



Diseño construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Guamán Basantes, Dennis Sebastián y Guzmán Cualchi, Edwin Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero
Mecatrónica

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro

23 de febrero del 2024

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis_Guaman_Guzman_final.docx

Scan details

Scan time:
February 15th, 2024 at 20:16 UTC

Total Pages:
109

Total Words:
27001

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	3.4%	919
Minor Changes	1.6%	443
Paraphrased	3.8%	1025
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	4.4%	1199
Human text	95.6%	25802

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (70)

- Читать онлайн «Neumatica e hidráulica», Antoni Creus Solé – Литрес, с...** **1%**
<https://www.litres.ru/book/antoni-creus-sole/neumatica-e-hidraulica-66714841/chitat-onlayn/page-5/>
 ЛитРес Найти Пожалуйста, введите три или более символа Войти 6 Знаете ли вы, что... Присоединяясь к ЛитРес, вы заботитесь ...
-
- 015- TTG - DISEÑO DE UN LABORATORIO DE NEUMATICA E HIDRAULICA PA...** **0.8%**
<https://es.studenta.com/content/132715071/015-ttg-diseno-de-un-laboratorio-de-neumatica-e-hidraulica-par...>
 Yovany Gaona
 Logo Studenta Iniciar sesión Volver Compartir Ver el material completo 015- TTG - DISEÑO DE UN LABORATORIO DE NEUMATICA E HIDRAUL...
-
- UNIVERSIDAD VERACRUZANA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCT...** **0.6%**
<https://docplayer.es/23008779-universidad-veracruzana-facultad-de-ingenieria-mecanica-electrica-cd-mendo...>
 Iniciar la sesión ...

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C. C. 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: "Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha" fue realizado por los señores Guamán Basantes, Dennis Sebastián y Guzmán Cualchi, Edwin Alexander; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 de febrero del 2024

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C. C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Guamán Basantes, Dennis Sebastián**, con cédula de ciudadanía n°1719777987 y **Guzmán Cualchi, Edwin Alexander**, con cédula de ciudadanía n°1725114399 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 21 de febrero del 2024

Guamán Basantes, Dennis Sebastián

C.C.: 1719777987

Guzmán Cualchi, Edwin Alexander

C.C.: 1725114399



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Guamán Basantes, Dennis Sebastián**, con cédula de ciudadanía n°1719777987 y **Guzmán Cualchi, Edwin Alexander**, con cédula de ciudadanía n°1725114399, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.**

Latacunga, 21 de febrero del 2024

Guamán Basantes, Dennis Sebastián
C.C.: 1719777987

Guzmán Cualchi, Edwin Alexander
C.C.: 1725114399

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi querida y amorosa madre, María del Carmen Basantes, cuyo sacrificio y apoyo incondicional han sido esenciales para culminar esta larga, estrecha, difícil e inolvidable etapa de mi vida.

Mi madre ha sido y será mi mayor inspiración por todo lo que ha logrado. Desde una infancia difícil, donde muchos creían que no llegaría lejos, ella superó todas las adversidades y se convirtió en la primera profesional de su familia. Su perseverancia, alegría y comprensión son la luz que guía mi camino.

Sin su constante ánimo y su capacidad para encontrar la alegría en los momentos más difíciles, no estaría aquí, culminando mi trabajo de titulación.

Ella es la persona que me ha visto en mis peores momentos y ha sabido llenar mi vida de esperanza y felicidad.

Finalmente, quiero dedicar unas palabras llenas de gratitud al amor de mi vida, Anita. Su sonrisa resplandeciente y su espíritu alegre han sido mi fuente de inspiración constante, alentándome a seguir adelante en los momentos más desafiantes. Su presencia ilumina mi camino y me brinda la confianza necesaria para enfrentar cualquier obstáculo. Anita es mi faro, mi apoyo incondicional, y le agradezco infinitamente por ser mi fuente de motivación y alegría

Guamán Basantes, Dennis Sebastián

Dedicatoria

A mi madre, María Janeth Cualchi, Cada página de esta tesis lleva impreso el amor, el sacrificio y la fortaleza que ustedes me han enseñado desde el primer día. Sus palabras de aliento fueron mi combustible en los momentos de duda, su apoyo incondicional mi mayor motivación. Todo lo que soy y todo lo que he logrado, lo debo a su amor infinito.

A mis queridos amigos y familiares, vuestra presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable. Cada palabra de aliento, cada gesto de ánimo, ha hecho posible este camino. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por acompañarme en las alegrías y en las penas.

A mi abuelita, María Santos Gualavisi, su sabiduría e historias han sido una fuente inagotable de inspiración. Tu amor incondicional y tu fe en mí han sido mi roca en los momentos de duda y confusión.

Por último, a mí mismo, por los sacrificios, las horas de estudio, los momentos de incertidumbre y los instantes de júbilo. Esta tesis es el testimonio de mi perseverancia, mi pasión y mi compromiso con el conocimiento y el crecimiento personal.

Gracias a todos los que han sido parte de este viaje. Su impacto perdurará más allá de estas páginas.

Guzmán Cualchi, Edwin Alexander

Agradecimiento

Agradezco a mi Madre ya que, de una manera u otra, ha creído en mi esfuerzo constante para lograr atravesar las adversidades de la vida, incluso cuando yo dudaba de mí mismo.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional y por creer en mí. Este logro no habría sido posible sin su ayuda y aliento constante.

A mis amigos que, con sus ocurrencias, alegría, apoyo, ánimo y comprensión durante esta etapa de mi vida. Sus gestos de amistad, y los Momentos de distracción fueron esenciales para mantenerme enfocado y motivado en alcanzar mis metas.

A mis dos mejores amigas, Majo y Paula, quienes son como mis hermanas. Sin ustedes, no habría podido atravesar esos momentos en los que me sentía perdido. Majo, tu cariño y carisma han sido un faro en los momentos más difíciles, recordándome que todo es posible. Paula, tu seriedad equilibrada con alegría me ha demostrado que cualquier obstáculo puede ser superado.

A Anita C., mi fuente de alegría. Cada vez que tocabas mi ventana, mi corazón se llenaba de entusiasmo. Tu sonrisa iluminaba mis días y tu presencia a mi lado me hacía desear que el tiempo se detuviera. Gracias por cada momento compartido y por ser una parte tan especial de mi vida."

Guamán Basantes, Dennis Sebastián

Agradecimiento

A Dios por la fortaleza diaria que me da y la oportunidad de ser mejor cada día, al plantearme retos para mejorar.

A mi Madre que a pesar de las circunstancias siempre ha estado presente, apoyándome en mis decisiones.

A mi Padre por ser siempre quien me anima a ser mejor y por su apoyo incondicional a pensar de la distancia siempre ha estado presente.

A mi Naty por expresarme su amor incondicional, por ser mi confidente, mi mejor amiga, mi compañera, por inspirarme y motivarme a siempre dar el cien por ciento, sin ella a mi lado las motivaciones se habrían perdido desde el primer día.

A mis hermanos, por siempre estar pendientes de como poder ayudarme y motivarme.

A mi familia y amigos por ser siempre quienes se mantuvieron cerca para sostenerme y darme ese empujón necesario para volver a intentarlo y seguir creciendo.

A Martin por hacer que este trabajo de titulación sea más llevadero

Gracias a todos desde lo más profundo de mi corazón.

Guzmán Cualchi, Edwin Alexander

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Auditoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	20
Índice de tablas	25
Resumen.....	27
Abstract.....	28
Capítulo I: Generalidades	29
Introducción	29
Antecedentes	29
<i>Antecedentes de la industria del calzado y su historia</i>	<i>29</i>
<i>Máquinas de calzado.....</i>	<i>30</i>
Planteamiento del problema	33
Descripción resumida del proyecto.....	34

Justificación, Importancia y Alcance	37
Objetivos	39
<i>Objetivo general</i>	39
<i>Objetivos específicos</i>	39
Hipótesis	39
VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	40
<i>Variable Independiente</i>	40
<i>Variable Dependiente</i>	40
Capítulo II: Fundamentación teórica	41
Calzado industrial	41
<i>Orígenes del Calzado Industrial</i>	41
<i>Evolución del calzado de seguridad</i>	41
<i>Definición de horma de calzado</i>	41
<i>Definición de plantillas de calzado</i>	41
<i>Definición de plantilla de kevlar de calzado</i>	42
<i>Definición de calzado industrial</i>	42
<i>Características del calzado industrial</i>	42
Fabricación de botas militares.....	43
<i>Botas militares</i>	43
<i>Proceso de elaboración de botas militares</i>	44
Máquinas de grapado manual.....	45

<i>Grapadora manual</i>	45
<i>Máquina grapadora neumática</i>	46
<i>Máquina de grapado eléctrica</i>	47
<i>Máquina para fijar plantillas</i>	47
Automática	48
<i>Automatización industrial</i>	48
<i>Procesos de automatización industrial</i>	48
Neumática	49
<i>Aire comprimido</i>	49
<i>Compresor</i>	49
<i>Principales tipos de compresores</i>	50
<i>Desplazamiento positivo</i>	50
<i>Dinámicos</i>	51
<i>Unidad de mantenimiento</i>	51
<i>Actuadores neumáticos</i>	52
<i>Partes de un cilindro neumático</i>	52
<i>Cilindros de simple efecto</i>	53
<i>Cilindros doble efecto</i>	54
<i>Cilindros sin vástago</i>	55
<i>Cilindro de doble vástago</i>	56
<i>Cilindros de impacto</i>	56

Válvulas.....	57
Válvulas de distribución o de vías	57
Vías y tipos de conexiones.....	58
Características de las válvulas según la función.....	59
Válvulas antirretornos.....	60
Válvulas de presión.....	61
Válvula limitadora de presión.....	61
Válvula de secuencia	62
Regulador de caudal o estrangulador.....	62
Regulador de caudal unidireccional y bidireccional.....	62
Sensores	63
Sensores de posición del cilindro.....	63
Finales de carrera.....	63
Sensor mecánico.....	64
Sensor magnético	64
Sensor de efecto Hall.....	64
Sensor neumático	65
Sensor electrónico	65
Capítulo III: Diseño y construcción	66
Diseño del sistema	66
Necesidades del cliente	66

<i>Aspectos relacionados al entorno</i>	67
<i>Especificaciones técnicas de la máquina</i>	68
<i>Casa de la calidad</i>	69
<i>Matriz</i>	70
<i>Desarrollo de la casa de la calidad</i>	70
<i>Grado de correlación entre variables (Matriz QFD)</i>	70
Análisis de la casa de la calidad	73
Toma de decisiones basado en modelos	73
Diseño de la estructura mecánica	74
Análisis estructural de cagas	86
Análisis de la estructura mecánica	87
Diseño de los ejes de transmisión	88
Diseño de la placa de selección y soporte de ejes	91
Diseño del Sistema de Transmisión	94
Análisis de la estructural de la estructura mecánica	96
Selección de materiales	98
<i>Criterios de selección</i>	98
<i>Estructura</i>	98
<i>Propiedades mecánicas del acero estructural</i>	99
<i>Disponibilidad</i>	100
<i>Norma ASTM A-36</i>	100

<i>Precio</i>	101
<i>Selección del perfil para el acero estructural</i>	101
<i>Selección de material para la estructura tipo tobogán</i>	102
<i>Dispensador y desplazador de plantillas</i>	102
Actuadores Neumáticos	102
<i>Selección del diámetro y carrera de los cilindros neumáticos</i>	103
<i>Selección de válvulas</i>	108
<i>Selección de la unidad de mantenimiento</i>	109
<i>Selección de reguladores de flujo</i>	110
Accesorios neumáticos	111
<i>Racor recto</i>	111
<i>Maguera de 6mm azul poliuretano</i>	111
<i>Silenciadores neumáticos</i>	112
<i>Pistola de grapas</i>	112
Eléctricos y electrónicos	113
<i>Selección del sistema embebido</i>	113
<i>Componentes principales</i>	114
<i>Microcontrolador ATmega2560</i>	115
<i>Cuadro comparativo entre varios sistemas embebidos</i>	115
Selección del motor	118
<i>Motor síncrono</i>	118

<i>Motor asíncrono</i>	118
<i>Motor paso a paso</i>	119
Selección del driver para el motor paso a paso	120
Selección de módulos Arduino.....	122
<i>Modulo relé de ocho canales y de un canal</i>	122
<i>Modulo relé de un canal</i>	123
Selección de sensores	123
Selección de pulsadores	124
Selección de luces piloto	125
Selección de la fuente de energía.....	126
Materiales para conexión eléctrica	126
Cables y terminales	127
Puentes equipotenciales para borneras de riel	129
Construcción de la estructura mecánica	129
Elaboración y conexión de los circuitos eléctricos y electrónicos.....	134
<i>Conexión de los circuitos eléctricos y electrónicos</i>	134
Diagrama de secuencia de funcionamiento de la máquina	135
Capítulo IV: Implementación, pruebas y resultados	137
Introducción	137
Integración del sistema	137
Sistema mecánico	137

<i>Estructura mecánica</i>	137
Sistema eléctrico y electrónico.....	138
<i>Panel de control</i>	139
<i>Sistema de control</i>	140
<i>Sensores</i>	141
<i>Actuadores</i>	141
<i>Sistema de alimentación</i>	141
Sistema neumático	142
<i>Cilindros Neumáticos</i>	142
<i>Válvulas de Control</i>	143
Filtro Regulador Lubricador (FRL).....	143
Mangueras y Conexiones:.....	144
Pruebas de funcionamiento	145
Etapa de encendido de la máquina.....	145
Posicionamiento de hormas y plantillas	147
Procedo de grapado	148
<i>Etapa uno (hormas)</i>	148
<i>Etapa dos (Plantillas)</i>	149
<i>Etapa tres (Alineación)</i>	150
<i>Etapa cuatro (Grapado)</i>	151
<i>Etapa cinco (Producto final)</i>	152

Obtención de datos	153
Pruebas de funcionamiento del proceso de fijación de plantillas.....	154
<i>Prueba 1</i>	154
<i>Prueba 2</i>	155
<i>Prueba 3</i>	155
<i>Prueba 4</i>	156
<i>Prueba 5</i>	157
Pruebas de tiempo.....	157
<i>Prueba 1</i>	158
<i>Prueba 2</i>	158
<i>Prueba 3</i>	159
<i>Prueba 4</i>	160
Análisis de resultados	161
Validación de hipótesis	162
<i>Reducción del tiempo en el proceso de fijación de plantillas</i>	163
<i>Cálculo del promedio del tiempo en el proceso de fijación de plantillas</i>	164
<i>Cálculo del promedio</i>	164
Análisis de costos para el sistema de grapado	167
<i>Costo directo</i>	167
<i>Costos indirectos</i>	173
<i>Costo total</i>	173

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	175
Conclusiones	175
Recomendaciones	178
Bibliografía..	180
Anexos.....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Clavadora automática de Palets de 2 entradas</i>	36
Figura 2	<i>Proceso de fijación de plantillas</i>	37
Figura 3	<i>Características del calzado industrial</i>	43
Figura 4	<i>Bota táctica ALFA M2</i>	44
Figura 5	<i>Grapadora Manual</i>	46
Figura 6	<i>Grapadora plantillas BEA</i>	46
Figura 7	<i>Clavadora-grapadora eléctrica E-TSK-DUAL SALKI</i>	47
Figura 8	<i>Máquina para fijar plantillas</i>	48
Figura 9	<i>Compresor de tornillo KRSB-5 Kaishan</i>	50
Figura 10	<i>Unidad de mantenimiento</i>	52
Figura 11	<i>Cilindro normalizado DSBF</i>	52
Figura 12	<i>Partes de un cilindro neumático</i>	53
Figura 13	<i>Cilindro de simple efecto</i>	54
Figura 14	<i>Cilindro de doble efecto expansión</i>	54
Figura 15	<i>Cilindro de doble efecto retorno</i>	55
Figura 16	<i>Cilindro sin vástago</i>	56
Figura 17	<i>Cilindro de doble vástago</i>	56
Figura 18	<i>Cilindro de impacto</i>	57
Figura 19	<i>Posiciones de una válvula</i>	58
Figura 20	<i>Vías y tipos de conexiones</i>	58
Figura 21	<i>Líneas de flujo</i>	59
Figura 22	<i>Funcionamiento válvula de dos vías</i>	59
Figura 23	<i>Válvula de tres vías</i>	60
Figura 24	<i>Replantación de válvulas antirretorno</i>	61
Figura 25	<i>Válvula reguladora de caudal</i>	62

Figura 26 <i>Final de carrera</i>	64
Figura 27 <i>Sensor neumático</i>	65
Figura 28 <i>Sensor electrónico</i>	65
Figura 29 <i>Matriz QFD</i>	72
Figura 30 <i>Base</i>	75
Figura 31 <i>Estructura para hormas</i>	76
Figura 32 <i>Pieza en forma de "T"</i>	76
Figura 33 <i>Diseño de la estructura mecánica</i>	77
Figura 34 <i>Estructura mecánica con panel de control</i>	77
Figura 35 <i>Estructura con actuadores neumáticos</i>	78
Figura 36 <i>Dispensador de plantillas</i>	79
Figura 37 <i>Acoplamiento de la estructura de hormas</i>	79
Figura 38 <i>Acoplamiento del dispensador de plantillas</i>	80
Figura 39 <i>Panel de control</i>	81
Figura 40 <i>Estructura mecánica</i>	81
Figura 41 <i>Pieza de agarre de hormas</i>	82
Figura 42 <i>Unión del agarra con el cilindro</i>	82
Figura 43 <i>Piezas de ajuste</i>	83
Figura 44 <i>Montaje de piezas de ajuste</i>	83
Figura 45 <i>Desplazador de plantillas</i>	84
Figura 46 <i>Placa metálica</i>	84
Figura 47 <i>Sistema de sujeción de grapadora neumática</i>	85
Figura 48 <i>Ejes</i>	86
Figura 49 <i>Placa metálica y soporte de ejes</i>	92
Figura 50 <i>Esfuerzo máximo en la placa de acero</i>	93
Figura 51 <i>Sistema de desplazamiento</i>	94

Figura 52	<i>Características del motor Nema 17</i>	96
Figura 53	<i>Simulación del esfuerzo de diseño de la estructura</i>	96
Figura 54	<i>Factor de seguridad</i>	97
Figura 55	<i>Propiedades de aceros estructurales</i>	100
Figura 56	<i>Símbolo del cilindro de doble efecto</i>	104
Figura 57	<i>Válvula 5/2</i>	109
Figura 58	<i>Mini unidad de mantenimiento</i>	110
Figura 59	<i>Regulador de caudal</i>	110
Figura 60	<i>Racor recto</i>	111
Figura 61	<i>Manguera azul</i>	111
Figura 62	<i>Silenciador neumático</i>	112
Figura 63	<i>Pistola de grapas</i>	113
Figura 64	<i>Arduino Mega</i>	114
Figura 65	<i>Componentes de Arduino Mega</i>	115
Figura 66	<i>Microcontrolador ATmega2560</i>	115
Figura 67	<i>Motor paso a paso</i>	119
Figura 68	<i>Controlador A4988</i>	120
Figura 69	<i>Especificaciones técnicas NEMA17</i>	121
Figura 70	<i>Módulo Reductor De Voltaje LM2596</i>	122
Figura 71	<i>Modulo relé ocho canales 12V</i>	123
Figura 72	<i>Módulo relé</i>	123
Figura 73	<i>Módulo TCRT5000 Sensor Seguidor De Línea Arduino MH</i>	124
Figura 74	<i>Pulsadores NC y NA</i>	124
Figura 75	<i>Pulsador de plástico tipo hongo</i>	125
Figura 76	<i>Luces piloto</i>	125
Figura 77	<i>Fuente de poder tipo panal</i>	126

Figura 78 <i>Bornera de riel</i>	127
Figura 79 <i>Cable #22 AWG</i>	128
Figura 80 <i>Terminal puntera simple</i>	128
Figura 81 <i>Terminal tipo herradura</i>	128
Figura 82 <i>Puentes equipotenciales</i>	129
Figura 83 <i>Estructura base</i>	130
Figura 84 <i>Dispensador de plantillas</i>	130
Figura 85 <i>Desplazador de plantillas</i>	131
Figura 86 <i>Tubo solado para cilindro neumático</i>	131
Figura 87 <i>Desplazamiento de horma</i>	132
Figura 88 <i>Ejes, rodamientos lineales y placa</i>	133
Figura 89 <i>Estructura mecánica</i>	134
Figura 90 <i>Flujo grama del proceso de fijación de plantillas</i>	135
Figura 91 <i>Estructura mecánica del sistema de fijación de plantillas</i>	138
Figura 92 <i>Sistema eléctrico y electrónico</i>	139
Figura 93 <i>Panel de control</i>	140
Figura 94 <i>Arduino mega 2560</i>	140
Figura 95 <i>Fuente de poder tipo panel</i>	141
Figura 96 <i>Actuadores neumáticos</i>	142
Figura 97 <i>Válvulas neumáticas</i>	143
Figura 98 <i>Mini unidad de mantenimiento</i>	144
Figura 99 <i>Mangueras y conexiones</i>	145
Figura 100 <i>Encendido de la maquina</i>	146
Figura 101 <i>Hormas en la estructura</i>	147
Figura 102 <i>Posición de hormas</i>	147
Figura 103 <i>Dispensador de plantillas</i>	148

Figura 104 <i>Etapa 1 paso de horma</i>	149
Figura 105 <i>Colocación de plantilla</i>	150
Figura 106 <i>Alineación de horma con plantilla</i>	151
Figura 107 <i>Grapado en la parte inferior de la horma</i>	152
Figura 108 <i>Grapado en la parte superior de la horma</i>	152
Figura 109 <i>Fin del proceso de grapado</i>	153
Figura 110 <i>Producto final</i>	153
Figura 111 <i>Distribución t-Student</i>	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Necesidades del cliente</i>	66
Tabla 2 <i>Especificaciones de la máquina</i>	68
Tabla 3 <i>Simbología y valores a utilizar</i>	70
Tabla 4 <i>Grado de correlación</i>	71
Tabla 5 <i>Cargas críticas en la estructura</i>	87
Tabla 6 <i>Propiedades mecánicas</i>	89
Tabla 7 <i>Denominación del acero inoxidable AISI 304</i>	91
Tabla 8 <i>Cargas críticas</i>	92
Tabla 9 <i>Cuadro comparativo de varios sistemas embebidos</i>	116
Tabla 10 <i>Pruebas de funcionamiento 1</i>	154
Tabla 11 <i>Pruebas de funcionamiento 2</i>	155
Tabla 12 <i>Pruebas de funcionamiento 3</i>	155
Tabla 13 <i>Pruebas de funcionamiento 4</i>	156
Tabla 14 <i>Pruebas de funcionamiento 5</i>	157
Tabla 15 <i>Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 1</i>	158
Tabla 16 <i>Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 2</i>	158
Tabla 17 <i>Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 3</i>	159
Tabla 18 <i>Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 4</i>	160
Tabla 19 <i>Tiempos promedios totales de cada prueba</i>	160
Tabla 20 <i>Datos para el cálculo del método estadístico t-Student</i>	165
Tabla 21 <i>Costos directos de materiales neumáticos</i>	168
Tabla 22 <i>Costos directos de materiales eléctricos</i>	169
Tabla 23 <i>Costos directos en material de impresión y accesorios</i>	171
Tabla 24 <i>Costo asociado a la construcción total de la estructura mecánica</i>	172
Tabla 25 <i>Accesorios para el proyecto</i>	172

Tabla 26 <i>Transporte y manufactura del proyecto</i>	173
Tabla 27 <i>Costo total del proyecto</i>	174

Resumen

El actual proyecto surge ante la necesidad de automatizar un procedimiento que ha estado por mucho tiempo efectuándose de forma manual, por lo tanto, el enfoque va dirigido al diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas. Se efectuó la recopilación de información acerca del proceso de fijado y grapado de plantillas, seguido del desarrollo del diseño de la estructura mecánica mediante software CAD y la aplicación del análisis estático para evaluar como la estructura responderá ante fuerzas y cargas aplicadas de tal manera que pueda soportar y resistir las mismas. A continuación, se diseña el sistema electrónico que integra componentes clave como relés, motores a pasos, servo motores y sensores de presencia, con un sistema embebido como controlador principal, los sensores tienen la función de detectar tanto las hormas como las plantillas, los relés se utilizan para enviar señales a las electroválvulas, estas se encargan de dar movimiento a los cilindros neumáticos, permitiendo el paso de las hormas y plantillas. Por otro lado, el motor a pasos se encarga de desplazar la pistola de grapas neumática para llevar a cabo el proceso de grapado, mientras que el servo motor realiza la acción de apretar el gatillo de la pistola para grapar en las plantillas. El resultado final es un proceso automatizado de fijación de plantillas mediante compresión neumática, lo que se traduce en una reducción del tiempo y una mejora en la producción de calzado.

Palabras clave: Horma de calzado, sensores de presencia, cilindro neumático, plantilla de calzado, dispensador de plantillas de calzado.

Abstract

The current project arises from the need to automate a procedure that has been performed manually for a long time, therefore, the focus is directed to the design, construction and implementation of an automated system for the insole fastening process. The collection of information about the process of fixing and stapling insoles was carried out, followed by the development of the design of the mechanical structure using CAD software and the application of the static analysis to evaluate how the structure will respond to applied forces and loads in such a way that it can support and resist them. Then, the electronic system that integrates key components such as relays, stepper motor, servo motor and presence sensors is designed, with the Arduino Mega board as the main controller, the sensors have the function of detecting both lasts and insoles, the relays are used to send signals to the solenoid valves, these are responsible for giving movement to the pneumatic cylinders, allowing the passage of lasts and insoles. On the other hand, the stepper motor is in charge of moving the pneumatic staple gun to carry out the stapling process, while the servo motor performs the action of pulling the trigger of the staple gun to staple the templates. The end result is an automated process of fastening insoles by pneumatic compression, resulting in reduced time and improved footwear production.

Key words: shoe last, presence sensors, pneumatic cylinder, shoe insole, shoe insole dispenser.

Capítulo I

Generalidades

Introducción

El presente capítulo tiene como propósito dar a conocer los antecedentes para el proceso de fijación de plantillas para la fabricación de calzado en la industria, para ello se ha establecido la formulación del problema, el planteamiento de los objetivos, por lo que de esta manera se puede desarrollar la justificación y la importancia para poder transformar e innovar la industria del calzado.

Antecedentes

Antecedentes de la industria del calzado y su historia

La industria del calzado, con su rica historia que se remonta a civilizaciones antiguas, ha experimentado una evolución extraordinaria a lo largo de los siglos. Desde la simplicidad de las sandalias de cuero en la antigüedad hasta la complejidad de los diseños modernos y tecnologías avanzadas, el calzado ha sido testigo de cambios significativos que reflejan tanto las necesidades prácticas como las tendencias estéticas de la sociedad.

Con el tiempo, la fabricación de calzado se volvió más especializada durante la Edad Media, con gremios de zapateros y una variedad de estilos que reflejaban el estatus social. La Revolución Industrial en el siglo XIX marcó un hito significativo al introducir maquinaria y procesos de producción en serie, permitiendo la producción masiva de calzado y cambiando la naturaleza artesanal de la industria.

En el contexto contemporáneo, la industria del calzado no solo cumple su función esencial de proteger y confortar los pies, sino que también desencadena una fusión única entre moda, tecnología y sostenibilidad. La globalización ha transformado la fabricación y distribución, llevando la producción a diferentes rincones del mundo en busca de eficiencia y

competitividad. Tecnologías innovadoras, como el diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM), han revolucionado los procesos de diseño y producción, permitiendo la creación de calzado más preciso y personalizado.

En las últimas décadas, la industria del calzado ha abrazado la sostenibilidad, adoptando materiales ecológicos y prácticas de fabricación responsables. La personalización ha ganado relevancia, permitiendo a los consumidores participar activamente en el diseño de sus propios zapatos.

Hoy, la industria del calzado es un crisol de tradición y modernidad, fusionando estilos clásicos con innovaciones tecnológicas y compromisos ambientales. Desde el calzado funcional hasta las creaciones de moda de alta costura, la industria del calzado continúa siendo un componente esencial del mundo de la moda y el estilo de vida contemporáneo.

Máquinas de calzado

Existen diversas máquinas utilizadas en la fabricación de calzado, cada una desempeñando un papel específico en el proceso de producción.

Máquinas de Corte:

- Máquinas de Troquelado: Son utilizadas para cortar patrones específicos de material, como cuero o tela, para la parte superior del calzado.

Máquinas de Costura:

- Máquinas de Coser Industrial: Esenciales para unir las partes superiores del calzado y crear la estructura básica del zapato.
- Máquinas de Bordado: Utilizadas para aplicar detalles decorativos o logotipos en el calzado.

Máquinas de Moldeo por Inyección:

- Máquinas de Inyección de Suelas: Inyectan material, como caucho o poliuretano, para formar las suelas del calzado.

Máquinas de Pegado:

- Máquinas de Pegado de Suelas: Aplican adhesivos y unen las suelas a la parte superior del calzado.

Máquinas de Formado:

- Máquinas de Moldeado por Calor: Utilizadas para dar forma a ciertas partes del calzado mediante la aplicación de calor.

Máquinas de Grabado y Estampado:

- Máquinas de Estampado en Caliente: Empleadas para aplicar patrones o texturas en la superficie del calzado.

Máquinas de Acabado:

- Máquinas de Pulido y Acabado: Utilizadas para dar brillo y pulir la superficie del calzado.

Máquinas de Control Numérico por Computadora (CNC):

- Máquinas CNC para Corte y Grabado: Permiten un corte y grabado precisos en materiales como cuero o plástico.

Máquinas de Fabricación de Calzado Personalizado:

- Escáneres 3D y Máquinas de Fabricación Aditiva: Utilizadas para escanear pies y crear calzado personalizado mediante técnicas como la impresión 3D

En el proceso específico de emplantillado en la fabricación de calzado, se utilizan máquinas especializadas para insertar, fijar y dar forma a las plantillas, que son las partes internas del zapato que proporcionan soporte y comodidad.

A nivel local y mundial son escasas las máquinas que realizan el proceso de emplantillado de forma automática o semiautomática, lo que se puede encontrar son grapadoras neumáticas o eléctricas que trabajan de forma manual, de estas se partirá para poder repotenciarlas y que sea capaz de realizar la fijación de la horma con la plantilla de Kevlar de forma automática.

La producción de calzado depende en gran medida de una fabricación artesanal teniendo una gran pérdida de tiempo y hasta de recursos. Para reducir el largo período de producción existen procesos de fabricación que son asistidos por maquinaria especializada en elaboración en masa, en la actualidad han comenzado a presenciar líneas altamente automatizadas.

El proyecto estaba orientado hacia la empresa FAME S.A, ya que en la parte de calzado necesitaban urgentemente automatizar varios procesos, los cuales se llevaban de manera manual.

Debido a varios inconvenientes presentados por para empresa, FAME S.A. expresa según el documento FAME-2023-OF-GG-0089 que al no tener autorización expresa por parte del Directorio de FAME S.A., para la asignación de recursos, se ha imposibilitado ejecutar la entrega de estos, para los proyectos de titulación.

Por lo que se procedió a realizar una máquina con el presupuesto de los propios estudiantes con la finalidad de proceder a la construcción y por ende a la finalización del proyecto de titulación.

Planteamiento del problema

El proceso manual en la industria del calzado puede presentar diversas deficiencias lo cual puede afectar la eficiencia, calidad y rentabilidad de la producción.

De forma específica en el proceso de emplantillado se identifican varias necesidades de automatización y repotenciación, es un proceso que se realiza manualmente o con maquinaria deficiente.

Al fabricar calzado de forma manual se dan imperfecciones a causa de los errores humanos lo que da como resultado, pérdida en materiales, tiempo de producción, paros no programados de maquinaria, causando razones de despido, costos adicionales en la compra de materiales. Para poder evitar estos inconvenientes se pretende implementar un sistema automatizado que cumpla con el proceso de fijación de plantillas de Kevlar en un molde de horma, este proceso optimizará el tiempo de producción y a su vez generar más rentabilidad a la empresa.

En el área de fabricación de calzado el proceso de emplantillado se requiere de varios operarios que deben trabajar durante toda la jornada laboral realizando tareas repetitivas que pueden generar enfermedades ocupacionales, producto de esta actividad. Automatizar los procesos realizados por los operadores no solo mejora o reduce la incidencia de las enfermedades ocupacionales, aumentando el ritmo en la línea de producción del calzado.

Se debe recalcar que los trabajadores se desempeñan en varias áreas ocupacionales y no solo están enfocados en el área de emplantillado dentro de la empresa, esto ocasiona un retraso en la producción de calzado, lo que provoca una ineficiencia al momento de realizar esta actividad, además el suministro de materia prima es un proceso que se realiza de manera manual generando desperdicios, demoras en los tiempos de producción, aumentando los

costos por mano de obra y jornada laboral. Por lo tanto, se desea realizar un trabajo óptimo y con poca interrupción humana.

Un sistema automatizado es un factor clave en la reducción del tiempo de producción pues minimiza significativamente la tarea manual, limitando el personal, reduciendo las jornadas laborables, mejorando la calidad al evitar errores, el ahorro de materiales a la hora de realizar el grapado o clavado, con lo que se consigue un incremento significativo de la productividad.

Descripción resumida del proyecto

El proyecto consiste en el diseño, construcción e implementar de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar por medio de un controlador lógico programable que tendrá la función de activar mecanismos por medio de actuadores y de recibir las señales de sensores que ayudarán a dicho proceso.

Para la realización del proyecto se investigará el funcionamiento de las máquinas necesarias para el proceso de emplantillado que se utilizan en el área de fabricación de calzado como sus mecanismos y como repotenciarlos, para obtener un proceso automatizado.

Se investigará como se puede repotenciar las máquinas existentes en la empresa, como su funcionamiento principal, fuentes de energía y sus suministros de alimentación, para obtener una mejor optimización mediante la automatización del proceso evitando de esta forma posibles fallas que se puedan presentar en la implementación.

El diseño e implementación se desarrolla en seis etapas, diseño mecánico, diseño eléctrico y electrónico, armado de los diferentes mecanismos para el emplantillado del calzado, desarrollo de un panel de control que permita la correcta interacción entre el operario y la máquina. Por último, se validará el funcionamiento de la misma, verificando el tiempo de

producción y los costos que representan ganancia en base a los requerimientos de la empresa, normas de seguridad y construcción que rigen en el Ecuador.

El diseño mecánico del sistema se realizará con ayuda de software CAD, donde se tomará en cuenta aspectos principales como: el tamaño, robustez, peso y análisis de materiales, además de los cálculos y determinación de todos los elementos estructurales como selección de materiales y elementos constitutivos de la máquina.

El diseño del sistema eléctrico y electrónico, se utilizarán programas que permitan crear comandos eléctricos y de automatización, por lo tanto, se analizarán los estudios de factibilidad y carga, conexiones y por último la puesta en marcha. Al seleccionar los diversos componentes y dispositivos se tomará en cuenta la función que se quiere realizar, el tipo de energía que requiere, su capacidad, etc.

Se implementará un algoritmo de control que será interpretado por un controlador lógico programable que permite interpretar el proceso de emplantillado de calzado que se desee realizar, permitiendo introducir diferentes medidas de calzado según la demanda lo requiera, de una forma sencilla de usar por el operario, para que de esta manera la máquina se acople a las necesidades del mismo.

Figura 1

Clavadora automática de Palets de 2 entradas



Nota. En la Figura 1, La clavadora de patines es un dispositivo automatizado diseñado para fijar patines durante la fabricación de palets. Utiliza pistolas de clavado alimentadas con clavos en bobina para unir las piezas de madera. Tomado de (ALÓS INDUSTRIALS, 2020)

Al igual que la Figura 1 la clavadora automática de Palets, el diseño de los mecanismos del sistema a desarrollar, se pretende implementar un sistema de ejes que desplace la clavadora o engrampadora justo a la altura de la horma que serán distribuidas por medio de un sistema transportador en línea inclinada ligeramente, con la finalidad de que la posición de la horma sea por medio del efecto de la gravedad. Las plantillas del calzado serán distribuidas por medio de un dispensador, controladas por un actuador. Se contará con un mecanismo que desplazará la posición de la clavadora engrampadora hacia adelante hacia atrás, para arriba y para abajo con la finalidad de realizar el proceso de sujeción entre la horma y la plantilla. Se pretende lograr un sistema robusto el cual permita optimizar el tiempo y garantizar una máquina duradera.

El panel de control permitirá controlar la máquina a través de pulsadores y con indicadores LED, verificar su funcionamiento y en caso de algún error pueda ser detenida, además que ayude a configurar ciertos parámetros necesarios, asegurando una operatividad amigable e intuitiva.

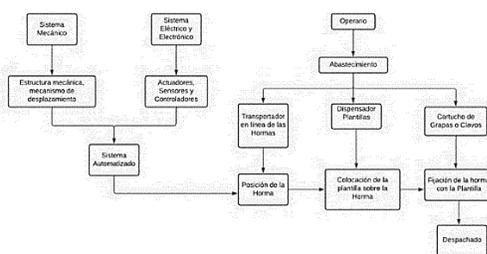
En el Figura 1 se puede ilustrar como sería el proceso de clavado o grapado, con la intención de tener una visión más simple acerca del proceso, el diagrama muestra que el proceso se divide en tres partes, tanto mecánica, eléctrica y electrónica.

Se diseñará un mecanismo de desplazamiento para la máquina clavadora o engrapadora con el objetivo de realizar el grapado o clavado en diferentes posiciones de la horma junto con la plantilla, por medio de sensores se detecta la posición correcta de la horma, se activa el actuador del dispensador de plantillas y la coloca encima de la horma.

Se activa el mecanismo de desplazamiento de máquina y procede a realizar el clavado o grapado en diferentes posiciones de la misma. Si el suministro de grapas, clavos, plantillas o hormas se agotan, serán detectadas por medio de sensores y el sistema será detenido hasta que se vuelva a abastecer.

Figura 2

Proceso de fijación de plantillas



Nota. Como se puede apreciar en la Figura 2 se observan las partes más importantes del sistema, las cuales son, sistema mecánico, eléctrico y electrónico.

Justificación, Importancia y Alcance

El proyecto se justifica porque a través de los procesos realizados, la máquina permitirá de manera automatizada la producción del calzado, facilitando el trabajo del operario y aumentando las líneas de producción de la empresa.

En el Ecuador en la mayoría del proceso de fabricación de calzado se realiza de manera artesanal lo cual es muy laborioso, requiere de muchas horas de trabajo y de personal capacitado para esta actividad. Al ser un tipo de producción poco eficiente se obtiene pérdidas de materiales y tiempo de producción, generando menos rentabilidad a los mismos trabajadores. El área de fabricación de calzado no cuenta con maquinaria que realice procesos de manera automatizada y a gran escala de producción, por lo contrario, gran parte se realiza de una forma manual y con máquinas básicas y discontinuadas.

La importancia en el diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar, permitirá a la empresa FAME S.A (por ser la importancia del proyecto) reducir costos en materiales, además de reducir el periodo de traslado de materia prima, aumentando la capacidad de producción sin aumentar los costos por mano de obra disminuyendo los desperdicios y optimizando el material, por lo tanto, el tiempo de producción minimiza significativamente la tarea manual, limitando el personal, reduciendo las jornadas laborales, mejorando la calidad del producto evitando errores con lo que se consigue un incremento significativo de la productividad, cumpliendo con todos los requerimientos de la empresa.

Con el alcance de este proyecto, la implementación de un sistema automatizado de fijación de plantillas en la empresa FAME S.A. servirá como modelo a seguir para otras empresas del sector, ya que, actualmente muchas buscan repotenciar sus procesos de producción mediante la automatización, presentando una serie de requerimientos que implican el desarrollo de soluciones mediante el diseño, construcción e implementación de sistemas mecatrónicos, lo que aumentaría la competitividad y su impacto en la región.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Objetivos específicos

- Analizar los requerimientos de la empresa FAME, sin afectar su producción.
- Diseñar la estructura mecánica del sistema de abastecimiento y distribución tomando en consideración los requerimientos necesarios y las normas de diseño.
- Diseñar el control eléctrico y electrónico para el manejo de los componentes mecánicos del sistema.
- Seleccionar los materiales mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para la construcción del sistema automatizado
- Implementar un algoritmo de control mediante el uso de un microcontrolador (Arduino).
- Construir la máquina basándose en el diseño obtenido mediante el análisis y determinación de parámetros requeridos.
- Validar la hipótesis a través de pruebas experimentales.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática permitirá reducir el tiempo de proceso e incrementar la producción de calzado en la empresa FAME S.A. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha?

Variables de investigación***Variable Independiente***

Sistema automatizado para la fijación de plantillas.

Variable Dependiente

Reducir el tiempo de proceso e incrementar la producción en la fabricación del calzado.

Capítulo II

Fundamentación teórica

Calzado industrial

Orígenes del Calzado Industrial

Hacia aproximadamente 1892, la industrialización había alcanzado diversos sectores productivos, incluyendo la rama de la fabricación de calzado.

Durante la Primera Guerra Mundial, surgieron diseños particulares destinados al uso militar. El conflicto demandaba la producción de múltiples instrumentos, estructuras, armas, etc. Por ende, tanto la industria minera, petrolera, siderúrgica, de soldadura y otras, requerían calzado especializado acorde a las funciones de cada sector. De manera gradual, se originaron diversos modelos que, mediante un proceso de ensayo y corrección, eran renovados anualmente.

Evolución del calzado de seguridad

Los primeros diseños de calzado industrial resultaban bastante inconvenientes, pero lograban su cometido. No obstante, a medida que avanzó el tiempo, evolucionaron desde simplemente cumplir con las normativas y requisitos legales, hacia la búsqueda de la comodidad y el diseño indispensables para tareas aún más especializadas. (Alcacompany, 2019)

Definición de horma de calzado

Molde con que se fabrica o forma algo, especialmente zapatos y sombreros.
(ESPAÑOLA, 2024)

Definición de plantillas de calzado

Pieza con que interiormente se cubre la planta del calzado. (ESPAÑOLA, 2024)

Definición de plantilla de kevlar de calzado

Fibra sintética de gran resistencia. (ESPAÑOLA, 2024)

Definición de calzado industrial

Este calzado está específicamente concebido para brindar seguridad a los trabajadores que desempeñan sus funciones en entornos industriales, utilizando materiales robustos capaces de resistir las condiciones propias de la industria. Adicionalmente, es necesario que estén elaborados internamente con materiales confortables para garantizar la máxima comodidad.

Existen una variedad de tipos de calzado industrial, diseñados de acuerdo a los requisitos de seguridad específicos de cada sector industrial, así como conforme a las regulaciones nacionales e internacionales en protección y seguridad laboral para los trabajadores de una organización. (Industrias, 2021)

Características del calzado industrial

Para garantizar la seguridad necesaria en las diferentes actividades laborales, el calzado de seguridad debe cumplir varios parámetros esenciales.

- Adaptar el calzado a las exigencias físicas y laborales del trabajo a realizar.
- Comodidad y flexibilidad, un factor clave para evitar accidentes laborales y ayudar a efectuar un trabajo eficiente.
- Suela antideslizante: Esto evitará caídas y golpes.
- Resistente al agua: En determinados trabajos es posible que el calzado esté en contacto con el agua o sustancias peligrosas, por lo que debe estar preparado para evitar riesgos.

- Punta metálica: Esto está especialmente recomendado para aquellos trabajos en los que se trabaja con objetos pesados, ya que pueden evitar fracturas o lesiones. (Sanchez, 2022)

Figura 3

Características del calzado industrial



Nota. La Figura 3 representa las características del calzado industrial en el que se detalla cada parte de la estructura del mismo. Tomado de Características y usos del zapato de seguridad.

(SODIMAC, n.d.)

Fabricación de botas militares

Botas militares

El calzado táctico, comúnmente conocidos como botas militares, se fabrican para que militares, fuerzas policiales, personal de seguridad y personal de seguridad puedan desempeñar sus funciones. Estos zapatos duraderos pueden soportar entornos hostiles sin comprometer la flexibilidad, el rendimiento y la comodidad del usuario. Aumentan la protección contra los peligros, incluidos los terrenos peligrosos, la arena, el barro y otros peligros. (Botas, 2020)

Figura 4

Bota táctica ALFA M2



Nota. La Figura 4 representa como es el producto final del proceso de producción del calzado.

Tomado de Tienda militar de la empresa FAME S.A. (TiendaMilitar, 2019)

Proceso de elaboración de botas militares

- **Preparación del Material:** Se estira el cuero o material sintético de acuerdo a sus particularidades, talla, diseño, cantidad y técnica de corte que se utilizará. Luego, se lleva a cabo el corte, verificando su ajuste a los patrones o plantillas en términos de forma y tamaño. Posteriormente, el material se traslada a la sección de ensamblaje.
- **Ensamblaje:** Se identifican las secciones del material recortado y se procede a dar forma a las partes del calzado que lo demanden, realizando el perfilado en las áreas correspondientes con la precisión requerida. Se ensamblan las costuras y se ubican las correas en su posición precisa, de acuerdo al diseño. Se aplican adhesivos, se pliegan y revisten adecuadamente los talones. Se

perforan y se ajustan los ojales con la exactitud requerida, corrigiendo cualquier error detectado, si es necesario.

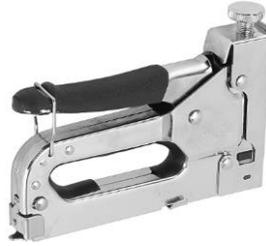
- **Armado del Calzado:** Se arma el calzado al acomodar los recortes a lo largo de toda la forma de la horma, uniéndolos a la plantilla mediante pegamento o costura según las indicaciones de trabajo. Se analiza la calidad de las operaciones de preparación de materiales y ensamblaje, detectando posibles defectos y aplicando medidas correctivas de ser necesario.
- **Toques Finales y Empaque:** Se llevan a cabo las acciones de finalización (eliminación de imperfecciones, pulido de los bordes, acabado de la suela, teñido, encerado, abrillantado, colocación de la plantilla y limpieza general). Se ajustan cuidadosamente los errores encontrados, de manera meticulosa y efectiva. Finalmente, se ejecutan tareas de categorización, etiquetado, embalaje y manejo del calzado con habilidad y dentro del plazo establecido. (Byron & Mario, 2015)

Máquinas de grapado manual

Existe una gran variedad de máquinas en el mercado de grapado o clavado por lo que se describirá a continuación algunas de ellas:

Grapadora manual

Son operadas a mano y se utilizan para grapar o clavar suelas, tacones u otros componentes en el calzado. Proporcionan un control más preciso, pero pueden requerir más esfuerzo físico.

Figura 5*Grapadora Manual*

Nota. La Figura 5 representa una grapadora manual la cual, a pesar de ser resistente, fácil de operar, rápida para grapar, necesita que este el operario constantemente utilizándola lo que puede provocar errores en el grapado. Tomado de Amazon, Grapadora-Pistolas-Trabajo-Clavadora. (Amazon, n.d.)

Máquina grapadora neumática

Estas máquinas utilizan aire comprimido para impulsar los grapas o clavos en el calzado. Son más rápidas y eficientes que las máquinas manuales y se utilizan en la producción a gran escala. Pueden manejar diferentes tipos de materiales y son ideales para grapar suelas, tacones y otros componentes del calzado.

Figura 6*Grapadora plantillas BEA*

Nota. La Figura 6 representa la grapadora neumática de plantillas de la marca BEA. Tomado de Maquinaria, Grapadora BEA. (Tecnomaquinaria, 2021)

Máquina de grapado eléctrica

Estas máquinas funcionan con energía eléctrica, a pesar de que son menos potentes ofrecen una mayor velocidad y precisión en comparación con las máquinas manuales. Son fáciles de usar y se utilizan en la producción en serie de calzado. (Zummar, 2022)

Figura 7

Clavadora-grapadora eléctrica E-TSK-DUAL SALKI



Nota. La Figura 7 representa la clavadora-grapadora eléctrica combina la funcionalidad de una clavadora y una engrapadora en una sola unidad, permitiendo al operador utilizar clavos o grapas según sea necesario. Tomado de Comercial Pazos. (Pazos, 2022)

Máquina para fijar plantillas

Este tipo de máquinas se utilizan en la industria del calzado para unir o fijar las plantillas al resto del zapato. La función principal de las máquinas de fijación de plantillas es asegurar que las plantillas se adhieran de manera firme y duradera a la estructura del calzado. Esto es importante para garantizar que las plantillas no se desplacen o se despeguen con el uso regular del calzado, lo que podría resultar en un calzado incómodo e inestable.

Estas máquinas están diseñadas para ser precisas y eficientes, lo que ayuda a mejorar la productividad en el proceso de fabricación de calzado.

Figura 8

Máquina para fijar plantillas



Nota. La

Figura 8 representa una máquina para fijar plantillas donde la fijación de la plantilla es esencial para la producción de calzado, ya que permiten unir de manera segura y confiable las plantillas al calzado. Tomado de Elettrotecnica B.C. Máquinas para fijar plantillas. (BC, 2018)

Automática

El campo que aborda los métodos y procesos orientados a reemplazar al operador humano con un operador artificial en la realización de una labor física o cognitiva predefinida. (Moreno, 2004)

Automatización industrial

La automatización posibilita la supresión completa o parcial de la participación humana en los procedimientos de producción, asumiendo ciertas tareas intelectuales de diverso grado de complejidad en términos de cálculo y toma de decisiones. (Cortés, Guio, & Gómez, 2015)

Procesos de automatización industrial

La automatización industrial implica el uso de tecnología para realizar tareas y procesos de forma autónoma, eficiente y precisa en una planta de fabricación, industria u otras

operaciones industriales. Existen varios procesos de automatización industrial que se pueden utilizar para mejorar la productividad, la calidad y la seguridad en una variedad de industrias.

Algunos de los procesos comunes de automatización industrial son:

- Automatización de Líneas de Producción.
- Automatización de Procesos Químicos.
- Automatización de Procesos de Alimentos y Bebidas.
- Automatización de Almacenamiento y Logística.
- Automatización en la Industria Automotriz.
- Automatización en la Industria Automotriz.
- Automatización en la Industria del Acero.

Neumática

La neumática se centra en la dinámica y fenómenos gaseosos, pero en términos técnicos, se ha desarrollado como un concepto específico donde se aborda la aplicación de sobrepresión o depresión (vacío).

Las instalaciones neumáticas comprenden máquinas y dispositivos que operan mediante aire comprimido o aspirado. En esencia, la neumática engloba todas las aplicaciones asociadas con estas instalaciones. (W. Depper, 2005)

Aire comprimido

El aire comprimido es el resultado de someter el aire atmosférico a una compresión mecánica mediante un compresor.

Compresor

Según SMC (2000) "Elemento que convierte la energía mecánica de un motor eléctrico o de combustión, en energía potencial de aire comprimido". (p. 24)

Principales tipos de compresores

Los principales compresores son de:

- Desplazamiento positivo
- Dinámicos

Desplazamiento positivo

Se fundamenta en la reducción del espacio ocupado por el aire en la cámara de compresión en la que está contenido, lo que da lugar al aumento de la presión interna hasta alcanzar la magnitud establecida según el diseño planificado. En ese instante, el aire se libera del sistema.

Figura 9

Compresor de tornillo KR5B-5 Kaishan



Nota. La Figura 9 representa el compresor de tipo tornillo que consta de dos tornillos giratorios entrelazados con un mínimo espacio libre. A medida que giran, el aire es atrapado entre los tornillos, llevándose a lo largo del puerto de descarga y entregado en un flujo constante.

Tomado de Hydraulics and Pneumatics, Screw compressors. (Parr, 2011)

Este tipo de compresores se dividen en:

- Compresor de pistón

- Compresor de tornillo
- Compresor de paleta
- Compresor lóbulos o émbolos rotativos
- Compresor scroll
- Bombas de vacío

Dinámicos

El aire es aspirado por el rodete a través de su entrada, acelerándose considerablemente. Luego, se descarga hacia difusores cercanos al rodete, donde la energía cinética del aire se convierte completamente en presión estática. (Parr, 2011)

Este tipo de compresores se dividen en:

- Compresores centrífugos radiales
- Compresores centrífugos axiales

Unidad de mantenimiento

La red neumática debe poseer un funcionamiento impecable para ello es necesario filtrar el aire, debido a que el aire de la atmosfera posee polvo, humedad entre otro tipo de partículas.

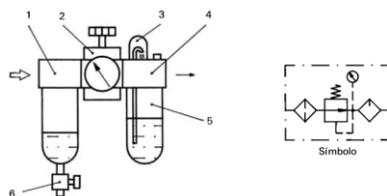
Una vez se comprime el aire estas partículas del aire atmosférico no desaparecen por completo y además al comprimir el aire este se mezcla con aceite y con desgaste de sellado.

Para poder lograr eliminar estas impurezas o tener un aire el cual no afecte a los elementos neumático se debe utilizar filtros, reguladores y lubricadores.

La unidad de mantenimiento es la que está formada por un filtro, regulador y el lubricador, el cual filtra el aire, decanta su humedad, regula la presión y lubrica el aire mediante aceite limpio finamente dispersos en el gas. (Serrano, 2009, p. 87)

Figura 10

Unidad de mantenimiento



Nota. La Figura 10 representa, el filtro, regulador y lubricador es decir la unidad de mantenimiento. Tomado de Neumática práctica, Producción, distribución y tratamiento del aire. (Serrano, 2009)

Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos transforman la energía proveniente del aire comprimido en trabajo mecánico, generando movimiento lineal a través de servomotores de diafragma o cilindros, o bien, produciendo movimiento giratorio mediante motores neumáticos. (Solé, 2012)

Figura 11

Cilindro normalizado DSBF



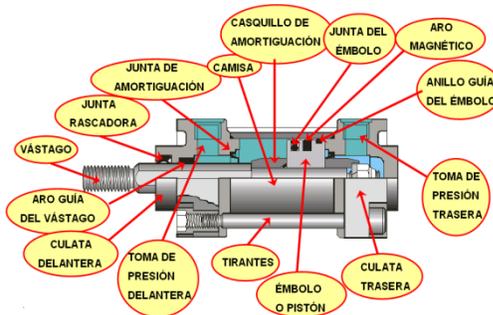
Nota. La Figura 11 representa un actuador neumático de la marca Festo, el cual es un cilindro normalizado conforme a ISO 15552. Tomado de Festo cilindro perfilado. (Festo, 2022)

Partes de un cilindro neumático

A pesar de que es un dispositivo mecánico que convierte la energía del aire comprimido en movimiento lineal, este está compuesto por varias partes que trabajan en conjunto para realizar esta función.

Figura 12

Partes de un cilindro neumático



Nota. La Figura 12 indica las partes que posee un cilindro neumático. Tomado de SMC, Cilindros neumáticos (SMC, 2000)

En la neumática existen diversos tipos de cilindros neumáticos, cada uno diseñado para satisfacer diferentes necesidades y aplicaciones.

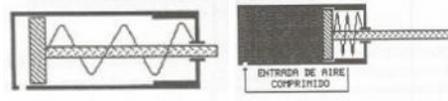
Este género de actuadores son elementos que transforman la energía contenida en el aire comprimido en un desplazamiento lineal. A continuación, se mencionan los más frecuentemente empleados en la esfera industrial:

Cilindros de simple efecto

Recibe su nombre simplemente porque requiere únicamente la inyección de aire comprimido en una de sus cámaras. Este cilindro se emplea en circunstancias poco comunes, usualmente con el fin de fijar piezas durante la realización de tareas particulares.

Figura 13

Cilindro de simple efecto



Nota. La

Figura 13 representa un cilindro de simple efecto, la figura a la izquierda indica que aún no se ha introducido aire comprimido, una vez se introduce el aire por la cámara trasera, la figura a la derecha indica que el retorno del cilindro se da por medio de un resorte que se comprime durante la fase de extensión y se expande para empujar el pistón de vuelta cuando el aire se descomprime. Tomado de Automatización industrial, Cilindros neumáticos. (Sánchez, 2001)

Cilindros doble efecto

Si a un cilindro se le introduce aire comprimido por una de sus cámaras, por ejemplo, la trasera, el aire empujara el embolo y hará que el vástago salga, por estar unido sólidamente al embolo.

Figura 14

Cilindro de doble efecto expansión



Nota. La Figura 14 indica un cilindro de doble efecto cuando se introduce aire comprimido por la cámara trasera, esto hace que el vástago se expanda. Tomado de Automatización industrial, Cilindros neumáticos. (Sánchez, 2001)

Para retraer el vástago, se requiere introducir aire comprimido en su cámara frontal, provocando que el aire impulse el émbolo, arrastrando así el vástago hacia el interior. Por el motivo que debe introducirle aire comprimido en los dos sentidos se llama de doble efecto. (Sánchez, 2001)

Figura 15

Cilindro de doble efecto retorno



Nota. La Figura 15 representa el cilindro de doble efecto cuando se introduce aire por la cámara delantera, esta acción realiza que le vástago retroceda y regrese a su posición inicial. Tomado de Automatización industrial, Cilindros neumáticos. (Sánchez, 2001)

Cilindros sin vástago

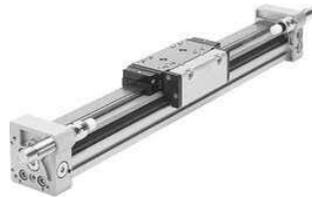
Es un tipo de actuador neumático que se caracteriza por tener una construcción que elimina el vástago o pistón alargado presente en los cilindros convencionales.

Por ende, en ciertos contextos, se convierte en un obstáculo el hecho de que un cilindro aumente prácticamente al doble su longitud durante su trayectoria, lo que significa que se

localiza cercano a la carrera de acción, ocupando espacio adicional más allá del ámbito de trabajo. (SMC, 2000)

Figura 16

Cilindro sin vástago



Nota. La

Figura 16 representa un cilindro in vástago de la marca Festo. Tomado de Festo, Actuator lineal DGC (FESTO, Festo, 2021)

Cilindro de doble vástago

Este tipo de cilindros al poseer dos vástagos los cuales e conectan externamente a una placa compartida que también se utiliza para sujetarse a la parte móvil del mecanismo, han dado solución a los principales problemas que representan los cilindros clásicos en el giro libre del vástago sobre su propio eje. (Serrano, 2009)

Figura 17

Cilindro de doble vástago



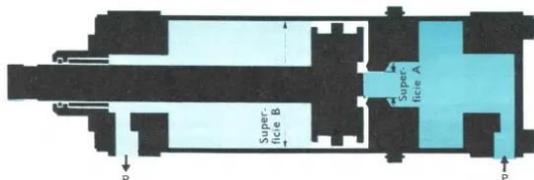
Nota. La Figura 17 indica un cilindro de doble vástago de la marca FESTO. Tomado de Ficha técnica, Cilindros Twin DPZ/DPZJ. (FESTO, Cilindros Twin DPZ/DPZJ, n.d.)

Cilindros de impacto

Se denomina de esta manera debido a su rápida velocidad de avance, la cual se logra gracias a la existencia de una precámara en el cilindro donde el aire se acumula hasta alcanzar una presión específica; cuando se alcanza esta presión, el aire actúa de manera repentina sobre la parte posterior del émbolo. (W. Depper, 2005)

Figura 18

Cilindro de impacto



Nota. La Figura 18 representa la sección de un cilindro de impacto. Tomado de Dispositivos neumáticos, Cilindros especiales. (W. Depper, 2005)

Válvulas

Son dispositivos para controlar o regular el arranque, parada y sentido, así como la presión o el flujo del medio de presión, impulsado por una bomba hidráulica, un compresor, una bomba de vacío o acumulado en un depósito. (W. Depper, 2005, p. 42)

Las válvulas de acuerdo a su funcionamiento se clasifican de la siguiente forma:

- Válvulas de distribución o de vías
- Válvula antirretorno
- Válvulas de presión
- Válvulas reguladoras de flujo o de velocidad

Válvulas de distribución o de vías

Estas válvulas influyen en el camino del aire comprimido. Según el número de vías controladas se le llama válvula de dos, tres, cuatro de múltiples vías.

Figura 19

Posiciones de una válvula



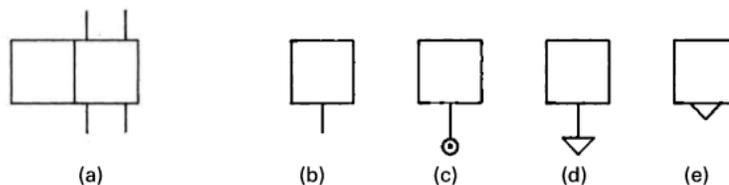
Nota. La Figura 19 indica la representación de las posiciones de una válvula. Tomado de Válvulas distribuidoras y de mando. (Serrano, 2009)

Vías y tipos de conexiones

En la Figura 20 apartado (a) se indica la representación de una válvula de 4 vías y 2 posiciones, en el apartado (b) representa una conexión general, en el apartado (c) se halla una conexión con toma de presión, en (d) un escape con tubo conectable a la atmosfera y en (e) el mismo escape, pero directo a la atmosfera o al exterior.

Figura 20

Vías y tipos de conexiones

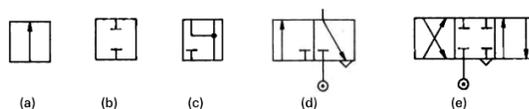


Nota. La Figura 20 representa una válvula de dos posiciones y cuatro vías. Tomado de Válvulas distribuidoras y de mando. (Serrano, 2009)

La Figura 21 podemos observar que en el apartado (a) indica el sentido del flujo, en (b) el cierre de paso de flujo, en (c) la unión de los conductos en un punto, en (d) indica la válvula de 3 vías, 2 posiciones, donde se puede ver la toma de presión, el sentido del flujo y el escape a la atmosfera, en (e) se muestra el símbolo de una válvula de 4 vías, 2 posiciones, con posición central cerrada en las 4 vías.

Figura 21

Líneas de flujo



Nota. La Figura 21 representa las líneas de flujo que existen en la simbología neumática de las válvulas. Tomado de Válvulas distribuidoras y de mando. (Serrano, 2009)

Como vías se consideran:

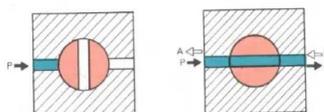
- Conexión de entrada de aire comprimido
- Conexiones de alimentación para el consumidor y orificios de purga (escape)

Características de las válvulas según la función

Las llaves de paso se clasifican en el grupo de válvulas de dos vías, ya que cuentan con un orificio de entrada y otro de salida que permite el flujo libre del aire en ambas direcciones, ya sea de izquierda a derecha o viceversa.

Figura 22

Funcionamiento válvula de dos vías

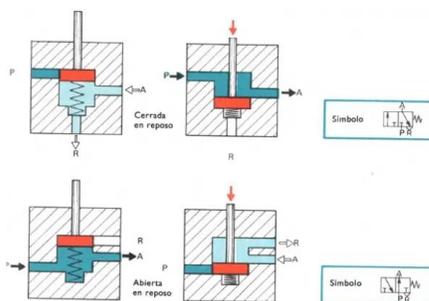


Nota. La Figura 22 representa el esquema del funcionamiento de una válvula de dos vías en la que el paso puede ser en los dos sentidos. Tomado de Elementos de trabajo de mando. (W. Depper, 2005)

En una válvula de tres vías es necesario dar salida al aire después de realizar un trabajo, esto es con el fin de que pueda comenzar una nueva fase. Este tipo de válvula es el elemento básico para el accionamiento de un cilindro de simple efecto.

Figura 23

Válvula de tres vías



Nota. La Figura 23 representa el esquema de funcionamiento de una válvula de 3 vías donde se encuentra la función de apertura y de cierre. Tomado de Elementos de trabajo de mando. (W. Depper, 2005)

La válvula de cuatro vías puede accionar un cilindro de doble efecto o también puede hacerlo dos válvulas de tres vías.

Las válvulas distribuidoras se designan según el número de las vías controladas y el de las posiciones de maniobra posibles como puede ser, válvula de 3/2 vías (válvula de 3 vías 2 posiciones), 4/2 vías (4 vías dos posiciones). (W. Depper, 2005)

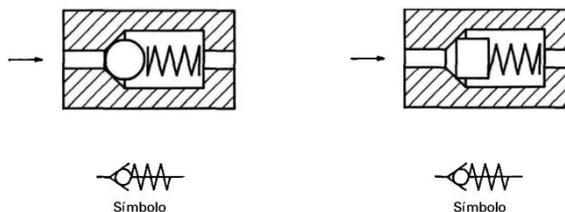
Válvulas antirretornos

“Son componentes neumáticos que posibilitan el libre flujo en una dirección mientras impiden el paso en la dirección opuesta”. (Serrano, 2009, p. 160)

Pueden adoptar la forma de válvulas de bola o de tipo cónico, y pueden o no contar con un resorte antagonista integrado. En caso de estar equipadas con un resorte, el fluido deberá superar cierta fuerza de resistencia para permitir la apertura del paso en la dirección libre.

Figura 24

Replantación de válvulas antirretorno



Nota. La

Figura 24 representa el esquema de una válvula antirretorno de tipo bola y de tipo cónico con sus respectivos símbolos. Tomado de Válvulas distribuidoras y de mando. (Serrano, 2009)

Válvulas de presión

La misión de las válvulas de presión es controlar dicho parámetro para que la instalación funcione según los movimientos y las fuerzas calculadas dentro de los niveles de seguridad establecidos. (Ikastaroak, 2020)

Válvula limitadora de presión

Limita el incremento de la presión máxima tolerada en un sistema. Es un componente presente en todos los dispositivos que generan aire comprimido, pero su utilización es menos común en equipos neumáticos.

Esta válvula tiene un propósito de seguridad, ya que cuando la presión en el sistema excede el límite permitido, se abre hacia la atmósfera y libera el exceso de presión hasta alcanzar el valor nominal.

Válvula de secuencia

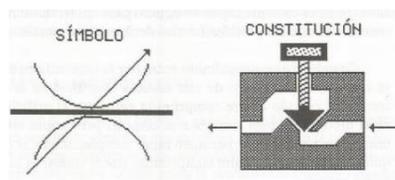
Su operación guarda similitud con la válvula limitadora, y su distinción reside únicamente en su implementación. En una válvula de secuencia, la salida permanece bloqueada en secuencia hasta que se logra la presión establecida. Solo en ese momento la válvula se despliega, permitiendo la circulación del aire comprimido. (W. Depper, 2005)

Regulador de caudal o estrangulador

Medio para regular un caudal de aire comprimido que circula en un determinado momento por un circuito neumático. Con este dispositivo se puede regular la velocidad del desplazamiento del vástago en los cilindros. (Sánchez, 2001, p. 405)

Figura 25

Válvula reguladora de caudal



Nota. La Figura 25 indica el esquema y la simbología de una válvula reguladora de caudal. Tomado de Neumática e hidráulica. (Sánchez, 2001)

Regulador de caudal unidireccional y bidireccional

Se le conoce como regulador de caudal unidireccional porque está vinculado a un regulador de caudal con una válvula antirretorno. Esto posibilita la regulación del flujo de aire comprimido en una dirección, específicamente en la que no puede pasar a través de la válvula antirretorno y se ve obligado a hacerlo mediante el estrangulador; en cambio, el aire comprimido fluye libremente en la dirección opuesta. También se le describe como regulador de caudal bidireccional, ya que tiene la capacidad de controlar el flujo de aire comprimido en ambas direcciones, ya sea de izquierda a derecha o viceversa. (Sánchez, 2001)

Sensores

Un sensor es un dispositivo o componente que detecta y responde a cambios o estímulos en el entorno físico o químico en el que está ubicado. Su función principal es convertir estos cambios en señales eléctricas, ópticas o mecánicas, que pueden ser

procesadas y utilizadas para medir, controlar o monitorear diversos parámetros físicos o químicos.

Son dispositivos esenciales en la recopilación de datos del entorno físico, lo que permite la automatización, el control de procesos, el monitoreo y la toma de decisiones en diversas aplicaciones industriales, electrónicas, médicas y más.

Sensores de posición del cilindro

Determinar la posición del cilindro es crucial para asegurar el funcionamiento seguro de la maquinaria neumática. En casos simples, es suficiente examinar la ubicación del vástago del pistón del cilindro para confirmar si el pistón está en el inicio o el final de su recorrido. No obstante, en operaciones realizadas en sistemas complejos, no resulta viable depender de la constante atención de los operadores, especialmente durante lapsos extensos de operatividad.

Para detectar tanto la posición como la velocidad de un pistón en el cilindro, se cuentan con los siguientes dispositivos:

- Interruptores de final de carrera e interruptores automáticos.
- Sistemas de posicionamiento secuencial.
- Posicionadores.

Finales de carrera

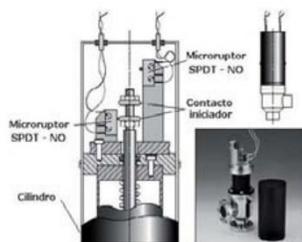
Se refieren a interruptores de diversos tipos, como mecánicos, magnéticos, neumáticos y electrónicos, capaces de ser activados tanto por fuerza mecánica como por el campo magnético generado por un imán colocado en el pistón. Estos interruptores se colocan en los cilindros con el propósito de precisar la posición del pistón, ya sea al alcanzar el extremo de su recorrido o en un punto intermedio de su movimiento

Sensor mecánico

Dispone de unos gatillos que cierran (o abren) un microrruptor. Se montan en los cilindros para determinar la posición del final de carrera del pistón. (Solé, 2012)

Figura 26

Final de carrera



Nota. La Figura 26 representa un sensor mecánico-eléctrico de final de carrera. Tomado de Accesorios de cilindros, sensores de posición del cilindro. (Solé, 2012)

Sensor magnético

Incorpora un imán en el pistón que genera un campo magnético a lo largo de las superficies del cilindro, comúnmente confeccionado en aluminio. Este campo es identificado por otro imán ubicado en el sensor, cuya posición puede coincidir con el extremo del recorrido del pistón o con un punto intermedio.

Sensor de efecto Hall

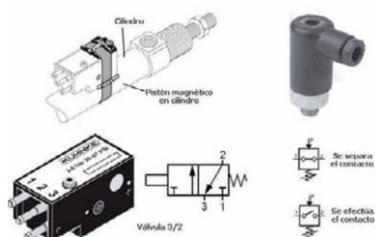
Este dispositivo es un transductor que modifica su tensión de salida al alterar la densidad del campo magnético, lo que lo convierte en apto para medir el desplazamiento y la ubicación de un pistón magnético en un cilindro neumático. Al carecer de componentes en movimiento, presenta una vida útil extensa en comparación con los interruptores mecánicos.

Sensor neumático

Consiste en un pistón magnético en el cilindro que actúa sobre una válvula 3/2 (3 vías, 2 posiciones). La exactitud del punto de conmutación es del orden de $\pm 0,2\text{mm}$.

Figura 27

Sensor neumático



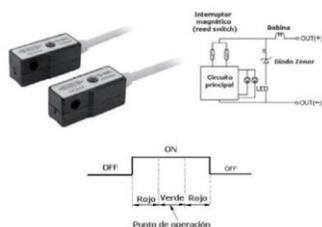
Nota. La Figura 27 indica como la simbología y como es un sensor neumático. Tomado de Accesorios de cilindros, sensores de posición del cilindro. (Solé, 2012)

Sensor electrónico

Capta el campo magnético de un imán del pistón el cual excita un transistor (interruptor electrónico) que da una señal eléctrica de salida. (Solé, 2012)

Figura 28

Sensor electrónico



Nota. La Figura 28 representa, el esquema y punto de operación de un sensor electrónico. Tomado de Accesorios de cilindros, sensores de posición del cilindro, (Solé, 2012)

Capítulo III

Diseño y construcción

Diseño del sistema

A lo largo de este capítulo se podrá ilustrar como ha sido el desarrollo del proceso de fijación de plantillas para la fabricación de calzado donde se podrá dar a conocer las especificaciones técnicas y la construcción que debe tener el proceso, teniendo en cuenta tanto las necesidades del cliente como la solución que dará con el fin de tener una mejor calidad de producto y el aumento en la producción, por lo tanto se basara en el libro de “Desarrollo de productos” de los autores Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger.

Necesidades del cliente

La fabricación de calzado y otros productos que requieren plantillas conlleva una serie de procesos delicados y precisos para garantizar la calidad y la eficiencia en la producción. En este contexto, la fijación de plantillas mediante compresión neumática surge como una técnica clave para asegurar una unión firme y uniforme entre la plantilla y la horma. Ante la creciente demanda de soluciones automatizadas en la industria manufacturera, la solicitud de una máquina especializada para este propósito se vuelve necesaria. Por lo que primero se desarrolla una tabla que contenga las necesidades del cliente. Donde se le ha asignado un grado de importancia en una escala del 1 al 5.

Tabla 1

Necesidades del cliente

Núm.	Necesidad	Imp.
1	Fácil de operar	5
2	Piezas de repuesto existentes en el país	5

Núm.	Necesidad	Imp.
3	Fácil mantenimiento	4
4	Seguridad para el operador	4
5	Económico	4
6	Accesible para cualquier operador	2
7	Tiene una larga vida útil	4
8	Se ajusta a cualquier tipo de horma	4
9	Colocación de plantillas automáticas	5
10	Mínimo daño al material	2
11	Consistencia en el proceso de grapado	3
12	Durabilidad del grapado	3

Nota. La Tabla 1 indica las necesidades del cliente y su importancia para un sistema de fijación de plantillas.

Aspectos relacionados al entorno

- La máquina debe ser innovadora y original cumpliendo las expectativas tanto técnicas como las necesidades del cliente.
- El proyecto tiene que regirse a las normativas vigentes tanto de diseño y seguridad.
- Para que funcione el modelo es necesario un voltaje de entrada de 110V para que luego entre esta tensión a una fuente de 24V donde se dirigirá hacia dos

reguladores de voltaje donde, los cuales tendrán una salida de voltaje de 5 y 12 voltios respectivamente.

- El funcionamiento de las electroválvulas debe ser de 24V.
- La máquina debe identificar hormas y plantillas para realizar el grapado.
- Las electroválvulas y los cilindros neumáticos deberán funcionar entre 2.1 a 2.5 bares, esto se debe a la inercia en la que se encuentran los dispositivos los cuales deberán romper la misma para poder funcionar.
- La máquina debe poseer repuestos que estén disponibles tanto en el mercado nacional como internacional.

Especificaciones técnicas de la máquina

La máquina deberá cumplir con detalles y criterios específicos, para que pueda ser diseñado, construido y verificar su funcionamiento por lo que es fundamental asegurar que la máquina cumpla con, normas de calidad, rendimiento y funcionalidad para ello se formularan las métricas con las que está relacionada la máquina. En la tabla dos se enumeran las diferentes métricas con la relación de las necesidades del cliente por lo que de igual forma se ha elaborado una escala del 1 al 5 en nivel de importancia.

Tabla 2

Especificaciones de la máquina

Métrica núm.	Núm. de necesidades	Métrica	Imp.	Unidades
1	1,3,6,8	Velocidad de producción	5	m/s
2	1,2,3,	Tiempo de grapado	4	s

Métrica núm.	Núm. de necesidades	Métrica	Imp.	Unidades
3	1,2,3,4,5,6,7	Estructura mecánica	4	#
4	9	Tiempo de preparación de plantilla	4	s
5	9	Frecuencia de cambio de plantillas	3	Hz
6	11	Rechazo de plantillas	3	%
7	5,7,10	Costos de materiales	3	\$
8	6,8,9	Tasa de errores	4	%
9	12,11	Tiempo de ajuste de plantillas	5	s
10	5,10	Cantidad de material utilizado	3	#

Nota. La Tabla 2 representa las métricas necesarias para la máquina, la importancia de cada uno y su respectiva unidad de medida.

Casa de la calidad

Significa implementar los atributos de un producto o servicio deseado por el cliente a través de todos los componentes funcionales apropiados de una organización. QFD (*Quality Function Deployment*) también proporciona un mecanismo para su logro, es decir, el conjunto de matrices que sirve como estructura y como gráfico del proceso de implementación. (ReVelle, Moran, & Cox, 1998)

Matriz

Esta matriz representa la relación entre necesidades y métricas, siendo un elemento fundamental de la Casa de la Calidad, una técnica gráfica empleada en el Despliegue de la Función de Calidad o QFD (Quality Function Deployment).

Desarrollo de la casa de la calidad

Para poder fusionar tanto las necesidades del cliente como las especificaciones técnicas las cuales tendrá la máquina, se utilizará el método gráfico como es la matriz QFD, por medio de este procedimiento se tendrá un resultado en el que, la máquina podrá satisfacer las necesidades del cliente. Para ello se hará uso de una escala y simbología que ya está establecida en la matriz QFD. A continuación, se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Simbología y valores a utilizar

Relación	Valor	Símbolo
Fuerte	9	●
Mediano	3	○
Débil	1	△

Nota. La Tabla 3 da a conocer la simbología utilizada en la matriz QFD.

Grado de correlación entre variables (Matriz QFD)

La matriz QFD establece el grado de correlación que tendrá entre dos variables, es decir la relación que posee los cambios de una variable con respecto a otra. En la tabla cuatro se indica los grados de correlación que especifica dicha matriz.

Tabla 4*Grado de correlación*

Correlación	Símbolo
Positivo	+
Negativo	-
Sin correlación	Se deja en blanco

Nota. La Tabla 4 permite conocer la relación que existe entre las especificaciones técnicas es decir lo que sucede cuando se mejora cada una de ellas.

Nota. La Figura 29 da a conocer la matriz de calidad que relaciona las necesidades del cliente con las especificaciones técnicas del proceso.

Análisis de la casa de la calidad

La matriz QFD proporciona información importante para la construcción de la máquina pues tiene en cuenta las especificaciones técnicas necesaria para que el ejemplar pueda cumplir con todos los estándares necesarios tanto del cliente como el equipo que lo desarrolla. Por lo tanto, se enlista a continuación las especificaciones técnicas más importantes arrojadas por la matriz.

- Estructura mecánica.
- Tiempo de grapado.
- Costo de materiales.
- Cantidad de material utilizado.
- Tiempo de ajuste de plantillas.
- Velocidad de producción.

Según (Ulrich & Eppinger, Deseño y desarrollo de productos, 2013), una vez conseguido las especificaciones técnicas que irán en el producto es necesario tener una herramienta que pueda predecir el valor de las métricas del producto por lo que propone el desarrollo de modelos técnicos. Por lo que propone tres tipos diferentes de modelos.

- Visuales
- Funcionales
- De sistemas

Toma de decisiones basado en modelos

El desarrollo en la toma de decisiones basado en modelos implica la utilización de representaciones simplificadas de la realidad, conocidas como modelos, para tomar decisiones

informadas. Estos modelos son construcciones abstractas que capturan los elementos críticos de una situación o problema, permitiendo examinar y evaluar varias opciones antes de tomar una decisión.

El método empleado implica la recopilación de datos pertinentes relacionados con la máquina. Estos datos luego se utilizan para construir un modelo que explique las interconexiones entre las variables y factores implicados. Para verificar estos datos se ejecutan simulaciones, cálculos y análisis en el modelo para plantear hipótesis sobre cómo podrían desarrollarse diversas decisiones en diversos escenarios.

La utilización de la toma de decisiones basada en modelos proporciona varios beneficios, incluida la capacidad de evaluar de forma rápida y segura diversas tácticas antes de ponerlas en acción.

- **Modelos visuales:** Con la ayuda de software CAD se puede plasmar la idea general de la máquina, para el proceso de grapado de hormas donde constará la estructura, conexiones eléctricas, actuadores eléctricos y neumáticos.
- **Modelos funcionales:** Gracias a los softwares CAD/CAM se puede simular, verificar el funcionamiento, rendimiento e incluso reconocer las posibles fallas que posee la máquina al momento de su operación, con el fin de procurar estos problemas en el momento de su construcción real.

Diseño de la estructura mecánica

Al investigar el proceso grapado entre horma y plantilla se pudo determinar que el proceso es casi todo de forma manual a excepción del grapado neumático que se da sobre la plantilla por lo que se optó por la construcción de una máquina nueva la cual tenga la mínima interacción con los operarios. Por lo tanto, se eligió realizar una máquina en el cual la intervención del operario sería para funciones básica como, recarga de grapas, de plantillas y

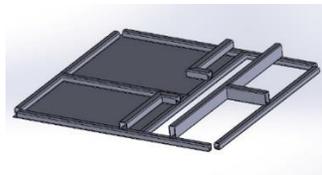
posicionar las hormas, por lo que la estructura debe soportar el peso de las partes mecánicas, eléctricas y electrónicas.

Para la máquina se tuvo que diseñar la estructura para que se adapte al operario, donde su funcionamiento debe ser lo más sencillo posible.

En primer lugar, se diseñó la base la cual deberá tolerar las cargas y tensiones de todos los elementos. Además, en la mitad se colocaron dos piezas largas tanto horizontal como vertical para luego acoplar dos piezas tipo “L” donde se colocarán los actuadores neumáticos.

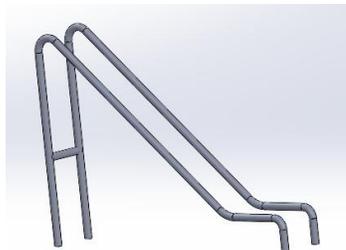
Figura 30

Base



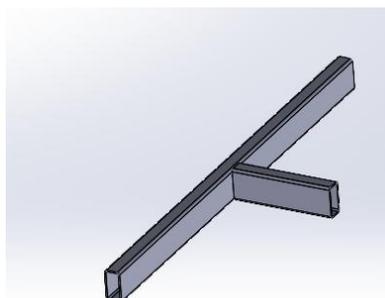
Nota. La Figura 30 da a conocer la estructura de la base con las diferentes piezas necesarias las cuales soportaran los actuadores neumáticos.

Una de las funciones básicas a desempeñar del operario es el de colocar las hormas para ello se diseñó una estructura en donde el operador colocara la horma y esta se desplazará a través de la estructura, por ende, la horma llegara a la parte inferior de y se detendrá, dando paso a la siguiente fase del proceso de grapado.

Figura 31*Estructura para hormas*

Nota. La Figura 31 representa la estructura en la que se desplazarán las hormas, estas llegarán hasta el extremo inferior para luego seguir a la siguiente etapa

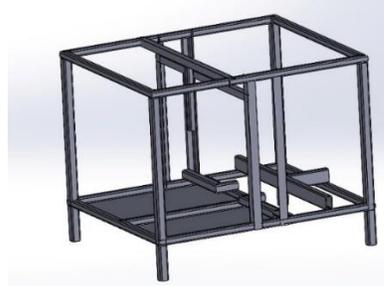
En la base se diseñó una pieza en forma de "T" la cual es necesaria para el cilindro neumático el cual impulsara el desplazador de plantillas.

Figura 32*Pieza en forma de "T"*

En cada esquina de la base se situaron cuatro soportes, para luego colocar la parte superior de la estructura. De acuerdo a esto en la mitad de la base se fijaron cuatro perfiles angulares "L" estos servirán para sostener dos ejes los cuales desempeñarán la función de sujetar la pistola de grapas y un cilindro neumático, tanto para la etapa de detención de hormas como la etapa de grapado.

Figura 33

Diseño de la estructura mecánica

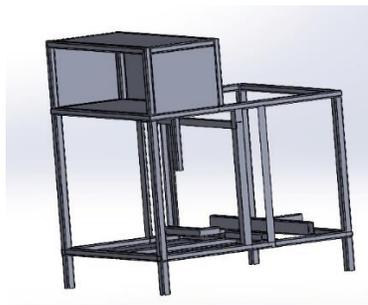


Nota. La Figura 33 representa la estructura mecánica la cual tendrá la función de soportar los dispositivos neumáticos, la pistola de grapas y los componentes electrónicos.

Adicionalmente en la estructura mecánica se integró un panel eléctrico donde irán las conexiones eléctricas como los dispositivos electrónicos.

Figura 34

Estructura mecánica con panel de control



Nota. En la Figura 34 se encuentra la estructura mecánica y adicionalmente se incorporó el panel de control para las conexiones eléctricas y los dispositivos electrónicos.

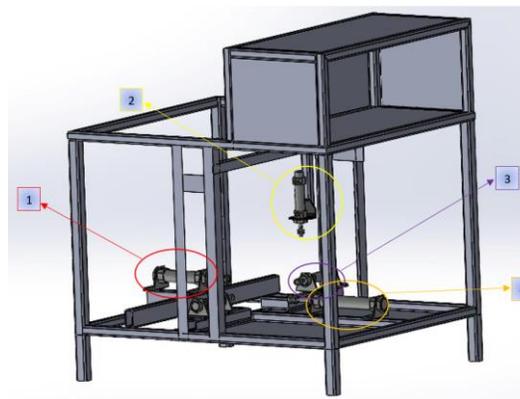
La posición de cada uno de los actuadores en la estructura mecánica es importante ya que con ellos se puede comprender una parte del proceso y de cada etapa que cada uno desempeñará en el proceso de grapado.

La función de cada actuador neumático se describe a continuación:

1. El actuador uno realizará la función de dar movimiento al desplazador de plantillas.
2. El segundo cilindro tiene la obligación de detener las hormas las cuales se desplazarán mediante una estructura tipo tobogán.
3. Se colocan dos cilindros a los lados debido a que estos desempeñan el papel de amoldar tanto la horma como la plantilla para que se proceda a la siguiente etapa que es el grapado.
4. En la etapa final, es decir después del grapado, el cilindro cumplirá la función de desplazar la horma con la plantilla ya grapada.

Figura 35

Estructura con actuadores neumáticos



Nota. La Figura 35 da a conocer la posición en la que cada uno de los actuadores neumáticos ira para que puedan desarrollar su función.

Ahora bien, para colocar las plantillas es indispensable poseer una estructura donde se almacenen las mismas, para ello se diseñó un sistema donde depositar las plantillas, primero se tomó la forma y se realizó el bosquejo. Adicionalmente se colocaron dos soportes en la parte

inferior del dispensador y dos de forma horizontal formando una “L” invertida de 90 grados donde se colocará el desplazador de las plantillas.

Figura 36

Dispensador de plantillas



Nota. En la Figura 36 se puede observar cómo es la estructura terminada del dispensador de plantillas.

Con el dispensador y la estructura para el desplazamiento de las hormas diseñadas se necesita conocer en qué posición irán ubicadas.

Figura 37

Acoplamiento de la estructura de hormas

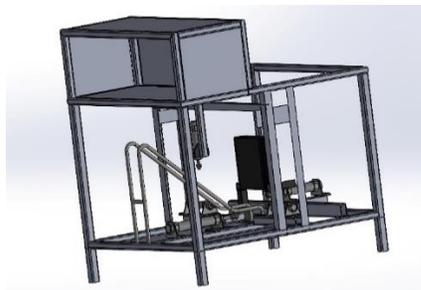
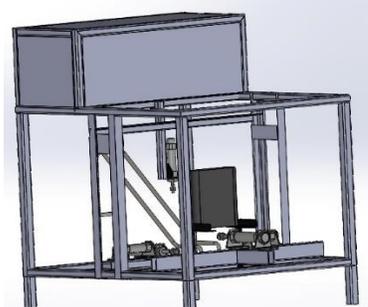


Figura 38*Acoplamiento del dispensador de plantillas*

Nota. La Figura 37 indica en qué posición irán soldadas la estructura donde se colocarán las hormas, mientras que en la Figura 38 se observa la posición en la que ira el dispensador de plantillas.

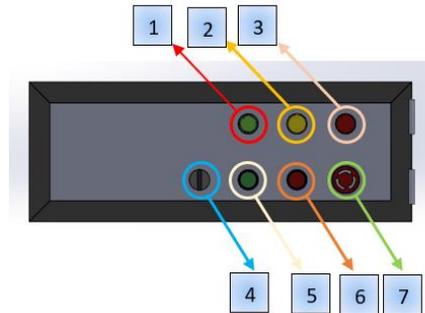
Al momento de diseñar el panel de control se tuvo en cuenta la ergonomía, para que cada uno de los elementos eléctricos y los dispositivos electrónicos sean de fácil acceso y que posean un sencillo alcance al momento de su uso, al realizar algún cambio o en el momento del mantenimiento de los componentes.

Los componentes que van en el panel de control son los siguientes:

1. Luz piloto verde
2. Luz piloto amarilla
3. Luz piloto roja
4. Selector
5. Pulsador verde
6. Pulsador rojo
7. Pulsador de emergencia

Figura 39

Panel de control

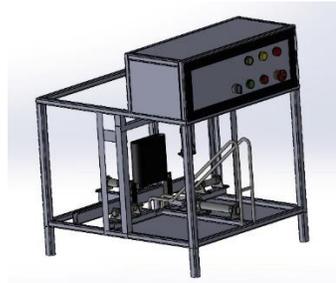


Nota. En la Figura 39 se indica la ubicación de cada uno de los componentes que van en el panel de control.

La posición del panel de control en la estructura mecánica.

Figura 40

Estructura mecánica

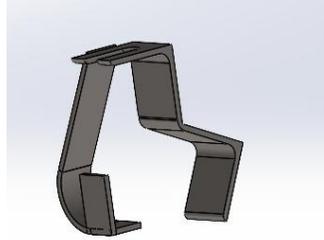


Nota. La Figura 40 representa como ira el panel de control en la estructura mecánica

La detención de hormas se diseñó una pieza la cual detenga las hormas, esta parte es clave ya que sin la misma el cilindro no podría ejercer el movimiento para realizar el retroceso y dejar que la horma pase para la etapa de grapado.

Figura 41

Pieza de agarre de hormas

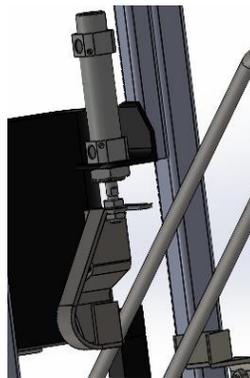


Nota. La Figura 41 indica el diseño del agarre que ira en el cilindro para el impedimento del paso de las hormas.

Con el diseño del agarre de hormas se integra en el cilindro y se ubica en la posición para ejecutar la función de paro para las hormas.

Figura 42

Unión del agarra con el cilindro

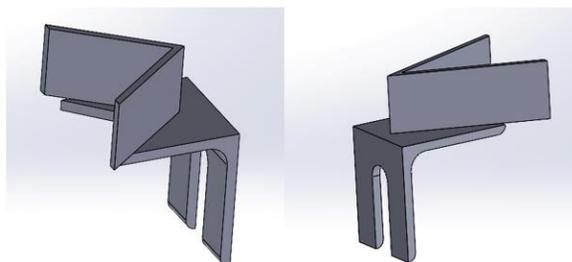


Nota. Con la Figura 42 se puede apreciar tanto la posición como el acople del agarre en la estructura y en el cilindro.

Al momento en que las hormas arriban a la parte inferior de la estructura por la cual se deslizan, estas llegan en forma desordenada por lo tanto se diseñaron dos piezas las cuales puedan adecuarlas de forma que el grapado sea el adecuado.

Figura 43

Piezas de ajuste



Nota. La Figura 43 se indica el diseño de las piezas que ajustaran en la posición deseada a las hormas para efectuar el grapado.

Agregando a lo anterior se necesita conocer cómo se posicionarán las piezas de ajuste de hormas.

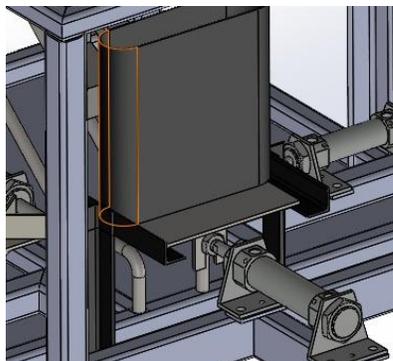
Figura 44

Montaje de piezas de ajuste



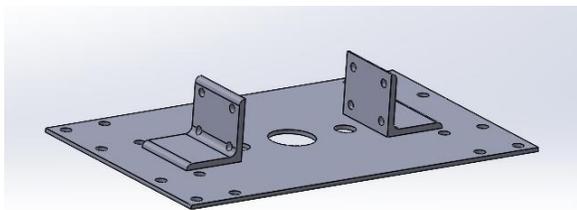
Nota. Por medio de la Figura 44 se observan como las piezas de ajuste se acoplan de forma sencilla a la estructura las cuales, podrán adaptar las hormas para proceder a la siguiente fase.

Por otra parte, es necesario diseñar una pieza en la cual caigan las plantillas y está a la vez se desplace para que se posicionen sobre las hormas y realice el ciclo de grapado.

Figura 45*Desplazador de plantillas*

Nota. En la Figura 45 se encuentra el desplazador de plantillas ya integrado en la estructura y listo para que el cilindro mueva la pieza que desplazará la plantilla.

De manera similar para la etapa de grapado es indispensable contar con una placa en la cual se alinean cuatro rodamientos lineales de 10mm, al mismo tiempo dos rodamientos lineales de 12mm, un cilindro el cual servirá para detener las hormas y tendrá que soportar el peso completo de la pistola de grapas, por lo tanto, se tuvo que diseñar una placa metálica la cual cumpla con todos los estándares y normas vigentes.

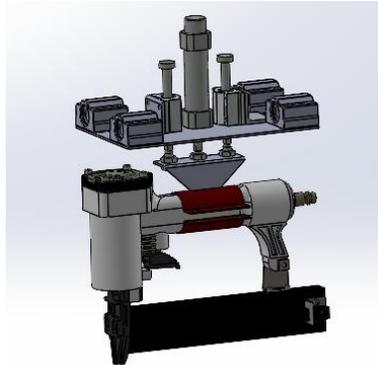
Figura 46*Placa metálica*

Nota. La Figura 46 indica la placa metálica con las respectivas perforaciones, donde se colocarán los rodamientos lineales de 10mm y con dos ángulos los cuales servirán para ubicar los rodamientos lineales de 12mm, el orificio en el centro será para el cilindro neumático.

Esto conduce a la integración de los seis rodamientos lineales de diferente medida, el cilindro y la grapadora neumática la cual esta sujete a través de pernos de cuatro pulgadas.

Figura 47

Sistema de sujeción de grapadora neumática

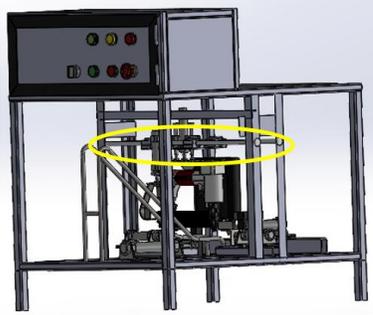


Nota. De la Figura 47 se puede notar todo el ensamble, el cual sujetará a la herramienta que grapará las hormas, el cilindro que proporcionará la detención de hormas y los rodamientos los cuales darán movimiento a la pistola de grapas.

Sin embargo, para que pueda moverse la pistola de grapas es imprescindible diseñar dos ejes los cuales estarán soldados en los perfiles “L” que se encuentran en la mitad de la estructura, estos ejes tendrán que soportar todo el peso del sistema de sujeción de la grapadora y deberán moverse a través de un motor el cual será controlado por medio de un sistema embebido.

Figura 48

Ejes



Nota. La Figura 48 da a conocer cómo se encuentran los ejes soldados, ya acoplados al sistema de sujeción de la grapadora neumática.

Análisis estructural de cargas

Mediante el este tipo de análisis se podrá evaluar cómo actúan las diferentes fuerzas aplicadas sobre el sistema de sujeción de la pistola de grapas. Mediante este proceso se tendrá una mejor comprensión de como los diferentes tipos de cargar externar afectan la integridad y la estabilidad del sistema.

Según (Mott, Diseño de lementos de máquinas, 2006) el factor de diseño es una medida la cual está sometida a la acción de una carga, con la finalidad de calcular un factor de diseño para determinar un esfuerzo de diseño, este esfuerzo deberá ser mayor con respecto al esfuerzo real que se provoca en la estructura, esto asegurará la estabilidad y la integridad de la estructura y u componentes.

Al no contar con códigos para establecer el valor del factor de seguridad se ha optado por especificar el factor de diseño debido al tipo de material que se emplea tanto para la estructura mecánica como para la placa metálica que sostendrá la pistola neumática

Factor de diseño según (Mott, Diseño de elementos de máquinas, 2006), para materiales dúctiles $N = 2.5$ a 4.0 , diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente

Con este factor de diseño proporcionando por el autor se determinará el esfuerzo de diseño y el esfuerzo real tanto de la estructura mecánica como la placa metálica

Análisis de la estructura mecánica

En el diseño de la estructura mecánica se tomará en consideración las cargas más críticas debido a los diferentes componentes que estarán ubicados en la estructura

Tabla 5

Cargas críticas en la estructura

Tipo de elemento	Cantidad	Peso (N)
Sistema de translación Lineal	1	46.42
Micro cilindro camisa de aluminio 20x25	3	16.1865N
Micro cilindro camisa de aluminio 25x50	1	11.772
Micro cilindro camisa de aluminio 25x100	1	14.715
Caja de control	1	39.24

Nota. La Tabla 5 indica los componentes que estarán ubicados en la estructura mecánica.

Debido a la geometría compleja, el análisis de deformación y factor de seguridad se realizará en un software de simulación adecuado.

Para realizar el cálculo del esfuerzo de diseño se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad 1)$$

Donde:

σ_d = Esfuerzo de diseño

S_y = Resistencia de flexión del acero ASMT A36 igual a 250 MPa

N = Factor de seguridad que se considera de 2.5.

Diseño de los ejes de transmisión

Para seleccionar el acero adecuado se debe tener en consideración aspectos ambientales, las propiedades del material y las cargas que soportarán.

Los contaminantes existentes en el ambiente hacen que los materiales se corran de una forma más acelerada, por lo que se escogió un material de acero inoxidable para poder evitar este tipo de condiciones.

Los aceros negros tienden a tener una superficie más áspera, lo que provoca un mayor coeficiente de fricción, para así aumentar la resistencia al deslizamiento, mientras que el acero inoxidable posee una baja rugosidad reduciendo las asperezas superficiales y facilitando el deslizamiento entre superficies.

Debido a lo anterior se seleccionó un acero inoxidable AISI 304 el cual presenta las siguientes características mecánicas:

Tabla 6*Propiedades mecánicas*

Resistencia mecánica (N/mm^2)	Punto de fluencia (N/mm^2)	Elongación % Min.	Dureza Rockwell B
520	220	20	249-278

Para poder diseñar los ejes se debe tomar en cuenta el peso aproximado que soporta el eje es de 46.72 N por lo tanto cada guía soporta un peso de 23.375 N. de acuerdo a las necesidades del diseño de la estructura se selecciona ejes que tienen una longitud de $L = 570\text{mm}$.

Para realizar el cálculo del momento flector máximo se debe considerar al eje de desplazamiento como una viga con carga puntual, por lo que se ha tomado en cuenta la siguiente expresión:

$$M = \frac{F * L}{4} \quad 2)$$

Reemplazando los datos tanto de fuerza como longitud en la ecuación 2), se obtiene lo siguiente:

$$M = \frac{F * L}{4}$$

$$M = \frac{(23.375 \text{ N}) * (0.57 \text{ m})}{4}$$

$$M = 3.33 \text{ Nm}$$

Se realiza el calcula para determinar el diámetro mínimo del eje con la siguiente expresión:

$$d \geq \left(\frac{32 * N * M}{\pi * S_y} \right)^{1/3} \quad 3)$$

Donde:

N se escoge de 2.5.

S_y = Resistencia a la fluencia del acero que es igual a 205 MPa

M = Momento flector

Sustituyendo los datos en la ecuación 3) se obtiene:

$$d \geq \left(\frac{32 * N * M}{\pi * S_y} \right)^{1/3}$$

$$d \geq \left(\frac{32(2.5)(3.33Nm)}{\pi * (205 \times 10^6 Pa)} \right)^{1/3}$$

$$d \geq 7.2923 \text{ mm}$$

Para evitar posibles deformaciones en el eje, se opta por seleccionar un diámetro mayor, lo que asegura el correcto funcionamiento del eje con un diámetro de 9.52 mm, debido a la disponibilidad del mercado, se elegio una varilla de 3/8 in. Esta decisión se basa en el hecho de que este diámetro es estándar y, además, es más comercializable

Tabla 7*Denominación del acero inoxidable AISI 304*

Denominación	Dinámetro	Peso
	mm	
	a	Kg/m
VRL 3/16	4,76	0,14
VRL 1/4	6,35	0,25
VRL 5/16	7,94	0,39
VRL 3/8	9,52	0,57
VRL 1/2	12,70	1,01

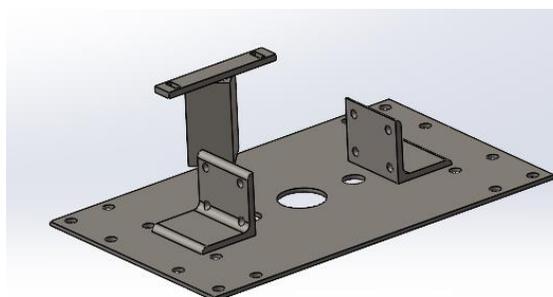
Diseño de la placa de selección y soporte de ejes

La geometría de la placa del soporte está diseñada para que pueda ser montada el motor y el sistema lineal de grapado.

A continuación, se mostrará cuáles serán los componentes los cuales soportará la placa metálica.

Tabla 8*Cargas críticas*

Tipo de elemento	Cantidad	Masa (Kg)
Pistola Neumática	1	1.7 kg
Placa de sujeción de ejes	1	0.5
Rodamientos SC10UU	4	1.36
Rodamientos SC8UU	2	0.6122
Micro cilindro camisa de aluminio 20x25	1	0.55
Total, de masa (kg)		4.722
Fuerza de masas (N)		46,42

Figura 49*Placa metálica y soporte de ejes*

Nota. La Figura 49 representa la placa que soportar el peso del actuador neumático, dos pernos, cuatro rodamientos lineales, dos ejes y la pistola de grapas.

Se debe considerar el peso de todo el mecanismo el cual es de 46.42 N, y la longitud sumada de los dos ejes el cual es de $L_p = 1.14m$. Para esto se utiliza la ecuación 2)

$$M_p = \frac{(46.42 \text{ N}) * (1.14 \text{ m})}{4}$$

$$M_p = 13.22 \text{ Nm}$$

Se aplica la ecuación 1) de esfuerzo de diseño máximo

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2.5}$$

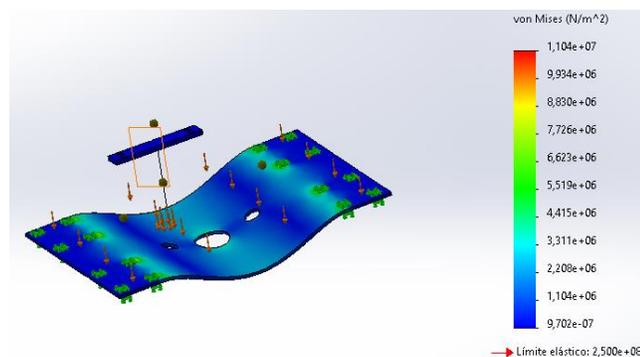
$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2.5}$$

$$\sigma_d = 100 \text{ MPa}$$

Por la geometría compleja de la placa, el análisis y deformación se realiza en el software de simulación adecuado.

Figura 50

Esfuerzo máximo en la placa de acero



Nota. La Figura 50 indica la escala de Von Mises la cual da como resultado un esfuerzo máximo de 11.4MPa comparando con el esfuerzo de diseño igual a 100MPa cumpliendo con la ecuación 1).

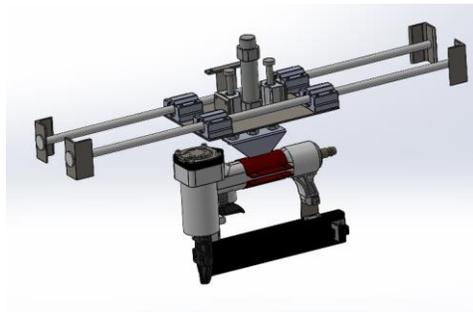
$$\sigma' < \sigma_d$$

$$11.4MPa < 100 MPa$$

Finalmente, se procede a realizar el montaje de todas las piezas que se encontrarán en el sistema de desplazamiento.

Figura 51

Sistema de desplazamiento



Diseño del Sistema de Transmisión

El desplazamiento lineal en los ejes se realiza mediante un sistema de transmisión Polea-Correa. La fuerza necesaria para mover estos mecanismos se determina mediante la Ecuación de la Energía, por tanto, la fuerza requerida para el movimiento se calcula con la siguiente expresión:

$$F = N * \left(\frac{v^2}{2 * d * g} + f_r \right) \quad 4)$$

Donde:

N = Fuerza normal

v = Velocidad 500 rpm

d = Distancia entre las poleas

g = Gravedad

f_r = Fuerza de fricción

Se considerará que la fuerza normal será de 46.42 N, la velocidad que va funcionar el sistema el cual esta seteado en el programa de 500 rpm el cual se le transforma a rad/s y se multiplica por el radio de la polea el cual es de 0.0075 m y da como resultado 0.3926 m/s, la distancia entre las poleas que es igual a 0.46 m, se utiliza la gravedad de 9.81 m/s^2 y se tomará en cuenta una fuerza de fricción (acero sobre acero) igual a 0.18. Se aplicará la ecuación 4).

$$F = 46.42 \text{ N} * \left(\frac{(0.3926 \text{ m/s})^2}{2 * (0.4\text{m}) * \left(\frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 0.18 \right)$$

$$F = 9.26 \text{ N}$$

Se procede a calcular el torque del motor, se desprecia el peso de la banda, los momentos de inercia que puede tener las poleas y que no va existir deslizamiento de la banda dentada. Se utiliza la siguiente expresión:

$$T = F * r \quad 5)$$

Donde:

r = Radio de las poleas

Se reemplazan los datos en la ecuación 5) para obtener el torque, donde el radio de las poleas es de 0.0075m, por lo que se obtiene lo siguiente:

$$T = 9.26 N(0.0075m)$$

$$T = 0.0695 Nm$$

Con los datos obtenidos se seleccionó el motor Nema 17 cuyas características son:

Figura 52

Características del motor Nema 17

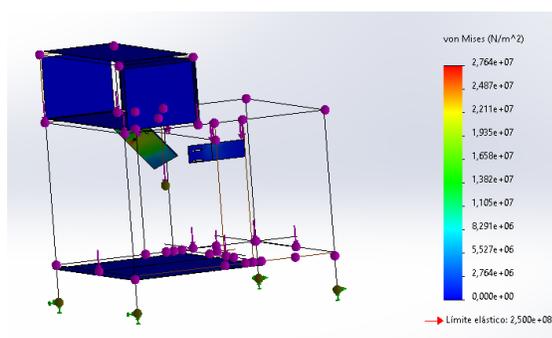
型号 Model No.	步距角 Step Angle (°)	长度 Motor Length (L)mm	电流 Current /Phase A	电阻 Resistance /Phase Ω	电感 Inductance /Phase mH	静转矩 Holding Torque kg.cm	引线数 # of Leads No.	定位转矩 Detent Torque g.cm	转子惯量 Rotor Inertia g.cm ²	重量 Weight Kg
42HS25-0404	1.8	25	0.4	24	36	1.8	4	75	20	0.15
42HS28-0504	1.8	28	0.5	20	21	1.5	4	85	24	0.22
42HS34-1334	1.8	34	1.33	2.1	2.5	2.2	4	120	34	0.22

Debido a la geometría compleja, el análisis de deformación y factor de seguridad se realiza en el software de simulación adecuado.

Análisis de la estructural de la estructura mecánica

Figura 53

Simulación del esfuerzo de diseño de la estructura



Nota. Se indica en la Figura 53 un esfuerzo de 27.76MPa obtenido por medio de la Tabla 5 indicando que es menor al esfuerzo de diseño por lo que cumple con la ecuación (1), además se puede apreciar las diferentes cargas de los componentes en la estructura.

Con los datos obtenidos de la ecuación 1) y calculado el esfuerzo de diseño con un factor de seguridad N de 2.5 y S_y la resistencia de flexión del acero ASMT A36 igual a 250 MPa.

$$\sigma_d = \frac{250MPa}{2.5}$$

$$\sigma_d = \frac{250MPa}{2.5}$$

$$\sigma_d = 100MPa$$

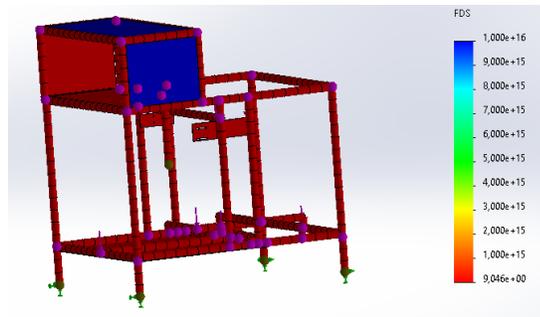
El esfuerzo máximo es de $27.64MPa$ comparando con el esfuerzo de diseño igual a $100MPa$ cumpliendo con la ecuación (1).

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$27.764 MPa < 100 MPa$$

Figura 54

Factor de seguridad



Nota. En la Figura 54 se puede comprobar que el factor de seguridad es de 9, por lo que se puede decir que está muy sobredimensionado, esto se puede justificar por el material existente en el mercado.

Según la norma ASTM A-36 que se da para perfiles estructurales de acero bajo en carbono, la capacidad de resistencia a la fluencia es de 250 MPa por lo que el diseño realizado para la máquina de fijación de plantillas a compresión cumple con la capacidad de resistir diferentes cargas y esfuerzos externos aplicados a la máquina, por lo que se escogerá el acero ASTM-A36 para la construcción de la máquina.

Al tener un sobredimensionamiento se puede decir que se ha diseñado la estructura con capacidad superior a las requeridas para soportar las cargas aplicadas.

Selección de materiales

Criterios de selección

Para la selección de materiales se debe tener en consideración diferentes aspectos los cuales son necesarios para que se garantice su funcionamiento, durabilidad, seguridad, formas de conexión, tipo de alimentación, ubicación de cada componente, salidas que proporciona y las necesidades del sistema.

Estructura

Debido a que la estructura debe soportar cargas, resistir tensiones, en primer lugar, el diseño del sistema se realizó en software CAD, con la ayuda de estas herramientas, se determinó que tipo de material se necesita para soportar las cargas tanto de dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos.

El material está destinado para la construcción de una estructura que soporte cargas y tensiones, esto hace que el acero estructural sea la opción ideal debido a la aplicación que se le va a dar.

Para la elección adecuada de un material se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Propiedades del material:
- Disponibilidad
- Precio

Propiedades mecánicas del acero estructural

- **Resistencia máxima:** Esta propiedad se da cuando el material experimenta tensión o fuerza máxima a la cual el material debe soportar para no deformarse de manera permanente, por lo tanto, es el punto en el que el material empieza a ceder y deformarse plásticamente.
- **Resistencia a la cadencia:** Esta propiedad se da cuando se aplican fuerzas o tensiones máximas al material, por lo tanto, este debe soportar dichas cargas antes de fracturarse, por lo que se puede decir que es el punto donde el material falla y se rompe.
- **Porcentaje de alargamiento:** Es la capacidad que posee un material para que se deforme antes de fracturarse. Esto indica que el material puede absorber cierto grado de energía antes de que falle, por lo que es importante para la seguridad y el comportamiento de la estructura en caso de cargas inesperadas.

A continuación, se muestra el apéndice de las propiedades de los aceros estructurales.

Figura 55**Propiedades de aceros estructurales**

A-16 Propiedades de aceros estructurales.

Material ASTM más el producto	Resistencia máxima, σ^*		Resistencia a la cedencia, σ_y		Porcentaje de alargamiento, en 2 in.
	ksi	MPa	ksi	MPa	
A36—Perfiles, placas y barras de acero al carbono	58	400	36	248	21
A 57—Láminas y barras	60	414	35	240	—
A362—Perfiles, placas y barras	70	483	30	205	21
A572—Acero al carbono laminado en frío — 1/2 y 3/4 in. de espesor	65	448	46	317	21
— 1/2 y 3/4 in. de espesor	65	454	42	290	21
A572—Acero al carbono laminado en frío — Rodado, grado B	58	400	42	290	23
— Rodado, grado C	62	427	46	317	23
— Perfilado, grado B	58	400	46	317	23
— Perfilado, grado C	62	427	50	345	23
A572—Acero al carbono laminado en caliente, — Rodado o perfilado	58	400	36	248	23
A572—Acero al carbono laminado y — Rodado en acero, placa — 1/2 in. de espesor	110	758	100	688	16
— 3/4 y 1 in. de espesor	100	689	90	620	16
A572—Acero al carbono laminado — Rodado o perfilado, placa y barras	60	414	42	290	24
— Rodado 50	65	448	50	345	21
— Rodado 60	75	517	60	414	18
— Rodado 65	80	552	65	448	17
A571—A571-A, grado 60, perfilado	60	414	65	448	17
A571—A571-A, grado 60, perfilado	65	448	50	345	21

*Módulo mínimo, puede ser más elevado.
 A571-A Baja aleación y alta resistencia.
 El American Institute of Steel Construction especifica E = 29 x 10⁶ lb/in² (200 GPa) para acero estructural.

Nota. La Figura 55 indica las diferentes propiedades mecánicas que poseen los aceros estructurales. Tomado de Lista de apéndices, Apéndice A-16. (Mott, Resistencia de Materiales , 2009)

Disponibilidad

Es una causa importante debido a que la construcción de la máquina es posible si existe el material necesario, por lo que es imprescindible conocer su disponibilidad actual, a largo plazo y si esta disponibilidad es constante o estacional. Debido a que el acero estructural ASTM A36 es muy comercial, se puede asegurar que existe en la actualidad y a largo plazo en el país.

Norma ASTM A-36

Esta norma es aplicable a una variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que están disponibles en el mercado. Tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm² (250 MPa, 36 ksi), y su soldabilidad es adecuada.

A36 es acero bajo en carbono. El acero con bajo contenido de carbono se clasifica con menos del 0.3 % de carbono en peso. Esto permite que el acero A36 se mecanice, suelde y forme fácilmente, lo que lo hace extremadamente útil como acero de uso general.

Por medio de la norma el acero A-36 lo hace ideal para la construcción de la máquina la cual soportará una deformación máxima de 250 MPa haciéndola resistente cuando el material experimente cargas y esfuerzo en diferentes direcciones.

Precio

Al ser el acero estructural ASTM A36 muy comercial esto hace que, el precio sea accesible, ya que en diferentes circunstancias el costo de diferentes materiales es muy elevado, por lo que pone en peligro la rentabilidad del proyecto.

Selección del perfil para el acero estructural

El perfil HSS (*Hollow Structural Sections*) es un material versátil que permite la construcción de diferentes estructuras de diversos tamaños. Su composición de acero le permite fungir como soporte de carga. Este perfil está formado en frío por lo que se puede usar soldado o atornillado, proporcionando, uniformidad, solidez a la estructura, cuenta con una gran resistencia incluso mayor que los perfiles abiertos, tiene una relación peso-fuerza que lo dotan de una fuerza uniforme.

Este tipo de perfiles resultan altamente provechosos en la composición de estructuras mecánicas debido a las cualidades de su sección. Estas son altamente adecuadas para componentes sujetos a carga, como vigas sometidas a flexión, y para situaciones de carga torsional (torsión) gracias a su sección transversal cerrada. Las superficies planas con frecuencia simplifican la unión de componentes entre sí o la fijación de equipos a los elementos estructurales. En algunos armazones se sueldan como una unidad integral que funciona como un armazón espacial rígido. (Mott, Resistencia de Materiales , 2009)

Por lo tanto, se escogió para la estructura, acero estructural ASTM A36 con un perfil cuadrado de 30x30x1.

Selección de material para la estructura tipo tobogán

Se diseñó la estructura tipo tobogán para que las hormas necesariamente se deslicen por lo que es indispensable el uso de un material que no tenga porosidad, baja rugosidad, resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, dureza y sobre todo que posea una baja fricción.

El material que posee todas estas características es el acero inoxidable, al ser un material resistente y poseer poca fricción, hará que las hormas se deslicen sin ningún problema.

Dispensador y desplazador de plantillas

Las plantillas al ser un material liviano, la fuerza que realiza no es demasiada por lo que se optó por un material de bajo costo y que se disponga y esté disponible en el país, debido a esto se seleccionó el acero ASTM A36 el cual es el más común, económico y existente.

Actuadores Neumáticos

Para la selección de actuadores neumáticos lo primero es comprender las necesidades, los requisitos del sistema ya que es crucial poder alcanzar los objetivos de la máquina, por lo que se empieza definiendo los parámetros de operación es decir la presión necesaria que requerirá el sistema, el tipo de cilindros neumáticos (doble o simple efecto), tipo de válvulas (direccionales, de control de flujo y de presión que cumplan con las necesidades de control y regulación del sistema), reguladores de presión los cuales son necesarios para mantener la presión del sistema dentro de los límites, filtros los cuales sirven para tener un aire limpio donde no posea partículas de polvo, aceite entre otros, ya que con aire limpio el funcionamiento de todos los dispositivos neumáticos tiene un mejor desempeño, su costo y la facilidad de mantenimiento.

A través del diseño de la máquina se puede identificar que son necesarios cuatro cilindros neumáticos de simple efecto, por consiguiente, es necesario que el funcionamiento de los actuadores sea con retorno por muelle, donde el primero se hará uso para la retención de las hormas, el segundo cilindro se hará cargo de la distribución de la plantilla y, a continuación, dos más se utilizarán en acoplar tanto la horma como la platilla y por último un quinto cilindro el cual su funcionamiento será de doble efecto, por lo que es necesario que posea movimiento en ambos lados, para luego pueda realizar el proceso de grapado de la plantilla y la horma.

Según la máquina se puede comprender las longitudes necesarias que cada actuador neumático necesita para ello es necesario calcular el diámetro de los cilindros.

Selección del diámetro y carrera de los cilindros neumáticos

Se seleccionaron cilindros neumáticos de doble efecto debido a que no se requiere un retorno por muelle, sino que es necesario controlar tanto la expansión como la contracción de todos los cilindros del sistema.

El compresor será el encargado de entregar aire comprimido a todo el sistema, por ende, la presión será la misma para todos los actuadores neumáticos, la cual será de 2.2 psi.

Para seleccionar el diámetro del embolo del cilindro neumático se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Se calcula el diámetro del embolo que se encargará tanto de posicionar la horma como de empujar el producto final.
- Se calcula el diámetro del embolo que se encargará de acoplar la horma con la plantilla.
- Se calcula el diámetro del embolo que se encargará de la detención de hormas al inicio del proceso.

- Se calcula el diámetro del embolo que se encargará de impulsar las plantillas hacia la horma desde el expendedor de plantillas.
1. Para el cálculo del diámetro del embolo que se encargará tanto de posicionar la horma como de empujar el producto final, se utilizó la siguiente expresión:

$$P = \frac{F}{A} \quad 6)$$

Donde:

P = Presión

F = Fuerza de carga

A = área

Para hallar el diámetro del vástago se empleó la siguiente expresión

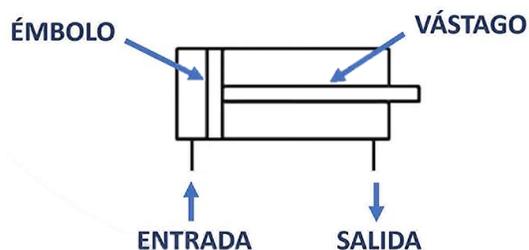
$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad 7)$$

Donde:

D = diámetro

Figura 56

Símbolo del cilindro de doble efecto



A partir de la ecuación 6), se despeja el área:

$$A = \frac{F}{P} \quad 8)$$

Se emplean los siguientes datos:

Datos:

$$P = 2.2 \text{ psi} \approx 0.01517 \text{ Mpa}$$

$$\text{Placa metálica} + \text{horma} = F = (400 + 320g) * \frac{9.81m}{s^2} = 3.924 \text{ N}$$

Se sustituye la ecuación 7) en la ecuación 8) y se reemplazan los datos, se despeja el diámetro obteniendo el siguiente resultado:

$$A = \frac{(720 * 10^{-3} \text{ kg}) * \frac{9.81m}{s^2}}{0.01517 \text{ Mpa}}$$

$$A = 465.60 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 465.60 \text{ mm}^2$$

$$D^2 = \frac{(465.60 \text{ mm}^2) * 4}{\pi}$$

$$D = 24.35 \text{ mm}$$

Se recomienda elegir un diámetro igual o mayor al calculado

Se escoge el diámetro de 24.35 mm, sin embargo, debido a que este diámetro no existe, se selecciona según el catálogo del proveedor el cual es un diámetro de 25 mm estándar que se utilizará en un cilindro neumático.

Se opta por una carrera de 100 mm ya que la distancia necesaria para empujar tanto la horma al inicio del proceso como al final es de 90mm y 100mm, por lo que se utilizará un cilindro 25x100, con una geometría cilíndrica ya que se ahorra espacio en el sistema

2. Para el cálculo del diámetro del embolo que se encargará de acoplar la horma con la plantilla, se utilizó la ecuación 3) y 4) con los siguientes datos:

Datos:

$$P = 2.2 \text{ psi} \approx 0.01517 \text{ Mpa}$$

$$\text{Carga (hormas + placas metálicas)} = F = (200g + 125g) * \frac{9.81m}{s^2} = 3.188 \text{ N}$$

Se sustituye la ecuación 7) en la ecuación 8) y se reemplazan los datos, se despeja el diámetro para obtener el siguiente resultado:

$$A = \frac{(325 * 10^{-3} \text{ kg}) * \frac{9.81m}{s^2}}{0.01517 \text{ Mpa}}$$

$$A = 210.16 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 210.16 \text{ mm}^2$$

$$D^2 = \frac{(210.16 \text{ mm}^2) * 4}{\pi}$$

$$D = 16.35 \text{ mm}$$

Se escoge el diámetro de 16.35 mm, sin embargo, debido a que este diámetro no existe, se selecciona según el catálogo del proveedor el cual es un diámetro de 20 mm estándar que se utilizará en dos cilindros neumáticos.

Se elige una carrera de 20 mm debido a que se deben acoplar tanto horma como plantilla, donde la distancia necesaria es de 25 mm, por lo que se utilizará un cilindro 20x25, con una geometría cilíndrica ya que se ahorra espacio en el sistema.

3. Se calcula el diámetro del émbolo que se encargará de la detención de hormas al inicio del proceso, se utilizó la ecuación 6) y 7) con los siguientes datos:

Datos:

$$P = 2.2 \text{ psi} \approx 0.01517 \text{ Mpa}$$

$$\text{Carga (horma + placa metálica)} = F = (200 + 200g) * \frac{9.81m}{s^2} = 3.924 \text{ N}$$

Se sustituye la ecuación 7) en la ecuación 8) y se reemplazan los datos, se despeja el diámetro para obtener el siguiente resultado:

$$A = \frac{(400 * 10^{-3} kg) * \frac{9.81m}{s^2}}{0.01517Mpa}$$

$$A = 258.67 mm^2$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 258.67 mm^2$$

$$D^2 = \frac{(258.67 mm^2) * 4}{\pi}$$

$$D = 18.14 mm$$

Se escoge el diámetro de 18.14 mm, sin embargo, debido a que este diámetro no existe, se selecciona según el catálogo del proveedor el cual es un diámetro de 20 mm estándar que se utilizará en un cilindro neumático.

Se selecciona una carrera de 25 mm ya que el cilindro debe permanecer expandido, donde la distancia necesaria es de 25 mm, por lo que se utilizará un cilindro 20x25, con una geometría cilíndrica ya que se ahorra espacio en el sistema.

4. Se calcula el diámetro del embolo que se encargará de impulsar las plantillas hacia la horma desde el expendedor de plantillas, se utilizó la ecuación 6) y 7) con los siguientes datos:

Datos:

$$P = 2.2 psi \approx 0.01517Mpa$$

$$Carga (placa metálica + plantilla) = F = (510g + 10g) * \frac{9.81m}{s^2} = 5.10 N$$

Se sustituye la ecuación 7) en la ecuación 8) y se reemplazan los datos, se despeja el diámetro para obtener el siguiente resultado:

$$A = \frac{(520 * 10^{-3} kg) * \frac{9.81m}{s^2}}{0.01517 Mpa}$$

$$A = 336.27 mm^2$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 336.27 mm^2$$

$$D^2 = \frac{(336.27 mm^2) * 4}{\pi}$$

$$D = 20.69 mm$$

Se escoge el diámetro de 20.69 mm, sin embargo, debido a que este diámetro no existe, se selecciona según el catálogo del proveedor el cual es un diámetro de 25 mm estándar que se utilizará en un cilindro neumático.

Se selecciona una carrera de 50 mm ya que el cilindro deberá mover una placa metálica, la cual empujara la plantilla para que caiga encima de la horma, por lo que la distancia necesaria es de 45 mm y se utilizará un cilindro 25x50, con una geometría cilíndrica ya que se ahorra espacio en el sistema.

Selección de válvulas

El empleo de electroválvulas es esencial, ya que se requiere un control preciso del flujo de aire. Al seleccionar las válvulas, es crucial considerar diversos criterios técnicos, así como la aplicación específica en la que se utilizarán estos dispositivos neumáticos.

Por lo que para la selección de válvulas se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

En primer lugar, el tipo de fluido con el que se trabajará, en este caso será con aire comprimido.

Agregando a lo anterior se toma en cuenta el número de vías y posiciones, ya que es necesario que el flujo sea controlado en dos posiciones diferentes, que posea retorno y la

salida de escape por lo que la válvula cumple esto es la de 5 vías y 2 posiciones, este tipo de válvula se utilizará en el proceso de retención de hormas, adaptar en la posición correcta las hormas y expulsar las hormas hacia un compartimiento de almacenamiento.

Figura 57

Válvula 5/2



Nota. En la Figura 57 se puede observar la electroválvula de 5 vías y 2 posiciones de 24VDC. Tomado de Products, valve, Selenoide, J 4V200. (JELPC, 2020)

Selección de la unidad de mantenimiento

Los dispositivos neumáticos deben tener una función excelente, por lo que el flujo de aire debe ser tratado, es decir, filtrado, regulado y lubricado, por lo que esto garantizaría la vida útil de los actuadores neumáticos.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario el uso de una unidad de mantenimiento, sin embargo, se escogió este dispositivo neumático el cual encajará con la estructura, por lo que se eligió una mini unidad de mantenimiento de 1/4 AFC2000

Figura 58

Mini unidad de mantenimiento



Nota. La Figura 58 indica la unidad de mantenimiento de 1/4 AFC2000 para el tratamiento del aire. Tomado de neumática, tratamiento de aire comprimido, FRL. (Dold, 2017)

Selección de reguladores de flujo

Elegir el controlador de flujo de aire correcto es importante para garantizar un control de flujo preciso y un funcionamiento eficiente en los actuadores neumáticos. Por lo tanto, al escoger un regulador de flujo de aire se toma en cuenta, la presión de trabajo, el tipo de regulador, la compatibilidad con el fluido que se va a trabajar, la capacidad del regulador ya que debe poseer el suficiente volumen para manejar la demanda de aire que se dirige al sistema.

Considerando lo anterior se ha optado por un regulador de caudal tipo banjo 6mm x 1/8.

Figura 59

Regulador de caudal



Nota. La Figura 59 muestra el regulado de caudal tipo banjo de 1/4. Tomado de Equipamiento para industrias, manufactura, insumos. (Ocompra, 2017)

Accesorios neumáticos

Los componentes neumáticos son necesarios para realizar los diferentes tipos de conexiones neumáticas necesarias ya sea entre válvulas, cilindros, unidades de mantenimiento, accesorios de conexión, entre otros.

Entre los accesorios neumáticos para conexiones se seleccionaron los siguientes:

Racor recto

Figura 60

Racor recto



Nota. La Figura 60 indica un racor recto de 6mm por $\frac{1}{4}$. Tomado de Tienda online de material eléctrico. (Inyerpartes, 2023)

Maguera de 6mm azul poliuretano

Ampliamente utilizado en aplicaciones neumáticas gracias a sus propiedades y características que lo hacen apto para esta clase de sistemas

Figura 61

Manguera azul



Nota. La Figura 61 se indica la manguera de poliuretano específica para aplicaciones neumáticas. Tomado de Amazon. (pneumatic, 2017)

Silenciadores neumáticos

Este tipo de accesorio es necesario para amortiguar el ruido, es decir se reduce el nivel de ruido producido por el escape del aire comprimido, ya que el escape de flujo a altas velocidades causa desgaste en los dispositivos neumáticos, con el uso de estos accesorios se puede alargar la vida útil de cada componente neumático.

Figura 62

Silenciador neumático



Nota. La Figura 62 indica el silenciador neumático el cual reduce el ruido, previene danos auditivos y extiende la vida útil de los componentes.

Tomando de Automatización, Neumática, Silenciador Neumático. (Armotec, 2023)

Pistola de grapas

La pistola de grapas neumática es una herramienta accionada por aire que se utiliza para unir o asegurar materiales con grapas. Estas grapas son pequeños elementos metálicos en forma de U que se insertan en la pistola y se introducen en el material, proporcionando un agarre fuerte y seguro. Las pistolas de clavos neumáticas son particularmente útiles en aplicaciones donde se requieren conexiones rápidas y eficientes.

Figura 63*Pistola de grapas*

Nota. La Figura 63 da a conocer como es una pistola de grapas de la marca Century, la cual se usará en la etapa de grapado de hormas. Tomado de Compresores de aire comprimido, aire pistolas de grapas. (Ebay, 2023)

Eléctricos y electrónicos

Para la selección de componentes eléctricos implica considerar varios factores para garantizar su funcionamiento, por lo tanto, se toma en cuenta los tipos de actuadores eléctricos, como son los motores o actuadores lineales, el sistema de control, los tipos de sensores, fuente de alimentación, las conexiones, su mantenimiento, se ha optado por la marca de Arduino para la parte de sensores, componentes eléctricos entre otros, ya que es muy accesible y económico.

Selección del sistema embebido

Es un sistema electrónico diseñado específicamente para ejecutar funciones determinadas, generalmente integrado en un sistema más grande. Este tipo de sistema se caracteriza por emplear uno o varios procesadores digitales (CPUs) en formato de microprocesador, microcontrolador o DSP (Procesador Digital de Señales), lo que le permite aportar una 'inteligencia' al sistema principal. La finalidad de este sistema es realizar tareas específicas de manera eficiente y confiable dentro del contexto del sistema más amplio en el que está integrado.

Al ser una máquina a escala se debe tener en cuenta los requisitos del proceso, las entradas y salidas, el costo, el entorno de desarrollo, su disponibilidad, las interfaces de comunicación, la velocidad, el rendimiento y la memoria (RAM). De modo que se acogió el microcontrolador Arduino Mega ya que cumple con todas las características mencionadas con anterioridad.

Figura 64

Arduino Mega



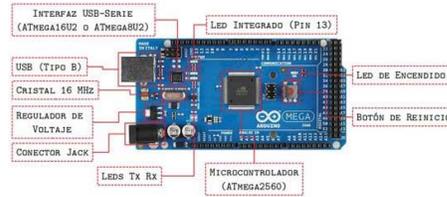
Nota. La Figura 64 representa el microcontrolador Arduino Mega. Tomado de Boards, Arduino Mega. (Arduino, 2021)

El Arduino Mega 2560 se configura como una placa de controlador microelectrónico apoyada en el ATmega2560. Posee 54 pines de interacción digital (15 de ellos pueden ser destinados como salidas PWM), además de 16 entradas analógicas. También dispone de 4 UART (puertos seriales de hardware), un cristal oscilador de 16 MHz, una interfaz USB, una conexión para la fuente de energía, un cabezal ICSP y un botón de reactivación. (Arduino, 2021)

Componentes principales

Figura 65

Componentes de Arduino Mega



Nota. La Figura 65 se observa todos los componentes que existen en la placa de Arduino Mega. Tomado de Arduino Blog. (Carmenate, 2020)

Microcontrolador ATmega2560

El ATmega2560 es el cerebro del Arduino MEGA 2560. No solo en cuanto a su posición en la placa, sino en cuanto a importancia ya que están conectados prácticamente todos los pines.

Figura 66

Microcontrolador ATmega2560



Nota. La Figura 66 se indica el microcontrolador que posee el Arduino Mega. Tomado de Arduino Blog. (Carmenate, 2020)

Cuadro comparativo entre varios sistemas embebidos

Tabla 9*Cuadro comparativo de varios sistemas embebidos*

Características técnicas	Arduino Mega	Raspberry Pi	PLC Siemens S7-1200	ESP8266 NodeMCU
Potencia de Procesamiento	Microcontrolador AVR de 8 bits	Procesador ARM Cortex de 32 bits	Procesador dedicado para automatización	Microcontrolador basado en arquitectura Xtensa LX106
Memoria	256 KB de memoria flash, 8 KB de SRAM	Varía según el modelo (hasta 8 GB de RAM)	Varía según el modelo y fabricante	4 MB de memoria flash
Conectividad	No tiene Wi-Fi ni Bluetooth integrados	Wi-Fi y Bluetooth integrados en modelos más recientes	Conectividad Ethernet y serie integrada	Wi-Fi integrado
Facilidad de Uso	Fácil de usar, amplia comunidad de usuarios, software libre	Fácil de usar, amplia comunidad de usuarios, software libre	Requiere conocimientos de programación específicos y	Requiere conocimientos básicos de programación, software libre

Características técnicas	Arduino Mega	Raspberry Pi	PLC Siemens S7-1200	ESP8266 NodeMCU
			software de pago	
Aplicaciones	Proyectos de electrónica y control básico	Proyectos de IoT, servidores, computadoras de escritorio, etc.	Automatización industrial, control de procesos, sistemas de seguridad, etc.	Proyectos de IoT, automatización básica, sensores y actuadores
Costo	Bajo	Mediano	Alto	Mediano

Nota. Por medio de la Tabla 9 se escogió el sistema embebido Arduino, debido a su bajo costo, su software libre, fácil de programar y su disponibilidad en el mercado.

El proceso de fijación de plantillas mediante compresión neumática, inicialmente controlada por una tarjeta Arduino Mega, puede mejorarse al sustituyendo el controlador con una Raspberry Pi o incluso por un PLC, esto permite mejorar la calidad del producto, mediante una programación más eficiente reduciendo así el tiempo del proceso y mejorando su funcionamiento.

Selección del motor

La elección del motor es crucial ya que deberá mover un peso de 2kg (pistola de grapas 1kg y soporte 1kg), debe ser pequeño, preciso, simple en su control, velocidad baja, no necesita retroalimentación y debe mantener su posición.

Motor síncrono

Es una máquina sincrónica que convierte potencia eléctrica en potencia mecánica. Una máquina sincrónica puede suministrar potencia real a un sistema de potencia o consumirla de este, y puede suministrar potencia reactiva al sistema de potencia o consumirla de este.

Un motor sincrónico es físicamente igual a un generador sincrónico, excepto porque la dirección del flujo de potencia real es inversa. Puesto que los motores sincrónicos están usualmente conectados a sistemas de potencia que contienen generadores mucho mayores que los motores, la frecuencia y el voltaje en los terminales de un motor sincrónico son fijos.

Motor asíncrono

Es el tipo de motor de corriente alterna más popular debido a la simplicidad y facilidad de operación. Un motor asíncrono no tiene circuito separado de campo, en su lugar depende de la acción de un transformador para inducir voltajes y corrientes en su circuito de campo. En efecto, un motor asíncrono es básicamente un transformador rotante y su circuito equivalente es similar al de un transformador. (Chapman, 2000)

Para la máquina, es necesario un motor que transforme energía eléctrica en energía mecánica por ende se escogerá el tipo de motor síncrono. Además, es indispensable controlar la velocidad y el movimiento de este tipo de motor, por lo que se deberá utilizar un controlador (driver), también deberá ser preciso en cuanto a posicionamiento, asimismo su costo, la simplicidad en el control y que no posea demasiado ruido.

Motor paso a paso

Figura 67

Motor paso a paso



Nota. La Figura 67 representa un motor paso a paso bipolar NEMA17. Tomado de Todo sobre el motor paso a paso compatible con Arduino, (Isaac, 2020)

El motor paso a paso lo hace adecuado para el control de movimiento, debido a que se desplazara en pasos discretos, lo que facilita el control preciso de la posición y la velocidad haciéndolo ideal para movimientos controlados.

Los motores paso a paso son muy eficientes ya que pueden mantener un par constante en a bajas velocidades, lo cual es útil en aplicaciones que requieren un movimiento lento y controlado.

Este motor se controla mediante pulsos eléctricos por lo tanto el uso de drivers para este tipo de motores se simplifica ya que no es necesario utilizar un controlador para velocidades.

Su precio y tamaño al ser económico y pequeño lo hace fácil de adquirir e integrar a la estructura de la máquina.

Se escogió un motor paso a paso bipolar debido a que posee un alto par de torsión ya que el arranque debe ser suave.

Por ello se ha optado por un motor paso a paso el cual posee todas las características indispensables para el funcionamiento de la máquina.

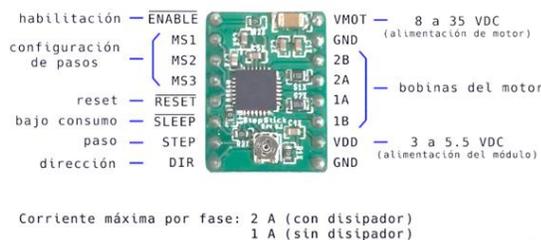
Selección del driver para el motor paso a paso

El motor paso a paso debe ser controlado por medio de drivers por lo que la elección de este componente es imprescindible para su funcionamiento.

Se a escogió el driver A4988, ya que es muy popular en el uso de controladores para este tipo de motores, lo que lo hace muy confiable, por tener un costo accesible y por su seguridad ya que el módulo posee un Preset regulador de corriente máxima ya que si se excede la corriente máxima el módulo interrumpe de forma automática la alimentación al motor, ayudando a conservarlo.

Figura 68

Controlador A4988



Nota. La Figura 68 representa el driver que se utiliza comúnmente para el control del motor paso a paso.

Para mantener el motor se debe establecer una corriente de seguridad para que no trabaje al límite por lo que dependiendo del tipo de motor se establecerá la corriente máxima desde la hoja de datos del motor.

El motor escogido es NEMA17 42HS25-0404 por lo que se escogerá la corriente de fase desde la hoja de datos del motor.

Figura 69

Especificaciones técnicas NEMA17

项目	Item	性能 (Specifications)
步距角	Step Angle	1.8°
温升	Temperature Rise	80°Cmax
环境温度	Ambient Temperature	-20°C ~ +50°C
绝缘电阻	Insulation Resistance	100 MΩ Min. ,500VDC
电气强度	Dielectric Strength	500VAC for 1minute
径向间隙	Shaft Radial Play	0.02Max. (450g-load)
轴向间隙	Shaft Axial Play	0.08Max. (450g-load)
最大径向压力	Max. radial force	28N (20mm from the flange)
最大轴向压力	Max. axial force	10N



电机规格 / Electrical Specifications:

型号 Model No.	步距角 Step Angle	长度 Motor Length	电流 Current /Phase	电阻 Resistance /Phase	电感 Inductance /Phase	静转矩 Holding Torque	引线数 # of Leads	定位转矩 Detent Torque	转子惯量 Rotor Inertia	重量 Weight
	(°)	(L)mm	A	Ω	mH	kg.cm	No.	g.cm	g.cm ²	Kg
42HS25-0404	1.8	25	0.4	24	36	1.8	4	75	20	0.15
42HS28-0504	1.8	28	0.5	20	21	1.5	4	85	24	0.22
42HS34-1334	1.8	34	1.33	2.1	2.5	2.2	4	120	34	0.22

Nota. La Figura 69 representa las especificaciones técnicas del motor NEMA17 42HS25-0404 de donde se obtendrá la corriente de fase para poder calcular el voltaje de referencia.

Con la corriente de fase obtenida de la hoja de datos del motor se procede a calcular el voltaje de referencia con la siguiente fórmula.

$$I_{max} = \frac{V_{ref}}{8 * RS} \quad 9)$$

Donde:

I_{max}: Corriente máxima

V_{ref}: Voltaje de referencia

RS: Resistencia

Despejando el voltaje se obtiene la siguiente expresión:

$$V_{ref} = I_{max} * 8 * RS \quad 10)$$

Con la expresión obtenida anteriormente se calcula el voltaje de referencia que será utilizado para el módulo.

Selección de módulos Arduino

El siguiente aspecto trata de la variación de energía que llega al sistema de grapado, ya que es necesario trabajar con tensión constante, ya que se utilizan componentes de Arduino y estos trabajan con un voltaje de 7V hasta 12V, por ende, se requiere que se reduzca el voltaje, para ello se ha elegido el módulo LM2596. Este componente es capaz de ajustar o reducir la tensión de entrada en un circuito utilizando una fuente de alimentación con un voltaje superior. Es capaz de manejar una corriente de hasta 3 amperios y admite un rango de voltaje de entrada entre 4 y 35 voltios, mientras que el voltaje de salida varía entre 2 y 28V.

(Tresdprinttech, 2023)

Figura 70

Módulo Reductor De Voltaje LM2596



Nota. La Figura 70 representa el módulo reductor LM2596 el cual tendrá la capacidad de reducir el voltaje para el funcionamiento de los componentes del sistema a realizar. Tomado de Control de voltaje, Modulo reductor. (Tresdprinttech, 2023)

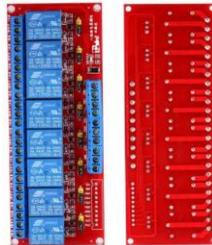
Modulo relé de ocho canales y de un canal

Cuando se tienen distintas secuencias de activación son necesarios contactores para abrir o cerrar circuitos como lo son maniobras de apertura y de cierre, pero los contactores al ser muy grandes y costosos se ha aptado por la opción alternativa que es el relé. Arduino

posee un módulo relé de ocho canales, donde el control de disparo de alto y bajo nivel de 12V controlara los dispositivos del sistema.

Figura 71

Modulo relé ocho canales 12V



Nota. La Figura 71 se indica el módulo de ocho canales para el sistema de grapado. Tomado de Productos, Modulo relé de echo canales. (Leantec, 2019)

Modulo relé de un canal

Figura 72

Módulo relé



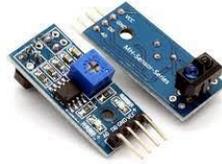
Nota. En la Figura 72 se observa el módulo relé de un canal. Tomado de Módulos y shields, modulo relé. (TECmikro, 2023)

Selección de sensores

A continuación, es necesario detectar la posición en la que se encuentra la horma por lo se ha escogido un módulo óptico reflectivo TCRT5000 sensor infrarrojo. Este sensor al utilizar un led infrarrojo y un fototransistor, este detecta la presencia de la horma, cuando se corta el haz de luz.

Figura 73

Módulo TCRT5000 Sensor Seguidor De Línea Arduino MH



Nota. La Figura 73 representa el sensor de presencia. Tomado de Industrial, Bornera de riel. (Megatrónica, 2018)

Selección de pulsadores

A fin de iniciar y para la secuencia se han seleccionado dos pulsadores de contacto, un rojo normalmente cerrado y un verde normalmente abierto. La aplicación primordial del interruptor eléctrico se encuentra en la instalación en paneles de control eléctrico de maquinaria y en cajas de control eléctrico en términos generales. Está confeccionado a partir de materiales plásticos. (Adajusa, 2021)

Figura 74

Pulsadores NC y NA



Nota. La Figura 74 indica los pulsadores de color rojo y verde necesarios para iniciar el proceso de grapado de hormas. Tomado de Pulsadores eléctricos. (Adajusa, 2021)

Se a seleccionada un pulsador tipo hongo con giro/retención para el corte de suministro de energía, esto detendrá de forma inmediata todo el proceso en caso de emergencia, debido a su característica de retención, este dispositivo mantendrá el sistema detenido hasta que se desactive de forma manual, garantizando la seguridad del operario.

Figura 75

Pulsador de plástico tipo hongo



Nota. En la Figura 75 se observa el pulsador de paro de emergencia tipo hongo. Tomado de pulsadores de parada y emergencia. (Adajusa, 2021)

Selección de luces piloto

Se escogieron tres tipos de luces piloto de diferente color, rojo para cuando el proceso se encuentra parado, emergencia, verde para cuando el proceso se encuentra funcionando de forma correcta y no existe ningún error, amarilla para cuando el proceso necesita atención o existe alguna condición anormal.

Figura 76

Luces piloto



Nota. La Figura 76 posee la representación de las luces pilotos para el proceso de grapado. Tomado de Componentes para tablero electrónico. (Robotics, 2023)

Selección de la fuente de energía

Debido a que el proceso es muy específico, se ha seleccionado la fuente de energía tipo panel ya que, por su diseño compacto, el montaje es sencillo, la estética de la fuente, la eficiencia en espacio, la distribución uniforme de sus componentes hace que sea una elección muy buena.

Figura 77

Fuente de poder tipo panel



Nota. La Figura 77 hace referencia a la fuente tipo panel. Tomado de Productos, Fuente de poder ultra compacta. (Presente, 2023)

Materiales para conexión eléctrica

Para realizar la conexión eléctrica se escogieron las borneras de riel debido a que estas facilitan la comunicación de la energía eléctrica, la distribuir y conectar cables y conductores de manera organizada.

Figura 78*Bornera de riel*

Nota. La Figura 78 representa una bornera de riel, este tipo de dispositivos eléctricos aíslan y protegen los circuitos de cortocircuitos o de algún contacto accidental. Tomado de Industrial, Bornera de riel. (Megatrónica, 2018)

Debido a la característica de modularidad lo hace fácil de manejar ya que, si en un grupo de borneras de riel existe un fallo, fácilmente se detecta el problema y se puede quitar el bloque que posee algún inconveniente.

Cables y terminales

El cable número veinte y dos es adecuado para bajo voltaje, ya que los dispositivos electrónicos de Arduino función con tensiones bajas, las electroválvulas se manejan con tensiones de 24V, por lo que su elección es correcta para este tipo de sistema específico. Por lo tanto, para tener una mejor estética se emplearon terminales de puntera simple, los cuales hacen mucho más fácil la conexión del cableado eléctrico.

Figura 79

Cable #22 AWG



Nota. La Figura 79 se indica el cable número veinte y dos necesario para las conexiones eléctricas. Tomado de componentes, cable eléctrico. (UnitElectronics, 2023)

Figura 80

Terminal puntera simple



Nota. En la Figura 80 se observan las terminales punteras simples que se usan en las conexiones eléctricas. Tomado de Tienda, producto, terminales. (Ingelcom, 2021)

Figura 81

Terminal tipo herradura



Nota. En la Figura 81 se observan los terminales de herradura que se usan en las conexiones eléctricas. Tomado de Terminal eléctrico embreadada aislado de vinil. (Innovative, 2013)

Puentes equipotenciales para borneras de riel

Un puente de unión de terminales de riel es una conexión eléctrica que se utiliza para producir un enlace eléctrico entre varios terminales de riel en un sistema de control eléctrico. Estos puentes son relevantes para mantener un potencial eléctrico constante y seguro entre los terminales, asegurando un contacto óptimo y reduciendo la probabilidad de problemas eléctricos.

Figura 82

Puentes equipotenciales



Nota. La Figura 82 indica un puente de unión de terminales para borneras de riel. Tomado de Wonkedq contact, puentes equipotenciales para borneras de riel. (Grupojago, 2023)

Construcción de la estructura mecánica

Al iniciar la construcción se partido primero por el corte del tubo cuadrado en cuatro partes para formar un marco el cual sería la base, esta es la que soportara las cargas y tensiones de todos los dispositivos tanto neumáticos como eléctricos, a continuación, se realizaron los puntos de soldadura necesarios para luego pasar a soldar cada esquina de la base, luego se procedió a corta otra pieza de tubo cuadrado para soldarla y que esta pieza haga de base para la estructura de tipo tobogán. debido a que ya no es para FAME se modifica la parte de suministro de hormas

Una vez soldada la base se continuo con el corte del tubo de acero inoxidable, se cortaron dos piezas las cuales se procedió a doblarlas hasta que tomaran la forma de la estructura diseñada de tipo tobogán

Figura 83

Estructura base



Nota. En la Figura 83 se puede apreciar cómo es la base y la estructura tipo tobogán.

Por otra parte, se empezó a realizar el dispensador de plantillas, para esto se cortó un tubo de acero y se unió a dos placas metálicas por medio de soldadura del mismo dando forma al dispensador de plantillas.

Figura 84

Dispensador de plantillas



Nota. La Figura 84 se muestra la estructura final del dispensador de plantillas.

También se construyó el desplazador de hormas el cual está hecho de metal, este se cortó de una placa metálica, luego se cortaron dos ángulos metálicos para unirlos con el dispensador mediante soldadura.

Figura 85*Desplazador de plantillas*

Nota. La Figura 85 representa donde caerán las plantillas las cuales serán desplazadas a la horma.

Con el fin de que se empuje el desplazador de plantillas se tuvo que cortar dos piezas de tubo rectangular, esto se colocó en la mitad de la parte inferior de la estructura de tobogán y se formó una especie de “T”, con el fin de posicionar el cilindro neumático el cual empujara el desplazador para posicionar las plantillas en lugar deseado.

Figura 86*Tubo soldado para cilindro neumático*

Nota. En la Figura 86 se observa el cilindro neumático sobre el tubo soldado para dar movimiento al desplazador de plantillas.

A continuación, se cortaron dos piezas más de tubo rectangular estas piezas se soldaron a cada lado de la parte inferior de la estructura tipo tobogán para que cuando la horma se deslice y se detenga en la parte inferior, los cilindros neumáticos que se colocaran a los lados acomodaran la horma para que el grapado sea el ideal.

De la misma forma se cortó otra pieza de tubo rectangular, esta irá debajo de la estructura de tipo tobogán, donde se colocará otro cilindro el cual desempeñará el papel de desplazará a la horma ya grapada junto con la plantilla fuera del proceso, la cual caerá para dar paso a la siguiente horma.

Figura 87

Desplazamiento de horma



Nota. La Figura 87 representa el cilindro que desplazará la horma en la etapa final del proceso.

Por otro lado, se empezó a cortar 4 piezas de tubo cuadrado para el soporte del armazón las cuales se soldaron en las cuatro esquinas, después se cortaron cuatro ángulos, los cuales soldaron en la mitad del soporte de la estructura de tobogán, para luego volver a soldar la parte superior de la estructura.

Mediante una placa metálica se colocarán cuatro rodamientos lineales de 10mm, dos rodamientos lineales de 12mm con dos pernos de 3/8 de pulgada, estos dos rodamientos lineales servirán para sostener la pieza que detendrá las hormas, sin embargo los rodamientos

de 10mm desempeñarán la función de desplazamiento de la grapadora neumática, esta placa metálica tendrá la función principal de soportar la grapadora neumática junto con los seis rodamientos lineales y un cilindro neumático el cual realizará la acción de detener las hormas.

Ahora bien, se colocaron dos ejes de acero inoxidable en la mitad de la estructura, estos ejes estarán soldados y con la ayuda de cuatro rodamientos lineales atornillados a una placa metálica realizará el desplazamiento de la grapadora.

Figura 88

Ejes, rodamientos lineales y placa



Nota. En la Figura 88 se aprecia cómo se encuentra estructurada la etapa de desplazamiento de la grapadora neumática, con cuatro rodamientos lineales atornillados a la placa metálica.

Para finalizar se realizó un tablero eléctrico donde irán todos los componentes tanto eléctricos como electrónicos.

Figura 89

Estructura mecánica



Nota. La Figura 89 representa la estructura mecánica para el proceso de grapado de plantillas.

Con la estructura mecánica terminada se procederá a la colocación de dispositivos electrónicos y al inicio de la conexión eléctrica.

Elaboración y conexión de los circuitos eléctricos y electrónicos

Conexión de los circuitos eléctricos y electrónicos

La conexión entre componentes eléctricos y dispositivos electrónicos establece interconexiones para formar un circuito funcional. Esta conexión es fundamental para garantizar una transmisión eficiente y efectiva de corriente eléctrica y el envío de señales electrónicas para el correcto funcionamiento del sistema.

El funcionamiento se da desde el eje central el cual es el microcontrolador Arduino Mega 2560, ingresa energía hacia la fuente de 24 voltios, esta se dirige hacia el microcontrolador de 12 voltios, el Arduino envía a un regulador 12V y a otro 5 V para controlar los sensores, al módulo relé recibe una tensión de 12V para controlar los actuadores neumáticos y la pistola de grapas, el microcontrolador envía una señal para activar los pulsadores y las luces pilotos se activan por medio del relé, el arranque del motor empieza

Nota. La Figura 90 se visualiza el proceso de fijación de plantillas, mostrando paso a paso la secuencia completa del procedimiento. Proporciona una visión clara de las diferentes etapas y acciones necesarias, desde el inicio hasta la finalización del proceso. Esta representación gráfica resalta las actividades y decisiones clave, lo que facilita la comprensión y optimización del procedimiento.

Capítulo IV

Implementación, pruebas y resultados

Introducción

La fabricación moderna se ha beneficiado significativamente de la automatización y la maquinaria especializada que aumenta la eficiencia en los procesos productivos. En este contexto, este capítulo contiene la implementación del sistema, pruebas realizadas tanto del funcionamiento eléctrico como mecánico y los resultados obtenidos durante estas pruebas, lo cual proporcionará una visión integral de la implementación de una máquina de fijación de plantillas, detallando los aspectos técnicos, las fases de pruebas y los resultados obtenidos.

Integración del sistema

El funcionamiento correcto del proceso de fijación de plantillas implica la combinación armoniosa de los componentes mecánicos, electrónicos y de software para asegurar un funcionamiento coherente y preciso. Para lograr una buena incorporación total del sistema es necesario diseñar, construir, desarrollar, realizar pruebas, ajustes y calibración de los componentes que constituyen todo el proyecto.

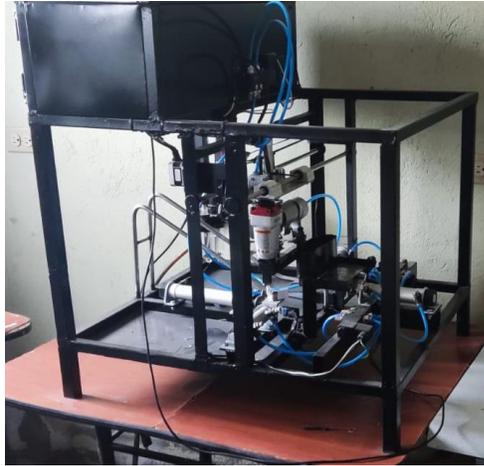
Sistema mecánico

Estructura mecánica

La estructura mecánica de un sistema de fijación de plantillas es fundamental y desempeña un papel crítico en el rendimiento general y la eficacia del sistema, dando como resultado una estructura mecánica robusta la cual proporciona resistencia, estabilidad y durabilidad significativas para enfrentar condiciones de operación desafiantes y para soportar cargas, fuerzas y tensiones sin sufrir deformaciones o fallos inesperados.

Figura 91

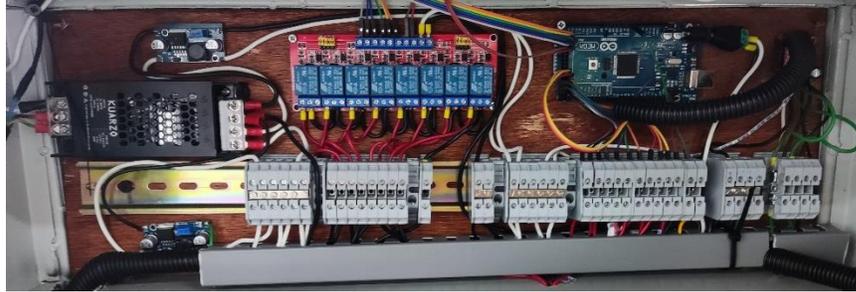
Estructura mecánica del sistema de fijación de plantillas



Nota. La Figura 91 representa la estructura mecánica completa del proceso de fijación de plantillas, el cual consta de electroválvulas, cilindros neumáticos, grapadora neumática.

Sistema eléctrico y electrónico

El sistema eléctrico-electrónico permite la automatización del proceso de fijación de plantillas, permitiendo un control preciso sobre las operaciones. Esto garantiza la consistencia y la repetibilidad en la fijación, facilitando la coordinación de los movimientos mecánicos y las operaciones de sujeción, asegurando que los componentes mecánicos trabajen en armonía, evitando conflictos y mejorando la eficiencia del sistema, con la finalidad de obtener un producto de mejor calidad.

Figura 92*Sistema eléctrico y electrónico*

Nota. En la Figura 92 se indica la conexión del sistema, el cual consta de una fuente de alimentación, un relé de 8 canales, Arduino mega, reguladores de voltaje, controlador del motor y borneras.

Panel de control

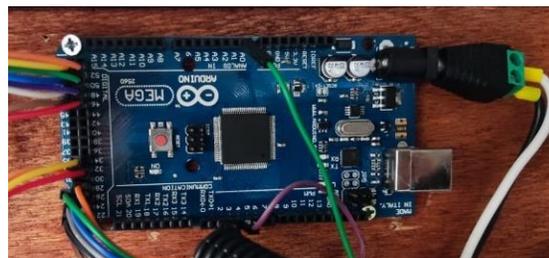
- Interruptor principal: es aquel que enciende y apaga la máquina
- Indicadores luminosos: Luces piloto que indican el estado de la maquina como encendido, apagado o en espera.
- Controles de secuencia: Botones que inician y paran la secuencia previamente establecida.
- Interruptor de emergencia: Interruptor que corta la energía y detiene inmediatamente la máquina en caso de situaciones críticas.

Figura 93*Panel de control*

Nota. La Figura 93 da a conocer como está constituido el panel de control, botón de encendido y apagado, inicio de secuencia, paro de secuencia, paro de emergencia, luz piloto indica el funcionamiento normal de la máquina, luz piloto indica el funcionamiento anormal de la máquina, luz piloto indica el paro de la máquina, potenciómetro para cambio del sito de grapado, fusible.

Sistema de control

Para la coordinación y automatización de los movimientos y operaciones de la maquina se empleó una placa Arduino mega, el cual posee un microcontrolador ATmega2560 el cual dispone de 54 entradas y salidas digitales

Figura 94*Arduino mega 2560*

Nota. En la Figura 94 se puede apreciar el controlador que se utilizó para la programación realizada de la secuencia del grapado de plantillas a compresión neumática.

Sensores

Se utilizó para detectar la presencia o ausencia de objetos cercanos el sensor de presencia TCRT5000 el cual es un dispositivo que mediante la emisión y recepción de luz infrarroja detecta diferentes elementos.

Actuadores

Se necesitaba que la grapadora neumática se mueva de forma rápida por lo que se empleó un motor a pasos, con un controlador A4988 el cual permite controlar el motor a pasos de manera eficiente y sencilla

Sistema de alimentación

El propósito principal del sistema de alimentación es proporcionar la energía eléctrica necesaria para alimentar todos los componentes del sistema, como procesadores, sensores, actuadores, memoria, y otros dispositivos electrónicos. Por lo que se ha utilizado una fuente de poder panel a 60W, de 24V y de 2.5A, 110/220VAC.

Figura 95

Fuente de poder tipo panel



Nota. En la Figura 95 se observa la fuente de poder que se utilizó para dar energía a todo el sistema, como ya se mencionó anteriormente se escogió debido a su tamaño por el ahorro de espacio.

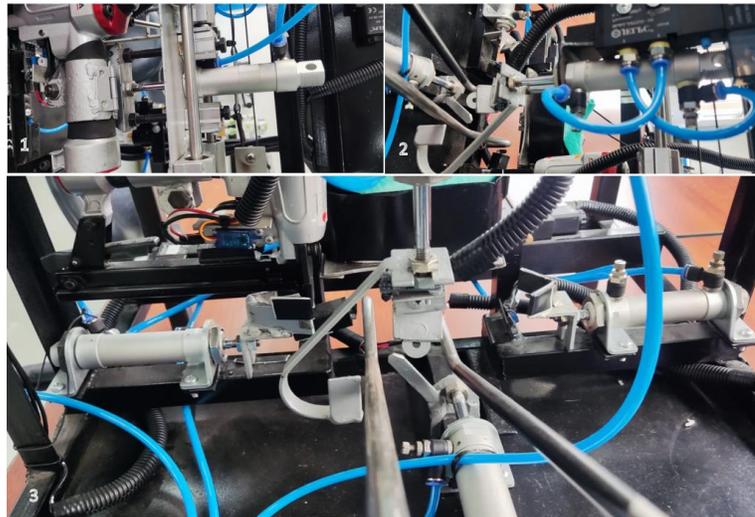
Sistema neumático

Cilindros Neumáticos

Se emplearon cilindros de doble efecto los cuales se destacan por su capacidad para realizar movimientos en ambas direcciones ya que en el proceso de fijación de plantillas era necesario una acción de avance y retroceso. Al ser cilindros de doble efecto, se puede aprovechar la presión del fluido en ambas caras del pistón para generar más fuerza.

Figura 96

Actuadores neumáticos



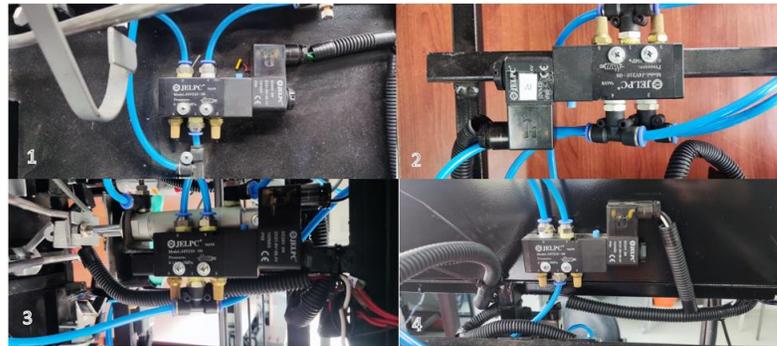
Nota. La Figura 96 indica la posición de cada actuador neumático, donde la acción de grapado se indica en (1), la acción de detención de hormas se indica en (2), en (3) se observan dos cilindros que acomodaran tanto plantilla como horma y un cilindro que empujara la horma cuando ya terminó el proceso.

Válvulas de Control

Se utilizaron válvulas neumáticas que controlan el flujo de aire hacia y desde los cilindros y válvulas direccionales para controlar la dirección del movimiento del cilindro

Figura 97

Válvulas neumáticas



Nota. La Figura 97 da a conocer las diferentes posiciones para las válvulas, en (1) se usa tanto para dar paso a las hormas como para retirar el producto final, en (2) se usa para acomodar las plantillas y las hormas, en (3) se usa para dar paso a la horma, en (4) se usa para el proceso de grapado.

Filtro Regulador Lubricador (FRL)

Para poder tener un aire más limpio que circule por los cilindros neumáticos se escogió una mini unidad de mantenimiento de 1/4 AFC2000

Figura 98

Mini unidad de mantenimiento



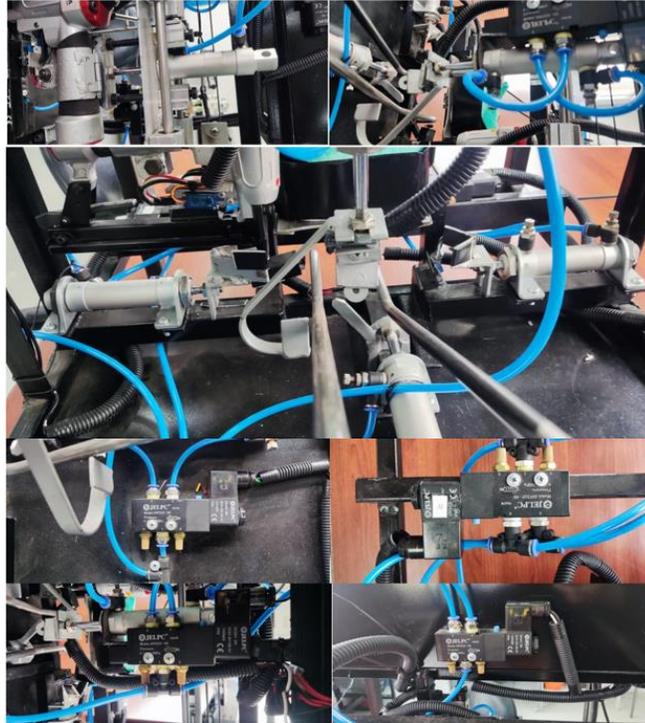
Nota. La Figura 98 indica como es la unidad de mantenimiento utilizada en la máquina.

Mangueras y Conexiones:

El proceso de fijación de plantillas utiliza air comprimido mediante un compresor por lo que es necesario mangueras de poliuretano ya que gracias a sus características y propiedades lo hacen apto para las aplicaciones neumáticas, se utilizaron racores para conectar la manguera con los cilindros, silenciadores para que no se escape el aire y un bloque de conexiones para mangueras de seis salidas.

Figura 99

Mangueras y conexiones



Nota. Como se puede observar mediante la Figura 99 el uso de la manguera de poliuretano es esencialmente necesaria para realizar las conexiones y el paso de aire en todo el sistema.

Pruebas de funcionamiento

Esta fase es crucial del proyecto, por lo que este capítulo está dedicado a las pruebas de funcionamiento de la máquina de fijación de plantillas. Después de un proceso meticuloso de diseño e implementación, es el momento de evaluar la eficacia y la eficiencia en un entorno de pruebas.

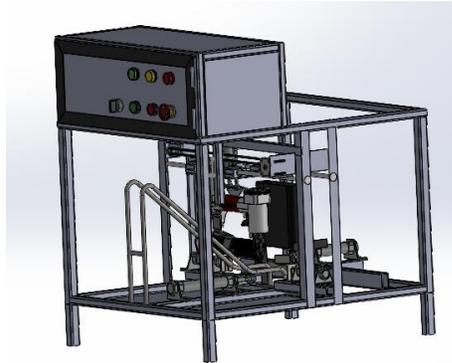
Etapas de encendido de la máquina

Para dar inicio al proceso de grapado de plantillas primero se energiza la fuente la cual es de 110V, después se enciende el compresor y se lo calibra a 4 bares de presión, luego se

selecciona el selector el cual pasa de apagado a prendido, para comprobar que el estado de la maquina esta encendida se prende la luz piloto verde.

Figura 100

Encendido de la maquina



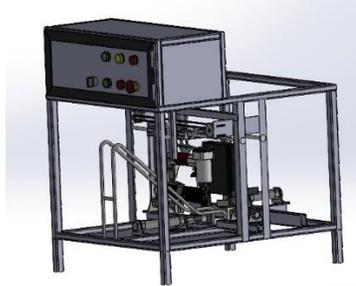
Nota. En la Figura 100 se procede a realizar el proceso de encendido de la máquina de grapado de plantillas, donde se energiza tanto el motor como los sensores de presencia, cabe recalcar que la grapadora debe estar en un estado de HOME, es decir, tiene que estar en un estado de inicio el cual debe estar configurado previamente.

Una vez que se ha encendido la maquinas se procede a cargar el programa que realizará el proceso de grapado, el cual está realizado en Arduino.

Al subir el código en la placa Arduino mega se procede a colocar las hormas en la estructura tipo tobogán y las plantillas en el dispensador de las mismas para luego presionar el pulsador verde (cambiar si es rojo) el cual da inicio a la secuencia que esta previamente programada.

Figura 101

Hormas en la estructura



Nota. Por medio de la Figura 101 se aprecia cómo se encuentra el sistema de grapado de plantillas en funcionamiento teniendo en cuenta que la luz piloto verde es cuando la máquina se allá encendida y cuando la luz piloto rojo se enciende es cuando la máquina se encuentra en estado de paro o apagada.

Posicionamiento de hormas y plantillas

Al tener el sistema energizado se procede a colocar tanto las hormas como las plantillas, se colocan las hormas en la estructura tipo tobogán y las plantillas en el dispensador de las mismas, una vez posicionados los accesorios y encendida la máquina se procede a dar inicio al procedo de grapado de plantillas.

Figura 102

Posición de hormas

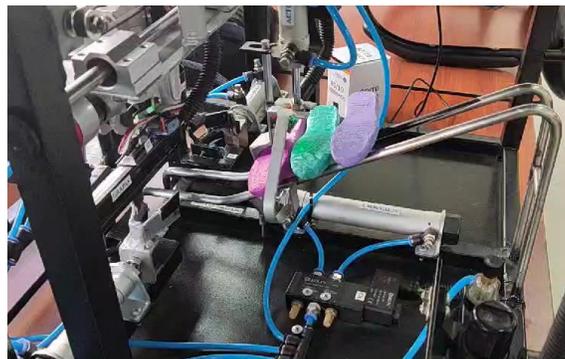


Figura 103*Dispensador de plantillas*

Nota. Tanto en la Figura 102 como en la Figura 103 se puede observar cómo deben ir posicionadas tanto las hormas como las plantillas, teniendo en cuenta que la posición es importante en el caso de las hormas ya que al colocar de forma inadecuada puede causar daños a la estructura y al producto final.

Procedo de grapado

Se da inicio al proceso de grapado de plantillas el cual consta de las siguientes etapas:

Etapas
Etapa uno (hormas)

Al iniciar el proceso lo que primero se realiza es: detectar que haya hormas en la estructura, al no detectar el procedo no inicia y queda en espera hasta que el sensor de presencia detecte la horma, una vez que se confirma hay hormas, el sensor envía una señal a la electroválvula la cual hace que el cilindro neumático de 20mm de diámetro se active, en el cual se encuentra un mecanismo que sirve para detener las hormas, este cilindro se encuentra en estado de expansión por lo que al recibir la señal este se contrae dando paso a una horma.

Figura 104*Etapa 1 paso de horma*

Nota. En la Figura 104 se observa cómo es el proceso de inicio de grapado, donde se debe tener en cuenta el peso de hormas ya que si son de diferentes pesos estas caerán de forma consecutiva, causando errores en el proceso.

Etapa dos (Plantillas)

Cuando la horma ha caído, la electroválvula recibe la señal para activar el cilindro neumático de 100mm de diámetro, el cual está en estado de contracción, este pasa a un estado de expansión para poder posicionar la horma de forma correcta, donde caerán las plantillas, una vez que se ha colocado en la ubicación necesario de inmediato se activa otro cilindro neumático, este se encuentra contraído por lo que se expandirá y empujará a la plantilla, la cual caerá encima de la horma.

Figura 105*Colocación de plantilla*

Nota. Por medio de la Figura 105 se indica como cae la plantilla encima de la horma, es indispensable que al colocar las plantillas en el dispensador estas deben estar alineadas de manera que no haya complicaciones al momento de iniciar el proceso.

Etapas tres (Alineación)

En ocasiones, debido a errores humanos existe la posibilidad de que las plantillas al estar en el dispensador estén desalineadas, por lo que estas caerán de forma desigual es decir no caerá de forma que se ajuste a la horma, por lo que al momento de caer se envía una señal a la electroválvula indicando que tanto horma como plantillas se encuentra en la ubicación deseada haciendo que dos cilindros de 20mm de diámetro se expanderán para acomodar a la horma y a la planilla, esto hará que no haya errores al momento de grapar.

Figura 106

Alineación de horma con plantilla



Nota. Se observa en la Figura 106 como se expanden los dos cilindros para acomodar tanto la horma como la plantilla.

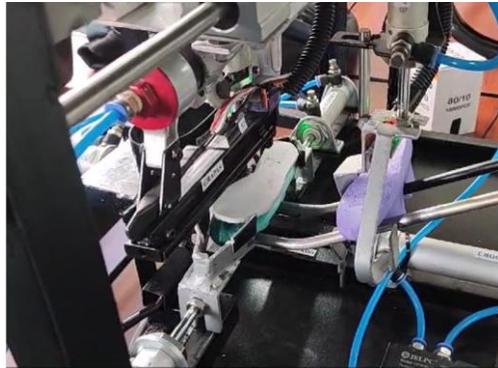
Etapa cuatro (Grapado)

Al tener alineada tanto plantilla como horma, los sensores de posición indicarán en que extremo de la horma es necesario realizar el grapado, por lo que se ha configurado que el inicio sea en el extremo inferior de la horma.

La grapadora se encuentra en HOME, el motor se enciende y por medio de una banda de transmisión este se mueve a la parte inferior de la horma, cuando la grapadora se halla en la posición necesaria, por medio de un servo motor se activa el gatillo para grapar, esto se hace de la misma forma en el extremo superior de la horma.

Figura 107

Grapado en la parte inferior de la horma

**Figura 108**

Grapado en la parte superior de la horma



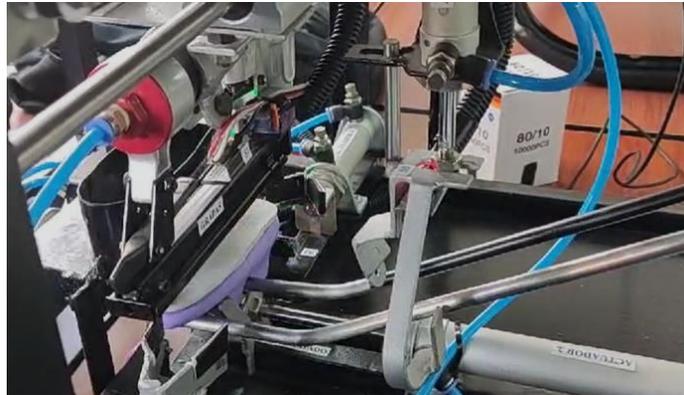
Nota. Tanto en la Figura 107 como en la Figura 108 se puede observar cómo es el proceso de grapado cuando ya se encuentra alineada la horma y a plantillas.

Etapas cinco (Producto final)

Por último, la electroválvula del cilindro de 50mm de diámetro se activará para empujar la horma con la plantilla ya grapará hacia un contenedor donde se encuentren todos los productos finales del proceso de grapado.

Figura 109

Fin del proceso de grapado

**Figura 110**

Producto final



Obtención de datos

Para comprobar los resultados deseados se realizó una recopilación de información con el propósito de analizar el funcionamiento del sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas.

Para ello se realizaron dos tipos de pruebas, el primero consta netamente del correcto funcionamiento del sistema, el cual se espera no exista errores al momento de colocar

plantillas, no pasen más de una horma, se detecte que existen hormas, la ubicación correcta tanto de horma como plantilla, el correcto grapado, y la expulsión del producto final, por otro lado el segundo parámetro de prueba consiste en determinar el tiempo en que tarda en recorrer la horma durante todo el proceso, esto quiere decir, desde el momento en que cae la horma, se acomoda la horma con la plantilla, se grapa y sale para volver a iniciar el nuevo ciclo del proceso.

Pruebas de funcionamiento del proceso de fijación de plantillas

Al encender la máquina e iniciar el proceso, se realizaron 5 sets de pruebas donde se colocaron de forma repetida 10 hormas, para determinar que el sistema se encuentre en óptimas condiciones, donde se podrá utilizar de forma continua y segura.

Prueba 1

Tabla 10

Pruebas de funcionamiento 1

Horma	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en la Salida del producto final	Total, de fallas
1	Si	No	Si	No	No	Una
2	Si	No	No	No	No	Ninguna
3	Si	No	No	No	No	Ninguna
4	Si	No	No	No	No	Ninguna
5	Si	No	No	No	Si	Una
6	No	No	No	Si	No	Una
7	Si	No	No	No	No	Ninguna
8	Si	No	No	No	Si	Una
9	No	No	No	Si	No	Una
10	Si	No	No	No	No	Ninguna

Prueba 2**Tabla 11***Pruebas de funcionamiento 2*

Horma	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en la Salida del producto final	Total, de fallas
1	No	Si	No	No	No	Una
2	No	No	No	Si	No	Una
3	No	Si	No	No	No	Una
4	No	No	No	No	No	Una
5	Si	No	No	No	No	Ninguna
6	Si	No	No	No	No	Ninguna
7	Si	No	No	No	No	Ninguna
8	Si	No	No	No	No	Ninguna
9	Si	No	No	No	No	Ninguna
10	No	No	No	Si	No	Una

Prueba 3**Tabla 12***Pruebas de funcionamiento 3*

Horma	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en la Salida del producto final	Total, de fallas
1	No	Si	No	No	No	Una
2	No	No	No	Si	No	Una
3	No	Si	No	No	No	Una
4	No	No	No	No	No	Ninguna
5	Si	No	No	No	No	Ninguna
6	Si	No	No	No	No	Ninguna

Horma	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en la Salida del producto final	Total, de fallas
7	Si	No	No	No	No	Ninguna
8	Si	No	No	No	No	Ninguna
9	Si	No	No	No	No	Ninguna
10	No	No	No	Si	No	Ninguna

Prueba 4

Tabla 13

Pruebas de funcionamiento 4

Horma	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en la Salida del producto final	Total, de fallas
1	Si	No	No	No	No	Ninguna
2	Si	No	No	No	No	Ninguna
3	Si	No	No	No	No	Ninguna
4	Si	No	No	No	No	Ninguna
5	Si	No	No	No	No	Ninguna
6	Si	No	No	No	No	Ninguna
7	Si	No	No	No	No	Ninguna
8	Si	No	No	No	No	Ninguna
9	Si	No	No	No	No	Ninguna
10	Si	No	No	No	No	Ninguna

Prueba 5**Tabla 14***Pruebas de funcionamiento 5*

Horma	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en la Salida del producto final	Total, de fallas
1	Si	No	No	No	No	Ninguna
2	Si	No	No	No	No	Ninguna
3	Si	No	No	No	No	Ninguna
4	Si	No	No	No	No	Ninguna
5	Si	No	No	No	No	Ninguna
6	No	No	No	Si	No	Una
7	Si	No	No	No	No	Ninguna
8	Si	No	No	No	No	Ninguna
9	Si	No	No	No	No	Ninguna
10	Si	No	No	No	No	Ninguna

Nota. Desde la Tabla 10 hasta la Tabla 14 se observa una reducción de errores a lo largo del proceso de prueba, especialmente en la disminución de caídas de más de una horma y en el correcto posicionamiento de las plantillas, dos de los errores más comunes en el proceso.

Pruebas de tiempo

Se realizaron 4 sets, con 5 repeticiones cada una, esto se lo hizo con la finalidad de comparar el tiempo que se demora una horma en realizar el proceso de fijación de forma manual con respecto a la forma automatizada.

La forma manual de fijación por horma realizada por un operario tenía una duración de 15s sin contar los contratiempos que puede poseer el operario ya que estos pueden retrasar la producción y alargar el tiempo para terminar el producto final deseado.

Prueba 1**Tabla 15***Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 1*

Horma	Tiempo de caída de horma (s)	Tiempo de ajuste entre horma y plantilla (s)	Tiempo de grapado (s)	Tiempo del proceso de grapado (s)
1	2.3	1.9	5.2	13
2	1.67	1.5	3.8	9.2
3	2	2.1	4.4	9.35
4	2.3	2.3	5	10.3
5	1.5	2.5	3.9	9.4
Tiempo promedio total del proceso				10.25

Prueba 2**Tabla 16***Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 2*

Horma	Tiempo de caída de horma (s)	Tiempo de ajuste entre horma y plantilla (s)	Tiempo de grapado (s)	Tiempo del proceso de grapado (s)
1	2.4	2.9	4.6	11
2	1.66	2.7	3.6	9.35
3	1.6	2.8	3.7	9.5
4	1.5	2.6	3.5	9.33

Horma	Tiempo de caída de horma (s)	Tiempo de ajuste entre horma y plantilla (s)	Tiempo de grapado (s)	Tiempo del proceso de grapado (s)
5	1.3	2.6	3.8	9.4
Tiempo promedio total del proceso				9.72

Prueba 3

Tabla 17

Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 3

Horma	Tiempo de caída de horma (s)	Tiempo de ajuste entre horma y plantilla (s)	Tiempo de grapado (s)	Tiempo del proceso de grapado (s)
1	1.5	4.2	4.4	10.4
2	1.5	2.7	3.6	8.8
3	1.5	2.3	3.6	8.6
4	1.5	2.4	3.8	8.6
5	1.5	2.4	3.6	8.7
Tiempo promedio total del proceso				9.02

Prueba 4**Tabla 18***Pruebas de toma de datos de tiempo de cada horma 4*

Horma	Tiempo de caída de horma (s)	Tiempo de ajuste entre horma y plantilla (s)	Tiempo de grapado (s)	Tiempo del proceso de grapado (s)
1	2	3	5	10.7
2	1.9	2.8	4	9.4
3	2	2.6	4	9.2
4	2	2.5	4	8.7
5	2	2.7	4	9.5
Tiempo promedio total del proceso				9.5

Nota. Desde la Tabla 15 hasta la Tabla 18 se muestran los tiempos que toma una horma en realizar todo el proceso de fijación de plantillas, cabe recalcar que al inicio se toma más tiempo debido a que la grapadora neumática se encuentra en HOME.

Tabla 19*Tiempos promedios totales de cada prueba*

Número de prueba	Tiempo promedio total del proceso (s)
1	10.25
2	9.72
3	9.02

Número de prueba	Tiempo promedio total del proceso
	(s)
4	9.5

Análisis de resultados

El análisis de resultados proporciona una comprensión detallada de los datos obtenidos durante las pruebas realizadas por lo que se llevaron a cabo una serie de pruebas de funcionamiento donde se examinaron múltiples aspectos del proceso de fijación de plantillas a compresión neumática. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de identificar posibles áreas de mejora en el proceso y garantizar la calidad y eficiencia del producto final.

Se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento y de tiempo. Cada prueba evaluó aspectos específicos del proceso de fijación de plantillas, como la colocación de plantillas, el grapado de hormas, el tiempo en caer una horma, tiempo de grapado, tiempo total del proceso etc. Los datos recopilados durante estas pruebas proporcionan información valiosa sobre el rendimiento del proceso y destacan áreas de éxito y oportunidades de mejora.

Por medio de las pruebas de funcionamiento se pudo destacar que en las pruebas 1, 4 y 5, se graparon la mayoría o todas las plantillas con éxito, teniendo un error del 50% en el grapado en las pruebas 2 y 3.

La prueba 4 muestra una eficiencia del 100% en la grapada de plantillas, lo que indica un rendimiento óptimo en este aspecto.

De las cinco pruebas, se registró una sola vez la plantilla descentrada indicando que la máquina posee un 98% de eficiencia en el centrado de plantillas y hormas

En las pruebas de tiempo se observa una consistencia en los tiempos de proceso, con variaciones dentro de un rango estrecho entre las ejecuciones. Esta estabilidad indica una

confiabilidad en la producción. Además, se nota una tendencia hacia la reducción de los tiempos promedio en las pruebas posteriores.

La prueba 3 muestra el tiempo promedio total más bajo, seguida de la prueba 4, prueba 2 y prueba 1. Esta reducción en los tiempos promedio sugiere una mejora gradual en la eficiencia del proceso a lo largo del tiempo. Sin embargo, la diferencia entre los tiempos promedio no es significativa, lo que indica cierta estabilidad en el rendimiento del proceso.

El proceso manual demora un promedio de 15 s por ciclo, mientras que el proceso automatizado tiene tiempos promedio totales por ciclo más bajos en comparación con el proceso manual.

Basado en los datos y análisis de las pruebas anteriores, el proceso automatizado supera al proceso manual en términos de eficiencia, consistencia y potencialmente, costos a largo plazo.

La adopción del proceso automatizado puede proporcionar beneficios significativos en términos de mejora de la productividad, reducción de errores y costos operativos, ya que, con los datos obtenidos de las pruebas anteriores, el proceso automatizado es más eficiente en términos de tiempo de ejecución que el proceso manual.

Validación de hipótesis

La hipótesis que se planteó al inicio del proyecto fue la siguiente:

El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática permitirá reducir el tiempo de proceso e incrementar la producción de calzado en la empresa FAME S.A. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Con base en los resultados de las pruebas se observa desde la Tabla 15 a la Tabla 18 el tiempo el cual toma a la horma en realizar todo el proceso de fijación es relativamente mejor en comparación al de un operio el cual lo realiza de forma manual.

Por lo tanto, la validación de la hipótesis se puede separar en dos aspectos importantes:

- La reducción del tiempo en el proceso de fijación de plantillas
- Incremento de la producción de calzado

Reducción del tiempo en el proceso de fijación de plantillas

Para poder comprobar la reducción de tiempo en el proceso de fijación se utilizará una prueba t-Student, la cual es una herramienta que permitirá evaluar si hay una disparidad significativa entre tiempo de fijación de forma automática y de forma manual, planteando una hipótesis nula y una hipótesis alternativa de la siguiente forma:

- **H0:** El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática permitirá reducir el tiempo del proceso de fijación de plantillas.

$$H_0 = \mu < 10s$$

- **Ha:** El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática **NO** reducirá el tiempo del proceso de fijación de plantillas,

$$H_a = \mu \geq 10s$$

Se muestra a continuación los cálculos pertinentes para la validación de la hipótesis planteada.

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \quad 11)$$

Siendo:

- \bar{X} = Medida de la muestra
- μ = Valor objetivo
- S = Desviación estándar
- n = Tamaño de muestra

También se usarán los siguientes valores:

- Nc = Nivel de confianza
- Ns = Nivel de significancia

Cálculo del promedio del tiempo en el proceso de fijación de plantillas

Para poder comprobar tanto la hipótesis alternativa como la nula se debe calcular el promedio de los tiempos, la varianza y la desviación estándar para luego aplicar el método estadístico t-Student. Los datos que se usarán serán aquellos los que se encuentran en la Tabla 19.

Cálculo del promedio

$$\bar{X} = \frac{10.25 + 9.77 + 9.02 + 9.5}{4}$$

$$\bar{X} = 9.635$$

Estos datos se los colocarán en una tabla para que se pueda comprender de una mejor manera.

Tabla 20*Datos para el cálculo del método estadístico t-Student*

X_i	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
10.25	9.635	0.615	0.378225
9.77	9.635	0.135	0.018225
9.02	9.635	-0.615	0.378225
9.5	9.635	-0.135	0.018225

Nota. En la Tabla 20 se puede apreciar el número de elementos representado por X_i , el promedio por \bar{X} .

Se realiza la sumatoria de $(X_i - \bar{X})^2$:

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = 0.7929$$

Se calcula la varianza:

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (12)$$

$$S^2 = \frac{0.7929}{4 - 1} = 0.2643$$

Cálculo de la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (13)$$

$$S = \sqrt{\frac{0.7929}{4-1}} = 0.514$$

Se calcula los grados de libertad para obtener t_{α} , por lo tanto, los grados de libertad se calcula de la siguiente manera:

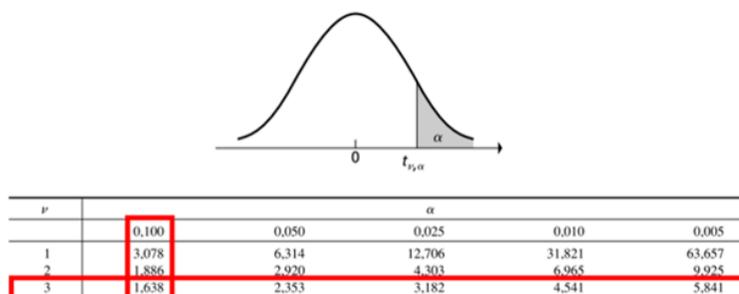
$$gl = n - 1 = 3 \quad 14)$$

Para los datos de la Tabla 19 se empleará un nivel de confianza del 90% y un nivel de significancia del 10% por ende se tendrá que:

- $Nc = 90\%$
- $Ns = 10\%$

Figura 111

Distribución t-Student



Nota. La Figura 111 da a conocer los puntos de corte de la distribución t-Student. Tomado de Estadística para administración y economía. (Newbold, Carlson, & Thorne, 2008)

Al tener una significancia del 10% y de acuerdo a la tabla t-Student, se tienen que:

$$t_{\alpha} = 1.638$$

Se utiliza la ecuación (3) para la comprobación de la hipótesis, teniendo en cuenta que el operario se demora 15s en realizar el paso de una horma en todo el proceso de fijación de plantillas mientras que el promedio del sistema automatizado es de 9.635s.

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$T = \frac{9.635 - 10}{\frac{0.514}{\sqrt{4}}} = \frac{-0.365}{0.257} = -1.42$$

El método t-Student indica que se debe cumplir la siguiente condición:

$$T < t_{\alpha}$$

$$-1.42 < 1.638$$

Al tener en cuenta que se cumple la condición establecida por el método t-Student, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula, la cual indica el diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática permitirá reducir el tiempo del proceso de fijación de plantillas.

Análisis de costos para el sistema de grapado

Este estudio es esencial para comprender los detalles de los gastos que se han hecho durante todo el desarrollo del proyecto, donde se puede obtener ya sea costos directos como indirectos.

Costo directo

Este tipo de costo permite examinar en la parte económica en relación al proyecto, es decir, materiales tanto neumáticos, eléctricos, electrónicos, materia prima para la estructura y componentes mecánicos necesarios, los cuales están disponibles en el mercado nacional.

Tabla 21*Costos directos de materiales neumáticos*

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Microcilindro camisa de aluminio 20x25	Unidad	3	27.680	83.040
Microcilindro camisa de aluminio 25x50	Unidad	1	31.250	31.250
Microcilindro camisa de aluminio 25x100	Unidad	1	39.285	39.285
Microcilindro camisa de aluminio 20x25	Unidad	1	30.350	30.350
Válvula 5/2 electroneumática 24V FDC 1/4 monoestable	Unidad	5	38.390	191.950
Regulador de caudal tipo banjo 6mm x 1/8	Unidad	12	3.980	47.760
Manguera de 6mm azul poliuretano	Metro	7	0.758	5.306
Distribuidor 6 mm	Unidad	1	3.928	3.928
Mini unidad de mantenimiento 1/4 AFC2000	Unidad	1	34.000	34.000
Silenciador 1/8 bronce	Unidad	10	0.803	8.030
Accesorio montaje cilindro tipo pie para micro cilindro 25mm	Unidad	1	5.290	5.290
Racor recto 6 mm x 1/4	Unidad	21	1.214	25.494

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Accesorio montaje tipo pie para micro cilindro D20mm	Unidad	3	5.000	15.000
Total		67		520.683

Nota. En la Tabla 21 se muestra tanto el costo por unidad como el costo total de cada material, cabe recalcar que en esta tabla solo se muestran tanto dispositivos como accesorios neumáticos.

Tabla 22

Costos directos de materiales eléctricos

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arduino Mega 2560	Unidad	1	29.000	29.000
Motor NEMA 17 42HS25-0404	Unidad	1	18.500	18.500
Módulo Reductor De Voltaje LM2596	Unidad	2	2.500	5.000
Modulo relé de ocho canales	Unidad	1	9.990	9.990
Modulo relé de un canal	Unidad	1	2.300	2.300
Módulo TCRT5000	Unidad	1	2.500	2.500

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Pulsador plástico simple rojo NC	Unidad	1	1.420	1.420
Pulsador plástico simple verde NA	Unidad	1	1.420	1.420
Pulsador plástico hongo giro/retención roja NC	Unidad	1	2.210	2.210
Luz piloto led amarillo 24V AC/DC	Unidad	1	1.320	1.320
Luz piloto led rojo 24V AC/DC	Unidad	1	1.320	1.320
Luz piloto led verde 24V AC/DC	Unidad	1	1.460	1.460
Fuente de poder panel 60W 24V 2.5A 110/220VAC	Unidad	1	10.710	10.710
Bornera de riel 2.5 MM #12AWG Leipole	Unidad	45	0.286	12.857
Tapa para bornera Leipole 2.5mm	Unidad	10	0.161	1.607
Tope de bornera Leipole/W/F	Unidad	5	0.223	1.115
Cable flexible #22AWG	Metro	32	0.098	3.136
Terminal puntera simple 18-16AWG amarillo	Funda	1	1.700	1.700
Puente equipotencial 2.5mm Leipole	Unidad	1	1.120	1.120
Controlador A4988	Unidad	1	2.900	2.900
Polea GT2 sin dientes con rodamiento interior 5mm	Unidad	1	3.9	3.9
Polea GT2 con dientes interior 5mm	Unidad	1	2.9	2.9

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Servo motor	Unidad	1	5	5
Sensores de presencia fotoeléctrico	Unidad	6	2.50	15
Final de carrera	Unidad	1	3.50	3.5
selector	Unidad	1	1.5	1.5
TOTAL		78		143.385

Nota. En la Tabla 22 se muestra tanto el costo por unidad como el costo total de cada material, cabe recalcar que en esta tabla solo se muestran tanto dispositivos como accesorios eléctricos y electrónicos.

Tabla 23

Costos directos en material de impresión y accesorios

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Impresión de horma escala a la mitad de su tamaño original (PLA)	Unidad	6	5	30
Rodamientos lineales de 10mm	Unidad	4	6.99	27.96

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Rodamientos lineales de 12mm	Unidad	2	4.95	9.9
TOTAL		9		67.86

Tabla 24

Costo asociado a la construcción total de la estructura mecánica

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Construcción de la estructura mecánica	Unidad	1	400	400
En acero ASTM A36				
TOTAL				400

Tabla 25

Accesorios para el proyecto

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Grapas para pistola neumática 80x10 10000PSC	Unidad	1	5	5
Plantillas	Unidad	6	6	36
TOTAL				41

Nota. En la Tabla 23 se muestra tanto el costo por unidad como el costo total de cada material, cabe recalcar que en esta tabla se muestran, la impresión de las hormas y los rodamientos lineales, en la Tabla 24 se indica el costo total de toda la estructura mecánica.

Costos indirectos

A través de los costos indirectos se puede identificar aquellos gastos que no se pueden atribuir directamente a una unidad específica de producción de calzado, pero que contribuyen al funcionamiento general del proceso.

Tabla 26

Transporte y manufactura del proyecto

Descripción	Actividad	Costo
Transporte interprovincial, provincial y viáticos	Movilización	61.35
Manufactura implicada (soldadura, pintura y corte)	Mano de obra	100
TOTAL		161.35

Costo total

Al determinar tanto costos directos como indirectos que se produjeron al diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar, la inversión total se da en la

Tabla 27

Tabla 27*Costo total del proyecto*

Costos	Costo
Costos directos	1172.92
Costos indirectos	161.35
TOTAL	1334.27

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó, construyó e implementó un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la industria del calzado, aplicando el conocimiento en áreas interdisciplinarias como la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y la programación de sistemas embebidos, demostrando cómo la convergencia de estos campos puede conducir a soluciones innovadoras y prácticas.

La implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática ha sido exitosa en la validación de la hipótesis planteada. Utilizando el método estadístico (t-student), se ha demostrado que la automatización de este proceso efectivamente reduce el tiempo requerido para la fijación de plantillas, teniendo en cuenta que el operario se demora 15s en realizar todo el proceso de fijación de plantillas mientras que el promedio del sistema automatizado es de 9.635s.

El sistema automático de plantillas ha demostrado ser eficiente en la producción de calzado, con una mayor velocidad de operación, precisión en la colocación de las plantillas y reducción del tiempo en el proceso de grapado. De las cinco pruebas realizadas con diez piezas, se registró una mínima falla dando como resultado un 98% de eficacia en su desempeño general, por lo tanto, el sistema automático contribuye a minimizar los errores lo que se traduce en un aumento en la productividad y rentabilidad en la industria.

De las cinco pruebas realizadas con diez piezas se tienen los siguientes errores: en la primera prueba dos piezas no se graparon, la segunda y tercera solo la mitad se graparon, en la cuarta todas se graparon y en la quinta solo una pieza no se grapo el cual tiene un promedio del 26% de errores. Al calibrar las piezas de sujeción y colocación se muestra una notable mejora en las muestras realizadas, evidenciando la reducción significativa de errores, particularmente en la disminución de caídas de más de una horma y en el correcto posicionamiento de las plantillas, que históricamente han sido recurrentes en el proceso.

El sistema reduce la dependencia humana en ciertas tareas críticas del proceso, se ha mejorado la eficiencia, y consistencia en la fijación de las plantillas, disminuyendo así la probabilidad de errores humanos. Sin embargo, es importante reconocer que, a pesar de la automatización, sigue existiendo una dependencia humana en términos de supervisión, mantenimiento y resolución de problemas. Por lo tanto, aunque el sistema automatizado ha reducido significativamente esta dependencia en algunas áreas, se debe tener en cuenta que los seres humanos siguen desempeñando un papel crucial en el funcionamiento de esta máquina.

Para garantizar la estabilidad, resistencia y durabilidad de la estructura, se evaluaron cargas estáticas que actúan sobre la máquina, con la finalidad de determinar los perfiles metálicos adecuados que pueden soportar de manera segura y eficiente. Para la realización del análisis de la estructura se escogió el acero ASTM A36 ya que es uno de los aceros estructurales más comunes y ampliamente disponibles en el mercado, además de determinar el esfuerzo máximo de 27.76 MPa y su factor de seguridad de 9, estos valores se justifican ya que la máquina no trabaja a mucha carga y los perfiles utilizados son los que existen en el mercado local, cumpliendo con los requisitos de resistencia, rigidez y estabilidad necesarios para el funcionamiento adecuado de la máquina.

En el diseño de los ejes de transmisión se selecciona el acero AISI 304 ya que posee menor rugosidad entre las superficies en contacto y tiende a ser más resistente a la corrosión. Se determina el momento flector máximo de 3.33Nm permitiendo dimensionar la sección transversal redonda de 3/8 de pulgada, garantizando la resistencia de las tensiones generadas por la flexión.

Recomendaciones

Tener en cuenta que cuando se vaya a operar el sistema automatizado se debe primero capacitar al personal sobre el manejo adecuado para así poder evitar cualquier incidente que pueda producirse por manejo inadecuado del mismo.

Antes de empezar el proceso de fijación de plantillas a compresión verificar que la fuente de alimentación neumática a utilizar en el procedimiento supere los dos bares de presión pero que no exceda los cinco bares debido que el funcionamiento de la pistola de grapas se da a partir de tal medida.

Asegurarse que se encuentra en el tamaño adecuado de la horma, caso contrario podría causar fallas al momento de la fijación de las plantillas, teniendo un desplazamiento muy corto o muy largo de la pistola de grapas y no el adecuado para dicha talla, lo cual produciría un retraso en la producción.

Cuando el proceso se encuentre activo, asegurarse de no introducir ningún objeto ajeno o innecesario dentro del sistema, ya que, puede producir fallas o accidentes dado que es un proceso secuencial este no parara hasta que no existan hormas o plantillas.

Dado que el proceso es de manera secuencial, asegurarse de que existe un buen número de plantillas y hormas, ya que, los sensores de presencia al no detectar las plantillas no continuarán con el proceso y este se pondrá en espera, y cuando no detecten hormas el proceso no iniciará o no dará paso a la siguiente etapa.

Se ha implementado un sistema embebido basado en Arduino para la funcionalidad de la máquina. La programación realizada en este sistema se caracteriza por ser secuencial, lo cual facilita su adaptación a otro sistema de control, como un PLC. Además, la mayoría de las entradas y salidas son compatibles entre ambos sistemas, estas características facilitan la transición entre plataformas

Bibliografía

- Adajusa. (2021). *Adajusa*. Obtenido de <https://adajusa.es/es/pulsadores-electricos/439-pulsador-rojo-contacto-cerrado-nc-completo-8435532804390.html>
- Alcacompany. (25 de Junio de 2019). Obtenido de Alca company: <https://alcacompany.com/historia-del-calzado-industrial/>
- Alexander Vasco . (02 de 02 de 2016). *Visión Artificial - Revista de Investigación Eam*. Recuperado el 21 de 07 de 2023, de Revista de Investigación Eam: <https://app.eam.edu.co/ojs/index.php/ingeam/article/view/32/178>
- ALÓS INDUSRIALS. (12 de Marzo de 2020). *Alosindustrials*. Obtenido de <https://alosindustrials.com/maquinas/clavadora-de-patines/>
- Altamirano, S. (13 de Julio de 2021). *CONTROL +*. Obtenido de <https://suileraltamirano.com/>
- Amazon. (s.f.). Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.es/Grapadora-Pistolas-Trabajo-Clavadora-Estuches/dp/B0B4S5LBBV>
- Aranacorp. (14 de 02 de 2023). *CNC Shield - Aranacorp*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de <https://www.aranacorp.com/es/uso-de-un-arduino-cnc-shield-v3/>
- Arduino. (14 de Enero de 2019). *Arduino UNO*. Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Arduino. (2021). *Arduino*. Obtenido de <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Armotec. (2023). *Armotec*. Obtenido de <https://armotec.pe/products/silenciador-neumatico>
- Aula21. (17 de Mayo de 2023). *Cursosaula21*. Obtenido de Visión Artificial: todo lo que necesitas saber: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-vision-artificial/>

- BC, E. (2018). *Elettrotecnica BC*. Obtenido de <https://elettrotecnicabc.com/es/maquinas/maquinas-para-fijar-plantillas/>
- Blade, B. (08 de Septiembre de 2009). *StudentPlace*. Obtenido de Sensores (Electrónica/Sistemas Programables): <https://studentplace98.blogspot.com/2019/09/Sensores.html>
- Botas. (2020). Obtenido de Botas.net: <https://botas.net/botas-militares-tacticas-guia-de-compra/>
- Byron, C. E., & Mario, C. S. (4 de Noviembre de 2015). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12592/4/T-ESPE-049839.pdf>
- BZMETAL. (29 de Julio de 2022). *301, 304, 304L, 316, 316L, 309S, 310 Acero inoxidable*. Obtenido de http://www.bzmetals.com/?m=home&c=View&a=index&aid=432&gclid=CjwKCAjwzo2mBhAUEiwAf7wjKq3ilqUGdSVn4H3fzfNzNtl7IgdB7cJst6GL-eVE6Oaml4jryH2zMhoC_kEQAvD_BwE
- Carmenate, J. G. (2020). *Programar fácil*. Obtenido de <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/arduino-mega-2560/>
- Chapman, S. J. (2000). *Máquinas eléctricas*. McGraw Hill.
- Chavesbao. (15 de Noviembre de 2009). *Características mecánicas de los elementos de fijación fabricados de acero inoxidable*. Obtenido de https://www.chavesbao.com/img/Ficha%20Tecnica/FC-CH-009_ES.pdf
- Christian Barroyeta. (01 de 11 de 2022). *Microprocesador - Christian Barroyeta*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de Newesc - Christian Barroyeta: <https://newesc.com/microprocesador-que-es-y-cuales-son-sus-funciones/>

CLR. (30 de 08 de 2018). *Actuadores Rotativos - Compañía Livantina de Reductores*.

Recuperado el 24 de 07 de 2023, de <https://clr.es/blog/es/actuadores-lineales-rotativos/>

Cortés, J. C., Guio, J. P., & Gómez, J. J. (2015). *Automatización Neumática*. Bogota: Ediciones de la U.

CUDEVICES. (08 de Agosto de 2022). *Nema 17 Datasheet*. Obtenido de

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1562021/CUID/NEMA17-13-04PD-AMT112S.html>

CUID . (08 de Mayo de 2020). *NEMA17-13-04PD-AMT112S*. Obtenido de

<https://www.cuidevices.com/>

Dold. (2017). *Dold mechatronik*. Obtenido de <https://www.dold-mechatronik.de/Unidad-de-mantenimiento-de-aire-comprimido-compacta-1-4-pulgada-AFC2000>

Ebay. (2023). *Ebay*. Obtenido de

<https://www.ccom/itm/265503252067?epid=5022749008&hash=item3dd13a1e63:g:xmgAAOSwyxph44fY&amdata=enc%3AAQAIAAAA0FIZQGSJtjAfBftyWfSeBaytDYf4p%2F25ntNqyiYu%2FS0F30w2VhWj4S432Jrh%2FtOocGIK0CmTLQAU%2BTthApEckk2Mh8L6syoW%2B8MnczVDe%2BoWfzq5lHzxcTtm0AGlvd8N>

Electrónica. (21 de 07 de 2022). *Transistores - Electrónica*. Obtenido de Electrónica Online:

<https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/transistor/>

Endrijaitis, L., & Tertünte, J. (17 de Diciembre de 2022). Obtenido de Libro blanco. Sistemas de manipulación cartesiana_comparación técnica con robots clásicos:

https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/301263/White_Paper%20_Kartesische_Handling_Systeme_ES.pdf

- ESPAÑOLA, R. A. (Febrero de 2024). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://dle.rae.es/horma>
- ETIDUDELA. (16 de Abril de 2010). *VISIÓN ARTIFICIAL*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- Euroinnova. (2013). *Open CV - Euroinnova*. Recuperado el 21 de 07 de 2023, de Euroinnova Nuevas Tecnologías : <https://www.euroinnova.ec/nuevas-tecnologias/articulos/que-es-open-cv>
- FESTO. (s.f.). Obtenido de Cilindros Twin DPZ/DPZJ: <https://www.festo.com/media/pim/623/D15000100149623.PDF>
- FESTO. (2021). *Festo*. Obtenido de Actuador lineal: https://www.festo.com/ar/es/p/actuador-lineal-id_DGC/
- Festo. (2022). Obtenido de https://www.festo.com/co/es/p/cilindro-normalizado-id_DSBF/?page=0&q=Cilindro%20normalizado%20DSBF-C~%3AfestoSortOrderScored
- Grimas Cintas, P., & Tort-Martorell Llabres, J. (1995). Técnicas para la gestión de la calidad. En P. Grimas Cintas, & J. Tort-Martorell Llabres, *Técnicas para la gestión de la calidad* (pág. 29). Madrid: Diaz Santos.
- Grupojago. (2023). *Grupojago*. Obtenido de <https://grupojago.net/product/puentes-equipotenciales-para-borneras-de-riel/>
- Handsontec. (17 de Abril de 2018). *Handson Technology*. Obtenido de 3-Axis CNC/Stepper Motor Shield for Arduino: <https://www.handsontec.com/dataspecs/cnc-3axis-shield.pdf>
- I3D Service. (30 de Julio de 2021). *Imprimante 3D service*. Obtenido de <https://imprimante-3d-service.com/es/40-gt2-polea-de-16-dientes-para-eje-de-5-mm.html>

- Igus.es. (2015). *Actuadores Lineales - Igus.es*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de <https://www.igus.es/info/actuadores-lineales>
- Ikastaroak. (2020). *Tecnología neumática*. Obtenido de https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/PSAFM/PSAFM02/es_PPFM_PSAFM02_Contenidos/website_24_vlvulas_de_presin.html
- Industrias, G. (17 de Octubre de 2021). *GSL Industrias*. Obtenido de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/zapatos-industriales>
- Ingelcom. (2021). *Ingelcom*. Obtenido de <https://www.ingelcom.odoo.ec/shop/product/w67720-terminal-aislado-puntera-18-22-awg-amarillo-14434>
- INKUBA. (2023). *Perfiles de Aluminio*. Obtenido de <https://perfilesdealuminio.net/producto/perfil-de-aluminio-2040-v-slot/671>
- Innovative. (28 de Noviembre de 2013). *WordPress Theme*. Obtenido de <https://www.innovative.com.mx/terminal-de-herradura-embridada-aislado-de-vinil/>
- Inyerpartes. (2023). *Tienda online material eléctrico*. Obtenido de <https://www.inyerpartes.com/tienda/conector-rapido-racor-1-4-x-6mm/>
- IONOS. (16 de Septiembre de 2021). *QFD: ¿qué significa Quality Function Deployment?* Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/qfd-quality-function-deployment/>
- Isaac. (05 de Mayo de 2020). *Hardware libre*. Obtenido de <https://www.hwlibre.com/nema-17/>
- Jakobson, R. (1981). *Lingüística y poética*. España: Cátedra.
- JELPC. (2020). *JELPC*. Obtenido de [https://www.jelpc.com/product/valve/solenoid-valve/j4v200-series.html#prettyphoto\[group\]/0/](https://www.jelpc.com/product/valve/solenoid-valve/j4v200-series.html#prettyphoto[group]/0/)

LA CASA DEL PERNO RMGR . (12 de Abril de 2023). *LA CASA DEL PERNO*. Obtenido de
VARILLA ROSCADA ACERO INOXIDABLE MILIMETROS UNC:

<https://www.casadelperno.com/en/anclajes/12108-varilla-roscada-acero-inoxidable-milimetros-unc.html>

Larraioz. (18 de Febrero de 2021). *Robots cartesianos de sobremesa - Larraioz Elektronika*.

Obtenido de Larraioz Elektronika: <https://larraioz.com/iai/productos/robots-cartesianos-sobremesa#:~:text=Los%20robots%20cartesianos%20de%20sobremesa%20son%20ampliamente%20utilizados%20en%20cadenas,aplicando%20una%20cámara%20de%20visión>

Leantec. (13 de Junio de 2019). *Leantec*. Obtenido de <https://leantec.es/tienda/modulo-rele-8-canales-12v-low-high-level/>

Logitech. (07 de Octubre de 2020). *C922 PRO HD STREAM WEBCAM*. Obtenido de Complete Setup Guide: <https://www.logitech.com/assets/64889/c922-pro-stream-webcam.pdf>

Manuel Meneses. (2020). *Actuadores - Quora*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de Quora - Manuel Meneses: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-un-actuador-en-mecatr%C3%B3nica>

MathWorks. (2018). *Filtro de paso Alto - MathWorks*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MathWorks: <https://la.mathworks.com/discovery/high-pass-filter.html>

Mauricio Arias , J. (2007). *Introducción al Análisis de Series Temporales*. Madrid, España: Compañía Española de Reprografía y Servicios. doi:ISBN: 978-84-96854-01-7

MecatronicaLATAM. (21 de 04 de 2021). *Motores paso a paso - MecatronicaLATAM*.

Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MecatronicaLATAM:

<https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de->

corriente-continua/motor-paso-a-paso/#:~:text=Un%20motor%20a%20pasos%20es,y%20controlarse%20con%20circuitos%20digitales.

MecatronicaLATAM. (04 de 05 de 2021). *Sensores - Mecatrónica*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MecatronicaLATAM:

<https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/sensores/>

MecatronicaLATAM. (24 de 04 de 2021). *Servomotres - MecatrónicaLATAM*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de MecatrónicaLATAM:

<https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/servomotor/>

Megatrónica. (2018). Obtenido de ROBÓTICA ELECTRÓNICA COMPUTACIÓN INGENIERÍA:

<https://megatronica.cc/producto/bornera-cgc-riel-2-5mm-12-14awg-gris/>

Meza Castro, M. (2018). *El recurso de información y comunicación visual: imagen. Apuntes en torno a las Ciencias de la Información y Biotecnología*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

MITUTOYO. (2018). *MITUTOYO*. Obtenido de

https://www.mitutoyo.es/es_es/downloads/informacion-de-producto/sistemas-de-medicion-por-vision

Monleón Getino, T. (21 de Octubre de 2005). *Optimización de los ensayos clínicos de fármacos mediante simulación de eventos discretos, su modelización, validación, verificación y la mejora de la calidad de sus datos*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/1557>

Moreno, R. P. (2004). *Ingeniería de la automatización industrial*. Madrid: RA-MA.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.

Mott, R. L. (2009). *Resistencia de Materiales*. México: Pearson, Prentice Hall.

Muñoz, D. (23 de Marzo de 2023). *Plástico*. Obtenido de Robots cartesianos: qué son y cómo funcionan: <https://www.plastico.com/es/noticias/robots-cartesianos-que-son-y-como-funcionan>

Musso, C. (2023). *Blog del fotógrafo*. Obtenido de [https://www.blogdelfotografo.com/ojo-de-pezu/](https://www.blogdelfotografo.com/ojo-de-pezu)

NAYLAMP. (Enero de 2020). *Perfil de aluminio V-SLOT*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/img/cms/catalogo_v-slot.pdf

Newbold, P., Carlson, W. L., & Thorne, B. M. (2008). *Estadística para Administración y Economía*. Madrid: Prentice Hall,.

NOVATRONIC. (Septiembre de 2020). *Banda Dentada GT2 2GT 6mm 1 Metro*. Obtenido de <https://novatronicec.com/index.php/product/banda-dentada-gt2-2gt-6mm-1-metro/>

NOVATRONIC. (2020). *NOVATRONIC*. Obtenido de Cable para motor nema17 de 4 hilos: <https://novatronicec.com/index.php/product/cable-para-motor-nema17-de-4-hilos/>

Ocompra. (2017). *Ocompra*. Obtenido de <https://www.ocompra.com/mexico/item/regulador-de-caudal-para-tubing-6-mm-x-1-8-npt-racor-874712179/>

Parr, A. (2011). *Hydraulics and Pneumatics*. Oxfordshire: ELSEVIER.

Pazmiño, J. (02 de 04 de 2015). *Universidad Politécnica Salesiana - Juan Pablo Pazmiño*.

Obtenido de Mecatrónica - Visión:

<https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8492/1/La%20mecatronica%20sistemas%20de%20automatizacion%20en%20serie.pdf>

Pazos, C. (2022). *Comercial Pazos*. Obtenido de <https://comercialpazos.com/clavadora-grapadora-electrica-e-tsk-dual-salki>

- Pérez, P., & Valente., M. (2018). *Famaf*. Obtenido de Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes: <https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cim/cap2.html#filtros>
- PERFILES CNC. (29 de Marzo de 2022). *PERFILES CNC*. Obtenido de Estructuras, máquinas y accesorios para CNC: <https://perfilescnc.com>
- Philpot, T. (2008). *Mechanics of materials*. New Orleans: WILEY.
- PINKER. (03 de Enero de 2022). *Global Data: los 10 mejores países confeccionistas en 2022*. Obtenido de <https://pinkermoda.com/paises-confeccionistas-mas-prometedores-para-2022/>
- Pneumatic, U. (2017). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Pneumatic-polietileno-comprimido-neum%C3%A1tica-transferencia/dp/B078HWTCC5?th=1>
- Presente. (2023). *Presente.cl*. Obtenido de <https://www.presente.cl/product/fuente-de-poder-220v-a-dc12v-5a-60w-hq-ultra-compacta-kn>
- Programacionpython. (23 de Mayo de 2023). *Programacionpython80889555*. Obtenido de OpenCV: <https://programacionpython80889555.wordpress.com/category/opencv/>
- ReVelle, J. B., Moran, J. W., & Cox, C. A. (1998). *The QFD handbook*. John Wiley & Sons, Inc.
- Robotics. (2023). *Electrónica y robótica*. Obtenido de <https://roboticsec.com/categoria-producto/arduino/componentes-tablero/>
- RS PRO. (05 de Enero de 2021). *Varilla roscada de acero inoxidable simple RS Pro, M12, 1m*. Obtenido de <https://docs.rs-online.com/ec0c/A700000007264057.pdf>
- Rubén Marmolejo. (31 de 08 de 2016). *Microcontrolador - HETPRO*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de HETPRO - Rubén Marmolejo: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>

Sanchez, R. A. (25 de Abril de 2022). Obtenido de Prolaboral:

<https://www.prolaboral.com/es/blog/tipos-y-caracteristicas-del-calzado-de-seguridad.html>

Sánchez, V. A. (2001). *Automatización Industrial moderna*. Madrid: RA-MA .

SDI. (2020). *Actuadores Eléctricos - SDI*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de

<https://sdindustrial.com.mx/blog/introduccion-a-los-actuadores-electricos-motores-electricos/>

Serrano, A. S. (2009). *Neumática práctica*. Madrid: Paraninfo S.A.

Shoptronica. (2022). *Interruptores de Final de Carrera* . Obtenido de

<https://www.shoptronica.com/interruptores-palanca-y-dip-switch/2269-interruptores-de-final-de-carrera-16a-8944748428226.html>

SMC. (2000). *Neumática*. Madrid: Paraninfo S.A.

SODIMAC. (s.f.). Obtenido de <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/page/caracteristicas-y-usos-del-zapato-de-seguridad>

Solé, A. C. (2012). *NEUMÁTICA E HIDRÁULICA. 2A. ED.*

Technical Information. (2008). *Techno INC*. Obtenido de [https://www.techno-](https://www.techno-isel.com/H834/H834Cat.htm)

[isel.com/H834/H834Cat.htm](https://www.techno-isel.com/H834/H834Cat.htm)

TECmikro. (2023). *TECmikro*. Obtenido de <https://tecmikro.com/modulos-shields/525-modulo-rele-1-canal.html>

Tecnomquinaria. (2021). *Tecnomquinaria*. Obtenido de <https://tecommaquinaria.com/fijado-y-preparado-de-plantillas-y-corte/711-grapadora.html>

Teknika4. (2000). *Teknika4*. Obtenido de <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>

- Texas Instruments. (2011). *DRV8825/DRV8826 datasheet*. Obtenido de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>
- TiendaMilitar. (2019). Obtenido de Tienda Militar: <https://tiendamilitar.com.ec/tienda/militar/calzados/cod-m002-bota-tactica-alfa-m2/>
- Tornillos TOREC. (2023). *TORNILLOS TOREC*. Obtenido de Tuerca Hexagonal Inoxidable Metrica - M12: <https://www.torec.mx/products/tcamin12>
- Tresdprinttech. (2023). *Tresdprinttech*. Obtenido de <https://tresdprinttech.com/mx/control-de-voltaje/661-lm2596-modulo-reductor-de-voltaje-7503040293881.html>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: McGRAW-HILL.
- Ultimaker. (14 de Junio de 2017). *Ficha de datos técnicos PLA*. Obtenido de <https://docs.rs-online.com/7ade/0900766b81698006.pdf>
- Unicrom. (30 de 05 de 2023). *Filtro paso bajo - Unicrom*. Recuperado el 24 de 07 de 2023, de Unicrom: <https://unicrom.com/filtro-rl-paso-bajo/>
- UnitElectronics. (2023). *Unit electronics*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/cable-electrico-calibre-22-awg-1-metro-diferentes-colores/>
- W. Depper, K. S. (2005). *Dispositivos neumáticos*. Colombia: Alfa Omega.
- Xeridia. (06 de Mayo de 2019). *Xeridia*. Obtenido de La Visión Artificial y el procesamiento de imágenes: <https://www.xeridia.com/blog/la-vision-artificial-y-el-procesamiento-de-imagenes>
- Yamaha Motor . (2013). *YAMAHA*. Obtenido de Robots cartesianos XY-X: https://global.yamaha-motor.com/business/robot_es/xyx/

Zummar. (2022). *Blog*. Obtenido de Zummar: <https://zummar.com/grapadora-industrial-neumatica-o-electrica-que-debo-saber/#h-grapadora-electrica>

Anexos