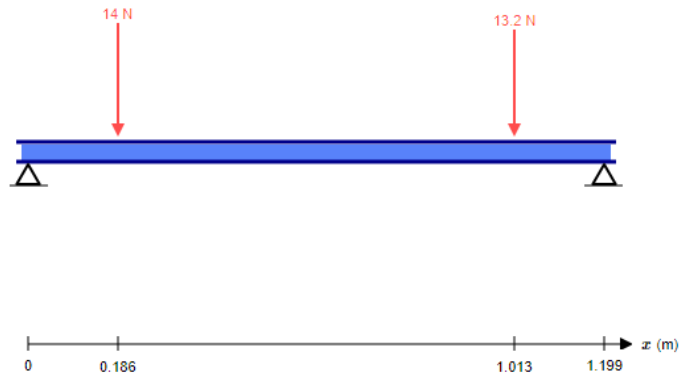


**Figura 3. 3. Estructura de soporte para guías**

La densidad lineal de cada guía, obtenido del catálogo DIPAC, es de 0.89 Kg/m. Por lo tanto, el peso de cada una sería:

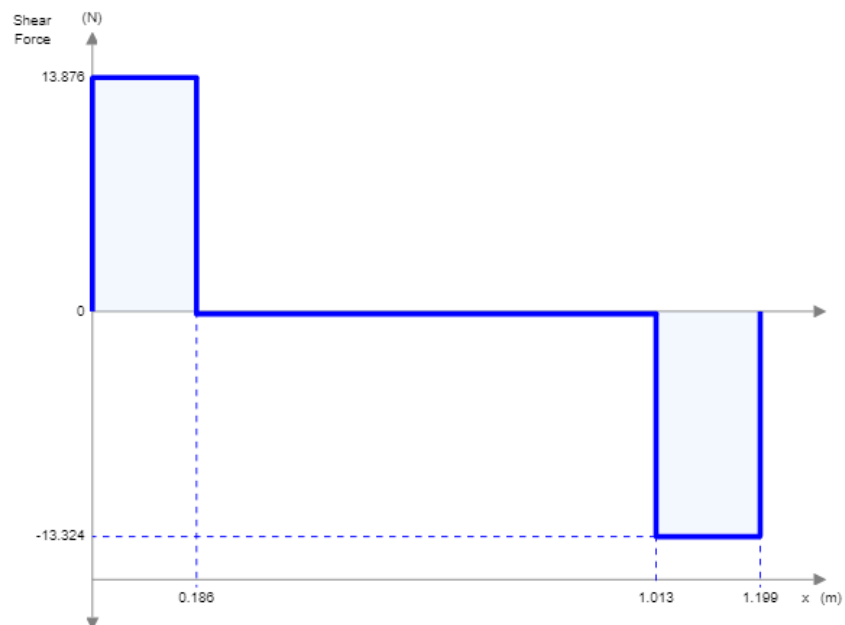
- Guía Superior: 14 [N]
- Guía Inferior: 13.2 [N]

Luego, con la ayuda de un software libre (SkyCiv) se dibujó el diagrama de cuerpo libre con cada una de las fuerzas actuando como se muestra en la Figura 3.4.

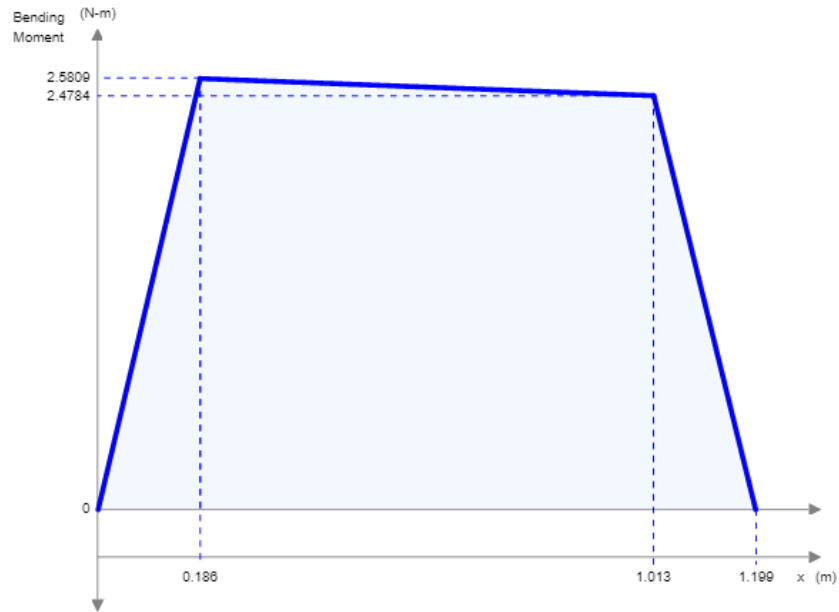


**Figura 3. 4. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: SkyCiv**

Luego, con la ayuda del mismo software se obtuvieron los diagramas de fuerza cortante, mostrado en la Figura 3.5 y momento flector, mostrado en la Figura 3.6.



**Figura 3. 5. Diagrama de Fuerza Cortante. Fuente: SkyCiv**



**Figura 3. 6. Diagrama de Momento flector. Fuente: SkyCiv**

De la Figura 3.6, se obtiene el momento flector máximo, de 2.58 N-m, usando factor de seguridad de 4 y sabiendo que la resistencia a la fluencia es de 250 MPa Norton (2012). Se calcula el módulo de resistencia, con la ecuación 2.22:

$$W = \frac{\eta * M}{S_y} = \frac{4 * 2.58}{250 * 10^6} = 41.28 * 10^{-9} m^3 = 0.0413 cm^3$$

Luego, del catálogo de IPAC se seleccionó un perfil estructural cuadrada cuyo material sea acero galvanizado, fabricado en base a la Norma INEN 2415. Como la fuerza es pequeña, el módulo de resistencia resulta insignificante, por lo que, según la Tabla 3.3, cualquier tamaño del perfil cumple los requerimientos.

Se seleccionó un perfil de 40 x 40 x 2 mm (sombreado en azul), para mantener un tamaño estándar respecto a los demás elementos de la máquina.

**Tabla 3. 3. Tabla de Perfil estructural cuadrado. Fuente: IPAC**

| Designaciones |      | Área            | Peso | Propiedades Estáticas |                       |               |
|---------------|------|-----------------|------|-----------------------|-----------------------|---------------|
|               |      |                 |      | Eje x-x = y-y         |                       |               |
|               |      |                 |      | Momento de inercia    | Módulo de resistencia | Radio de giro |
| B             | e    | A               | P    | I                     | W                     | i             |
| mm            | mm   | cm <sup>2</sup> | kg/m | cm <sup>4</sup>       | cm <sup>3</sup>       | cm            |
| 20            | 1,40 | 0,99            | 0,78 | 0,56                  | 0,56                  | 0,75          |
|               | 1,50 | 1,05            | 0,83 | 0,58                  | 0,58                  | 0,75          |
|               | 1,80 | 1,23            | 0,96 | 0,66                  | 0,66                  | 0,73          |
|               | 2,00 | 1,34            | 1,05 | 0,70                  | 0,70                  | 0,72          |
| 25            | 1,40 | 1,27            | 1,00 | 1,16                  | 0,93                  | 0,95          |
|               | 1,50 | 1,35            | 1,06 | 1,22                  | 0,97                  | 0,95          |
|               | 1,80 | 1,59            | 1,25 | 1,39                  | 1,11                  | 0,94          |
|               | 2,00 | 1,74            | 1,36 | 1,49                  | 1,19                  | 0,93          |
| 30            | 1,40 | 1,55            | 1,22 | 2,08                  | 1,39                  | 1,16          |
|               | 1,50 | 1,65            | 1,30 | 2,20                  | 1,47                  | 1,15          |
|               | 1,80 | 1,95            | 1,53 | 2,53                  | 1,68                  | 1,14          |
|               | 2,00 | 2,14            | 1,68 | 2,73                  | 1,82                  | 1,13          |
| 40            | 1,40 | 2,11            | 1,66 | 5,18                  | 2,59                  | 1,57          |
|               | 1,50 | 2,25            | 1,77 | 5,49                  | 2,75                  | 1,56          |
|               | 1,80 | 2,67            | 2,09 | 6,39                  | 3,19                  | 1,55          |
|               | 2,00 | 2,94            | 2,31 | 6,95                  | 3,47                  | 1,54          |
|               | 2,50 | 3,59            | 2,82 | 8,23                  | 4,12                  | 1,51          |
| 50            | 3,00 | 4,21            | 3,30 | 9,36                  | 4,68                  | 1,49          |
|               | 4,00 | 5,35            | 4,20 | 11,18                 | 5,59                  | 1,45          |
|               | 1,40 | 2,67            | 2,10 | 10,42                 | 4,17                  | 1,97          |
|               | 1,50 | 2,85            | 2,24 | 11,07                 | 4,43                  | 1,97          |
|               | 1,80 | 3,39            | 2,66 | 12,95                 | 5,18                  | 1,96          |
|               | 2,00 | 3,74            | 2,93 | 14,15                 | 5,66                  | 1,95          |
| 60            | 2,50 | 4,59            | 3,60 | 16,96                 | 6,78                  | 1,92          |
|               | 3,00 | 5,41            | 4,25 | 19,50                 | 7,80                  | 1,90          |
|               | 4,00 | 6,95            | 5,45 | 23,84                 | 9,54                  | 1,85          |
|               | 1,50 | 3,45            | 2,71 | 19,52                 | 6,51                  | 2,38          |
|               | 1,80 | 4,11            | 3,22 | 22,95                 | 7,65                  | 2,36          |
| 75            | 2,00 | 4,54            | 3,56 | 25,15                 | 8,38                  | 2,35          |
|               | 2,50 | 5,59            | 4,39 | 30,36                 | 10,12                 | 2,33          |
|               | 3,00 | 6,61            | 5,19 | 35,17                 | 11,72                 | 2,31          |
|               | 4,00 | 8,55            | 6,71 | 43,65                 | 14,55                 | 2,26          |
|               | 5,00 | 10,49           | 8,06 | 54,93                 | 18,25                 | 2,21          |

### 3.1.1.3 Brazo articulado

Para el dimensionamiento del brazo articulado de alineación de las tarrinas, se lo realizó únicamente por requerimientos de forma, debido a que solo sirve de guía y no interactúa con ninguna fuerza significativa. La geometría es tal que me permita el paso de 2 tarrinas a la vez y su altura no interfiera con ningún otro elemento de la máquina.

Del catálogo de IPAC mostrado en la tabla 3.4, se seleccionó la placa de acero galvanizado, cumpliendo la norma ASTM A36 y la INEN que cumple con las siguientes dimensiones: 0.3 x 0.18 x 0.002 m. Se eligió la opción

más cerca, la cual fue de 1.2 x 2.4 x 0.002 m, esto implica que se debe cortar la plancha, a las dimensiones mencionadas inicialmente.

**Tabla 3. 4. Tabla de Planchas de acero estructural**

| Ancho | Largo | Espesor | Peso Aprox. | Calidad    |
|-------|-------|---------|-------------|------------|
| mm    | mm    | mm      | kg.         |            |
| 1000  | 2000  | 0,70    | 10,99       | Embutición |
| 1000  | 2000  | 0,90    | 14,13       |            |
| 1000  | 2000  | 1,10    | 17,27       |            |
| 1000  | 2000  | 1,40    | 21,98       |            |
| 1220  | 2440  | 0,40    | 9,35        | Comercial  |
| 1220  | 2440  | 0,45    | 10,52       |            |
| 1220  | 2440  | 0,50    | 11,68       |            |
| 1220  | 2440  | 0,60    | 14,02       |            |
| 1220  | 2440  | 0,70    | 16,36       |            |
| 1220  | 2440  | 0,75    | 17,52       |            |
| 1220  | 2440  | 0,90    | 21,03       |            |
| 1220  | 2440  | 1,10    | 25,70       |            |
| 1220  | 2440  | 1,40    | 32,72       |            |
| 1220  | 2440  | 2,00    | 46,74       |            |

#### 3.1.1.4 Selección de actuador cilíndrico eléctrico

Cómo se mencionó en el capítulo 2, se seleccionó un actuador cilíndrico eléctrico accionado por husillo de bolas, debido al sistema multiposición que se requiere, obtenido del catálogo de Festo. Para esto, primero se calcula la fuerza transversal que soporta el actuador, usando la combinación de las ecuaciones 2.8 y 2.9

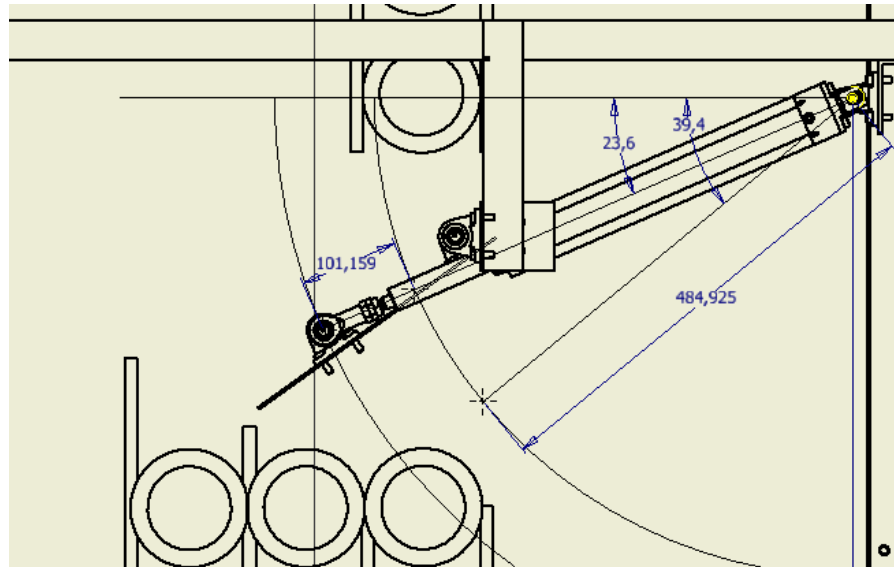
$$F_q = W = \rho * g * V$$

$$F_q = 7860 * 9.8 * (0.3 * 0.18 * 0.002)$$

$$F_q = 8.32 [N]$$

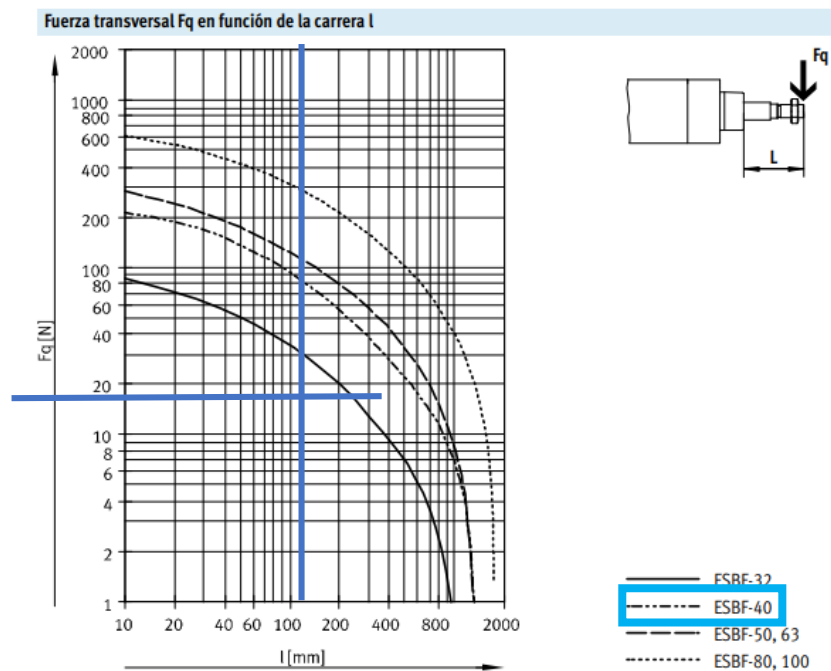
Usando un factor de seguridad de 2, se tiene finalmente una fuerza de  $F_q = 17 [N]$ .

Luego, para determinar la carrera del actuador, se utilizó un método gráfico, como se muestra en la Figura 3.7.



**Figura 3. 7. Método gráfico (carrera del actuador)**

De aquí se obtuvo que la carrera máxima ( $l$ ) del actuador se estaba dada por la suma de  $101.159 + 489.925 = 592$  mm.



**Figura 3. 8. Diagrama de Fuerza transversal – Carrera. Fuente: Festo.**

Según el catálogo de Festo. Con los valores de la Fuerza transversal  $F_q$  y la carrera máxima del actuador  $l$ , mediante el diagrama de la Figura 3.8, mencionada en el capítulo 2, se obtuvo la serie ESBF-40, cuyo diámetro de vástago es de 40 mm. (Festo).

Luego, por seguridad se verificó que el cilindro no sufre pandeo debido a la carga axial que debe soportar. Con la ayuda de la ecuación 2.10 se determinó la fuerza de compresión.

$$F = (3 * W_t) + W$$

$$F = (3 * 2 * 0.5 * 9.8) + 8.32$$

$$F = 38[N]$$

Usando un factor de seguridad de 4, se tiene que la fuerza de compresión finalmente es de  $F = 152 [N] = 0.15 [KN]$ .

Con la fuerza de compresión y la carrera, se observa en la gráfica 3.9, cómo el cilindro al encontrarse en el área bajo la curva no sufre pandeo. (Festo)

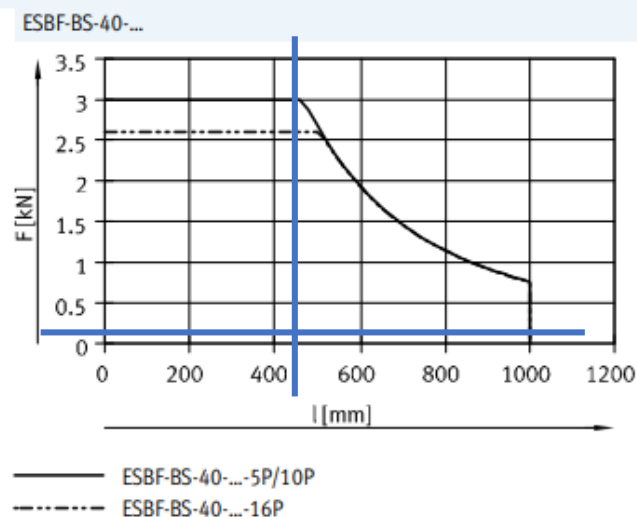


Figura 3. 9. Diagrama de Fuerza de compresión – Carrera (ESBF-40).

Fuente: Festo.

Finalmente, del gráfico 3.10 se obtuvo la velocidad máxima de avance del cilindro en función de la carrera, la cual es de  $v = 0.5 \text{ [m/s]}$  (Festo).

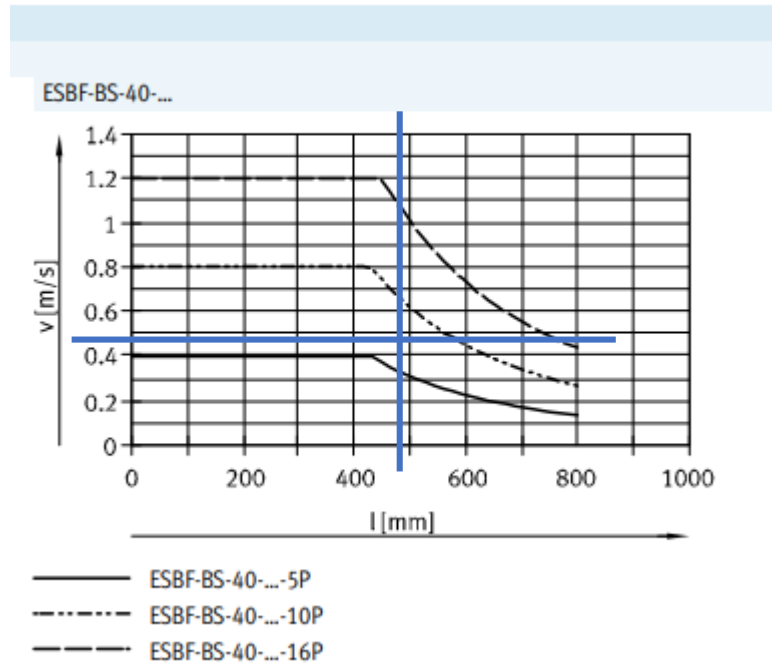
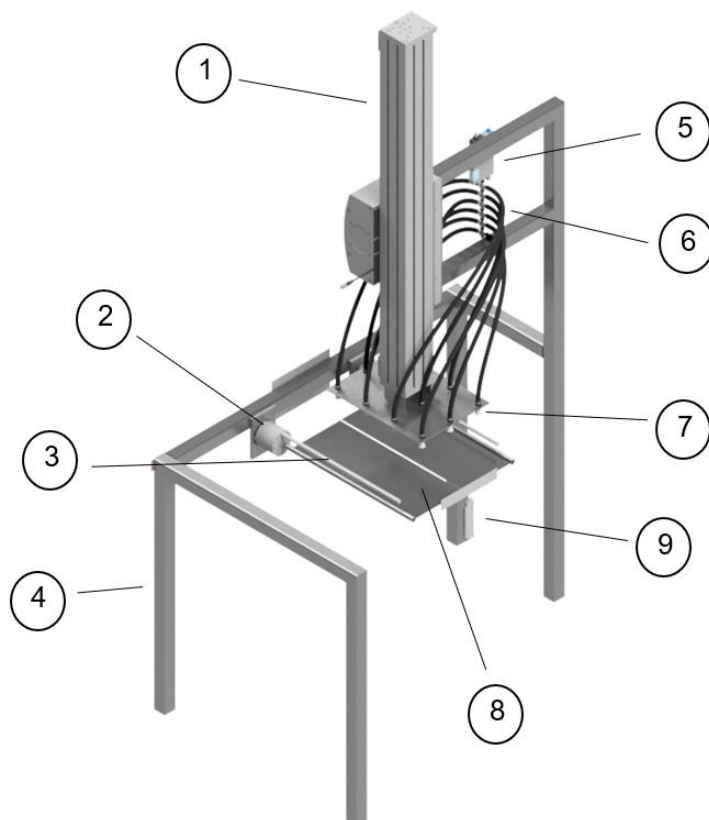


Figura 3. 10. Diagrama Fuerza de velocidad máxima de avance - Carrera del vástago (ESBF-40). Fuente: Festo

### 3.1.2 Zona de empaquetado de tarrinas

En el empaquetado de tarrinas se realizaron los siguientes cálculos acorde a los componentes que se ve en la Figura 3.11 y descritos en la Tabla 3.5:





**Figura 3. 11. Zona de empaquetado.**

**Tabla 3. 5. Descripción de cada elemento del ensamble en la zona de empaquetado de tarrinas**

| Número | Descripción                         |
|--------|-------------------------------------|
| 1      | Actuador electromecánico            |
| 2      | Actuador giratorio                  |
| 3      | Guías para orientación de tarrinas  |
| 4      | Estructura de soporte para actuador |
| 5      | Generador de vacío                  |
| 6      | Tuberías y racor para conexión      |
| 7      | Ventosas de vacío                   |
| 8      | Compuertas                          |
| 9      | Actuador para paro de tarrinas      |

### 3.1.2.1 Sistema de succión de vacío

Para la selección de la ventosa, primero se calculó la fuerza de levantamiento, donde se considera el peso de una tarrina de 500 g y una aceleración de movimiento de  $0.25 \text{ m/s}^2$ .

La fuerza de levantamiento de la ventosa se calculó con la ecuación 2.1:

$$F = m (a_g + a) S = 0.5 * (9.8 + 0.25) * 2 = 10.05 \text{ N}$$

Ahora se calculó el diámetro de la ventosa con la ecuación 2.2.:

$$d = 35.7 \sqrt{\frac{F}{P_v n}} = 35.7 \sqrt{\frac{10.05}{71.1 * 1}} = 13.4 \text{ mm}$$

### Ventosas de sujeción por vacío ESG, ventosa de Ø 20/30/40/50 mm, oval

FESTO

Ficha técnica tamaño de soporte 4

#### Tamaño de soporte 4

para diámetro de ventosa de 20/30/40/50 mm y tamaño ventosa 4x10/4x20/6x10/6x20/8x20/8x30/10x30 mm

#### Forma de la ventosa:

- Redonda, plana
- Redonda, profunda
- Redonda, fuelle de 1,5 pliegues
- Redonda, fuelle de 3,5 pliegues
- Redonda, profunda
- Oval, plana



| Datos técnicos generales – Ventosa con rosca de fijación S/E/B/C/G   |   | Hojas de datos → Internet: ess |       |            |              |
|--|---|--------------------------------|-------|------------|--------------|
| Forma de la ventosa  |   | Diámetro de la ventosa [mm]    |       |            |              |
|  |   | 20                             | 30    | 40         | 50           |
| <b>S – redonda, plana: material FPM, NBR, BR, VMQ (silicona), PUR</b>  |   |                                |       |            |              |
|  | Conexión soporte para ventosas con rosca de fijación                | M6                             | M6    | M6         | M6           |
|  | Diámetro nominal [mm]   | 3                              | 3     | 3          | 3            |
|  | Fuerza de retención con presión de servicio nominal de -0,7 bar [N] | 16,3                           | 40,8  | 69,6       | 105,8        |
|  | Volumen de las ventosas [cm³]                                       | 0,318                          | 0,867 | 1,566      | 2,387        |
|  | Radio mínimo de las piezas [mm]                                     | 60                             | 110   | 230        | 330          |
| Peso [g]   | 6,4   | 9                              | 16,3  | 22         |              |
| <b>E – redonda, extraprofunda: material FPM, NBR, VMQ (silicona), PUR</b>  |   |                                |       |            |              |
|  | Conexión soporte para ventosas con rosca de fijación                | M6                             | M6    | M6         | M6           |
|  | Diámetro nominal [mm]   | 3                              | 3     | 3          | 3            |
|  | Fuerza de retención con presión de servicio nominal de -0,7 bar [N] | 17                             | 37,2  | 67,6       | 103,6        |
|  | Volumen de las ventosas [cm³]                                       | 0,84                           | 2,12  | 4,04       | 7,9          |
|  | Radio mínimo de las piezas [mm]                                     | 30                             | 50    | 80         | 100          |
| Peso [g]   | 6,4   | 9,2                            | 16,9  | 23,4       |              |
| <b>B – redonda, fuelle 1,5 pliegues: material NBR, VMQ (silicona), PUR, Vulkollan® (valores técnicos entre comillas)</b> |   |                                |       |            |              |
|  | Conexión soporte para ventosas con rosca de fijación                | M6                             | M6    | M6         | M6           |
|  | Diámetro nominal [mm]   | 3                              | 3     | 3 (2,5)    | 3 (2,5)      |
|  | Fuerza de retención con presión de servicio nominal de -0,7 bar [N] | 12,9                           | 26,2  | 52,3 (59)  | 72,6 (100)   |
|  | Volumen de las ventosas [cm³]                                       | 1,6                            | 4,07  | 8,87 (9,8) | 14,23 (17,6) |
|  | Radio mínimo de las piezas [mm]                                     | 40                             | 80    | 90 (35)    | 150 (40)     |
|  | Compensación de altura [mm]   | 6                              | 8     | 9,5 (9)    | 11 (10)      |
|  | Peso [g]  | 6,7                            | 9,9   | 18,7 (18)  | 24,7 (24)    |

Figura 3. 12. Ventosa ESG seleccionada. Fuente: Festo

Por lo que buscando tamaños estándares se seleccionó un diámetro de 20 mm, y en la Figura 2.10 se tiene que para este diámetro y a -0.7 bar, el valor teórico de fuerza de levantamiento o de retención es de 12.9 N, comparado con 10.05 N entonces el diámetro escogido es aceptable. En el catálogo de Festo se seleccionó una ventosa tipo fuelle modelo ESG como se ve en la Figura 3.12 la cual trae consigo también el soporte, un

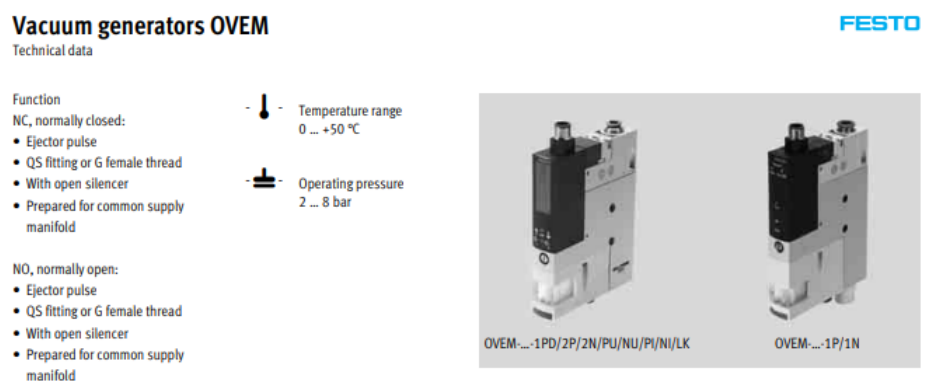
compensador angular y un filtro. Los datos técnicos se encuentran en Anexos.

El generador de vacío es centralizado, por lo que el diámetro de la ventosa considerando las 12 se calculó con la ecuación 2.3:

$$d_e = \sqrt{n} d = \sqrt{12} * 15 = 52 \text{ mm}$$

De manera estandarizada se seleccionó un diámetro de 60 mm, por lo que en la Tabla 2.9 se tiene que el diámetro de la boquilla es de 1.5 mm según catálogo de Parker pero en el catálogo de Festo del cual se escoge el equipo no hay para este valor por lo que se realizó una interpolación con los valores de la Tabla 2.9 donde el diámetro de ventosa de 52 mm se adecua a un diámetro de boquilla de 1.39 mm, escogiendo finalmente un diámetro de 1.4 mm que si había en el catálogo de Festo.

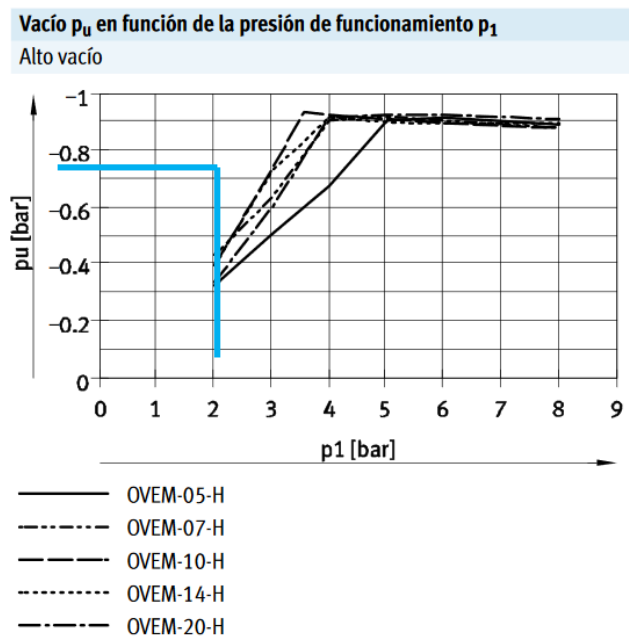
En la Tabla 3.6 se obtuvo que el diámetro de las tuberías de suministro de aire comprimido y el de vacío son de 6 mm, considerando una longitud menor a 2 m. Por lo que buscando en catálogo de Festo se seleccionó el generador de vacío OVEM 14-H-B (Figura 3.13). La hoja técnica del equipo se lo puede encontrar en el Apéndice.



**Figura 3. 13. Generador de vacío OVEM. Fuente: Festo**

**Tabla 3. 6. Mínimo diámetro de tubos de conexión para generador de vacío OVEM 14. Fuente: Festo**

| Mínimo diámetro interior [mm] de los tubos de conexión en conexiones con rosca interior G |                   |       |
|---|-------------------|-------|
| Tipo  | OVEM-14-...-GN/GO |       |
| Longitud del tubo flexible  | < 0,5 m           | < 2 m |
| Conexión neumática 1 (P)  | 3                 | 4     |
| Conexión de vacío (V)   | 5,5               | 6     |
| Conexión neumática 3 (R)  | 5,5               | 6     |



**Figura 3. 14. Presión de vacío en función de presión de funcionamiento. Fuente: festo**

En la Figura 3.14 se observa que a la presión de vacío requerida para las ventosas que es de -0.7 bar, la presión de funcionamiento debe ser de 3 bar, por lo que la línea de aire comprimido que llega a este equipo primero debe pasar por un regulador de presión. En la Figura 3.15 se tuvo que el tiempo de evacuación es de 2.5 segundos para 1 l, para obtener una presión de vacío de -0.7 bar. Para hallar el tiempo de evacuación de aire total se calculó con la ecuación 2.4, donde se revisó en los datos técnicos de la ventosa (Figura 3.11) su volumen de 1.6 cm<sup>3</sup> (0.0016 l) y considerando una tubería con diámetro de 6 mm y una longitud de 2 m, se tuvo un volumen de 0.0565 l.

$$t = (nV_{ventosa} + V_{tubería}) * t' = (12 * 0.0016 + 0.0565) * 2.5 = 0.2 \text{ s}$$

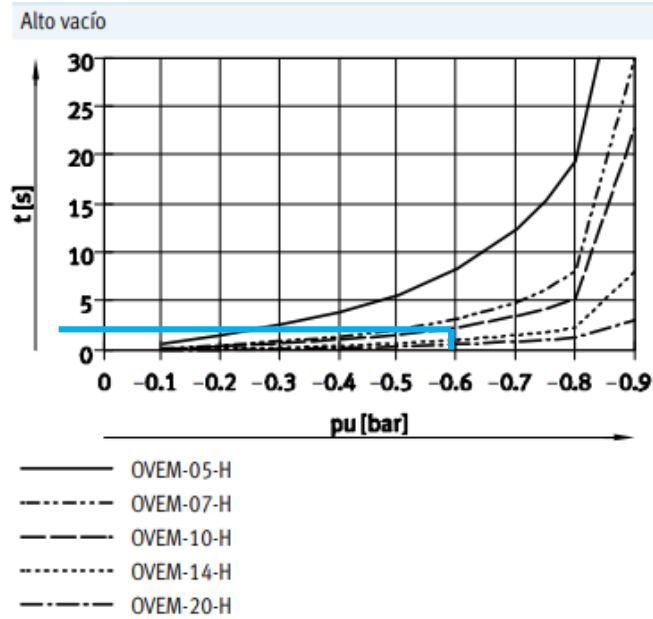


Figura 3. 15. Tiempo de evacuación en función de la presión de vacío para un volumen de 1 l. Fuente: Festo

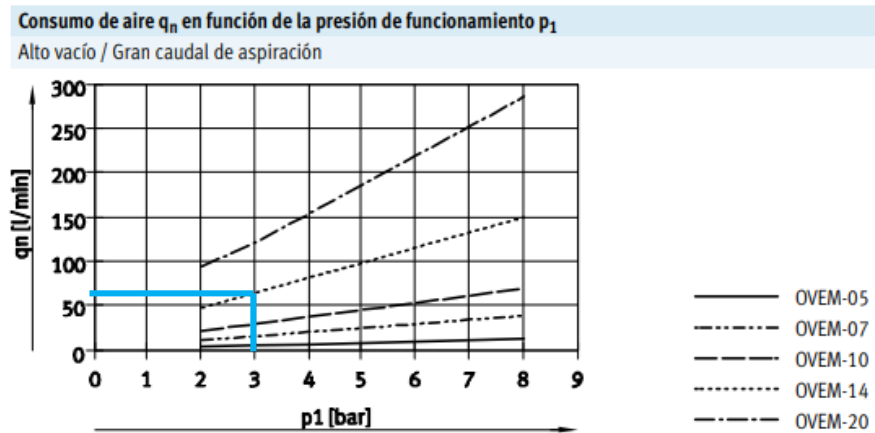


Figura 3. 16. Consumo de aire en función de la presión de funcionamiento. Fuente: Festo

En la Figura 3.16 se obtuvo el consumo de aire según presión de funcionamiento de 3 bar y con el equipo OVEM-14, donde se tuvo un aproximado de 70 l/min.

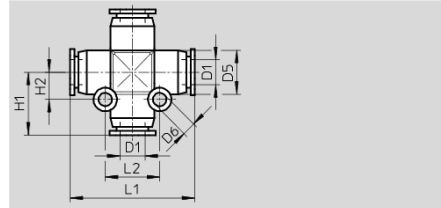
Para las conexiones de las tuberías se utilizaron racores rápidos con diámetro de 6 mm como se puede ver en la Figura 3.17.

## Racores rápidos roscados QSM, serie mini

Hoja de datos

FESTO

Racor rápido en X QSMX



| Dimensiones y datos para efectuar los pedidos |                       |      |      |      |     |    |    |                  |            |        |                  |
|---|-----------------------|------|------|------|-----|----|----|------------------|------------|--------|------------------|
| Para tubo de diámetro exterior D1             | Diámetro nominal [mm] | D5 Ø | D6 Ø | H1   | H2  | L1 | L2 | Peso/ unidad [g] | Nº de art. | Tipo   | PE <sup>1)</sup> |
| 3   | 1,7                   | 8    | 3,2  | 13,5 | 5,5 | 27 | 11 | 4                | 153378     | QSMX-3 | 10               |
| 4   | 2,3                   | 8    | 3,2  | 13,5 | 5,5 | 27 | 11 | 4                | 153379     | QSMX-4 | 10               |
| 6   | 3,3                   | 10,5 | 3,2  | 15,5 | 6,5 | 31 | 13 | 5                | 153380     | QSMX-6 | 10               |

1) Cantidad por unidad de embalaje

Figura 3. 17. Racor rápido roscado QSM, tipo X, serie mini. Fuente: Festo

### 3.1.2.2 Selección de actuador de pick and place

El modelo del actuador pick and place fue escogido en base a que se pueda montar verticalmente y se controle en varias posiciones, siendo el modelo seleccionado el Cantilever Axes ELCC, el cual se debió considerar la masa total que se manejaba. Como masa en movimiento se tenían las 12 tarrinas de margarina de 500 g, resultando en 6 Kg. Como masa fija (fija al actuador) estaba la placa donde estaban fijadas las ventosas y las ventosas, donde las ventosas según la Figura 3.11 tienen un peso de 6.7 g cada una, resultando un total de 80.4 g, y la placa de aluminio (densidad=2700 kg/m<sup>3</sup> obtenido del Norton) tiene dimensiones de 400x300 mm dando una masa de 1.3 kg. Entonces la masa fija tenía un total de 1.38 kg. Finalmente se seleccionó el ELCC-110 debido a la masa móvil que tiene de 10 kg como se ve en la Tabla 3.7.

Tabla 3. 7. Actuador ELCC. Manejo de masa total. Fuente Festo

| Pesos [g]                                    | 60   | 70   | 90   | 110   |
|--|------|------|------|-------|
| Tamaños                                      |      |      |      |       |
| Masa total con 0 mm de carrera <sup>1)</sup> |      |      |      |       |
| ELCC-...                                     | 2510 | 4750 | 9300 | 17000 |
| ELCC-... ZL/ZR                               | 805  | 2010 | 2997 | 4777  |
| ELCC-... C                                   | -    | 278  | 416  | 772   |
| Masa en movimiento con carrera de 0 mm       |      |      |      |       |
| ELCC-...                                     | 1636 | 3210 | 5487 | 10017 |
| ELCC-... ZL/ZR                               | 1102 | 2306 | 3721 | 6936  |
| Peso adicional por cada 10 mm de carrera     |      |      |      |       |
| ELCC-...                                     | 38   | 63   | 97   | 148   |

1) Masa total = masa fija + masa móvil

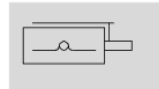
Se puede ver las características del actuador en la Figura 3.18, así como la velocidad máxima de recorrido de 5 m/s, donde se asumió una velocidad considerable de 0.5 m/s para su movimiento.

### Ejes en voladizo ELCC

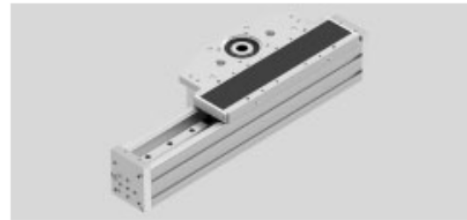
Hoja de datos

FESTO

Función



- Tamaño  
60 ... 110
- Carrera  
50 ... 2000 mm



| Especificaciones técnicas generales                              |                                 |             |             |             |
|--|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Tamaño   | 60                              | 70          | 90          | 110         |
| Forma constructiva   | Eje en voladizo electromecánico |             |             |             |
| Guía   | Guía de rodamiento de bolas     |             |             |             |
| Posición de montaje  | Indistinta                      |             |             |             |
| Carrera de trabajo <sup>1)</sup>                                 | [mm] 50 ... 1300                | 50 ... 1500 | 50 ... 2000 | 50 ... 2000 |
| Fuerza de avance $F_x$ máxima                                    | [N] 300                         | 600         | 1200        | 2500        |
| Momento de giro máx. en régimen de marcha en vacío <sup>2)</sup> | [Nm] 0,6                        | 1,2         | 2,5         | 4           |
| Par de motor máximo  | [Nm] 4,6                        | 9,2         | 30,6        | 85,9        |
| Velocidad máxima   | [m/s] 5                         |             |             |             |
| Aceleración máxima   | [m/s <sup>2</sup> ] 50          |             | 30          |             |
| Precisión de repetición  | [mm] ±0,05                      |             |             |             |

- 1) Carreras más largas bajo demanda  
2) Para 0,2 m/s

| Condiciones de funcionamiento y ecológicas |      |             |
|--|------|-------------|
| Temperatura ambiente <sup>1)</sup>         | [°C] | -10 ... +60 |
| Grado de protección                        |      | IP20        |
| Tiempo de utilización                      | [%]  | 100         |

<sup>1)</sup> Debe tenerse en cuenta el campo de aplicación de los conceptos de temperatura

**Figura 3. 18. Actuador eje en voladizo ELCC. Fuente: Festo**

La hoja técnica del equipo se lo puede encontrar en el Apéndice.

El Sistema completo consta también con el motor, el controlador y los acoples para la sujeción, los cuales en el mismo catálogo del equipo son recomendados como se puede observar en la Figura 3.19. El código del motor, el reductor y su acople es dado para su búsqueda en la página de Festo como se observa en la Figura 3.20, donde se eligió un reductor por facilidad.

### Ejes en voladizo ELCC

FESTO

Características

Sistema completo compuesto de eje de accionamiento por correa dentada, motor, controlador del motor y conjunto para el montaje del motor  
Eje en voladizo



Motor



Servomotor EMME-AS

Importante  
Existen soluciones completas especialmente adaptadas al eje en voladizo ELCC y a los motores.

Controlador de motor



Controlador de servomotor CMMP-AS

Conjunto para el montaje del motor

Conjunto de sujeción axial



El conjunto incluye:  
• Brida de motor  
• Caja de acoplamiento  
• Acoplamiento  
• Tornillos

Figura 3. 19. Sistema completo del actuador ELCC. Fuente: Festo

### Ejes en voladizo ELCC

FESTO

Accesorios

| Combinaciones admisibles de eje y motor con conjunto de sujeción axial y con reductor |                |                       |                   |                     | Hojas de datos → Internet: eamm-a |                     |
|---|----------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Motor <sup>1)</sup>   | Reductor recto |                       | Reductor, acodado |                     | Conjunto de sujeción axial        |                     |
|   |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| Código del producto   | Nº art.        | Código del producto   | Nº art.           | Código del producto | Nº art.                           | Código del producto |
| <b>ELCC-TB-KF-60</b>  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| Con servomotor  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| EMME-AS-60-...  | 2297686        | EMGA-60-P-G3-EAS-60   | 8085344           | EMGA-60-A-G3-60P    | 1456618                           | EAMM-A-N48-60H      |
| EMME-AS-80-...  | 2297690        | EMGA-80-P-G3-EAS-80   | 8085346           | EMGA-80-A-G3-80P    | 1258793                           | EAMM-A-N48-80G      |
| <b>ELCC-TB-KF-70</b>  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| Con servomotor  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| EMME-AS-80-...  | 2297690        | EMGA-80-P-G3-EAS-80   | 8085346           | EMGA-80-A-G3-80P    | 1258793                           | EAMM-A-N48-80G      |
| EMME-AS-100-...   | 552194         | EMGA-80-P-G3-SAS-100  | 8085348           | EMGA-80-A-G3-100A   | 1258793                           | EAMM-A-N48-80G      |
| <b>ELCC-TB-KF-90</b>  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| Con servomotor  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| EMME-AS-100-...   | 552194         | EMGA-80-P-G3-SAS-100  | 8085348           | EMGA-80-A-G3-100A   | 2372096                           | EAMM-A-N80-80G      |
| EMME-AS-100-...   | 552195         | EMGA-80-P-G5-SAS-100  | 8085349           | EMGA-80-A-G5-100A   | 2372096                           | EAMM-A-N80-80G      |
| <b>ELCC-TB-KF-110</b>   |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| Con servomotor  |                |                       |                   |                     |                                   |                     |
| EMME-AS-100-...   | 552195         | EMGA-80-P-G5-SAS-100  | 8085349           | EMGA-80-A-G5-100A   | 3660191                           | EAMM-A-L95-80G-G2   |
| EMME-AS-140-...   | 552196         | EMGA-120-P-G3-SAS-140 |                   |                     | 3659941                           | EAMM-A-L95-120G-G2  |

1) El momento de giro de entrada no deberá superar el momento de giro máximo admisible que pueda transmitir el conjunto de sujeción axial.

Figura 3. 20. Motor, Reductor, Conjunto de sujeción para el Actuador ELCC. Fuente: Festo



### 3.1.2.3 Compuerta

Para la compuerta se escogió una placa de 500x200 mm, con un espesor de 1.4 mm (Apéndice). Se calculó la deformación para analizar si el espesor tomado es aceptable.

Conociendo las dimensiones se procedió a calcular el momento de inercia con la ecuación 2.14:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0.5 * (0.0014)^3 = 1.143 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

Se calcularon las deflexiones debido a varias fuerzas puntuales descritas en la Figura 2.19. Siendo el módulo de elasticidad del acero igual a 200 GPa, valor sacado del libro de Shigley.

Para la deflexión por peso de las tarrinas a un extremo se utilizó la ecuación 2.11:

$$\Delta_1 = \frac{PL^3}{3EI} = \frac{9.8 * 0.2^3}{3 * 200 * 10^9 * 1.14 * 10^{-10}} = 1.146 * 10^{-3} \text{ m}$$

Para la deflexión por peso de las tarrinas a una distancia se utilizó la ecuación 2.12:

$$\Delta_2 = \frac{Pa^3}{6EI} (3L - a) = \frac{19.6 * 0.08^3}{6 * 200 * 10^9 * 1.14 * 10^{-10}} (3 * 0.2 - 0.08)$$
$$\Delta_2 = 7.63 * 10^{-5} \text{ m}$$

Para la deflexión por peso de la compuerta se utilizó la ecuación 2.13:

$$\Delta_3 = \frac{5PL^3}{48EI} = \frac{5 * 4.9 * 0.1^3}{48 * (200 * 10^9) * 1.14 * 10^{-10}} = 2.24 * 10^{-5} \text{ m}$$

Entonces la deflexión total máxima en la compuerta se calculó con la ecuación 2.15.

$$\Delta_T = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$
$$\Delta_T = 1.146 * 10^{-3} + 7.63 * 10^{-5} + 2.24 * 10^{-5} = 1.22 * 10^{-3} \text{ m}$$

Por lo tanto, se obtuvo una deflexión de 1 mm lo cual es relativamente muy bajo en comparación a la dimensión de la compuerta, por lo que el espesor escogido para la compuerta fue aceptable.

### 3.1.2.4 Selección de actuador giratorio

Para la selección de la compuerta se calculó primero la masa de la compuerta con la ecuación 2.17:

$$m = \rho V = 7860 * (0.2 * 0.5 * 0.0014) = 1.1 \text{ kg}$$

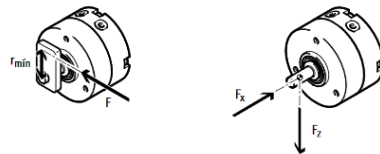
Con la ecuación 2.16 se calculó el momento de inercia de la masa:

$$I = \frac{1}{3} ml^2 = \frac{1}{3} * 1.1 * 0.2^2 = 146 * 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

En el catálogo se escogió el modelo de actuador giratorio DRVS de tamaño 32, cuyo momento de inercia máximo es  $200 * 10^{-4} \text{ kg.m}^2$  como se observa en la Figura 3.21.

| Fuerzas y pares de giro                           |                                       | 6     | 8     | 12    | 16   | 25   | 32   | 40   |
|---|---------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Momento teórico de giro                           |                                       |       |       |       |      |      |      |      |
| Con 6 bar   | [Nm]                                  | 0,15  | 0,35  | 1     | 2    | 5    | 10   | 20   |
| Por bar   | [Nm]                                  | 0,025 | 0,058 | 0,166 | 0,33 | 0,83 | 1,66 | 3,33 |
| Radio admisible r entre topes                     | [mm]                                  | 10    | 10    | 15    | 17   | 21   | 28   | 40   |
| Fuerza de impacto F máx. admisible en los topes   | [N]                                   | 15    | 30    | 90    | 160  | 320  | 480  | 650  |
| Fuerza axial dinámica máx. admisible $F_x^{(1)}$  | [N]                                   | 10    | 10    | 20    | 25   | 40   | 75   | 120  |
| Fuerza radial dinámica máx. admisible $F_z^{(1)}$ | [N]                                   | 15    | 20    | 25    | 30   | 60   | 200  | 350  |
| Momento de inercia máximo admisible de la masa    | [kgm <sup>2</sup> x10 <sup>-4</sup> ] | 6,5   | 13    | 50    | 100  | 120  | 200  | 350  |

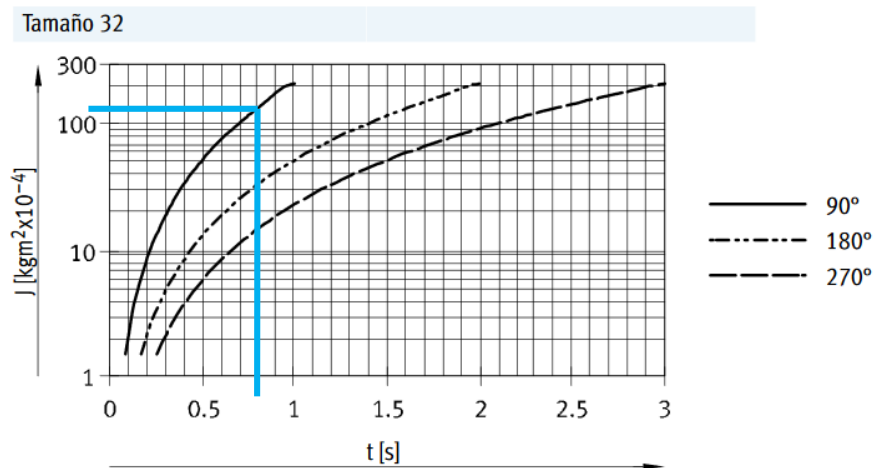
1) El punto de referencia para las fuerzas es el eje de rotación y el centro del eje de salida



**Importante**  
 Si los actuadores giratorios DRVS se utilizan sin topes o si se superan los momentos de inercia máximos admisibles, deberán utilizarse topes externos. Deberá respetarse el radio mínimo del eje de salida ( $r_{min}$ ). La fuerza del impacto en el tope no debe ser superior a la fuerza máxima admisible.

Figura 3. 21. Selección de actuador giratorio DRVS. Fuente: Festo

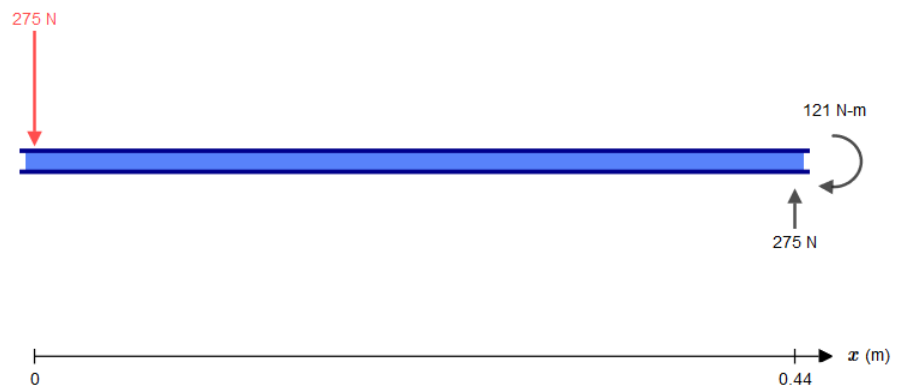
En la Figura 3.22 se puede observar que el tiempo de giro es de 0.8 s para el momento de inercia de masa calculado.



**Figura 3. 22. Momento de inercia de la masa J en función del tiempo de giro. Fuente: Festo**

### 3.1.2.5 Selección de perfiles

La parte más crítica en el diseño de la estructura para soporte de los actuadores es el perfil que sostiene el actuador electromecánico, el cual soporta el peso de: las ventosas, las tarrinas, el actuador electromecánico de las cuales se tomaron del catálogo y de la placa que sostiene las ventosas cuya masa fue calculada anteriormente. Se sumó el peso de todos estos equipos que se pueden encontrar en el Apéndice. El peso total es de un estimado de 28 kg dando un peso de 275 N. Se consideró la parte superior del marco de la estructura como se ve en la Figura 3.23 en donde un extremo es fijo y el otro extremo reposa todo el peso total:

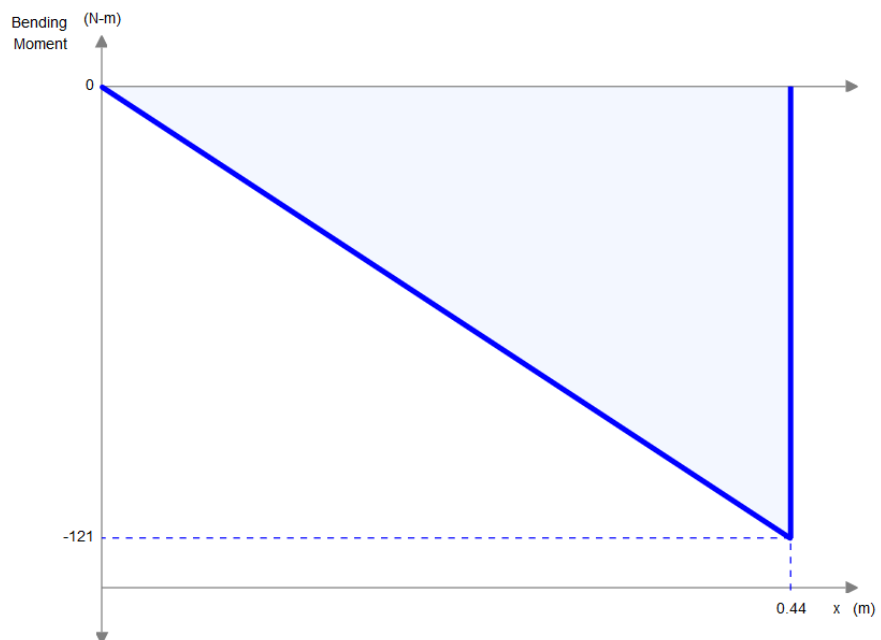


**Figura 3. 23. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Software libre**

Por medio de software libre se obtuvieron los gráficos de cortante (Figura 3.24) y momento flector (Figura 3.25) como se observó en la Figura



**Figura 3. 24. Diagrama cortante del marco estructural de zona de empaquetado. Fuente: Software libre**



**Figura 3. 25. Diagrama de momento flector del marco estructural de zona de empaquetado. Fuente: Software libre**

El mayor momento es de 121 N.m como se observa en la Figura 3.25. La resistencia a la fluencia es de 250 MPa según en el libro de Norton (2012)

y se asume un factor de seguridad de 4. Entonces, se calculó el módulo de resistencia con la ecuación 2.22:

$$W = \frac{\eta * M}{S_y} = \frac{4 * 121}{250 * 10^6} = 1.94 * 10^{-6} m^3 = 1.94 cm^3$$

Entonces se buscó en el catálogo de IPAC, un perfil estructural cuadrada de acero galvanizado fabricado con Norma INEN 2415 y se podía tomar a partir del 40x40x1.4 mm pero por estética se seleccionó el 50x50x4 mm como se puede observar en la Tabla 3.8.

**Tabla 3. 8. Tabla de Perfil estructural cuadrado. Fuente: Ipac**

| Designaciones |      | Área            | Peso | Propiedades Estáticas |                       |               |
|---------------|------|-----------------|------|-----------------------|-----------------------|---------------|
|               |      |                 |      | Eje x-x = y-y         |                       |               |
|               |      |                 |      | Momento de inercia    | Módulo de resistencia | Radio de giro |
| B             | e    | A               | P    | I                     | W                     | i             |
| mm            | mm   | cm <sup>2</sup> | kg/m | cm <sup>4</sup>       | cm <sup>3</sup>       | cm            |
| 20            | 1,40 | 0,99            | 0,78 | 0,56                  | 0,56                  | 0,75          |
|               | 1,50 | 1,05            | 0,83 | 0,58                  | 0,58                  | 0,75          |
|               | 1,80 | 1,23            | 0,96 | 0,66                  | 0,66                  | 0,73          |
|               | 2,00 | 1,34            | 1,05 | 0,70                  | 0,70                  | 0,72          |
| 25            | 1,40 | 1,27            | 1,00 | 1,16                  | 0,93                  | 0,95          |
|               | 1,50 | 1,35            | 1,06 | 1,22                  | 0,97                  | 0,95          |
|               | 1,80 | 1,59            | 1,25 | 1,39                  | 1,11                  | 0,94          |
|               | 2,00 | 1,74            | 1,36 | 1,49                  | 1,19                  | 0,93          |
| 30            | 1,40 | 1,55            | 1,22 | 2,08                  | 1,39                  | 1,16          |
|               | 1,50 | 1,65            | 1,30 | 2,20                  | 1,47                  | 1,15          |
|               | 1,80 | 1,95            | 1,53 | 2,53                  | 1,68                  | 1,14          |
|               | 2,00 | 2,14            | 1,68 | 2,72                  | 1,82                  | 1,13          |
| 40            | 1,40 | 2,11            | 1,66 | 5,18                  | 2,59                  | 1,57          |
|               | 1,50 | 2,25            | 1,77 | 5,48                  | 2,75                  | 1,56          |
|               | 1,80 | 2,67            | 2,09 | 6,39                  | 3,19                  | 1,55          |
|               | 2,00 | 2,94            | 2,31 | 6,95                  | 3,47                  | 1,54          |
|               | 2,50 | 3,59            | 2,82 | 8,23                  | 4,12                  | 1,51          |
|               | 3,00 | 4,21            | 3,30 | 9,36                  | 4,68                  | 1,49          |
|               | 4,00 | 5,35            | 4,20 | 11,18                 | 5,59                  | 1,45          |
| 50            | 1,40 | 2,67            | 2,10 | 10,42                 | 4,17                  | 1,97          |
|               | 1,50 | 2,85            | 2,24 | 11,07                 | 4,43                  | 1,97          |
|               | 1,80 | 3,39            | 2,66 | 12,95                 | 5,18                  | 1,96          |
|               | 2,00 | 3,74            | 2,93 | 14,15                 | 5,66                  | 1,95          |
|               | 2,50 | 4,59            | 3,60 | 16,96                 | 6,78                  | 1,92          |
|               | 3,00 | 5,41            | 4,25 | 19,50                 | 7,80                  | 1,90          |
|               | 4,00 | 6,95            | 5,45 | 23,84                 | 9,54                  | 1,85          |
| 60            | 1,50 | 3,45            | 2,71 | 19,32                 | 6,31                  | 2,36          |
|               | 1,80 | 4,11            | 3,22 | 22,95                 | 7,65                  | 2,36          |
|               | 2,00 | 4,54            | 3,56 | 25,15                 | 8,38                  | 2,35          |
|               | 2,50 | 5,59            | 4,39 | 30,36                 | 10,12                 | 2,33          |
|               | 3,00 | 6,61            | 5,19 | 35,17                 | 11,72                 | 2,31          |
|               | 4,00 | 8,55            | 6,71 | 43,65                 | 14,55                 | 2,26          |

### 3.1.2.6 Análisis de soldadura

Se realizó un análisis de soldadura en la parte más crítica, siendo en el extremo del marco estructural como se señala en la Figura 3.26 debido a que soporta esfuerzo cortante y flexión y considerando la soldadura como línea alrededor del perfil.

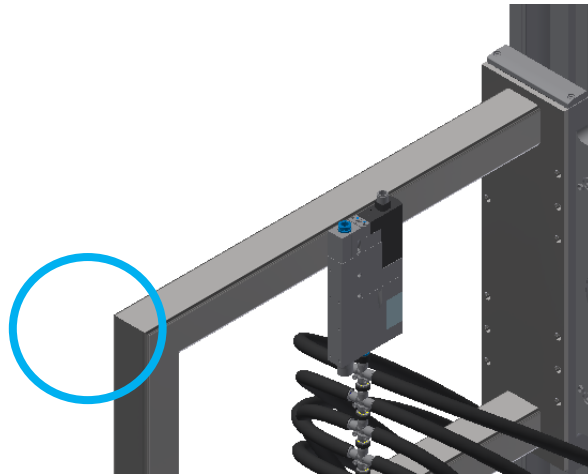


Figura 3. 26. Sección crítica para análisis de soldadura.

Las fórmulas para esfuerzo cortante y de flexión se tomaron del libro de Norton de la Figura 2.21. Los valores de fuerza cortante y el momento se obtienen de los diagramas cortante (Figura 2.26) y momento flector (Figura 2.27). Los factores geométricos  $A_w$  y  $S_w$  se calcularon como se especificó en la Figura 2.20, siendo las dimensiones la misma del perfil de 50x50 mm. El esfuerzo cortante se calculó con la siguiente ecuación:

$$f_s = \frac{V}{A_w} = \frac{275}{2 * 0.05 + 2 * 0.05} = 1375 \text{ N/m}$$

El esfuerzo de flexión se calculó con la siguiente ecuación:

$$f_w = \frac{M}{S_w} = \frac{121}{0.05 * 0.05 + \frac{0.05^2}{3}} = 36300 \text{ N/m}$$

Por geometría, la fuerza resultante se calculó de la siguiente manera:

$$F_r = \sqrt{f_s^2 + f_w^2} = \sqrt{1375^2 + 36300^2} = 36326 \text{ N/m}$$

Se seleccionó la soldadura E6011 por ser soldable con acero galvanizado con  $S_{ut}$  de 60000 psi ( $4.14 \cdot 10^8$  Pa), por lo que calculando el espesor con la ecuación 2.23:




$$t = \frac{F_r}{0.3S_{ut}} = \frac{36326}{0.3 * 4.14 * 10^8} = 2.9 * 10^{-4} m = 0.3 mm$$

Por lo que comparando con la Tabla 2.11 se tiene que, para un espesor de la placa menor a 6 mm, siendo el del perfil de 3mm, el espesor de la soldadura se recomienda en 3 mm, por lo que los cordones de soldadura para toda la máquina deben ser con este espesor recomendado por la AWS.

### 3.1.2.7 Selección de actuador lineal

Se necesitó un actuador lineal para la detención de la caja, el cual se encuentra entre la zona de alineación de tarrinas y zona de empaquetado. Al tener un espacio reducido, se escogió un actuador plano, y al necesitar un recorrido considerable de mínimo de 32 mm por la altura de la banda transportadora, se escogió del modelo DZF con carrera de 80 mm y de doble efecto con el menor diámetro de émbolo posible resultando uno de 12 mm como se observa en la Tabla 3.9.

**Tabla 3. 9. Actuadores planos EZH, DZF. Fuente: Festo**

| Función          | Ejecución   | Tipo                     | Diámetro del émbolo          | Carrera  |                        |
|------------------|---|--------------------------|------------------------------|--|------------------------|
|                  |   |                          | [mm]                         | [mm]   |                        |
| De simple efecto |  | EZH<br>Vástago simple    | 1,5x6,5                      | 10   |                        |
|                  |   |                          | 2,5x9                        | 10, 20   |                        |
|                  |   |                          | 5x20                         | 25, 50   |                        |
|                  |   |                          | 10x40                        | 40   |                        |
|                  |   |                          |                              |  |                        |
| De doble efecto  |  | DZF<br>Vástago simple    | 12, 18, 25                   | 10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200           |                        |
|                  |   |                          | 32, 40, 50, 63               | 10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320 |                        |
|                  |   |                          |                              |  |                        |
|                  |   |                          |                              |  |                        |
|                  |  | DZF--S2<br>Doble vástago | 12, 18, 25<br>32, 40, 50, 63 | --<br>--   | 1 ... 200<br>1 ... 320 |

Según la Tabla 2.10 se tiene que, para un émbolo de 12 mm, la norma aplicable es la ISO 6432 con una desviación máxima permisible de 1.5 mm. Según características del equipo obtenidas del catálogo se tiene que el

diámetro del vástago es de 6 mm. Entonces se procedió a calcular el consumo de aire total es la suma del consumo por retroceso y avance.

El consumo por avance se calculó con la ecuación 2.5:

$$Q_a = \frac{\pi}{4} (d_1^2) h (p + 1) 10^{-6}$$
$$Q_a = \frac{\pi}{4} (32^2) * 320 * (6 + 1) 10^{-6} = 1.8 \text{ l}$$

El consumo por retroceso se calculó con la ecuación 2.6:

$$Q_r = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) h (p + 1) 10^{-6}$$
$$Q_r = \frac{\pi}{4} (32^2 - 10^2) * 320 * (6 + 1) 10^{-6} = 1.6 \text{ l}$$

El consumo total de aire por ciclo se calculó con la ecuación 2.7:

$$Q_t = Q_a + Q_r = 1.8 + 1.6 = 3.4 \text{ l}$$

### 3.1.3 Zona de transporte de cajas

El transporte de cajas considera la bajante de cajas, que consta de la estructura, actuadores y las bandas transportadoras para el desplazamiento de la zona de empaclado a la selladora de cajas como se ve en la Figura 3.27 y la descripción de los elementos en la Tabla 3.10.

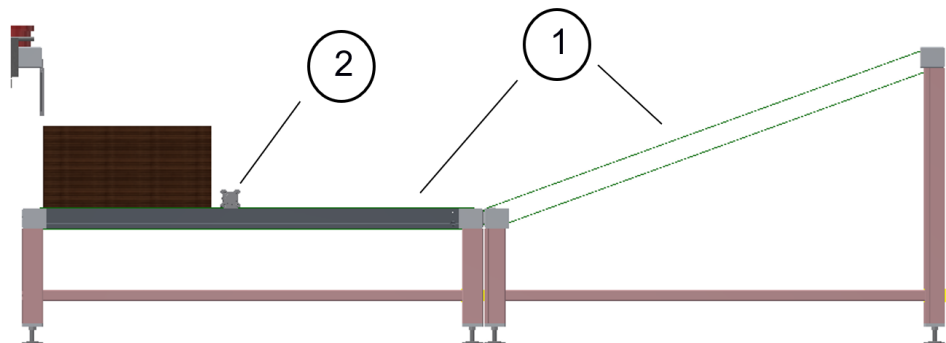


Figura 3. 27. Zona de transporte de cajas



**Tabla 3. 10. Descripción de cada elemento del ensamble en la zona de transporte de cajas**

| Número | Descripción            |
|--------|------------------------|
| 1      | Bandas transportadoras |
| 2      | Actuador lineal        |

### 3.1.3.1 Diseño de Banda transportadora

Se realizaron el diseño de dos bandas. Una horizontal, en donde la caja pasa por la zona de empaquetadora y otra inclinada, en donde la caja sube para la selladora de cajas.

Para la banda horizontal, para poder obtener la fuerza de accionamiento se toma como punto de partida el análisis del peso de las cajas llenas con producto, considerando que cada una pesa 13 Kg y en la banda se considera una carga mínima de 3 cajas se obtuvo un total de 39 Kg, y como coeficiente de rozamiento se utilizó 0.33, valor obtenido de la página de *Forbo Movement System*.

A partir de estos datos se pudo obtener la fuerza de fricción o de accionamiento con la ecuación 2.19:

$$F = \mu_T W = 0.33 * 39 = 13 \text{ Kg}$$

Para obtener el valor de  $\alpha$  se tomó como consideración que la banda cubre 180° al tambor matriz. Para el ancho de banda, se escogió de catálogos para ver cuáles son estándares, siendo uno apropiado de 400 mm considerando que la dimensión de la caja es de 370 mm. Para el valor de la capacidad de transmisión del tambor de banda se tiene un valor de 1600 Kg/m<sup>2</sup>. Al tener todos los valores se pudo obtener el valor del diámetro mínimo de tambor con la ecuación 2.18.

$$D = \frac{360 * 13}{1600 * 180 * 0.4} = 0.041 \text{ [m]}$$

Con el valor hallado se escoge como diámetro de tambor ½”.

La longitud de la banda se la calculó con la ecuación 2.20, considerando una distancia entre tambores de 1.2 m:

$$L = 2d_t + \pi D = 2 * 1.2 + \pi * 0.0127 = 2.5 \text{ m}$$

Luego se calculó la potencia del motor para la banda con la ecuación 2.21, siendo la velocidad asumida de 0.2 m/s y una eficiencia de transmisión de 0.9 si es por banda.

$$P = \frac{Fv}{\eta} = \frac{13 * 9.8 * 0.2}{0.9} = 28.3 \text{ W} = 0.04 \text{ HP}$$

Por lo que se escogió un motor de 1/4" HP.

Para la banda inclinada se utilizó el mismo modelo que la inclinada, pero con una inclinación recomendada de 20° (Habasit Holding)

### 3.1.3.2 Selección de actuador lineal

Se realizó la selección de un actuador neumático lineal, el cual va a detener la caja, considerando que no ejerce fuerza de empuje, sino que funcione simplemente evitando el paso de la caja. Por lo que se seleccionó un diámetro de émbolo de 40 mm con la carrera apropiada de 200 mm con el modelo DSBC como se puede ver en la Figura 3.28.

#### Cilindros normalizados DSBC, ISO 15552

FESTO

Hoja de datos

##### ★ Programa básico

| Referencias – Productos disponibles en almacén |              |                       |                     |                       |                     |
|--|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Diámetro del émbolo [mm]                       | Carrera [mm] | Con amortiguación PPV |                     | Con amortiguación PPS |                     |
|  |              | Nº art.               | Tipo                | Nº art.               | Tipo                |
| 40   | 20           | ★ 2123166             | DSBC-40-20-PPVA-N3  | ★ 2123780             | DSBC-40-20-PPSA-N3  |
|  | 25           | ★ 1376656             | DSBC-40-25-PPVA-N3  | ★ 1376903             | DSBC-40-25-PPSA-N3  |
|  | 30           | ★ 2123167             | DSBC-40-30-PPVA-N3  | ★ 2123781             | DSBC-40-30-PPSA-N3  |
|  | 40           | ★ 1376657             | DSBC-40-40-PPVA-N3  | ★ 1376904             | DSBC-40-40-PPSA-N3  |
|  | 50           | ★ 1376658             | DSBC-40-50-PPVA-N3  | ★ 1376905             | DSBC-40-50-PPSA-N3  |
|  | 60           | ★ 2123224             | DSBC-40-60-PPVA-N3  | ★ 2123782             | DSBC-40-60-PPSA-N3  |
|  | 70           | ★ 2123225             | DSBC-40-70-PPVA-N3  | ★ 2123783             | DSBC-40-70-PPSA-N3  |
|  | 80           | ★ 1376659             | DSBC-40-80-PPVA-N3  | ★ 1376906             | DSBC-40-80-PPSA-N3  |
|  | 100          | ★ 1376660             | DSBC-40-100-PPVA-N3 | ★ 1376907             | DSBC-40-100-PPSA-N3 |
|  | 125          | ★ 1376661             | DSBC-40-125-PPVA-N3 | ★ 1376908             | DSBC-40-125-PPSA-N3 |
|  | 150          | ★ 2123226             | DSBC-40-150-PPVA-N3 | ★ 2123784             | DSBC-40-150-PPSA-N3 |
|  | 160          | ★ 1376662             | DSBC-40-160-PPVA-N3 | ★ 1376909             | DSBC-40-160-PPSA-N3 |
|  | 200          | ★ 1376663             | DSBC-40-200-PPVA-N3 | ★ 1376910             | DSBC-40-200-PPSA-N3 |
|  | 250          | ★ 1376664             | DSBC-40-250-PPVA-N3 | ★ 1376911             | DSBC-40-250-PPSA-N3 |
|  | 300          | ★ 2123227             | DSBC-40-300-PPVA-N3 | ★ 2123785             | DSBC-40-300-PPSA-N3 |
|  | 320          | ★ 1376665             | DSBC-40-320-PPVA-N3 | ★ 1376912             | DSBC-40-320-PPSA-N3 |
|  | 400          | ★ 1376666             | DSBC-40-400-PPVA-N3 | ★ 1376913             | DSBC-40-400-PPSA-N3 |
| 500  | ★ 1376667    | DSBC-40-500-PPVA-N3   | ★ 1376914           | DSBC-40-500-PPSA-N3   |                     |

Figura 3. 28. Actuador neumático DSBC 32. Fuente: Festo

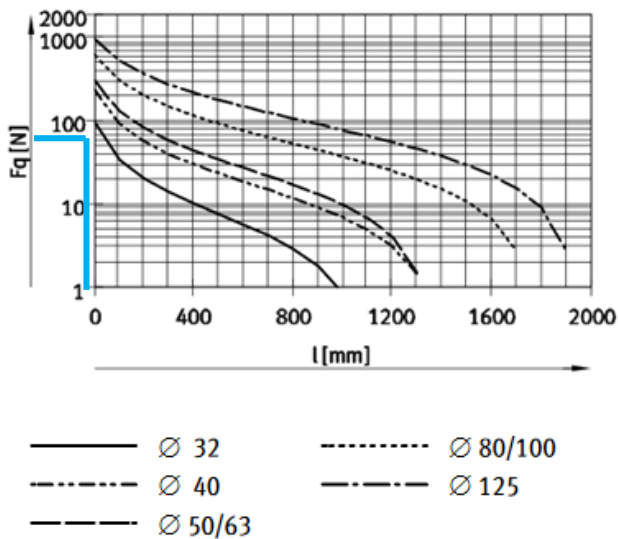
La fuerza de fricción de tres cajas sobre la banda transportadora fue calculada en el ítem de diseño de banda transportadora siendo un valor de 13 kg (127.4 N) pero como solo se detendría una caja la fuerza de fricción que equivaldría a la fuerza transversal es de 42.5 N, por lo que se verifica con la Figura 3.29 que la máxima fuerza es de 60 N, siendo aceptable, ya que un diámetro menor tendría un valor menor a la fuerza calculada.

### Cilindros normalizados DSBC, ISO 15552

Hoja de datos

Fuerza transversal  $F_q$  máx. en función de la carrera  $l$

Montaje horizontal



**Figura 3. 29. Diagrama Fuerza transversal - Carrera para actuador DSBC.**  
Fuente: Festo

Según la Tabla 2.10 se tiene que, para un émbolo de 40 mm, la norma aplicable es la ISO 15552 con una desviación máxima de la carrera de 2 mm. Según características del equipo obtenidas del catálogo se tiene que el diámetro del vástago es de 12 mm. Entonces se procedió a calcular el consumo de aire total que es la suma del consumo por retroceso y avance. El consumo por avance se calculó con la ecuación 2.5:

$$Q_a = \frac{\pi}{4} (d_1^2) h (p + 1) 10^{-6}$$

$$Q_a = \frac{\pi}{4} (40^2) * 200 * (6 + 1) 10^{-6} = 1.8 l$$

El consumo por retroceso se calculó con la ecuación 2.6:

$$Q_r = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) h (p + 1) 10^{-6}$$

$$Q_r = \frac{\pi}{4} (40^2 - 12^2) * 200 * (6 + 1) 10^{-6} = 1.6 \text{ l}$$

El consumo total de aire por ciclo se calculó con la ecuación 2.7:

$$Q_t = Q_a + Q_r = 1.8 + 1.6 = 3.4 \text{ l}$$

### 3.1.4 Consumo de aire para funcionamiento de equipo

Para el consumo total de aire comprimido requerido para que el sistema realice el empaquetado de una caja, se considera el consumo de:

- Actuadores lineales
  - El actuador que detiene la caja ejerce un ciclo.  
Total=3.4 l
  - El actuador que detiene las tarrinas ejerce en el caso más crítico (tarrinas de 250 g) cuatro ciclos. Total=3.4\*4=13.6 l
  
- Sistema de vacío
  - El sistema de vacío necesita un consumo de aire de 70l/min para la generación de vacío para las 12 ventosas. Si 0.2 s se demora en generar el vacío para poder tomar las tarrinas, se consideró que este proceso se repetía cuatro veces, por lo que el tiempo total fue de  $0.2 * 4 = 0.8 \text{ s}$ , entonces el consumo de aire en todo el tiempo fue de  $(70 \text{ l/min}) * 0.8 \text{ s} = 0.93 \text{ l}$ .

Entonces el consumo de aire para el empaquetado de una caja es de 17.93 l. Este valor es requerido por el cliente para conocimiento del consumo de la máquina y tomarlo en cuenta con la capacidad actual de aire comprimido de la empresa.

### 3.1.5 Tiempo de proceso

Los tiempos se calcularon:

- **Tiempo por actuador electromecánico**

Donde la velocidad del actuador electromecánico se asume la máxima velocidad de 5 m/s y recorre los 800 mm, entonces se tiene un tiempo de bajada de 0.16 s pero como debe volver a subir se multiplicó por 2 resultando en 0.32 s, finalmente se multiplicó por 4 veces que debe repetir este proceso resultando en 1.28 s

- **Tiempo por actuador giratorio**

A pesar de hay dos actuadores los dos se mueven al mismo tiempo por lo que se toma el tiempo dado por catálogo que es de 0.8 s pero esto es para un giro. Se multiplicó por 2 para simular tiempo de abertura y cerrada y por 4 porque deben bajar 4 niveles de tarrinas. Entonces dio un total de 6.4 s.

- **Tiempo por movimiento de las tarrinas**

Las tarrinas se mueven en toda la distancia de la longitud de la compuerta (500 mm) a la misma velocidad de la banda (0.21 m/s), entonces se calculó el tiempo para un nivel que es de 2.4 s, pero como son cuatro niveles resultó en 9.52 s.

- **Tiempo para succión de vacío**

Este tiempo es dado por catálogo en la sección de sistema de succión de vacío siendo un valor de 0.2 s por cada vez que toman un nivel de tarrinas, pero al ser cuatro niveles resultó en 0.8 s

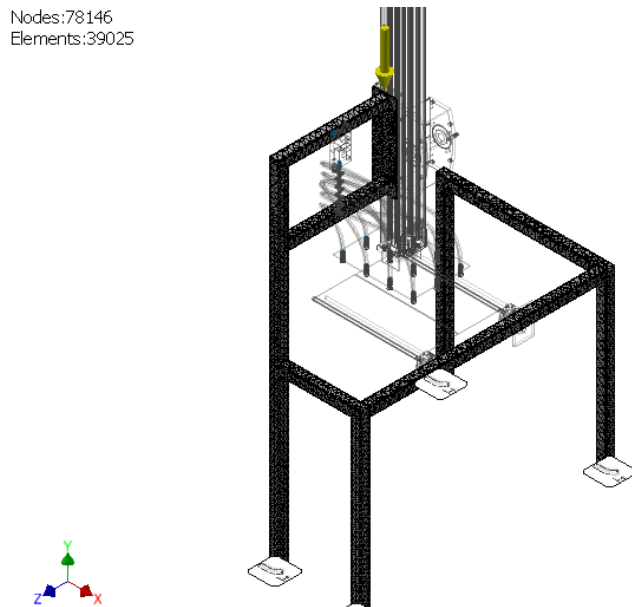
Los tiempos se sumaron y resultaron en un total de 18 s solo para el empaquetado de una caja, por lo que al dividirse entres si se tiene que la capacidad máxima de empaquetado de la máquina es de 3.3 cajas/min para cuando es la presentación de 250g (48 tarrinas en total). Realizando el mismo análisis para la presentación de 500 g (24 tarrinas en total) la única diferencia es que con esta solo son dos niveles por lo que tenemos como una capacidad máxima de 6.67 cajas/min.

## 3.2 Resultados de simulación

Se realizó una simulación de un análisis estructural de los elementos más críticos de la máquina, los cuales se encuentran en la zona de empaquetado y son: la estructura de soporte de la máquina, y las compuertas que permiten el paso de las tarrinas.

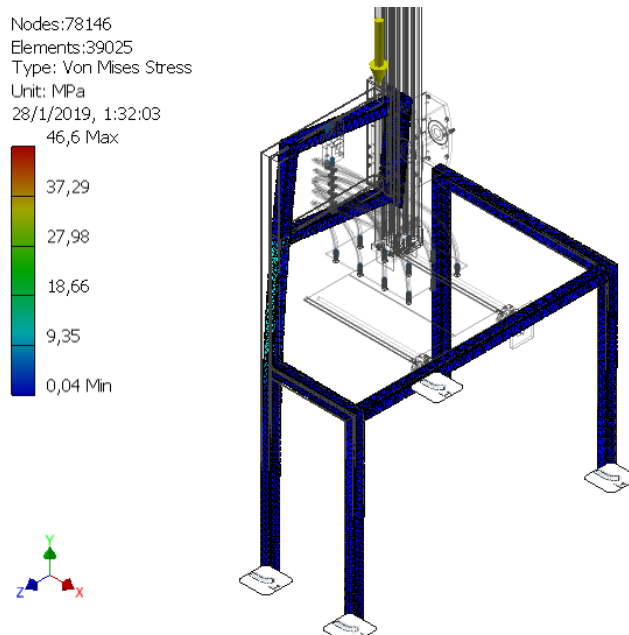
### 3.2.1 Estructura de soporte de la máquina

La Figura 3.30, muestra el mallado realizado a la estructura de soporte. Con un número total de nodos de 78146 y 39025 elementos. La fuerza colocada corresponde a la suma del peso del actuador, las ventosas, placas de sujeción, y demás elementos del sistema de vacío.



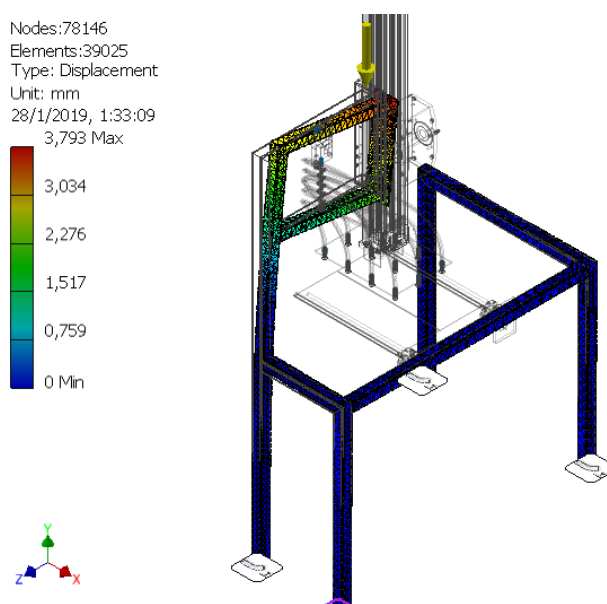
**Figura 3. 30. Mallado de estructura de soporte**

A continuación, se muestra en la Figura 3.31 los resultados de la simulación del esfuerzo Von Mises, cuyo valor máximo es de 46.6MPa y su mínimo de 0.04MPa. Lo que indica que el esfuerzo aplicado es muy pequeño en comparación con la resistencia del material, por lo que no es suficientemente significativo para hacer que el material falle.



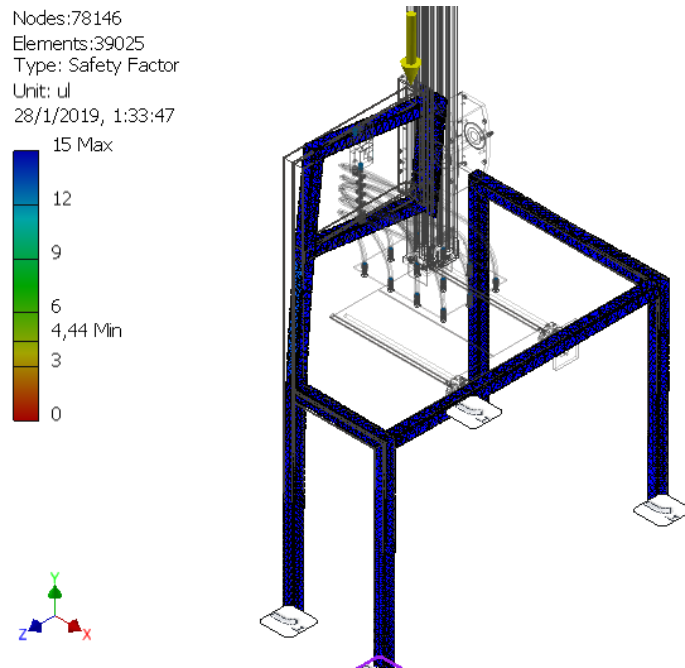
**Figura 3. 31. Esfuerzo Von Mises de estructura de soporte**

A continuación, en la Figura 3.32 se muestran los resultados de la simulación de la deformación. Se observa que la deformación máxima es de 3.79 mm, ubicada en la parte superior cercana al lugar de aplicación de la carga, mientras que su deformación mínima es de 0 mm, en la base de la estructura. La deformación presentada es pequeña y admisible, validando así los cálculos realizados durante el diseño.



**Figura 3. 32. Deformación de estructura de soporte**

Finalmente, la Figura 3.33 se muestra el factor de seguridad para el ensamble de la compuerta. Siendo su valor mínimo de 4.4 en la parte superior de la estructura, cerca de la aplicación de la fuerza. Mientras que su valor máximo es de 15, ubicado en la base de la estructura.

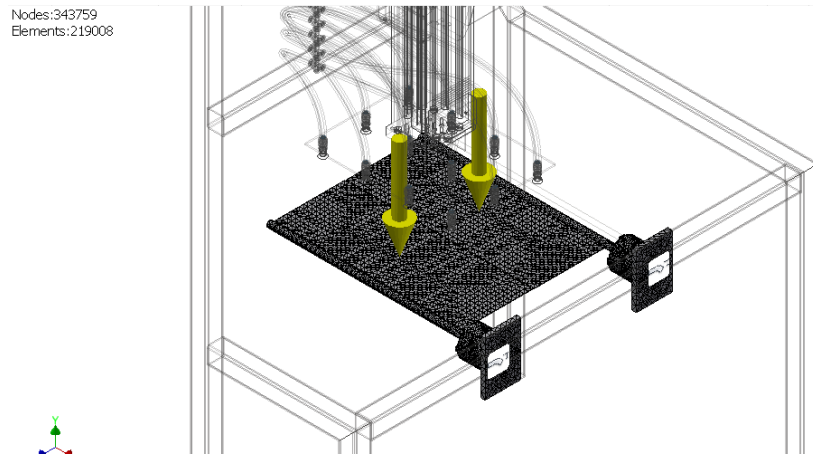


**Figura 3. 33. Factor de seguridad de estructura de soporte**

### 3.2.2 Estructura de la compuerta

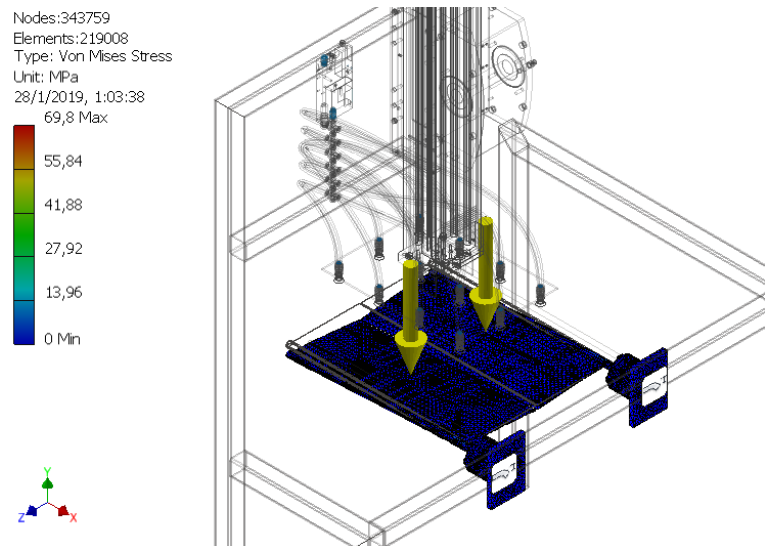
La Figura 3.34, muestra el mallado realizado a la compuerta. Con un número total de nodos de 343759 y 219008 elementos, además las fuerzas colocadas fueron el equivalente de 6 tarrinas de 500g a cada lado de la compuerta.





**Figura 3. 34. Mallado de compuerta**

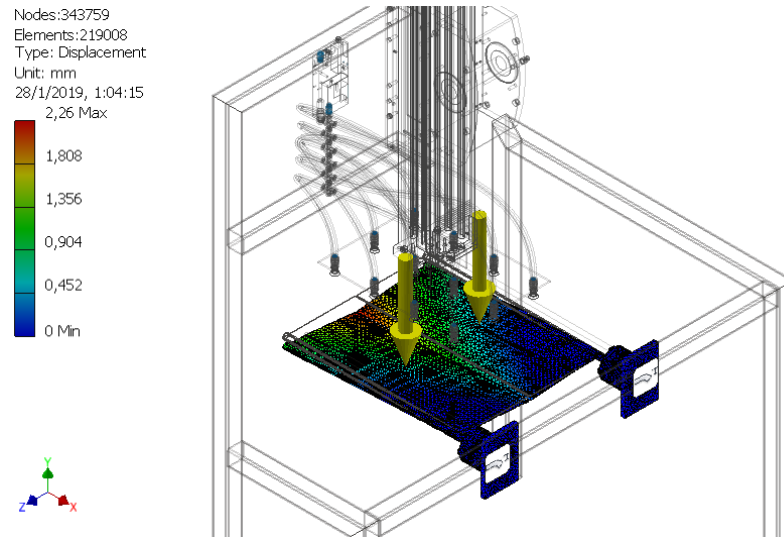
En la Figura 3.35, se muestran los resultados de la simulación obtenidos para el esfuerzo Von Mises, cuyo valor máximo es de 69.8MPa y su mínimo de 0 MPa, lo que implica que hay zonas que no sufren esfuerzo y otras que si, además de que el esfuerzo máximo no es suficiente como para hacer fallar el material.



**Figura 3. 35. Esfuerzo Von Mises para la compuerta**

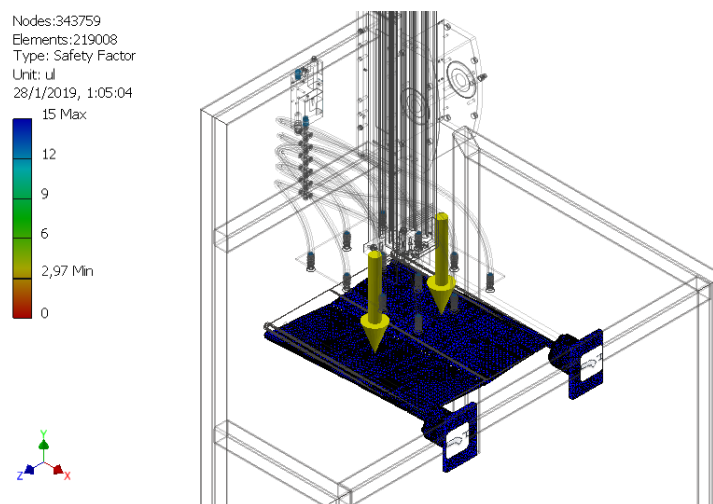
Los resultados de la simulación de la deformación se muestran a continuación, en la Figura 3.36. La cual presenta una deformación máxima de 2.26 mm en el extremo de la compuerta y una deformación mínima de 0 mm justo en la base. Estos valores de deformación son muy pequeños, los

que lo hacen admisibles y valida los cálculos determinados durante el diseño de las compuertas.



**Figura 3. 36. Deformación de la compuerta**

Finalmente, la Figura 3.37 se muestra el factor de seguridad para el ensamble de la compuerta. Siendo su valor mínimo de 2.97 en la parte final de la compuerta y su valor máximo de 15 a la altura de la base.



**Figura 3. 37. Factores de seguridad de la compuerta**

### 3.3 Análisis de Costos

#### 3.3.1 Listado y costo detallado de componentes

A continuación, se enlistan los costos detallados de cada uno de los elementos, separados por cada una de sus zonas:

##### 3.3.1.1 Costos: Zona de alineación de tarrinas

En la tabla 3.11 se muestra la referencia, cantidad, descripción y precio de todos los componentes metálicos usados en esta zona.

**Tabla 3. 11. Lista de detalles de precios: Componentes metálicos (Alineación)**

| <b>COMPONENTES METÁLICOS</b>   |             |                              |                 |
|--------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------|
| <b>Referencia</b>              | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>           | <b>Precio</b>   |
| Soporte perfil cuadrado 1      | 4           | Ángulos 25 x 25 mm           | \$13,44         |
| Soporte de guías               | 4           | Ángulos 20 x 20 mm           | \$11,76         |
| Soporte de estructura de guías | 2           | Perfil cuadrado 20 mm        | \$13,44         |
| Guías de alineación            | 6           | Barra ½"                     | \$7,84          |
| Soporte actuador               | 4           | Perfil cuadrado 40 mm        | \$17,92         |
| Acople actuador-soporte        | 2           | Ángulo 75 x 75 mm            | \$8,62          |
| Brazo articulado alineación    | 1           | Placa 300 x 180 x 2 mm       | \$3,58          |
| Transmisor de movimiento       | 2           | Eje de 12 mm de diámetro     | \$4,82          |
| Pernos                         | 28          | Pernos Métricos M6 y M8 G5.8 | \$19,04         |
| Soldadura                      | 2lbs        | Electrodos E6011             | \$9,50          |
| <b>TOTAL</b>                   |             |                              | <b>\$109,96</b> |

La Tabla 3.12, muestra los detalles de todos los accesorios utilizados en esta zona

**Tabla 3. 12. Lista de detalles de precios: Accesorios (Alineación)**

| <b>ACCESORIOS</b>  |             |  |                   |
|--------------------|-------------|--|-------------------|
| <b>Referencia</b>  | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>                                 | <b>Precio</b>     |
| Actuador lineal    | 1           | Actuador eléctrico 500 mm                          | \$1.112,16        |
| Actuador Neumático | 1           | Actuador neumático D = 32 mm                       | \$1.051,68        |
| Acople Giratorio   | 1           | Accesorio acople eje actuador /<br>Festo. D= 12 mm | \$67,20           |
| Rodamientos        | 3           | Festo, D = 12 mm                                   | \$325,92          |
| <b>TOTAL</b>       |             |  | <b>\$2.556,96</b> |

La Tabla 3.13, muestra los detalles del trabajo adicional que se debe considerar para la construcción de la máquina.

**Tabla 3. 13. Lista de detalles de precios: Trabajos complementarios (Alineación)**

| <b>TRABAJOS COMPLEMENTARIOS</b> |             |  |                 |
|---------------------------------|-------------|--|-----------------|
| <b>Referencia</b>               | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>   | <b>Precio</b>   |
| Mecanizado                      | 1           | Mecanizado de piezas metálicas<br>acorde a planos de fabricación | \$240,00        |
| Uniones soldadas                | 1           | Trabajo de soldadura en los elementos                            | \$45,00         |
| <b>TOTAL</b>                    |             |  | <b>\$285,00</b> |

Finalmente se tiene que el costo total de construcción de la zona de alineación de tarrinas es de:

$$Inversión 1 = \$109.96 + \$2556.96 + \$285$$

$$Inversión 1 = \$2951.92$$

### 3.3.1.2 Costos: Zona de empaquetado de tarrinas

Similar a la zona anterior, se realiza el listado en la tabla 3.14, donde se muestra detalles de precios de todos los componentes metálicos usados en esta zona.

**Tabla 3. 14. Lista de detalles de precios: Componentes metálicos (Empaquetado)**

| <b>COMPONENTES METÁLICOS</b> |             |   |                 |
|------------------------------|-------------|---|-----------------|
| <b>Referencia</b>            | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Precio</b>   |
| Estructura de Soporte        | 1           | Estructura formada por tubería cuadrada galvanizada soldada | \$67,20         |
| Compuerta                    | 2           | Placa galvanizada 200 x 500 x 1.4 mm                        | \$5,60          |
| Placa para actuador          | 2           | Placa de acero 100 x 100 x 5 mm                             | \$6,16          |
| Acople Eje-Compuerta         | 2           | Tubo de acero galvanizado                                   | \$3,64          |
| Topes laterales              | 2           | Tubo de acero galvanizado                                   | \$10,53         |
| Placa de fijación            | 1           | Placa de acero galvanizado                                  | \$7,50          |
| Pernos                       | 24          | Pernos Métricos M8 y M6 G5.8                                | \$16,80         |
| Soldadura                    | 2 lbs       | Electrodos E6011  | \$9,50          |
| <b>TOTAL</b>                 |             |   | <b>\$126,93</b> |

La Tabla 3.15, muestra el detalle de los accesorios de la zona

**Tabla 3. 15. Lista de detalles de precios: Accesorios (Empaquetado)**

| <b>ACCESORIOS</b>  |             |                                  |                   |
|--------------------|-------------|----------------------------------|-------------------|
| <b>Referencia</b>  | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>               | <b>Precio</b>     |
| Ventosas           | 12          | Ventosas de succión FESTO        | \$302,40          |
| Generador de Vacío | 1           | FESTO, modelo X                  | \$397,60          |
| Actuador Giratorio | 2           | FESTO, modelo X                  | \$618,80          |
| Actuador Lineal    | 1           | Actuador lineal vertical 800 mm  | \$4.680,20        |
| Racor              | 12          | Conexiones de tuberías de tipo X | \$252,00          |
| Tubería Flexible   | 60 mts      | Tubería flexible, Diámetro 6mm   | \$96,60           |
| <b>TOTAL</b>       |             |                                  | <b>\$6.347,60</b> |

La Tabla 3.16, muestra los detalles del trabajo adicional que se debe considerar para la construcción de la máquina de esta zona.

**Tabla 3. 16. Lista de detalles de precios: Trabajos complementarios (Empaquetado)**

| <b>TRABAJOS COMPLEMENTARIOS</b> |             |   |                 |
|---------------------------------|-------------|---|-----------------|
| <b>Referencia</b>               | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Precio</b>   |
| Mecanizado                      | 1           | Mecanizado de piezas metálicas acorde a planos de fabricación | \$90,00         |
| Uniones soldadas                | 1           | Trabajo de soldadura en los elementos                         | \$60,00         |
| <b>TOTAL</b>                    |             |   | <b>\$150,00</b> |

Finalmente se tiene que el costo total de construcción de la zona de alineación de tarrinas es de:

$$Inversión\ 2 = \$126.93 + \$6347.60 + \$150$$

$$Inversión\ 2 = \$6624.53$$

### 3.3.1.3 Costos: Zona de transporte de cajas

En la tabla 3.17, se enlistan el detalle del costo de los elementos en esta zona.

**Tabla 3. 17. Lista de detalles de precios (Tranporte de Cajas)**

| <b>COMPONENTES METÁLICOS</b> |             |                                 |                 |
|------------------------------|-------------|---------------------------------|-----------------|
| <b>Referencia</b>            | <b>Ctd.</b> | <b>Descripción</b>              | <b>Precio</b>   |
| Actuador lineal              | 1           | Actuador neumático 200 mm       | \$1086,4        |
| Banda transportadora         | 1           | Banda transportadora horizontal | \$1008          |
| Banda transportadora         | 1           | Banda transportadora inclinada  | \$1008          |
| <b>TOTAL</b>                 |             |                                 | <b>\$3102,4</b> |

Finalmente se tiene que el costo total de construcción de la zona de transporte de cajas es de:

$$Inversión\ 3 = \$3102.4$$

### 3.3.2 Resumen: Costo Total de la máquina

En la Tabla 3.18, se muestra un resumen de todos los costos e inversiones en cada zona, y se estima el costo total de la máquina.

**Tabla 3. 18. Resumen de Costo Total de la máquina**

| <b>COSTO TOTAL</b>      |                    |
|-------------------------|--------------------|
| <b>Zona</b>             | <b>Inversión</b>   |
| Alineación de tarrinas  | \$2951.92          |
| Empaquetado de tarrinas | \$6624.53          |
| Transporte de Cajas     | \$3102.4           |
| <b>TOTAL</b>            | <b>\$12,678.85</b> |

### 3.3.3 Estudio de Factibilidad

Para el estudio de factibilidad de la máquina, fue necesario armar un flujo de caja, proyectado a 5 años. Los datos utilizados para armar el flujo de caja se muestran en la Tabla 3.19 a continuación:

**Tabla 3. 19. Resumen de Costo Total de la máquina**

| <b>Detalle</b>           | <b>Valor</b>      |
|--------------------------|-------------------|
| Capacidad (250 gr)       | 3,30 cajas/min    |
| Precio (250 gr)          | \$1.20            |
| Horas de trabajo día     | 8 horas           |
| Capacidad día            | 1584 cajas/día    |
| Capacidad año            | 380160 cajas/año  |
| Capacidad año            | 3400320 cajas/año |
| Consumo de energía (día) | 14168 KW-hr       |
| Consumo de energía (año) | 3400320 KW-hr     |
| Costo del KW-hr          | \$0,10            |
| Mantenimiento            | 6 meses           |
| costo mantenimiento      | \$500             |
| Número de operarios      | 8 personas        |
| Sueldo mensual           | \$1200            |

### 3.3.3.1 Estimación de tasa de descuento del proyecto

Para determinar el valor de tasa de descuento del proyecto, se utilizó la ecuación 2.24:

$$CAPM = R_f + B_u * (R_m - R_f)$$

Cómo se mencionó en el capítulo 2, de la página de Damodaram, se obtienen los valores de  $R_m$  y  $R_f$ .

$$R_m = 9.65\%$$

$$R_f = 4.88\%$$

$$R_m - R_f = 4.77\%$$

Luego, para determinar el  $B_u$ , se interceptan el tipo de industria (Ingeniería y construcción), con el valor del Beta, cómo se muestra en la Tabla 3.20. Obteniendo así un Beta de  $B_u = 1.04$

**Tabla 3. 20. Tablas de Betas desapalancados. Fuente: Damodaram**

| Industry Name                          | Industrias                               | Number of firms | Beta | D/E Ratio | Effective Tax rate | Unlevered beta | Cash/Firm value | Unlevered beta corrected for cash | HiLo Risk | Standard deviation of equity |
|--|--|-----------------|------|-----------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------|
| Drugs (Biotechnology)                  | Drogas (Biotecnología)                   | 459             | 1.44 | 15.83%    | 1.36%              | 1.25           | 5.27%           | 1.36                              | 0.5569    | 94.78%                       |
| Drugs (Pharmaceutical)                 | Drogas (Farmacéutica)                    | 185             | 1.21 | 14.63%    | 2.11%              | 1.09           | 3.65%           | 1.13                              | 0.5754    | 85.70%                       |
| Education                              | Educación                                | 34              | 1.15 | 38.83%    | 8.24%              | 0.89           | 7.06%           | 0.96                              | 0.473     | 53.59%                       |
| Electrical Equipment                   | Equipo eléctrico                         | 118             | 1.08 | 15.85%    | 5.06%              | 0.97           | 5.49%           | 1.02                              | 0.6021    | 66.17%                       |
| Electronics (Consumer & Office)        | Electrónica (Consumidor y Oficina)       | 24              | 1.09 | 6.94%     | 5.98%              | 1.04           | 3.85%           | 1.08                              | 0.5949    | 70.22%                       |
| Electronics (General)                  | Electrónica (General)                    | 167             | 0.94 | 14.97%    | 8.34%              | 0.84           | 7.80%           | 0.91                              | 0.5125    | 60.25%                       |
| Engineering/Construction               | Ingeniería / Construcción                | 49              | 1.77 | 29.74%    | 13.37%             | 1.04           | 8.14%           | 1.13                              | 0.413     | 53.02%                       |
| Entertainment                          | Entretención                             | 90              | 1.15 | 33.74%    | 5.45%              | 0.92           | 4.23%           | 0.96                              | 0.6323    | 54.94%                       |
| Environmental & Waste Services         | Servicios medioambientales y de residuos | 87              | 0.88 | 34.87%    | 4.45%              | 0.69           | 0.93%           | 0.7                               | 0.605     | 65.74%                       |
| Farming/Agriculture                    | Agricultura / Agricultura                | 34              | 0.74 | 55.54%    | 7.69%              | 0.52           | 6.02%           | 0.56                              | 0.4842    | 42.57%                       |
| Financial Svcs. (Non-bank & Insurance) | Financ. Svcs. (No bancario y seguro)     | 264             | 0.61 | 1032.19%  | 19.89%             | 0.07           | 2.38%           | 0.07                              | 0.2561    | 36.63%                       |
| Food Processing                        | Procesamiento de alimentos               | 87              | 0.68 | 30.82%    | 15.13%             | 0.55           | 1.58%           | 0.56                              | 0.4234    | 41.18%                       |
| Food Wholesalers                       | Mayoristas de alimentos                  | 15              | 1.79 | 37.46%    | 11.91%             | 1.39           | 1.76%           | 1.41                              | 0.4729    | 55.42%                       |

Entonces, se tiene que:

$$CAPM = R_f + B_u * (R_m - R_f)$$

$$CAPM = 4.88\% + 1.04 * (4.77\%)$$

$$CAPM = 9.84\%$$

La tasa de descuento para el Proyecto es de 9.84%



### 3.3.3.2 Rentabilidad del proyecto

Finalmente, para determinar la rentabilidad del proyecto, se realizó el flujo de caja para la presentación de 250 gr, como se muestra en la Tabla 3.21.

**Tabla 3. 21. Flujo de Caja (250 gr)**

| <b>Años</b>                        | <b>0</b>            | <b>1</b>          | <b>2</b>          | <b>3</b>          | <b>4</b>          | <b>5</b>          |
|------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Producción                         |                     | 380.160           | 380.160           | 380.160           | 380.160           | 380.160           |
| Precio de Venta                    |                     | \$ 1,2            | \$ 1,2            | \$ 1,2            | \$ 1,2            | \$ 1,2            |
| <b>Ingreso por ventas</b>          |                     | <b>\$ 475.200</b> | <b>\$ 475.200</b> | <b>\$ 475.200</b> | <b>\$ 475.200</b> | <b>\$ 475.200</b> |
| Costos de Operación                |                     | \$ 340.032        | \$ 340.032        | \$ 340.032        | \$ 340.032        | \$ 340.032        |
| Costos Mantenimiento               |                     | \$ 1.000          | \$ 1.000          | \$ 1.000          | \$ 1.000          | \$ 1.000          |
| Costo de operarios                 |                     | \$ 115.200        | \$ 115.200        | \$ 115.200        | \$ 115.200        | \$ 115.200        |
| <b>Utilidad antes de Impuestos</b> |                     | <b>\$ 18.968</b>  | <b>\$ 18.968</b>  | <b>\$ 18.968</b>  | <b>\$ 18.968</b>  | <b>\$ 18.968</b>  |
| Impuestos                          |                     | \$ 2.276          | \$ 2.276          | \$ 2.276          | \$ 2.276          | \$ 2.276          |
| <b>Utilidad Neta</b>               |                     | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  |
| Inversión                          | \$ 12.678,85        |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Flujo de Caja Neto</b>          | <b>\$-12.678,85</b> | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  | <b>\$ 16.692</b>  |
| <b>Tasa de Descuento</b>           | <b>9.84%</b>        |                   |                   |                   |                   |                   |

|            |                     |
|------------|---------------------|
| <b>VAN</b> | <b>\$ 50.855,84</b> |
| <b>TIR</b> | <b>129,59%</b>      |

Se observa que el VAN es mucho mayor a 0, y el que TIR es mucho mayor a la tasa de descuento. Lo que indica que el proyecto es muy rentable y se financia solo en 2 años.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallaron las conclusiones y recomendaciones referente al presente proyecto, en el cual se contrastaron los resultados obtenidos en el capítulo anterior acorde a los objetivos propuestos.

### 4.1 Conclusiones

- El diseño del sistema de empaquetamiento consistió en el uso de dos actuadores neumáticos lineales y dos giratorios, un actuador electroneumático, un actuador eléctrico, 12 ventosas, un generador de vacío, dos bandas transportadoras, y para la estructura se utilizaron placas rectangulares y perfiles cuadrados de acero galvanizado. La implementación de la máquina ocupa una superficie de 1,25 x 1,3 m y posee una altura de 2,41 m, que se ajusta al espacio destinado para el proyecto dentro de la empresa. El costo total de construcción del sistema es de \$12,678.85 incluido los materiales y su total construcción.
- Se cumplió con el principal requerimiento de la empresa, el cual fue el diseño de una máquina empaquetadora de tarrinas de margarina, la cual tiene una capacidad de empaquetar 3.3 cajas/min con la presentación de 250 g cumpliendo con la capacidad requerida mínima por la empresa que es de 2.08 cajas/min. Así mismo para la tarrina de 500 g, la máquina tiene la capacidad de empaquetado de 6.67 cajas/min con respecto a la requerida que es de 3.13 cajas/min. Por lo que, el diseño de esta máquina presenta flexibilidad si tienen como objetivo a futuro aumentar la producción.

- El diseño se realizó para que sus componentes sean de fácil ensamble permitiendo la facilidad de adaptarse a los posibles cambios de la tarrina como su forma o peso.
- Mediante el uso de software CAD se modelaron todos los componentes de la máquina para una representación visual y realista del diseño. A partir de ello se realizaron simulaciones a las partes estructurales, cuyos resultados juntos con los teóricos son comparables y se determinaba que la estructura de la máquina no fallaba durante su operación ya que se tenían resultados con un factor de seguridad mayor a 1, teniendo como mínimo un factor de 2.97.
- La implementación de esta máquina reemplazaría a dos trabajadores mejorando el proceso debido a que el proceso ahora podría ser continuo, evitar los tiempos muertos y el cambio continuo de los trabajadores para tratar de evitar las molestias generadas por la posición poco ergonómica que deben mantener durante el proceso de empaquetado manual.
- En el análisis de costo se contrastó el costo de mantener 2 operarios en el área de empaquetado, con el implemento de la máquina empaquetadora para ver la rentabilidad de la misma. Del análisis de factibilidad se obtuvo un VAN de \$50.855,84 y un TIR de 129,59%, por lo que se concluye que el proyecto es rentable.

## **4.2 Recomendaciones**

- Para acoplarse al diseño desarrollado se necesita que la bajada de cajas se desplace a un lado de la máquina y baje con una inclinación directa a la banda transportadora inferior a la empaquetadora.
- Para la automatización completa al final de la línea de producción sin contar paletizado se recomienda modificar o cambiar la selladora de cajas ya existente en la empresa ya que funciona de manera semiautomática necesitando de un trabajador en esta área.

- Los componentes fueron seleccionados de distribuidores en Ecuador para facilitar el proceso de adquisición de estos equipos y tienen sus respectivos manuales, los cuales sirven como guías para la realización de su respectivo mantenimiento.
- Para las simulaciones en el software CAD se debe tener en cuenta realizar un mallado fino para evitar errores y obtener resultados fiables y cercanos a los reales para lograr un análisis correcto y conocer el comportamiento de los elementos sometidos a esfuerzos.
- Se recomienda cotizar los equipos antes de la construcción de todo el sistema para la actualización de los precios de los mismos hasta ese momento.

# BIBLIOGRAFÍA

- Autopack Machinery. (2016). Información Técnica Comercial de las empacadoras (máquinas empaquetadoras).
- Balcells, J., Romeral, J. L., & Martínez, J. L. R. (1997). Autómatas programables (Vol. 1089). Marcombo.
- Balderas Sánchez, M., & Rivera Martínez, D. (2016). Propuesta del sistema de automatización de una máquina ensambladora de reguladores reductores de presión para gas basado en PLC y HMI. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional
- Beer, F., Johnston, E. R., & Cornwell, P. J. (2010). Dinámica. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Mc Graw Hill. 9na edición
- Combi Packaging Systems LLC. (2015). Empacadora (Empaquetadora) de caída libre
- Combi Packaging Systems LLC. (2015). Empacadora de Carga Horizontal CHL
- Cortés Osorio, J., & Mendoza Vargas, J., & Muriel Escobar, J. (2012). Control y supervisión de un sistema pick & place neumático a través de un PLC y un sistema SCADA. *Scientia Et Technica*, XVII (50), 141-146.
- Cortés, M. (2011). Elección de maquinaria para el envasado de productos líquidos. Dpto. Técnico, Maquienvas S.L.
- Cruz Hernández, D. (2013). Rehabilitación y Automatización de Maquinaria Industrial Obsoleta. Universidad Tecnológica de Tulancingo. Recuperado de <http://promep.sep.gob.mx/archivospdf/ESTADIAS/ESTADIA39244.PDF>
- Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). Engineering Design. McGraw-Hill. 4ta edición.
- Doan, C. V. (1996). Pick and Place Machine. U.S., Patent Number 5,564,888.
- Festo. Ventosas de sujeción por vacío ESG. Recuperado de [https://www.festo.com/cat/es\\_es/data/doc\\_es/PDF/ES/ESG\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/ESG_ES.PDF)
- Festo. Generadores de vacío OVEM. Recuperado de [https://www.festo.com/cat/es\\_es/data/doc\\_es/PDF/ES/OVEM\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/OVEM_ES.PDF)

- Festo. Cantilever axes ELCC. Recuperado de [https://www.festo.com/cat/es\\_es/data/doc\\_es/PDF/ES/ELCC\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/ELCC_ES.PDF)
- Festo. Actuadores Giratorios DRVS. Recuperado de [https://www.festo.com/cat/es\\_es/data/doc\\_es/PDF/ES/DRVS\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/DRVS_ES.PDF)
- Forbo Movement System. Cálculo de la banda transportadora. Recuperado de <https://www.forbo.com/movement/en-gl/downloads/brochures/technical-information/espanol/ps0krw>
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (2015).
- IPAC. Catálogo de Productos y Servicios. Recuperado de [http://www.ipac-acero.com/revista-digital/IPAC\\_catalogo.html](http://www.ipac-acero.com/revista-digital/IPAC_catalogo.html)
- Norton L. Robert (2012). Diseño de Máquinas, un enfoque integrado. Pearson. 4ta edición.
- NTE INEN 271: Margarina de mesa. Requisitos
- NTE INEN 2 184: Margarina Industrial. Requisitos
- Parker Hannifin (2007). Vacuum Cups. Recuperado de [http://www.parkermotion.com/literature/precision\\_cd/CD-EM/pneumatic/cat/english/0802-A\\_Cups.pdf](http://www.parkermotion.com/literature/precision_cd/CD-EM/pneumatic/cat/english/0802-A_Cups.pdf)
- Parker Hannifin (2007). Vacuum Generators. Rcuperado de [http://www.parkermotion.com/literature/precision\\_cd/CD-EM/pneumatic/cat/english/0802-B\\_Generators.pdf](http://www.parkermotion.com/literature/precision_cd/CD-EM/pneumatic/cat/english/0802-B_Generators.pdf)
- SkyCiv. Free Beam Calculator. Recuperado de: <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>
- Vaccon. Vacuum Cup Selection Guide. Recuperado de [https://www.vaccon.com/documents/vaccon-vacuum\\_cup\\_selection\\_guide.pdf](https://www.vaccon.com/documents/vaccon-vacuum_cup_selection_guide.pdf)
- Zatarain Bernal, P., & Franco Ortega, J. C., & González Hernández, C. F. (2017). Modelado Dinámico de Parámetros Concentrados de un Mecanismo tipo pick and place Modulado por Levas. Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de La Somi en Cuernavaca, Morelos, México
- Damodaram. (Enero de 2018). Obtenido de Country Default Spreads and Risk Premiums: [http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/ctryprem.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html)

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**  
**Hoja Técnica de Equipos**



# Generador de Vacío OVEM 14

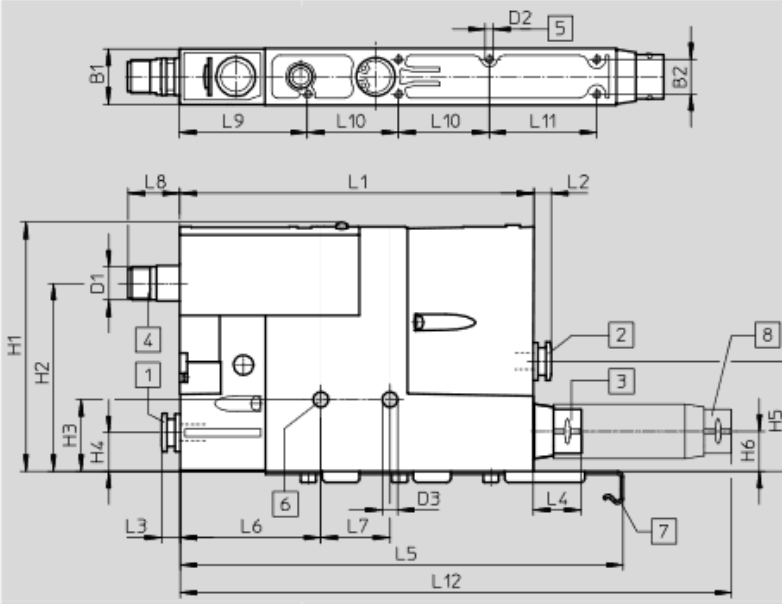
## Generadores de vacío OVEM

Hoja de datos

FESTO

Dimensiones  
OVEM-14/20

Datos CAD disponibles en → [www.festo.com](http://www.festo.com)



- 1 Conexión de aire comprimido (P)
- 2 Conexión de vacío (V)
- 3 Conexión de escape (R)
- 4 Conexión eléctrica apropiada para NEBU-M12G5-K...
- 5 Rosca de fijación M3  
Par de apriete máximo: 0,8 Nm
- 6 Taladro de fijación  
Par de apriete máximo: 2,5 Nm
- 7 Escuadra de fijación únicamente con OVEM...-PL/PO
- 8 Extensión de silenciador (Incluida en el suministro de OVEM-20)

| Tipo                | Conexiones neumáticas                          |                               |                               | D1    | D2 | D3  | B1   | B2   | H1 | H2 | H3 | H4   |
|---------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------|----|-----|------|------|----|----|----|------|
|                     | P  | U                             | R                             |       |    |     |      |      |    |    |    |      |
| OVEM-14/20...-QS... | QS-8   | QS-8                          | QS-8                          | M12x1 | M3 | 4,3 | 20,5 | 12,6 | 90 | 68 | 25 | 14,5 |
| OVEM-14/20...-QO... |  |                               | SD <sup>2)</sup>              |       |    |     |      |      |    |    |    |      |
| OVEM-14/20...-PL... | (G <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ) <sup>1)</sup> | QS-8                          | QS-8                          |       |    |     |      |      |    |    |    |      |
| OVEM-14/20...-PO... |  |                               | SD <sup>2)</sup>              |       |    |     |      |      |    |    |    |      |
| OVEM-14/20...-GN... | G <sup>1</sup> / <sub>4</sub>                  | G <sup>1</sup> / <sub>4</sub> | G <sup>3</sup> / <sub>8</sub> |       |    |     |      |      |    |    |    |      |
| OVEM-14/20...-GO... |  |                               | SD <sup>2)</sup>              |       |    |     |      |      |    |    |    |      |

| Tipo                | H5 | H6   | L1  | L2   | L3    | L4   | L5   | L6 | L7 | L8 | L9   | L10 | L11 | L12  |
|---------------------|----|------|-----|------|-------|------|------|----|----|----|------|-----|-----|------|
| OVEM-14/20...-QS... | 40 | 14,5 | 158 | 6,5  | 6,5   | 12   | -    | 57 | 25 | 18 | 46,5 | 33  | 39  | -    |
| OVEM-14/20...-QO... |    |      |     |      | 17,3  | -    | -230 |    |    |    |      |     |     |      |
| OVEM-14/20...-PL... |    |      |     |      | -     | 12   | -    |    |    |    |      |     |     |      |
| OVEM-14/20...-PO... |    |      |     | 17,3 | 160,5 | -230 |      |    |    |    |      |     |     |      |
| OVEM-14/20...-GN... |    |      |     | -    | -     | -    |      |    |    |    |      |     |     |      |
| OVEM-14/20...-GO... |    |      |     | 17,2 | 17,2  | 17,3 | -    |    |    |    |      |     |     | -230 |

- 1) Rosca para montaje en perfil distribuidor P → 19
- 2) SD = Silenciador

Generador de vacío OVEM, en unidades métricas

Número de artículo: 539997

Código del producto: OVEM-14-H-B-QO-CE-N-2P

### Especificaciones técnicas

| Característica                           | Valor   |
|--|---|
| Tobera Laval                             | 1,4 mm  |
| Patrón                                   | 20 mm   |
| Forma constructiva                       | modular   |
| Posición de montaje                      | Indiferente   |
| Característica del eyector               | Alto vacío<br>Estándar  |
| Función integrada                        | Válvula eléctrica de impulso de expulsión<br>válvula reguladora de caudal<br>Válvula eléctrica de cierre<br>Filtro<br>Función de ahorro de aire, eléctrica<br>Válvula antirretorno<br>Silenciador abierto<br>Vacuostato |
| Función de válvula                       | Centro cerrado  |
| Accionamiento manual auxiliar            | Mediante pulsador<br>Adicional mediante teclas de mando   |
| Indicación de la posición de conmutación | LCD   |
| Graduación del filtro                    | 40 µm   |
| Ejecución del silenciador                | Abierta   |
| Magnitud de medición                     | presión relativa  |
| Principio de medición                    | piezorresistivo   |
| Función de conmutación                   | Comparador de ventana<br>Comparador de umbral   |
| Indicación del estado de conmutación     | óptico  |
| Resistencia a cortocircuitos             | sí  |
| Polos inconfundibles                     | Para todas las conex. eléctricas  |
| Circuito protector inductivo             | Adaptado a bobinas MZ, MY, ME   |
| Función de elemento de conmutación       | Contacto normalmente cerrado<br>Contacto normalmente abierto  |

### Valores característicos - indicación/manejo

| Característica                              | Valor  |
|---|--|
| Margen de indicación                        | -0,999 - 0 bar   |
| Tipo de indicación                          | Alfanumérico, 4 caracteres<br>LCD con iluminación de fondo |
| Margen de ajuste para valores umbral        | -0,999 - 0 bar   |
| Margen de ajuste de histéresis              | -0,9 - 0 bar   |
| Posibilidades de regulación                 | Mediante pantalla y teclas                                 |
| Unidad(es) representables                   | bar  |
| Presión de funcionamiento                   | 2 – 8 bar  |
| Presión de funcionamiento para vacío máximo | 3,6 bar  |
| Vacío máximo                                | 93 %   |
| Margen de medición de la presión            | -1 - 0 bar   |
| Presión nominal de funcionamiento           | 6 bar  |

### Valores característicos - caudal

| Característica                               | Valor     |
|--|-----------|
| Caudal de aspiración máximo contra atmósfera | 50,5 l/mi |

### Valores característicos - dinámica

| Característica  | Valor |
|---|-------|
| Tiempo de ventilación a presión de funcionamiento nominal | 0,2 s |

## Valores característicos - electrónica

| Característica                          | Valor  |
|---|--|
| Margen de tensión de funcionamiento DC  | 20,4 - 27,6 V  |
| Factor de utilización                   | 100%   |
| Corriente máxima de salida              | 100 mA   |
| Corriente residual                      | 0,1 mA   |
| Caída de tensión                        | <= 1,5 V   |
| Corriente sin carga                     | < 70 mA  |
| Valores característicos de las bobinas, | 24 V DC: fase de corriente de baja intensidad 0,3 W, fase de corriente de alta intensidad 2,55 W |
| Resistencia a sobrecargas               | presente   |
| Salida                                  | 2xPNP  |
| Entrada de conexión según la norma      | IEC 61131-2  |
| Lógica de conmutación de las entradas   | PNP (conexión a positivo)  |
| Tensión de aislamiento                  | 50 V   |
| Resistencia a la tensión de choque      | 0,8 kV   |
| Grado de ensuciamento                   | 3  |

## Valores característicos - recepción/emisión

| Característica  | Valor  |
|---|--|
| Temperatura ambiente                                  | 0 - 50°C   |
| Temperatura del medio                                 | 0 - 50°C   |
| Medio de funcionamiento                               | Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]                              |
| Nota sobre el medio de trabajo/de mando               | No puede funcionar con aire comprimido lubricado                           |
| Nivel de ruido para presión nominal de funcionamiento | 77 dB(A)   |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK               | 2 - riesgo de corrosión moderado   |
| Material del cuerpo                                   | Contiene sustancias que afectan al proceso de pintura<br>Conforme con RoHS |
| Clase de protección                                   | III  |
| Clase de protección                                   | IP65   |
| Marcado CE (consultar declaración de conformidad)     | Según la directiva sobre CEM de la UE                                      |
| Certificación   | Marca registrada RCM<br>c UL us - Listed (OL)                              |
| Humedad relativa del ambiente                         | 5 - 85 %   |

## Valores característicos - fuerza y energía

| Característica        | Valor   |
|-----------------------|---|
| Par de apriete máximo | 0,8 Nm con rosca interior<br>2,5 Nm con taladro pasante de fijación |

## Conexión - electromecánica

| Característica     | Valor                            |
|--------------------|----------------------------------|
| Conexión eléctrica | 5 contactos<br>M12x1<br>Conector |

## Conexión - mecánica

| Característica   | Valor   |
|------------------|---|
| Tipo de fijación | con taladro pasante<br>Con rosca interior<br>con accesorios |

## Conexión - neumática

| Característica       | Valor                    |
|----------------------|--------------------------|
| Conexión neumática 1 | QS-8                     |
| Conexión de vacío    | QS-8                     |
| Conexión neumática 3 | Silenciadores integrados |

## Valores característicos - masas

| Característica    | Valor |
|-------------------|-------|
| Peso del producto | 380 g |

## Materiales

| Característica                        | Valor   |
|---------------------------------------|---|
| Material de las juntas                | NBR   |
| Material de la tobera colectora       | POM   |
| Material del filtro                   | Malla<br>PA<br>Acero sinterizado              |
| Material del cuerpo del filtro        | PA reforzado                                  |
| Material del cuerpo                   | Función inyectada de aluminio<br>PA reforzado |
| Material del tornillo de regulación   | Acero   |
| Material del silenciador              | Aleación forjable de aluminio<br>Espuma de PU |
| Material de los tornillos             | Acero   |
| Material ventanilla                   | PA  |
| Material eyector                      | Aleación forjable de aluminio                 |
| Material del cuerpo del conector      | Latón niquelado                               |
| Material de los contactos enchufables | Latón dorado                                  |
| Material pines                        | Acero   |
| Material del teclado                  | TPE-U   |
| Material racor                        | Latón niquelado                               |

# Ventosa de vacío ESG-20

Ventosa de sujeción por vacío ESG, redonda

Número de artículo: 189173

Código del producto: ESG-20-BS-HA-QS

## Especificaciones técnicas

| Característica  | Valor   |
|---|---|
| Tipo de producto  | ESG   |
| Diámetro de la ventosa  | 20 mm   |
| Posición de montaje   | Vertical  |
| Forma constructiva  | Conexión de vacío en parte superior   |
| Clasificación de los elementos de fijación de la ventosa          | Tamaño 4  |
| Forma de la ventosa   | Fuelle redondo de 1,5   |
| Medio de funcionamiento   | Aire atmosférico en concordancia con ISO 8573-1:2010 [7:-:-]                                    |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK                           | 1   |
| Temperatura ambiente  | -30 ... 180°C   |
| Material del cuerpo   | Sin cobre ni PTFE<br>Contiene sustancias que afectan al proceso de pintura<br>Conforme con RoHS |
| Material ventosa  | Silicona  |
| Diámetro nominal  | 5 mm  |
| Paso nominal de la ventosa  | 3 mm  |
| Volumen de la ventosa   | 1,6 cm <sup>3</sup>   |
| Fijación de la ventosa  | M6  |
| Color de la ventosa   | Transparente  |
| Compensación de altura de las ventosas                            | 6 mm  |
| Radio mínimo de las piezas  | 40 mm   |
| Compensación de altura para el elemento de fijación para ventosas | 0 mm  |
| Temperatura ambiente del retenedor                                | 0 ... 60°C  |
| Conexión de vacío   | QS-6  |
| Rosca de fijación   | M14x1   |
| Dureza Shore  | 50 ±5   |
| Material de los pivotes roscados                                  | Latón niquelado<br>Acero, galvanizado y cromado   |

# Actuador electromecánico (viga en voladizo) ELCC 110

## Ejes en voladizo ELCC

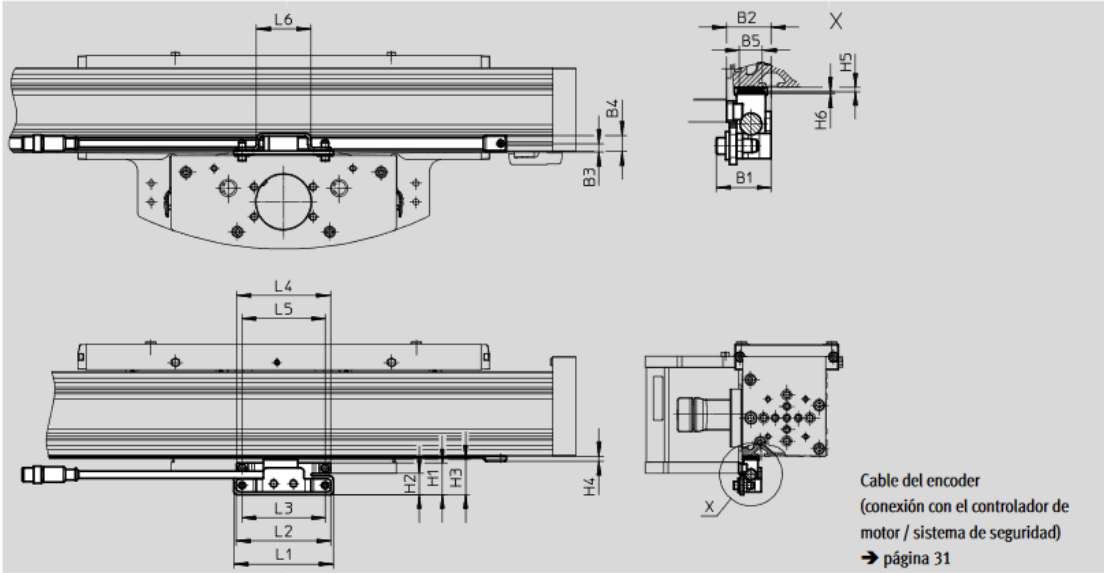
Hoja de datos

FESTO

### Dimensiones

Datos CAD disponibles en [www.festo.com](http://www.festo.com)

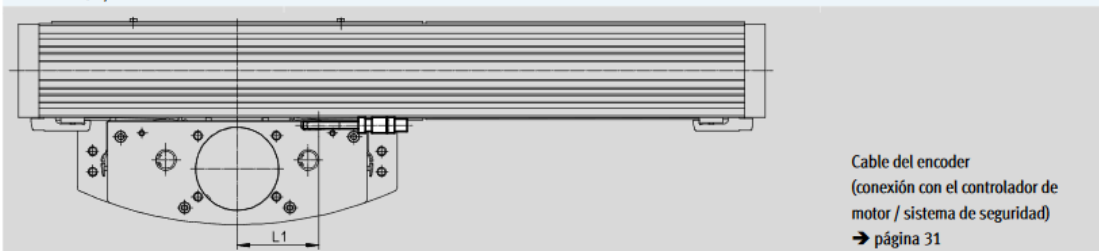
ELCC-TB-KF-60/70-...-M1 – con sistema incremental de medición de recorrido



| Tamaño | B1   | B2   | B3  | B4   | B5 | H1   | H2   | H3   |
|--------|------|------|-----|------|----|------|------|------|
| 60     | 32,6 | 26,8 | 15  | 14,1 | 10 | 30,5 | 19,1 | 30,5 |
| 70     | 23,6 | 19,3 | 7,5 | 14,1 | 10 | 27,3 | 18,3 | 30,5 |

| Tamaño | H4  | H5  | H6 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 |
|--------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| 60     | 4,5 | 1,8 | 1  | 86 | 82 | 72 | 81 | 72 | 47 |
| 70     | 4,5 | 1,8 | 1  | 86 | 82 | 72 | 81 | 72 | 47 |

ELCC-TB-KF-90/110-...-M1 – con sistema incremental de medición de recorrido



| Tamaño | L1 |
|--------|----|
| 90     | 79 |
| 110    | 79 |

Eje en voladizo ELCC

Número de artículo: 8060574

Código del producto: ELCC-TB-KF-110-800-0H-P0-CR-M1-C

## Especificaciones técnicas

| Característica  | Valor  |
|---|--|
| Diámetro efectivo del piñón motriz                                    | 68,755 mm  |
| Carrera útil  | 800 mm   |
| Tamaño  | 110  |
| Reserva de carrera  | 0 mm   |
| División de la correa dentada   | 8 mm   |
| Tipo de producto  | ELCC   |
| Posición de montaje   | Indiferente  |
| Guía  | Guía de rodamiento de bolas  |
| Forma constructiva  | Eje en voladizo electromecánico  |
| Aceleración máxima  | 30 m/s <sup>2</sup>  |
| Máx. velocidad  | 5 m/s <sup>2</sup>   |
| Precisión de repetición   | ±0,05 mm   |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK                               | 0 - sin riesgo de corrosión  |
| Clase de protección   | IP20   |
| Temperatura ambiente  | -10 ... 60 °C  |
| Segundo momento de área Iy  | 6830571 MM <sup>4</sup>  |
| Segundo momento de área Iz  | 4925971 MM <sup>4</sup>  |
| Momento de impulsión máximo   | 85,9 Nm  |
| Fuerza Fy máxima  | 20596 N  |
| Fuerza máx. + Fz  | 20022 N  |
| Momento Mx máximo   | 317 Nm   |
| Momento My máx.   | 2368 Nm  |
| Momento máximo Mz   | 2286 Nm  |
| Fuerza máxima de avance Fx  | 2500 N   |
| Constante de avance   | 216 MMU  |
| Valor de referencia de movimientos                                    | 5003 km  |
| Intervalo de lubricación en función de la distancia recorrida         | 1000 km  |
| Masa móvil con carrera de 0 mm con segundo cabezal de accionamiento   | 16953 g  |
| Masa en movimiento  | 10017 g  |
| Peso carro adicional  | 4777 g   |
| Peso adicional por 10 mm de carrera                                   | 148 g  |
| Peso básico con 0 mm de carrera, con segundo cabezal de accionamiento | 39012 g  |
| Peso básico con carrera de 0 mm                                       | 27299 g  |
| Masa adicional por 10 mm de carrera                                   | 148 g  |
| Material de la culata trasera   | Aleación forjada de aluminio anodizado                                     |
| Material del perfil   | Aleación forjada de aluminio anodizado                                     |
| Material del cuerpo   | Contiene sustancias que afectan al proceso de pintura<br>Conforme con RoHS |
| Material del cabezal de accionamiento                                 | Aleación forjada de aluminio anodizado                                     |
| Material del carril de guía   | Pieza rodamiento, recub. Corrotect   |
| Material del cuerpo   | Acero inoxidable de aleación fina  |
| Material del carro  | Fundición de aluminio, anodizado   |
| Material de la pieza de sujeción de la correa dentada                 | Aleación forjada de aluminio anodizado                                     |
| Material de la correa dentada   | Policloropreno con trama de vidrio y recubrimiento de nailon               |

# Actuador giratorio DRVS - 32 – 90

## Actuadores giratorios DRVS

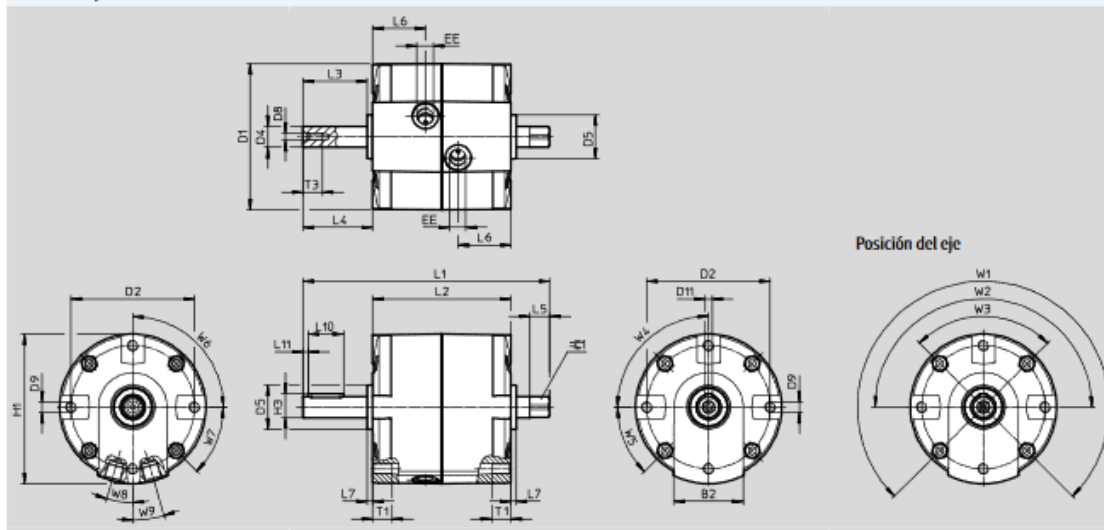
Hoja de datos

FESTO

### Dimensiones

Datos CAD disponibles en [www.festo.com](http://www.festo.com)

Tamaños 32/40



| Tamaño | B2 | D1    | D2   | D4 | D5   | D8 | D9 | D11 |
|--------|----|-------|------|----|------|----|----|-----|
|        |    | ∅     | ∅    | ∅  | -0,1 |    |    | N9  |
|        |    |       | +0,2 | g7 |      |    |    |     |
| 32     | 39 | 83    | 70   | 12 | 25   | M4 | M6 | 4   |
| 40     | 42 | 100,1 | 87   | 17 | 30   | M5 | M8 | 5   |

| Tamaño | EE   | H1    | H3   | L1        | L2                        | L3   | L4        | L5                 |
|--------|------|-------|------|-----------|---------------------------|------|-----------|--------------------|
|        |      |       | -0,2 | +0,2/-0,3 |                           |      | +0,3/-0,6 |                    |
| 32     | G1/8 | 85    | 13,5 | 140       | 78,5 <sup>+0,5/-0,1</sup> | 36,5 | 39,5      | 11,2               |
| 40     | G1/8 | 102,6 | 19   | 170       | 93 <sup>+0,4</sup>        | 50,5 | 53,5      | 16 <sup>+0,3</sup> |

| Tamaño | L6 | L7                     | L10                  | L11 | T1               | T3 | W1   | W2   |
|--------|----|------------------------|----------------------|-----|------------------|----|------|------|
|        |    |                        |                      |     |                  | +3 | +7°  | +7°  |
| 32     | 30 | 3 <sup>+0,1/-0,2</sup> | 20 <sup>+0,1</sup>   | 3   | 11               | 11 | 270° | 180° |
| 40     | 37 | 3 <sup>+0,2</sup>      | 36,1 <sup>+0,3</sup> | 5   | 13 <sup>+3</sup> | 13 |      |      |

| Tamaño | W3  | W4  | W5  | W6  | W7  | W8    | W9    | ∠C 1 | Chaveta según DIN 6885 <sup>1)</sup> |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------|--------------------------------------|
|        | +7° |     |     |     |     |       |       | h11  |                                      |
| 32     | 90° | 90° | 45° | 90° | 45° | 16°   | 16°   | 10   | A4x4x20                              |
| 40     |     |     |     |     |     | 14,5° | 14,5° | 13   | A5x5x36                              |

1) Incluido en el suministro

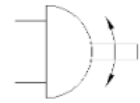
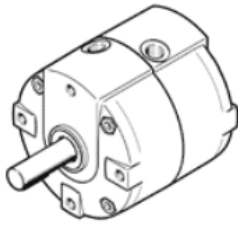


# actuador giratorio DRVS-32-90-P

Número de artículo: 1845719

★ Gama básica

FESTO



## Hoja de datos

| Característica  | Valor   |
|---|---|
| Tamaño  | 32  |
| Ángulo de amortiguación                                   | 0,5 deg   |
| Ángulo de giro  | 0 ... 90 deg  |
| Amortiguación   | P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados                              |
| Posición de montaje                                       | indistinto  |
| Modo de funcionamiento                                    | de doble efecto   |
| Construcción  | Aleta giratoria   |
| Detección de la posición                                  | para sensores de proximidad   |
| Variantes   | árbolo con chaveta  |
| Presión de funcionamiento                                 | 2 ... 8 bar   |
| Frecuencia de giro máxima con 6 bar                       | 3 Hz  |
| Fluido  | Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]                                       |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK                   | 1 - riesgo de corrosión bajo  |
| Temperatura ambiente                                      | 0 ... 60 °C   |
| Fuerza axial máxima                                       | 75 N  |
| Fuerza radial máxima                                      | 200 N   |
| Momento de giro teórico con 6 bar                         | 10 Nm   |
| Momento de inercia admisible de la masa                   | 0,02 kgm <sup>2</sup>   |
| Peso del producto   | 928 g   |
| Tipo de fijación  | con rosca interior  |
| Conexión neumática  | G1/8  |
| Indicación sobre el material                              | Conforme con RoHS   |
| Material del eje de accionamiento                         | Acero niquelado   |
| Material de las juntas                                    | TPE-U(PU)   |
| Material de la carcasa                                    | Fundición inyectada de aluminio pintado   |

# Servomotor EMME - AS - 100

## Servomotores EMME-AS

FESTO

Hoja de datos

| Datos técnicos                                 |                      |                |       |
|--|----------------------|----------------|-------|
| Tamaño de la brida                             |                      | 100            |       |
| Ejecución                                      |                      | S              | M     |
| Bobinado                                       |                      | HS             | HS    |
| Motor  |                      |                |       |
| Tensión nominal                                | [V DC]               | 565            | 565   |
| Intensidad nominal                             | [A]                  | 3,0            | 4,1   |
| Corriente permanente de reposo                 | [A]                  | 3,4            | 4,6   |
| Pico de corriente                              | [A]                  | 13,6           | 18,4  |
| Potencia nominal                               | [W]                  | 1500           | 2000  |
| Momento de giro nominal                        | [Nm]                 | 4,8            | 6,4   |
| Momento de giro máximo                         | [Nm]                 | 22,4           | 30,0  |
| Momento de giro en reposo                      | [Nm]                 | 5,6            | 7,5   |
| Velocidad nominal                              | [1/min]              | 3000           | 3000  |
| Cantidad máxima de giros en función del tiempo | [rpm]                | 3910           | 3941  |
| Constante del motor                            | [Nm/A]               | 1,600          | 1,561 |
| Constante de tensión (fase/fase)               | [mV/min]             | 102,2          | 101,4 |
| Resistencia de la bobina                       | [Ω]                  | 4,6            | 3,2   |
| Inductancia de la bobina                       | [mH]                 | 19,8           | 15,0  |
| Momento de inercia de salida total             |                      |                |       |
| Sin freno                                      | [kgcm <sup>2</sup> ] | 4,84           | 6,41  |
| Con freno                                      | [kgcm <sup>2</sup> ] | 5,63           | 7,20  |
| Carga en el eje con revoluciones nominales     |                      |                |       |
| Radial   | [N]                  | 650            | 680   |
| Axial  | [N]                  | 130            | 136   |
| Freno  |                      |                |       |
| Tensión de alimentación                        | [V DC]               | 24 +6 ... -10% |       |
| Consumo de potencia                            | [W]                  | 18             |       |
| Momento de sujeción                            | [Nm]                 | 9,0            |       |
| Momento de inercia de la masa                  | [kgcm <sup>2</sup> ] | 0,654          |       |


| Pesos [kg] – Encoder |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tamaño de la brida   | 40  |     | 60  |     | 80  |     | 100 |     |
| Ejecución            | S   | M   | S   | M   | S   | M   | S   | M   |
| Sin freno            | 0,6 | 0,7 | 1,7 | 2,2 | 3,4 | 4,1 | 6,3 | 7,3 |
| Con freno            | 0,7 | 0,8 | 2,0 | 2,6 | 4,1 | 4,8 | 7,3 | 8,3 |


# Racor rápido en X

## racor rápido en X QSMX-6

Número de artículo: 153380

**FESTO**

 Condiciones de servicio generales

 Hoja de datos



### Hoja de datos

| Característica   | Valor  |
|--|--|
| Fecha de envío   | → Indicación                                     |
| Tamaño   | Mini   |
| Diámetro nominal   | 3,3 mm   |
| Posición de montaje  | indistinto                                       |
| Tamaño del depósito  | 10   |
| Construcción   | Principio Push-Pull                              |
| Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura | -0,95 ... 6 bar                                  |
| Presión de funcionamiento en función de la temperatura     | -0,95 ... 14 bar                                 |
| Fluido   | Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:-:-]    |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando  | Opción de funcionamiento con lubricación         |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK                    | 1 - riesgo de corrosión bajo                     |
| Temperatura ambiente                                       | -10 ... 80 °C                                    |
| Clasificación marítima                                     | véase el certificado                             |
| Peso del producto  | 5 g  |
| Cantidad de salidas  | 3  |
| Cantidad de conductos de alimentación                      | 1  |
| Conexión neumática 1                                       | para diámetro exterior del tubo flexible de 6 mm |
| Conexión neumática 2                                       | Para diámetro exterior del tubo flexible de 6 mm |
| Color del anillo extractor                                 | azul   |
| Indicación sobre el material                               | Conforme con RoHS                                |
| Material de la carcasa                                     | PBT  |
| Material del anillo extractor                              | POM  |
| Material de la junta del tubo flexible                     | NBR  |
| Material del segmento de aprisionamiento del tubo flexible | Acero inoxidable de aleación fina                |

# Actuador Neumático DSBC 40

DSBC

Número de artículo: 1376910

Código del producto: DSBC-40-200-PPSA-N3

## Especificaciones técnicas

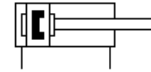
| Característica                                | Valor  |
|---|--|
| Carrera                                       | 200 mm   |
| Diámetro del émbolo                           | 40 mm  |
| Tipo de producto                              | DSBC serie C   |
| Amortiguación                                 | Amortiguación neumática autorregulable en ambos lados    |
| Posición de montaje                           | Indiferente  |
| Conforme a la norma                           | ISO 15552  |
| Forma constructiva                            | Émbolo<br>Vástago<br>Tubo perfilado                      |
| Detección de la posición                      | Para sensores de proximidad                              |
| Conexión neumática                            | Doble efecto   |
| Medio de funcionamiento                       | Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [6.4:4]            |
| Nota sobre el medio de trabajo/de mando       | Puede funcionar con lubricación (en adelante, necesario) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK       | 2 - riesgo de corrosión moderado                         |
| Temperatura ambiente                          | -20 ... 80 °C  |
| Energía del impacto en las posiciones finales | 0,7 J  |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso           | 633 N  |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance              | 754 N  |
| Masa en movimiento                            | 205 g  |
| Peso adicional por 10 mm de carrera           | 37 g   |
| Peso básico con carrera de 0 mm               | 740 g  |
| Masa adicional por 10 mm de carrera           | 16 g   |
| Tipo de fijación                              | Indistintamente:<br>Con rosca interior<br>con accesorios |
| Conexión neumática                            | G1/4   |
| Material del cuerpo                           | Conforme con RoHS  |
| Material de la tapa                           | Función inyectada de aluminio<br>recubierto              |
| Material de la camisa del cilindro            | Aleación forjable de aluminio<br>Anodizado deslizando    |

# Actuador Neumático Plano DZF 12

## cilindro plano DZF-12-80-A-P-A

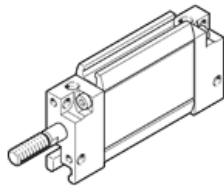
Número de artículo: 161228

**FESTO**



seguridad antigiro, para detección de posiciones, con anillos amortiguadores elásticos en los finales de carrera. Diversas posibilidades de fijación, con y sin elementos de fijación adicionales.

Condiciones de servicio generales  
 Hoja de datos



### Hoja de datos

| Característica  | Valor   |
|---|---|
| Fecha de envío  | → Indicación  |
| Carrera   | 80 mm   |
| Diámetro del émbolo                                       | 12 mm<br>Diámetro equivalente   |
| Ángulo de giro máx. del vástago +/-                       | 2,5 deg   |
| Amortiguación   | P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados                              |
| Posición de montaje                                       | indistinto  |
| Modo de funcionamiento                                    | de doble efecto   |
| Construcción  | Émbolo<br>Vástago   |
| Detección de la posición                                  | para sensores de proximidad   |
| Antigiro/Guía   | Émbolo oval   |
| Presión de funcionamiento                                 | 1,6 ... 10 bar  |
| Fluido  | Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]                                       |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK                   | 2 - riesgo de corrosión moderado  |
| Temperatura ambiente                                      | -20 ... 80 °C   |
| Momento de giro máximo del antigiro                       | 0,1 Nm  |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso                       | 51 N  |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance                          | 68 N  |
| Masa móvil con carrera de 0 mm                            | 12 g  |
| Peso adicional por 10 mm de carrera                       | 9 g   |
| Peso básico con carrera de 0 mm                           | 96 g  |
| Masa adicional por 10 mm de carrera                       | 2 g   |
| Tipo de fijación  | a elegir:<br>con rosca interior<br>con accesorios                                   |
| Conexión neumática  | M5  |
| Material de la culata                                     | Aleación forjable de aluminio   |
| Material de las juntas                                    | NBR<br>TPE-U(PU)  |
| Material de la carcasa                                    | Aluminio<br>Anodizado deslizando  |
| Material del vástago                                      | Acero inoxidable de aleación fina   |

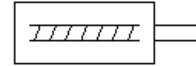
# Actuador Eléctrico ESBF 40


accionamiento eléctrico


ESBF-...-40- -

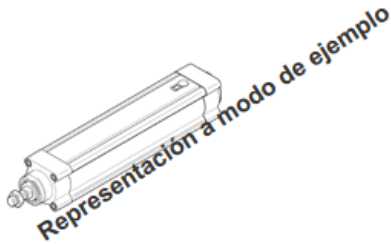
Número de artículo: 8022585

**FESTO**



 Condiciones de servicio generales

 Hoja de datos



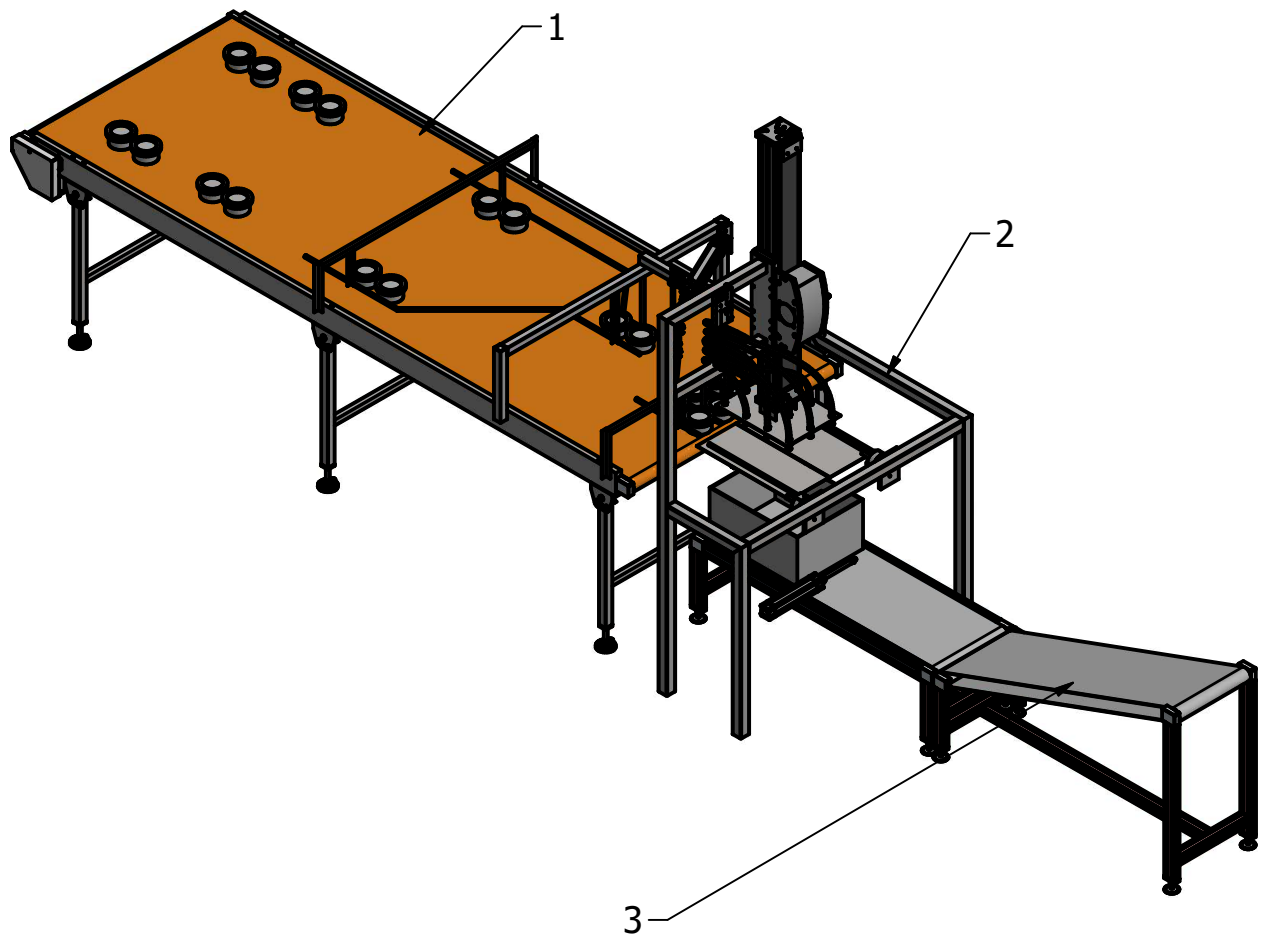
## Hoja de datos

Ficha de datos técnicos completa: los valores parciales dependen de su configuración.

| Característica                                  | Valor   |
|---|---|
| Tamaño  | 40  |
| Carrera   | 30 ... 800 mm   |
| Rosca del vástago                               | M12x1,25  |
| Diámetro del husillo                            | 16 mm   |
| Ángulo de giro máx. del vástago +/-             | 0,2 deg   |
| Basado en la norma                              | ISO 15552   |
| Posición de montaje                             | indistinto  |
| Tipo de motor                                   | motor paso a paso<br>Servomotor   |
| Detección de la posición                        | para sensores de proximidad   |
| Construcción                                    | Cilindro de accionamiento eléctrico con rodamiento de bolas circulantes<br>Cilindro de accionamiento eléctrico con husillo roscado de deslizamiento |
| Antigiro/Guia                                   | Guiado deslizante   |
| Factor de utilización                           | 100%  |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK         | 2 - riesgo de corrosión moderado  |
| Temperatura de almacenamiento                   | -20 ... 60 °C   |
| Humedad relativa del aire                       | 0 - 95 %  |
| Tipo de protección                              | IP40  |
| Temperatura ambiente                            | 0 ... 60 °C   |
| Fuerza radial máxima en el eje de accionamiento | 130 N   |
| Máx. fuerza de avance Fx                        | 3.000 N   |
| Par motor sin carga                             | 0,2 Nm  |
| Tipo de fijación                                | con rosca interior<br>o accesorios  |
| Código de conexión, actuador                    | D40   |
| Indicación sobre el material                    | contiene sustancias perjudiciales para la pintura<br>Conforme con RoHS  |
| Material de la culata                           | Aleación forjable de aluminio<br>Anodizado deslizante   |
| Material del vástago                            | Acero inoxidable de aleación fina   |
| Material de los tornillos                       | Acero<br>cincado  |
| Material de la tuerca del husillo               | acero para rodamientos  |
| Material del husillo                            | acero para rodamientos  |
| Material de la camisa del cilindro              | Aleación forjable de aluminio<br>Anodizado deslizante   |

**APÉNDICE B**  
**Planos de fabricación**

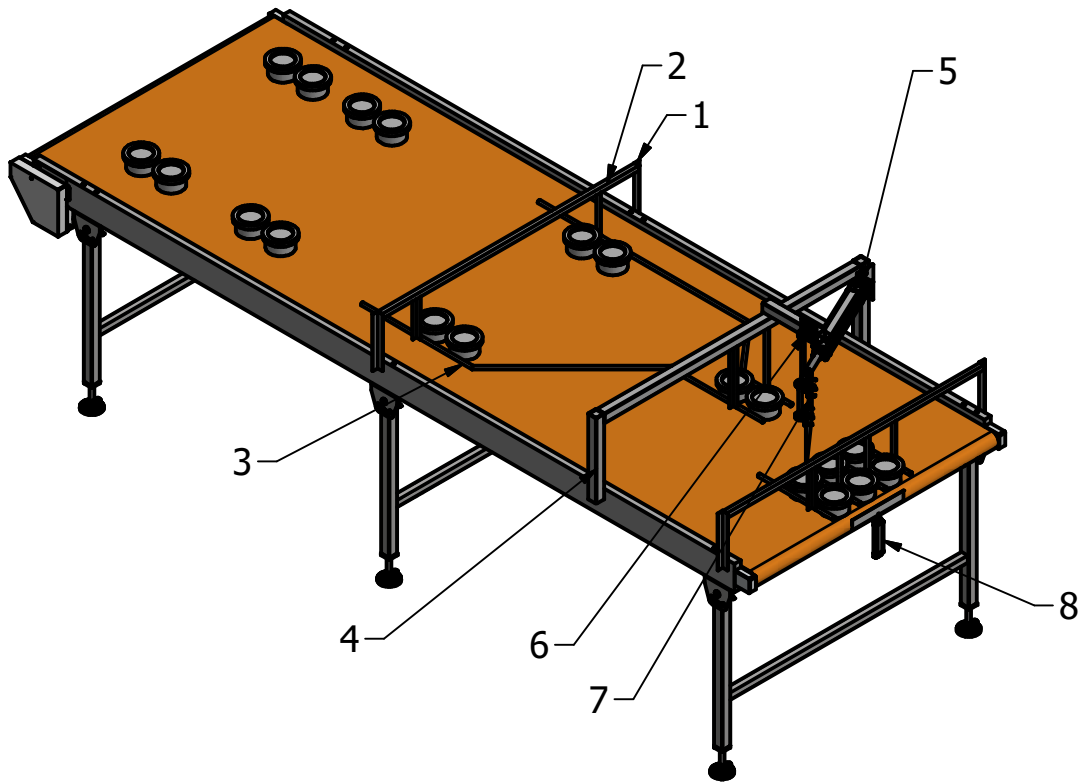
| TABLA |      |                                |
|-------|------|--------------------------------|
| REF.  | CTD. | ELEMENTOS                      |
| 1     | 1    | ZONA DE ALINEACION DE TARRINAS |
| 1     | 1    | MAQUINA EMPAQUETADORA          |
| 1     | 1    | ZONA DE TRANSPORTE DE CAJAS    |



|  |                           |                           |                   |                   |  |
|--|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>4/2/2019 | Fecha<br>3/2/2019 |  |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           | PROCESO DE EMPAQUETADO    |                   |                   |  |
|  |                           | VISTA GENERAL             | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1     |  |

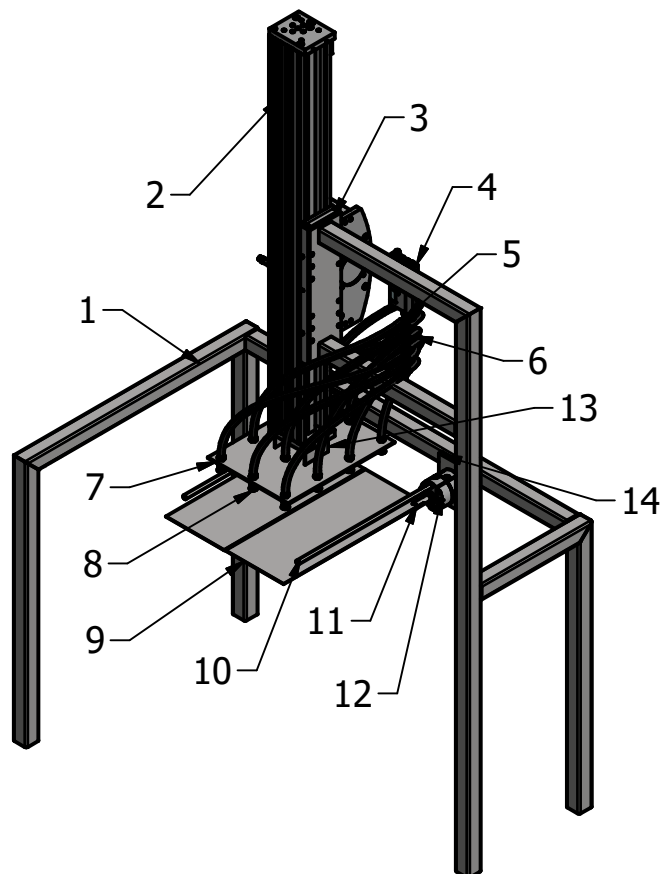


| TABLA |      |                              |
|-------|------|------------------------------|
| REF.  | CTD. | ELEMENTOS                    |
| 1     | 4    | ANGULO 25 X 25 X 3 mm        |
| 2     | 1    | TUBO CUADRADO 20 X 20 mm     |
| 3     | 1    | VARILLA 1/2 PLG              |
| 4     | 3    | TUBO CUADRADO 40 X 40 X 2 mm |
| 5     | 1    | ACTUADOR LINEAL              |
| 6     | 1    | CHUMACERA DE PARED           |
| 7     | 1    | PLACA DE ACTUADOR            |
| 8     | 1    | ACTUADOR LINEAL NEUMATICO    |

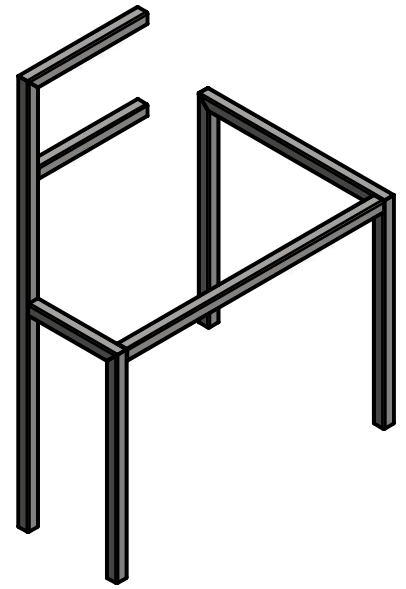
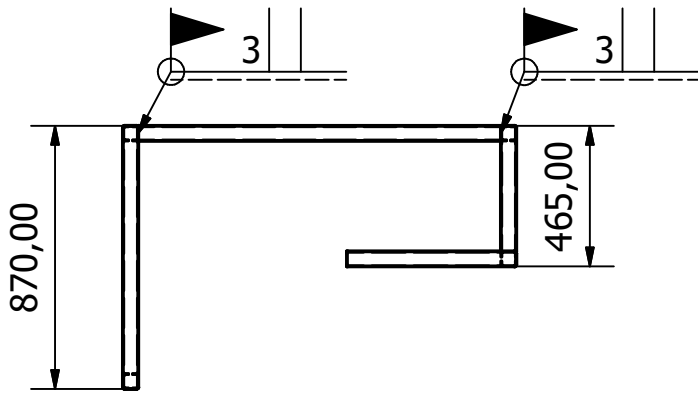


|  |                           |                           |                                |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>H. DELGADO                            | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>4/2/2019              | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | ZONA DE ALINEACION DE TARRINAS |                   |               |
|  |                           |                           | ENSAMBLE GENERAL               | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |

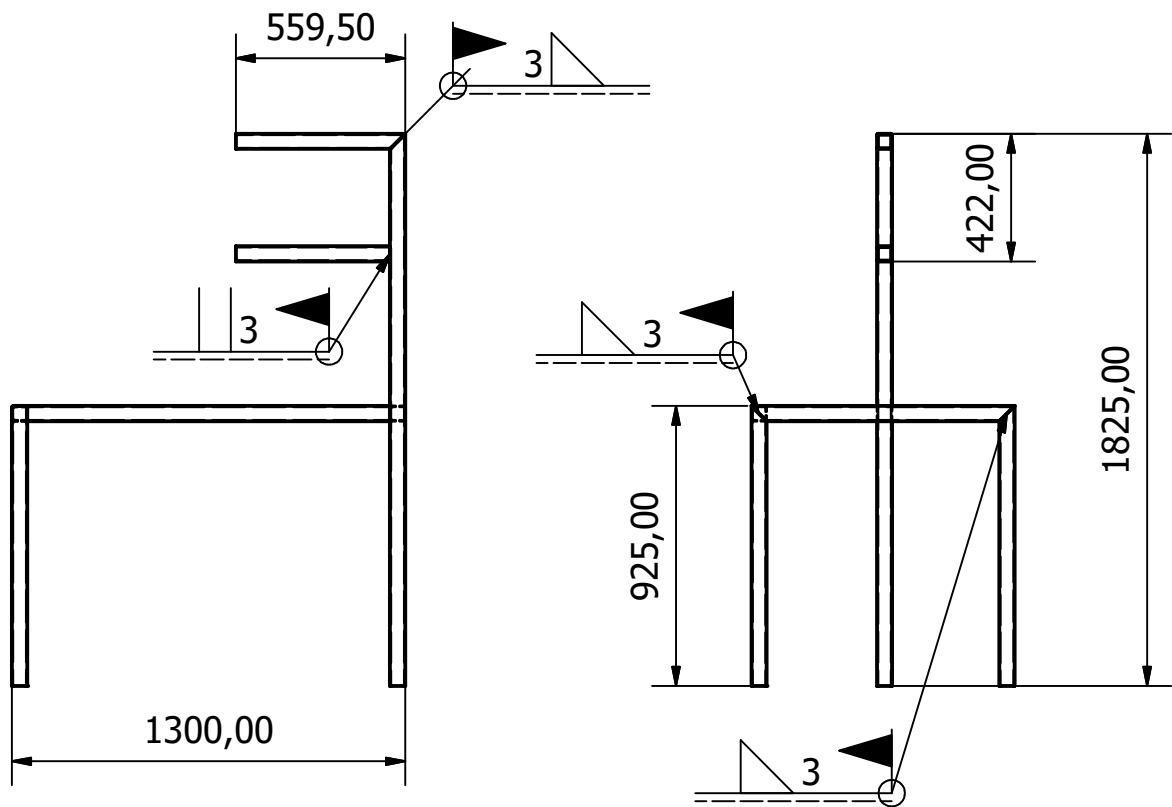
| TABLA |      |                        |
|-------|------|------------------------|
| REF.  | CTD. | ELEMENTO               |
| 1     | 1    | EST. DE SOPORTE        |
| 2     | 1    | ACTUADOR LINEAL        |
| 3     | 1    | PLACA ACT. LINEAL      |
| 4     | 1    | GENERADOR DE VACIO     |
| 5     | 5    | RACOR , 4 SALIDAS      |
| 6     | 12   | MANGUERAS              |
| 7     | 1    | PLACA PARA VENTOSAS    |
| 8     | 12   | VENTOSAS               |
| 9     | 2    | PLACA COMPUERTA        |
| 10    | 2    | SEGUIDORES             |
| 11    | 2    | ACOPLE PLACA COMPUERTA |
| 12    | 2    | ACTUADOR GIRATORIO     |
| 13    | 2    | ACOPLE ACT. LINEAL     |
| 14    | 2    | PLACA ACT. GIRATORIO   |



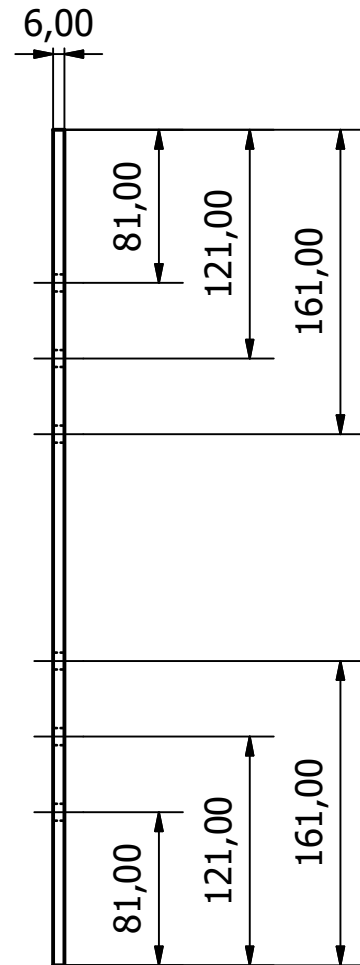
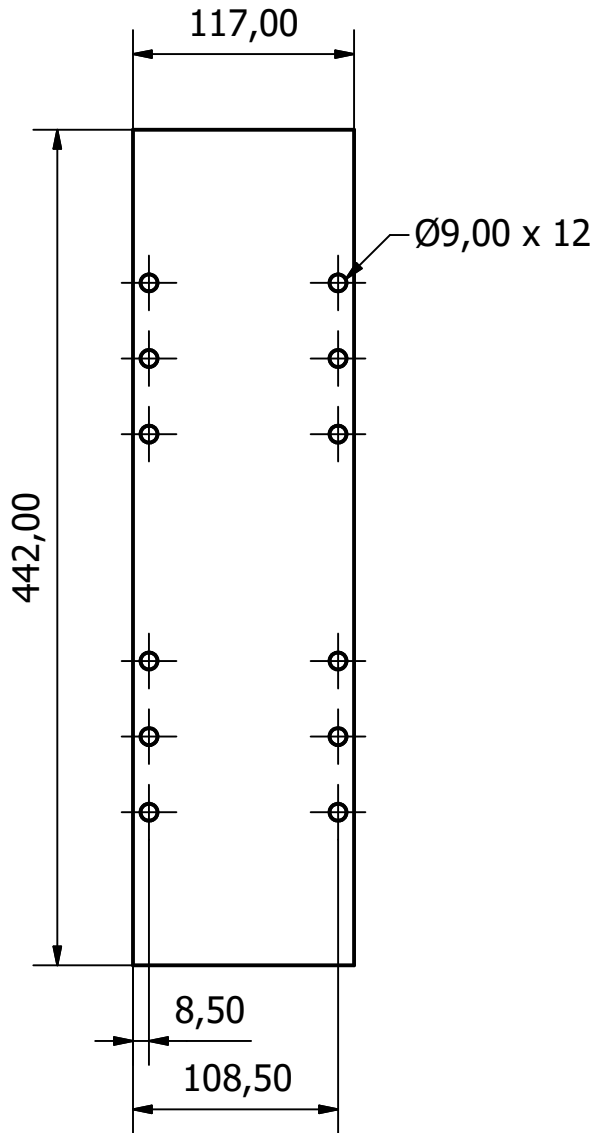
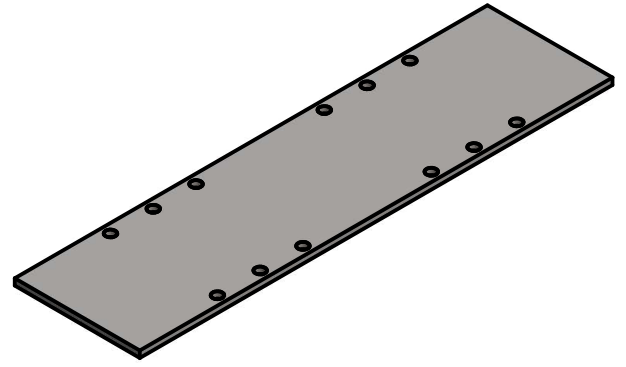
|  |                           |                           |                       |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>4/2/2019     | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | MAQUINA EMPAQUETADORA |                   |               |
|  |                           |                           | ENSAMBLE GENERAL      | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |



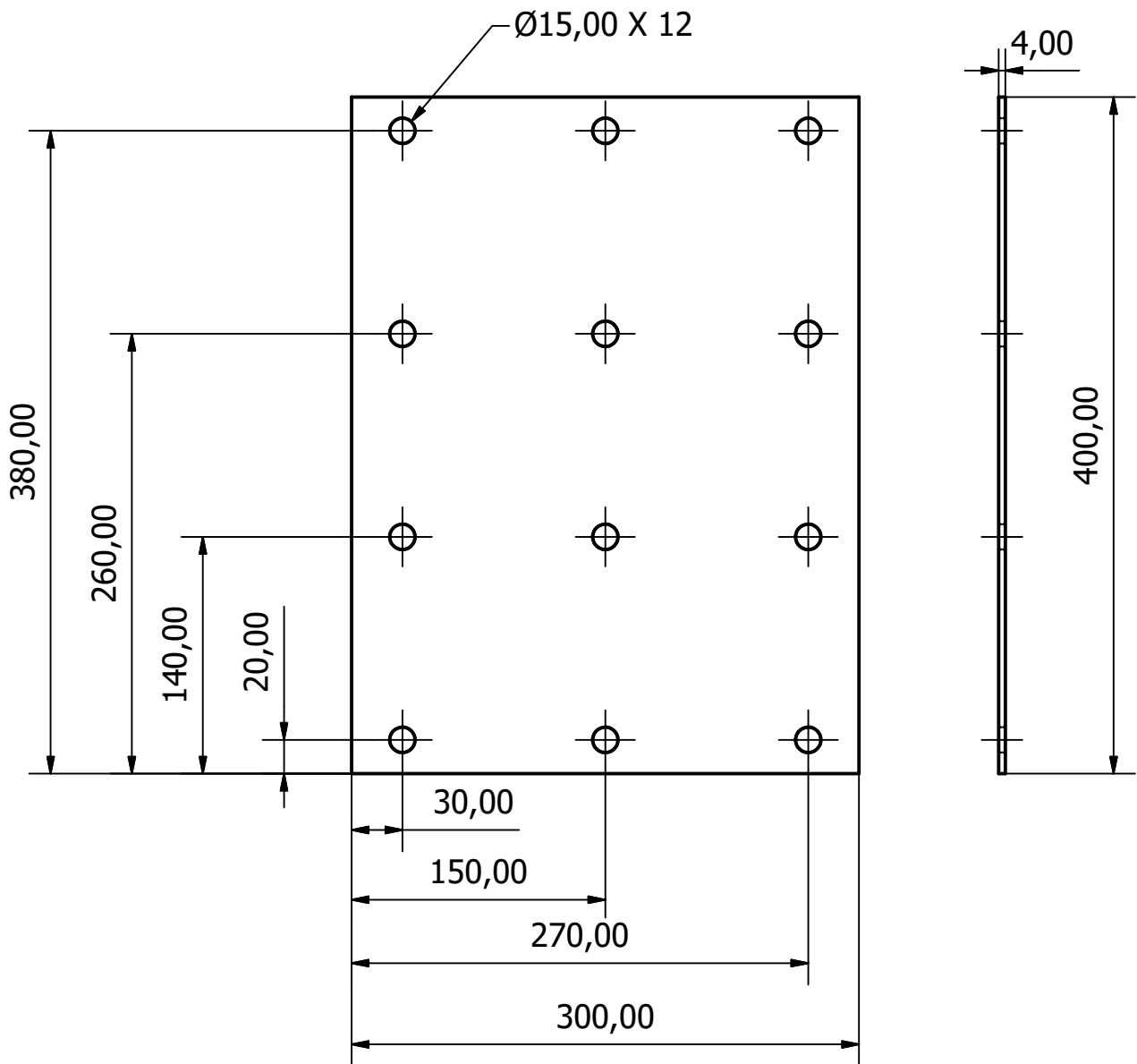
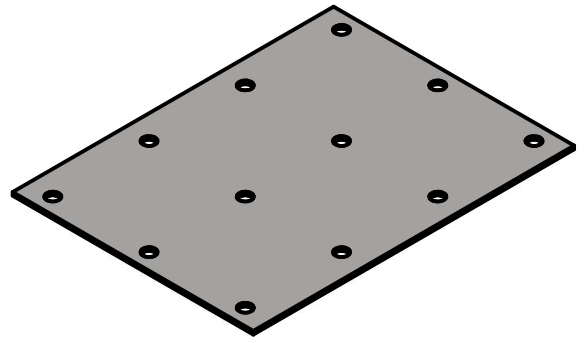
TUBO CUADRADO 50 X 3 mm



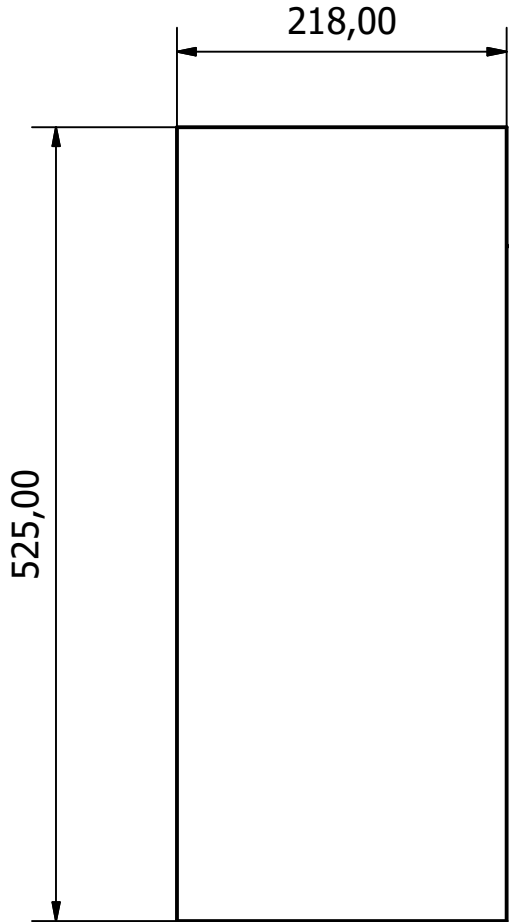
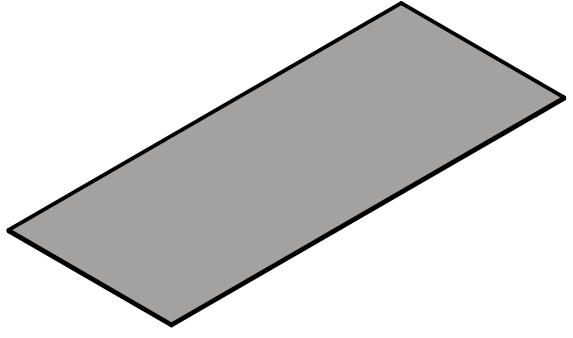
|  |                           |                           |                       |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>3/2/2019     | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | ESTRUCTURA DE SOPORTE |                   |               |
|  |                           |                           | Medidas en milímetros | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |



|  |                           |                           |                   |                   |  |
|--|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>3/2/2019 | Fecha<br>3/2/2019 |  |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | PLACA ACT. LINEAL |                   |  |
| Medidas en milímetros                              |                           |                           | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1     |  |



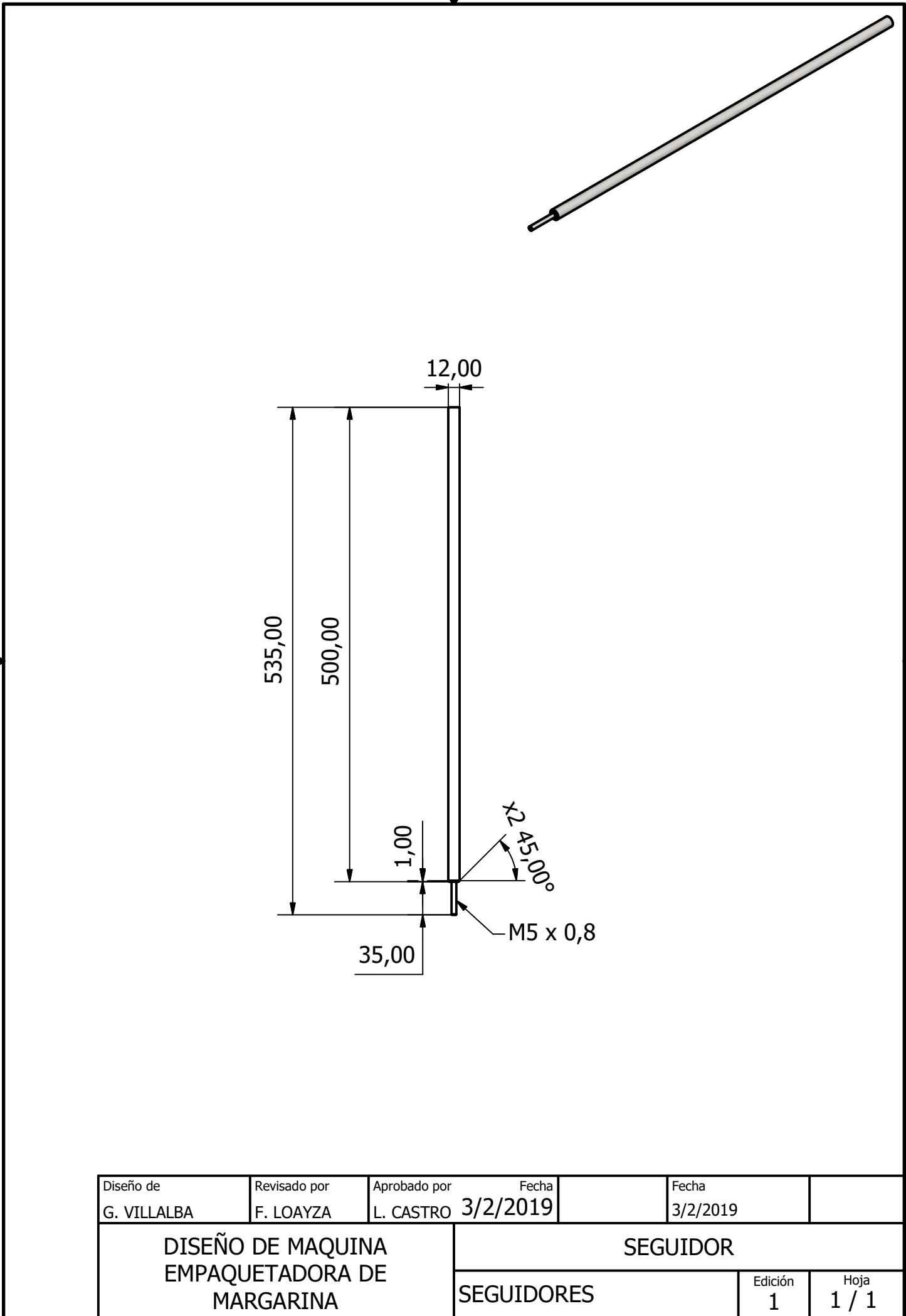
|  |                           |                           |                      |                   |         |
|--|---------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>3/2/2019    | Fecha<br>3/2/2019 |         |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | PLACA PARA VENTOSAS  |                   |         |
|  |                           |                           | Medidas en milímetro |                   | Edición |

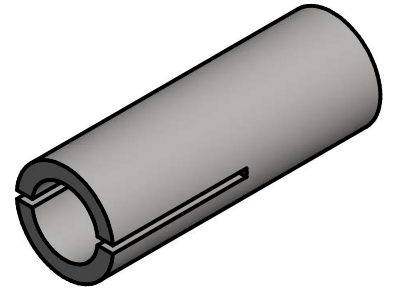


Espesor de 1,4 mm.

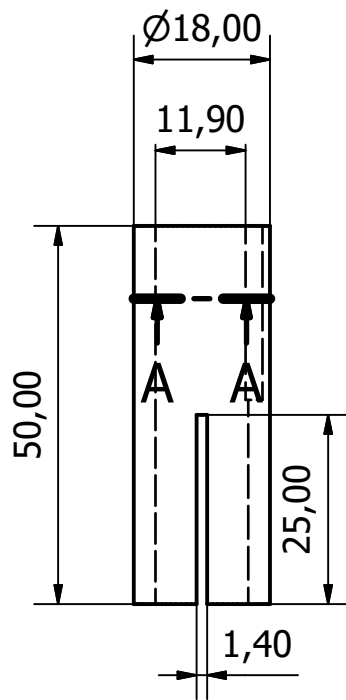
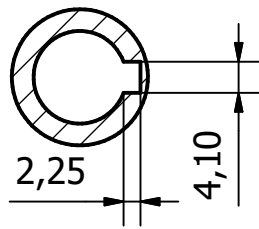


|  |                           |                           |                      |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>3/2/2019    | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | PLACA COMPUERTA      |                   |               |
|  |                           |                           | Meidas en milímetros | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |



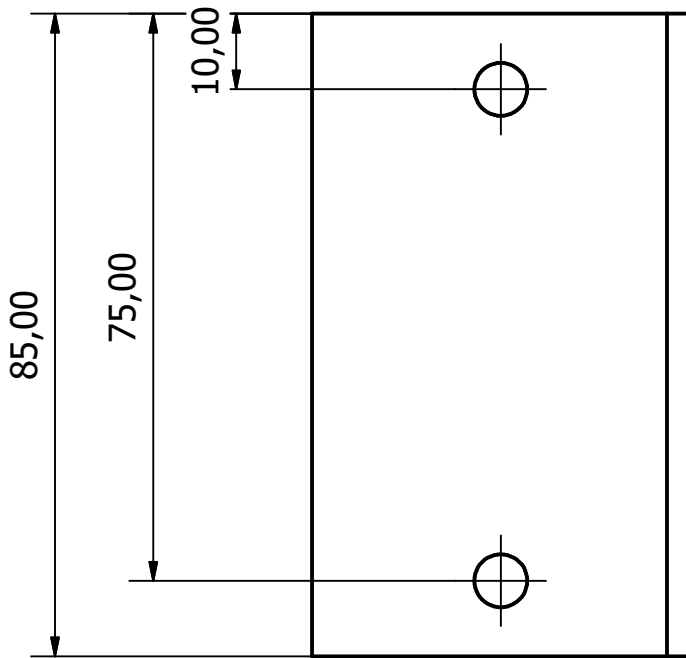
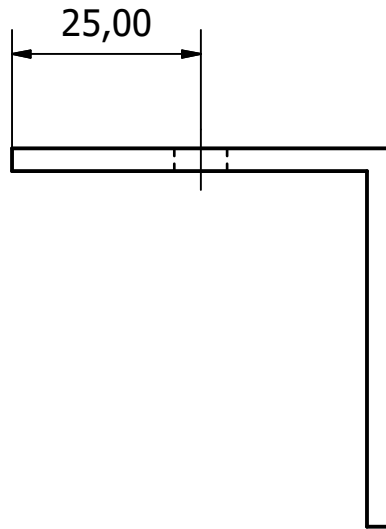
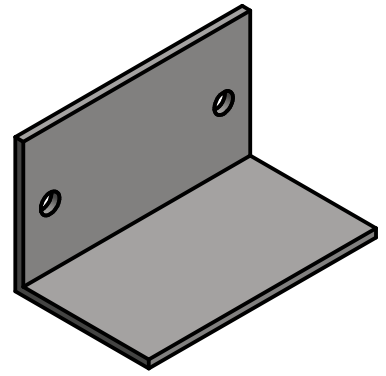


A-A ( 1 : 1 )



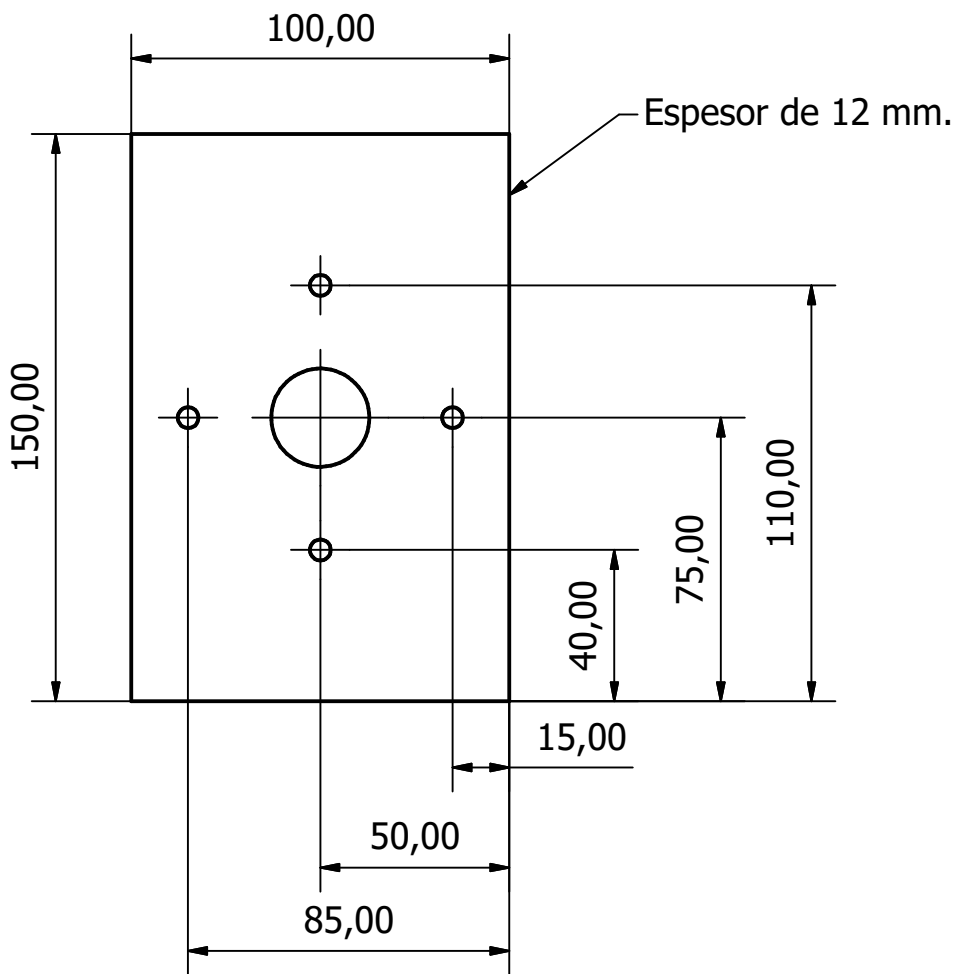
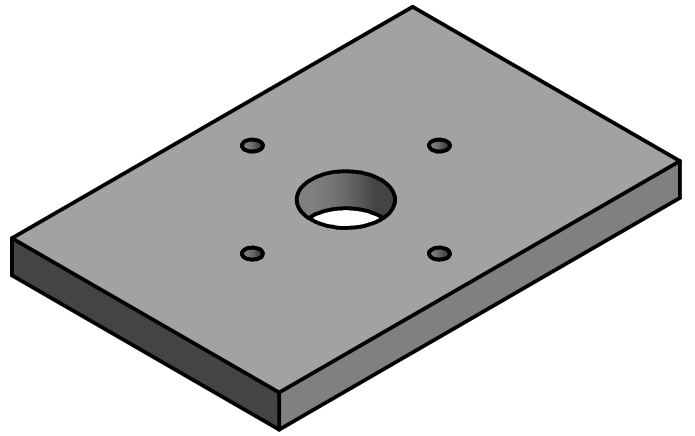
|  |                           |                           |                        |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>4/2/2019      | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | ACOPLE PLACA COMPUERTA |                   |               |
|  |                           |                           | Medidas en milímetro   | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |





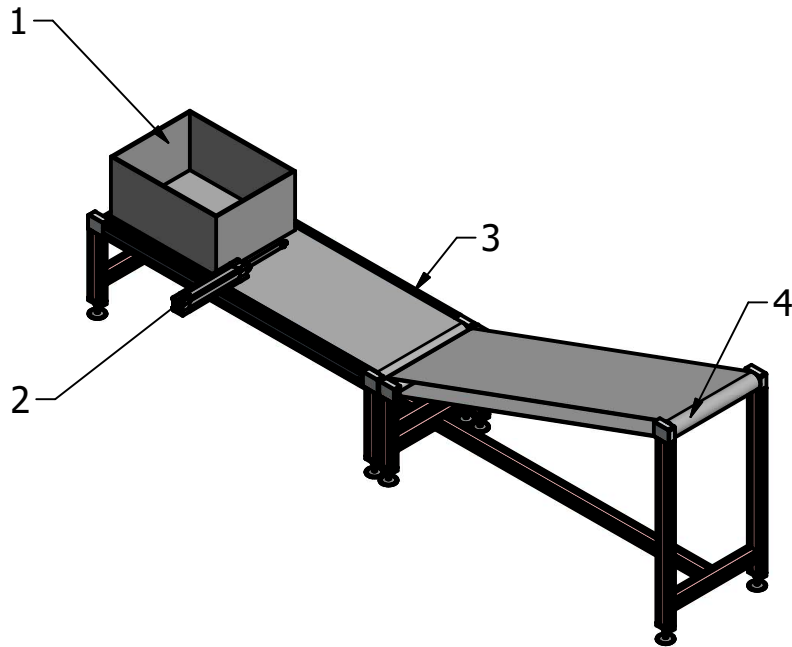
ANGULO 50 x 50 x 3

|  |                           |                           |                       |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA                           | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>3/2/2019     | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | ACOPLE ACT. LINEAL    |                   |               |
|  |                           |                           | Medidas en milímetros | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |



|                                       |                           |                           |                          |                   |               |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>G. VILLALBA              | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>4/2/2019        | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE |                           |                           | PLACA ACT. GIRATORIO     |                   |               |
|                                       |                           |                           | Dimensiones en milímetro | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |

| TABLA |      |                  |
|-------|------|------------------|
| REF.  | CTD. | ELEMENTOS        |
| 1     | 1    | CAJA             |
| 2     | 1    | ACTUADOR LINEAL  |
| 3     | 1    | BANDA HORIZONTAL |
| 4     | 1    | BANDA INCLINADA  |



|  |                           |                           |                             |                   |               |
|--|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|
| Diseño de<br>H. DELGADO                            | Revisado por<br>F. LOAYZA | Aprobado por<br>L. CASTRO | Fecha<br>4/2/2019           | Fecha<br>3/2/2019 |               |
| DISEÑO DE MAQUINA<br>EMPAQUETADORA DE<br>MARGARINA |                           |                           | ZONA DE TRANSPORTE DE CAJAS |                   |               |
|  |                           |                           | ENSAMBLE GENERAL            | Edición<br>1      | Hoja<br>1 / 1 |