



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño, Construcción e Implementación de un Prototipo de Máquina Empacadora,
Selladora y Transportadora de Chips Fritos Impulsado Mediante un Sistema Neumático
Automatizado para Optimizar el Proceso de Producción en la Empresa de Carmita S.A.**

Cruz Bermudez, Jefferson Mauricio y Soria Pungacho, Jorge Andrés

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Torres Vásquez, Katya Mercedes.

Latacunga

25 de agosto de 2021



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “*Diseño, Construcción e Implementación de un Prototipo de Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips Fritos Impulsado Mediante un Sistema Neumático Automatizado para Optimizar el Proceso De Producción en la Empresa De Carmita S.A*”. Fue realizado por los señores **Cruz Bermudez, Jefferson Mauricio y Soria Pungacho, Jorge Andrés**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de agosto de 2021



Firmado electrónicamente por:
KATYA MERCEDES
TORRES VÁSQUEZ

Ing. Torres Vásquez, Katya Mercedes
C.C.: 050134561-5

Urkund



Document Information

Analyzed document	TESIS_CRUZ_SORIA.docx (D111684917)
Submitted	8/25/2021 11:28:00 PM
Submitted by	Lorena Ibarra
Submitter email	loretaibarra@yahoo.es
Similarity	7%
Analysis address	lorenadibarra.uta@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS_AS_RS_ALMEIDA_GÁLVEZ_27 Sep 2020.docx Document TESIS_AS_RS_ALMEIDA_GÁLVEZ_27 Sep 2020.docx (D80008648)	32
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/20672/1/T-ESPEL-MEC-0174.pdf Fetched: 7/21/2020 11:54:03 AM	4
W	URL: https://docplayer.es/122638663-Escuela-politecnica-del-ejercito-extension-latacunga.html Fetched: 4/23/2020 8:33:07 AM	1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23120/1/T-ESPEL-EMI-0397.pdf Fetched: 4/7/2021 9:25:35 PM	1
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13628/1/T-ESPE-057452.pdf Fetched: 11/16/2019 5:24:30 AM	1
W	URL: https://docplayer.es/92620930-Departamento-de-ciencias-de-la-energia-y-mecanica.html Fetched: 12/26/2019 11:45:30 AM	3
SA	TESIS ECUAMATRIZ_JONATHAN FIALLOS_REVISION.docx Document TESIS ECUAMATRIZ_JONATHAN FIALLOS_REVISION.docx (D111150048)	2
W	URL: https://docplayer.es/amp/141910907-Universidad-tecnica-del-norte.html Fetched: 1/8/2020 7:40:32 AM	4
W	URL: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4447/6/UPS-KT00065.pdf Fetched: 12/7/2020 9:05:52 AM	1
W	URL: https://docplayer.es/84050864-Universidad-tecnica-del-norte.html Fetched: 10/7/2019 3:12:41 PM	2
SA	HERRERA_BELLODAS_ELGUER_DIEGO-LUMBRES_ALVAREZ_RAFAEL_SANTOS.docx Document HERRERA_BELLODAS_ELGUER_DIEGO-LUMBRES_ALVAREZ_RAFAEL_SANTOS.docx (D37252505)	2
W	URL: http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4414/Herrera%20Bellodas%20-%20Lumbres%20Alvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 12/17/2020 12:49:05 AM	2



firmado electrónicamente por:
KATYA MERCEDES
TORRES VASQUEZ

Ing. Torres Vásquez Katya Mercedes
C.C.: 050134561-5



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Cruz Bermudez, Jefferson Mauricio** con cédula de ciudadanía 1804437562 y **Soria Pungacho, Jorge Andrés** con cédula de ciudadanía 1724171382, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Diseño, Construcción e Implementación de un Prototipo de Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips Fritos Impulsado Mediante un Sistema Neumático Automatizado para Optimizar el Proceso De Producción en la Empresa De Carmita S.A**”. Es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando derechos intelectuales de terceros, y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 25 de agosto de 2021

Cruz Bermudez, Jefferson Mauricio
C.C.: 180443756-2

Soria Pungacho, Jorge Andrés
C.C.: 172417138-2



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Cruz Bermudez, Jefferson Mauricio** con cédula de ciudadanía 1804437562 y **Soria Pungacho, Jorge Andrés** con cédula de ciudadanía 1724171382, autorizamos a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño, Construcción e Implementación de un Prototipo de Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips Fritos Impulsado Mediante un Sistema Neumático Automatizado para Optimizar el Proceso De Producción en la Empresa De Carmita S.A**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 25 de agosto de 2021

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Jefferson Mauricio Cruz Bermudez', escrita sobre una línea horizontal.

Cruz Bermudez, Jefferson Mauricio
C.C.: 180443756-2

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Jorge Andrés Soria Pungacho', escrita sobre una línea horizontal.

Soria Pungacho, Jorge Andrés
C.C.: 172417138-2

DEDICATORIA

Dedico la presente Tesis de Grado a mi madre Gladys América Bermúdez Cherrez, a mi abuelita y a mis hermanos, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi carrera profesional mientras me iba formando académicamente, quienes siempre han estado y han sido participes de todos mis logros y en uno tan importante como este, me han enseñado a que las cosas con paciencia con responsabilidad y perseverancia siempre salen mejor, que la vida de un profesional no solo es el título sino que va acompañado de la calidad de persona que han ido formando a través de valores.

Jefferson Cruz B.

Dedicada especialmente a mi madre Luz mi motivación a lo largo de toda mi vida, a mi padre Jorge, mi hermano Alejandro y mis abuelitas cuyo apoyo ha sido fundamental para lograr mi meta. Quienes me han enseñado a que las cosas con esfuerzo y sacrificio se logran.

Andrés Soria P.

AGRADECIMIENTO

. En primer lugar; agradezco a Dios por brindarme lo esencial y más valioso del ser humano que es la salud, la vida y los seres queridos, también me siento agradecido con mi madre Gladys Bermúdez quien ha sido mi pilar fundamental durante este recorrido de vida por permitirme llegar a este punto de mi carrera profesional por brindarme todo el apoyo que he necesitado durante todo este proceso profesional.

A mi tutora la Ing. Torres Vásquez Katya Mercedes, quien ha sido parte de esta etapa cuyos conocimientos me han orientado durante mi proceso de titulación hasta el final y me ha brindado su paciencia, su tiempo de una excelente manera.

Jefferson Cruz B.

Agradezco a Dios por brindarme una familia maravillosa cuyo apoyo y constancia me ha permitido alcanzar una etapa más de mi vida.

A mis abuelos, a mis tíos y a mis primos quienes con sus consejos y apoyo me han permitido seguir saliendo adelante en mi vida.

A mi tutora Ing. Torres Vásquez Katya Mercedes por su ayuda y paciencia para lograr llevar a cabo mi formación profesional.

Un agradecimiento muy especial al señor Gari Mendoza y al señor Pablo Hidalgo, así como a sus familias, a mi amigo Michael Andrade cuyos consejos y conocimientos me han permitido crecer en mi formación profesional.

Andrés Soria P.

Tabla de Contenidos

Carátula	1
Certificación	2
Urkund	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Tabla de Contenidos	8
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras	15
Índice de Ecuaciones	20
Resumen	23
Abstract	24
Capítulo 1	25
Marco Metodológico de la Investigación	25
Planteamiento del Problema	25
Antecedentes	26
Justificación e Importancia	28
Objetivos	29
<i>Objetivo General</i>	29
<i>Objetivos Específicos</i>	29
Capítulo 2	30
Marco Teórico	30
Máquinas Empacadoras	30
Materia Prima	31

Material de Empacado	32
<i>Polipropileno (Pp)</i>	33
<i>Polietileno (Pe)</i>	34
Proceso del Sellado de Películas Termoplásticas	34
<i>Sellado por Mordazas Calientes</i>	35
Mecanismo de Presión para el Sistema de Sellado	36
<i>Accionado por Cilindros Neumáticos</i>	36
Formador de Fundas	37
Sistema de Guiado y Arrastre.....	38
<i>Arrastre por Mordazas</i>	39
Sistema de Dosificación.....	40
<i>Dosificación por Peso.....</i>	40
Celda de Carga de Peso	41
Amplificador de Instrumentación.....	42
Sistema de Almacenamiento	44
Material	44
Electroválvulas Neumáticas	45
Electroválvulas 5/2 (5 Vías y 2 Posiciones)	46
Tipos de Accionamientos en Válvulas	47
Componentes Complementarios de un Sistema Neumático.....	47
<i>Unidad de Mantenimiento Frl.....</i>	47
<i>Racor Neumático.....</i>	49
Sensores	49
<i>Sensores Magnéticos</i>	49
Banda Transportadora.....	50
Controlador Lógico Programable	51
<i>Comunicación Modbus Tcp</i>	52
Interfaz Hmi	53
Rodamientos.....	54

	10
Factor de Seguridad	55
Calidad de Malla	56
Capítulo 3.....	58
Metodología.....	58
Modalidad de Investigación.....	58
<i>Método Bibliográfico Documental</i>	<i>58</i>
<i>Método Deductivo</i>	<i>59</i>
<i>Método Experimental.....</i>	<i>59</i>
<i>Método Analítico</i>	<i>60</i>
Tipos de Investigación	60
<i>Investigación Aplicada</i>	<i>60</i>
<i>Investigación de Método Deductivo</i>	<i>60</i>
Diseño de la Investigación.....	60
Niveles de la Investigación	61
<i>Nivel Exploratorio</i>	<i>61</i>
<i>Nivel Descriptivo.....</i>	<i>61</i>
<i>Población y Muestra</i>	<i>62</i>
Técnica de Recolección de Datos.....	62
<i>Técnica de Análisis de Datos.....</i>	<i>63</i>
<i>Técnica de Comprobación de la Hipótesis</i>	<i>63</i>
Capítulo 4.....	64
Análisis de Datos	64
Análisis de Resultados.....	64
<i>Requerimientos y Parámetros de Diseño</i>	<i>65</i>
<i>Casa de Calidad</i>	<i>65</i>
<i>La Voz del Usuario</i>	<i>65</i>
<i>La Voz del Ingeniero</i>	<i>66</i>
<i>Matriz de la Casa de Calidad</i>	<i>66</i>
<i>Especificaciones Técnicas.....</i>	<i>69</i>
<i>Análisis Funcional</i>	<i>70</i>
Selección de Elementos Eléctricos Neumáticos.....	71

	11
<i>Fuente de Alimentación</i>	71
<i>Selección de la Resistencia Eléctrica</i>	72
Selección del Control de Temperatura	76
<i>Pid Rex-C100</i>	76
<i>Termocupla Tipo K</i>	77
Selección Sensores	78
<i>Sensor Magnético</i>	78
<i>Selección de la Celda de Carga</i>	79
<i>Amplificador Instrumental</i>	80
Selección del Sistema Neumático	81
<i>Selección del Compresor</i>	81
<i>Selección de Cilindro Neumático con Vástago</i>	83
<i>Selección de Electroválvulas Neumáticas 5/2</i>	85
<i>Selección del Plc</i>	86
<i>Módulo E/S</i>	88
<i>Selección Pantalla Hmi</i>	89
Modelo Gráfico de la Solución del Módulo	90
Comprobación de la Hipótesis	91
Planteamiento de la Hipótesis	92
Vialidad del Proyecto	92
Capítulo 5	93
Propuesta Implementada	93
Diseño de la Propuesta	93
<i>Resumen</i>	93
Diseño y Cálculo de Máquina Propuesta	94
<i>Diseño de Mordazas para Sellado Horizontal</i>	94
<i>Diseño de la Placa de Soporte</i>	95
<i>Análisis Estructural de la Placa de Soporte</i>	100
<i>Diseño de Ejes Guías</i>	102
<i>Análisis Estructural de Ejes Guías</i>	104
<i>Diseño del Eje para el Porta Bobina</i>	107
<i>Análisis Estructural del Eje Porta Bobina</i>	113

<i>Diseño de la Tolva de Almacenamiento</i>	116
<i>Masa de la Tolva en Vacío</i>	119
<i>Diseño de la Cinta Transportadora</i>	124
<i>Análisis en la Zona Elevada</i>	128
<i>Análisis Geométrico de la Banda</i>	133
<i>Análisis de la Potencia Requerida en Banda</i>	135
<i>Diseño Mecánico del Eje</i>	142
<i>Análisis Estructural de Todo el Cuerpo</i>	160
Transferencia de Calor (Resistencia – Mordaza Horizontal)	163
Análisis de Impacto de Mordazas Horizontales	168
<i>Velocidad al Momento de Impacto</i>	168
Análisis de Impacto de Mordaza Vertical	172
Flujograma de Algoritmo de la Pantalla Hmi	175
Flujograma de Algoritmo de Dosificación del Producto	176
Flujograma de Algoritmo de Sellado y Arrastre	177
Programación S7 1200	178
Pruebas de Funcionamiento	179
Capítulo 6	183
Conclusiones y Recomendaciones	183
Conclusiones	183
Recomendaciones	185
Bibliografía	186
Anexos	196

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Composición nutricional de chips de papas fritas</i>	31
Tabla 2 <i>Materiales plásticos destinados a productos alimenticios</i>	32
Tabla 3 <i>Propiedades físico-químicas para envases de productos alimenticios</i>	33
Tabla 4 <i>Propiedades mecánicas de los polipropilenos</i>	36
Tabla 5 <i>Lista de dosificadoras más usadas en la industria alimenticia</i>	40
Tabla 6 <i>Funcionamiento de celdas de carga</i>	42
Tabla 7 <i>Formas de tolvas más implementadas</i>	43
Tabla 8 <i>Propiedades del acero inoxidable A304</i>	45
Tabla 9 <i>Tipos de cintas transportadoras</i>	51
Tabla 10 <i>Tipos y aplicaciones de rodamientos</i>	54
Tabla 11 <i>Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles</i>	56
Tabla 12 <i>Calidad de malladó en función de Orthogonal Quality</i>	57
Tabla 13 <i>Calidad de malladó en función de función de Skewness</i>	57
Tabla 14 <i>Preguntas surgidas de la investigación</i>	62
Tabla 15 <i>Parámetros requeridos por el cliente</i>	68
Tabla 16 <i>Parámetros de requerimientos</i>	68
Tabla 17 <i>Parámetros de especificaciones técnicas</i>	69
Tabla 18 <i>Características técnicas de fuentes alimentación</i>	72
Tabla 19 <i>Perspectiva de las necesidades del cliente</i>	77
Tabla 20 <i>Características sensor tipo Reed SMC -Z73</i>	79
Tabla 21 <i>Especificaciones técnicas para el diseño del sistema a carga de impacto</i>	80
Tabla 22 <i>Características amplificador instrumental SG-3016</i>	81
Tabla 23 <i>Características Compresor de aire PRETUL</i>	82
Tabla 24 <i>Características Compresor de aire PRETUL</i>	84

Tabla 25 <i>Características Compresor de aire PRETUL</i>	85
Tabla 26 <i>Cantidad de entradas y salidas necesarias por el PLC</i>	87
Tabla 27 <i>Cantidad de entradas y salidas necesarias por el PLC</i>	88
Tabla 28 <i>Características generales del Módulo WEIDMULLER modelo WDU2.5/BE ...</i>	89
Tabla 29 <i>Elementos del sistema de empaclado y sellado</i>	91
Tabla 30 <i>Elementos Involucrados en el eje porta bobina</i>	108
Tabla 31 <i>Dimensiones de la Tolva de almacenamiento</i>	119
Tabla 32 <i>Propiedades mecánicas</i>	121
Tabla 33 <i>Coeficiente de fricción de la banda</i>	128
Tabla 34 <i>Coeficiente de fricción entre banda y producto</i>	129
Tabla 35 <i>Factor de servicio</i>	131
Tabla 36 <i>Coeficiente de expansión térmica</i>	134
Tabla 37 <i>Factores que influyen en la potencia de la Banda</i>	136
Tabla 38 <i>Comparativa de motor 0.33 hp vs 0.5 hp</i>	142
Tabla 39 <i>Chaveta y Chavetero norma DIN 6885</i>	157
Tabla 40 <i>Check list de la Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips fritos ...</i>	181

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Empacadora Vertical</i>	30
Figura 2 <i>Distribución de la temperatura a través de la mordaza</i>	35
Figura 3 <i>Alternativas del mecanismo de sellado por cilindros neumáticos</i>	37
Figura 4 <i>Partes del formador de fundas de envase redondo</i>	37
Figura 5 <i>Sistema de guiado y arrastre</i>	39
Figura 6 <i>Arrastre por mordazas</i>	39
Figura 7 <i>Dosificadora de peso</i>	41
Figura 8 <i>Tipos de celdas de carga</i>	42
Figura 9 <i>Amplificación de la señal de la celda de carga</i>	43
Figura 10 <i>Configuración de las electroválvulas</i>	46
Figura 11 <i>Configuración de las electroválvulas</i>	46
Figura 12 <i>Unidad de mantenimiento RFL</i>	48
Figura 13 <i>Racor Neumático</i>	49
Figura 14 <i>Sensor magnético</i>	50
Figura 15 <i>Banda Transportadora</i>	50
Figura 16 <i>PLC Siemens S7 1200</i>	52
Figura 17 <i>Instrucción MB_CLIENT</i>	53
Figura 18 <i>Interface Humano-Máquina</i>	54
Figura 19 <i>Arquitectura del módulo de empacado y sellado</i>	64
Figura 20 <i>Casa de calidad</i>	67
Figura 21 <i>Desarrollo de diagramas funcionales</i>	70
Figura 22 <i>Desarrollo completo de diagramas funcionales</i>	71
Figura 23 <i>Fuente de alimentación 24 V Dc, 120 W</i>	72
Figura 24 <i>Pirómetro REX C-100</i>	77

	16
Figura 25 <i>Termocupla Tipo K</i>	78
Figura 26 <i>Sensor tipo reed SMC</i>	78
Figura 27 <i>Celda de Carga</i>	79
Figura 28 <i>Amplificador instrumental SG-3016</i>	80
Figura 29 <i>Compresor de aire PRETUL</i>	82
Figura 30 <i>Cilindro pistón FESTO</i>	84
Figura 31 <i>Módulo Mecánico</i>	85
Figura 32 <i>Válvula reguladora de presión con racor</i>	86
Figura 33 <i>PLC Siemens S7-1200</i>	88
Figura 34 <i>Módulo E/S WEIDMULLER modelo WDU4/BE</i>	89
Figura 35 <i>HMI Kinco</i>	90
Figura 36 <i>Prototipo de Máquina Empacadora y Selladora de Chips Fritos</i>	90
Figura 37 <i>Diseño de la propuesta para el equipo de empaclado y sellado</i>	93
Figura 38 <i>Sistema de mordazas horizontales</i>	94
Figura 39 <i>Placa de soporte</i>	96
Figura 40 <i>Diagrama de cuerpo libre de la placa de soporte</i>	96
Figura 41 <i>Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del soporte</i>	97
Figura 42 <i>Placa de soporte</i>	98
Figura 43 <i>Calidad de mallado de placa de soporte</i>	100
Figura 44 <i>Deformación de placa de soporte</i>	101
Figura 45 <i>Factor de Seguridad de placa de soporte</i>	102
Figura 46 <i>Diagrama de cuerpo libre ejes guías</i>	103
Figura 47 <i>Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores de ejes guías</i>	103
Figura 48 <i>Calidad de mallado de eje guía</i>	105
Figura 49 <i>Deformación de eje guía</i>	105

Figura 50 <i>Esfuerzos principales de Von Mises en los ejes guías</i>	106
Figura 51 <i>Factor de seguridad de los ejes guías</i>	107
Figura 52 <i>Eje Porta Bobina</i>	108
Figura 53 <i>Diagrama de fuerzas del eje porta bobina Plano XY</i>	109
Figura 54 <i>Diagrama de fuerzas del eje porta bobina Plano XZ</i>	110
Figura 55 <i>Mallado del eje porta bobina</i>	113
Figura 56 <i>Deformación del eje porta bobina</i>	114
Figura 57 <i>Von Mises del eje porta bobina</i>	115
Figura 58 <i>Factor de seguridad del eje porta bobina</i>	116
Figura 59 <i>Tolva de almacenamiento</i>	117
Figura 60 <i>Propiedades físicas de la Tolva</i>	121
Figura 61 <i>Zona de Elevación</i>	123
Figura 62 <i>Dimensiones del Producto (Chips de papas fritas)</i>	124
Figura 63 <i>Banda PU 1M6 U0-U5 FL</i>	127
Figura 64 <i>Banda con acumulación del producto</i>	128
Figura 65 <i>Factor de velocidad</i>	131
Figura 66 <i>Catálogo de motor WEG-W22</i>	138
Figura 67 <i>Catálogo de reductor Bonfiglioli serie VF-W</i>	139
Figura 68 <i>Geometría del eje motriz</i>	143
Figura 69 <i>Geometría del eje motriz</i>	144
Figura 70 <i>Diagrama de corte y momento plano XY</i>	145
Figura 71 <i>Diagrama de corte y momento plano XZ</i>	146
Figura 72 <i>Diagrama de corte y momento plano XY</i>	148
Figura 73 <i>Diagrama de fatiga y criterios de falla</i>	149
Figura 74 <i>Diagrama de corte y momento plano XY</i>	152

Figura 75 Configuración de la chaveta.....	154
Figura 76 Mallado de todo el cuerpo.....	160
Figura 77 Deformación de todo el cuerpo.....	161
Figura 78 Esfuerzos principales de Von Mises en todo el cuerpo.....	162
Figura 79 Factor de seguridad de todo el cuerpo.....	163
Figura 80 Mallado de mordaza horizontal.....	164
Figura 81 Mallado de mordaza vertical.....	164
Figura 82 Mallado de mordaza vertical.....	165
Figura 83 Mallado de mordaza vertical.....	166
Figura 84 Mallado de mordaza vertical.....	166
Figura 85 Transferencia de calor de mordaza horizontal a fundas de propileno.....	167
Figura 86 Transferencia de calor de mordaza horizontal a fundas de propileno.....	167
Figura 87 Velocidad antes de impacto.....	169
Figura 88 Coeficiente de fricción de aluminio endurecido.....	169
Figura 89 Mallado de mordazas horizontales.....	170
Figura 90 Deformación de mordazas horizontales a impacto.....	171
Figura 91 Esfuerzos principales de Von Mises en mordazas horizontales a impacto.....	171
Figura 92 Factor de seguridad de mordazas horizontales a impacto.....	172
Figura 93 Mallado de mordazas verticales.....	173
Figura 94 Deformación de mordazas verticales a impacto.....	173
Figura 95 Esfuerzos principales de Von Mises en mordazas verticales a impacto.....	174
Figura 96 Factor de seguridad de mordazas verticales a impacto.....	175
Figura 97 Algoritmo de la pantalla táctil.....	176
Figura 98 Algoritmo de dosificación del producto.....	177
Figura 99 Algoritmo de sellado y arrastre.....	178

Figura 100 <i>Ejecución de pruebas de programación</i>	179
Figura 101 <i>Pruebas de funcionamiento de la banda.</i>	181
Figura 102 <i>Correcciones del Ducto del Cuello Formador</i>	182

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 <i>Factor de Seguridad</i>	55
Ecuación 2 <i>Esfuerzos de diseño acero estructural (AISC)</i>	56
Ecuación 3 <i>Esfuerzos de diseño Aluminio (Aluminum Association)</i>	56
Ecuación 4 <i>Área de la superficie total de la mordaza horizontal (m²)</i>	73
Ecuación 5 <i>Factor de forma de conducción (m)</i>	74
Ecuación 6 <i>Razón de transferencia de calor de la mordaza horizontal (W)</i>	74
Ecuación 7 <i>Energía necesaria para calentar la mordaza horizontal (J)</i>	75
Ecuación 8 <i>Potencia</i>	75
Ecuación 9 <i>Potencia total</i>	75
Ecuación 10 <i>Resistencia Eléctrica</i>	75
Ecuación 11 <i>Hp necesarias</i>	81
Ecuación 12 <i>Presión de sellado vertical Kg/cm²</i>	83
Ecuación 13 <i>Diámetro del cilindro de sellado horizontal (mm)</i>	83
Ecuación 14 <i>Ancho de la mordaza (mm)</i>	95
Ecuación 15 <i>Teoría del ECM</i>	98
Ecuación 16 <i>Teorías</i>	98
Ecuación 17 <i>Deflexión</i>	101
Ecuación 18 <i>Porcentaje de error</i>	102
Ecuación 19 <i>Porcentaje de error</i>	111
Ecuación 20 <i>Porcentaje de error</i>	112
Ecuación 21 <i>Volumen requerido</i>	117
Ecuación 22 <i>Ancho mínimo de salida</i>	117
Ecuación 23 <i>factor K</i>	118
Ecuación 24 <i>Volumen de la tolva</i>	118

	21
Ecuación 25 <i>Volumen de la tolva</i>	120
Ecuación 26 <i>Relación de esbeltez y constante de columna</i>	121
Ecuación 27 <i>Constante de columna</i>	122
Ecuación 28 <i>Volumen de la tolva</i>	122
Ecuación 29 <i>Factor de Seguridad</i>	123
Ecuación 30 <i>Velocidad en banda</i>	125
Ecuación 31 <i>Velocidad en banda</i>	126
Ecuación 32 <i>Capacidad máxima de transporte</i>	126
Ecuación 33 <i>Tensión motriz</i>	129
Ecuación 34 <i>Peso del producto por unidad de longitud [Kgf/m]</i>	129
Ecuación 35 <i>Factor de velocidad</i>	130
Ecuación 36 <i>Tensión efectiva</i>	131
Ecuación 37 <i>Resistencia nominal de la banda [N/mm]</i>	132
Ecuación 38 <i>Factor de resistencia de banda</i>	132
Ecuación 39 <i>Longitud teórica de banda</i>	133
Ecuación 40 <i>Variación de longitud</i>	133
Ecuación 41 <i>Variación en ancho de Banda (mm)</i>	134
Ecuación 42 <i>Longitud total de la banda</i>	135
Ecuación 43 <i>Potencia de elevación</i>	137
Ecuación 44 <i>Potencia Teórica</i>	137
Ecuación 45 <i>Potencia requerida</i>	138
Ecuación 46 <i>Velocidad lineal a la salida</i>	139
Ecuación 47 <i>Torque</i>	143
Ecuación 48 <i>Factor de fuerza tangencial a lo largo del punto</i>	144
Ecuación 49 <i>Fuerza radial a lo largo del punto</i>	144

	22
Ecuación 50 <i>Momento total</i>	146
Ecuación 51 <i>Esfuerzo alternante por flexión real</i>	147
Ecuación 52 <i>Esfuerzo medio equivalente</i>	148
Ecuación 53 <i>Esfuerzo alternante equivalente</i>	148
Ecuación 54 <i>Resistencia a la fatiga</i>	149
Ecuación 55 <i>Factor de seguridad</i>	150
Ecuación 56 <i>Fuerza resultante a lo largo del punto</i>	151
Ecuación 57 <i>Vida nominal</i>	153
Ecuación 58 <i>Factor de Carga radial dinámica equivalente</i>	153
Ecuación 59 <i>Longitud máxima permisible de la chaveta</i>	155
Ecuación 60 <i>Esfuerzo cortante en la chaveta</i>	156
Ecuación 61 <i>Resistencia mínima a la fluencia</i>	156
Ecuación 62 <i>Carga total aplicada</i>	157
Ecuación 63 <i>Deflexión del eje</i>	158
Ecuación 64 <i>Frecuencia natural</i>	159
Ecuación 65 <i>Índice de resonancia</i>	159

Resumen

La implementación de un diseño de prototipo de máquina empaedora, selladora y transportadora de chips tiene el propósito de incrementar la competitividad y calidad del producto de la microempresa De Carmita S.A de manera que se plantea realizar una dosificación correcta de los empaques con un peso y estibación correcta, además por medio de un proceso de automatización se evitará el contacto de los operadores con la producción, esto afín de obtener una asepsia dentro de las normas establecidas en el país como también un óptimo sellado de tal forma que se garantiza la durabilidad del producto a condiciones ambientales. Por otro lado, el uso de la ingeniería concurrente determina las necesidades y requerimientos del cliente para especificar los parámetros de diseño mecánico de tal forma que se obtiene un proceso sistemático de combinación de materiales, procesos de manufactura como de soldadura. Se creará sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y escenarios de Simulación Asistida por Computadora (CAE) donde se efectuará análisis de tipo estructural, térmico e impacto para garantizar esfuerzos, temperatura máxima de elementos y control de tenacidad de los componentes, procesos que facilitan la fabricación y montaje del mecanismo abaratando costos y tiempo de fabricación, de igual forma el equipo se opera a través de un PLC Siemens S7-1200 el cual controla el proceso de automatización del proyecto.

Palabras clave:

- **INGENIERIA CONCURRENTE**
- **SIMULACIÓN ESTRUCTURAL**
- **SIMULACIÓN TERMICA E IMPACTO**
- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Abstract

The implementation of a prototype design machine of packaging, sealing and chips transporting has the purpose of increasing the competitiveness and quality of the micro-company "De Carnita S.A." product. That is why, it is proposed to come out the correct dosage of the packages with the correct weight and stowage, in addition, through an automation process the contact between operators and production will be avoided in order to obtain asepsis within the established standards in the country well as an optimal seal, in that way the durability of the product under environmental conditions is guaranteed. Moreover, the use of concurrent engineering determines the needs and requirements of the client in order to specify the mechanical design parameters. In that way, a systematic process of combining materials manufacturing and welding process is obtained. Computer Aided Design (CAD) systems and Computer Aided Simulation (CAE) scenarios will be created, in which the structural, thermal and impact analyze will be carried out to guarantee efforts, maximum element temperature and component toughness control. Processes that facilitate the manufacture and assembly of the mechanism; it will reduce costs and manufacturing time.

Also, the equipment is operated through a Siemens S7-1200 PLC which controls the automation process of the project.

Key words:

- **CONCURRENT ENGINEERING**
- **STRUCTURAL SIMULATION**
- **THERMAL AND IMPACT SIMULATION**
- **INDUSTRIAL AUTOMATION**

Capítulo 1

1. Marco Metodológico de la Investigación

1.1. Planteamiento del Problema

Actualmente, las microempresas productoras de alimentos para consumo humano, suelen presentar necesidades y problemas operativos.

En particular, la microempresa De Carmita S.A. Ha identificado problemas operativos relacionados con la reubicación constante del producto empacado para realizar procesos como verificación de peso y estibación, que derivan a su vez en pérdidas de tiempo y productividad.

El problema radica en la dosificación inexacta de los empaques de producto: el operario tiene que calcular la cantidad a empacar en cada unidad, sin contar con el apoyo de un sistema fijo de enfundado que asegure el peso exacto que debe contener el producto final. Por otra parte, los envases no cuentan con un sellado óptimo lo que ocasiona pérdidas en la durabilidad de este.

Al no existir un proceso automatizado, esta clase de procesos manuales y rudimentarios disminuyen la asepsia del proceso, específicamente, en la operación de empacado, donde interviene más de una persona, lo que incrementa la manipulación del producto, ocasionando contaminación de este.

Mediante la implementación de un prototipo se busca establecer un mecanismo que permita la dosificación de diferentes productos con las cantidades exactas de cada unidad que se comercializa, monitoreando la cantidad de producción total.

Esto incrementa la competitividad y la calidad del producto en un mercado tan disputado como el que se presenta en la actualidad.

os que entran en contacto directo con el producto, deben ser inocuos y resistentes, de manera que garanticen la estabilidad de la vida útil del producto, conservando su integridad física, química y sanitaria, protegiendo al producto contra la degradación

1.2. Antecedentes

Para la elaboración del presente proyecto de investigación, se tomará en cuenta fundamentos basados en el diseño, construcción e implementación de máquinas empacadoras y selladoras que son accionadas e impulsadas mediante un sistema neumático, para optimizar el proceso de producción en la empresa DE CARMITAS S.A., tomando como referencia estudios realizados anteriormente.

Se manifiesta que debido al alto costo de estos equipos en el mercado y la orientación a gran escala de producción en los que se basa su diseño, hace que exista la necesidad de realizar un sistema dosificador que se adapte a las condiciones de producción de la pequeña industria, a un costo de adquisición asequible y con la visión de incrementar la producción para cubrir con las demandas insatisfechas. (Aguirre, 2018)

Existen diferentes tipos de dosificadores en el mercado, que incluyen el sistema de sellado, no obstante, son costosos por los precios de importación; también existen modelos de producción nacional, los cuales presentan un costo alto para los pequeños empresarios. En otros casos, los equipos presentan el dosificador y el sellador por separado lo que incrementa el costo y la cantidad de operarios necesarios para el manejo de cada una de estas máquinas. (Morales, 2010)

Cabe destacar que las máquinas empacadoras dosifican el producto higiénicamente, evitando el contacto entre las manos de los operarios y el producto final

durante el proceso de empaque, además permiten la ejecución simultánea de las operaciones de dosificado y sellado, lo que deriva en un ahorro de recursos para el empresario. (Morales, 2010)

Sanmartín (2015), manifiesta que el sellado térmico es el proceso más crítico dentro de la industria alimenticia durante el empaque, ya que de este depende la vida útil del producto, sin embargo, existen industrias en donde aún se realiza dicho proceso manualmente lo que ocasiona problemas estéticos en el producto final y también repercute en el tiempo de producción.

El autor en su publicación Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico-neumático controlado por un PLC para fundas de arroz, menciona que, la implementación de un sistema controlado por PLC permite una adecuada sincronización de los diferentes sistemas, haciendo posible que se obtenga una gran capacidad de producción, es por este motivo que el control automático es un aspecto muy importante dentro de las máquinas destinadas a la producción. Lo cual asegurará la inocuidad del producto, debido a que es un sistema mecánico-neumático controlado por PLC, no necesita de aditivos químicos para su mantenimiento. (Herrera & Lumbres, 2018)

El autor de la publicación “Diseño e implementación de un sistema de control para el proceso de empaque de Snacks en la Planta Alimentos Yupi Ecuador utilizando autómatas programables”, menciona que se requieren de carácter imperioso la implementación de un sistema HMI para la interacción humano – máquina, con el propósito de presentar de manera adecuada al operario el comportamiento de los actuadores e indicadores que operan para mantener la eficiencia del mismo evitando daños. Además, controlar las variables de producción en tiempo real y cambiar parámetro de acuerdo a la necesidad de la empresa. De igual forma genera un registro

de producción adecuado para llevar a cabo una administración confiable. (Orellana & Balladares, 2018)

1.3. Justificación e Importancia

Mediante la ejecución de este proyecto se busca mejorar el ambiente de trabajo y las condiciones de seguridad de los trabajadores, además de su especialización en la operación de este tipo de máquinas automatizadas. El diseño de la máquina incrementará la calidad y producción en la microempresa De Carmita S.A. Generando un costo menor en la producción e incrementando su competitividad.

Así mismo, la implementación de este proyecto es importante, ya que se puede mejorar las condiciones de inocuidad del proceso, ya que la implementación de la máquina empacadora disminuye el contacto entre los operadores y el producto final y por ende elimina la transmisión de cargas bacterianas entre ambos, lo que garantiza el cumplimiento de las normas de higiene de la industria de alimentos además de optimizar el proceso de producción. Para evitar la contaminación de los alimentos, es de vital importancia usar equipamiento con sistemas neumáticos que no requieran de aditivos químicos para su funcionamiento o mantenimiento y que pueden contaminar el producto.

En consecuencia, se busca que el sistema implementado trabaje 6 horas diario en una jornada laboral de forma que se mejore el proceso productivo, con base a esto, la microempresa De Carmita S.A. Podría ampliar su oferta de productos y mejorar sus ganancias. La microempresa De Carmita S.A. Busca implementar este tipo de equipos tecnológicos que operen a costos accesibles, debido a que su principal objetivo como microempresa responsable es brindar un producto de calidad realizado en un tiempo eficaz, constante y adecuado para cumplir con todas las demandas de sus clientes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar, construir e implementar un prototipo de máquina empacadora, selladora y transportadora de chips fritos impulsado mediante un sistema neumático automatizado para optimizar el proceso de producción en la empresa De Carmita S.A.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar las características técnicas adecuadas para el proceso de almacenamiento, empaçado y sellado de diferentes productos.
- Diseñar y analizar los esfuerzos de los componentes de la estructura mecánica mediante el software ANSYS.
- Construir la parte mecánica del equipo, de forma que permita al individuo realizar los procesos de empaçado, sellado y transporte de forma automatizada.
- Programar el PLC para el control de sensores y accionamientos de acuerdo con las condiciones del proceso para especificar la cantidad exacta de producto por medio de la galga extensiométrica de peso.
- Diseñar e implementar una interfaz Máquina-Humano (HMI) que permita el control y coordinación de los procesos de empaçado, sellado y transporte, así también como la verificación exacta de la cantidad de producto empaçado y la producción total.
- Realizar pruebas de operación del equipo implementado mediante la inspección y la correcta validación del gerente de la microempresa De Carmita S.A.

Capítulo 2

2. Marco Teórico

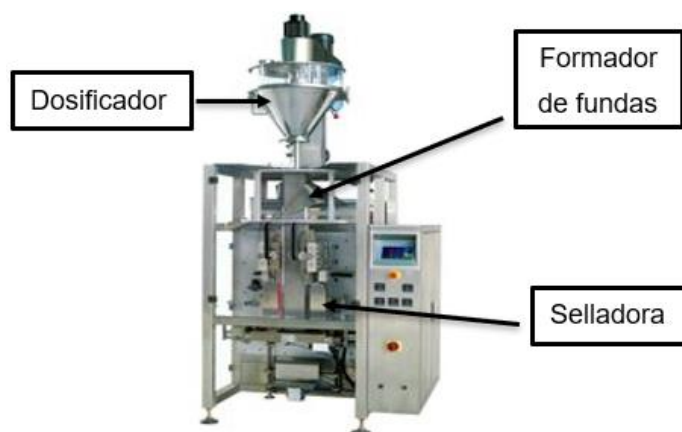
2.1. Máquinas Empacadoras

En la actualidad existen máquinas sofisticadas para el proceso de empaqueo y sellado de diferentes productos, en su mayoría estas están orientadas y diseñadas para los fabricantes de productos viscosos, granulares o polvos.

La principal función de una máquina empacadora es permitir un correcto aislamiento del producto. Este tipo de máquinas, se los emplea con el objetivo de disminuir los tiempos de producción debido a que cuentan con (ver Figura 1) sistemas de dosificación, formador de fundas y selladoras. Existen de diferentes tipos: manuales, semiautomáticos y automáticos siendo estos últimos de funcionamiento tanto vertical como horizontal. (Iza & Medina, 2013)

Figura 1

Empacadora Vertical



Nota. Tomado de (Mecalux, 2021)

2.2. Materia Prima

Para la correcta elección de una máquina empacadora, se deben identificar las características de la materia prima a empacar. El presente proyecto está enfocado en el empacado de chips de papas fritas, este producto se caracteriza por su alto contenido de hidratos de carbono y grasa, como se presenta en la Tabla 1, lo convierte en un gran aporte energético al consumidor proporcionando entre 472 - 558 Kcal/100g. (Carbonell et al., 2014)

La conservación y la presentación de un producto de calidad depende principalmente de la selección adecuada de la materia prima que puede verse afectada por diversos componentes como: las circunstancias del medio de producción, el tiempo de maduración del producto y los pesticidas usados en su producción, etc. (Carbonell et al., 2014)

Tabla 1

Composición nutricional de chips de papas fritas

Composición Nutricional					
Nutrientes	Cantidad (g)	Nutrientes	Cantidad (mg)	Nutrientes	Cantidad (µg)
Proteína	6.5	Colesterol	0	Yodo	Tr
Grasa Total	36	Calcio	23.8	Vitamina D	0
Glúcidos	56.90	Hierro	1.60	Vitamina B12	0
Fibra	4.4	Vitamina B5	4.3		
Potasio	1.6	Vitamina C	18.4		
		Vitamina E	6.7		
				Energía (Kcal) 537	

Nota. Tomado de (YAZIO, n.d.)

El proceso de producción tradicional de chips fritos se basa en la inmersión del producto crudo en aceite a temperaturas superiores a los 170 °C, bajo estas

condiciones de temperatura se produce la deshidratación del producto lo que permite su conservación. Uno de los indicadores de calidad de los chips fritos es la humedad, un contenido de agua de entre 1.5% al 3.0% garantiza la ausencia de proliferación microbiana y por ende la descomposición del alimento. (Vasco et al., 2011)

Uno de los aspectos claves al momento de empacar este tipo de producto es el proceso de absorción del aceite dado que este proceso se lo realiza en el enfriamiento del producto o por lo contrario este tiene que ser tratado por procesos diferentes que, mejoren el acabado del producto.

2.3. Material de Empacado

En Ecuador en el año 2014 se estableció la norma RTE INEN 100:2014, en la Tabla 2 se establecen los lineamientos que deben cumplir los materiales que se emplean en el empacado o envasado de productos alimenticios. El objetivo de la norma es precautelar la salud de los consumidores y garantizar la confiabilidad de los productos. (INEN, 2014)}

Tabla 2

Materiales plásticos destinados a productos alimenticios

Identificación de Plásticos	
Identificación	Características
Tereftalato de polietileno (PET o PETE)	Envase transparente destinado a aceites, agua purificada, aderezos y medicinas, agroquímicos.
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Envases opacos y gruesos, destinados a suavizantes, bolsas de basura y botellas.
Vinilo (Cloruro de polivinilo o PVC)	Envases transparentes, semi delgados destinados a shampoos, juguetes, etc.
Polietileno de baja densidad (LDPE)	Principalmente usados para películas y bolsas transparentes usados para envolturas de alimentos.
Polipropileno (PP)	Plástico opaco y traslucido.
Poliestireno (PS)	Hay dos versiones el expansible o el cristalino.

Nota. Tomado de (INEN, 2014)

Mantilla (2018) afirmó lo siguiente:

Los materiales destinados al proceso de empaçado deben presentar las siguientes características para su correcta implantación:

Resistencia mecánica contra agentes contaminantes en este caso contra la humedad o cualquier otro agente que afecte su composición.

Proteger el producto durante toda su vida útil, desde su producción hasta su consumo.

Propiedades físico-químicas adecuadas como se observa en la Tabla 3, que permitan un correcto sellado e impidan la contaminación microbacteriana.

Tabla 3

Propiedades físico-químicas para envases de productos alimenticios

Propiedades Físico Químicas	
Absorción de agua	0.03%
Índice refractivo	1.49
Índice de oxígeno limite	18%
Alargamiento a la rotura	150-300 para filmes biax. >50
Resistencia a los ácidos concentrados	Buena
Ácidos diluidos	Buena

Nota. Tomado de (Dani177, 2014)

En la industria alimenticia se aplican varios materiales para el empaçado sin embargo los más usados son:

2.3.1. Polipropileno (PP)

Elaborado a partir de la polimerización del propeno, producto obtenido de la refinación del petróleo, es el material con menor peso específico con el $0,9 \text{ g/cm}^3$, sin

embargo, cuenta con características organolépticas, químicas, de resistencias y transparencias, lo cual le brinda una gran ventaja dado que se necesita menos materia prima para obtener un producto final. (Mantilla, 2018)

Debido a sus características, permite obtener un producto de alta resistencia a la fatiga, lo cual lo hace apta para desarrollar empaques que brinde una gran barrera contra la humedad y agentes externos que afecten al producto, además de presentar una gran adaptación al proceso de sellado.

Uno de las variedades que, a ganado campo en el empaqueo de snacks, chips u otros productos empaquados dirigidos al consumo humano es el polipropileno biaxialmente orientado (BOPP) debido a que brindan mejores características contra agentes externos que afecten al producto. (The Food Tech, 2021)

2.3.2. Polietileno (PE)

El polietileno a diferencia del polipropileno es un polímero del etileno lo cual ocasiona cambios estructurales a nivel químico, ocasionando que presenten diferentes propiedades físicas lo cual origina que se tenga diferentes aplicaciones o usos, ocasionando así que sea el material de plástico de uso masivo a nivel mundial. (Seyermir, 2018)

A comparación del polipropileno este presenta una mayor rentabilidad, altas propiedades a las bajas temperaturas además de ser más maleable y resistente a la abrasión o al impacto. Presentan una gran diversidad en su estructura química lo que origina que se adquiera una gran variedad de productos con cualidades y aplicaciones múltiples. (Seyermir, 2018)

2.4. Proceso del Sellado de Películas Termoplásticas

Dependiendo del tipo de plástico usado para el empaqueo, existen variaciones en la cantidad de calor y presión usados para el correcto sellado, el método más usado

y tradicional es a través de resistencias eléctricas el cual da un buen acabado, sin embargo, debido a propiedades del producto a empacar existen diferentes variaciones como la alta frecuencia, gas caliente o sellado por impulso.

2.4.1. Sellado por Mordazas Calientes

Es una de las formas más aplicadas en el ámbito de sellado de termoplásticos, su funcionamiento se basa en el uso de calor a través de barras o planchas provistas de resistencias eléctricas de alta concentración, se sugiere utilizar una capa o un recubrimiento que permita evitar que el termoplástico se adhiera a las mordaz.

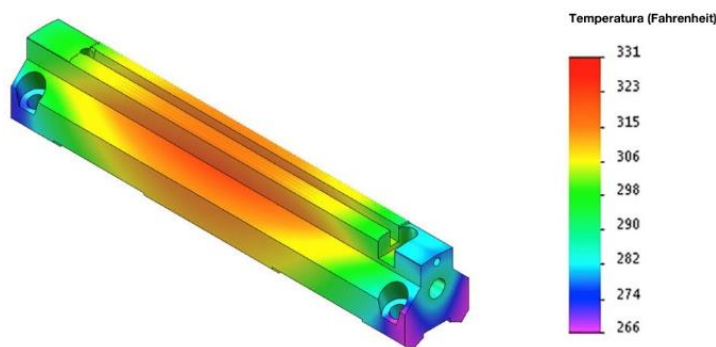
(Wojtech, n.d.)

Por lo general se utiliza mordazas de tipo horizontal cuyos surcos se encuentran a una disposición de 60° lo cual permite evitar la fuga o el ingreso de sustancias al producto, la temperatura establecida debe oscilar entre 280°F a 285°F. (Quintana, 2007)

Uno de los principales problemas (ver Figura 2) es debido a que en cada sellado las caras de las mordazas pierden temperatura, debido a que el tiempo que demora para alcanzar su valor establecido es limitado, es razón por la cual se les configura rangos de temperatura mayor a los de su correcta operación. (Wojtech, n.d.)

Figura 2

Distribución de la temperatura a través de la mordaza



Nota. Tomado de (Wojtech, n.d.)

2.5. Mecanismo de Presión para el Sistema de Sellado

Existen diversas alternativas para la implementación de un mecanismo que ejerza la adecuada presión para obtener un sellado de calidad, se presentaran las alternativas más viables de acuerdo a las propiedades mecánicas como se observa en la Tabla 4, que presenta la película termoplástica a utilizar.

Tabla 4

Propiedades mecánicas de los polipropilenos

PROPIEDADES	Homopolímero (PP)
Modulo elástico en tracción (GPa)	1.300
Alargamiento de rotura a la tracción %	650
Carga de rotura a la tracción (MPa)	31- 42
Módulo de flexión (GPa)	1.19 - 1.75
Dureza Shore D	D73

Nota. Tomado de (Plasticbages, n.d.)

2.5.1. Accionado por Cilindros Neumáticos

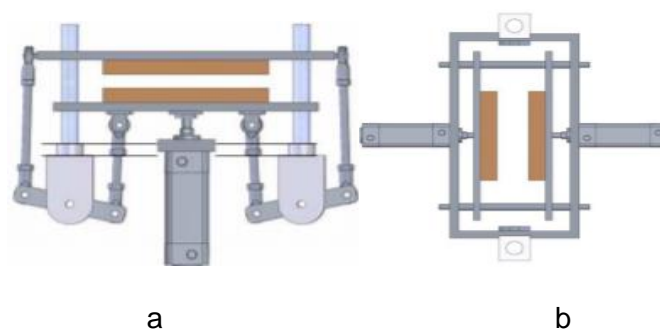
“Este mecanismo es uno de los más implementados en la Industria Alimenticia debido a que su puesta en marcha representa costos accesibles y su accionamiento es sumamente flexible para implementar un correcto control” (Antamba, 2018).

Su funcionamiento consiste en dos alternativas, la primera como se observa en la Figura 3a, consiste en la implantación de un pistón y un mecanismo de brazos que ocasiona el cierre y apertura de las mordazas proporcionando la presión adecuada para un correcto sellado, el segundo mecanismo como se observa en la Figura 3b, consiste en la implementación de dos pistones el cual presta una mayor funcionabilidad debido a que este se puede servir como un sistema de arrastre de las fundas. (Antamba, 2018)

Las dos alternativas presentan la incorporación de un mecanismo de corte de fundas compuesto por una cierra y cilindro de menor carrera para un correcto funcionamiento.

Figura 3

Alternativas del mecanismo de sellado por cilindros neumáticos



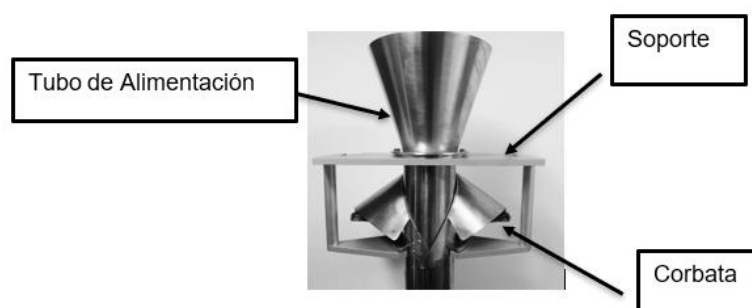
Nota. Tomado de (Moreno, 2010)

2.6. Formador de Fundas

Generalmente está conformado por 3 elementos como se puede ver en la Figura 4, no obstante, existen diferentes formas y tamaños los cuales se adaptan de acuerdo al producto que se desee empacar.

Figura 4

Partes del formador de fundas de envase redondo



Nota. Tomado de (IrtaGroup, n.d.)

Tubo de alimentación: Se debe verificar el diámetro necesario de acuerdo al tamaño de la funda que se desee realizar el empaçado, dado que es el encargado de guiar el producto a la funda para posteriormente realizar un correcto sellado final del producto. (IrtaGroup, n.d.)

Corbata: Es el encargado de realizar la elaboración de la escritura del envase que se desea obtener, regularmente está formada por un material con una estructura o superficie con un alto coeficiente de fricción para permitir el correcto araste del termoplástico. (IrtaGroup, n.d.)

Soporte: Es la estructura encargada de agrupar los demás mecanismos, debido a que por lo general el material puede ser diferente al de los anteriores, por lo cual este no va a tener contacto directo con el producto. (IrtaGroup, n.d.)

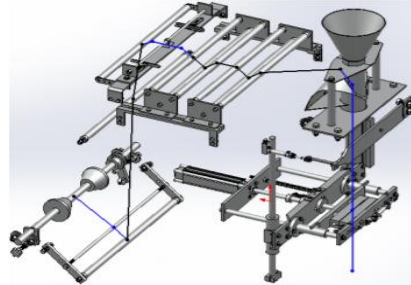
El módulo es construido en acero inoxidable, tratado para la producción de maquinarias destinadas a la elaboración de alimentos para consumo humano.

2.7. Sistema de Guiado y Arrastre

Su funcionamiento consiste en conservar tensionado el material termoplástico como se observa en la Figura 5 para un adecuado sellado, lo cual implica que no debe incurrir en desviaciones con respecto al sistema formador de fundas, por lo general está constituido por una serie de rodillos fijos y móviles los cuales van posicionados en función de las características del sistema formador de fundas. (Herrera & Lumbres, 2018)

Figura 5

Sistema de guiado y arrastre



Nota. Tomado de (Iza & Medina, 2013)

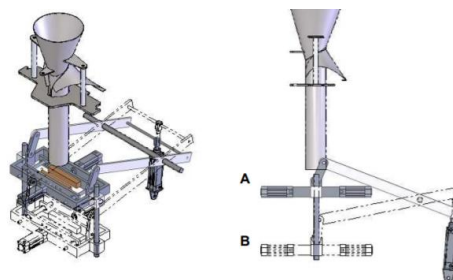
2.7.1. Arrastre por Mordazas

Por lo general van acoplados al sistema de sellado por mordazas calientes. Este mecanismo aprovecha la presión que ejercen las mordazas al momento de sellar el termoplástico para ocasionar el arrastre necesario a través de un mecanismo de deslizamiento para producir un proceso continuo. (Iza & Medina, 2013)

Debido a que es un sistema multifuncional como se observa en la Figura 6, representa una gran alternativa para los sistemas de empackado continuo, debido al bajo costo de implementación, ocasionando así que sea un mecanismo adaptable a cualquier termoplástico al ser arrastrado.

Figura 6

Arrastre por mordazas



Nota. Tomado de (Moreno, 2010)

2.8. Sistema de Dosificación

Estos son sistemas que permiten trabajar con múltiples variables y se adaptan fácilmente a la carga que se desee dosificar, su función principal es la de cuantificar la cantidad de producto por unidad establecido previamente, manteniendo estrictamente las normas de higiene. (Fluideco, 2018)

Existiendo diferentes tipos de dosificación para el empaqueo de productos, dependiendo de qué materia prima se desee empaquear y las diferentes necesidades que la empresa desee cubrir.

Se indagará sobre los sistemas de dosificado para la industria alimenticia como se observa en la Tabla 5, para deducir los más aptos para la empresa De Carmita S.A.

Tabla 5

Lista de dosificadoras más usadas en la industria alimenticia

Dosificadoras	
Dosificadoras Volumétricas	Dosificadoras por Peso
De tornillo	Celda de carga
Alveolar	De aproximaciones
Banda rodante	
Vasos Telescópicos	

Nota. Tomado de (Pinto & Durán, 2006)

2.8.1. Dosificación por Peso

Conocida como diferencial, su funcionamiento se basa en la implementación de celdas de carga (ver Figura 7) cuya eficiencia está relacionada con la calibración de la señal análoga que esta emite cuando se le aplica peso o presión. Conformado por dispositivos electrónicos, su automatización está controlada a través de microcontroladores o un control lógico programable brindando un alto sistema de

confiabilidad con un rango mínimo de error (entre un $\pm 5\%$), lo cual es ideal para empresas productoras de diferentes alientos sólidos. (Iza & Medina, 2013)

Figura 7

Dosificadora de peso



Nota. Tomado de (TecnoSA, n.d.)

2.9. Celda de Carga de Peso

Como se observa en la Figura 8, son dispositivos electrónicos usados para convertir diferentes cargas aplicadas a una señal eléctrica, su funcionamiento se basa en el efecto piezo resistivo. Se desarrollan de diferentes formas y dependiendo del número de galgas extensiométricas que esta incorpore varia su capacidad de carga, por lo general están sometidas en un extremo a esfuerzos de tensión y en el otro a compresión, existe la necesidad de acondicionar dicha señal, dado que su rango de funcionamiento como se observa en la Tabla 6 opera entre miliamperios o milivoltios, además que se debe procesar la señal ya que está expuesta a variaciones (temperatura) que alteran su rango de medición, por lo cual se debe incorporar un acondicionador de señal estableciéndole en un rango de lectura normalizado, permitiendo automatizar el proceso por medio de un controlador lógico programable permitiendo su lectura a través de una entrada análoga (Sensing, 2019)

Figura 8

Tipos de celdas de carga



Nota. Tomado de (Espinosa, 2020)

Tabla 6

Funcionamiento de celdas de carga

Tipo de Celda de Carga	Funcionamiento	Capacidad	Alimentación
Digital	Conformadas con celdas análogas con un circuito interno de conversión análoga digital, se comunica por MODBUS y su sensibilidad va de 2mV/V.	Su rango de operación va de 3 a 75 Kg	Su rango de alimentación va de 5 a 12v
Análogas	Constituido por un circuito proporcional en tipo puente llamado Wheatstone, cuenta con 4 galgas extensiométricas. Su sensibilidad va de 2mV/V.	Su rango de operación va de 3 a 40 kg	Dependiendo de la necesidad va de 1 a 12V

Nota. Tomado de (HBM, 2020)

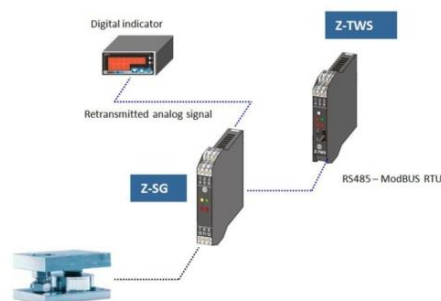
2.10. Amplificador de Instrumentación

Juegan un rol fundamental en el ámbito industrial puesto que estos ayudan a la amplificación, filtración y modulación de las señales, como se observa en la Figura 9, cuentan con diferentes entradas y salidas permitiendo trabajar a estándares

normalizados que varían de 0-10 V o de 4-20 mA lo que permite conservar un proceso continuo invariable. (Sensing, 2019)

Figura 9

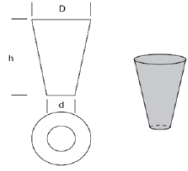
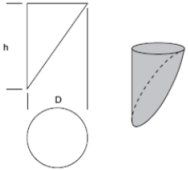
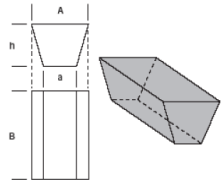
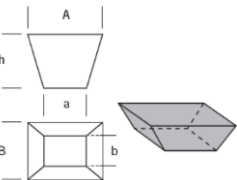
Amplificación de la señal de la celda de carga



Nota. Tomado de (Logicbus, 2019)

Tabla 7

Formas de tolvas más implementadas

Tipo	Ecuación de Volumen	Forma
Cono Truncado	$V = \left(\frac{\pi h}{3}\right) * (D^2 + dD + d^2)$	
Cilindro Parcial	$V = \left(\frac{\pi}{8}\right) * hD^2$	
Prisma Trapezoidal	$V = \left(\frac{a + A}{2}\right) * Bh$	
Prisma Truncado	$V = \left(\frac{h}{6}\right) * (2AB + Ab + aB + 2ab)$	

Nota. Tomado de (Morales, 2010)

2.11. Sistema de Almacenamiento

También denominado como tolva de almacenamiento, su objetivo principal consiste en la acumulación de la materia prima a ser empacada, no obstante, se puede implantar diferentes mecanismos para realizar la distribución a menor medida para que su producto pase limitado, dependiendo del tipo de dosificación aplicado esta puede tomar diferentes formas como se indica en la Tabla 7 para su construcción. Una de las perspectivas más importante a tomar en cuenta es el peso que esta puede llegar a tomar después de ser llenada la materia prima, por lo cual se debe seleccionar un material resistente y ligero. (Morales, 2010)

2.12. Material

Para la construcción de máquinas o equipos destinadas a la producción de alimentos de consumo humano, se deben tomar ciertas características indispensables del material a emplear como se observa en la Tabla 8, lo cual permite cumplir con todas las normas de saneamiento establecidas por organismos como la National Sanitation Foundation (NSF). (Aguirre, 2018)

El acero inoxidable utilizado en módulos de almacenamiento de alimentos o también conocidas como tolvas pertenecen a las series AISI 200, AISI 300 o AISI 400, dado que presentan un mínimo de cobre (16%) en su estructura, proporcionan resistencia a la corrosión en ambientes con temperaturas elevadas. (NSF Internacional, 2002)

Tabla 8*Propiedades del acero inoxidable A304*

Propiedades del Acero A304	
Resistencia a la tracción (KSI)	75 mín.
Densidad (libra/ pulg ²) a RT	0.29
Módulo de elasticidad en tensión (psi x 10 ⁶)	28.0
Calor específico (BTU/o F/libra)	0.12
Conductividad térmica (BTU/h/pies ² /pies)	9.4
Resistencia a la oxidación: Servicio continuo (°F)	1,650

Nota. Tomado de (NKS, 2020)

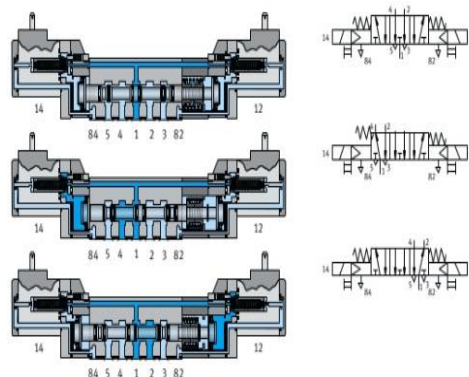
Para moldear el acero inoxidable A304 se usan técnicas de doblado, no obstante, se puede aplicar un proceso de soldadura para conformar diferentes módulos usando técnicas de fusión o de resistencia con metal de relleno T308, en cuyo caso el cordón formado debe ser liso y no presentar impurezas o porosidad donde se almacenen residuos alimenticios. (NKS, 2020)

2.13. Electroválvulas Neumáticas

Son dispositivos electromecánicos, debido a que mediante una señal eléctrica excita un solenoide que por acción magnética activan un mecanismo para oponerse o dar apertura al paso del aire comprimido como se observa en la Figura 10. Son altamente aplicadas en los procesos de automatización industrial puesto que se adaptan y trabajan fácilmente con los sistemas de programación y los sensores o actuadores que conformen su circuito.

Figura 10

Configuración de las electroválvulas



Nota. Tomado de (Festo, 2015)

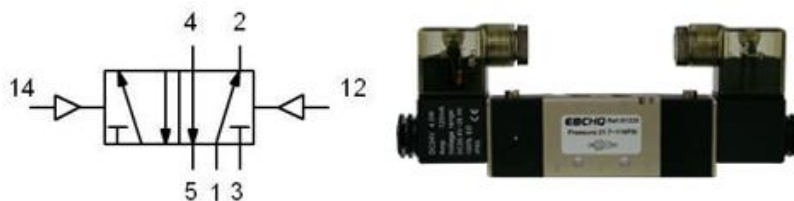
Las electroválvulas se clasifican de acuerdo al número de vías y posiciones que estas presentan.

2.14. Electroválvulas 5/2 (5 vías y 2 posiciones)

Su principio de funcionamiento se basa en las válvulas 4/2, presenta una gran actuación a altas presiones con una potencia reducida, a más de que debido a la implementación de los dos escapes como se indica en la Figura 11, permite controlar de mejor manera la velocidad de funcionamiento. (Burkert, 2015)

Figura 11

Configuración de las electroválvulas



Nota. Tomado de (Cruz, 2019)

Generalmente se puede usar para conducir la dirección del flujo de aire del cilindro mecánico de doble efecto.

2.15. Tipos de Accionamientos en Válvulas

“Del tipo de accionamiento implementado va a depender el óptimo control para el cambio de posición de las válvulas. A continuación, se detallan los diferentes tipos de accionamientos aplicados” (BIRT LH, 2017).

Accionamiento manual: Son activados de acuerdo a la necesidad del operario, generalmente para activar su funcionamiento se basan en la distribución de presión a través de pulsadores, palancas o pedales. Debido a los avances tecnológicos en automatización han perdido utilidad.

“De acuerdo a su método de actuación esta puede intercalar las posiciones que se requiere en el sistema que se va a implementar” (INTOR, 2016).

Accionamiento neumático: Se ejecutan a través del aire comprimido, esta actúa por un diferencial de presión que incide en la misma. Su comportamiento es distinto cuando el aire comprimido es expulsado, a pesar de ello existe la posibilidad de mejorar la eficiencia de su accionamiento variando la configuración de la misma. (Pneumatics, 2012)

Accionamiento eléctrico: Basa su funcionamiento en la aplicación de sistemas eléctricos para ser activada. Su comunicación puede ser establecida a través de electroimanes o dispositivos eléctricos capaces de emitir una orden. Debido a estos aspectos se debe tener en cuenta las características técnicas (voltaje y corriente) implementadas en el proceso. (Pneumatics, 2012)

2.16. Componentes Complementarios de un Sistema Neumático

2.16.1. Unidad de Mantenimiento FRL

Es la encargada de preservar y mejorar las propiedades del aire, el cual cumple un rol específico en los dispositivos neumáticos dentro del sistema implementado,

generalmente está compuesta de tres elementos como se observa en la Figura 12, las cuales cumplen una función específica como se detalla a continuación, a pesar de ello, depende de los dispositivos neumáticos y de la fuente de alimentación para que esta carezca del filtro o del lubricador. (Peralta, 2019))

Figura 12

Unidad de mantenimiento RFL



Nota. Tomado de (Hidráulica y Neumática S.A., 2019)

Funcionamiento:

Filtro de aire: Aplica una fuerza centrífuga como principal método para la separación de partículas sólidas como partículas de oxido, gotas de agua o en su defecto una mezcla de agua y aceite, esto debido a que existen aplicaciones específicas en donde se requiere aire comprimido altamente filtrado. (Petitti, 2015)

Regulador de presión: Mantiene la presión de trabajo en un valor adecuado para el componente que lo requiere y además dicho valor debe ser constante, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red y del consumo de aire. La presión de trabajo es ajustable por medio de un tornillo. (Hidráulica y Neumática S.A., 2019)

Lubricador de aire: Su función principal es mejorar la vida útil de los dispositivos conectados a la unidad, cumple con la función de atomizar las gotas del

aceite para que estas ayuden a evitar la corrosión y la fricción en los elementos usados.

(Petitti, 2015)

2.16.2. Racor Neumático

Es un elemento roscado que conforma un acople con la manguera neumática como se indica en la Figura 13, usado para la suministración de aire comprimido a los diferentes dispositivos y accionamientos que conforman el circuito neumático, dependiendo de los accionamientos implementados presentan diferentes formas y tamaños para su implementación. (Romel Co Industrial, 2018)

Figura 13

Racor Neumático



Nota. Tomado de (Nelco Sistemas, 2018)

2.17. Sensores

Es un dispositivo capaz de captar cualquier tipo de magnitud o estímulo externo, generalmente los sensores al ser sometido a estos estímulos emiten una señal análoga o binaria. Dependiendo del tipo de sensor estos pueden presentar una salida con variación de voltaje y corriente. se encuentran con gran presencia en las diferentes industrias usadas para captar señales de temperatura, presión, etc. (PrototipadoLAB, 2018)

2.17.1. Sensores Magnéticos

El Son dispositivos que basan su funcionamiento en la conmutación electrónica puesto que actúan bajo la presencia de un campo magnético originado por la concurrencia de imanes permanentes en los actuadores implementados. En vista de la

señal que estos emiten como se observa en la Figura 14, permite ocasionar un mando directo para la actuación de las electroválvulas, relés o diferentes sistemas que gobiernan la máquina en la cual fueron implementados. (MecatrónicaLATAM, 2018)

Figura 14

Sensor magnético



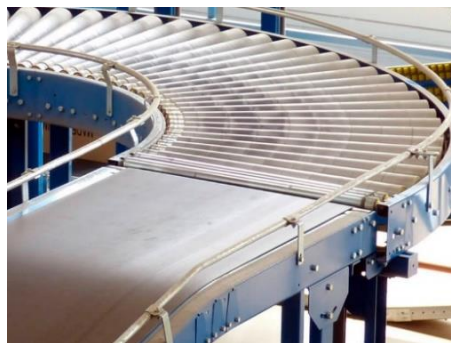
Nota. Tomado de (WEG, 2021)

2.18. Banda Transportadora

De Las cintas trasportadoras cumplen un rol fundamental en el ámbito industrial puesto que permiten movilizar productos de un lugar a otro (véase Figura 15) manteniendo su estabilidad e incrementando la eficiencia de la producción. Son sistemas versátiles conformado por tres elementos fundamentales: los motores, la estructura y la cinta. (Eurotransis, 2018)

Figura 15

Banda Transportadora



Nota. Tomado de (Eurotransis, 2018)

Para su implementación se debe verificar las características técnicas del material a desplazar teniendo en cuenta que de estos factores depende la selección del motor, así como la regulación de la velocidad y el tipo de cinta a usar como se indica en la Tabla 9. (Eurotransis, 2018)

Tabla 9

Tipos de cintas transportadoras

Tipo de Celda de Carga	Funcionamiento
Bandas de PVC con grabado en relieve	Altamente resistentes a la abrasión o antillamas.
Banda de PVC, PU o cobertura superior	Atóxicas y resistentes a aceites y grasas animales y vegetales
Banda de PVC o PU lisas	Antiestáticas y resistentes a cortes. Las de PU son usadas en el ámbito alimentarias

Nota. Tomado de (Alvarez, 2012)

2.19. Controlador Lógico Programable

Conocido como autómatas programables como se observa en la Figura 16, es básicamente un emisor-receptor de datos y señales, su funcionamiento está basado en la implementación de memorias que sirven para guardar la información programada para cubrir diversas labores al mismo tiempo. En si consiste en una computadora industrial la cual procesa todos los datos de un sistema electromecánico logrando así la automatización completa de la Industria. (Ingeniería Mecafenix, 2018)

Figura 16*PLC Siemens S7 1200*

Nota. Tomado de (Siemens, 2019)

Para que el PLC pueda cumplir con las funciones establecidas para las que fue implementado se debe establecer el tipo de comunicación más apto para la industria y realizar el proceso de programación, el cual consiste en una serie de algoritmos los cuales son estructurados a través de un ordenador usando un software específico dependiendo el tipo del lenguaje que este use. (Ingeniería Mecafenix, 2018)

2.19.1. Comunicación Modbus TCP

Este tipo de comunicación basa su funcionamiento en el protocolo Modbus RTU englobado en un bloque TCP, que permite a los equipos autómatas como PLC's u otros dispositivos de entrada y salida comunicarse a través de vía Ethernet, no obstante, su estructura cuenta con un Cliente/ Servidor, un cliente Modbus TCP (maestro) debe controlar la conexión cliente-servidor con el parámetro DISCONNECT. (Aula21, 2020)

- Para establecer la comunicación los nodos deben estar vinculados en la misma dirección IP.
- Iniciar transmisión de cliente de un mensaje Modbus y recibir las respuestas del servidor

- Admite un gran rango de conexiones al mismo instante, dado que una sola conexión impulsa varias transiciones independientes. (Staff, 2019)

Como se indica en la Figura 17, MB_CLIENT se comunica como cliente Modbus TCP a través del conector PROFINET de la CPU S7-1200. MB_CLIENT puede establecer una conexión cliente-servidor recibir una respuesta y controlar la desconexión de un servidor Modbus TCP. (Siemens, 2018)

Figura 17

Instrucción MB_CLIENT



Nota. Tomado de (Siemens, 2019)

2.20. Interfaz HMI

La implementación de un sistema HMI para la interacción Humano-Máquina, proporciona la información de los actuadores e indicadores que operan como se indica en la Figura 18, con el propósito de mantener la eficiencia del equipo. Además de tener un monitoreo más exhaustivo en las variables de producción en tiempo real y cambiar parámetro de acuerdo a la necesidad de la empresa. Su comunicación se puede realizar a través de PROFINET O PROFIBUS con el PLC dependiendo de las circunstancias a ser implementados. (Orellana & Balladares, 2018)

Figura 18*Interface Humano-Máquina*




Nota. Tomado de (Siemens, 2019)

2.21. Rodamientos

Son elementos mecánicos utilizados para soportar cargas radiales causadas por la presencia de elementos de transmisión de potencia y axiales debido a la presencia de cargas de empuje a las cuales están sometidos debido a la presencia de engranes o coronas, está conformado por separadores, bolas, anillo interno y externo lo cual facilita la rotación entre dos elementos de una máquina. Presentan un bajo coeficiente de fricción debido a que el trabajo que realiza es independiente de la velocidad y carga aplicada. (Capellan, 2017)

Su selección y aplicación depende de la carga a la que va a estar sometido.

Tabla 10*Tipos y aplicaciones de rodamientos*

Tipo de rodamiento	Gráfico	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje
Una hilera de bolas con ranura profunda		Buena	Regular
Doble hilera de bolas, ranura profunda		Excelente	Buena
Contacto angular		Buena	Excelente

Tipo de rodamiento	Gráfico	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje
Rodillos Cilíndricos		Excelente	Mala
Agujas		Excelente	Mala
Rodillos esféricos		Excelente	Regular a Buena
Rodillos cónicos		Excelente	Excelente
Axiales		Mala	Excelente

Nota. Tomado de (MOTT, 2006)

2.22. Factor de Seguridad

Básicamente se define como un valor de diseño cuya capacidad es mantener el esfuerzo o esfuerzos máximos que actúan en una pieza por debajo de la resistencia mínima que soporta el material evitando así que esta falle, en la Tabla 11 se exponen diversos factores de seguridad cuyo valor está directamente relacionado con las propiedades del material a utilizar, permitiendo obtener una tolerancia debido a algún error en el diseño o modelado. (National Technical International Service, 1975)

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

Ecuación 1

Factor de Seguridad

Nota. (R. Mott, 2009)

Donde:

S_y = Resistencia del material a la fluencia

σ_d = esfuerzo de diseño o permisible

Tabla 11*Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles*

Factor de seguridad	Información
N= 1.25 a 2.0	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño
N= 2.0 a 2.5	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño
N= 2.5 a 4.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente
N= 4.0 a más	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente

Nota. Se utiliza un factor de seguridad de 4 o más para cargas estáticas, mostrando un alto grado de incertidumbre en procesos industriales. Tomado de (Mott, 2006)

$$\sigma_d = \frac{S_y}{1.5} = 0.66S_y$$

Ecuación 2

Esfuerzos de diseño acero estructural (AISC)

Nota. (R. Mott, 2009)

$$\sigma_d = \frac{S_y}{1.65} = 0.61S_y \text{ o } \sigma_d = \frac{S_y}{1.95} = 0.51S_y$$

Ecuación 3

Esfuerzos de diseño Aluminio (Aluminum Association)

Nota. (R. Mott, 2009)

2.23. Calidad de Malla

Influye principalmente en el análisis y precisión de los cálculos numéricos, evitando la difusión numérica logrando reducir el error de discretización, lo que permite una convergencia adecuada. Este proceso se logra a través de una correcta refinación de los nodos de la geometría tratada, para lo cual se emplean diferentes criterios de

evaluación como se observa en la Tabla 12 Tabla 13, lo que permite garantizar la funcionalidad de dicha geometría.

Tabla 12

Calidad de mallado en función de Orthogonal Quality

Orthogonal Quality	Calidad de la malla
0 – 0.001	Inaceptable
0.001 – 0.14	Mala
0.15 – 0.20	Aceptable
0.20 – 0.69	Buena
0.70 – 0.95	Muy Buena
0.95 - 1	Excelente

Nota. Tomado de (ANSYS, 2020)

Tabla 13

Calidad de mallado en función de función de Skewness

Skewness	Calidad de la malla
1	Degenerada
0.9 - 1	Mala
0.75 – 0.9	Pobre
0.50 – 0.75	Aceptable
0.25 – 0.50	Buena
0 – 0.25	Excelente
0	Equilátero

Nota. Tomado de (ANSYS, 2020)

Capítulo 3

3. Metodología

3.1 Modalidad de Investigación

Este tratado se basa en el desarrollo de datos fácticos de Carmita S.A. Se formulan dos preguntas basadas en una comparación de diagnóstico y resolución de problemas. ¿Cuál es el problema? ¿Y se resolverá el problema? Responde a esto en relación al proyecto de expansión en beneficio de la empresa en cuanto a necesidades de desarrollo.

- Para obtener un comienzo básico, realice un estudio histórico del tema para encontrar los datos y principios utilizados en el sistema global entre el diagnóstico y el problema.
- A través del estudio de caso, continuar utilizando el método inductivo con los requisitos de implementación necesarios, dependiendo del sistema operativo que se utilice para encontrar el camino entre el proyecto y el problema.
- El paso final es la fase experimental que tiene como objetivo encontrar la relación final entre el proyecto y la solución mediante la realización de una investigación basada en el estudio de los tiempos del proceso, evaluando la calidad del sistema una vez iniciado.

3.1.1. Método Bibliográfico Documental

El proyecto comenzó con una recopilación de datos teóricos y conceptuales de las fuentes originales, artículos, libros de texto de ingeniería, sitios web, noticias educativas, normas y reglamentos publicados en sitios web oficiales. Allí puede encontrar patrones y principios relacionados con el diseño de la máquina empacadora

automática. El empaquetado automático se puede presentar en tipos de métodos, materiales, sistemas de comunicación y normas de seguridad. Con las herramientas planteadas es posible plantear una estrategia que brinde respuestas a la problemática.

Con este método es posible adquirir información sobre las propiedades de los materiales recolectados, las propiedades del empaque y los requisitos de higiene que son esenciales para lograr una línea de producción eficiente.

3.1.2. Método Deductivo

Con esta metodología es posible obtener un eje conceptual – práctico de la propuesta planteada en la empresa De Carmita S.A. La probabilidad de implementar el diseño mecánico, secuencias neumáticas y protocolos de comunicación es alta, y depende de la correcta evaluación de los parámetros fundamentales incluidos en el proceso. La identificación efectiva de las características es una guía fundamental para conseguir un funcionamiento eficaz del equipo.

3.1.3. Método Experimental

Este método, además de obtener información sobre el desempeño sofisticado de las comunicaciones industriales con controladores estratégicos, consiste en verificar el correcto funcionamiento del tipo de producto que forma parte del diseño en las condiciones esperadas. No obstante, tiene como función extraer información del rendimiento del protocolo de comunicación industrial mediante PLC, para identificar los errores existentes. Considere los siguientes parámetros importantes:

- Mecanismos de Empacado
- Costo
- Fiabilidad

3.1.4. Método Analítico

Como resultado de este enfoque, se realizó un estudio sobre la selección de elementos eléctricos, mecánicos y neumáticos integrados en cada sistema aplicable, verificando los componentes de mejor desempeño y eficiencia para implementar el producto según sea necesario. En la empresa De Carmita S.A.

3.2. Tipos de Investigación

3.2.1. Investigación Aplicada

Este proyecto considera básicamente el diseño de materiales de envasado de productos fritos en base a políticas, normativas o trabajos de investigación previos.

Por tanto, los conocimientos adquiridos en los campos de la neumática y mecánica se desarrollan para dar soporte al diseño del prototipo, que sustituye a los sistemas tradicionales de empaclado implementados en las diversas empresas del campo industrial.

3.2.2. Investigación de Método Deductivo

El propósito es analizar las características y el rendimiento de cada máquina empacadora investigada, para determinar cuál de estos parámetros es más efectivo y eficiente. Aumente y mejore su conocimiento de investigaciones de la comunicación de Modbus TCP / IP a través de la declaración MB_CLIENT, que le permite crear conexiones TCP cliente - servidor implementadas en un formato específico del prototipo.

3.3. Diseño de la Investigación

El marco de investigación proporciona a los investigadores la orientación adecuada para desarrollar estrategias y métodos para discutir las preguntas planteadas

mientras se encuentran soluciones a los problemas encontrados y los objetivos establecidos por ellos. A través de la estrategia anterior, puede implementar la comunicación Modbus TCP / IP entre todos los niveles con el mejor conocimiento de cómo funciona cada dispositivo, incluida la cadena de bloques automática. Como resultado, el diseño sigue siendo más respetuoso con el medio ambiente dado el esfuerzo ganado a través del software y un análisis sólido del esfuerzo y la capacidad de realizar algunos cambios para mejorar el desempeño de los productos implementados. Como parte de las etapas finales del proyecto, se realizarán pruebas operativas para evaluar su calidad y confiabilidad mientras se cumplen todos los requisitos de la empresa De Carmita S.A.

3.4. Niveles de la Investigación

3.4.1. Nivel Exploratorio

Este paso evalúa los elementos y efectos de productos para el consumo humano elaborados bajo procesos manuales, lo que determina inicialmente la necesidad de implementar un sistema de producción automatizado que cumpla con todos los estándares de higiene para evitar daños a los consumidores. Además, establecer un sistema de dosificación apropiado para implementar un plan de producción consecutiva.

3.4.2. Nivel Descriptivo

Este nivel se utiliza para el desarrollo de las hipótesis presentadas de acuerdo con las observaciones a nivel de investigación. Esto guía el estudio hacia los objetivos específicos del proyecto a medida que se llevan a cabo el diseño y la construcción de una máquina empacadora selladora automatizada. Su principal objetivo es mejorar y

aumentar la eficacia del proceso de fabricación para cumplir con todos los requisitos de higiene establecidos sin depender de otros métodos.

3.4.3. Población y Muestra

Como se muestra en la Tabla 14 una serie de preguntas formuladas durante todo el proyecto asegurarán una buena y adecuada respuesta al problema descrito en el capítulo uno de este proyecto.

Tabla 14

Preguntas surgidas de la investigación

	Preguntas Surgidas	Respuestas
1	¿Para qué?	Para controlar el proceso de producción y mejorar las normas de saneamiento establecidas.
2	¿De qué personas u objetos?	Máquina empacadora y selladora
3	¿Sobre qué aspecto?	Eficiencia del proceso
4	¿Quién? ¿Quiénes?	Investigadores
5	¿Cuándo?	2020 - 2021
6	¿Dónde?	Las Instalaciones de producción de la Microempresa De Carmita S.A.
7	¿Cuántas veces?	Una vez
8	¿Qué técnicas?	Producción y control
9	¿Con qué?	Sistema HMI para Producción
10	¿En qué situación?	En un programa de operación continuo

3.5. Técnica de Recolección de Datos

Se obtienen algunos datos específicos sobre el diseño de un prototipo de maquina empacadora, para lo cual se evalúa las medidas y especificaciones del material termoplástico y del sistema de dosificación. Es importante destacar que los

datos se adquieren mediante investigaciones, previamente analizados para efectuar una ejecución adecuada.

Investigar y analizar principios mecánicos tales como condiciones de rango de temperatura en los termoplásticos, diseño de métodos y recubrimientos, se empelará un software de simulación y fuerza motriz para el diseño, gráficos y tablas.

Los esfuerzos y fuerzas resultantes aplicados al sistema, se evalúan utilizando el software CAE y métodos de análisis matemático

3.5.1. Técnica de Análisis de Datos

La validación y el análisis de datos hacen comparaciones entre los accionamientos que cubren cada uno de los componentes del sistema, con el fin de lograr una comunicación HMI precisa, tanto local como remota para proporcionar sistemas confiables, de gran rendimiento, logrando formas de evitar problemas de empaquetado. Además, dependiendo del estilo aplicado y los resultados desarrollados por el software CAE, es necesario considerar cambios en el método para aumentar la eficiencia y recordar qué opciones se debe elegir en el proceso.

3.5.2. Técnica de Comprobación de la Hipótesis

Mediante la implementación del modelo se comprueba la hipótesis planteada, a través del método de Validación Interna en base a las pruebas realizadas en los productos a ser empacados. Se evaluará los procesos de forma estructurada, basándose en el tiempo de operación óptimo y sistema de sellado, mejorando el rendimiento de los parámetros para conseguir un sistema de alta eficacia.

Capítulo 4

4. Análisis de Datos

Este capítulo analiza los resultados de una investigación exhaustiva. El objetivo de este estudio fue establecer una comunicación robusta entre el sistema de dosificación y el sistema de envasado automático, mediante la selección de dispositivos y motores que incluye este mecanismo, a través de un controlador PLC.

4.1. Análisis de Resultados

Este proyecto de investigación se centra en la implementación de un prototipo de maquina empacadora activada por un mecanismo neumático automatizado, con lo que se generan datos de dosificación obtenidos por medio de la implantación de celdas de carga análogas. Como se muestra en la Figura 19, el canal representa un almacenamiento inofensivo que cumple con todos los requisitos de higiene física, lo que permite una mayor eficiencia a través del PLC. El manejo de variables se realiza mediante HMI, lo que facilita su uso por parte de los operarios.

Figura 19

Arquitectura del módulo de empaqueo y sellado



4.1.1. Requerimientos y Parámetros de Diseño

Se detalla y recolecta todos los parámetros y cualidades esenciales precisadas por la empresa De Carmitas S.A, para definir un diseño eficiente con la capacidad de satisfacer las expectativas en cuanto al rendimiento y calidad, para lo cual se emplea la casa de calidad.

4.1.2. Casa de Calidad

Consiste en la principal matriz que despliega la función de la calidad QFD, interrelacionando los “que”, requerimientos del cliente con los “como”, procedimientos para cubrir esos requerimientos a través de una secuencia lógica, que nos permite aclarar interrogantes en la elaboración del diseño conceptual.

4.1.3. La Voz del Usuario

Consiste en las cualidades y requerimientos que el cliente desea conseguir del prototipo final, en este caso los parámetros dispuestos por De Carmitas S.A. son los siguientes:

- Conservar el producto sin alterar sus propiedades.
- Dosificar el producto en unidades de 116 gramos cada una.
- Garantizar el sellado tanto en la zona vertical como el la horizontal de la funda.
- Transportar el producto desde el lugar de recepción a una distancia de 2000mm y una altura de 700mm para su posterior distribución.
- Procesar al menos 5 chips fritos por minuto.
- Fácil de mantener y conservar la asepsia de esta.
- No requiera constantemente supervisión de un operario, con la finalidad de conservar su integridad.
- Estética y fácil de movilizar

- Un costo accesible competente para ser adquirido por una microempresa.
- Eficiente capaz de trabajar a varias jornadas o doblar el tiempo de producción.

4.1.4. La Voz del Ingeniero

Consiste básicamente en traducir las demandas solicitadas por el cliente a un estándar técnico capaz de ser cuantificado, expresado de la siguiente manera:

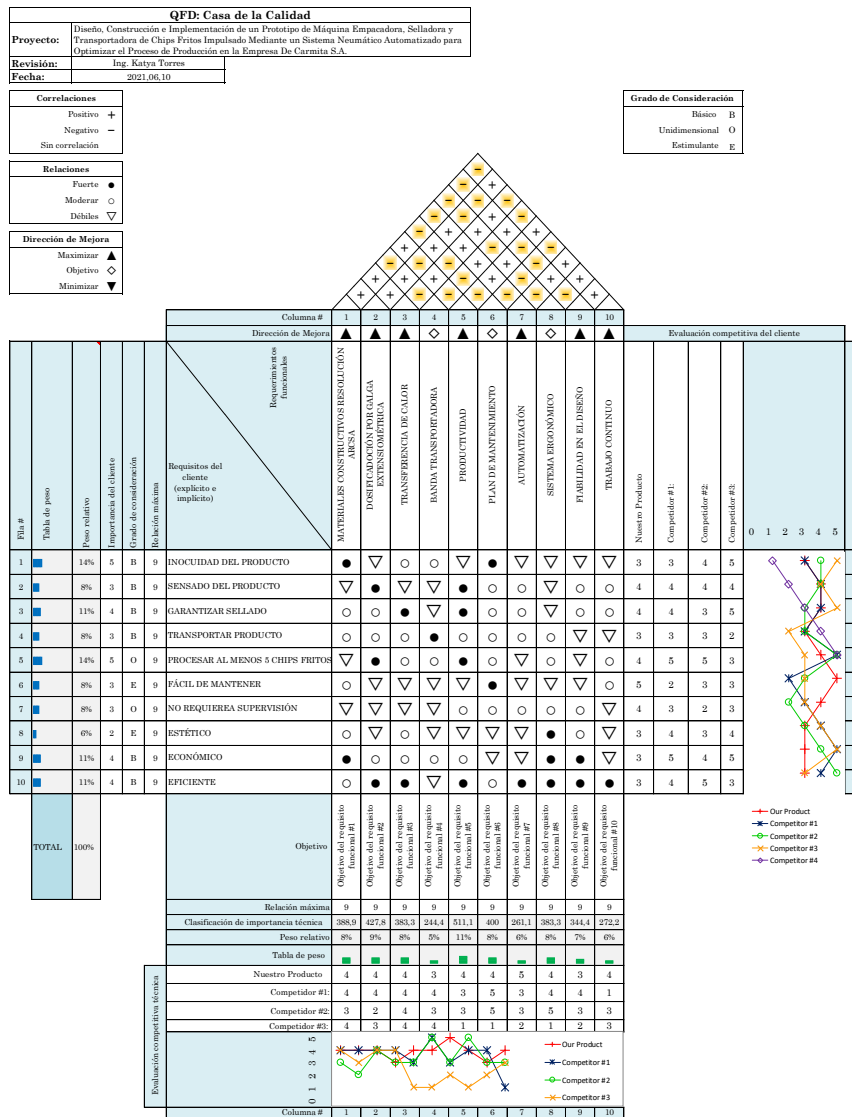
- Material constructivo en base a la resolución ARCSA
- Alto grado de precisión al dosificar el producto (116 gramos)
- Transferencia de calor
- Banda transportadora
- Productividad 5 chips fritos por minuto
- Plan de mantenimiento
- Automatización
- Sistema ergonómico simplificación de piezas
- Fiabilidad en el diseño factor de seguridad
- Trabajo continuo

4.1.5. Matriz de la Casa de Calidad

Como se mencionó anteriormente la casa de la calidad relaciona despliega la función de la calidad QFD, así a su vez analiza a la competencia para verificar en que rango se sitúa nuestro producto y si brinda o no todas las prestaciones adecuadas. (ver Figura 20)

Figura 20

Casa de calidad



Nota. Dispositivo para máquina de Chips.

De la Figura 20 se deduce la Tabla 15 y Tabla 16, cuyas cualidades principales que debe satisfacer el prototipo son las de mantener y garantizar la inocuidad del producto, como a su vez generar 5 chips fritos por minuto, cualidades con las que DE CARMITAS S.A. queda totalmente satisfecho.

Tabla 15*Parámetros requeridos por el cliente*

Requisitos del Cliente	Peso Relativo
Inocuidad del producto	14%
Procesar al menos 5 chips fritos	14%
Sellado del producto	11%
Económico	11%
Eficiente	11%
Peso del producto	8%
Transportar producto	8%
Fácil de mantener	8%
No requiera supervisión	8%
Estético	6%

De la Tabla 15, se obtiene el requerimiento fundamental al cual el ingeniero tiene que brindar más relevancia, sin descuidar las normas y resoluciones destinadas a conservar la inocuidad del producto.

Tabla 16*Parámetros de requerimientos*

Requerimientos fundamentales	Peso Relativo
Productividad	11%
Dosificación por galga extensiométrica	9%
Materiales constructivos resolución ARCSA	8%
Transferencia de calor	8%
Plan de mantenimiento	8%
Sistema ergonómico	8%
Fiabilidad en el diseño	7%
Automatización	6%
Trabajo continuo	6%
Banda transportadora	5%

4.1.6. Especificaciones Técnicas

De la Figura 20, se establecen los indicadores principales para el apropiado diseño estructural, avalando tanto la calidad del prototipo como las necesidades del cliente sin descuidar las normas de higiene que lo rigen (NTE INEN-EN 1672-2).

Propone:

- *C = Cliente*
- *I = Ingeniería*

R/D:

- *R = Requerimiento*
- *D = Deseo*

Tabla 17

Parámetros de especificaciones técnicas

Empresa: DE CARMITAS S.A.		Producto: Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips Fritos	
Especificaciones del Producto			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C+I	R	Almacenamiento inocuo del producto a empacar.
	C+I	R	Dosificación automática del producto.
	C	R	Elaboración del empaque a través del cuello formador.
	I	R	Sellado homogéneo automático tanto en la zona vertical como horizontal del empaque.
	I	R	Transporte automático del producto.
	C+I	R	Elevación automática del producto.
Dimensión	C	R	La máquina debe contar con medidas estándar adecuadas al lugar de trabajo.
	I	R	La configuración de la máquina debe ser simplificada.
	I	R	Fluidez de la materia prima para evitar aglomeraciones del producto.
Movimiento	C	R	Capacidad óptima para almacenar la cantidad de materia prima establecido.
	I	R	El sistema de guía y arrastre se alineará al cuello formador para desplazar verticalmente el empaque.
Ensamble	C+I	R	Los dientes de las mordazas deben ser guiados horizontalmente para un sellado homogéneo.
	I	R	Fácil apreciación a los mecanismos de ajuste que conforman el prototipo.

Empresa:
DE CARMITAS
S.A. **Producto: Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips Fritos**

Especificaciones del Producto			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Fuerzas	I	R	Facilitar la inserción y fijación manual de piezas.
	I	R	Coordinación de los dispositivos neumáticos.
	I	R	Resistente a esfuerzos de flexión y compresión evitando fallas por fatiga.
Materiales	I	R	Selección de procesos de manufactura.
	I	R	Acero inoxidable en base a normas y resoluciones para maquinarias que procesan productos de consumo humano.
	I	R	Disponibilidad de los componentes en el mercado nacional.
Energía	C+I	R	Eléctrica
Vida útil	C	R	Reutilización de piezas y reciclaje de las mismas.
Seguridad	I	R	La máquina será aislada de partículas nocivas.
	C+I	R	Paro de emergencia
Ergonomía	C+I	R	La máquina este diseñada para la comodidad del operario.
Costos	I	R	Ahorro energético
	C+I	R	Costos de procesos de fabricación y procesos.

4.1.7. Análisis Funcional

El prototipo de maquina empacadora, selladora y transportadora de chips fritos cumple con las especificaciones de la norma (NTE INEN-EN 1672-2) que está conformada para evaluar un equipo destinado a la producción de alimentos de consumo humano.

Desarrollando su análisis funcional a través de diagramas de bloques en los que se evidencia su desarrollo, así como el tipo de entrada y respuesta, analizando los sistemas incorporados en el diseño del prototipo.

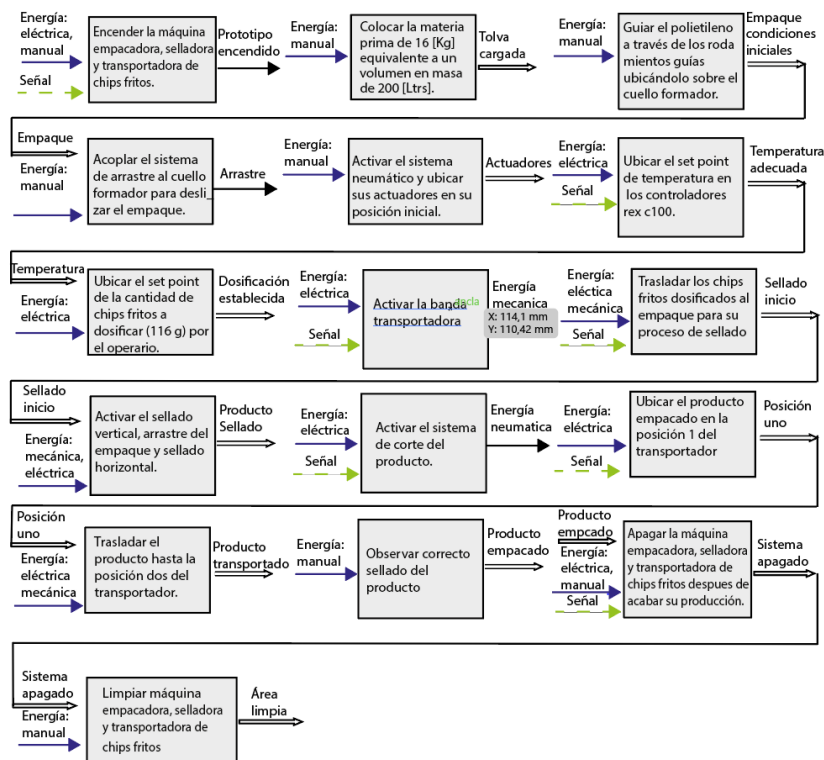
Figura 21

Desarrollo de diagramas funcionales



Figura 22

Desarrollo completo de diagramas funcionales



4.2. Selección de elementos eléctricos neumáticos

4.2.1. Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación se escoge tomando en cuenta la fuente interna de 24V DC del PLC S7 1200 1212C AC-DC-RLY. Como se observa en la Figura 23 muestra la selección de una fuente de alimentación que contiene un nivel de voltaje igual al de los sensores y válvulas.

La Tabla 18 muestra las especificaciones de las fuentes de alimentación, es por ello que se escoge la marca Delta Electronics por su operación continua al aumentar la corriente de entrada, esta función se ejecuta gracias a la presencia de sensores en una conexión de cargas múltiples.

Figura 23

Fuente de alimentación 24 V Dc, 120 W



Nota. Tomado de (Delta, 2018)

Tabla 18

Características técnicas de fuentes alimentación

Características	
Dimensiones	124 x 40 x 117 mm
Peso	0,63 kg
Chasis/cubierta	Aluminio
Voltaje nominal de entrada	100-240 V AC
Frecuencia nominal de entrada	50-60 Hz
Corriente Inrush	1,31 A
Voltaje nominal de salida	24 V
Corriente de salida	5A
Potencia de salida	120W

Nota. Tomado de (Delta, 2018)

4.2.2. Selección de la Resistencia Eléctrica

Se escoge resistencias eléctricas de tipo cartucho, ya que poseen elevada concentración de temperatura. Se estudia el material de las mordazas para su selección. En este caso, se trata de aluminio 7075, que tiene una alta conductividad térmica y es resistente a la corrosión.

Para el cálculo de la resistencia, se tiene en cuenta las propiedades del polipropileno utilizado, debido a que cambia de forma cuando la temperatura supera los 129 ° C, por lo que la resistencia debe estar entre 118 ° C y 124 ° C para producir un sello hermético.

Debido a la pérdida de transferencia de calor del material utilizado, la resistencia está ubicada en el centro de la mordaza, lo que da como resultado una temperatura de sellado excesiva. En este caso, la temperatura de funcionamiento es de 130 ° C.

$$K_{Aluminio} = 153 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right),$$

$$h_{aire} = 10 \left(\frac{W}{m^2^{\circ}C} \right),$$

$$L_{mordaza} = 16cm$$

$$w = 4.5cm$$

$$D = 8mm = 0.8cm$$

$$L_{rt} = 16cm$$

$$T_{\infty \text{ del Aluminio}} = 10^{\circ}C,$$

$$A_{sm} = 4(L_{mordaza} * W)$$

Ecuación 4

Área de la superficie total de la mordaza horizontal (m²)

Nota. (Antamba, 2018)

$$A_{sm} = 4(16cm * 4.5cm)$$

$$A_{sm} = 288 \text{ cm}^2 = 0.0288m^2$$

El factor de forma en la conductividad se calcula en función de la geometría de las mordazas, para ello se emplean las ecuaciones de transferencia de calor de Cengel.

$$S = \frac{2\pi L_{rt}}{\ln\left(1.08 * \frac{W}{D}\right)}$$

Ecuación 5

Factor de forma de conducción (m)

Nota. (Antamba, 2018)

$$S = \frac{2\pi * (16cm)}{\ln\left(1.08 * \frac{4.5cm}{0.9cm}\right)}$$

$$S = 55.72cm = 0.5572m$$

Dicho factor se utiliza para determinar la razón estacionaria de transferencia de calor por medio de la conductividad térmica K y la temperatura inicial de la mordaza.

$$Q_m = \frac{T_1 + T_\infty}{\frac{1}{K_{Aluminio} * S} + \frac{1}{h_{aire} * A_{sm}}}$$

Ecuación 6

Razón de transferencia de calor de la mordaza horizontal (W)

Nota. (Antamba, 2018)

$$Q_m = \frac{130^\circ C - 10^\circ C}{\frac{1}{153 \left(\frac{W}{m^\circ C}\right) * 0.5572m} + \frac{1}{10 \left(\frac{W}{m^2^\circ C}\right) * 0.0288m^2}}$$

$$Q_m = 34.4436 W$$

La energía es suministrada en base a la temperatura establecida, es importante tomar en cuenta el material de la mordaza.

$$C_p \text{ Aluminio} = 857 \frac{J}{Kg^\circ C}$$

$$M_{mordaza} = 2.1 Kg$$

$$E_m = M_{mordaza} * C_p \text{ Aluminio} * \Delta T$$

Ecuación 7

Energía necesaria para calentar la mordaza horizontal (J)

Nota. (Antamba, 2018)

$$E_m = 2.1Kg * 857 \frac{J}{Kg^{\circ}C} * (130 - 10)^{\circ}C$$

$$E_m = 215964 J$$

El tiempo requerido para elevar la temperatura al punto requerido es de 10 minutos. Al llegar a este nivel se puede suministrar la potencia necesaria.

$$Potencia = \frac{E_m}{t}$$

Ecuación 8

Potencia

Nota. (Antamba, 2018)

$$Potencia = \frac{215964 J}{600 seg}$$

$$Potencia = 359.94 W$$

La potencia total requerida se emplea para el cálculo de la resistencia tubular.

$$Potencia_{Total} = Potencia + Q_m$$

Ecuación 9

Potencia total

Nota. (Antamba, 2018)

$$Potencia_{Total} = 359.94 W + 34.443 W$$

$$Potencia_{Total} = 394.383 W$$

Por consiguiente, se obtiene la resistencia necesaria para el sistema de sellado.

Ecuación 10

Resistencia Eléctrica

Nota. (Antamba, 2018)

$$Potencia = \frac{V^2}{R_{Eléctrica}}$$

$$R_{Eléctrica} = \frac{V^2}{Potencia}$$

$$R_{Eléctrica} = \frac{(120)^2}{394.383 \text{ W}}$$

$$R_{Eléctrica} = 36.51\Omega$$

Es decir, se selecciona una resistencia eléctrica tipo cartucho de 400 W a 110-220V de dimensiones Ø 8mm y largo 16mm.

4.3. Selección del Control de Temperatura

4.3.1. Pid Rex-C100

El pirómetro digital REX-C100 se utiliza para permitir el control de temperatura de los componentes del sistema de sellado, como se muestra en la Figura 24, se encuentra incorporado un microcontrolador SCM que cumple la función de autorregulación de la temperatura que se basa en la implementación de un PID cuyas características se encuentran reflejadas en la Tabla 19. (Kampa, 2018)

Se incorpora el REX-C100 ya que permite lo detallado a continuación:

- Captar las señales de los termopares tipo K, J, S, R y de las termo resistencias PT100 Y CU50.
- Su salida permite la comunicación con relés de estado sólido SSR con variación de corriente (0-4mA) o de voltaje de (0-10V).

Figura 24*Pirómetro REX C-100**Nota.* Tomado de (Ipower, 2018)**Tabla 19***Perspectiva de las necesidades del cliente*

Características	
Microcontrolador	SCM
Consumo de energía	10 VA
Control de PIN	ON/OFF, PID tipo paso y continuo
Rango de temperatura de detección	0 a 400 °C
Capacidad de contacto	250V AC
Carga resistiva	3A
Precisión de medición	±0.5% FS
Ciclo de muestreo	0.5 Seg.

Nota. Tomado de (Ipower, 2018)**4.3.2. Termocupla Tipo K**

Su estructura se forma por dos alambres de cromel (cromo-niquel) y alumel (aluminio-nickel), funciona mediante el efecto Seebeck, es decir, voltaje aumenta cuando se eleva la temperatura, se emplea en la medición de temperaturas menores a 1300°C. (Arian Control & Instrumentation, 2013)

Figura 25*Termocupla Tipo K*

Nota. Tomado de (Camsmark, 2018)

4.4. Selección Sensores**4.4.1. Sensor Magnético**

Los sensores de tipo magnético poseen un circuito interno que esta operado por imanes ubicados en el embolo del cilindro lo que genera un cierre en el circuito, es decir, por control magnético como se muestra en la Figura 26, Es por ello que se aplica a la automatización del posicionamiento del cilindro neumático. En el presente proyecto se utiliza el sensor magnético de tipo REED de la marca SMC D-Z73', debido a su capacidad de comunicación con un control lógico programable, como se observa en la Tabla 20, Es importante comprobar su implementación y detalles observando el DATASHEET.

Figura 26*Sensor tipo reed SMC*

Nota. Tomado de (SMC, 2020)

Tabla 20*Características sensor tipo Reed SMC -Z73*

Características	
Tupo de Cableado	2 hilos
Comunicación	PLC
Voltaje de alimentación	24 VCC
Corriente de Carga	5 a 40 mA
Indicador	LED Rojo indicador de activación

Nota. Tomado de (SMC, 2020)

4.4.2. Selección de la Celda de Carga

Se escoge la celda de carga PW6D, debido a que ofrece una capacidad de carga extensa que va desde 3 a 40 kg, cuya precisión y rapidez son eficaces, a su vez posee varias conexiones como se plantea en la Tabla 21.

La celda de carga PW6D se encuentra estructuralmente rígida y su desplazamiento nominal es de 0.18 mm a 0.29 mm, por lo que se convierte en una de las más utilizadas a nivel industrial, por su capacidad de configurar múltiples celdas de carga en paralelo. La información planteada puede ser revisada en el DATASHEET.

(HBM, 2017)

Figura 27

Celda de Carga



Nota. Tomado de (HBM, 2017)

Tabla 21

Especificaciones técnicas para el diseño del sistema a carga de impacto

Características	
Conexión	4 hilos
Rango de pesaje	De 3Kg a 40Kg
Protección	IP67
Tamaño	130mm*25.4mm*22mm
Clase de precisión	C3 MR (multi rango)

Nota. Tomado de (HBM, 2017)

4.4.3. Amplificador Instrumental

Para establecer la fuerza de la señal, se seleccionó el amplificador SG-3016 como se muestra en la Figura 28, lo que permite el ajuste de señales que generalmente varían en el rango de milivoltios. Como se muestra en la Tabla 22, las diferentes características lo hacen adecuado para su uso con una variedad de sensores. Consulte el Anexo 1 para obtener detalles sobre la conexión y la configuración.

Figura 28

Amplificador instrumental SG-3016



Nota. Tomado de (Logicbus, 2020)

Tabla 22*Características amplificador instrumental SG-3016*

Características	
Aislamiento	3000 V
Salida	Corriente (4-20 mA) o Voltaje (0-10 Vdc)
Alimentación	10-30 Vdc
Entradas	RTD, galgas extensiométricas, termopares

Nota. Tomado de (Logicbus, 2020)

4.5. Selección del Sistema Neumático

4.5.1. Selección del Compresor

La elección del compresor tiene en cuenta la capacidad requerida para su uso (ver Ecuación 11) en función del actuador neumático fabricado, además de los parámetros específicos requeridos como eficiencia, capacidad, presión, etc. Como se muestra en la Tabla 23.

$$HP_{necesario} = \frac{144 PV}{33000} * \left(\frac{u}{u-1} \right)^{r \frac{u-1}{u} - 1}$$

Ecuación 11

Hp necesarias

Nota. (Virginia, 1983)

Donde:

P = Presión de admisión al cilindro

$V = \frac{\text{pies}^3}{\text{min}}$ en la admisión del cilindro

r = Relación de compresión

u = Constante del fluido

No obstante, la microempresa De Carmita S.A. Nos proporcionará un compresor de aire, modelo PRETUL de 8 Kg – cm² de presión y 50 litros, por lo cual se adaptarán los actuadores neumáticos para trabajar con dicho compresor se detalla sus características en la Tabla 23.

Figura 29

Compresor de aire PRETUL



Nota. Tomado de (FERREKASA, 2017)

Tabla 23

Características Compresor de aire PRETUL

Características	
Potencia Máxima	3 HP (2.235W)
Potencia Nominal	2 HP (1500W)
Velocidad	3400 rpm
Capacidad del Tanque	50 litros
Presión Máxima	792.8 KPa (115 PSI)
Flujo continuo	224 L/min

Nota. Tomado de (Logicbus, 2020)

4.5.2. Selección de Cilindro Neumático con Vástago

Se decide utilizar un cilindro de doble acción como actuador neumático. Estos pilares permiten el movimiento de múltiples módulos que componen el prototipo requerido se observa en la Figura 30.

Los cilindros de doble efecto se seleccionan de acuerdo con las características del compresor, el cual es propiedad de la microempresa De Carmita S.A. Y para su dimensionamiento se aplican la Ecuación 12 y Ecuación 13 en función de la presión mínima del compresor.

$$A_{Em} = \frac{F_{Cil}}{P_{aire}}$$

Ecuación 12

Presión de sellado vertical $\frac{kgf}{cm^2}$

Nota. (Antamba, 2018)

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * A_{Em}}{\pi}}$$

Ecuación 13

Diámetro del cilindro de sellado horizontal (mm)

Nota. (Antamba, 2018)

La Tabla 24, muestra las características de algunos cilindros de pistón de la marca FESTO que pueden incorporar imanes en el pistón para realizar el control de posición.

Figura 30*Cilindro pistón FESTO**Nota.* Tomado de (Festo, 2012)**Tabla 24***Características Compresor de aire PRETUL*

Modelo	Características	Modulo
DNU 32-50 PPV-A	32mm de embolo 50mm de carrera Pmáx 12 Bar	Sellado Horizontal
DNC 32-320 PPV-A	32mm de embolo 320mm de carrera Pmáx 10 Bar	Sellado de Arrastre
MGQM 25-25	Triple vástago 25mm de carrera Pmáx 1.0 Bar	Sellado Vertical
BOSCH 0822014252	16mm de embolo 75mm de carrera Pmáx 10 Bar	Sistema de dosificado
REXROTH MINI	20mm de embolo 25mm de carrera Pmáx 10 Bar	Sistema de corte

4.5.3. Selección de Electroválvulas Neumáticas 5/2

En función a la selección de los cilindros de doble efecto antes descritos, se ha seleccionado las electroválvulas 5/2 (5 vías y 2 posiciones) las cuales dirigen el flujo de aire comprimido para el control del vástago.

La electroválvula 5/2 XCPC Modelo: 4V220-08 como se observa en la Figura 31, incorpora características como se observa en la Tabla 25. En este aspecto estas son las más adecuadas para el control de los actuadores del prototipo automatizado.

Figura 31

Módulo Mecánico



Nota. Tomado de (Rome Co Industrial, 2018)

Tabla 25

Características Compresor de aire PRETUL

Características	
Tipo de Funcionamiento	Biestable
Comunicación	PLC
Voltaje de alimentación	24 VCC o 110 VAC
Caudal	118 l/min
Presión de Trabajo	De 21 a 114 PSI
Lubricación	Aceite ISO VG32

Nota. Tomado de (Rome Co Industrial, 2018)

Para implementar un control de la velocidad del fluido de aire proporcionado por el compresor implementado se opta por incorporar racores con reguladores de presión como se observa en la **Figura 32**

Válvula reguladora de presión con racor Figura 32.

Regulan el caudal de 22 a 760 l/min, causando un módulo más compacto y brindando un mejor desempeño, puesto que al poner en marcha estos reguladores disminuyen la fatiga mecánica en los actuadores que conforman el circuito neumático.

Figura 32

Válvula reguladora de presión con racor



Nota. Tomado de (Festo, 2015)

4.5.4. Selección del PLC

En base al funcionamiento y exigencias del proceso industrial que se desea automatizar, se toman en consideración ciertas características que debe cumplir nuestro PLC para su selección. En la Tabla 26 se indica los Tag's de entradas y salidas del prototipo de maquina empacadora, selladora y de transporte de chips fritos. El cual cuentan con diferentes sensores y actuadores para su operatividad. Como se observa en la Figura 33, se debe contar con un protocolo de comunicación Ethernet TCP/IP para implementar una interface Humano-Maquina (HMI).

Tabla 26

Cantidad de entradas y salidas necesarias por el PLC

Tag	Descripción	Tipo de señal	Voltaje
I0.0	Start	Digital	24 V DC
I0.1	Stop	Digital	24 V DC
I0.2	Paro de Emergencia	Digital	24 V DC
I0.3	Sensor magnético de sellado horizontal izquierda	Digital	24 V DC
I0.4	Sensor magnético de sellado horizontal derecha	Digital	24 V DC
I0.5	Sensor magnético de arrastre izquierda	Digital	24 V DC
I0.6	Sensor magnético de arrastre derecha	Digital	24 V DC
I0.7	Sensor magnético de sellado vertical izquierda	Digital	24 V DC
I1.0	Sensor magnético de sellado vertical derecha	Digital	24 V DC
AIO.1	Celda de carga para dosificación	Análoga	0-10 V DC
Q0.0	Válvula de apertura de dosificación	Digital	110 V DC
Q0.1	Válvula de sellado horizontal cerrado	Digital	111 V DC
Q0.2	Válvula de sellado horizontal abierto	Digital	112 V DC
Q0.3	Válvula de sellado vertical avance	Digital	113 V DC
Q0.4	Válvula de sellado vertical retroceso	Digital	114 V DC
Q1.0	Lampara verde	Digital	24 V DC
Q1.1	Lampara roja	Digital	24 V DC
Q1.2	Válvula de arrastre Y (+)	Digital	24 V DC
Q1.3	Válvula de arrastre Y (-)	Digital	24 V DC
Q1.4	Motor Banda Transportadora	Digital	24 V DC

En función a lo antes expuesto en la Tabla 27, se optó por la selección del PLC

SIEMENS S7-1200 1214C AC/DC/RLY el cual satisface todas las necesidades del presente proyecto. El S7-1200 brinda una gran flexibilidad al controlar procesos en el área de automatización.

Cuenta con una CPU, incorpora una fuente de alimentación la cual es usada para alimentar los sensores de las entradas.

Presenta comunicación configurable para establecer conexión con redes RS232 o RS485 condiciones estables de trabajo para su correcta implementación.

Figura 33

PLC Siemens S7-1200



Nota. Tomado de (Siemens, 2018)

Tabla 27

Cantidad de entradas y salidas necesarias por el PLC

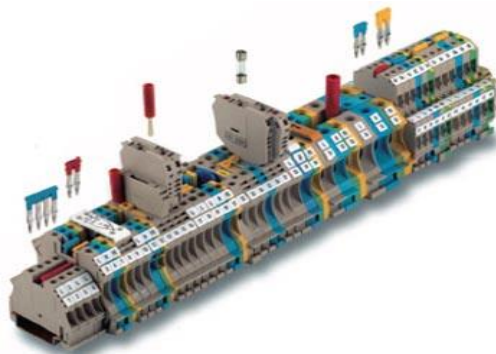
Características	
Designación	1214C AC/DC/Relay
Versión de firmware	V4.1
Tensión de alimentación	120 V AC, 230 V AC
Frecuencia de red	47- 63 Hz
Fuente interna	24 V
Entradas Digitales (DI)	14 DI a 24 V DC
Salidas Digitales (DO)	10 DO tipo relé
Entradas Analógicas (AI)	2 AI voltaje
Interfaz de comunicación	Ethernet
Protocolo	TCP/IP, MODBUS
Programación	Ladder Logic

4.5.5. Módulo E/S

Proporciona una mayor interacción entre las E/S de los diversos sensores con él PLC, lo que evita perturbaciones y posibles fallas. Integrando el módulo de terminales de conexión eléctrica binaria WEIDMULLER tipo WDU2.5. / BE como se muestra en la Figura 34, cuyas características enumeradas en la Tabla 28 permitiendo una conexión ordenada y estable.

Figura 34

Módulo E/S WEIDMULLER modelo WDU4/BE



Nota. Tomado de (Weidmüller, 2020)

Tabla 28

Características generales del Módulo WEIDMULLER modelo WDU2.5/BE

Características	
Tensión nominal	800
Calibre de conductor máx.	AWG 12
Calibre de conductor min	AWG 30
Intensidad nominal	24 A.
Perdida de potencia	0,77 W
Sobretensión de choque nominal	8 Kv
Resistencia de paso	1.33 mΩ

Nota. Tomado de (Weidmüller, 2020)

4.5.6. Selección pantalla HMI

Se selecciona una pantalla Kinco de 4.3 " (ver Figura 35) con protocolo de comunicación Ethernet lo que permite una adecuada interacción con el módulo S7-1200 1214 AC/DC/RELAY. Permitiendo obtener un HMI que permite ajustar y controlar las variables del módulo de sellado y empacado, así como su dosificación

Figura 35*HMI Kinco*

Nota. Tomado de (Kinco, 2012)

4.6. Modelo Gráfico de la Solución del Módulo

En base al diseño asistido por computadora a través del software SolidWorks versión estudiantil, se realiza el modelamiento gráfico en 3D del prototipo de máquina empacadora, selladora y transportadora de chips fritos. En la Figura 36 y en la Tabla 29 se indican las partes estructurales y dispositivos que conforman dicho prototipo.

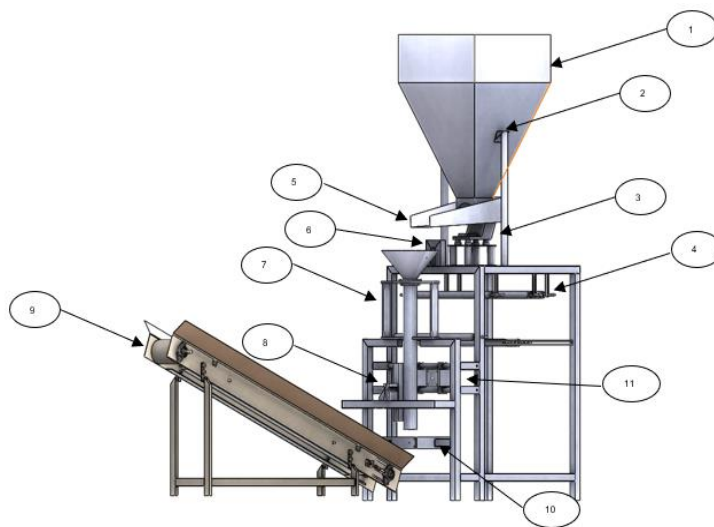
Figura 36*Prototipo de Máquina Empacadora y Selladora de Chips Fritos*

Tabla 29*Elementos del sistema de empaclado y sellado*

Nº	Denominación	Cantidad	Observación
1	Tolva de almacenamiento	1	
2	Soporte de la Tolva	2	Platinas y columnas.
3	Vibrador Electromagnético	1	
4	Rodillos Guía	7	
5	Bandeja Transportadora	1	Acero inoxidable.
6	Sistema de Dosificación	1	Celda de Carga Chapa Metálica de Dosificar Cilindro de Dosificación
7	Cuello Formador	1	Formador de Envoltura Hombros de Soporte
8	Sellador vertical	1	Mordaza de Sellado Vertical Cilindro Guía Resistencia eléctrica Soporte de Cilindro
9	Banda Transportadora	1	Motorreductor Guías Rodillos Tambor Motriz y Tensor
10	Selladora Horizontal	1	Estructura Estructura de Soporte Resistencias Eléctricas Cilindros de Guía Mordazas Horizontales
11	Guías de Arrastre	2	Motor a Pasos Chapa Metálica de Soporte Rodillos de Arrastre Ejes Guías

4.7. Comprobación de la Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se analizan todos los dispositivos en base a la investigación previamente realizada, buscando obtener la mayor eficiencia en el prototipo de máquina empacadora y selladora para la microempresa De Carmita S.A. Logrando así constatar si al poner en marcha dicho proyecto disminuyen los tiempos de operación, sin afectar la calidad del producto, contando con equipos que cubran las necesidades del proyecto, es decir si es viable o no dicha implementación.

4.8. Planteamiento de la Hipótesis

Con el diseño e implementación de un prototipo de máquina empacadora y selladora impulsado por un sistema neumático automatizado a través de un controlador lógico programable, se podrá dosificar el producto por medio de celdas de carga, lo que permitirá fortalecer la producción en la microempresa De Carmita S.A. Cumpliendo todas las normas de saneamiento establecidas.

4.9. Vialidad del Proyecto

En base al análisis desarrollado y en función de los resultados obtenidos, se logró determinar que el proyecto es viable, lo que da apertura al desarrollo del diseño y construcción del prototipo de máquina empacadora y selladora, cuya dosificación del producto se realiza a través del censado de celdas de carga, contribuyendo así al rendimiento de la microempresa De Carmita S.A.

Capítulo 5

5. Propuesta Implementada

El Diseño y construcción de un prototipo de maquina empacadora y selladora de chips fritos impulsada a través de un sistema neumático automatizado, dosificado por medio de celdas de carga, implementado en la microempresa De Carmita S.A.

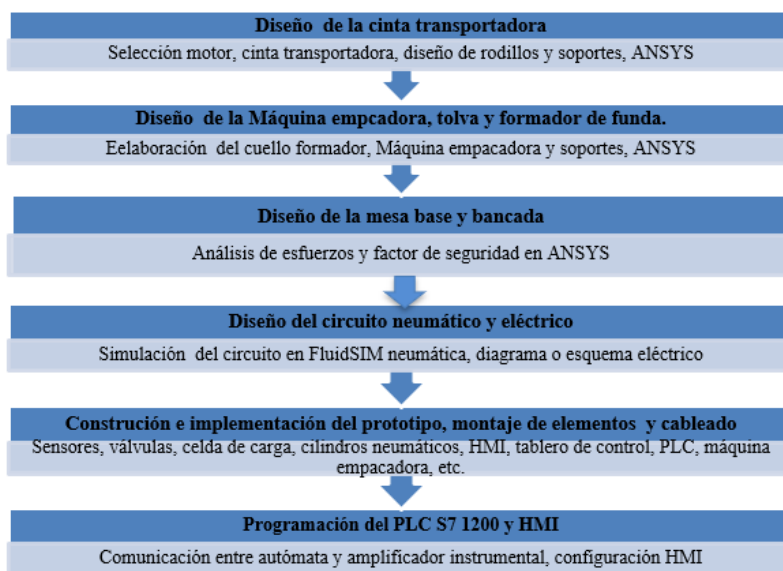
5.1. Diseño de la Propuesta

5.1.1. Resumen

Como se observa en la Figura 37 se detalla el proceso general para cumplir con los objetivos propuesta.

Figura 37

Diseño de la propuesta para el equipo de empacado y sellado



Se trata de empacar snack de papas fritas a través de un sistema de dosificación programable (ver Figura 37). En primer lugar, el producto (1) es escaneado y se acciona la banda transportadora (2) así como el módulo vibratorio para el dosificado, de la máquina empacadora (3) se activa la tova de dosificado sujetando al

producto mediante las mordazas de sellado. Una vez sujetado se procede al arrastre del polipropileno para así llevar el producto a la banda transportadora para continuar con su proceso de almacenaje (4) y así sucesivamente. Al terminar el ciclo de trabajo de sellado y transporte la máquina vuelve a su posición inicial para posteriormente realice la dosificación del producto.

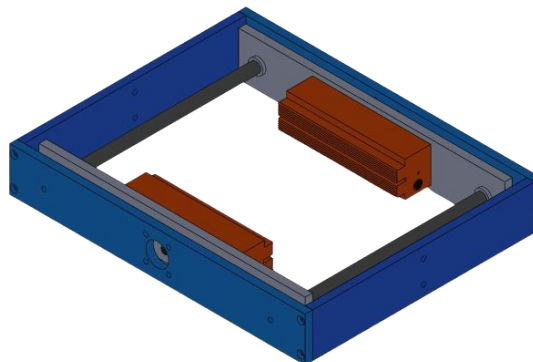
5.3. Diseño y Cálculo de Máquina Propuesta

5.3.1. Diseño de Mordazas para Sellado Horizontal

El sistema de sellado horizontal está diseñado de acuerdo a las consideraciones del cliente, de manera que se elige el material de aluminio endurecido 7075, ya que éste proporciona resistencia al desgaste en la cara de sellado además se realiza un patrón de dentado adecuado para cumplir con el sellado de las fundas plásticas y prevenir la oxidación y la corrosión a largo plazo de manera que se evita gastos en recubrimientos del mismo modo tiene una excelente transferencia de calor y consistencia térmica en la geometría de dentado así este material cumple las operaciones de empaque.

Figura 38

Sistema de mordazas horizontales



Se realiza el diseño de las mordazas horizontales en función del ancho respectivo de la funda a ser sellada por la propuesta de este proyecto aplicando la

Ecuación 14. Por otro lado, con ayuda del software SolidWorks versión estudiantil se determina las medidas necesarias como se puede observar en la Figura 38.

Entonces como estrategia integral de diseño se esclarece que la longitud de la mordaza horizontal tiene que ser mayor al ancho de la funda para optimizar la calidad de los paquetes o fundas selladas.

$$A_{mh} = A_{ss} + A_{si} + A_r$$

Ecuación 14

Ancho de la mordaza (mm)

Nota. (Antamba, 2018)

Donde:

A_{mh} = Ancho de la mordaza

A_{ss} = Ancho del sello superior

A_{si} = Ancho del sello inferior

A_r = Ancho de la ranura

$$A_{mh} = 24 + 20 + 3 = 47 \text{ (mm)}$$

Se determino el ancho de la mordaza de 47 (mm) como se muestra en la Figura 38.

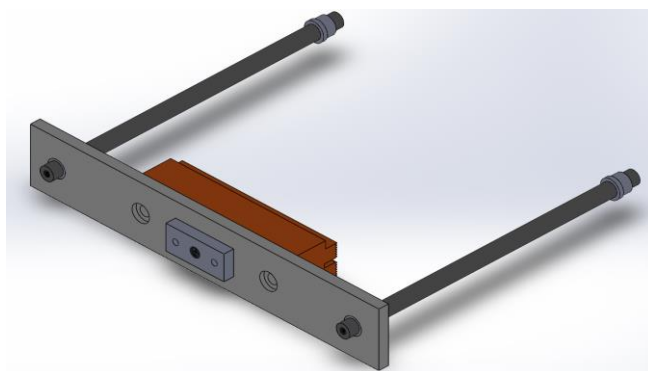
5.3.2. Diseño de la Placa de Soporte

Se realiza el sellado horizontal del plástico por medio del mecanismo que se indica en Figura 39, con la ayuda de tres pistones neumáticos los mismo que se conectan a la placa de soporte, es por esto que después de realizar la selección correcta de los cilindros neumáticos se diseña la placa de soporte, a fin de tolerar los esfuerzos en los procesos de corte y sellado adecuadamente. Después de realizar las pruebas respectivas se determinó la fuerza necesaria para la deformación del plástico de aproximadamente 220 lbf entre los dos pistones de sellado, ya que está es la opción

acorde a los requisitos del cliente por ser de fácil construcción, mantenimiento y además económico.

Figura 39

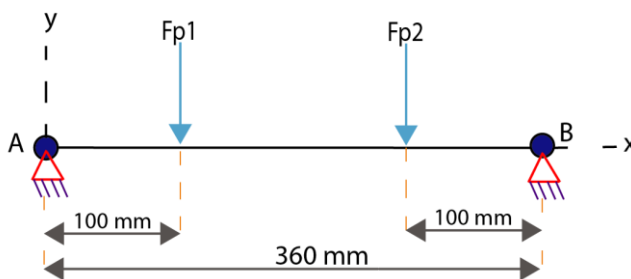
Placa de soporte



Por medio de una balanza industrial se pesa la placa de soporte más los elementos de sujeción obteniendo un peso de 1,250 kgf, la longitud de la placa es de 360 mm, medida requerida por el cliente en función a las medidas de las fundas a ser selladas y la altura se diseñó con criterios de posicionamiento del pistón y las dimensiones de la mordaza.

Figura 40

Diagrama de cuerpo libre de la placa de soporte



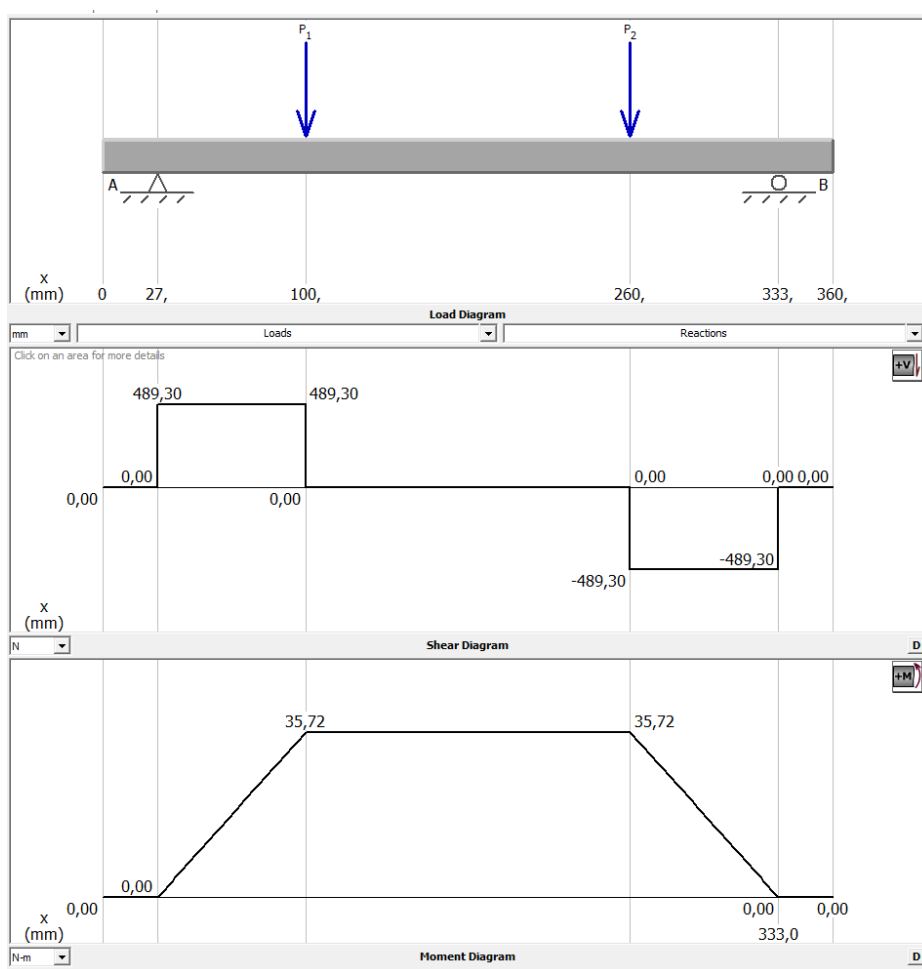
La placa de soporte se diseña con el material aluminio endurecido 7050 con una resistencia a la tracción de rendimiento de 103MPa equivalente a $1050,31 \frac{Kg}{cm^2}$ y una

resistencia a la tracción última de 228MPa equivalente a $2324,95\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$. Se determina el momento flector máximo de $35,72\text{ N.m}$ como se indica en la Figura 41.

Se realiza el diseño estático aplicando la teoría de Tresca donde la teoría del esfuerzo cortante máximo estipula que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala al esfuerzo cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir. (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 41

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores de la placa de soporte



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2_x + 4\tau^2_{xy}} = \frac{S_y}{n}$$

Ecuación 15*Teoría del ECM**Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

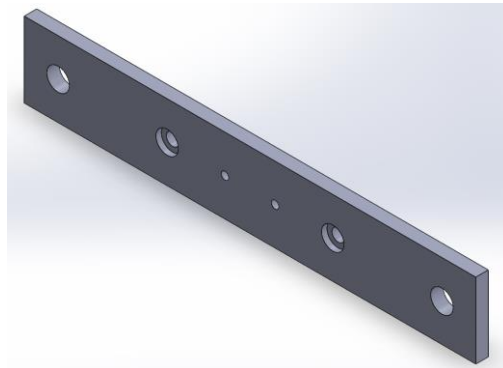
Se determina que la placa de soporte está sometida solo a esfuerzos de flexión

entonces:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{MC}{I}; C = \frac{h}{2}; I = \frac{bh^3}{12}$$

Ecuación 16*Teorías**Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)**Figura 42**

Placa de soporte



Reemplazando los datos en la Ecuación 16 se obtiene:

$$\sigma = \frac{M \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}}$$

Reemplazando datos:

$$\sigma = \frac{364,24 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}} = \frac{2185,44 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{bh^2}$$

Al tener la placa orificios estos se deben tomar en cuenta para los esfuerzos, de tal forma que se tiene un $\phi_{agujero} = 18 \text{ mm}$, ver Figura 42, entonces:

$$h = (6 \text{ cm} - 1,8 \text{ cm}) = 4,2 \text{ cm}$$

Reemplazamos el valor de h de tal forma que:

$$\sigma = \frac{2185,44 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{4,2 \text{ cm} \times h^2}$$

Se reemplaza en Ecuación 15 de modo que según (Budynas & Nisbett, 2012) considera un factor de seguridad inicial de $n = 2$ para cargas estáticas.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{2185,44 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{4,2 \text{ cm} \times h^2}\right)^2} = \frac{s_y}{n}$$

$$\frac{2185,44 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{4,2 \text{ cm} \times h^2} = \frac{1050,31 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{2}$$

$$h = \sqrt{\frac{2185,44 \times 2}{4,2 \times 1050,31}} = 0,995 \text{ cm}$$

Se calcula que el espesor de la placa de soporte tiene un espesor de 0,995 cm, de tal forma que se elige el cuerpo de $\frac{1}{2} \text{ in} = 1,27 \text{ cm}$ valor comercial en el mercado.

Entonces se comprueba el factor de seguridad con el espesor de la placa elegido.

$$\frac{2185,44 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{4,2 \text{ cm} \times 1,27^2 \text{ cm}} = \frac{1050,31 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}{n}$$

$$n = \frac{1050,31 \times 4,2 \times 1,27^2}{2185,44}$$

$$n = 3,255$$

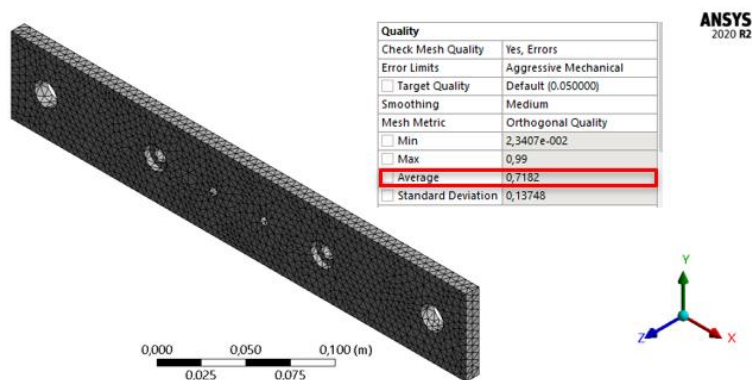
Se determino un factor de seguridad de 3,255 valor que se encuentra dentro de los parámetros de seguridad de acuerdo a la Tabla 11.

5.3.3. Análisis Estructural de la Placa de Soporte

Se realiza el análisis computación por medio de la herramienta de software Ansys Academic – Static Structural, donde se parte incorporando las propiedades mecánicas del material aluminio endurecido 7075, el siguiente paso es cargar la geometría antes diseñada en el software SolidWorks en formato Step, la siguiente forma es definir los parámetros de mallado para este caso se seleccionó un mallado de Orthogonal Quality (observar Figura 43), por otro lado se observa en la Tabla 12 los rangos para un mallado de calidad se debe encontrar en el rango de 0,70 – 0,95 definido como Muy Bueno, para este caso la geometría procesada obtuvo un mallado de 0,7182 valor correcto considerando los recursos computacionales y al ser procesado en un software con licencia académica.

Figura 43

Calidad de mallado de placa de soporte



Se aplico una fuerza resultante de 978,608 N equivalente a 220 lbf, fuerza determinada después de realizar numerosas pruebas para el punto exacto de la deformación del plástico por lo tanto se observa en la Figura 44 que la placa de soporte una deformación de 0,11624 mm en el punto más crítico, este valor se comprueba por medio del criterio de deflexión de la Ecuación 17.

$$\delta_r < [\delta]$$

$$\delta_r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

Ecuación 17

Deflexión

Nota. (Andrade, 2021)

Donde:

δ_r = deflexión de la viga

δ = deflexión permisible, criterio típico

L = longitud del componente

Entonces:

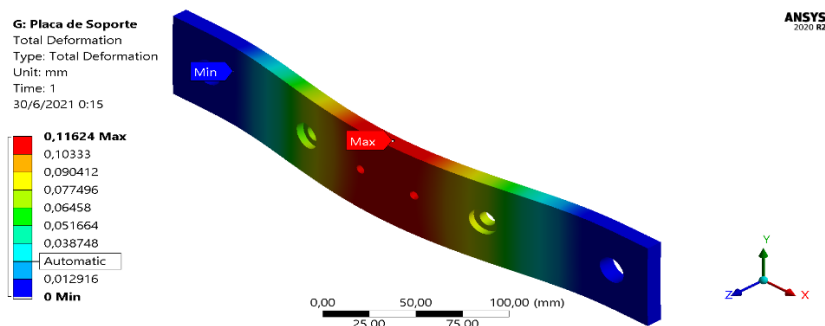
$$0,11624 \text{ mm} < \frac{360}{800}$$

$$0,11624 \text{ m} < 0,45 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se esclarece que la selección del material es correcta al garantizar durabilidad y una deformación aceptable a condiciones de trabajo.

Figura 44

Deformación de placa de soporte



Se encontró un factor de seguridad por medio de simulación computacional de 3,4351 como se observa en la Figura 45, valor semejante al calculado de forma matemática de 3,255, de tal forma este valor es correcto al tener un valor de error de:

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{aproximado} - \text{exacto}}{\text{exacto}} \right| \times 100\%$$

Ecuación 18

Porcentaje de error

Nota. (WikiHow, n.d.)

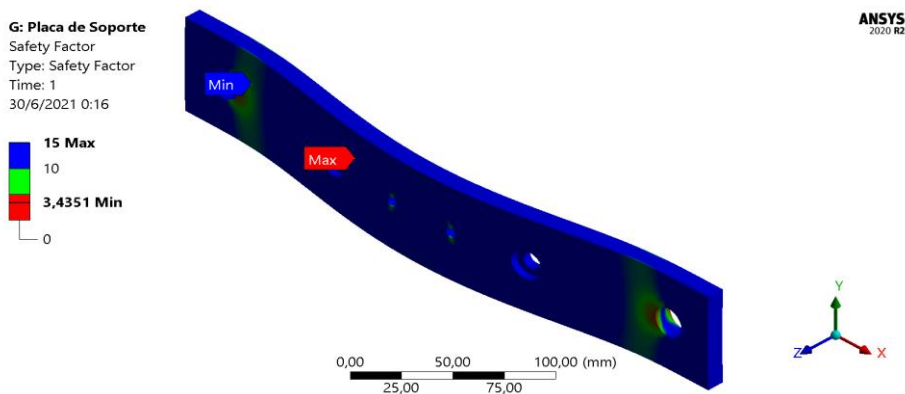
$$\% \text{ error} = \left| \frac{3,255 - 3,4351}{3,4351} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = 5,24\%$$

Se determino una diferencia entre el valor estimado y real de 5,24% con este valor se conoce con mayor precisión el resultado de la muestra de la simulación estructural de tal forma que el factor de seguridad garantice el diseño bajo cargas estáticas, análisis de esfuerzos, incertidumbres de impacto por transportación y condiciones ambientales.

Figura 45

Factor de Seguridad de placa de soporte



5.3.4. Diseño de Ejes Guías

Se efectúa el diseño de las guías de eje como vigas en voladizo debido que el eje esta embonado en las placas de soporte de tal forma que se evalúa que pasaría si una de estas placas falla y se fractura dejando el eje en forma de voladizo del mismo modo se considera las peores condiciones con un peso de 6,2 Kg respectivo al peso de

la placa de soporte, elementos de sujeción, mordazas y demás compuestos, de tal forma que se incrementa el peso total sobre el eje en un 30% para prevenir el mal uso del operario o incrementos de peso por diferentes factores externos que no se puede controlar dando como resultado un peso final de 8,06 Kg. Además, se elige un material AISI 1045 con un límite a la fluencia de 310 MPa.

Figura 46

Diagrama de cuerpo libre ejes guías

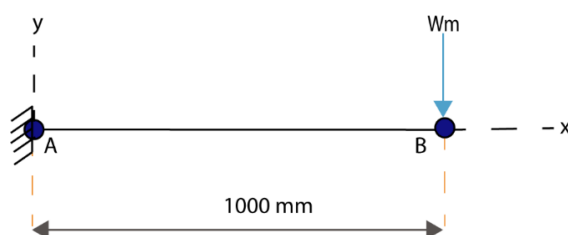
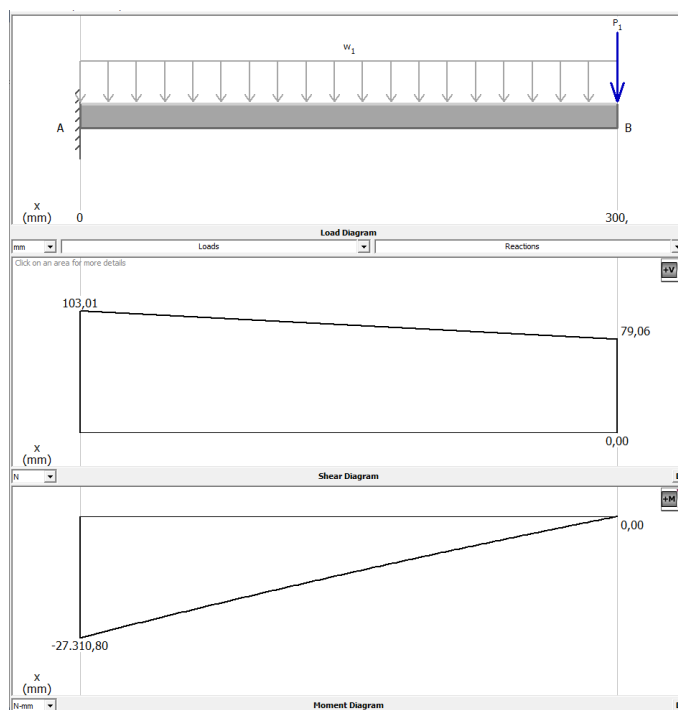


Figura 47

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores de ejes guías



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021)

$$\sum F_y = 0$$

$$W_m = 8,06 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_m = 79,06 \text{ N}$$

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I_x} = \frac{M}{W}$$

$$W = \frac{\pi \phi^3}{32}$$

$$M = 8,06 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 300 \text{ mm}$$

$$M = 23720,58 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$n = \frac{0.66 \times 310 \times 14,28^3 \times \pi}{32 \times 27310}$$

$$n = 2.1417$$

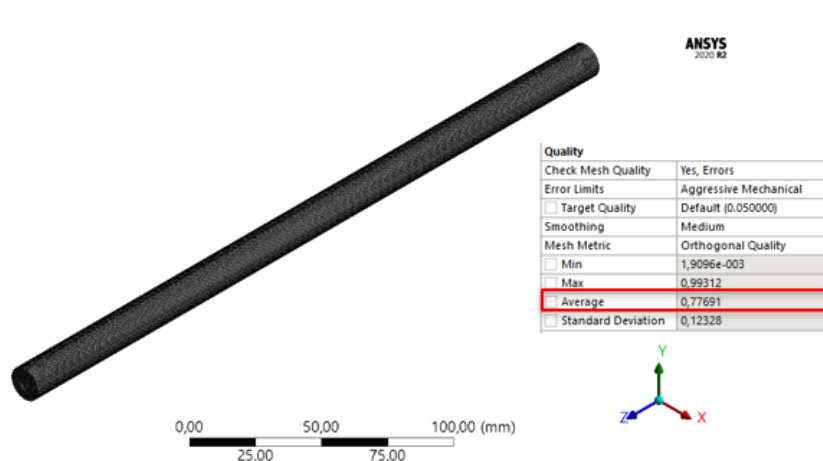
Se determino un coeficiente de seguridad de $n = 2,1417$, para un momento máximo de $27310 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$, con un material AISI 1045.

5.3.5. Análisis Estructural de Ejes Guías

Se aplico un mallado con la opción Sizing para obtener un mallado de calidad mejorando el procesamiento de caras, aristas y curvaturas que presenta la geometría, por consiguiente, se obtuvo un mallado Orthogonal Quality con un valor de 0,7769 como se observa en la Figura 48 considerado como Muy Bueno.

Figura 48

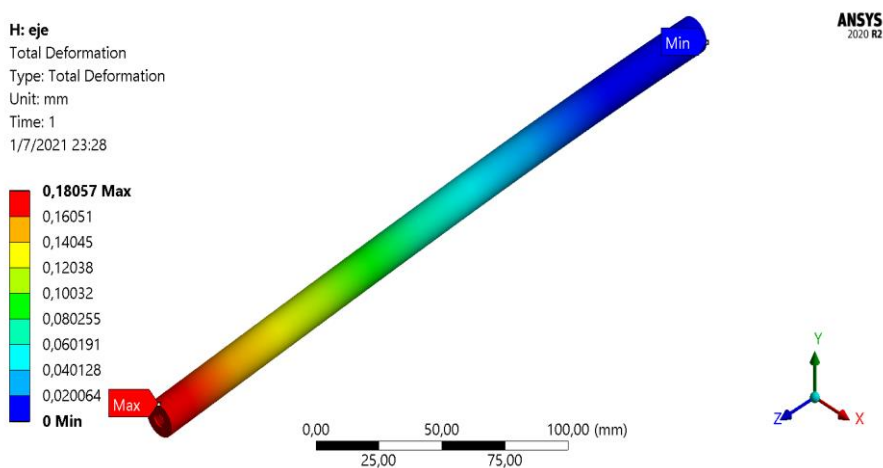
Calidad de mallado de eje guía



Se aplico una fuerza resultante de 79,06 N, en un extremo del eje guía, debido a que se aplicaron fuerzas considerando la falla de la placa de soporte de las mordazas lo cual equivaldría que el eje quede suspendido de un lado como una viga en voladizo, de tal forma que se consideró para esta fuerza los pesos de los compuestos que ejercen presión sobre el eje guía. Se diseño con material AISI 1045 con una resistencia a la fluencia de 290 Mpa.

Figura 49

Deformación de eje guía



$$\delta_r < [\delta]$$

$$\delta_r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

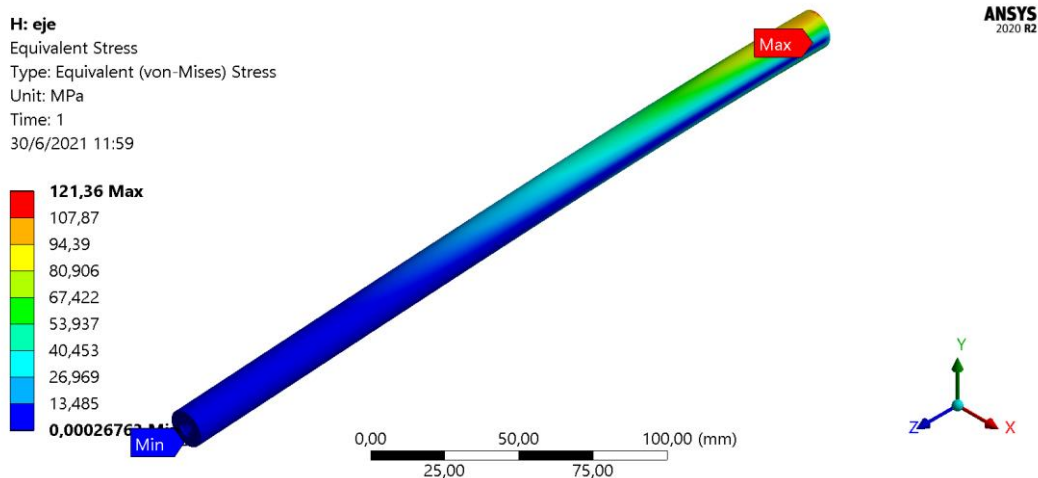
$$0,18057 \text{ mm} < \frac{300}{800}$$

$$0,18057 \text{ mm} < 0,375 \text{ mm}$$

Se obtuvo un resultado de deformación máxima en el eje Y de 0,18057 mm como se observa en la Figura 50, lo que indica que los ejes guías soportaran los esfuerzos considerados con un incremento del 30% por criterios de diseñador para evitar mantenimiento.

Figura 50

Esfuerzos principales de Von Mises en los ejes guías



$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0,66S_y$$

$$121,36 < 0,66 \times 290$$

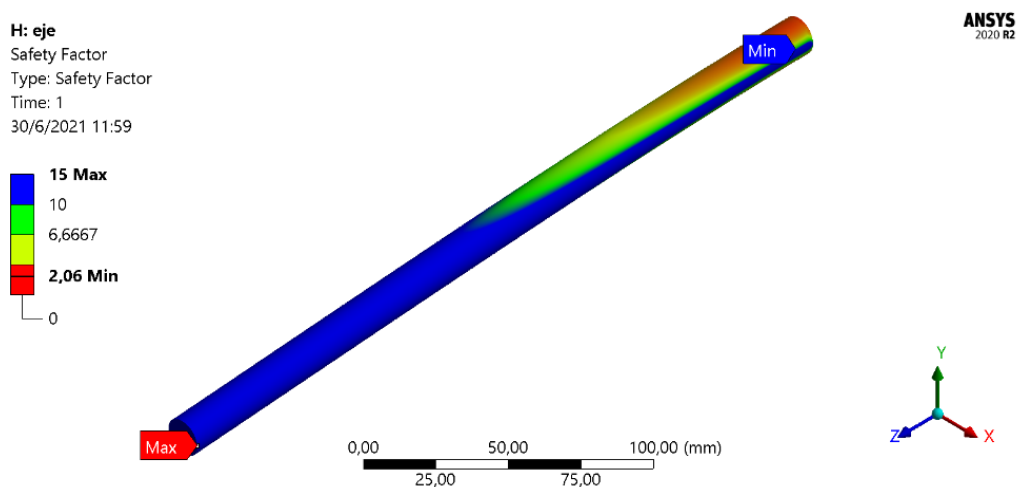
$$121,36 < 191,4$$

Se determino un límite a la fluencia del eje guía por medio de simulación de 121,36 MPa, este valor es menor al considerado por tablas de propiedades mecánicas

del acero AISI 1045 de 290 Mpa. Asegurando que el eje trabajara bajo las cargas consideradas por el cliente y las que se sobreponga a un futuro por cambios de diseño de la tolva incrementando el peso en toda la estructura.

Figura 51

Factor de seguridad de los ejes guías



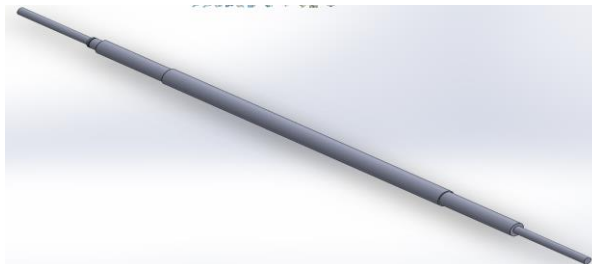
$$\% \text{ error} = \left| \frac{2,1417 - 2,06}{2,06} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = 3,96\%$$

Después de utilizar la Ecuación 18 se encontró un error del 3,96%, entonces se establece un factor de seguridad de 2,06 como se observa en la Figura 51, este factor garantiza seguridad al operario de la máquina, además genera confiabilidad en la entrega de los productos y alarga su vida útil.

5.3.6. Diseño del Eje para el Porta Bobina

Se parte de un boceto del eje como se observa en la Figura 52 y después se determinó que valor de peso poseen cada uno de los elementos que forman parte del sistema porta bobina por medio de una balanza industrial, encontrando así las siguientes cantidades en Kg.

Figura 52*Eje Porta Bobina***Tabla 30***Elementos Involucrados en el eje porta bobina*

Elemento	Masa
Disco de freno (F_B)	2,02 kg
Cilindro porta bobina (F_C)	5,52 kg
Bobina (F_D)	12,53 kg

$$F_B = 2,02 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_B = 19,81 \text{ N}$$

$$F_C = 5,52 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_C = 54,15 \text{ N} = F_E$$

$$F_D = 12,53 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_D = 122,91 \text{ N}$$

Una vez determinado las fuerzas que actúan sobre el eje, se realiza un diagrama de cuerpo libre En el Plano XY.

$$\sum M_A = 0$$

$$100(F_B) + 210(F_C) + 600(F_D) + 700(F_E) - 800(R_F) = 0$$

$$R_F = 156,68 \text{ N}$$

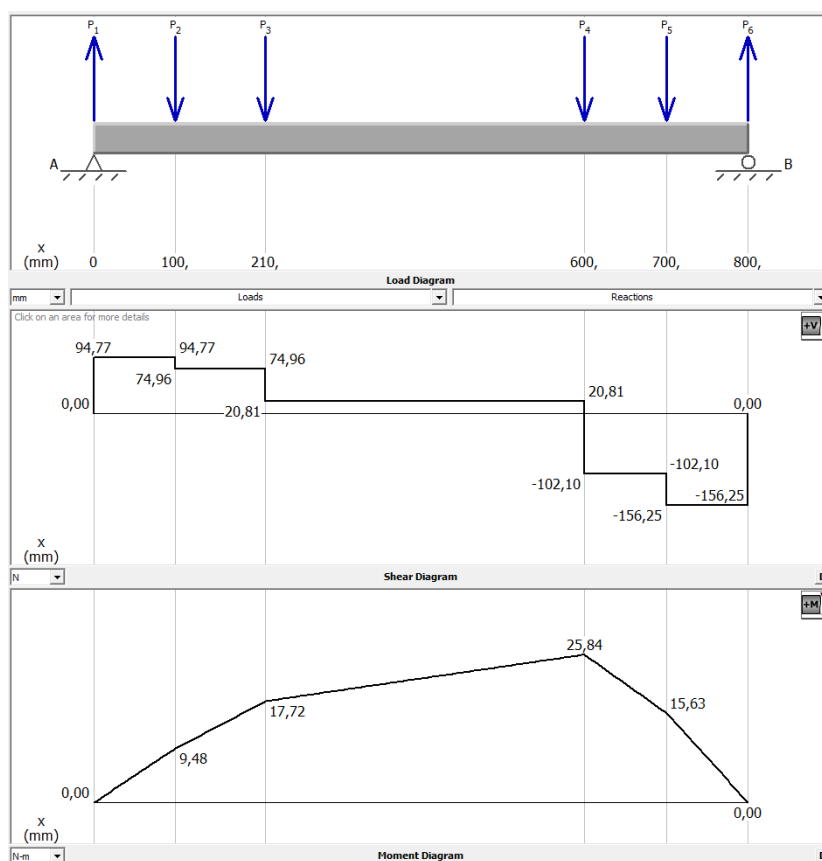
$$\sum F_Y = 0$$

$$-R_A + F_B + F_C + F_D + F_E - R_F = 0$$

$$R_A = 94,34 \text{ N}$$

Figura 53

Diagrama de fuerzas del eje porta bobina Plano XY



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021)

Se realiza un diagrama de cuerpo libre En el Plano XY, considerando la fuerza que ejerce la cinta del enfundado de 60 N semejante a una polea.

$$\sum M_A = 0$$

$$-600(F_P) + 800(R_F) = 0$$

$$R_F = 45 \text{ N}$$

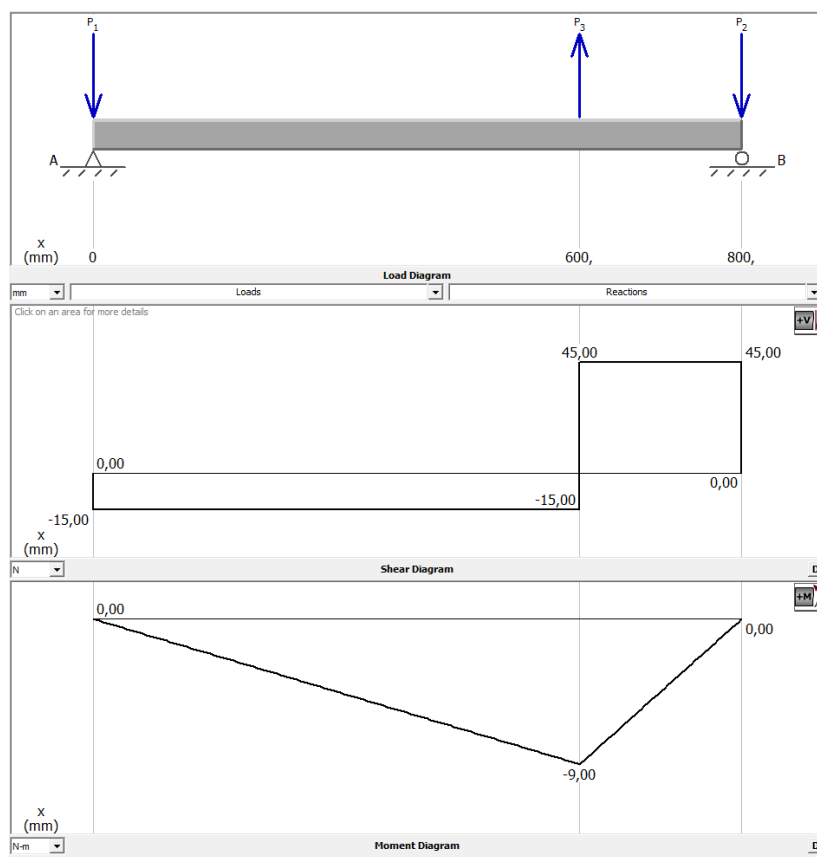
$$\sum F_Y = 0$$

$$-R_A - F_P + R_F = 0$$

$$R_A = -15 \text{ N}$$

Figura 54

Diagrama de fuerzas del eje porta bobina Plano XZ



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021)

Se selecciona un material AISI 1040 con un límite a la fluencia de 520 Mpa, del mismo modo es necesario calcular a la resistencia a la fluencia con la siguiente

Ecuación 19

$$S_n' = S_n \times C_m \times C_{st} \times C_R \times C_t$$

Ecuación 19*Porcentaje de error**Nota. (R. L. Mott, 2006)*

Por medio del libro de diseño de elementos de máquinas de Robert L Mott se elige los parámetros de:

$$S_n = 30 \text{ Ksi (Resistencia a la fatiga de máuinado)}$$

$$C_m = 0,8 \text{ Factor del material}$$

$$C_{st} = 0,8 \text{ Factor de tiempo de esfuerzo}$$

$$C_R = 0,81 \text{ Factor de confiabilidad al 99\%}$$

$$C_t = 0,99 \text{ Factor de tamaño}$$

Se Procede a remplazar estos valores en la Ecuación 19.

$$S_n' = 30 \times 0,8 \times 0,8 \times 0,81 \times 0,99$$

$$S_n' = 15,39 \text{ Kpsi}$$

$$S_n' = 107,34 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Se calcula el Torque total.

$$T = 19,81 \times 100 + 54,15 \times 100 \times 2 + 122,91 \times 150$$

$$T = 31247,5 \text{ Nmm}$$

$$T = 31,24 \text{ Nm}$$

Sección A = Sección F, como se observa en la Figura 53, $M_A = 0$ y se elige un factor de concentración de esfuerzos $K_t = 3$ ya que esta sección lleva un anillo de seguridad.

$$D = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t \times M}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 20*Porcentaje de error*

Nota. (Robert L. Mott, 2004)

$$D = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{3 \times 0}{107,34 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{31,24}{520 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,0101 = 10 \text{ mm}$$

Sección B, como se observa en la Figura 53, $M_B = 9,48$ y se elige un factor de concentración de esfuerzos $K_t = 1,5$.

$$D = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{3 \times 9,48}{107,34 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{31,24}{520 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,0142 = 14 \text{ mm}$$

Sección C = Sección E, como se observa en la Figura 53, $M_C = 17,72$ y se elige un factor de concentración de esfuerzos $K_t = 1,5$.

$$D = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1,5 \times 17,72}{107,34 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{31,24}{520 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,0172 = 17 \text{ mm}$$

Sección D, como se observa en la Figura 53, $M_D = 34,84$ y se elige un factor de concentración de esfuerzos $K_t = 1,5$.

$$D = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1,5 \times 34,84}{107,34 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{31,24}{520 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

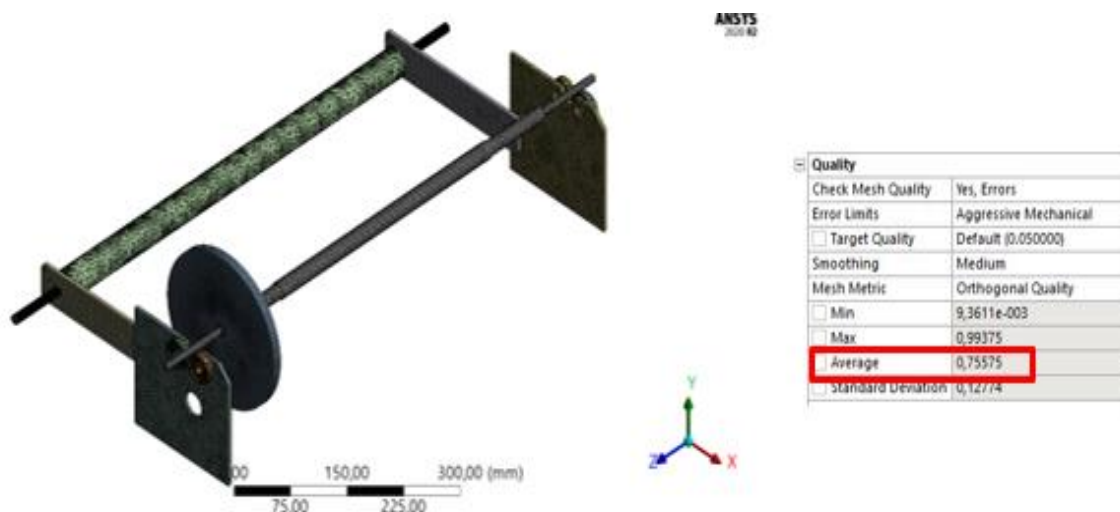
$$D = 0,02152 = 22 \text{ mm}$$

5.3.7. Análisis Estructural del Eje Porta Bobina

Se realiza la geometría del eje con las medidas de los diámetros calculados por medio de dibujo asistido por computadora (CAD), y se exporta el archivo al software de simulación asistida por computadora (CAE), donde se adecua la geometría para que no sea muy compleja y el software Ansys Academic, se efectúa un postproceso adecuado a las cargas de fuerzas detallado en la Tabla 17, por consiguiente, por medio de un proceso de mallado Orthogonal Quality se divide el elemento 3D en diferentes ecuaciones de resistencia de materiales de manera discreta.

Figura 55

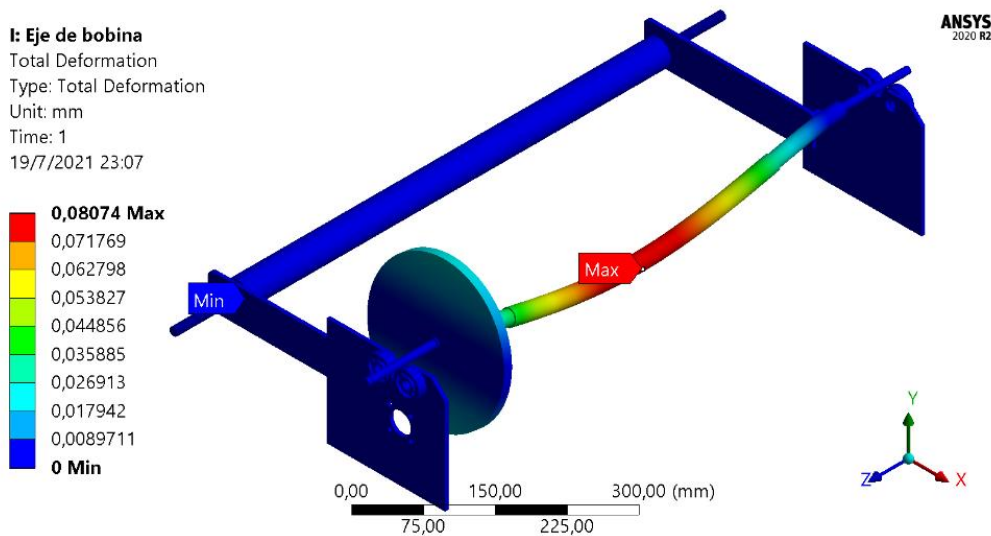
Mallado del eje porta bobina



Después de aplicar las respectivas fuerzas en las diferentes secciones del eje con los diámetros calculados se encuentra una deformación máxima en la sección D donde se encuentra el porta bobina del rollo para el enfundado de los productos snack reflejando una deformación de 0,08074 mm como se observa en la Figura 56.

Figura 56

Deformación del eje porta bobina

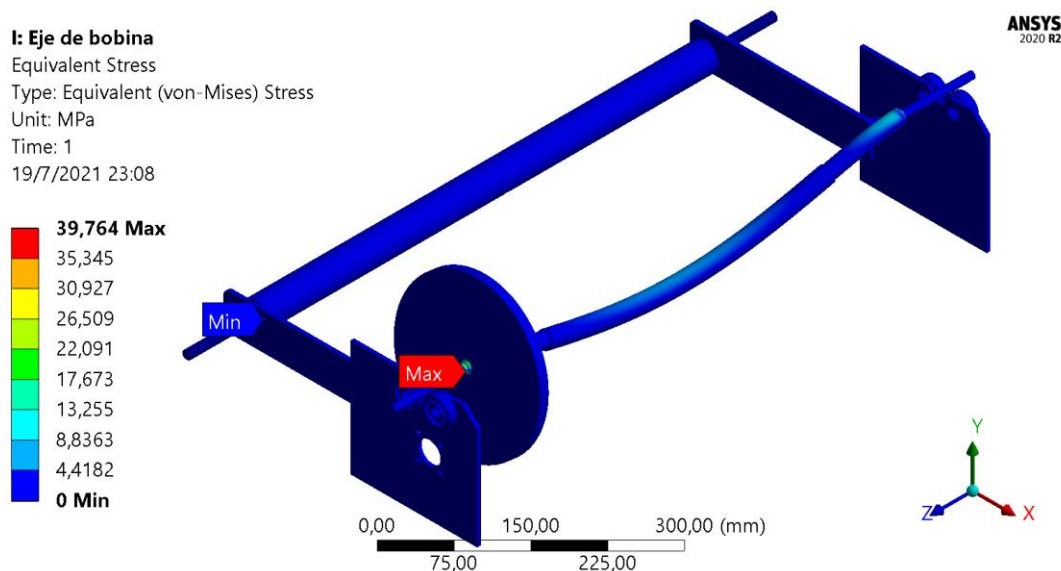


$$\delta_r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

$$0,08074 \text{ mm} < \frac{800}{800}$$

$$0,08074 \text{ mm} < 1 \text{ mm}$$

El material seleccionado para el eje porta bobina es un AISI 1040 con un rendimiento a la resistencia a la tracción de 550 MPa ya que este presenta ventajas al momento de realizar el proceso de manufactura por tener una buena maquinabilidad y así obtener los respectivos diámetros de cada sección del eje, además presenta cualidades como un rápido tratamiento térmico de endurecimiento y acabados superficiales, entonces en la Figura 57 se observa una tensión de Von Mises de 39,764 Mpa.

Figura 57*Von Mises del eje porta bobina*

$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

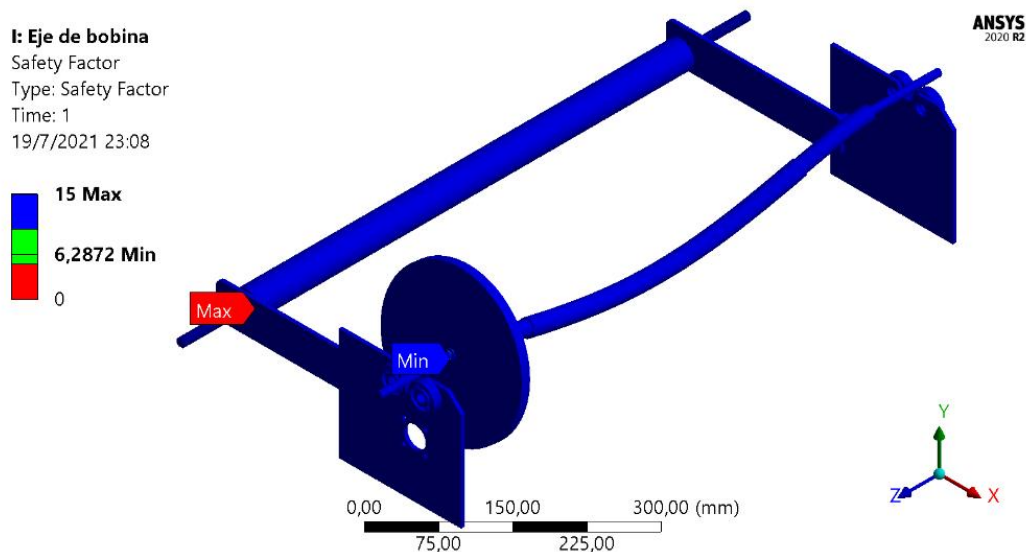
$$39,764 < 0,66 \times 550$$

$$39,764 < 363$$

Al estar sometido el eje a cargas repetitivas durante largos ciclos de trabajo, se diseñó para obtener un factor de seguridad alto de 6,2872 como se observa en la Figura 58, esto debido a que la máquina al estar expuesta al medio ambiente puede existir modificaciones en las propiedades de los materiales por deterioro debido a la corrosión y diferentes factores ambientales además se debe garantizar la puesta de la máquina en servicio.

Figura 58

Factor de seguridad del eje porta bobina



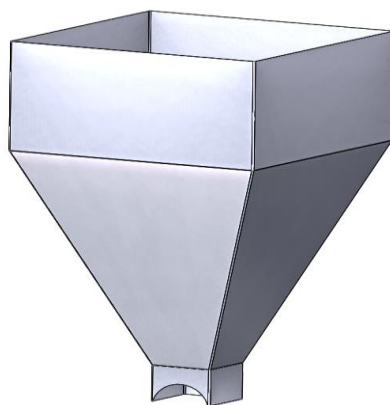
5.3.8. Diseño de la Tolva de Almacenamiento

Se ha observado en la empresa DE CARMITAS S.A. que la materia prima usada en sus Chips fritos es “Capiro”, dado que presenta gran rentabilidad.

Según: (Buitrago et al., 2004) con un muestreo simple se verifica que su densidad es de $\rho = 1.255 \frac{g}{cm^3}$.

Se estima que el cliente aumente su producción actual (600 Chips fritos diarios), para lo cual se evalúa que su producción en masa sea de 140Kg, es así como se plantea dividir dicha producción en intervalos, con la finalidad de no dañar la presentación de la materia prima.

Para la geometría de la tolva se considera una forma piramidal (Truncada) para obtener una mejor dosificación del producto (ver Figura 59), para obtener dichas dimensiones se define la Ecuación 21.

Figura 59*Tolva de almacenamiento*

$$V_r = \frac{m}{\rho_{papa}}$$

Ecuación 21*Volumen requerido**Nota.(Aguirre, 2018)*

Donde

 $V_r =$ *Volumen requerido [lt]* $m =$ *Masa del producto a almacenar [Kg]* $\rho_{papa} =$ *Densidad del producto $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$ ver Anexo 2*

$$V_r = \frac{16 \text{ Kg}}{0.08 \frac{g}{cm^3}} = 200 \text{ lts}$$

Se define una tolva de sección cuadrada, por lo tanto de lo citado por (Velastegui, 2015) el ancho mínimo de salida se obtiene de la Ecuación 22.

$$A_{min} = 5 * d_o * \sqrt{1.08 * K}$$

Ecuación 22*Ancho mínimo de salida**Nota. (Velastegui, 2015)*

Donde:

A_{min} = Ancho mínimo de salida [mm]

d_o = Tamaño del producto [mm]

En lo expuesto por (Yepes, 2019), el factor K se obtiene de la ecuación 13.

$$k = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (\text{Ec. 13})$$

Ecuación 23

factor K

Nota. (Yepes, 2019)

Donde

ϕ = Ángulo de reposo [°]

Según (Buitrago et al., 2004), se establece el ángulo de reposo, $\phi = 41.6^\circ$

$$k = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{41.6^\circ}{2} \right) = 0.201$$

Por lo cual:

$$A_{min} = 5 * (65mm * 95\%) * \sqrt{1.08 * (0.201)} = 143.85mm$$

Para una relativa fluidez de salida del producto se considera $A_{min} = 144mm$

La capacidad máxima de la tolva se establece de la Ecuación 24, por lo que se considera que el ancho de entrada sea de $A_e = 600 mm$, por lo tanto:

$$V_t = (h1 * l * l) + \left(\frac{h2}{3} * \left((Ae)^2 + (As_{min})^2 + \sqrt{((Ae)^2 * (As_{min})^2)} \right) \right)$$

Ecuación 24

Volumen de la tolva

Nota. (Basantes, 2019)

Donde:

V_t = Volumen de la tolva [lt]

A_e = Ancho de entrada [mm]

A_{min} = Ancho minimo de salida [mm]

h_1 = Altura de la seccion cuadrada [mm]

h_2 = Altura de la seccion piramidal [mm]

$$V_t = (30mm * 60mm * 60mm)$$

$$+ \left(\frac{600mm}{3} * \left((600mm)^2 + (144mm)^2 + \sqrt{((600mm)^2 * (144mm)^2)} \right) \right)$$

$$= 201.42 \text{ lts}$$

Con lo cual se cumple que:

$$V_t = 201.42 \text{ lts} > V_r: 200 \text{ lts}$$

Dichas dimensiones (ver Tabla 31), satisfacen los requerimientos de producción.

Tabla 31

Dimensiones de la Tolva de almacenamiento

Partes	Dimensiones
Ancho de la boca de entrada	600 mm
Altura de la sección cuadrada	300 mm
Ancho de la boca de salida	140 mm
Angulo de inclinación	67°
Altura de la sección piramidal	600 mm

Nota. Tomado de (Autores)

5.3.9. Masa de la Tolva en Vacío

En el soporte de la tolva se identifican las cargas presentes a soportar por el sistema, con la finalidad de evitar pandeos y que esta falle. En base a lo expuesto en el Art.78 (ARCSA, 2016) se selecciona que la chapa metálica de la tolva sea construida con un acero inoxidable AISI 304.

El espesor de la chapa metálica se define:

$$e = \frac{\frac{P_v * \text{sen}(\theta) + P_h * \text{sen}(\theta) * l}{2}}{10 * \sigma_{Adm}}$$

Ecuación 25*Volumen de la tolva**Nota. (Velasategui, 2015)*

Donde:

$e = \text{Espesor [mm]}$

$P_v = \text{Presión vertical [KPa]}$

$P_h = \text{Presión horizontal [KPa]}$

$l = \text{Longitud de la sección cuadrada de la tolva [mm]}$

$\sigma_{Adm} = \text{Esfuerzo admisible [MPa]}$

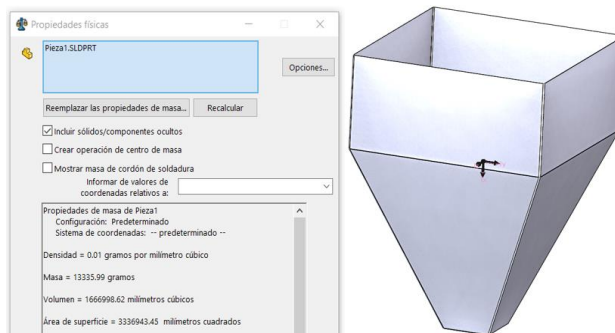
$\theta = \text{Angulo de inclinacion de la tolva [°]}$

Para lo cual previamente se analizó la presión vertical $P_v = 6.095 \text{ KPa}$ y la presión horizontal $P_h = 1,23 \text{ KPa}$ en las paredes de la tolva, considerando un factor de seguridad de $n = 3$, ya que las condiciones en que se desarrolla no son las óptimas, se tiene que:

$$e = \frac{\frac{6.095\text{KPa} * \text{sen}(67^\circ) + 1.23\text{KPa} * \text{sen}(67^\circ) * 600\text{mm}}{2}}{10 * \frac{245\text{MPa}}{3}} = 0.0024\text{mm}$$

Por lo que se selecciona un espesor de 1mm, favorable para el proceso de soldadura en la unión de la chapa metálica.

Con ayuda del software SolidWorks versión estudiantil se verifica la masa de la tolva (ver Figura 60), considerando las propiedades del acero AISI 304 entonces la masa de la tolva es 13.33 Kg, sin embargo verificado analíticamente da un error del 2.9%.

Figura 60*Propiedades físicas de la Tolva*

Identificadas las cargas presentes, se diseña esta de tal manera que dicha fuerza fluya a través del eje centroidal de la columna, para lo cual se selecciona un tubo AISI 304 (ver Tabla 32).

Tabla 32*Propiedades mecánicas*

Tubo de Acero Inoxidable Redondo	
Dimensiones	1 pulgada 1/2
Sy: Resistencia a la cedencia	206 MPa
E: Modulo de elasticidad	190 GPa
A: Área sección transversal (ver Anexo 3)	88 mm ²
r: Radio de giro	2.64 mm
K: Fijación en los extremos (empotrado-libre)	2.10

Se define la relación de esbeltez y la constante de columna:

$$\frac{kl}{r} = \frac{2.10 * 700mm}{2.64mm} = 555.48$$

Ecuación 26

Relación de esbeltez y constante de columna

Nota.(Robert L. Mott, 2004)

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (E)}{S_y}}$$

Ecuación 27*Constante de columna*

Nota. (Robert L. Mott, 2004)

Donde:

*C_c = Constante de Columna**E = Modulo de elasticidad [GPa]**S_y = Resistencia a la cedencia [MPa]*

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (190 \text{ GPa})}{206 \text{ MPa}}} = 134.92$$

Donde $\frac{kl}{r} > C_c$, se concluye que la columna es larga dando paso a la ecuación

de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * A}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Ecuación 28*Volumen de la tolva*

Nota. (Robert L. Mott, 2004)

Donde

*P_{cr} = Carga crítica [N]**E = Módulo de elasticidad [GPa]**A: = Área sección transversal [mm²]* $\frac{KL}{r}$ = Relación de esbeltez

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 190 \text{ GPa} * 88 \text{ mm}^2}{(555.448)^2} = 534.87 \text{ N}$$

Se considera a la masa de la tolva incluido los soportes para las columnas de (13.3 Kg, 2.1 Kg) y de la producción (16 Kg) como la carga admisible.

$$Pa = 308.034 N$$

Dicha carga se distribuye a lo largo de dos columnas (154.017N), por lo que su factor de seguridad se define de la Ecuación 29.

$$N = \frac{Pcr}{Pa}$$

Ecuación 29

Factor de Seguridad

Nota.(Robert L. Mott, 2004)

Donde:

$N =$ Factor de Seguridad

$Pcr =$ Carga crítica [N]

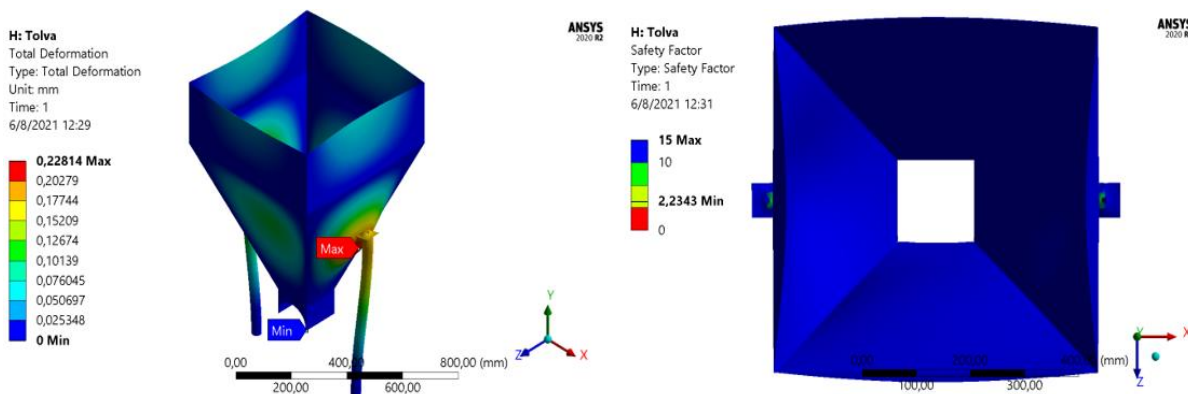
$Pa =$ Carga admisible [N]

$$N = \frac{534.87 N}{154.017} = 3.47$$

El diseño de las columnas obtiene un factor de seguridad óptimo, capaz de soportar la carga aplicada evitando cualquier falla por fluctuación elástica o pandeo.

Figura 61

Zona de Elevación.



Con el espesor seleccionado de la chapa metálica de la tolva y dado que esta va a estar sometida a 156.96 N, con un mallado Orthogonal Quality se define un factor de seguridad máximo de 15 mayor al calculado, cuyo punto crítico de deformación se encuentra en las uniones de las columnas de soporte con un valor de 0.22814mm lo que demuestra una correcta elección del material acero inoxidable AISI 304.

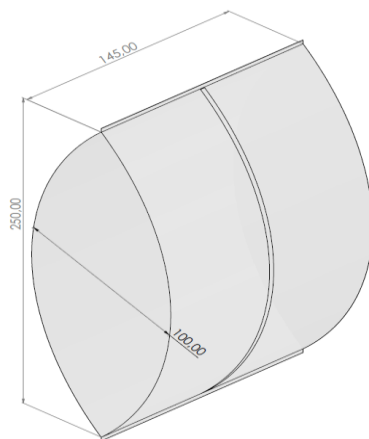
5.3.10. Diseño de la Cinta Transportadora

Para el diseño se evalúa el producto (material) que esta va a movilizar, la Capacidad Máxima de Transporte (Q), así como la ubicación e inclinación de esta. Los lineamientos del producto a transportar se describen a continuación.

En la Figura 62 se detalla las dimensiones del producto empaquetado

Figura 62

Dimensiones del Producto (Chips de papas fritas)



A fin de conocer la Capacidad Máxima de Transporte (Q) de la cinta, se precisa la producción estimada en 5 chips fritos por minuto con un peso de 100g, a este peso se le aumenta un porcentaje del 15% de factor de carga sobredimensionada para evitar fallas, por consiguiente, se determinar la velocidad de transporte se empleó la Ecuación 30.

$$V_B = P_E * G$$

Ecuación 30*Velocidad en banda*

Nota. (Fuentes, 2017b)

Donde:

 $V_B =$ Velocidad en banda [m/min] $P_E =$ Productividad estimada [funda de chips/min] $G =$ Espesor [mm/funda de chips]

$$V_B = 5 \frac{\text{funda de chips}}{\text{min}} * 100 \frac{\text{mm}}{\text{funda de chips}} = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Por lo detallado por (Alvarado, 2016) y ya que el producto es de una relativa fluidez y baja abrasión, se establece que el límite de velocidad del transportador no sea inferior a 1m/s.

De Carmitas S.A. considera implementar una línea más de producción para lo cual se asume un índice de incremento de productividad I=3, por lo cual:

$$V_{BI} = V_B * I$$

Donde

 $V_{BI} =$ Velocidad en banda con índice de incremento

$$V_{BI} = 1 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 3 = 3 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

La cinta transportadora realiza un recorrido ascendente con un ángulo de inclinación de 20°, por lo cual se calcula el coeficiente de reducción de la capacidad de transporte dado por la Ecuación 31.

$$K = 1 - 1.64 \left(\frac{\varphi * \pi}{180^\circ} \right)^2$$

Ecuación 31*Velocidad en banda**Nota. (Rodríguez, 2016)*

Donde:

 $\varphi = \text{Angulo de inclinación } [^\circ]$

$$K = 1 - 1.64 \left(\frac{20^\circ * \pi}{180^\circ} \right)^2$$

$$K = 0.80$$

Quedando así definida la Capacidad Máxima de Transporte (Q) por la Ecuación 32, tomando en consideración el índice de incremento de productividad:

$$Q = P_d * P_{Esp} * K$$

Ecuación 32*Capacidad máxima de transporte**Nota. (Rodríguez, 2016)*

Donde:

 $Q = \text{Capacidad maxima de transporte } [Kgf/h]$ $P_E = \text{Productividad estimada } [funda de chips/min]$ $P_{Esp} = \text{Peso del producto } [Kgf/funda de chips]$ $K = \text{Coeficiente de reducción de la capacidad de transporte}$

$$Q = 15 \frac{\text{funda de chips}}{\text{min}} * 0.116 \frac{\text{Kgf}}{\text{funda de chips}} * 0.80$$

$$Q = 83.54 \frac{\text{Kgf}}{\text{h}}$$

A partir de dichos datos y dado que el producto es regular, se obtiene del catálogo de (Nor Rubber, n.d.) el ancho adecuado de la cinta transportadora $A_B = 400 \text{ mm}$, es así como del catálogo general La Chiorino S.p.A. se selecciona la banda 1M6 U0-U5 FL que cumple con todas las normas sanitarias.

Figura 63

Banda PU 1M6 U0-U5 FL

Tipo	Conformidad alimentaria (1)	Actividad permanente	Tiempo de deslucamiento silíceo (2)	Color cobertura lado transporte	Espesor total	Peso	Dámetro mínimo (D)	Tracción al 1%	Tracción máx. adm.	Resistencia temperatura mín.	Resistencia temperatura máx.	Coefficiente de fricción lado transporte (4)	Ancho máx. de producción
					mm	kg/m ²	mm	N/mm	N/mm	[°C]	[°C]	mm	mm
POLIURETANO													
1M3 U0-U2 HP blue A	✓	✓		●	0.70	0.70	→	4	4	-30	110	MF	2000
1M5 U0-U2 A	✓	✓		●	0.70	0.80	→	5	5	-20	100	MF	2000
1M5 U0-U2 D W A	✓	✓		○	0.70	0.70	→	5	5	-30	100	HF	2000
1M5 U0-U2 HP blue S A	✓	✓		●	0.70	0.70	→	5	5	-30	110	HF	2000
1M5 U0-U2 HP W A	✓	✓		○	0.70	0.80	→	5	5	-30	110	MF	2000
1M5 U0-U2 HP W S A	✓	✓		○	0.70	0.80	→	5	5	-30	110	HF	2000
1M5 U0-U2 HP VL blue A	✓	✓		●	0.70	0.80	→	5	5	-30	110	MF	2000
1M5 U0-U2 W A	✓	✓		○	0.70	0.80	→	5	5	-20	100	LF	2000
1M5 U0-U2 W A LF VL	✓	✓		○	0.70	0.80	→	5	5	-20	100	LF	1500
1M5 U0-U2 PN yellow	✓	✓		●	1.10	0.90	→	5	5	-20	100	HF	2000
1T6 U0-U2 HP W A	✓	✓		○	0.80	0.80	→	6	6	-30	110	MF	2000
1M6 U0-U5 FL	✓	✓	✓	●	1.00	1.00	→	6	6	-20	100	MF	2000
1M6 U3-U3 FL	✓	✓		●	1.20	1.30	→	10	6	-20	100	MF	2000

Nota. Tomado de (Chiorino S.p.A., 2015)

Una vez delimitado estos parámetros, se debe tener en cuenta los esfuerzos a los que esta va a estar sometida, así como las potencias necesarias que esta debe asumir.

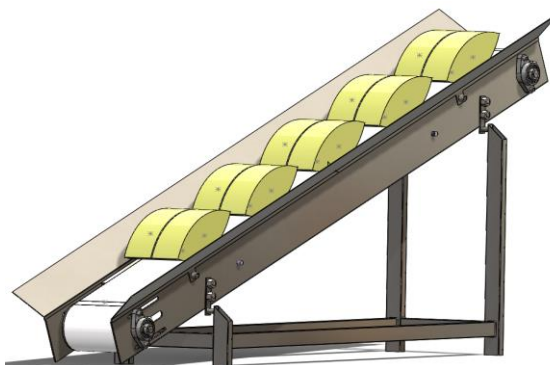
$T_{ZE} =$ Tensión en la zona de elevación

$P_B =$ Potencia para moverse en vacío y para elevar carga

A partir de la actual producción estimada no se tiene en cuenta que existe acumulación del producto en la banda, no obstante, dado que es un diseño conservador se considera el índice de incremento de productividad, tomado en consideración en la capacidad máxima de transporte.

Figura 64

Banda con acumulación del producto



5.3.11. Análisis en la Zona Elevada

Con una distancia de elevación de 700 mm, una distancia de recorrido de 2000 mm y un ángulo de inclinación de 20°, se debe tener en cuenta el coeficiente de fricción más crítico del producto contra la banda (ver Tabla 33) para evitar deslizamientos y que la banda cumpla con su objetivo.

En base a la Ecuación 33, se calcula la tensión motriz en dicha zona para lo cual en la Tabla 33, se verifica el coeficiente de fricción de la banda.

Tabla 33

Coefficiente de fricción de la banda

Coeficiente de fricción de la banda con las guías del transportador (μ_{BG} , μ_{BR} , μ_{BL})						
Mat. Banda Mat. Guías	PP		ACETAL		KEVLAR®	
	Con lubricante	Seco	Con lubricante	Seco	Con lubricante	Seco
U.H.M.W.-PE (DESLIDUR)	0,14	0,15	0,11	0,14	0,09	0,11
Acero inox. o al carbono	0,25	0,30	0,14	0,19	0,11	0,16
NILATRÓN	0,20	0,22	0,13	0,15	0,10	0,11
RODILLOS μ_{BR}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Nota. Tomado de (Fuentes, 2017)

Tabla 34

Coefficiente de fricción entre banda y producto

		μPB: Coeficiente de fricción entre banda y producto					
Mat. Guías \ Mat. Banda	PP		ACETAL		KEVLAR®		
	Con lubricante	Seco	Con lubricante	Seco	Con lubricante	Seco	
Vidrio	0,17	0,19	0,13	0,14	0,09	0,1	
Acero	0,3	0,32	0,19	0,2	0,15	0,16	
Plástico	0,15	0,17	0,13	0,16	0,09	0,12	
Aluminio	0,4	0,4	0,27	0,33	0,23	0,29	
Cartón	*	0,22	*	0,2	*	0,16	

Nota. Tomado de (Fuentes, 2017b)

$$T_{ZE} = (W_B + W_P) * L_T * uBr + W_B * L_T * uBg + (uBr + uPB) * 0.8 * L_T * 10 * W_P - 0.8 * L_T * W_P * uBr + (W_B + W_P) * H$$

Ecuación 33

Tensión motriz

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde

T_{ZE} = Tensión motriz [N]

L_T = Longitud zona de elevación [mm]

W_B = Peso de la banda por unidad de longitud [Kgf/m]

W_P = Peso del producto por unidad de longitud [Kgf/m]

H = Elevación del producto [mm]

Para lo cual:

$$W_P = \frac{P_{Esp} * A_B}{G * L_P}$$

Ecuación 34

Peso del producto por unidad de longitud [Kgf/m]

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$A_B =$ Ancho de Banda [mm]

$G =$ Grosor del producto [mm]

$L_P =$ longitud del producto [mm]

$$W_P = \frac{0.116 \frac{Kgf}{\text{funda de chips}} * 400mm}{100mm * 250mm}$$

$$W_P = 1.85 \frac{Kgf}{m}$$

Por lo tanto

$$\begin{aligned} T_{ZE} = & \left(1 \frac{Kgf}{m} + 1.85 \frac{Kgf}{m}\right) * 2000mm * 0.30 + 1 \frac{Kgf}{m} * 2000mm * 0.30 + (0.30 + 0.17) \\ & * 0.8 * 2000mm * 10 * 1.85 \frac{Kgf}{m} - 0.8 * 2000mm * 1.85 \frac{Kgf}{m} * 0.30 \\ & + \left(1 \frac{Kgf}{m} + 1.85 \frac{Kgf}{m}\right) * 700mm \end{aligned}$$

$$T_{ZE} = 170.48N$$

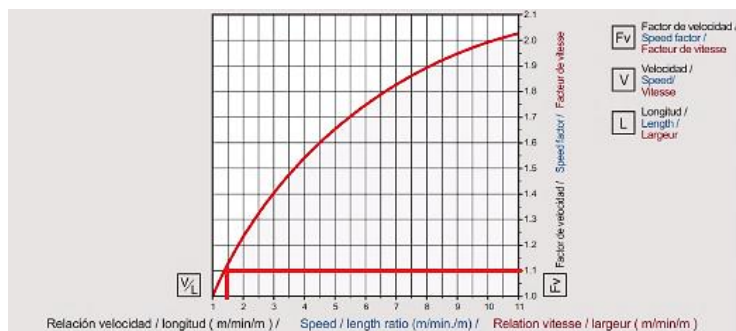
A partir que el esfuerzo en la banda es directamente proporcional con la velocidad de esta, se debe tener en consideración el factor de velocidad y el factor de seguridad, detallado por la Ecuación 35.

$$\frac{V_{BI}}{L_T} = \frac{3 \frac{m}{\text{min}}}{2 m} = 1.5$$

Ecuación 35

Factor de velocidad

Nota. (Fuentes, 2017)

Figura 65*Factor de velocidad*

Nota. Tomado de (Fuentes, 2017)

Dada la relación entre la velocidad de la banda y la longitud total se obtiene F_v de la Figura 65 siendo este 1.1.

Tabla 35*Factor de servicio*

Factor de servicio F_s	
Condiciones de Arranque	F_s
Arranque sin carga a menos de 6 metros por minuto	1
Arranques infrecuentes (uno por hora) bajo carga a menos de 6 metros por minuto	1,2
Arranques frecuentes (más de uno por hora) bajo carga a menos de 6 metros por minuto	1,3
Arranques infrecuentes (uno por hora) bajo carga a más de 6 metros por minuto	1,4
Arranques frecuentes (más de uno por hora) bajo carga a más de 6 metros por minuto	1,6

Nota. Tomado de (Fuentes, 2017)

Ya que la banda arranca en vacío y que su velocidad es menor a $6 \frac{m}{s}$, se obtiene de la Tabla 35 F_s igual a 1.0.

La tensión efectiva motriz es:

$$T_{EM} = T_{ZE} * F_S * F_V$$

Ecuación 36*Tensión efectiva**Nota.* (Fuentes, 2017)

$$T_{EM} = 170.48N * 1 * 1.1 = 187.53N$$

Se determina la resistencia nominal mínima de la banda definida por la Ecuación 37 (Rodríguez, 2016).

$$R_N = \frac{T_{EM} * C_s}{A_B}$$

Ecuación 37

Resistencia nominal de la banda [N/mm]

Nota. (Rodríguez, 2016)

Donde:

R_N = Resistencia nominal del la banda [N/mm]

A_B = Ancho de la banda [mm]

C_s = Coeficiente de seguridad (Rodríguez, 2016)

$$R_N = \frac{187.53N * 10}{400mm} = 4.68 \frac{N}{mm}$$

Con lo cual de la Figura 63 se obtiene el factor de seguridad por resistencia a la tracción con la que trabaja la banda.

$$F_{SB} = \frac{TR_{Adm}}{R_N}$$

Ecuación 38

Factor de resistencia de banda

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

F_{SB} = Factor de resistencia de banda

T_{Adm} = Tracción máxima admisible [N/mm]

R_N = Resistencia nominal de banda [N/mm]

$$F_{SB} = \frac{6 \frac{N}{mm}}{4.68 \frac{N}{mm}} = 1.28$$

5.3.12. Análisis Geométrico de la Banda

Consiste básicamente en determinar la longitud adecuada de la banda transportadora a través de la Ecuación 39, tomando en consideración que el sistema de accionamiento que se emplea es múltiple.

$$L_{TB} = 2 * L_T + D_T * \pi$$

Ecuación 39

Longitud teórica de banda

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

L_{TB} = longitud teórica de banda [m]

L_T = longitud de la zona de elevación [mm]

D_T = Diámetro del tambor motriz [mm]

$$L_{TB} = 2 * 2000mm + 86.5mm * \pi$$

$$L_{TB} = 4.27m$$

La variación de la catenaria ΔC es 0, dado que es un sistema de accionamiento múltiple con templadores de banda en los extremos.

$$\Delta C = 0$$

Ya que el material de la banda es de polietileno se verifica el coeficiente de expansión térmico (ver Tabla 36), para determinar la variación en longitud y ancho por condición de temperatura máxima de trabajo, se define las Ecuación 40 y Ecuación 41.

$$\Delta L = (L_{TB} + \Delta C) * (T_{MaxT} - T_{Amb}) * e$$

Ecuación 40

Variación de longitud

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$\Delta L =$ Variación en longitud de Banda [mm]

$L_{TB} =$ longitud teorica de banda [m]

$\Delta C =$ Variación de la catenaria

$T_{MaxT} =$ Temperatura Máxima de trabajo °C

$T_{Amb} =$ Temperatura Ambiente °C

$e =$ Coeficiente de expansión térmica [mm/m/°C]

Tabla 36

Coeficiente de expansión térmica

Coeficiente de expansión térmica 'e'			
	Material	mm/m/°C	
Bandas	Acetal	0,09	
	Kevlar ®	0,09	
	Polietileno	0,23	
	Polipropileno (Menos de 38°C)		0,12
		Polipropileno (Más de 38°C)	0,15
	Nylon	0,07	
Guías de desgaste	Material resistente a las llamas	0,12	
	U.H.M.W.PE (De -73°C a 30°C)		0,14
		U.H.M.W.PE (De 30°C a 99°C)	0,16
	Materiales	Nilatron	0,06
Teflón		0,12	
Aluminio		0,02	
Acero al carbono		0,01	
Acero inoxidable		0,01	

Nota. Tomado de (Fuentes, 2017)

$$\Delta L = (4.27m + 0) * (32^{\circ}C - 20^{\circ}C) * 0.23 \frac{mm}{m^{\circ}C} = 11.78mm$$

$$\Delta A = A_B * (T_{MaxT} - T_{Amb}) * e$$

Ecuación 41

Variación en ancho de Banda (mm)

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$\Delta A = \text{Variación en ancho de Banda [mm]}$

$A_B = \text{Ancho de banda [mm]}$

$T_{MaxT} = \text{Temperatura Máxima de trabajo } ^\circ C$

$T_{Amb} = \text{Temperatura Ambiente } ^\circ C$

$e = \text{Coeficiente de expansión térmica [mm/m/}^\circ C]$

$$\Delta A = 400mm * (32^\circ C - 20^\circ C) * 0.23 \frac{mm}{m^\circ C} = 1.104mm$$

Con lo cual la longitud total de la banda queda establecida por la Ecuación 42.

$$L_T = L_{TB} + \Delta L + \Delta A$$

Ecuación 42

Longitud total de la banda

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

L_T : Longitud total de Banda [m]

L_{TB} : longitud teorica de la banda [m]

ΔL : Variación en longitud de Banda [mm]

ΔA : Variación en ancho de Banda [mm]

$$L_T = 4.27m + 11.78mm + 1.104mm = 4.28m$$

Dadas las características del modelo 1M6 U0-U5 FL se considera mínimo la deformación en ancho, por lo cual se requiere una longitud total de 4.28 m.

5.3.13. Análisis de la Potencia Requerida en Banda

Es la potencia aplicada con el fin de vencer el peso mismo de la banda como del producto a trasportar, así como tensiones presentes en los elementos mecánicos de dicho diseño.

$$P_V = \frac{C_b * V_{BI} + Q}{C_l * K_f}$$

Donde:

$P_V =$ Potencia en vacío [Kw]

$Q =$ Capacidad máxima de transporte [Tn/h]

$V_{BI} =$ Velocidad en banda [m/min]

$C_b =$ Factor de ancho de banda

$C_l =$ Factor de longitud de la banda

$K_f =$ Factor de servicio

Tabla 37

Factores que influyen en la potencia de la Banda

Factor de ancho de la banda, Cb												
Ancho de banda (mm)												
Peso específico γ (t/m ³)	300	400	500	650	800	1000	1200					1400
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194					227
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277					320
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360					414
Factor de longitud de la banda, Cl												
Longitud de banda (m)	32	40	50	63	80	90	100	150	200	250	300	
Cl	222	192	167	145	119	109	103	77	63	53	47	
Factor de servicio, Kf												
Condiciones de trabajo										Kf		
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades										1,17		
Normal, condiciones estándar										1		
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad										0,74 - 0,87		
Temperaturas extremadamente bajas										0,57		

Fuente: (Rodríguez, 2016)

$$P_V = \frac{54 * 3 \frac{m}{min} + 0.084 \frac{Tn}{h}}{63 * 1} = 0.045 Kw$$

La potencia de elevación asume una potencia suplementaria al sistema con el fin de elevar la carga a dicha altura, definida por la Ecuación 43.

$$P_E = \frac{H * Q}{367}$$

Ecuación 43*Potencia de elevación*

Nota. (Rodríguez, 2016)

Donde:

 $P_E =$ Potencia de elevación [Kw] $H =$ Elevación del producto [m] $Q =$ Capacidad maxima de transporte [Tn/h]

$$P_E = \frac{0.7m * 0.084 \frac{Tn}{h}}{367} = 0.00016 Kw$$

Es así como la potencia teórica requerida por el sistema se define por la

Ecuación 44.

$$P_T = P_V + P_E + 0.16 * V_{BI} * L_T$$

Ecuación 44*Potencia Teórica*

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

 $P_T =$ Potencia Teorica [Kw] $P_V =$ Potencia en vacio [Kw] $P_E =$ **Potencia de elevación** [Kw] $V_{BI} =$ Velocidad en banda [m/min] $L_T =$ longitud de la zona de elevación [m]

$$P_T = 0.045Kw + 0.00016Kw + 0.16 * 3 \frac{m}{min} * 2m = 0.05965Kw$$

Para dicho diseño se considera las pérdidas, producto de la eficiencia del motor como las de la caja reductora, así como las pérdidas en los elementos mecánicos

presentes, para lo cual se considera un adicional de potencia requerida que está definida por la Ecuación 45.

$$P_R = \frac{P_T}{\eta * \varepsilon} \frac{1 - P_p}{1 - P_p}$$

Ecuación 45

Potencia requerida

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$P_R =$ Potencia Requerida [hp]

$P_T =$ Potencia Teórica [Kw]

$\eta =$ Eficiencia del motor [%]

$\varepsilon =$ Eficiencia de la caja reductora [%]

$$P_R = \frac{0.05965Kw}{\frac{1 - 0.01}{58\% * 60\%}} = 0.175 Kw = 0.2347 hp$$

Dado que no existe motores de 0.2320 hp y que la potencia suministrada por el motor debe ser mayor a la potencia requerida, tomando en cuenta que la aplicación del sistema se va a dar en una red monofásica, la preselección del motor se la realiza del catálogo WEG-W22. Se selecciona el motor WEG W22 monofásico con condensador permanente a 60Hz. (ver Figura 66)

Figura 66

Catálogo de motor WEG-W22







Potencia KW	Carcasa HP	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado Ii/In	Par con rotor trabado Tt/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)		
											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V	
0,09	0,12	63	0,051	3,7	0,90	2,7	0,0006	41	9,0	47	1720	30,2	40,4	47,7	0,86	0,90	0,93	0,922	0,461
0,12	0,16	63	0,069	3,3	0,65	2,0	0,0006	29	9,0	47	1690	35,3	45,5	52,3	0,84	0,89	0,93	1,12	0,560
0,18	0,25	63*	0,104	3,6	0,75	2,2	0,0007	19	9,5	47	1690	35,7	46,3	53,5	0,87	0,92	0,95	1,61	0,805
0,25	0,33	71	0,142	3,2	0,65	2,0	0,0008	15	11,4	55	1720	39,0	50,0	58,0	0,94	0,96	0,97	2,02	1,01
0,37	0,5	71	0,212	3,5	0,70	1,8	0,0009	28	11,4	55	1700	51,0	62,0	68,0	0,89	0,93	0,95	2,61	1,31
0,55	0,75	80	0,313	3,9	0,40	1,9	0,0029	12	16,5	55	1710	54,2	63,4	67,4	0,95	0,93	0,96	3,86	1,93
0,75	1	80	0,430	3,7	0,45	1,9	0,0029	11	16,8	55	1700	57,1	66,4	70,3	0,92	0,94	0,97	5,00	2,50

Nota. Tomado de (WEG, 2020)

Para la preselección del reductor se considera que este sea compatible con la serie WEG W22, que trabaje a 0.35 hp y que la norma IEC corresponda a 71M. Del catálogo Bonfiglioli Riduttori se preselecciona el reductor sin fin corona, con una relación de transmisión de 1/80 (ver Figura 67) correspondiente al tipo W75_80.

Figura 67

Catálogo de reductor Bonfiglioli serie VF-W

0.25 kW											
n_2 min-1	M_2 Nm	S	i	R_{n2} N							
5.5	247	1.5	250	5750					VFW 44/75_250	P71 BN71A4	129
5.7	204	1.1	240	6200					WR 75_240	P71 BN71A4	128
5.7	221	1.4	240	7000					WR 86_240	P71 BN71A4	132
5.7	233	2.4	240	8000					WR 110_240	P71 BN71A4	136
6.0	216	2.3	230	7000					VFW 44/86_230	P71 BN71A4	133
6.0	219	1.4	150	6200					WR 75_150	P71 BN71B6	128
6.7	193	0.9	135	5000					WR 63_135	P71 BN71B6	124
7.2	193	1.7	192	7000					WR 86_192	P71 BN71A4	132
7.2	200	3.1	192	8000					WR 110_192	P71 BN71A4	136
7.6	172	1.4	180	6200					WR 75_180	P71 BN71A4	128
7.9	175	1.1	114	5000					WR 63_114	P71 BN71B6	124
8.2	175	2.0	168	7000					WR 86_168	P71 BN71A4	132
9.0	122	1.0	100	5000	W 63_100	S1	M1SD6	122			
9.0	133	1.2	100	6200	W 75_100	S1	M1SD6	126	W 75_100	P71 BN71B6	127
9.0	146	1.7	100	7000	W 86_100	S1	M1SD6	130	W 86_100	P71 BN71B6	131
9.2	151	1.7	150	6200					WR 75_150	P71 BN71A4	128
10.0	151	2.7	138	7000					WR 86_138	P71 BN71A4	132
10.0	160	2.3	90	6200					WR 75_90	P71 BN71B6	128
10.2	136	1.3	135	5000					WR 63_135	P71 BN71A4	124
11.3	110	1.1	80	5000	W 63_80	S1	M1SD6	122			
11.3	115	1.7	80	6200	W 75_80	S1	M1SD6	126	W 75_80	P71 BN71B6	127
11.3	125	2.2	80	7000	W 86_80	S1	M1SD6	130	W 86_80	P71 BN71B6	131

Nota. Tomado de (Bonfiglioli, 2018)

Con los datos obtenidos de la preselección se debe verificar si la velocidad lineal a la salida del reductor satisface la demanda de la velocidad en banda.

La velocidad lineal a la salida del reductor está definida por la Ecuación 46.

$$V_{LR} = n_2 * \frac{D_T}{2}$$

Ecuación 46

Velocidad lineal a la salida

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$$n_2 = \frac{n_1}{i}$$

V_{LR} = velocidad lineal a la salida [m/min]

n_2 = Velocidad angular a la salida [rpm]

$D_T = \text{Diámetro del tambor motriz [mm]}$

$i := \text{Índice de relación de transmisión}$

$$V_{LR} = \frac{1720rpm}{80} * \frac{86.5mm}{2} = 5.84 \frac{m}{min}$$

El aumento de la velocidad lineal a la salida del reductor es evidente por lo tanto es preciso recalcular la tensión efectiva motriz, dado que el factor de velocidad cambia dando así:

$$\frac{V_{BI}}{L_T} = \frac{5.84 \frac{m}{min}}{2 m} = 2.92$$

De la

Figura **65** se obtiene el F_v , con lo cual la tensión efectiva motriz queda definida por la Ecuación 36.

$$T_{EM} = T_{ZE} * F_S * F_V$$

$$T_{EM} = 187.53N * 1 * 1.36 = 255.05N$$

Con lo cual:

$$R_N = \frac{255.05N * 10}{400mm} = 6.37 \frac{N}{mm}$$

Por lo tanto, el factor de resistencia en la banda es:

$$F_{SB} = \frac{6 \frac{N}{mm}}{6.37 \frac{N}{mm}} = 0.94$$

Ya que hay un incremento en la tensión efectiva motriz, se replantea la potencia requerida por la banda con las ecuaciones antes definidas Ecuación 33, Ecuación 34, Ecuación 35 y Ecuación 36.

$$P_V = \frac{C_b * V_{BI} + Q}{C_l * K_f}$$

$$P_V = \frac{54 * 5.84 \frac{m}{min} + 0.083 \frac{Tn}{h}}{63 * 1} = 0.084Kw$$

$$P_E = \frac{H * Q}{367}$$

$$P_E = \frac{0.7m * 0.083 \frac{Tn}{h}}{367} = 0.00015Kw$$

$$P_T = P_V + P_E + 0.16 * V_{BI} * L_T$$

$$P_T = 0.084Kw + 0.00015Kw + 0.16 * 5.84 \frac{m}{min} * 2m = 0.116Kw$$

$$P_R = \frac{\frac{P_T}{1 - P_p}}{\eta * \varepsilon}$$

$$P_R = \frac{\frac{0.116Kw}{1 - 0.01}}{58\% * 60\%} = 0.33Kw = 0.45 hp$$

Es así como del catálogo WEG W22, se verifica que no existe motores de 0.45 hp, por lo que se selecciona un motor cuya potencia nominal sea la inmediata superior. El modelo seleccionado es WEG W22 de 0.5hp cuyas propiedades relevantes son las siguientes:

- Potencia: 0.5hp – 0.37Kw
- Monofásico - 4polos – 60Hz
- Eficiencia: 68% - con condensador permanente
- Par nominal: 0.212 Kgf*m
- RPM: 1700rpm
- Carcasa: 71
- Peso: 11.4 Kg

No obstante, debido a que la velocidad angular del motor disminuye de 1720 a 1700 rpm se procede a realizar una nueva comprobación de valores detallada en la Tabla 38.

Tabla 38

Comparativa de motor 0.33 hp vs 0.5 hp

	MOTOR 0.33HP	MOTOR 0.5HP
Velocidad angular	1720 rpm	1700 rpm
Velocidad lineal	5.84 m/min	5.77 m/min
Factor de velocidad	1.36	1.34
Tensión efectiva motriz	255.05 N	251.29 N
Potencia del motor	0.45	0.44

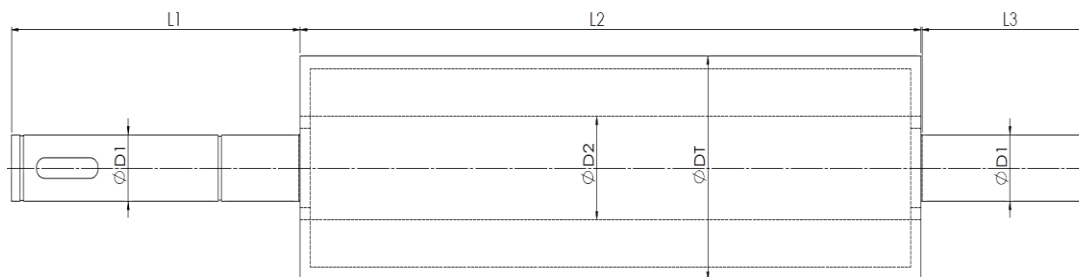
La disminución de la velocidad angular no presenta cambios significativos en los requerimientos tanto de potencia como de velocidad lineal en el sistema. Por tanto, el motor reductor a ocupar es:

- Motor WEG W22: 0.5Hp
- Reductor: Bonfiglioli tipo W75_80

5.3.14. Diseño Mecánico del Eje

Para estipular un eje apropiado se emplean los diferentes lineamientos de diseño, que permitan obtener los parámetros adecuados para resistir a los esfuerzos aplicados:

Se determina la configuración geométrica iniciando con las dimensiones de cada escalón del eje, así como la forma de este. En la Figura 68 se describe cada tramo del eje motriz cuyas longitudes están en función al ancho de la banda. L1=139.50mm, L2=300mm y L3=81.50mm.

Figura 68*Geometría del eje motriz*

Se realiza un diseño por factor de carga iniciando por calcular un diámetro de eje apropiado con la finalidad de brindar un margen de seguridad tolerante a resistir los esfuerzos presentes en dicho eje, para lo cual se determina el torque aplicado por el motor dispuesto por la Ecuación 47.

$$T = \frac{P_M * \varepsilon}{n_2}$$

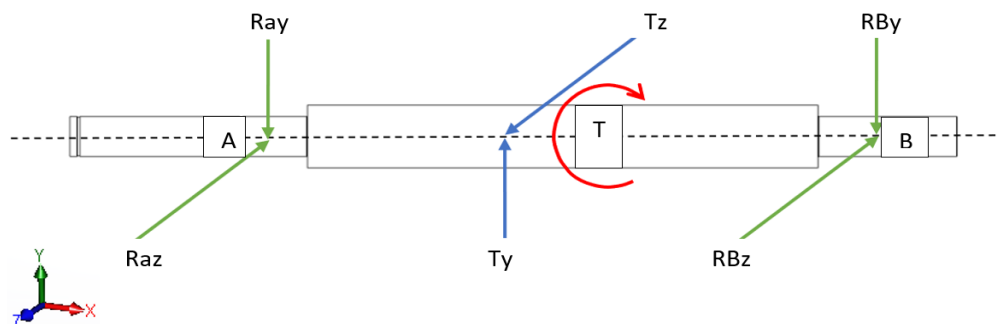
Ecuación 47*Torque**Nota. (Fuentes, 2017)*

Donde

 $T = \text{Torque [N * m]}$ $P_M = \text{Potencia del motor [hp]}$ $\varepsilon = \text{Rendimiento del reductor [%]}$ $n_2 = \text{Velocidad angular de salida [rpm]}$

$$T_E = \frac{0.5 \text{ hp} * 60\%}{21.25 \text{ rpm}} = 99.09 \text{ N * m}$$

En la Figura 69 se muestran las reacciones sobre los apoyos A y B, así como la fuerza consumida por el tambor motriz dado por el torque entregado por el motor, la cual se distribuye a lo largo del punto T.

Figura 69*Geometría del eje motriz*

En función a lo expuesto anteriormente se presentan dos variantes en el tambor motriz, la fuerza tangencial y la fuerza radial definidas por la Ecuación 48 y Ecuación 49.

$$Ft_T = \frac{T * 2}{D_T}$$

Ecuación 48*Factor de fuerza tangencial a lo largo del punto**Nota. (Fuentes, 2017)*

Donde:

Ft_T = Fuerza tangencial a lo largo del punto T [N]

T = Torque [N * m]

D_T = Diametro del tambor motriz [mm]

$$Ft_T = \frac{99.09 \text{ N} * \text{m} * 2}{86.5 \text{ mm}} = 2291.09 \text{ N}$$

Para el cálculo de la fuerza radial se toma en consideración el ángulo de presión en cuyo caso se hace referencia a los engranes helicoidales cuyo rango va de 30° a 45°.

$$Fr_T = Ft_T * \tan\phi$$

Ecuación 49*Fuerza radial a lo largo del punto**Nota. (Fuentes, 2017)*

Donde:

$F_{r_T} = \text{Fuerza radial a lo largo del punto } T \text{ [N]}$

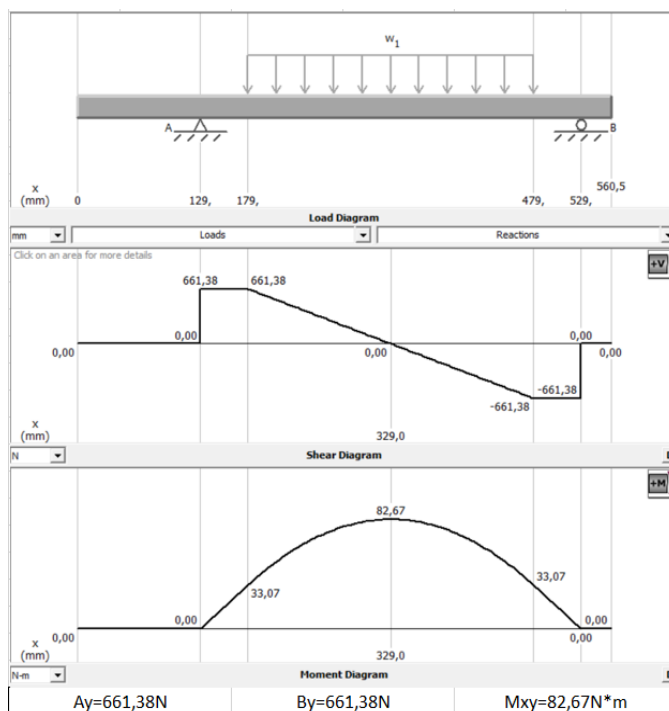
$\emptyset = \text{Angulo de presión [}^\circ\text{]}$

$$F_{r_T} = 2291.09N * \tan(30^\circ) = 1322.76N$$

Es así como de la Figura 69, se puede identificar que la fuerza F_{t_T} se aplica en el plano XZ por lo cual la fuerza F_{r_T} se encuentra en el plano XY, en la Figura 70 se detallan las reacciones presentes en los apoyos, así como el momento máximo en el plano XY, considerándolas como fuerzas distribuidas.

Figura 70

Diagrama de corte y momento plano XY

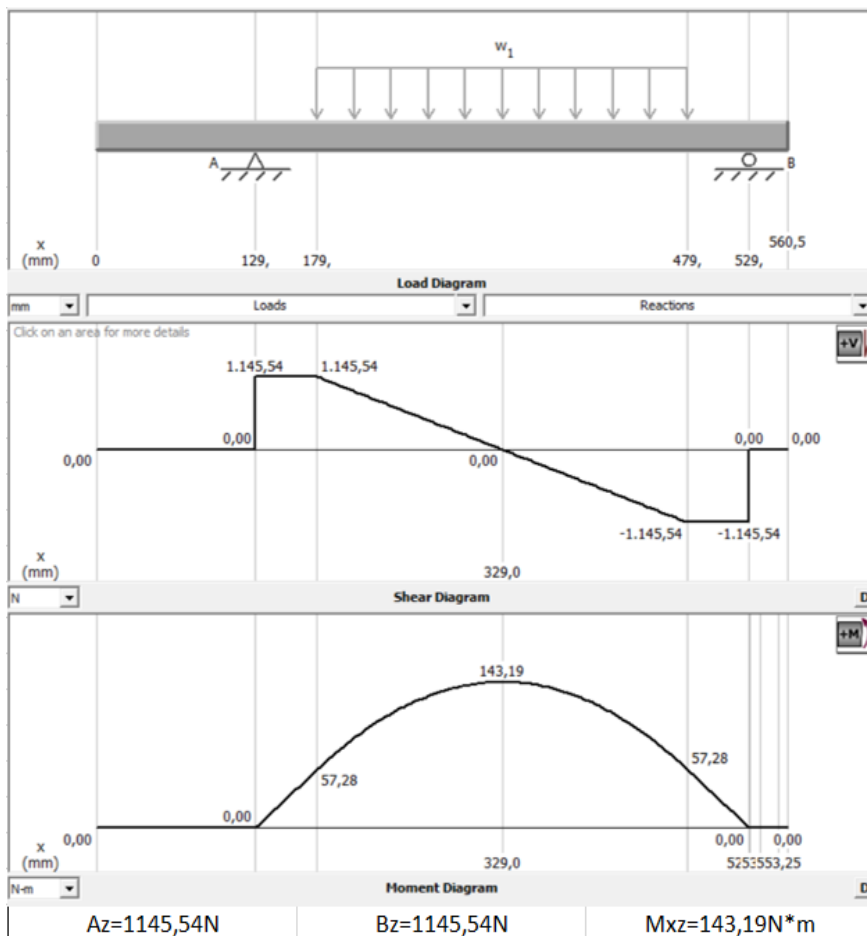


Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021)

Con la finalidad de encontrar el momento máximo a lo largo del punto crítico T se define la Ecuación 50, para lo cual en la Figura 71 se detallan las reacciones presentes en los apoyos, así como el momento máximo en el plano XZ.

Figura 71

Diagrama de corte y momento plano XZ



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021)

$$M_T = \sqrt{M_{XY}^2 + M_{XZ}^2}$$

Ecuación 50

Momento total

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

$M_T =$ Momento Total [$\text{N} \cdot \text{m}$]

$M_{XY} =$ Momento máximo XY [$\text{N} \cdot \text{m}$]

$M_{XZ} =$ Momento máximo XZ [$\text{N} \cdot \text{m}$]

$$M_T = \sqrt{(82.67N * m)^2 + (143.19N * m)^2} = 165.34 N * m$$

Se calcula el esfuerzo por flexión y cortante en dicho tramo, dado que es un sólido con sección transversal redonda se aplican las Ecuación 51, Ecuación 52, sin embargo, ya que el torque es constante y el momento total ocasiona tracción y compresión se puede igualar $\sigma_{mT} = 0$ como el $\tau_{aT} = 0$ (Budynas & Nisbett, 2012)

Por lo cual:

$$\sigma_{aT} = Kf * \left(\frac{32 * M_T}{\pi * d^3} \right)$$

Ecuación 51

Esfuerzo alternante por flexión real

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

$\sigma_{aT} =$ Esfuerzo alternante por flexión real [N * m]

$Kf =$ Concentrador de esfuerzo por flexión

$M_T =$ Momento Total [N * m]

$d =$ Diametro sección critica [m]

Se asume $d = 1$, para un diseño conservador se define el filete del hombro redondeado, con lo cual $Kf = Kt$ y $Kfs = Kts$. Para fines de realizar cálculos.

$$\sigma_{aT} = 1.7 * \frac{32 * 165.34N * m}{\pi * (1)^3} = 2863.03 N * m$$

Figura 72

Diagrama de corte y momento plano XY

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

τ_{mT} = Esfuerzo cortante medio por Torsión real [$N * m$]

Kfs = Concentrador de esfuerzo por Torsión

T = Torque [$N * m$]

d = Diametro sección critica [m]

$$\tau_{mT} = 1.5 * \frac{16 * 99.09N * m}{\pi * (1)^3} = 756.99N * m$$

La teoría de fallas por energía de la distorsión dispone que los esfuerzos equivalentes están dados por las ecuaciones Ecuación 52, Ecuación 53:

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_{mT})^2 + 3 * (\tau_{mT})^2}$$

Ecuación 52

Esfuerzo medio equivalente

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\sigma'_m = \sqrt{(0)^2 + 3 * (756.99 N * m)^2} = 1311.15N * m$$

Y

$$\sigma'_a = \sqrt{(\sigma_{aT})^2 + 3 * (\tau_{aT})^2}$$

Ecuación 53

Esfuerzo alternante equivalente

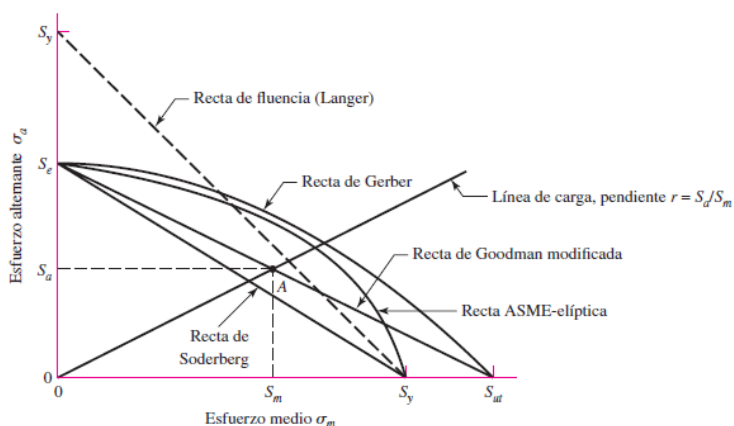
Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\sigma'_a = \sqrt{(2863.03 \text{ N} * \text{m})^2 + 3 * (0)^2} = 2863.03 \text{ N} * \text{m}$$

Considerando que el diseño del eje se lo puede realizar bajo un criterio optimista o conservador (ver Figura 73) se selecciona una teoría de fallas, se verifica que la tensión media no debe superar la resistencia a la fluencia, así como la resistencia última a la tracción del material por lo cual se opta por seleccionar el criterio de Goodman que se aproxima más a los resultados reales.

Figura 73

Diagrama de fatiga y criterios de falla.



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Del catálogo de Ivan Bohman se opta por un acero AISI 304 (ver Anexo 4), de esa manera se define la Ecuación 54 para el cálculo de S_e , cuyos factores modificantes del límite de resistencia a la fatiga se analizan del libro de "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$S_e = (0.5 * S_{ut}) * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e$$

Ecuación 54

Resistencia a la fatiga

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

$Se = \text{Resistencia a la fatiga [MPa]}$

$Sut = \text{Resistencia ultima a la tracción [MPa]}$

$ka = \text{Factor por acabado superficial}$

$kb = \text{Factor por tamaño}$

$kc = \text{Factor por tipo de carga}$

$kd = \text{Factor por temperatura}$

$ke = \text{Factor por nivel de confianza}$

$Se = (0.5 * 530 \text{ MPa}) * 0.85 * 0.87 * 1 * 1 * 0.897 = 175.78 \text{ MPa}$

El criterio de falla de Goodman está definido por la Ecuación 55 de la cual se asume un factor de seguridad de 2 con lo cual se determina el diámetro para el tramo 'T' del eje que soporta el tambor motriz.

$$\frac{2}{Fs} = \frac{\sigma'_a}{Se} + \frac{\sigma'_m}{Sut}$$

Ecuación 55

Factor de seguridad

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

$Sut = \text{Resistencia ultima a la tracción [MPa]}$

$Fs = \text{Factor de Seguridad}$

$\sigma'_a = \text{Esfuerzo alternante equivalente [N * m]}$

$\sigma'_m = \text{Esfuerzo medio equivalente [N * m]}$

$Se = \text{Resistencia a la fatiga [MPa]}$

Por lo tanto:

$$D2 = \sqrt[3]{\left(1311.15N * m + \frac{530 MPa}{175.78 MPa} * 2863.03 N * m\right) * \frac{2}{530 MPa}} = 0.033m$$

Dado que se selecciona un criterio optimista se opta por asumir que:

$$D2 = 30 mm$$

Por lo tanto, el diámetro $D1 = 25.4 mm$.

Es así como de la Ecuación 55 se obtiene un factor de seguridad óptimo para dicha sección, resultado de sustituir el valor ($d2 = 30 mm$) en la Ecuación 50, Ecuación 51.

$$Fs = \frac{1}{\frac{106.03MPa}{175.78 MPa} + \frac{48.56MPa}{530 MPa}} = 1.44$$

Para la selección de los rodamientos que soportan al eje, se procede a verificar si los esfuerzos varían significativamente, considerando el peso del eje (54.88N/m) así como del tambor motriz (5kgf), para los cual en la Figura 69 se puede verificar que dichos pesos solo influyen en el plano XY, por consiguiente, en la Figura 74 se indican las reacciones A_y y B_y así como el momento M_{xy} .

De la Ecuación 56 se sabe la fuerza a lo largo del punto T:

$$FT = Fr_T - W_T$$

Ecuación 56

Fuerza resultante a lo largo del punto

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$FT =$ Fuerza resultante a lo largo del punto T [N]

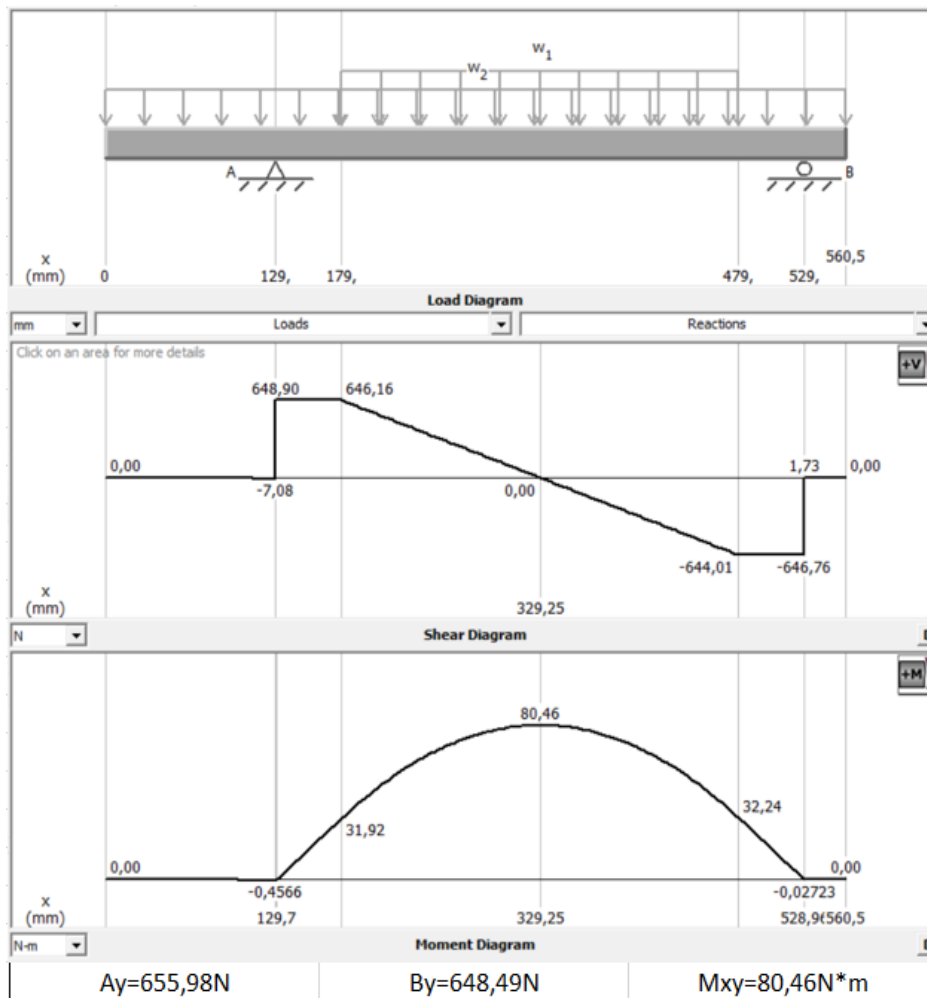
$Fr_T =$ Fuerza radial a lo largo del punto T [N]

$W_T =$ Peso de eje [N]

$$FT = 1322.76N - \left(5kg * 9.81 \frac{m}{s^2}\right) = 1273.71N$$

Figura 74

Diagrama de corte y momento plano XY



Nota. Tomado de (Educational Software MDSolids, 2021)

Sustituyendo dicho valor en la Ecuación 50, se obtiene:

$$M_T = \sqrt{(80.46 \text{ N} \cdot \text{m})^2 + (143.19 \text{ N} \cdot \text{m})^2} = 164.24 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con lo cual se evidencia que la variación en el momento total es inferior al 0.7%, y dado que el diámetro del eje nos brinda un factor de seguridad (mayor a 2) valor recomendado, se plantea despreciar tanto el peso del eje, así como del tambor motriz.

Para la correcta selección de los rodamientos se trabaja con la norma ISO 281 se formula la Ecuación 57, para una duración de vida nominal L_{10} .

$$\frac{L_D * n_D * 60}{1 * 10^6} = \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

Ecuación 57

Vida nominal

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

P = Carga radial dinámica equivalente [KN]

C = Capacidad de carga dinámica [KN]

L_{10} = Vida nominal [millones de ciclos]

n = Coeficiente de acuerdo al tipo de rodamiento

Se espera que la banda funcione una jornada de 8 horas diarias, por lo cual los rodamientos trabajarán 10.000 *hr* sin fallar, la microempresa De Carmita S.A. no tendrá que hacer un mantenimiento en al menos 3 años.

$$L_{10} = \frac{10.000 \text{ hr} * 21.25 \text{rpm} * 60}{1 * 10^6} = 12.75 \text{ millones de ciclos}$$

Para la carga radial dinámica equivalente se define la Ecuación 58, previamente de la Figura 74 se observa que el punto expuesto a mayor carga es el A, por lo cual:

$$P = (X * F_r + Y * F_a)$$

Ecuación 58

Factor de Carga radial dinámica equivalente

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

P = Carga radial dinámica equivalente [KN]

X = Factor de carga radial [adimensional] ver Anexo 4

$F_R = \text{Fuerza radial [KN]}$

$Y = \text{Factor de carga axial [adimensional] ver Anexo 4}$

$F_a = \text{Fuerza axial [KN]}$

$$P = 1 * \sqrt{(655.98N)^2 + (1145.54N)^2} + (0) * F_a = 1320N$$

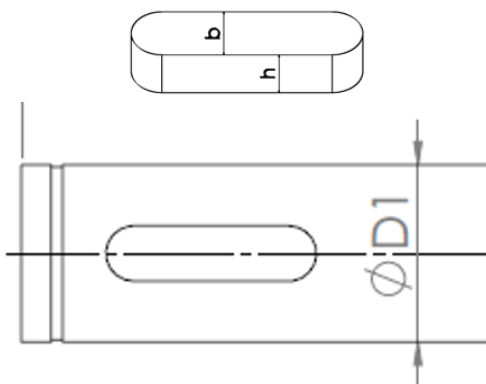
De la Ecuación 57 se despeja la capacidad de carga dinámica y con el diámetro nominal del eje se procede a seleccionar el rodamiento adecuado.

$$C = \sqrt[3]{12.75} * 1320N = 3.08KN$$

Con lo cual se selecciona un rodamiento de una hilera de bolas de contacto radial UC205G2, con tapas de protección tanto para el apoyo A y B, así como un cuerpo de soporte que garantice la capacidad de carga dinámica del rodamiento cuya chumacera corresponde a la serie F205, como se observa en la Figura 64 para el tambor de reenvío cuyo eje es de las mismas características, se opta por un rodamiento UC205G2 cuya chumacera corresponde a la serie T205 (ver Anexo 5).

Figura 75

Configuración de la chaveta.



Dada la Figura 75 el motoreductor transmite su potencia al eje a través de una chaveta, para la cual se utiliza un acero dulce (ASTM A36) cuya resistencia última a la

tracción sea menor que la del eje, de tal modo que si ocurre una sobrecarga tanto en el momento como en el torque esta actúe como fusible evitando daños en el mismo.

Las fallas presentes en la chaveta son por aplastamiento y cizallamiento con lo cual se definen las dimensiones de la misma cuya longitud no debe ser mayor a 1.5 veces el diámetro del eje.

Se define la Ecuación 59.

$$l_{Chmax} = 1.5 * D1$$

Ecuación 59

Longitud máxima permisible de la chaveta

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

l_{Chmax} = longitud máxima permisible de la chaveta [mm]

$D1$ = Diámetro de la sección 1 de eje [mm]

$$l_{Chmax} = 1.5 * (25.4mm) = 38.1 mm$$

Por lo tanto la fuerza tangencial presente se establece de la Ecuación 60.

$$F_{Tch} = \frac{2 * T}{D1}$$

Donde:

F_{Tch} = Fuerza tangencial en la chaveta [N]

T = Torque [N * m]

$D1$ = Diámetro del eje [mm]

$$F_{Tch} = \frac{2 * 99.09 N * m}{25.4 mm} = 7802.36 N$$

La falla por cizallamiento produce un esfuerzo cortante, para resistir a dicho esfuerzo se plantea la Ecuación 60 cuyos valores se toman en base a la norma DIN 6885 (ver Anexo 6).

$$\tau_{Ch} = \frac{F_{TCh}}{b * l}$$

Ecuación 60

Esfuerzo cortante en la chaveta

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

τ_{Ch} = Esfuerzo cortante en la chaveta [MPa]

F_{TCh} = Fuerza tangencial en la chaveta [N]

l = Longitud de la chaveta [mm]

b = Ancho de la chaveta [mm] ver Anexo 6

Por lo cual mediante la teoría de la energía de distorsión, la resistencia al cortante es $0.577 S_y$ y considerando un $F_s = 3$, se sustituye dichos valores en la Ecuación 60 dando así:

$$l = \frac{F_{TCh} * F_s}{b * S_{sy}}$$

$$l = \frac{7802.36 \text{ N} * 3}{8 \text{ mm} * (0.577 * 250 \text{ MPa})} = 20.28 \text{ mm}$$

La Ecuación 61 analiza la resistencia al esfuerzo por aplastamiento, se plantea la área como mitad de la cara de la chaveta.

$$\frac{S_y}{F_s} = \frac{2 * F_{TCh}}{h * l}$$

Ecuación 61

Resistencia mínima a la fluencia

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

S_y = Resistencia mínima a la fluencia [MPa]

F_{TCh} = Fuerza tangencial en la chaveta [N]

$l =$ Longitud de la chaveta [mm]

$F_s =$ Factor de seguridad de la chaveta

$h =$ Altura de la chaveta[mm]ver Anexo 6

De la Ecuación 61 se despeja L, dando así:

$$l = \frac{2 * 7802.36 \text{ N} * 3}{7\text{mm} * 250 \text{ MPa}} = 26.7\text{mm}$$

Con lo cual se define la chaveta y el chavetero (ver Tabla 39) con una longitud de 30 mm, lo cual es adecuado ya que no sobrepasa el límite permitido, así como, soporta el esfuerzo por aplastamiento, en cuyo caso es el más crítico y dominante.

Tabla 39

Chaveta y Chavetero norma DIN 6885

	Chaveta	Chavetero
Ancho	8mm	8mm
Altura	7mm	3.5mm
Longitud	30mm	30mm
Radio	4mm	4mm

Se procede como siguiente paso con el Diseño por Vibración de tal forma, que este evita que el eje entre en resonancia, ya que si la frecuencia de trabajo cae en el rango de resonancia ocurre un fallo, afectando principalmente a los elementos de soporte.

En base a la Ecuación 62 se deduce la carga total aplicada al eje, considerando el peso del tambor motriz ya que dicha deflexión ocurre en la misma sección.

$$C_E = T_{EM} + W_{eje} * L_{eje} + W_{tm}$$

Ecuación 62

Carga total aplicada

Nota. (Fuentes, 2017)

Donde:

$C_E = \text{Carga total aplicada [N]}$

$T_{EM} = \text{Tensión efectiva motriz [N] ver tabla 34}$

$W_{eje} = \text{Peso del eje [N]}$

$L_{eje} = \text{Longitud del eje [mm]}$

$W_{tm} = \text{Peso del tambor motriz [N]}$

$$C_E = 251.29N + \left(54.88 \frac{N}{m} * 560.5mm \right) + (48N) = 330.05N$$

La δ_{eje} se asume de la Ecuación 63.

$$\delta_{eje} = \frac{5 * C_E * (L_E)^3}{384 * E * I}$$

Ecuación 63

Deflexión del eje

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012))

Donde

$C_E = \text{Carga total en el eje [N]}$

$L_E = \text{Longitud de aplicacion de } C_E \text{ [mm]}$

$E = \text{Módulo de Young } \left[\frac{KN}{mm^2} \right]$

$I = \text{Momento de Inercia [mm}^4\text{]}$

$$\delta_{eje} = \frac{5 * 330.05 N * (300mm)^3}{384 * 187.5 \frac{KN}{mm^2} * \frac{\pi * (30mm)^4}{64}} = 0.015mm$$

Cuya frecuencia natural del eje se analiza de la Ecuación 64.

$$\omega_n = \sqrt{g * \frac{1000 * Weje * \delta eje}{Weje * (\delta eje)^2}}$$

Ecuación 64*Frecuencia natural**Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

 $\omega_n =$ *Frecuencia natural [rpm]* $Weje =$ *Peso del eje [N] ver ecuación 54* $\delta eje =$ *Deflexion del eje [mm]*

$$\omega_n = \sqrt{9.81 * \frac{1000 * 78.76N * 0.015mm}{78.76N * (0.015mm)^2}} = 7722.54rpm$$

Por lo cual el índice de resonancia es:

$$n_R = \frac{n_2}{\omega_n}$$

Ecuación 65*Índice de resonancia**Nota.* (Budynas & Nisbett, 2012)

Donde:

 $n_R =$ *Indice de resonancia [adimensional]* $n_2 =$ *velocidad de salida del reductor [rpm]* $\omega_n =$ *Frecuencia natutal [rpm]*

$$n_R = \frac{21.25 rpm}{7722.54 rpm} = 0.0027$$

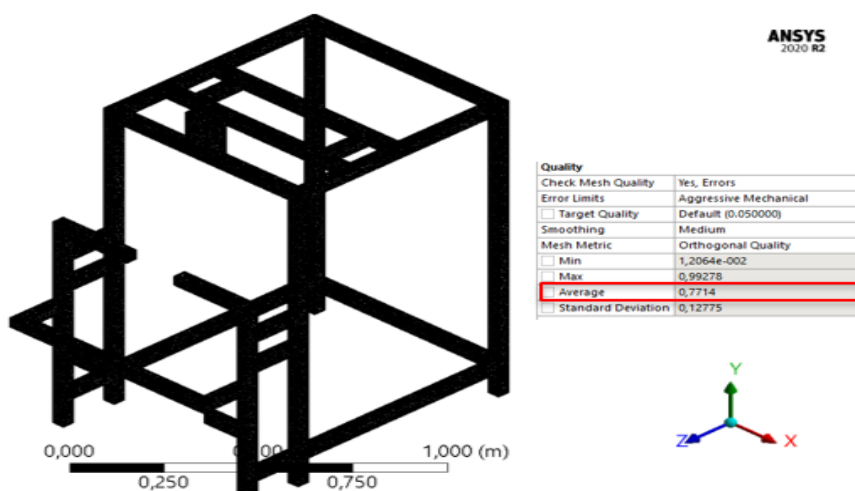
El eje no sobrepasa el límite adecuado para la deflexion (2.5mm) y dado que la velocidad de trabajo es sumamente lenta su índice de resonancia es inferior al rango (0.7 a 1.3) de falla por lo cual se garantiza que el eje no entra en resonancia.

5.3.15. Análisis Estructural de Todo el Cuerpo

En este punto se realiza una corrección de la geometría por medio de la herramienta de SpaceClaim perteneciente al software Ansys Academic, debido al número de elementos que existe, por consiguiente, se revisa los puntos de contacto para que no exista sobreposición de piezas, el siguiente paso es convertir toda la estructura en un solo cuerpo esto se lo realiza con la ayuda de las opciones Corregir, Modificar, Curvas, Solidificar y Ajustar respectivamente de acuerdo a las operaciones que necesite la geometría 3D. Se procede a realizar un mallado por defecto computacional para verificar errores posibles debido a la cantidad de elementos, de ser el caso que presente fallas el Post-procesamiento del mallado se retorna a la herramienta Space Claim y se repara caras faltantes, bordes extras, espacios de curvas, curvas duplicadas hasta obtener un mallado de parámetros Muy Bueno como es el caso de la Figura 76 de 0,7714 por Orthogonal Quality.

Figura 76

Mallado de todo el cuerpo

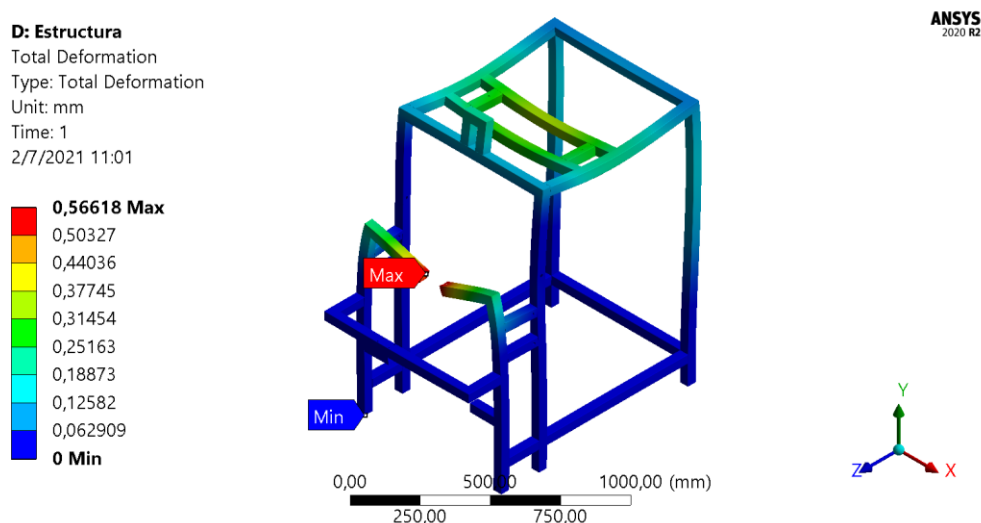


En la Figura 77, se observa que el cuerpo está sometido a esfuerzos de flexión, dado que sobre este actúa una carga de 300N en el área donde se ubica la tolva, y otra

fuerza de 300N en el sellador vertical, entonces se visualiza la deformación máxima en el punto de ajuste de la mordaza horizontal con un valor de 0,56618 mm en el eje Y negativo, este parámetro se comprueba con la Ecuación 17 respectiva a Deflexión, de tal forma por medio de cálculos matemáticos se comprueba que el valor de 1,6937 mm es mayor al calculado por medio de simulación asegurando la selección correcta del material acero inoxidable AISI 304.

Figura 77

Deformación de todo el cuerpo



$$\delta_r < [\delta]$$

$$\delta_r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

$$0,56618 \text{ mm} < \frac{1355}{800}$$

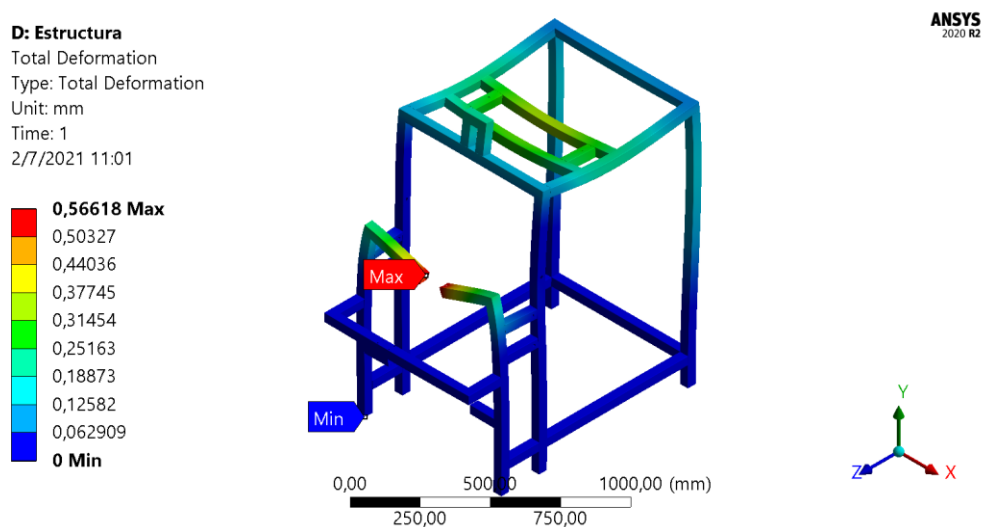
$$0,56618 \text{ mm} < 1,6937 \text{ mm}$$

Por medio del Teorema de Von Mises se comprueba el diseño estructural del cuerpo completo del proyecto, proporcionando información de fallo ya que es un

indicador de la correcta selección del material para este caso se seleccionó por medio de criterios ingenieriles y costos para obtener un margen de ganancia costo beneficio, entonces se escogió el acero inoxidable AISI 304 con una resistencia a la cadencia de 215 MPa, después de lo cual la simulación obtuvo una resolución de 109,33 Mpa (Ver Figura 78), entonces sobre todo se cumple el diseño y expectativas del cliente al garantizar que la estructura soportara el doble de esfuerzos en las áreas críticas de la máquina

Figura 78

Esfuerzos principales de Von Mises en todo el cuerpo



$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

$$109,33 < 0,66 \times 215$$

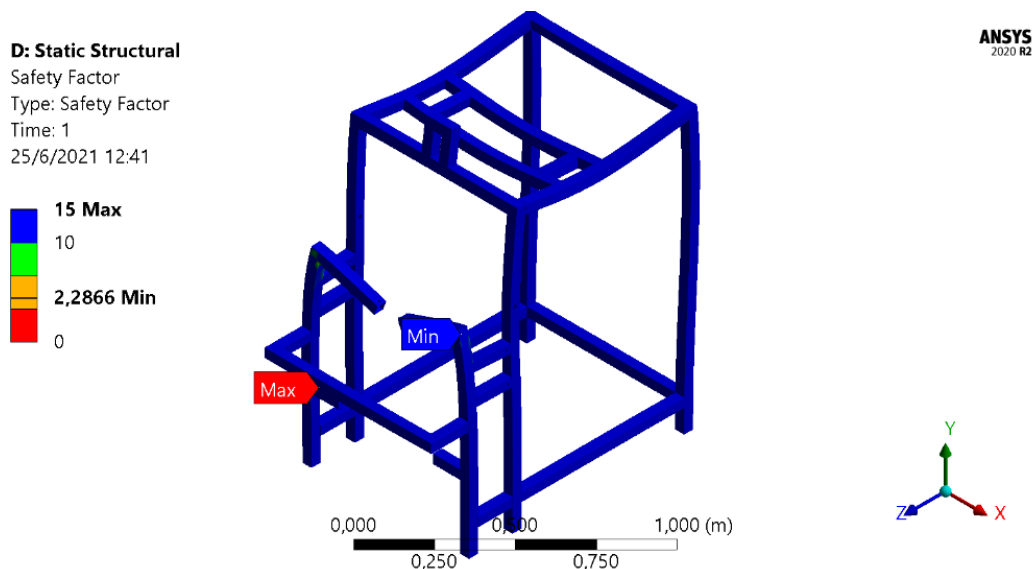
$$109,33 < 141,9$$

La cualidad más importante considerada en el proyecto es el factor de seguridad ya que este resulta de dividir el esfuerzo de falla por la carga permisible de esfuerzo, de tal forma se diseña para un valor mayor a 2, debido a que por cualquier motivo si este factor de seguridad es menor al valor planteado este provocara enormes pérdidas para

cualquier empresa e inclusive pérdida de vidas humanas. El valor calculado del factor de seguridad es de 2,2866. (Observar Figura 79).

Figura 79

Factor de seguridad de todo el cuerpo



5.4. Transferencia de Calor (Resistencia – Mordaza Horizontal)

La transferencia de energía para este caso; el calor es entre dos diferentes cuerpos que son, la resistencia eléctrica y la mordaza en virtud a la diferente temperatura de cada cuerpo ya que la resistencia posee una temperatura máxima de 118°C mientras que las mordazas se encuentran a temperatura ambiente 20°C, por lo cual estas mordazas son compuestas por aluminio endurecido 7075 ya que este material posee un alta conductividad en comparación a las diseñadas con materiales como acero inoxidable de tal forma se asegura calidad en el sellado.

Dado que la mordaza horizontal es un elemento 3D es obvio que en los límites de la geometría existe mallado para elementos 2D, con el propósito de facilitar las condiciones de contorno y nodos de malla, lo cual por medio de algoritmos se genera un

mallado Orthogonal Quality de buena calidad. Entonces la geometría evaluada presenta una calidad de mallado de 0,75767. (Observar Figura 80).

Figura 80

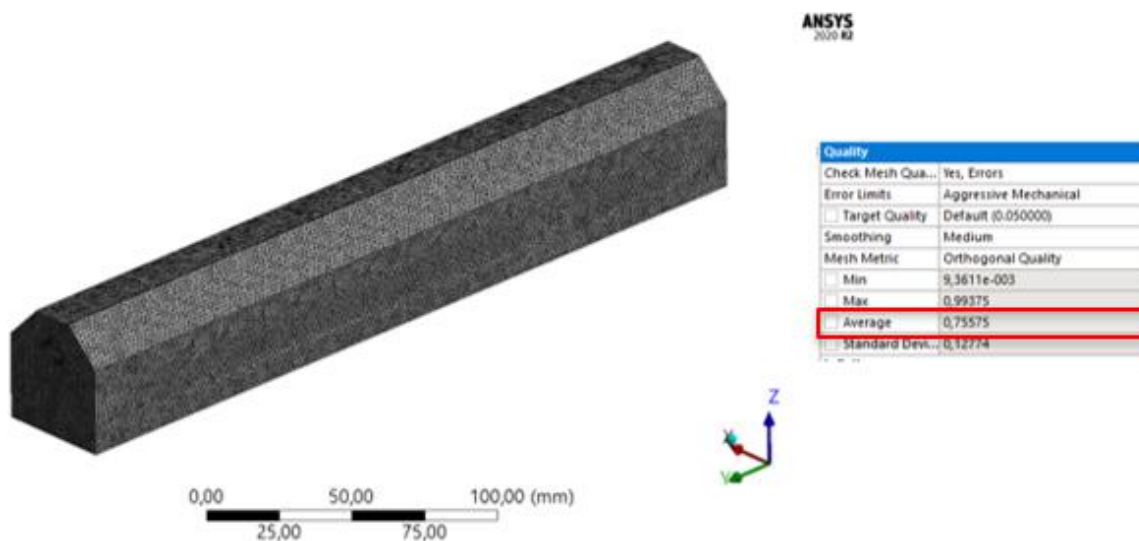
Mallado de mordaza horizontal



Para el caso de la geometría de mordaza vertical primero se realizó estudios de convergencia correcta de valores mínimos, máximo y promedio de nodos, entonces se obtuvo un valor de simulación de 0,75575. (Ver Figura 81).

Figura 81

Mallado de mordaza vertical



Se trata del método *más* sencillo empleado para el sellado de cuerpos formados de plásticos, el cual consiste en aplicar calor y presión durante un tiempo calculado sobre las geometrías de los dentados de las mordazas que son dentado truncado los cuales se consideró para el proyecto debido a sus grandes ventajas que parten desde el sellado con mayor fuerza, también evitan fugas de aire caliente, son de fácil control de temperatura y aminoran el desperdicio de lámina de plástico durante el proceso de sellado.

Por consiguiente, por medio de la simulación de elementos finitos con la herramienta de Steady-State Thermal, (Observar Figura 82, Figura 83 y Figura 84) se determinó la temperatura máxima permisible en las mordazas horizontales como verticales de 118,29 °C, valor dentro del rango permisible para el correcto sellado es de 118°C a 124°C.

Figura 82

Mallado de mordaza vertical

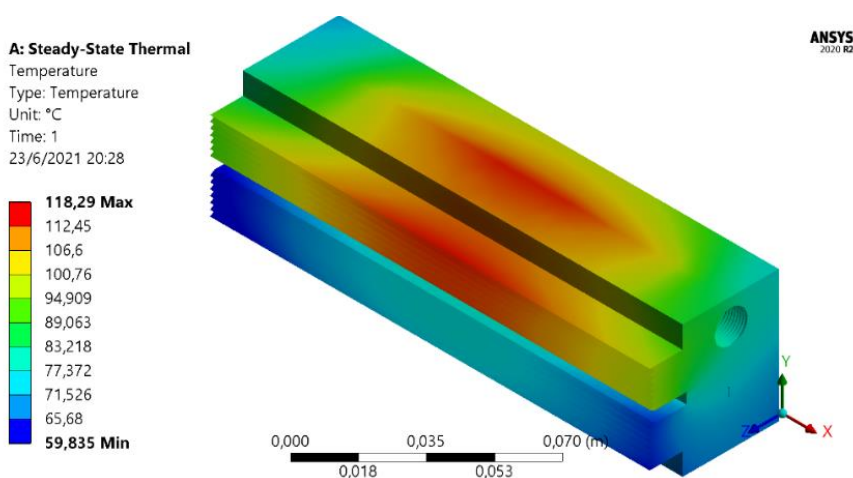
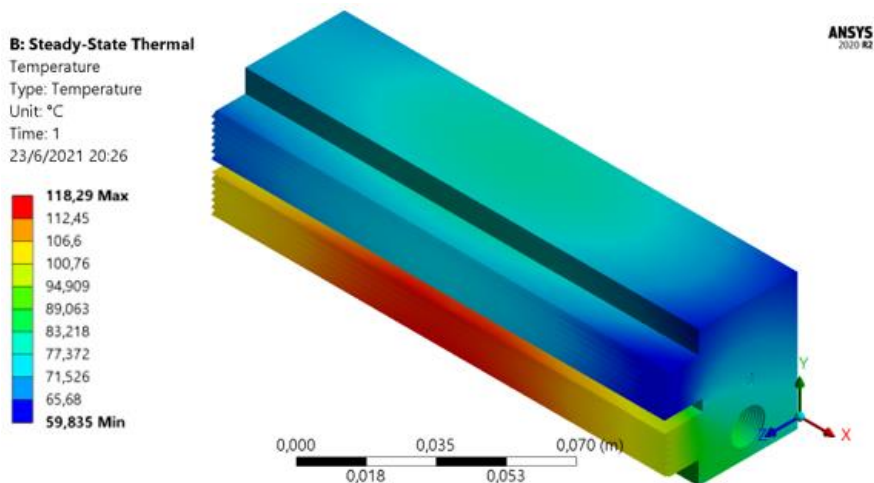
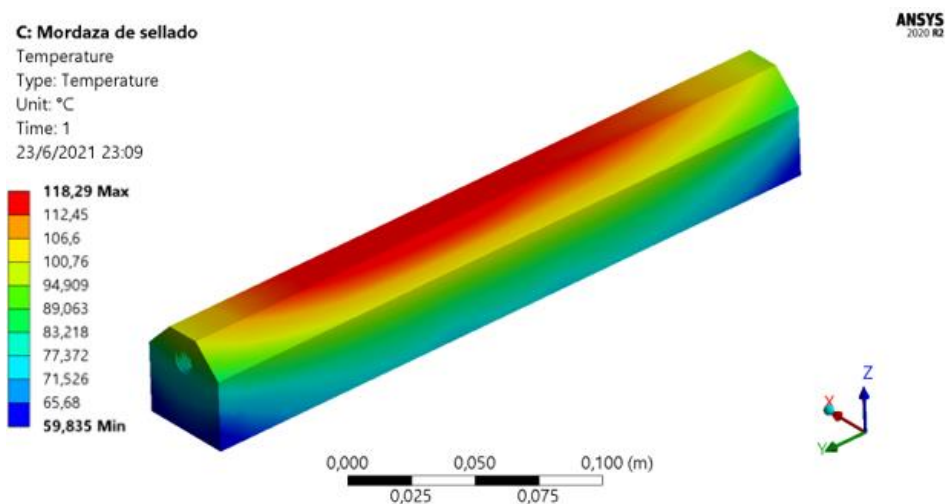
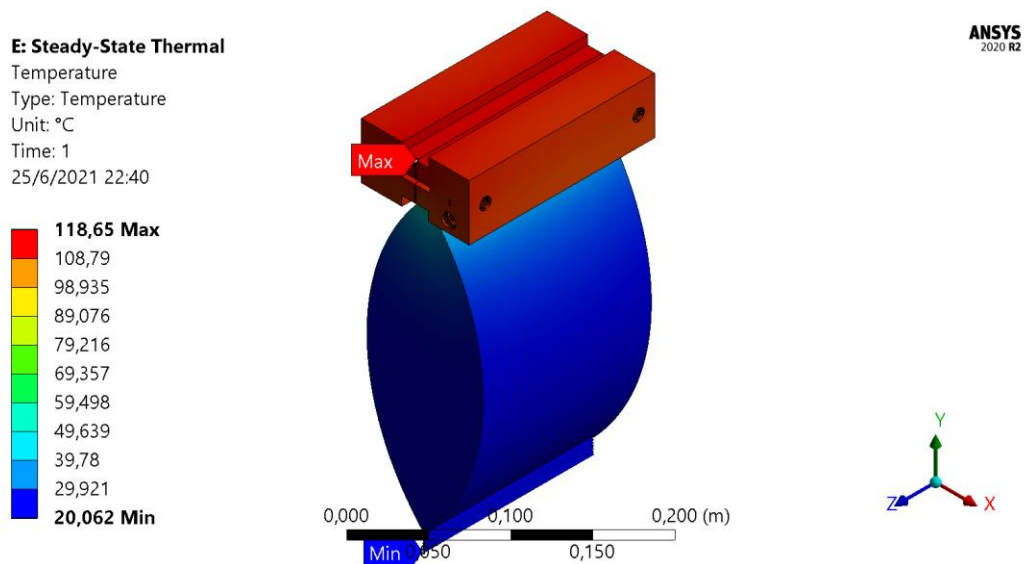


Figura 83*Mallado de mordaza vertical***Figura 84***Mallado de mordaza vertical*

Debido a la selección correcta de la geometría de las muelas de la mordaza se trasfiere el calor de la resistencia eléctrica tipo cartucho de 400 W a las muelas de la mordaza tipo dentado truncado y por consiguiente a la funda de propileno alcanzando la temperatura máxima alcanzada en el punto de unión de las dos mordazas es de en 118,65°C. (Observar Figura 85).

Figura 85

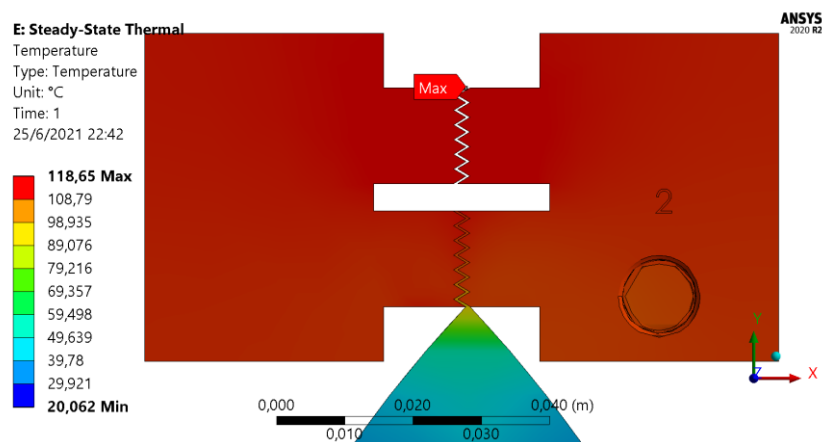
Transferencia de calor de mordaza horizontal a fundas de propileno



No obstante, el control de temperatura en el punto de ajuste que se encuentra seteado es a 120°C, y se lo realiza por controladores de temperatura digitales para que las mordazas se encuentren dentro del rango de 118°C a 124°C.

Figura 86

Transferencia de calor de mordaza horizontal a fundas de propileno



5.5. Análisis de Impacto de Mordazas Horizontales

Se realiza el siguiente análisis para considerar la falla de los sistemas neumáticos provocando la colisión entre los dos cuerpos de las mordazas, lo cual este parámetro se sustenta al costo de construcción de las mordazas de tal forma que se garantiza este escenario poco probable que se desarrolle.

5.5.1. Velocidad al Momento de Impacto

Por medio del movimiento rectilíneo uniformemente acelerador (MRUA), se calculará la velocidad final para este caso la de impacto, por consiguiente, por medio de mediciones con un cronometro se obtuvo que se demoraba un tiempo aproximado de 1 segundo en recorrer una distancia de 170 mm entonces:

$$v_f = v_o + at$$

$$d = v_o t + \frac{1}{2} at^2$$

Despejando aceleración se obtiene:

$$a = \frac{2d}{t^2}$$

$$a = \frac{2 \times 0,17m}{(1)^2}$$

$$a = 0,34 \frac{m}{s^2}$$

Después:

$$v_f = 0 + 0,34 \times 1$$

$$v_f = 0,34 \frac{m}{s}$$

Se determino una velocidad de $0,34 \frac{m}{s}$, antes de impacto equivalente a $34000 \frac{mm}{s}$, valor que es ingresado a la simulación de Explicit Dynamic. (ver

Figura 87)

Figura 87

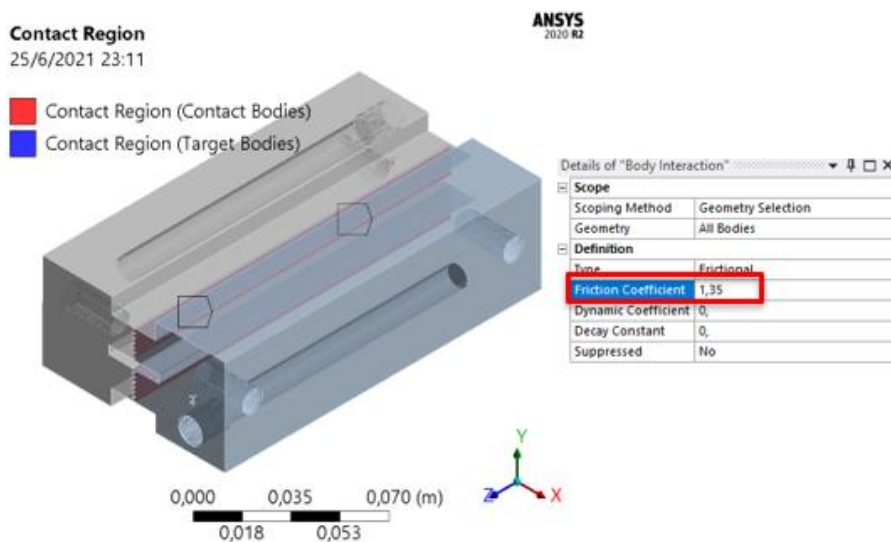
Velocidad antes de impacto

Details of "Velocity"	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Details of "Velocity" ▾ ▴ □ × </div> </div>	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> ▾ Scope </div> </div>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> ▾ Definition </div> </div>	
Type	Velocity
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	34000 mm/s (step applied)
Y Component	Free
Z Component	Free
Suppressed	No

La mecánica de contacto por fricción para el estudio del impacto entre mordazas se lo realiza considerando fuerzas de compresión y adhesión debido a que estas geometrías tienen contacto en más de un punto, entonces se selecciona el coeficiente de fricción de aluminio endurecido – aluminio endurecido sin lubricar de 1,35 (Observar Figura 88).

Figura 88

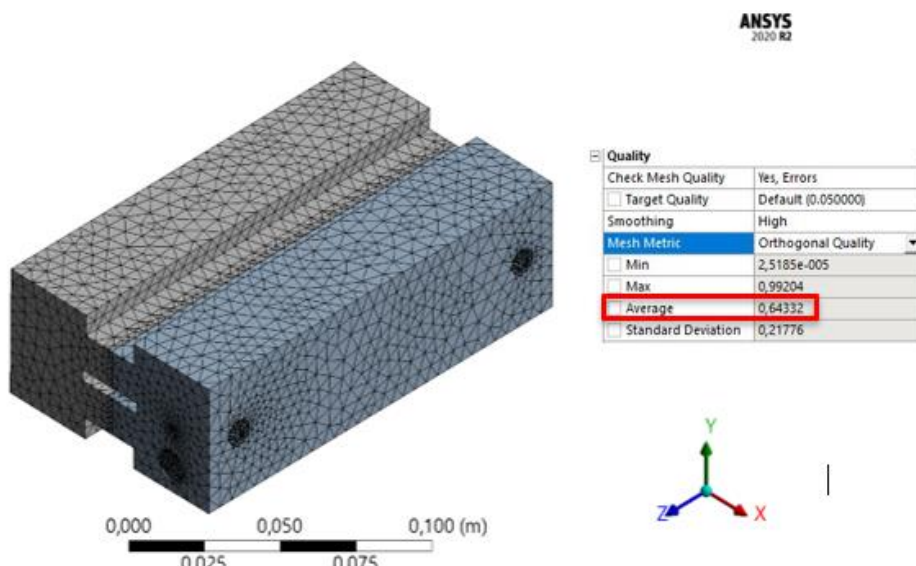
Coeficiente de fricción de aluminio endurecido



La calidad de mallado es un papel fundamental e importante ya que de este depende la exactitud de los cálculos numéricos, es por eso que se toma en cuenta las propiedades que son asociadas a la calidad en mallados Orthogonal Quality que son la densidad y distribución de nodos, relación del aspecto y suavidad de la geometría de tal forma se obtuvo un valor de 0,64332. (Observar Figura 89).

Figura 89

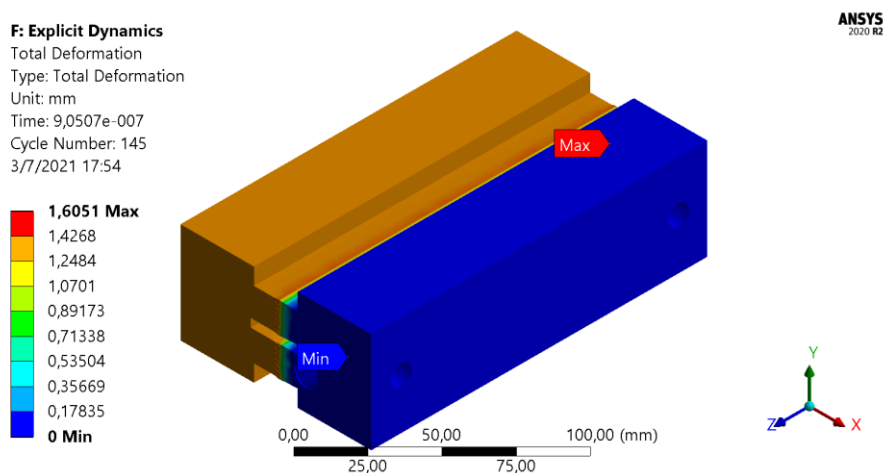
Mallado de mordazas horizontales



Los choques sobre los elementos mecánicos son eventos dinámicos de corta duración, pero de intensidad elevada es por esto que debido a su naturaleza producen importantes afectaciones a los elementos reduciendo considerablemente la vida útil, los impactos entre contactos de cuerpos producen posibles roturas entre los dientes de las mordazas provocando la distribución incorrecta de calor lo cual produce fallas en el sellado del polipropileno. Para la velocidad calculado de impacto de 0,34 m/s existe una deformación de 1,6051 mm (Observar Figura 90), valor considerable para producir pérdidas económicas debido al incorrecto sellado de fundas plásticas.

Figura 90

Deformación de mordazas horizontales a impacto



$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

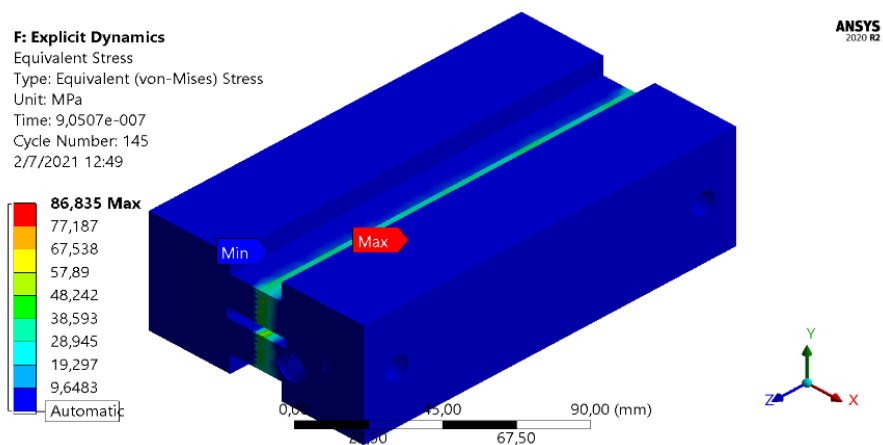
$$86,835 < 0,66 \times 276$$

$$86,835 < 182,16$$

En la Figura 91 se observa un esfuerzo principal de Von Mises de 86,835 Mpa, valor inferior al límite a la resistencia de fluencia de 276 MPa de la aleación templada de aluminio 7075.

Figura 91

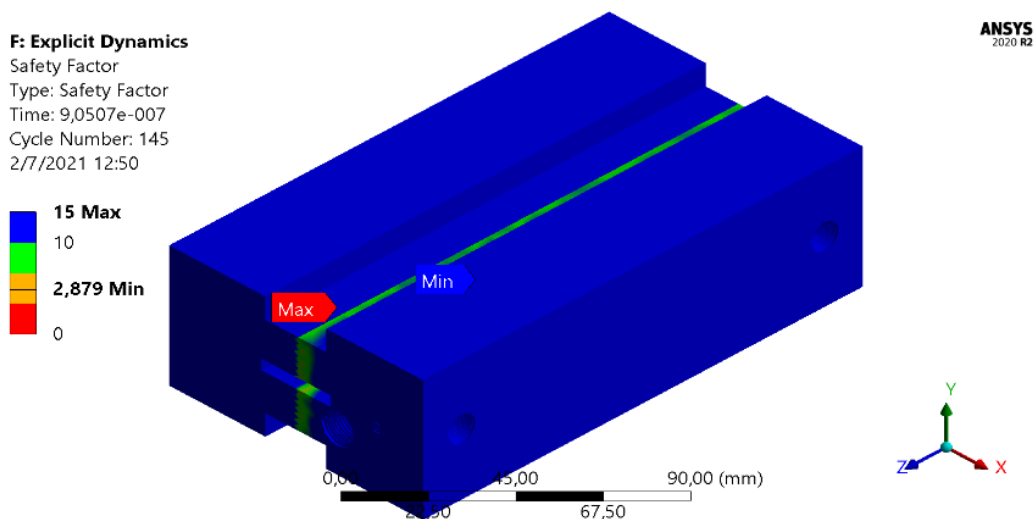
Esfuerzos principales de Von Mises en mordazas horizontales a impacto



Se obtuvo un factor de seguridad de 2,879 valor superior al considerado en diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas de 2,5 el cual asegura una confianza promedio en todos los datos de diseño.

Figura 92

Factor de seguridad de mordazas horizontales a impacto

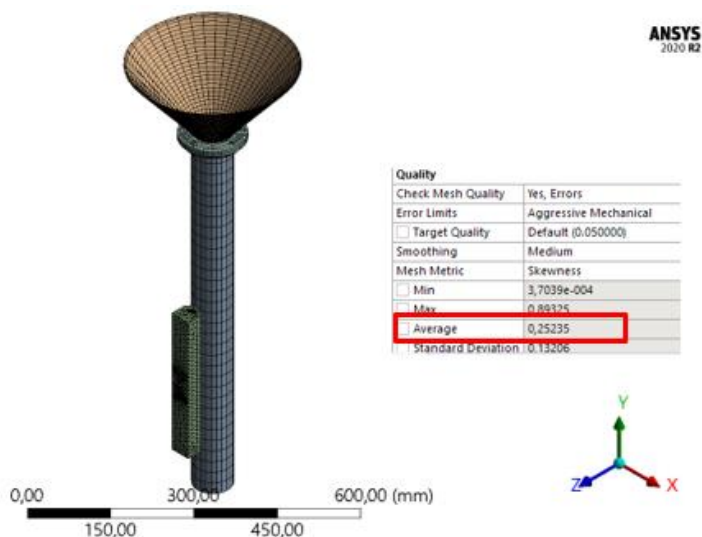


5.6. Análisis de Impacto de Mordaza Vertical

Cuando dos cuerpos están sujetos a contacto físico estos se atraerán por medio de diferentes mecanismo para este caso es por medio de pistones neumáticos, es por eso que existe fuerzas el uno sobre el otro, por consiguiente se analiza de cuán blandos o duros sean ambos materiales de los que están fabricados las mordazas (Aluminio Endurecido 7075) y verificar por medio de simulación hasta que cierto punto pueden deformarse ya que las fuerzas de contacto están distribuidas en un área pequeña esto nos indica que cuán importante es interpretar el comportamiento de los materiales para un diseño correcto.

Figura 93

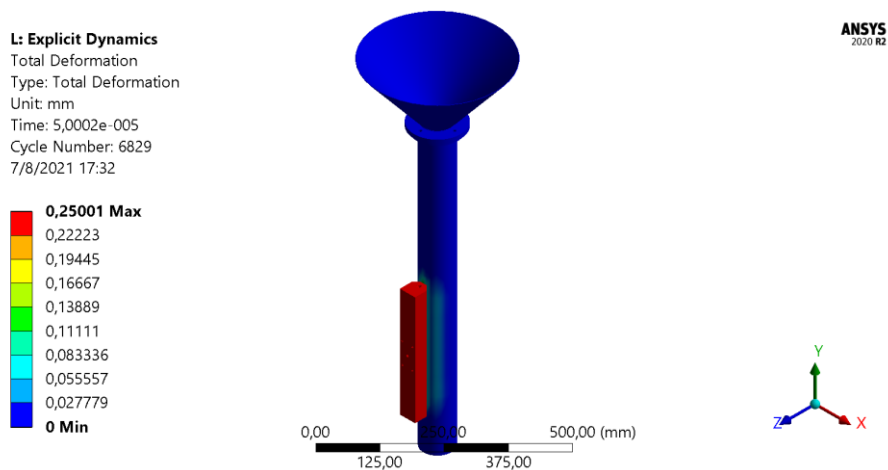
Mallado de mordazas verticales



En la Figura 93 se observa la calidad de mallado de 5555 dentro de los parámetros de la Tabla 13. Ya que en este caso se utilizó el método de Skewness, ya que al obtener diferentes tipos de mallado dentro de un proyecto de diseño mecánico garantiza credibilidad de métodos de numéricos computacionales realizados ya que ambos métodos convergen en un resultado dentro de los límites de bordes.

Figura 94

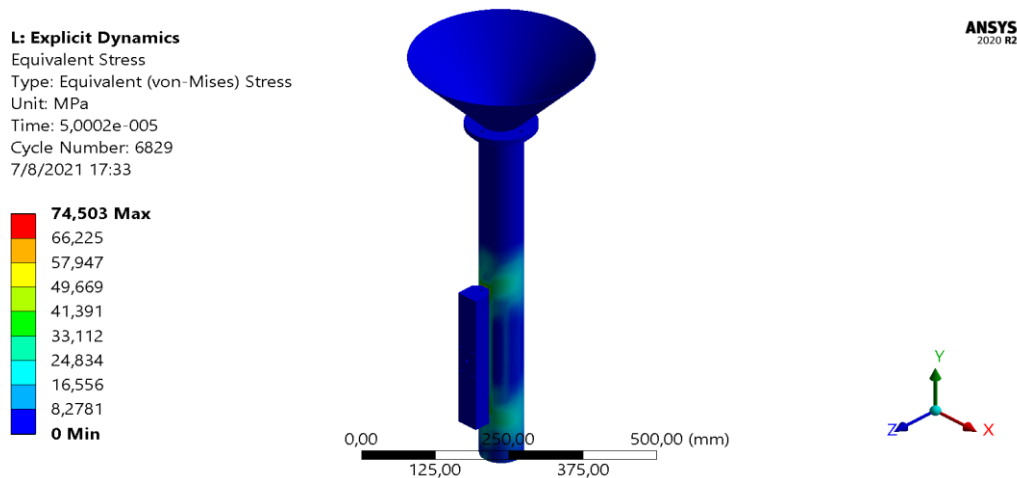
Deformación de mordazas verticales a impacto



Para este caso en la Figura 94 se observa una deformación de 0,25001 mm, un valor aceptable, esto es debido a la correcta selección de materiales y al análisis de esfuerzos en los puntos a considerar en las mordazas verticales ya que todas las superficies de los materiales tienen irregularidades en diferentes escalas dentro de un mismo cuerpo es por esto que en la mecánica de materiales al deslizarse una superficie sobre otra estas interactúan y como resultado se visualiza que estas irregularidades interactúan y dan como resultados fuerzas que se oponen al movimiento, que no es más que fricción para este caso considerado de 1,35 sin lubricar entre aluminio templado - aluminio templado.

Figura 95

Esfuerzos principales de Von Mises en mordazas verticales a impacto



$$\sigma_{real} < \sigma_d = 0.66S_y$$

$$74,503 < 0,66 \times 276$$

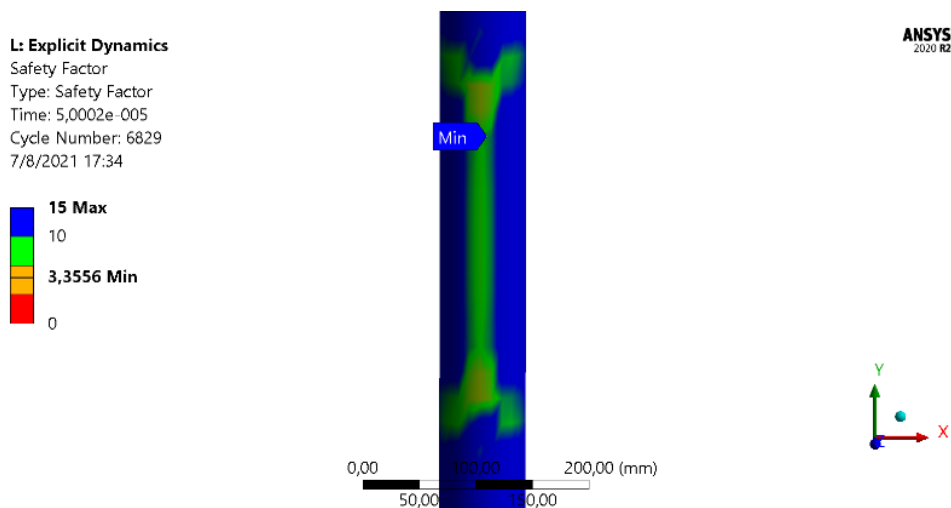
$$74,503 < 182,16$$

En la Figura 95 se observa un esfuerzo principal de Von Mises de 74,503 Mpa, valor inferior al límite a la resistencia de fluencia de 276 MPa de la aleación templada de aluminio 7075, esto es debido a que se simuló como actuarían las mordazas en la vida

de trabajo de la máquina, por consiguiente en este material influyen condiciones como acabado superficial, propiedades materiales de la superficie, propiedades químicas de la superficie, y cargas y condiciones de contorno.

Figura 96

Factor de seguridad de mordazas verticales a impacto



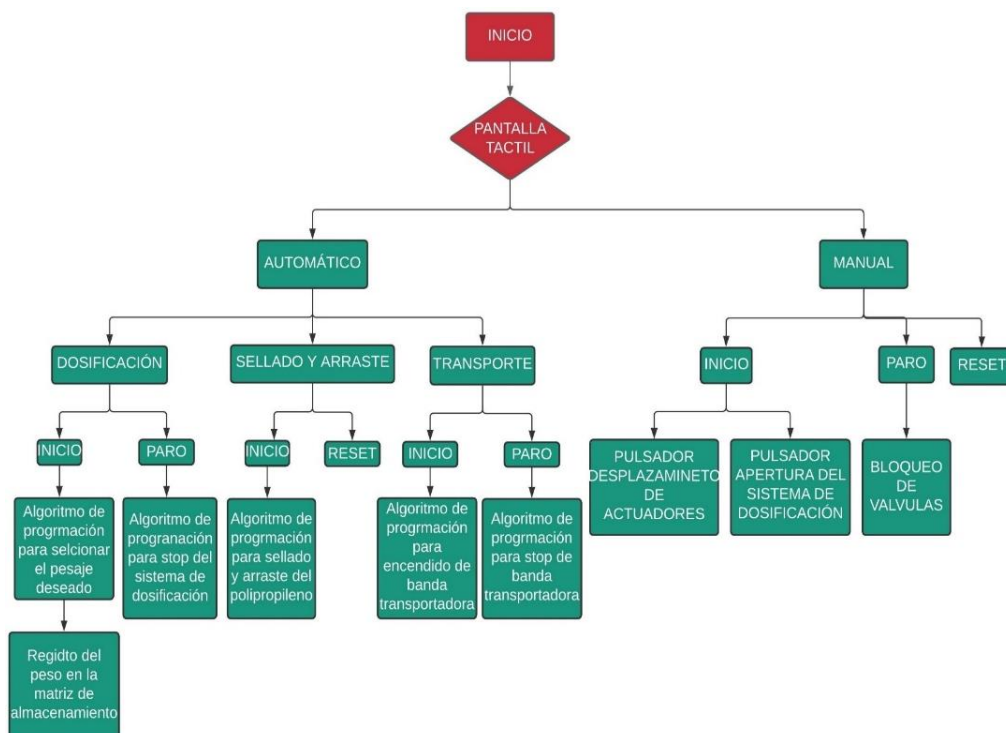
En la Figura 96 se determina un factor de calidad de 3,3556 esto nos indica que las mordazas resistirán un impacto de 3 veces al diseñado valor dictaminado en la Tabla 11, lo cual garantiza que no existe falla en los elementos diseñados y construidos para la empresa de Carmita S.A

5.7. Flujoograma de Algoritmo de la Pantalla HMI

En la interface HMI implementa por medio de una pantalla se presentan dos métodos de funcionamiento sean estos manual o automático. El proceso manual consta de botones, los cuales permiten el desplazamiento de actuadores que forman parte del sello del polipropileno y la activación del sistema de dosificación. Para el proceso automático existen dos funciones, una de dosificación para la selección del peso y otra para realizar el proceso de sellado. En esta interfaz gráfica, se presenta el monitoreo de la producción total realizada. (ver Figura 97).

Figura 97

Algoritmo de la pantalla táctil

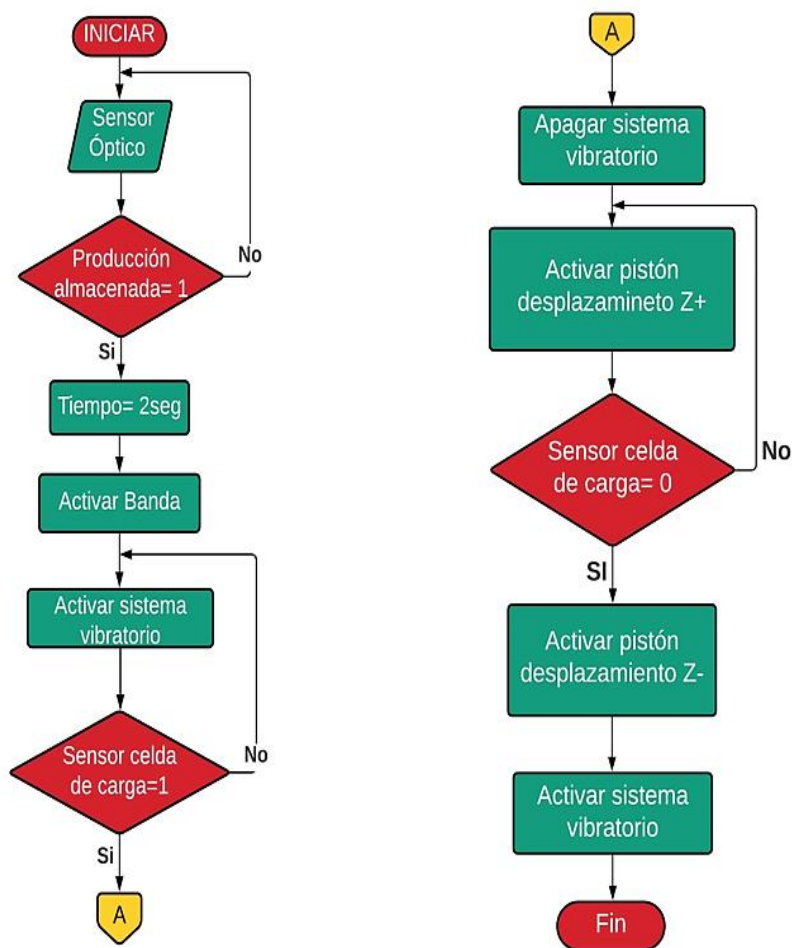


5.8. Flujograma de Algoritmo de Dosificación del Producto

Para el proceso de dosificación del producto a empacar, parte de la identificación si existe producto en la tolva a través de un sensor óptico, al cabo de dos segundos la banda transportadora inicia su recorrido, seguidamente inicia el proceso de dosificación a través del encendido del sistema de vibración que lleva el producto hasta la celda de carga la cual censa la cantidad establecida, se procede a pagar el sistema vibratorio y se activa el pistón Z para su descarga, si el objeto no salió de la zona de carga, el pistón Z se desplazará hasta conseguir la apertura total de la tolva de pesaje, para así finalizar con el proceso de dosificación. (ver Figura 98).

Figura 98

Algoritmo de dosificación del producto.



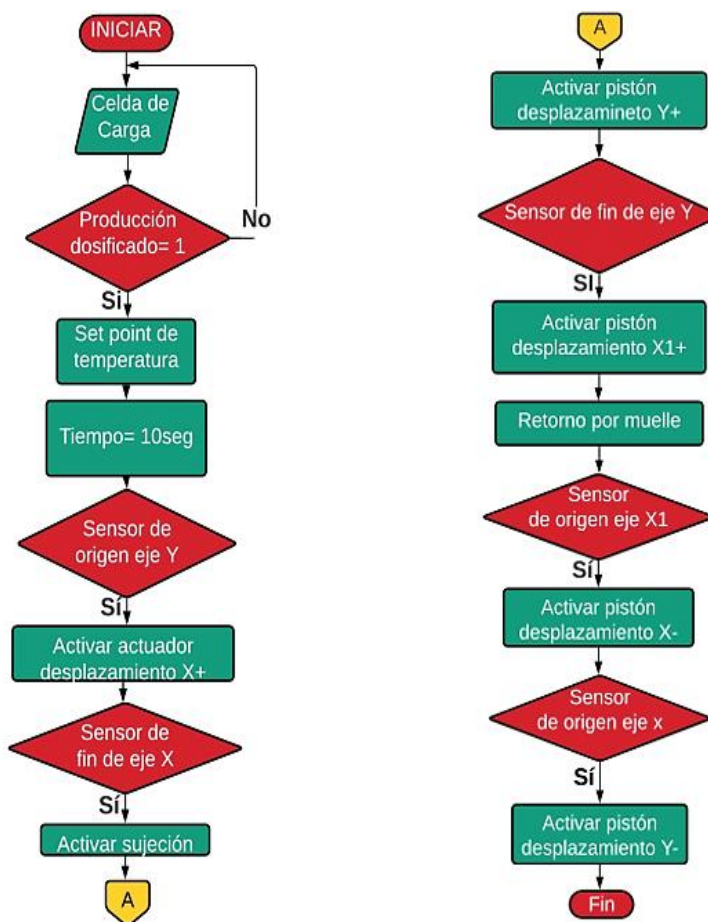
5.9. Flujograma de Algoritmo de Sellado y Arrastre

Para el proceso de sellado se debe cumplir la condición de que el producto este previamente dosificado, a continuación, el operador selecciona la temperatura de las mordazas a través del termostato REX-C100 estableciendo el set point en la pantalla. Una vez seleccionado la temperatura se debe esperar 10 segundos para la transferencia de calor a las mordazas de sellado, seguidamente los actuadores se desplazan hasta la posición de sellado X, se activa la sujeción y seguidamente el pistón Y se desplaza completamente para realizar el arrastre de polipropileno. Posteriormente

el cilindro X_1 realiza el corte del polipropileno y los actuadores regresan a la posición de origen para realizar nuevamente el sellado vertical, en la zona de descarga existe un sensor óptico de presencia que identifica si el producto llegó a la zona establecida para llevar a cabo el registro de la cantidad de producción. (ver Figura 99).

Figura 99

Algoritmo de sellado y arrastre.



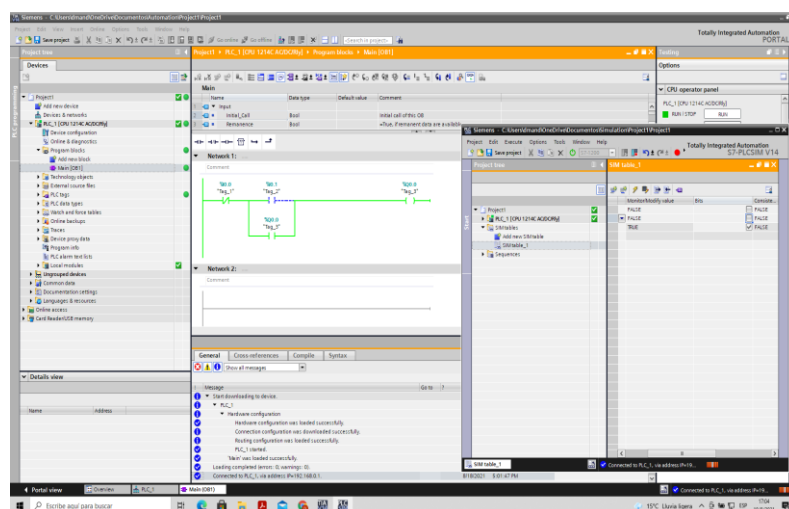
5.10. Programación S7 1200

Primero se inicia creando el proyecto después se trabaja con el modelo de PLC S7 -12001214 DC/AC/relé y se crea un bloque de programa configurado como Main OB1, en el cual se programa en forma estructura en funciones, bloques de funciones y al final todas las instancias utilizadas en esta programación se las ejecuta por medio

del Main en función del lenguaje que se utiliza para programar para este caso en COD Diagrama de contactos por otro lado existen lenguajes de programación de AWL y SCL para esta caso la interfaz gráfica es diferente donde existe operaciones lógicas con bit diferentes al lenguaje COD, por otro lado, se debe considerar la lógica binaria y puertas lógicas, direcciones de memoria que nos permiten realizar el programa, orden de ejecución del programa, simulación y tablas de observación, variables y tipos de datos, saltos automáticos en las direcciones afín de realizar una programación correcta. Una vez terminado la programación se procede a realizar simulaciones para observar si cumple con el proceso de la máquina de empaquetado de snack, activación de mordazas, pistones control de temperatura, por derechos de empresa De Carmita S.A, no se detalla el proceso de la simulación de los respectivos pasos.

Figura 100

Ejecución de pruebas de programación



5.11. Pruebas de Funcionamiento

Culminada la construcción de dicha máquina, se verifica su adecuado funcionamiento, para lo cual se analiza cada proceso individual, así como también en su

forma global. Teniendo como objetivo identificar cualquier error existente y establecer una solución para un correcto funcionamiento.

Verificar la adecuada velocidad de los rodillos de arrastre de la envoltura, así como la adecuada conformación de la envoltura a través del cuello formador, verificar el set point para una adecuada transferencia de temperatura a la envoltura, además de comprobar la velocidad mínima necesaria de la banda transportadora.

Personal a cargo

- De Carmita S.A.
- Andrés Soria
- Jefferson Cruz

Para verificar el correcto funcionamiento de la Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips Fritos se realizan las siguientes actividades:

Encender la máquina y verificar el set point de los controladores de temperatura Rex-C 100, seleccionar a través del HMI la cantidad del producto para la dosificación a adecuada a través de la galga extensiométrica, verificar la correcta posición del polietileno a través de los rodillos guía, lo que permite la formación adecuada de la envoltura. Para aprobar dicha prueba de funcionamiento los chips fritos deben avance en el transportador hasta el lugar deseado. Ver Figura 101.

Figura 101

Pruebas de funcionamiento de la banda.



La aprobación de la Máquina Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips fritos se lo realiza a través de un check list realizado por la microempresa De Carmita S.A. (ver Tabla 40)

Tabla 40

Check list de la Empacadora, Selladora y Transportadora de Chips fritos

Requerimientos	Aprobación
Encendido/ Apagado	Cumple
Guía y formación de la envoltura de polietileno	Cumple
Almacenamiento y dosificación del producto	Cumple
Apertura y cierre de pistones neumáticos	Cumple
Correcta transferencia de temperatura en las mordaza vertical y horizontal	No cumple
Correcta velocidad del motorreductor	Cumple
Líneas guías impiden el desbordamiento del producto	Cumple
Correcta velocidad de arrastre del polietileno	No cumple

En las pruebas realizadas se puede observar que no existe problema con la formación de la envoltura a través del cuello formador, no obstante, se verifico que los

tiempos de cierre y apertura de los cilindros son muy rápidos con lo cual se pudo verificar lo siguiente:

El sellado del polietileno no se realiza de una manera adecuada debido a que el tiempo de sellado es muy rápido lo cual no permite el aporte adecuado de calor a la envoltura.

El arrastre del polietileno no se realiza adecuadamente debido a que el ducto conductor se encuentra desnivelado, lo que impide la correcta adherencia de los rodillos de arrastre.

Correcciones

Implementar reguladores de presión en la entrada de aire a los cilindros lo que permite regular su velocidad, además de implementar un timer en la programación del PLC lo que permite dar más tiempo de transferencia de calor al polietileno.

Se realizó la desmontada del cuello formador para permitir realizar un refrentado del ducto formador lo que permite una correcta sujeción a la base del cuello formador permitiendo un arrastre adecuado de la envoltura. (ver Figura 102)

Figura 102

Correcciones del Ducto del Cuello Formador



Capítulo 6

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se determinó que la metodología de ingeniería concurrente contribuye al prototipo del mecanismo de proceso de almacenamiento, empaclado y sellado de los chips fritos ya que cambia la filosofía del concepto del ciclo de vida y la contribución entre departamentos multidisciplinarios ya que aportan un diseño para la calidad, diseño para la fabricación y montaje los cuales consideran al cliente y sus necesidades como prioridad para que el profesional aporte con soluciones innovadoras como reducción de conteo de piezas, ahorro energético en producción, relación hombre máquina de manera que estos puntos otorgan durabilidad al producto como valor agregado a la investigación científica.

Se realizó un diseño mecánico del prototipo de mecanismo, de forma que se analizó diagramas de cuerpo libre, momentos flectores máximos de los componentes como ejes, tolva, mordazas, por otro lado también, se efectuó simulaciones de tipo estructural, térmico e impacto para determinar las deformaciones máximas, esfuerzos principales de Von Mises y factores de seguridad por medio de la versión académica del software ANSYS, todo esto para garantizar que la máquina trabajará a condiciones normales como de sobre esfuerzo por errores de los operadores, afín de que la máquina no presente fallas o rupturas en componentes los cuales posteriormente afectarán a la calidad de sellado como asepsia del producto ya que esta última está considerada dentro de las normas INEN del Ecuador.

Se verificó que para la implementación de los rodamientos y demás piezas móviles de la estructura se debe realizar un trabajo de refrentado para evitar desequilibrio en las guías y formados de la envoltura, así como tener un adecuado

acabado en el paso de los dientes de las mordazas de sellado horizontal para evitar contaminación en el producto terminado.

Se llevo a efecto una minuciosa selección de los elementos electrónicos a implementarse en el proyecto los cuales están diseñados bajo los parámetros de intensidad como voltaje para evitar cortocircuitos afectando al ciclo de producción, es por esto que se trabaja con el modelo de PLC S7 -1200 1214 DC/AC/relé, el cual realiza el dominio de las entradas y salidas del mismo, para controlar el setpoint de las mordazas a una temperatura de 118°C para el sellado de las fundas, también el control de los pistones para evitar impactos de las mordazas afectando a la geometría de las muelas, acabados superficiales y esfuerzos en los elementos de sujeción, la programación se realizó implementando fundamentos de programación para una correcta lógica de programación en lenguaje COD como lógica binaria, dirección de memorias, un orden de ejecución del programa, posteriormente se comprobó por medio de simulación de tablas de observación las variables y tipos de datos declarados, lo cual se concluye que la programación es correcta al cumplir los parámetros establecidos.

Se implementó una interfaz Máquina- Humano (HMI) para facilitar el proceso de control de empacado, sellado del producto para tener un control exacto de la cantidad de peso enfundado como la cantidad de producción en la jornada laboral todo esto a fin de colocar la marca en el mercado del país con una relación de precio calidad accesible para el consumidor final.

Finalmente se efectuó pruebas de funcionamiento donde se realizó corrección de la programación ajustes de calibración de sensores de temperatura y la parte del sistema neumático, y se concluye que la máquina trabaja en óptimas condiciones ya que las pruebas se realizaron excediendo su capacidad máxima para prevenir errores de operación como sobreproducción.

6.2. Recomendaciones

Realizar reuniones con el cliente para obtener un diseño conceptual de las necesidades que tiene con el propósito de aportar con soluciones innovadoras dentro de las normas establecidas en el país para salvaguardar la salud del consumidor al ser un mecanismo que se implementará en el sector de alimentación.

Considerar calidad de mallas en las simulaciones para obtener valores de deformación, esfuerzos principales de Von Mises y factor de seguridad más acercados a la realidad.

Realizar la selección de materiales y componentes de catálogos de productos de venta en el país a fin de evitar paga de impuestos como sobre precios que aumenta el costo de la máquina.

Bibliografía

- Aguirre, G. (2018). Sistema de dosificación para una máquina empacadora de snacks [Universidad Técnica del Norte]. In *Universidad Técnica del Norte*.
[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7979/1/04 MEC 213 TRABAJO DE GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7979/1/04_MEC_213_TRABAJO_DE_GRADO.pdf)
- Alvarado, F. E. (2016). *PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Alvarez. (2012). *La banda transportadora*. https://www.slideshare.net/slufh3r/la-banda-transportadora?from_action=save Retrieved July 30, 2020
- Andrade, D. (2021). *Implementación de la Ingeniería Concurrente para el Diseño de un Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK en Luminarias de Alumbrado Público de Acuerdo a la Norma IEC 60068-2-75 para el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador*.
- Antamba, C. (2018). *SISTEMA DE SELLADO HORIZONTAL Y VERTICAL DE FUNDA PARA UNA MÁQUINA EMPACADORA DE SNACKS*.
- ARCSA. (2016). *Normativa Técnica Sanitaria Para Alimentos Procesados*. 7–24.
www.lexis.com.ec Retrieved July 21, 2020
- Arian Control & Instrumentation. (2013). Tipos de termocupla. *Arian S.A Santiago de Chile*, 10. <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf> Retrieved July 16, 2020
- Aula21. (2020). *Modbus: Qué es y cómo funciona | Comunicaciones Industriales*.
<https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/> Retrieved August 20, 2020
- Basantes, N. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA MEJORAR EL TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE*

FRITURAS DE PAPA. In *Universidad Para Las Fuerzas Armadas Innovacion Para La Exelencia* (Vol. 1).

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15636/T-ESPEL-MEC-0160.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Retrieved May 7, 2020

BIRT LH. (2017). *Accionamiento. PSAFM02.- Tecnología neumática.*

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/PSAFM/PSAFM02/es_PPFM_PSAFM02_Contenidos/website_211_accionamiento.html Retrieved April 30, 2020

Bonfiglioli. (2018). *Serie VF-W Reductores de tornillo sinfín IE2-IE3* (p. 48).

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.*

Buitrago, G. V., López, A. P., Coronado, A. P., & Osorno, F. L. (2004). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 102–110.

<https://doi.org/10.1590/s1415-43662004000100015> Retrieved August 9, 2020

Burkert. (2015). *ELECTROVÁLVULA 5/2 VÍAS NEUMÁTICA.*

<https://www.burkert.es/es/products/sistemas-neumáticos-e-interfaces-de-proceso/válvulas-neumáticas/válvulas-de-5-2-vias/156827> Retrieved August 14, 2020

Camsmark. (2018). *Código. 74-12 Termocupla tipo K .*

<http://camsmark.com/producto/código-74-12-termocupla-tipo-k/> Retrieved June 30, 2020

Capellan. (2017). *Rodacaribe S.R.L.* <https://rodacaribe.com/> Retrieved July 28, 2020

Carbonell, J., Esteve, M., & Frígola, A. (2014). Snacks de patatas fritas y productos derivados, estudio de mercado. Aceptación en una alimentación saludable. *Undefined.*

Chiorino S.p.A. (2015). *Bandas transportadoras y correas de transmisión* (p. 6).

- Cruz, M. (2019, April 24). *Válvula 5/2 accionada neumáticamente, cilindro de doble efecto y una válvula "AND".* | *makinando*.
<https://makinandovelez.wordpress.com/2019/04/24/válvula-5-2-accionada-neumáticamente-cilindro-de-doble-efecto-y-una-válvula-and/> Retrieved July 6, 2020
- Dani177. (2014, March 3). *Polímeros fichas técnicas*.
<https://es.slideshare.net/Dani177/polmeros-fichas-técnicas> Retrieved August 30, 2020,
- Espinosa. (2020). *Celdas de Carga* . <https://espinosapaez.com/product/celdas-de-carga/>
 Retrieved August 23, 2020
- Eurotransis. (2018). *¿Dónde podemos utilizar bandas transportadoras?* .
<https://eurotransis.com/donde-podemos-utilizar-bandas-transportadoras/> Retrieved August 30, 2020
- FERREKASA. (2017). *COMPRESOR DE AIRE LUBRICADO DE 50 LTS, PRETUL* .
<https://ferrekasa.com.mx/products/compresor-de-aire-lubricado-de-50-lts-pretul>
 Retrieved September 18, 2020
- Festo. (2012). *Cilindro normalizado DSBC | Festo Mexico*. Retrieved February 28, 2021
https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/18669.htm Retrieved January 3, 2021
- Festo. (2015). *Fundamentos de Electroneumática*.
- Fluideco. (2018, April 17). *¿Qué aportan los sistemas de dosificación a la industria alimentaria?* - *Fluideco*. <https://fluideco.com/que-aportan-los-sistemas-de-dosificacion-a-la-industria-alimentaria/> Retrieved May 19, 2021
- Fuentes, A. (2017a). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA, CON BRAZO CLASIFICADOR, PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL EMPAQUETADO DE TOALLAS SANITARIAS, PARA LA EMPRESA CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA J.W. - CEMAIN." In *Universidad*

de las Fuerzas Armadas ESPE (Vol. 1).

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13628>

Fuentes, A. (2017b). TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA, CON BRAZO CLASIFICADOR, PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL EMPAQUETADO DE TOALLAS SANITARIAS, PARA LA EMPRESA CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA J.W. - CEMAIN.” In *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

HBM. (2017). *Célula de carga PW6D para pesaje extremadamente rápido* | .

<https://www.hbm.com/es/3028/celula-de-carga-monoplato-pw6d/> Retrieved April 27, 2021

HBM. (2020). *Célula de carga digital para básculas de control FIT7A* .

<https://www.hbm.com/es/4468/fit7a-célula-de-cargadigital-para-básculas-de-control-y-maquinaria-de-clasificación-y-ensado/> Retrieved July 31, 2021

Herrera, E., & Lumbres, R. (2018). Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico – neumático controlado por un PLC para fundas de arroz. In *Repositorio Institucional - USS*.

<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4414#.X9DKIH66lvU.mendeley>

Hidráulica y Neumática S.A. (2019). *UNIDADES DE MANTENIMIENTO FRL* .

<http://www.hnsa.com.co/unidades-de-mantenimiento-frl/> Retrieved April 16, 2021

INEN. (2014). REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 100

“MATERIALES Y ARTÍCULOS PLÁSTICOS DESTINADOS A ESTAR EN CONTACTO CON LOS ALIMENTOS.” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Ingeniería Mecafenix. (2018). *¿Qué es y para qué sirve un PLC?* .

<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/que-es-un-plc/> Retrieved June 3,

2021

- INTOR. (2016). *Manufacturing Solutions*. <http://www.intor.com.ar/clasificación-de-válvulas-neumáticas-direccionales/> Retrieved July 23, 2021
- Ipower. (2018). *Kit Pirómetro Digital Rex-c100 Control De Temperatura SSR40A* .
<http://ipowerelectronics.com/temperatura/2542-kit-pirometro-digital-rex-c100-control-de-temperatura-ssr40aa.html>
- IrtaGroup. (n.d.). *Tubos Formadores | Máquinas de Envasado Vertical*. Retrieved July 25, 2021, from <https://irtagroup.com/accesorios-packaging/tubos-formadores/>
- Iza, M., & Medina, A. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A.*
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6535/1/T-ESPE-047102.pdf>
- Kampa. (2018). *Regulador de temperatura Rex-C100 - China Kampa Electric*.
<https://es.china-kampa.com/rkc-temperature-controller/temperature-controller-rex-c100> Retrieved March 12, 2021
- Kinco. (2012). *Kinco Human-machine Interface MT4230T*.
- Logicbus. (2019). *Tu Sitio De Automatización*. <https://www.logicbus.com.mx/index.php>
Retrieved March 5, 2021
- Logicbus. (2020). *Acondicionador de señal para termopares SG-3016*.
https://tienda.logicbus.com.mx/SG-3016_p_13382.html Retrieved April 4, 2021
- Mantilla, J. (2018). *Sistema de formado, guiado y arrastre de funda para una máquina empaquetadora de snacks*.
[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7978/1/04 MEC 214 TRABAJO DE GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7978/1/04_MEC_214_TRABAJO_DE_GRADO.pdf)
- Mecalux. (2021). *Soluciones de almacenamiento*. <https://www.mecalux.com.co/>

Retrieved April 19, 2021

MecatrónicaLATAM. (2018). *Sensor magnético* .

<https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/sensores/sensor-magnético/>

Retrieved may 23, 2021

Morales, E. (2010). Diseño y construcción de un dosificador y empacador de producto

alimenticio molido y seco de 50 gr. *Mecatrónica.Espe.Edu.Ec*, 108.

<http://mecatronica.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2012/07/DISEÑO-Y-CONSTRUCCIÓN-DE-UNA-MÁQUINA-DOSIFICADORA-Y-EMPACADORA-CONTROLADA-POR-PLC-PARA-LA-LÍNEA-DE-PRODUCCIÓN-DE-SNACKS-DE-LA-EMPRESA-ECUAMEX-SA.-de-Mauricio-y-Ale.docx>

Moreno, E. (2010). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPACADORA, DOSIFICADORA Y*

SELLADORA DE FUNDAS PARA ARROZ. <http://bibdigital.epn.edu.ec/CA18E256-D7F0-4E94-83A8-B2EB46FEEE7A/FinalDownload/DownloadId-606A47300A809DB6A0D1347FD75055DB/CA18E256-D7F0-4E94-83A8-B2EB46FEEE7A/bitstream/15000/1287/1/CD-2667.pdf>

Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de Máquinas* (Pearson Educación (ed.); 4 ed).

Prentice Hall México.

National Technical International Service. (1975). *Mechanical Properties of Structural*

Grades of Beryllium at High Strain Rates. October.

Nelco Sistemas. (2018). *Conexiones Neumáticas métricas y estándar* .

<http://nelco.com.mx/conexiones-neumáticas/> Retrieved May 14, 2021

NKS. (2020). *Aceros Inoxidable 304 y 304L - NKS*. <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-304/>

Retrieved May 27, 2021

Nor Rubber. (n.d.). *Bandas Transportadora*.

- NSF Internacional. (2002). *Materiales de equipo de alimentación Standard*. 23.
- Orellana, L., & Balladares, A. (2018). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESO DE EMPAQUE DE SNACKS EN LA PLANTA ALIMENTOS YUPI ECUADOR UTILIZANDO AUTÓMATAS PROGRAMABLES*.
- Peralta, K. (2019, July 18). *Unidad de mantenimiento FRL: ¿Qué importancia tiene para las industrias y cuáles son sus aportes? | Process Control Supply*.
<https://processcontrol.com.ve/2019/07/18/unidad-de-mantenimiento-frl-que-importancia-tiene-para-las-industrias-y-cuales-son-sus-aportes/>
- Petitti, E. (2015). *Unidades de Mantenimiento FRL*.
<https://emilianopetitti.wixsite.com/blog/single-post/2014/07/14/Unidades-de-Mantenimiento-FRL> Retrieved April 23, 2021
- Pinto, C., & Durán, H. (2006). *Diseño, Modelamiento Y Simulación De Máquina Dosificadora De Alimento Granulado Para Animales*.
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16483/00781358.pdf?sequence=1>
- Plasticbages. (n.d.). *Tablas con las características técnicas y propiedades del polipropileno en formato de barras y placas* . Retrieved July 25, 2021, from <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspolipropileno.html>
- Pneumatics. (2012). *Accionamiento de las válvulas distribuidoras « SISTEMAS NEUMÁTICOS*. <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/accionamiento-de-las-valvulas-distribuidoras/> Retrieved April 12, 2021
- PrototipadoLAB. (2018, May 5). *¿Qué es un sensor? Tipos y diferencias* .
<https://prototipadolab.com/2018/05/05/que-son-los-sensores/> Retrieved May 15, 2021
- Quintana, J. (2007). *Análisis y Diseño de Empaques Flexibles Laminados para envasar*

alimentos.

Robert L. Mott, P. E. (2004). *Dieño de elementos de máquinas*. In Pearson (Ed.), 944 (Vol. 4).

Rodríguez, H. (2016). *Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras*.

Rome Co Industrial. (2018). *4V220-08 Electroválvula neumática 5/2 Puertos 1/4"* .

<https://www.romecoindustrial.com/producto/electroválvula-neumática-4v220-08/>

Retrieved May 3, 2021

Romel Co Industrial. (2018). *Conexión neumática | Racor neumático | Catálogo, tipos y*

usos. [https://www.romecoindustrial.com/2018/04/24/conexión-neumática-racor-](https://www.romecoindustrial.com/2018/04/24/conexión-neumática-racor-neumático/)

[neumático/](https://www.romecoindustrial.com/2018/04/24/conexión-neumática-racor-neumático/) Retrieved May 12, 2021

Sanmartín, D. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SELLADORA TÉRMICA EN LÍNEA DE FUNDAS CIERRA-FÁCIL PARA LA EMPRESA TERRAFÉRTIL S.A.*

Sensing. (2019). *TA4/2 Analogue Transmitter*. 2–3.

Seyermir. (2018, July 30). *Diferencia entre Polietileno y Polipropileno* .

<http://seyermir.com/diferencia-entre-polietileno-y-polipropileno/>

Siemens. (2018). *SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*.

Siemens. (2019). *SIMATIC S7-1200 | Controladores SIMATIC |* .

[https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-](https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html)

[1200.html](https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html) Retrieved May 6, 2021

SMC. (2020). *D-Z73/Z76/Z80, Reed Switch, Direct Mounting, Grommet*.

[https://www.smc.eu/en-eu/products/d-z73-z76-z80-reed-switch-direct-mounting-](https://www.smc.eu/en-eu/products/d-z73-z76-z80-reed-switch-direct-mounting-grommet-75486-cfg)

[grommet-75486-cfg](https://www.smc.eu/en-eu/products/d-z73-z76-z80-reed-switch-direct-mounting-grommet-75486-cfg) Retrieved May 20, 2021

Tecnosa. (n.d.). *Dosificadoras gravimétricas por pérdida de peso* . Retrieved July 25,

2021, from [https://tecnosa.es/catálogo/alimentación/gericke-alim/dosificadoras-](https://tecnosa.es/catálogo/alimentación/gericke-alim/dosificadoras-gravimétricas-por-pérdida-de-peso/)

[gravimétricas-por-pérdida-de-peso/](https://tecnosa.es/catálogo/alimentación/gericke-alim/dosificadoras-gravimétricas-por-pérdida-de-peso/) Retrieved June 4, 2021

The Food Tech. (2021). *BOPP, el film preferido para envases flexibles* .

<https://thefoodtech.com/historico/bopp-el-film-preferido-para-envases-flexibles-2/>

Retrieved June 10, 2021

Vasco, J., Lucas, J., Dumar, V., & Cuellar, L. (2011). Evaluación De Los Parámetros De

Calidad Durante La Fritura De Rebanadas De Papa Criolla. *Scientia Et Technica*,

XVI(48), 299–304. <https://doi.org/10.22517/23447214.1317>

Velastegui, A. D. (2015). *INGENIERÍA CONCEPTUAL BÁSICA Y DE DETALLE PARA*

LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y SELLADORA DE

FIDEOS CORTOS EN PAQUETES DOYPACK, EN LA EMPRESA “PASTIFICIO

CHIMBORAZO”. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Virginia, A. (1983). *Compressed Air & Vacuum Systems - Google Libros*.

<https://books.google.com.ec/books?id=Rdp9RaRjcNsC&printsec=frontcover&authu>

[ser=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Rdp9RaRjcNsC&printsec=frontcover&authu), Retrieved June 26, 2021

WEG. (2020). *W22 Motor Eléctrico Monofásico* (p. 7).

WEG. (2021). *Sensores Magnéticos* .

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-Máquinas-y-Sensores->

[Industriales/Sensores-Industriales/Sensores-Magnéticos/Sensores-](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-Máquinas-y-Sensores-)

[Magnéticos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_MAGNETIC_SENSORS](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-Máquinas-y-Sensores-) Retrieved

July 4, 2021

Weidmüller. (2020). *1020000000 WDU 2.5 | Catálogo de productos* .

<https://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=es&ObjectID=102000000>

[0](https://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=es&ObjectID=102000000) Retrieved July 10, 2021

WikiHow. (n.d.). *Cómo calcular el porcentaje de error: 7 Pasos*. Retrieved July 31, 2021,

from <https://es.wikihow.com/calcular-el-porcentaje-de-error>

Wojtech, M. (n.d.). *CALOR: Mejorando La Calidad y Consistencia del Sello* . Retrieved

July 25, 2021, from <https://p3solutionsblog.com/es/calor-mejorando-calidad-de-sello-y-uniformidad/>

YAZIO. (n.d.). *Chips de patata: calorías y valor nutricional* . Retrieved July 25, 2021, from <https://www.yazio.com/es/alimentos/chips-de-patata.html>

Yepes, V. (2019). *Empuje de tierras, ¿mejor Coulomb o Rankine? - El blog de Víctor Yepes*. Universidad Politécnica de Valencia Retrieved July 31, 2021.

ANEXOS