



Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex del cantón Pelileo provincia de Tungurahua.

Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly y Quinga Morales, Andrés Giancarlo.

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro

08 de agosto del 2023

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detector Report

TESIS ASITIMBAY QUINGA 1 (2).docx

Scan details

Scan time:
August 9th, 2023 at 0:48 UTC

Total Pages:
79

Total Words:
19732

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.8%	355
Minor Changes	0.9%	168
Paraphrased	2.8%	546
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	5.8%	773
Human text	94.2%	12657

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (94)

T-ESPEL-MEC-0260.pdf

1.3%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35361/1/t-e...>

Santiago Fuentes Ríos

1 Carátula Diseño y construcción de una máquina rebordeadora para incrementar la eficiencia en la producción con niveles de prestación (...)

T-ESPE-048989.pdf

0.4%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10689/1/t-e...>

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA...

La Industria Textil en América Latina | Textiles Pan...

0.4%

<https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/2...>

...

Ing. Caizalitin Quinaluisa Edwin Alejandro MSc.

C.C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex del cantón Pelileo provincia de Tungurahua" fue realizado por los señores **Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly y Quinga Morales, Andrés Giancarlo**; 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 analizado 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, 08 de agosto de 2023

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro MsC.

C.C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly**, con cédula de ciudadanía N° 0604825208 y **Quinga Morales, Andrés Giancarlo**, con cédula de ciudadanía N° 1803872801 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex del cantón Pelileo provincia de Tungurahua"** 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, 08 de agosto de 2023

.....
Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly

C.C.: 0604825208

.....
Quinga Morales, Andrés Giancarlo

C.C.: 1803872801



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly**, con cédula de ciudadanía N° 0604825208 y **Quinga Morales, Andrés Giancarlo**, con cédula de ciudadanía N° 1803872801, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex del cantón Pelileo provincia de Tungurahua**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 08 de agosto de 2023

.....
Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly

C.C.: 0604825208

.....
Quinga Morales, Andrés Giancarlo

C.C.: 1803872801

Dedicatoria

Este trabajo de titulación lo dedico primero a Dios por haberme guiado en toda mi vida, fue mi fortaleza en momentos de debilidad, tristeza o desánimo, ha estado conmigo en cada logro personal y profesional, amparándome con su infinito amor, fidelidad y lealtad. He sentido su abrazo, su mano sobre mí y su cobertura en cada objetivo que he planteado y lo he logrado gracias a él.

A mis amados padres.

A mi madre Graciela, por esforzarse en todo momento de la vida, brindándome su apoyo, amor, confianza y al ser un gran ejemplo de mujer trabajadora, esforzada, valiente, leal que con sus consejos y oraciones derramó mi vida de bendiciones, prosperidad y me hizo una mejor persona.

A mi padre Jorge, por ser un ejemplo de superación, disciplina y constancia; me ha brindado su amor en cada proceso de mi vida, me enseñó a ser fuerte a pesar de las circunstancias difíciles que se presentan en la vida y me enseñó a no desfallecer en el camino porque sé que Dios está conmigo.

A mis queridas hermanas Erika, Gabriela y Camila, por su apoyo y cariño incondicional, que me dieron las fuerzas para seguir avanzando en cada etapa de mi vida, que me llenan de alegría, paz y gozo, con sus consejos han inundado mi corazón de mucho amor y que de una u otra forma me acompañaron en el cumplimiento de todas mis metas y sueños.

Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly

Dedicatoria

Este trabajo de titulación lo dedico primero a Dios que me acompañó en cada una de mis batallas a lo largo de mi vida estudiantil y al proveerme de salud para poder cumplir mis objetivos.

A mis amados padres.

A mi madre Mariana, por ser un ejemplo de superación al demostrarme que si uno quiere puede cumplir todo lo deseado y por cuidarme, guiarme siempre por un buen camino, lleno de amor y humildad.

A mi padre Milton, por saber brindarme todo el apoyo en el cumplimiento de mis objetivos y también enseñándome a ser una persona de bien, trabajadora y sobre todas las cosas humilde.

Finalmente, dedico este trabajo de titulación a mis hermanos, familia y amigos que supieron estar en las buenas y en las malas a lo largo de este camino.

Quinga Morales, Andrés Giancarlo

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por darme sabiduría e inteligencia, me dio la oportunidad de alcanzar todos los sueños y objetivos planteados en mi vida, nunca me desamparo y respaldo mi camino con su infinito amor y sé que lo seguirá haciendo por el resto de mi vida.

Doy gracias a cada uno de los miembros de mi familia, mis padres quienes me instruyeron desde la infancia, a mis hermanas que me acompañaron en los momentos buenos y malos, gracias a ellos soy una mujer fuerte, valiente y esforzada, nunca olvidare su apoyo, amor, respeto y lealtad conmigo, que Dios les bendiga.

A mi tutor, Ing. Edwin Caizalitín por ser el mentor en la elaboración de este trabajo de titulación, gracias por su valioso aporte académico con su experiencia y profesionalismo.

A mi compañero de tesis que con esfuerzo y dedicación cumplimos con la finalización de este objetivo, a los amigos que me apoyaron a lo largo de mi vida estudiantil y personal.

Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la oportunidad de llegar a ser un profesional y por brindarme salud para seguir cosechando logros, experiencias a lo largo de mi vida.

Doy gracias a cada uno de los miembros de mi familia por ser el apoyo fundamental a lo largo de mi vida estudiantil con sus consejos y recomendaciones para ser una buena persona.

Quiero agradecer de manera especial a mi tío Rodrigo Morales que estuvo siempre apoyándome en lo que necesitaba y guiándome por un buen camino que ayudo a conseguir este logro que ser ingeniero.

Al Ing. Edwin Caizalítín, por su valioso aporte académico con su experiencia y profesionalismo.

A mi compañera de tesis que con esfuerzo y dedicación logramos alcanzar esta meta importante en nuestra vida, además a todos mis compañeros que formaron parte de mi vida estudiantil.

Finalmente agradezco a todos los ingenieros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que entregaron sus conocimientos para lograr el objetivo de ser ingeniero.

Quinga Morales, Andrés Giancarlo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos.....	10
Índice de figuras.....	16
Índice de tablas.....	20
Resumen.....	23
Abstract.....	24
Capítulo I: Generalidades.....	25
Introducción.....	25
Antecedentes.....	25
Planteamiento del problema.....	28

Descripción resumida del proyecto.....	30
Justificación e importancia	31
Objetivos	32
Objetivo general	32
Objetivos específicos	33
Hipótesis	33
Variables de investigación.....	33
Variable dependiente.....	33
Variable independiente.....	33
Capítulo II: Fundamentación teórica	34
Industria textil 4.0.....	34
Máquina de coser recta industrial	34
Mecanismo piñón-cremallera	36
Correas dentadas.....	37
Sistemas neumáticos	37
Presión neumática	38
Elementos de un sistema neumático	38

Compresor	38
Válvula	39
Válvula 2/2 (2 vías – 2 posiciones)	39
Válvula 3/2 (3 vías – 2 posiciones)	39
Válvula 4/2 (4 vías – 2 posiciones)	39
Válvula 5/2 (5 vías – 2 posiciones)	39
Válvula 5/3 (5 vías – 3 posiciones)	40
Actuador	41
Cilindro de doble efecto	41
Fuerza de un pistón neumático	42
Motores eléctricos	43
Motores de corriente continua	43
Motores de corriente alterna	44
Motor paso a paso	44
Encoder	45
Controladores	46
Driver de motor	47

PLC – Controlador Lógico Programable.....	47
Bases de datos.....	49
Capítulo III: Diseño, construcción e implementación	50
Diseño del sistema.....	50
Casa de la calidad.....	50
Necesidad del cliente	50
Características técnicas.....	51
Desarrollo de la función de calidad o QFD	52
<i>Análisis de resultados obtenidos</i>	<i>54</i>
Desarrollo del concepto de la máquina	55
Estructura del sistema	60
Factor de diseño	64
Análisis estructural.....	64
Análisis estructural en software especializado	68
Selección de motores.....	70
Selección de drivers para los motores.	73
Selección de sistema de control.....	76
Diseño neumático	79

Cilindro neumático para la sección de doblado	81
Selección del HMI.....	83
Implementación de la máquina	85
Implementación del sistema mecánico	85
Construcción de soportes de ejes móviles	85
Construcción de estructura para el doblado en frío.....	87
Implementación del sistema neumático	89
Colocación de válvulas y regulador de presión.....	89
Implementación del sistema eléctrico y electrónico	91
Implementación del sistema de control	93
Implementación del sistema de monitoreo inteligente	100
Capítulo IV: Pruebas y resultados	102
Pruebas de funcionamiento.....	102
Pruebas de doblado del bolsillo.....	102
Pruebas de costura del bolsillo.....	103
Pruebas del sistema de control.....	104
Pruebas de medidas de bolsillos	108

Pruebas del funcionamiento del monitoreo inteligente	109
Pruebas del funcionamiento de los sistemas de seguridad	111
Pruebas de tiempo de doblado y costura de bolsillos	116
Validación de la máquina	118
Validación de hipótesis	119
Análisis de costos.....	123
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	125
Conclusiones.....	125
Recomendaciones	126
Bibliografía	128
Anexos	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama de bloques del proceso de aplicación de bolsillos</i>	30
Figura 2 <i>Máquina de coser recta</i>	35
Figura 3 <i>Mecanismo piñón-cremallera</i>	36
Figura 4 <i>Válvula neumática solenoide 5/3</i>	40
Figura 5 <i>Cilindro de doble efecto</i>	42
Figura 6 <i>Motor paso a paso en tamaño NEMA</i>	45
Figura 7 <i>Motor paso a paso NEMA 24</i>	46
Figura 8 <i>Driver de motor CL57T</i>	47
Figura 9 <i>Controlador lógico programable XDM60T4E marca Xinje</i>	48
Figura 10 <i>Obtención de datos de un PLC</i>	49
Figura 11 <i>Matriz QFD de la máquina para aplicación de bolsillos</i>	54
Figura 12 <i>Primer bosquejo del diseño de la máquina</i>	56
Figura 13 <i>Segundo bosquejo del diseño de la máquina</i>	56
Figura 14 <i>Tercer bosquejo del diseño de la máquina</i>	57
Figura 15 <i>Diseño de la máquina</i>	58
Figura 16 <i>Diagrama de bloques de la máquina</i>	59

Figura 17 <i>Riel seleccionado</i>	63
Figura 18 <i>Soporte de la sección de doblado en frío</i>	64
Figura 19 <i>Diagrama de cuerpo libre: eje en voladizo</i>	65
Figura 20 <i>Diagrama de fuerza cortante (N)</i>	65
Figura 21 <i>Diagrama de momento flexionante (N.mm)</i>	66
Figura 22 <i>Simulación del factor de seguridad</i>	69
Figura 23 <i>Valor máximo del esfuerzo de Von Mises</i>	69
Figura 24 <i>Motor paso a paso NEMA 24 con encoder</i>	71
Figura 25 <i>Motor paso a paso NEMA 34 con encoder</i>	72
Figura 26 <i>Driver de motor CL57T</i>	74
Figura 27 <i>Driver de motor T86</i>	75
Figura 28 <i>Controlador lógico programable XDM60T4E marca Xinje</i>	76
Figura 29 <i>Controlador lógico programable S7-1200 marca Siemens</i>	77
Figura 30 <i>Diagrama de bloques del sistema neumático</i>	79
Figura 31 <i>Diagrama de conexión neumática</i>	80
Figura 32 <i>Cilindro neumático MAL25x25</i>	82
Figura 33 <i>Pantalla táctil TG765-MT</i>	83

Figura 34 <i>Distribución del tablero eléctrico</i>	84
Figura 35 <i>Corte plasma de la estructura</i>	85
Figura 36 <i>Estructura del eje Y</i>	86
Figura 37 <i>Estructura del eje X</i>	86
Figura 38 <i>Estructura para el doblado en frío</i>	87
Figura 39 <i>Montaje de la estructura</i>	87
Figura 40 <i>Montaje de la estructura</i>	88
Figura 41 <i>Soportes de la máquina</i>	88
Figura 42 <i>Banco de electroválvulas 5/3</i>	89
Figura 43 <i>Regulador y mangueras neumáticas</i>	89
Figura 44 <i>Pistones doble efecto en sistema de doblado en frío</i>	90
Figura 45 <i>Pistones doble efecto en sistema de costura</i>	91
Figura 46 <i>Tablero eléctrico</i>	91
Figura 47 <i>Tablero de control</i>	92
Figura 48 <i>Tablero de control</i>	92
Figura 49 <i>Trayectoria de modelos de dos bolsillos</i>	93
Figura 50 <i>Cero máquina en el eje X</i>	99

Figura 51 <i>Cero máquina en el eje Y</i>	99
Figura 52 <i>Parámetros del monitoreo inteligente</i>	101
Figura 53 <i>Comparativa de trayectoria del modelo 1</i>	106
Figura 54 <i>Comparativa de trayectoria del modelo 2</i>	106
Figura 55 <i>Comparativa de trayectoria</i>	108
Figura 56 <i>Comparación de la producción por una persona y la máquina</i>	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características de la máquina de coser JUKI DDL-8100e.....</i>	35
Tabla 2. <i>Características de la válvula neumática solenoide 4V230C-08.....</i>	41
Tabla 3. <i>Necesidades del usuario.....</i>	51
Tabla 4. <i>Características técnicas.....</i>	52
Tabla 5. <i>Denominación de consideraciones para jerarquizar la matriz QFD</i>	53
Tabla 6. <i>Denominación de consideraciones para jerarquizar la matriz QFD (simbología)</i>	53
Tabla 7. <i>Selección de conceptos</i>	57
Tabla 8. <i>Características de los materiales para la estructura de la máquina</i>	60
Tabla 9. <i>Selección de material para la estructura</i>	62
Tabla 10. <i>Características de un motor paso a paso con encoder nema 24</i>	71
Tabla 11. <i>Características de un motor paso a paso con encoder nema 34</i>	73
Tabla 12. <i>Características de un driver de motor paso a paso nema 24 con encoder</i>	74
Tabla 13. <i>Características del driver de motor T86</i>	75
Tabla 14. <i>Características del controlador lógico programable XDM60T4E marca Xinje.....</i>	77
Tabla 15. <i>Características del controlador lógico programable S7-1200 marca Siemens</i>	78
Tabla 16. <i>Selección del controlador lógico programable</i>	78

Tabla 17. <i>Características del cilindro doble MAL25x25</i>	83
Tabla 18. <i>Características de la pantalla táctil TG765-MT</i>	84
Tabla 19. <i>Trayectorias de bolsillos para los dos modelos</i>	93
Tabla 20. <i>Datos del bolsillo 1</i>	96
Tabla 21. <i>Datos del bolsillo 2</i>	97
Tabla 22. <i>Características del eje X en el motor 1</i>	98
Tabla 23. <i>Características del eje Y en el motor 2</i>	98
Tabla 24. <i>Datos de la prueba de doblez del bolsillo</i>	103
Tabla 25. <i>Datos de la prueba de costura del bolsillo</i>	104
Tabla 26. <i>Comparativa de trayectoria del modelo 1</i>	105
Tabla 27. <i>Comparativa de trayectoria del modelo 2</i>	105
Tabla 28. <i>Prueba del sistema neumático mediante parámetros</i>	107
Tabla 29. <i>Comparativa de distancias del bolsillo</i>	109
Tabla 30. <i>Errores forzados para el monitoreo inteligente</i>	110
Tabla 31. <i>Resultados del monitoreo inteligente</i>	110
Tabla 32. <i>Datos de la prueba de costura del bolsillo</i>	111
Tabla 33. <i>Resultados de la prueba del botón de paro de emergencia</i>	112

Tabla 34. <i>Prueba de finales de carrera del eje X</i>	113
Tabla 35. <i>Prueba de finales de carrera del eje Y</i>	114
Tabla 36. <i>Prueba de finales de carrera del eje Y</i>	115
Tabla 37. <i>Datos de la prueba de doblado y costura del bolsillo</i>	116
Tabla 38. <i>Datos de la prueba de costura del bolsillo</i>	121
Tabla 39. <i>Costos del proyecto</i>	124

Resumen

El presente proyecto de titulación aborda el diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex, la cual, le permitirá realizar la costura de bolsillos de una forma automatizada dejando atrás la aplicación de bolsillos de forma manual, aumentando su producción en un 136%, logrando producir más del doble de bolsillos cosidos en una jornada laboral de un operario. Durante las pruebas realizadas a la máquina logramos observar que la velocidad de avance que sujeta el bolsillo y la trasera del pantalón debe ser el doble de la velocidad con la cual baja la aguja, a su vez existen sistemas de seguridad implementados, los cuales, nos permiten parar la máquina en caso de emergencia producida por algún choque o fallo del sistema neumático, también dispone de un sensor capaz de detectar, la posición de la aguja, la cual, debe estar siempre en su punto muerto superior para que la máquina inicie el proceso. Uno de los problemas más comunes en la costura, es la rotura de hilo, con lo que, la máquina cuenta con un mecanismo de detección de corte de hilo, los cuales, son monitoreados de manera inteligente por la máquina. Con estos resultados, la empresa logra reducir tiempo en la producción de jeans y reducción en cuanto a operarios destinados a la aplicación de bolsillos, logrando una mayor productividad en la empresa y abriendo el camino a futuras automatizaciones de las distintas áreas de la empresa, las cuales permitirán adaptarse a la tecnología actual.

Palabras Clave: sistema automatizado, costura de bolsillos jean, producción textil, monitoreo inteligente.

Abstract

This titling project deals with the design, construction and implementation of an automated system for the application of patch pockets in jeans by means of an electric axis sewing head and intelligent monitoring in the company Coditex, which will allow you to sew pockets in an automated way, leaving behind the application of pockets manually, increasing its production by 136%, managing to produce more than double the number of sewn pockets in an operator's working day. During the tests carried out on the machine, we were able to observe that the forward speed that holds the pocket and the back of the pants must be twice the speed with which the needle lowers, in turn there are security systems implemented, which, we They allow the machine to stop in case of an emergency caused by a shock or failure of the pneumatic system. It also has a sensor capable of detecting the position of the needle, which must always be at its top dead center for the machine to start the movement. process. One of the most common problems in sewing is thread breakage, so the machine has a thread cut detection mechanism, which is intelligently monitored by the machine. With these results, the company manages to reduce time in the production of jeans and reduction in terms of operators assigned to the application of pockets, achieving greater productivity in the company and opening the way to future automation of the different areas of the company, the which will allow adapting to current technology.

Keywords: automated system, jean pocket sewing, textile production, intelligent monitoring.

Capítulo I

Generalidades

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como propósito el diseño y construcción de una máquina automatizada para la aplicación de bolsillos en pantalones jean y la monitorización de la producción. El desarrollo del trabajo de investigación contara con 5 capítulos, en el capítulo I abordamos todo lo consecuente al problema, objetivos e hipótesis del proyecto. En el capítulo II, se aborda el marco teórico del presente proyecto, en el capítulo III, se basa en el diseño e implementación de la máquina. En el capítulo IV contiene los datos de pruebas y resultados de la máquina que permiten la validación de la hipótesis, finalmente tenemos el capítulo V, en el se encuentran las conclusiones y recomendaciones.

Antecedentes

Desde su invención por parte de Elias Howe en el año 1846, y a raíz del desarrollo de una variedad de máquinas enfocadas en la producción de textiles, la máquina de coser se ha convertido en una herramienta básica para la fabricación de prendas de vestir a gran escala como indumentaria para trabajar, uniformes escolares, pantalones jean, entre otros.

La moda y su volatilidad en la sociedad se ha convertido en un ciclo de innovación tanto en ropa como en equipamiento, ya que los consumidores buscan cada vez más estar a la vanguardia de las nuevas tendencias. A nivel sudamericano, el tema textil es uno de los temas más controvertidos en el comercio multilateral, ya que se ha convertido en un importante medio de generación de empleo y un sector clave para la diversificación de las exportaciones. Inventada y patentada por Thomas Saint en 1790, la máquina de coser se considera el eje

original de la ropa, el mismo eje que evolucionó en costuras y puntadas según las necesidades y el diseño de la ropa. (Calderón, 2016)

La máquina automática para aplicar bolsillos con eje eléctrico, dispone de un área programable para la aplicación de bolsillos a parche en jeans, gracias a este sistema la industria textil internacional (EEUU, Francia, Italia, etc.) esta máquina puede crear plantillas de forma independiente de forma simple, que permiten realizar una producción media de 2200 bolsillos en 8 horas mediante un sistema de liberación neumática que permite maximizar la producción de jeans. (INTERNATIONAL, 2021)

América Latina, que aloja naciones productoras de textiles, crece exponencialmente ya que su demanda por los productos textiles es mayor cada día, de esta manera se da la expansión económica de este continente y por ende adquiere mayor poder al momento de adquirir nuevas tecnologías, productos. En cuestiones textiles se conoce que Perú es el principal exportador de prendas de vestir ya que cuenta con materiales de calidad, su moneda le brinda mejores prestaciones al no contar con el mismo valor que el dólar y es un mercado ampliamente impulsado en ese país. Por otro lado, Brasil tiene un gran potencial de crecimiento para las fibras artificiales y naturales, y el comercio internacional del país es favorable por pertenecer a un importante grupo económico. Colombia aspira a ser líder en la atracción de proyectos de inversión en la industria de la moda, al ser los tres países con mayor influencia en la industria textil han realizado inversiones millonarias para la automatización de sus distintas maquinarias (ojaladoras, parchadoras, bordadoras, etc.) las cuales permiten elevar su producción nacional e internacional. (González, 2021)

La fabricación textil es una actividad económica importante en Pelileo, Provincia de Tungurahua. Según el censo hecho en 2010, la población se estimó en 56.573 habitantes, el 60% de la población está dedicada a la producción de jeans. Un artesano promedio en la

"Ciudad Azul" hace alrededor de 30 piezas de ropa todos los días, debido a que la producción es artesanal y semi industrial contando con maquinaria mecánica en un 80% y maquinaria automática en un 20% por lo cual en los últimos años el mercado peruano y colombiano que cuentan con maquinaria automatizada garanticen un mejor producto a mayor o igual costo en el país generando grandes pérdidas en la industria nacional por la falta de automatización, provocando grandes caídas en la exportación de jeans y concentrándose en el mercado nacional como en Ambato, Quito, Guayaquil, Puyo, Lago Agrio, Santo Domingo de los Tsáchilas, entre otras. (ACURIO, 2017)

Desde el año 2010 hasta mediados del año 2013 se reconoció un repunte en la fabricación textil. Según la asociación de fabricantes en el barrio el Tambo, que es el lugar más conocido a nivel nacional en lo que es referente a producción de jeans, anteriormente ese mercado monetizaba cerca de 10 millones de dólares. Actualmente, la gente prefiere comprar en los países vecinos como Colombia y Perú ya que en estos mercados el valor monetario es menor comparado con la moneda nacional ecuatoriana. Además, los compradores prefieren marcas extranjeras como Lee y Levi's, lo que ha provocado la caída de la producción local, reduciendo el consumo interno de ropa hasta en un 50%. (TELÉGRAFO, 2016)

La Industria 4.0 conlleva la actualización constante en lo que respecta al almacenamiento de datos, automatización de procesos, sistemas de control nuevos y optimización de manufactura, por estas razones se debe tomar decisiones a tiempo es más si es posible se debe prever los sucesos inesperados para mejorar la rentabilidad de los procesos de manufactura. En la actualidad, es de suma importancia que las empresas recolecten los datos de su producción, fallas mecánicas y que tomen en cuenta de todas las variables que involucren el proceso de fabricación de esta manera se pueden crear gráficos de tendencias

para gestionar correctamente los procesos productivos. (AUDACES, Big Data e Industria 4.0, 2021)

Planteamiento del problema

Actualmente en el Ecuador, la industria textil dedicada a la fabricación de jeans sufre la ausencia de automatización en los procesos de producción, esto se debe en su mayor parte a los altos impuestos y costos que representa adquirir maquinaria con la tecnología 4.0, además la maquinaria mecánica actualmente utilizada para la fabricación de jeans no cuenta con un sistema de adquisición de datos que permita a los fabricantes llevar un control exhaustivo de su producción.

En el cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua el 60% de la población se dedica a la fabricación de jeans contando con un taller artesanal en la mayoría de los casos, esto genera que la producción se limite a 30 pantalones diarios por cada artesano debido a que su maquinaria mecánica requiere de una habilidad especial para ser manipuladas y generar un jean de calidad aceptable para el mercado nacional pero perjudicial para las aspiraciones de exportar este producto.

Uno de los procesos más importantes para la fabricación de jeans es la aplicación de bolsillo posterior ya que contiene diseños complejos que son visibles por el cliente al momento de su adquisición, actualmente este proceso se realiza con una máquina de coser recta la cual no garantiza una costura correctamente alineada al pliegue del bolsillo generando asimetría entre los bolsillos posteriores en la mayoría de las veces, esto disminuye la calidad del diseño de un jean.

La maquinaria actualmente utilizada por los artesanos para la fabricación de jeans no cuenta con sistemas de alarmas y paros de emergencia al detectar un fallo al momento de

fabricar un jean, al no tener sistemas de detección de corte de hilo genera que existan costuras incompletas que generalmente un artesano con el fin de enlazar la costura realiza una sobre costura para concluir el proceso generando un jean de baja calidad y a su vez genera una pérdida de tiempo al realizar la sobre costura.

La empresa CODITEX es un proveedor de ropa de trabajo para empresas relacionadas al sector petrolero, eléctrico, mecánico y empresas públicas del Ecuador que requieren jeans que cumplan con los estándares de calidad internacionales en cuanto a fabricación, las costuras deben soportar condiciones extremas como raspones, estirones y el progresivo desgaste generado por el lavado frecuente, por lo cual se requiere adquirir una máquina automática para la aplicación de bolsillos los cuales son usados por los trabajadores de las industrias para colocar herramientas y así garantizar un jean de alta calidad que cumpla normativas internacionales.

En la actualidad la industria textil del Ecuador no cuenta con maquinaria automatizada suficiente para cumplir normas internacionales, debido al excesivo costo que representa importar dicha maquinaria desde países como Japón y China, una máquina automatizada para la aplicación de bolsillos actualmente en el mercado internacional sobrepasa los 40 mil dólares siendo uno de los motivos por los cuales los artesanos no invierten en maquinaria automatizada.

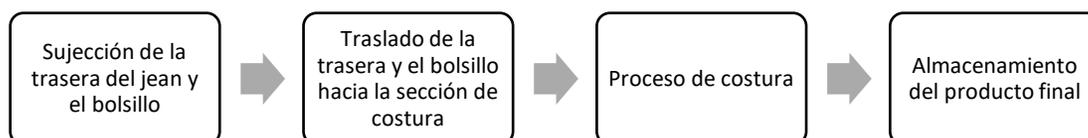
La empresa CODITEX cuenta con un taller equipado en un 90% con maquinaria mecánica y un 10% con maquinaria semi automática para los distintos procesos de fabricación de jeans limitando su producción mensual a 5000 pantalones, uno de los procesos limitantes para esta cantidad es la aplicación de bolsillos ya que un operario realiza aproximadamente puede coser 200 bolsillos en 8 horas laborables y una máquina automática puede coser hasta 2000 bolsillos en el mismo tiempo.

Descripción resumida del proyecto

El proyecto alberga el diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización. La empresa CODITEX requiere implementar una máquina automatizada para la aplicación de bolsillos la cual sea capaz de coser 600 bolsillos en 8 horas, además debe disponer de dos tipos de costura para los dos modelos de pantalones que fabrica la empresa contando con un sistema de adquisición de datos para conocer la producción diaria de los dos diseños fabricados en la empresa, la máquina contará con un espacio dentro del taller de 3 metros de largo por 2 metros de ancho y una conexión eléctrica de 110 y 220 voltios. En la figura 1, se describe el proceso general de la aplicación de bolsillos en pantalones jean.

Figura 1

Diagrama de bloques del proceso de aplicación de bolsillos



El diseño y construcción se va a dividir en 3 fases: diseño mecánico, diseño eléctrico y electrónico, la monitorización de la producción.

En el diseño mecánico se realizarán diferentes modelos del sistema en un software CAD para así elegir el modelo que se acople a las necesidades expuestas por la empresa, en este modelo se tomará en cuenta los ejes de traslación tanto para la zona de sujeción de la trasera del jean y del bolsillo que se moverá en el eje X, como para la zona de costura que utilizará el eje X y Y, finalmente se realizará la selección de materiales para la fabricación de la máquina en base a un análisis de esfuerzos a los que estará sometida la estructura.

Para el diseño electrónico se seleccionarán componentes que permitan el desplazamiento de la estructura mecánica, así como los diferentes dispositivos para censar el desplazamiento del eje y finalmente la construcción de un sistema embebido basado en un microcontrolador para el control de motores paso a paso que permitan movilizar en el eje X y sensores que permitan identificar el estado del proceso. Además, se definirán los requisitos generales para el diseño de PCB y ensamblaje de los diferentes componentes electrónicos. Por otra parte, en el diseño eléctrico se diseñará un sistema de protección eléctrica acorde a las especificaciones de la empresa.

Se empleará un sistema de adquisición de datos que será compatible con el sistema embebido basado en microcontrolador, para que las señales emitidas por los sensores puedan ser procesadas por las tarjetas adecuadas aquí se pueden emplear tarjetas de adquisición de datos (DAQ) o sistemas similares con lo cual se obtendrá una base de datos que le permitirá a la empresa conocer la cantidad de pantalones fabricados.

Finalmente, se contempla el diseño de la interfaz de usuario para el control y monitorización además que se realizarán diferentes pruebas de funcionamiento del sistema las cuales estarán basadas en la correcta transmisión de datos, HMI legible y desactivación de las señales de alarma de forma manual.

Justificación e importancia

En la última década las empresas textiles dedicadas a la fabricación de jeans han buscado fortalecer su producción anual invirtiendo en maquinaria que le permita generar jeans de alta calidad a un costo más accesible, a su vez se ha logrado reducir considerablemente los tiempos de producción con la automatización de sus empresas.

La implementación de este trabajo de titulación se justifica en que aportará en el fortalecimiento de la integración de nuevas tecnologías y herramientas que ayuden a cumplir objetivos de producción a gran escala dentro de la industria textil ecuatoriana.

La implementación de la máquina para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa CODITEX, lo cual permitirá unificar trabajos como el parchado y cerrado que generalmente se realizan en estaciones diferentes externas a la empresa.

Al ser CODITEX una empresa dedicada a la fabricación de jeans para el campo laboral industrial, la integración de la máquina para la aplicación de bolsillos a parche en jeans a su línea de producción le permite garantizar un pantalón de alta calidad con costuras estéticamente precisas que permiten cumplir normas internacionales.

Los cambios que se realizarán permitirán a la empresa CODITEX elevar su producción diaria al doble, ya que la implementación de la máquina ayuda a reducir los tiempos de producción y libera operarios para la línea de producción, lo cual contribuye un gran avance tecnológico para la industria nacional textil dedicada a la fabricación de jeans lo que fomenta adquirir productos nacionales de alta calidad.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa CODITEX del cantón Pelileo provincia de Tungurahua.

Objetivos específicos

- Recolectar información del proceso previo a la implementación del sistema automatizado.
- Diseñar el sistema mecánico para el desplazamiento de los pantalones hacia la sección de parchado.
- Realizar un análisis de esfuerzos con el fin de seleccionar un material adecuado para el sistema.
- Seleccionar e implementar sensores para el control del desplazamiento.
- Implementar un sistema de protección eléctrica para la máquina.
- Implementar el sistema dentro del proceso de producción de pantalones.
- Realizar pruebas de funcionamiento del proceso.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado mediante un cabezal de costura en eje eléctrico permitirá la disminución en el tiempo de aplicación de bolsillos a parche en jeans y la monitorización inteligente del producto final en la empresa CODITEX del cantón Pelileo provincia de Tungurahua?

Variables de investigación***Variable dependiente***

Disminución del tiempo en aplicación de bolsillos a parche en jeans, monitorización del ciclo de producción y reducción de operarios.

Variable independiente

Sistema automatizado mediante cabezal de costura en eje eléctrico.

Capítulo II

Fundamentación teórica

Industria textil 4.0

Para lograr éxito y supervivencia de las empresas es imprescindible la búsqueda de una mejora significativa en el funcionamiento de las mismas, el término Industria 4.0 tiene como enfoque la conectividad, con ella se puede conectar toda una industria, que va desde la producción hasta el sistema de ventas. La industria de maquinaria textil está tratando de alinearse para innovaciones y actualizaciones en sus procesos de fabricación, como gran parte de las empresas de fabricación textil carecen de una estructura operativa flexible y digitalizada, están desactualizadas con respecto a los cambios en el mundo, así como a las demandas de los consumidores actuales.

Máquina de coser recta industrial

La máquina de coser recta es una de las más empleadas en la fabricación textil, porque permite hacer costuras básicas en las prendas de vestir, su funcionalidad se basa en unir un hilo superior con un hilo inferior a través de la tela con una costura recta, esto sucede ya que un motor es el que proporciona el movimiento mecánico de todo el sistema que conforma la máquina de coser. Además, junto a la máquina se encuentra un cable que tiene un pedal multifuncional con el que se pueden declarar varias operaciones de la máquina de coser, tales como cortar el hilo y la puntada de reversa, además de iniciar y parar la costura. (Brother, 2023)

En la figura 2, se muestra una máquina de coser recta ampliamente usada en la fabricación textil.

Figura 2*Máquina de coser recta*

Nota. Tomado de (Orientales, 2022)

La máquina de coser debe tener una buena capacidad de respuesta, tomando en cuenta esto es diseñada para reducir la vibración, de esta manera se garantiza la fiabilidad y durabilidad. En la tabla 1, se presentan las principales características de la máquina de coser recta JUKI DDL-8100e.

Tabla 1.*Características de la máquina de coser JUKI DDL-8100e*

Característica	Valor
Lubricación	Automática
Materiales	Livianos/medianos/pesados
Velocidad de costura	5.500 ppm
Longitud de puntada	5 mm
Sistema de aguja	DBx1

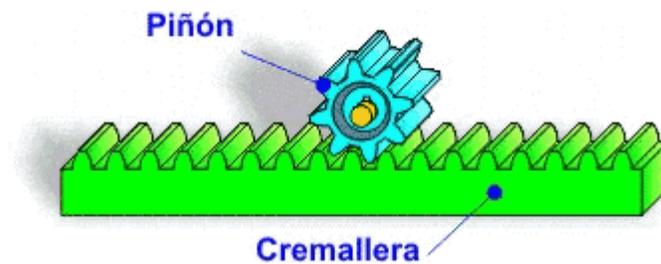
Nota. Tomado de (Orientales, 2022)

Mecanismo piñón-cremallera

Según (Cejarosu, 2020), este mecanismo convierte un movimiento giratorio en uno lineal continuo, está formado por un piñón que engrana perfectamente en una cremallera, si el piñón tiene movimiento, los dientes del piñón mueven a los dientes de la cremallera, así se provoca el desplazamiento lineal.

Figura 3

Mecanismo piñón-cremallera



Nota. Tomado de (Cejarosu, 2020)

Con cada giro del piñón se nota que la cremallera se moverá de acuerdo a los dientes que posea el piñón. Se desplazará una distancia, que vienen dada por la siguiente fórmula:

$$d = \frac{z}{n} \quad (1)$$

Donde:

z : número de dientes del piñón

n : número de dientes por centímetro de la cremallera

Correas dentadas

Según (Ikastaroak, 2023), en el cálculo de estas correas se tiene en cuenta que, debe haber un mínimo de seis dientes en contacto entre polea y correa. De manera similar a los engranes, por lo que se cumple la siguiente ecuación:

$$d_{p1} = \frac{P}{\pi} * Z_1 \quad (2)$$

Donde:

P : es el paso

Z_1 : es el número de dientes de la polea

Sistemas neumáticos

Los sistemas neumáticos se basan en el uso de un gas con la finalidad de transmitir potencia para el movimiento de un mecanismo. Por lo general, se suele usar un gas presurizado, es decir, que se mantenga a una presión constante, en este sentido se emplea aire comprimido por lo que, en este sistema se emplea un compresor de aire de manera que se reduce el volumen del mismo y se aumenta la presión. El aire presurizado se dirige a lo largo de mangueras y una válvula realiza el control del actuador. (ROYSE, 2022)

Presión neumática

Según (Vidal, 2023), la presión cumple con la ley de Boyle, quien establece que la presión es inversamente proporcional al volumen de un gas, con la condición de que su temperatura sea constante. En forma matemática, se representa con la siguiente ecuación:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 \quad (3)$$

Donde:

P_1 : Presión inicial

P_2 : Presión final

V_1 : Volumen inicial

V_2 : Volumen final

Elementos de un sistema neumático

Compresor.

Este elemento adquiere aire del medio, lo almacena y comprime dentro de un tanque llamado calderín, la potencia eléctrica que entrega se representa con la siguiente fórmula:

$$potencia = \frac{A * V * 1.732 * PF}{1000} \quad (4)$$

Donde:

A : promedio del amperaje de las fases

V : promedio del voltaje de línea a línea

PF : factor de potencia

Válvula.

Se define a las válvulas de vías como dispositivos que hacen capaz el paso, bloqueo y dirección de flujo del aire (FESTO, 2023).

Válvula 2/2 (2 vías – 2 posiciones).

Este tipo de válvulas tienen dos conexiones y dos posiciones la primera es cuando está abierta y la segunda cuando está cerrada, si se encuentra en la posición cerrada, las válvulas no dejan pasar el aire (FESTO, 2023).

Válvula 3/2 (3 vías – 2 posiciones).

Estas válvulas se utilizan para controlar cilindros de simple efecto ya que permiten activar o desactivar la señal de entrada en un sistema. Como se entiende por su nombre deducimos que tienen tres vías y cuentan con dos posiciones, además, poseen una tercera conexión mediante la cual se desfoga el aire que está en la manguera del elemento transmisor (FESTO, 2023).

Válvula 4/2 (4 vías – 2 posiciones).

Funcionan como si se tuviera dos válvulas 3/2 en una misma válvula, al realizar el funcionamiento se simula que una válvula está abierta y la otra válvula está cerrada. La válvula tiene una conexión de escape, no hay señal de superposición y vuelve a la posición normal con un resorte. Para el control de cilindros de doble efecto se deben usar este tipo de válvulas ya que tienen las características antes mencionadas (FESTO, 2023).

Válvula 5/2 (5 vías – 2 posiciones).

Este tipo de válvula es similar a la válvula 4/2, lo que la diferencia de la anterior es que en esta válvula existen dos escapes, de tal forma que se puede usar un escape para cada posición colocada, con este tipo de válvula tenemos beneficios al manejar y regular la velocidad

del flujo de aire, por lo que tiene buenas prestaciones y de igual manera sirve para ser usada en cilindros de doble efecto (FESTO, 2023).

Válvula 5/3 (5 vías – 3 posiciones).

Con estas válvulas pueden detenerse los cilindros de doble efecto dentro de los márgenes de su carrera. (FESTO, 2023)

Figura 4

Válvula neumática solenoide 5/3



Nota. La figura presenta una válvula neumática solenoide 5/3 y la simbología correspondiente a la misma. Tomado de (SEARS, 2023)

En la tabla 2, se muestran las principales características de una válvula 5/3, esta válvula se utiliza en la implementación de este proyecto ya que se va a trabajar con cilindros doble efecto para el funcionamiento del sistema neumático.

Tabla 2.*Características de la válvula neumática solenoide 4V230C-08*

Característica	Valor
Modelo	4V230C-08
Tipo	3 posiciones 5 vías
Tipo de operación	pilotado internamente
Voltaje de trabajo	DC12V
Presión de funcionamiento	0,15-0,8 MPa
Conexión del puerto	Entrada de aire = Salida de aire = PT 1/4, Escape = PT 1/8
Diámetro de entrada de aire	11,5 mm/0,45"

Nota. Tomado de (SEARS, 2023)

Actuador.

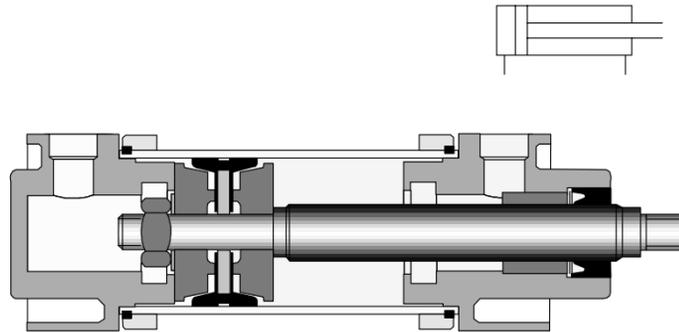
Un actuador convierte la energía en trabajo, se ordena una señal de salida y el actuador responde a la señal operando el elemento de control.

Cilindro de doble efecto.

Los cilindros de doble efecto no tienen resorte de retorno y tienen dos puertos de conexión para la entrada y salida de aire comprimido. La ventaja de estos cilindros de doble efecto es que pueden trabajar en ambos sentidos (FESTO, 2023).

Figura 5

Cilindro de doble efecto



Nota. La figura muestra la arquitectura interna de un cilindro de doble efecto y su simbología.

Tomado de (FESTO, 2023)

Fuerza de un pistón neumático.

Al utilizar un cilindro doble efecto no se debe confundir en el cálculo de las fuerzas ejercidas en el mismo ya que cuando el cilindro se mueve hacia adelante se obtendrá un valor diferente al calculado cuando el cilindro va hacia atrás, se produce este suceso porque hay una diferencia en la superficie sobre la que actúa la presión, por ello se toma en cuenta el espacio que ocupa el vástago del cilindro (FESTO, 2023).

La fuerza teórica que se ejerce sobre el pistón se muestra en la siguiente ecuación:

$$F = P \cdot S \quad (5)$$

Donde:

P: Presión en bar

S: Superficie del pistón en metros cuadrados

F: Fuerza en Newtons.

Para la sección se calculará de la siguiente forma:

- En el avance: $S = \pi \cdot R^2$
- En el retroceso: $S' = \pi \cdot (R^2 - r^2)$

Donde:

R : Radio del émbolo

r : Radio del vástago

A partir de la fórmula anterior se entiende que $S > S'$ y, por lo tanto; $F_{avance} > F_{retroceso}$.

Motores eléctricos

Son los equipos que transforman energía neumática en movimientos giratorios mecánicos que pueden ser continuos, se sabe que está conformado por las siguientes partes:

- Estator
- Rotor
- Carcasa

Para ampliar el conocimiento sobre los motores tomamos en cuenta que existe algunas clases diferentes como las mostradas a continuación.

Motores de corriente continua.

Estos motores requieren de una fuente voltaje que sea de corriente continua, se utilizan en equipos que requieren un control de alta precisión conjuntamente con drivers o controladores

que ayudan a definir el desplazamiento y la velocidad que hará el motor, esto significa que operan a velocidades ajustables.

Motores de corriente alterna.

Estos motores se emplean en todos los procesos productivos de una empresa o negocio o cualquier actividad que requiera de movimiento, además, de que la corriente alterna es la fuente de voltaje principal a nivel mundial, por lo que estos motores son los favoritos de la gran industria, en este sentido se tienen:

- Motor síncrono
- Motor de inducción

Son los elementos de trabajo más utilizados en sistemas neumáticos ya que no tienen limitación del ángulo de giro.

Motor paso a paso

Este tipo de motores es diferente a los normales ya que cuando realiza un giro completo lo divide en pasos, ya que esta formado por diferentes bobinados cuando se alimenta alguno de estos bobinados el motor gira un determinado número de grados y luego se detiene, esto conlleva a que si queremos que realice una vuelta completa debemos alimentar los bobinados varias veces o en otras palabras debemos dar varios pulsos y solo así el eje del motor dará un giro de 360 grados. Generalmente, en estos motores se tiene que una vuelta completa se divide en 200 pasos, esto significa que se hace una sola carrera del eje cada $1,8^\circ$, este valor no es establecido en todos los motores paso a paso ya que dependiendo de la arquitectura de los mismo el valor de paso puede ser diferente. (TME, 2020)

Figura 6

Motor paso a paso en tamaño NEMA



Nota. La figura muestra un motor paso a paso. Tomado de (Motoren, 2023)

Encoder

Es un dispositivo utilizado para proporcionar retroalimentación al sistema de control cuando se detecta un cambio de posición. Trabajan con el motor y determinan el movimiento de rotación relativo al eje del motor.

La integración de las unidades de motor y codificador permite convertir el movimiento mecánico en acciones digitales que pueden ser decodificadas por la electrónica de control integrada. La función principal de un motor codificador es convertir información de un formato a otro con fines de velocidad o control.

Figura 7

Motor paso a paso NEMA 24



Nota. La figura muestra un motor paso a paso con encoder NEMA 24. Tomado de (Motoren, 2023)

Controladores

En el sentido más primitivo un controlador es un componente de software que admite al sistema operativo y un dispositivo comunicarse entre sí, son equipos que le permite automatizar los procesos de producción para reducir el tiempo de finalización de tareas, evitar daños y trabajar en entornos peligrosos (Microsoft, 2023).

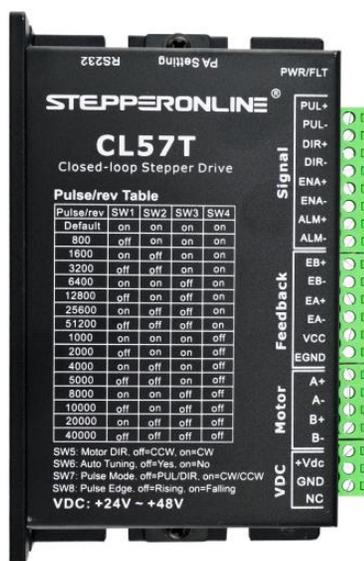
Según (ElectroIndustria, 2016), los controladores se basan en medir la variable del proceso a través de un sensor, compararla con la señal esperada y corregir la variable del proceso mediante un algoritmo de control para que la entrada del proceso se controle lo más cerca posible del valor deseado.

Driver de motor.

Un controlador de motor paso a paso es un componente electrónico que puede convertir algún tipo de señal de entrada en movimiento del motor, pero no puede generar instrucciones o control en el motor de pasos. Las señales de ingreso de control pueden venir de una tarjeta de control, un computador, un PLC, etc. (Zikodrive, 2018)

Figura 8

Driver de motor CL57T



Nota. En la figura se muestra un driver para motores NEMA 17, 23 y 24. Tomado de (Stepperonline, 2023)

PLC – Controlador Lógico Programable.

Es un equipo en el que se puede programar diferentes rutinas de funcionamiento de máquinas, tienen entradas mediante las cuales ingresa una señal que puede ser dada por un

sensor, cuando el controlador recibe esta señal la analiza y se dirige a las instrucciones escritas y toma acción con respecto a la misma, finalmente, envía señales de activación o desactivación a las salidas que posee. Las señales de los sensores pueden ser de tipo analógico o digital, dentro de la programación del controlador se pueden colocar temporizadores, contadores, bloques para resolver funciones matemáticas entre otros.

Con la implementación de un PLC se pueden automatizar múltiples procesos industriales, de manera que los procesos de producción se optimizan, los tiempos de producción se reducen y genera una mejora significativa económicamente en todo tipo de empresa ya que se puede aplicar en diferentes ambientes industriales al no estar limitado a un solo mercado laboral.

Figura 9

Controlador lógico programable XDM60T4E marca Xinje



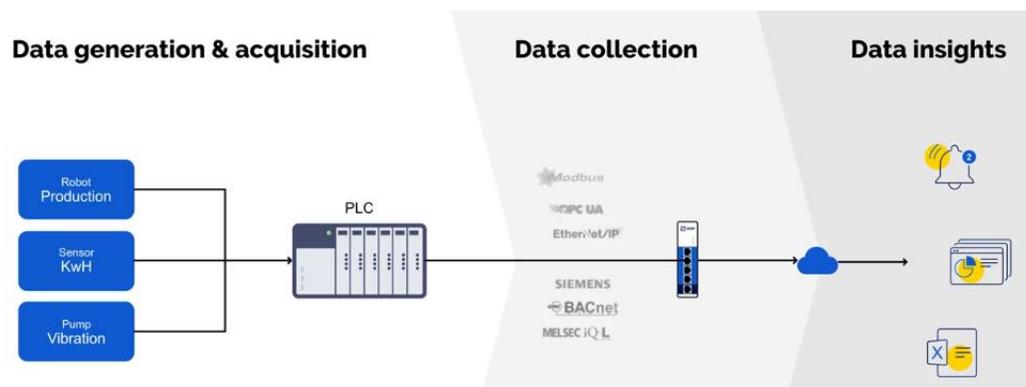
Nota. Tomado de (XINJE, 2023)

Bases de datos

El registro de datos de un PLC es el proceso de reunir datos de máquinas y dispositivos conectados que envían señales a través de los sensores para después realizar el análisis de estos datos.

Figura 10

Obtención de datos de un PLC



Nota. La figura muestra el proceso para la obtención de datos de un PLC que consta de 3 etapas, la primera es la generación y adquisición de datos, la segunda es la recolección y la última que es la interpretación de los datos. Tomado de (XINJE, 2023)

Capítulo III

Diseño, construcción e implementación

Diseño del sistema

En el presente realizamos el diseño, construcción e implementación del sistema automatizado para aplicación de bolsillos a parche en pantalones jean, como primer paso se tuvo una entrevista con el ingeniero asignado por parte de la empresa Coditex, quien fue la persona que hace la voz del cliente al mostrar las necesidades que tienen la empresa en la realización de la máquina, una vez que se obtuvieron las necesidades de la empresa se procede a asignar un especificación técnica con la voz del ingeniero, posteriormente se hace el análisis de estos requerimientos con un matriz QFD para priorizar los aspectos más importantes en el diseño de la máquina y cumplir con las expectativas y funciones procedentes de la empresa.

Casa de la calidad

Para el desarrollo del sistema automatizado de aplicación de bolsillos se emplea la matriz QFD o casa de la calidad ya que esta herramienta permite interrelacionar la voz del cliente con la voz del ingeniero para así cumplir con las expectativas que se esperan del producto final ya que simplifica el proceso de producción del producto y optimiza los recursos necesarios.

Necesidad del cliente

En este apartado se deben incluir los deseos del cliente que sean relevantes en el diseño del producto, para lo cual se realizó una entrevista con el jefe de mantenimiento de la empresa "Coditex", en la que menciono las diferentes necesidades y requerimientos para el sistema, las cuales se detallan en la Tabla 3. Adicional se aplica una puntuación de 1 al 5,

estas van relacionadas al grado de importancia de las exigencias del cliente, siendo el valor más bajo de menor importancia y el valor más alto el de mayor importancia.

Tabla 3.

Necesidades del usuario

Núm.	Necesidad	Imp.
1	Sistema de doblado en frío	5
2	Estructura resistente	5
3	Costura simétrica	4
4	Que no genere vibraciones	5
5	Diferentes tipos de costura	5
6	Interfaz de usuario intuitiva	3
7	Monitoreo de producción	4
8	Base de datos de la producción	5
9	Facilidad de operación	3
10	Fácil Mantenimiento	3
11	Bajo consumo energético	3
12	Cuidado de la calidad del producto	5
13	Correcta ubicación de elementos eléctricos y electrónicos	4

Nota. La Tabla contiene las necesidades de la empresa y el grado de importancia para ser considerado en el diseño del sistema.

Características técnicas

Se establecen las características técnicas, las cuales se definen como la interpretación de forma técnica que realiza el ingeniero a partir de la voz del usuario. En la tabla 4, se visualizan las especificaciones técnicas dadas por el ingeniero.

Tabla 4.*Características técnicas*

Núm.	Métricas
1	Sistema neumático
2	Factor de seguridad
3	Control automático del eje de costura
4	Ejes móviles
5	Programación de trayectorias de costura
6	Sistema de interfaz Hombre-Máquina
7	Tiempo de trabajo
8	Base de datos de la producción
9	Sistema de control
10	Manual de usuario
11	Activación y desactivación de motores
12	Precisión en la costura

Nota. La Tabla indica las características técnicas definidas por el ingeniero.

Desarrollo de la función de calidad o QFD

Según (Gómez , 2017), una matriz QFD implica el análisis de los aspectos más importantes en el diseño de una máquina o producto determinado, para ello se deben establecer las necesidades del cliente y luego determinar los parámetros técnicos que influirán en este diseño, así se garantiza que habrá el cumplimiento correcto de todas las funciones que debe tener la máquina. En esta matriz se preguntan las necesidades del cliente, que representa la gran pregunta: ¿Qué se necesita que haga la máquina?, luego se darán las características técnicas que será respondida con la pregunta: ¿Cómo se va a cumplir con las necesidades en

el diseño de la máquina?. De esta manera se debe identificar que necesidad versus la característica técnica tiene más valor al momento de realizar el análisis, en la Tabla 5, se observan las ponderaciones de acuerdo a la simbología y valor cuantitativo para realizar la matriz QFD.

Tabla 5.

Ponderación simbólica y cuantitativa de la matriz QFD

Relación	Simbología	Valor
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1
No aplica	-	0

Nota. La tabla indica los valores para jerarquizar la matriz QFD.

En la tabla 6, se indicará las denominaciones para la jerarquización de los diferentes aspectos de la matriz QFD.

Tabla 6.

Simbología de consideraciones en la jerarquización de la matriz QFD

Simbología	Descripción
++	Fuertemente positiva
+	Positiva
-	Negativa
--	Fuertemente Negativa

Nota. La tabla muestra la simbología para la ponderación de resultados en la matriz.

debemos darle la debida importancia a cada uno de ellos para así cumplir con las expectativas y funciones determinadas. Ahora, se presentan estos aspectos en la siguiente lista.

1. Ejes móviles
2. Programación de trayectorias de costura
3. Sistema de control
4. Control automático del eje de costura
5. Sistema neumático
6. Costo de producción
7. Factor de seguridad
8. Sistema de interfaz Hombre-Máquina
9. Base de datos de la producción
10. Tiempo de trabajo
11. Manual de usuario

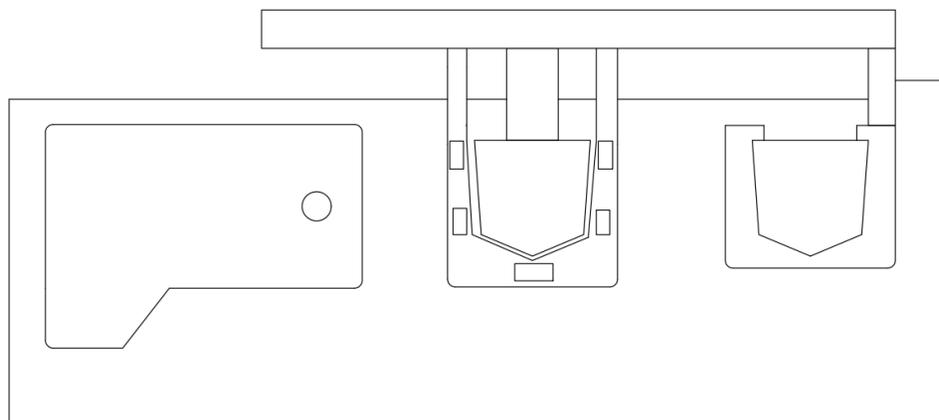
Desarrollo del concepto de la máquina

Tenemos definidas las características técnicas que debe cumplir la maquina para la aplicación de bolsillos a parche en pantalones jean, ahora procedemos a realizar tres modelos o bosquejos de la máquina, cada uno de estos bosquejos se presentan en la empresa Coditex para su aprobación o descarte, así la empresa puede tener una visión más clara de lo que se construirá y de los elementos necesarios para el funcionamiento de la máquina.

Para los diferentes bosquejos se toma en cuenta la parte mecánica, neumática y eléctrica, a partir de la máquina de coser recta se realizan los diferentes conceptos que cumplan con los requerimientos necesarios y de calidad. En la Figura 12, Figura 13 y Figura 14, se muestran los modelos de como seria la máquina en forma general antes de su construcción.

Figura 12

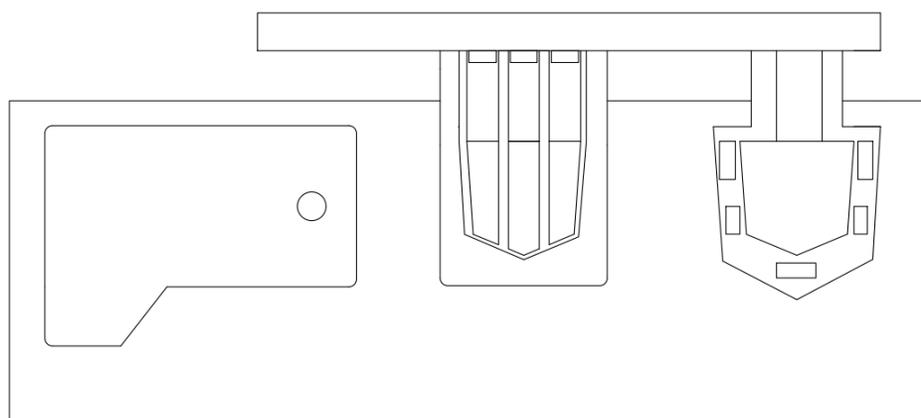
Primer bosquejo del diseño de la máquina



Nota. La figura muestra la primera propuesta en el costado izquierdo se coloca la máquina de coser, en el medio un sistema neumático para el doblado en frío y a la derecha una base para la colocación del bolsillo.

Figura 13

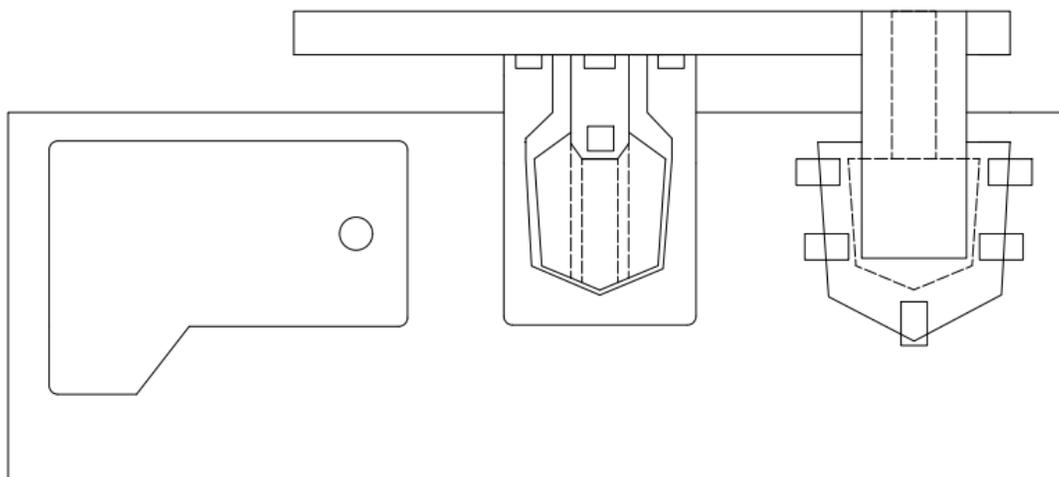
Segundo bosquejo del diseño de la máquina



Nota. La figura muestra la segunda propuesta en el costado izquierdo se coloca la máquina de coser, en el medio un sistema neumático la costura del bolsillo y a la derecha un sistema neumático para el doblado en frío.

Figura 14

Tercer bosquejo del diseño de la máquina



Nota. La figura muestra la tercera propuesta en el costado izquierdo se coloca la máquina de coser, en el medio un sistema neumático con retracción para la costura del bolsillo y a la derecha un sistema neumático para el doblado en frío en forma de torre.

Con la realización de las diferentes propuestas, es posible seleccionar una, para ello se toma en cuenta las características pedidas por la empresa. En la Tabla 7, se muestran las características usadas para la selección.

Tabla 7.

Selección de conceptos

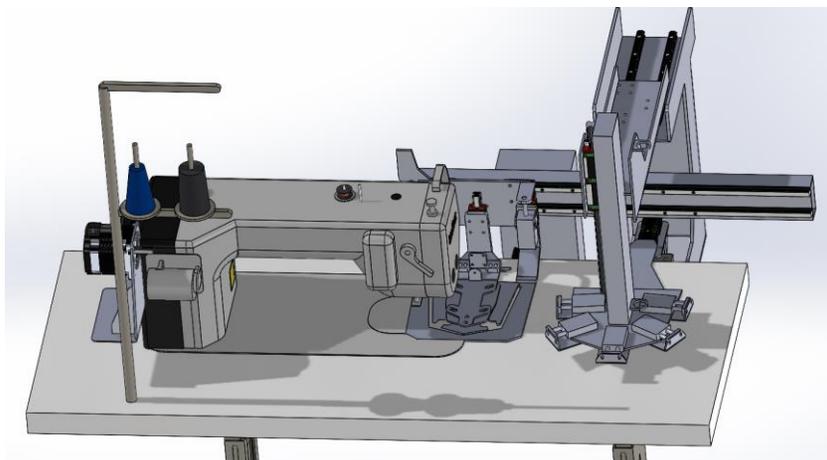
Características	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Ergonomía	+	+	+
Facilidad de uso	-	0	+
Precio	+	-	-
Mayor calidad	-	+	+
Más seguridad	0	+	0
Nivel de utilidad	-	0	+

Características	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Suma +	2	3	4
Suma -	3	1	1
Suma 0	1	2	1
Evaluación neta	-1	2	3
Posición	3	2	1

Con el análisis realizado, se resuelve continuar con el desarrollo de la tercera propuesta, se evalúa con la empresa y una vez que se ha aprobado la propuesta se realiza una prueba de concepto en el software CAD, la cual se observa en la Figura 15.

Figura 15

Diseño de la máquina

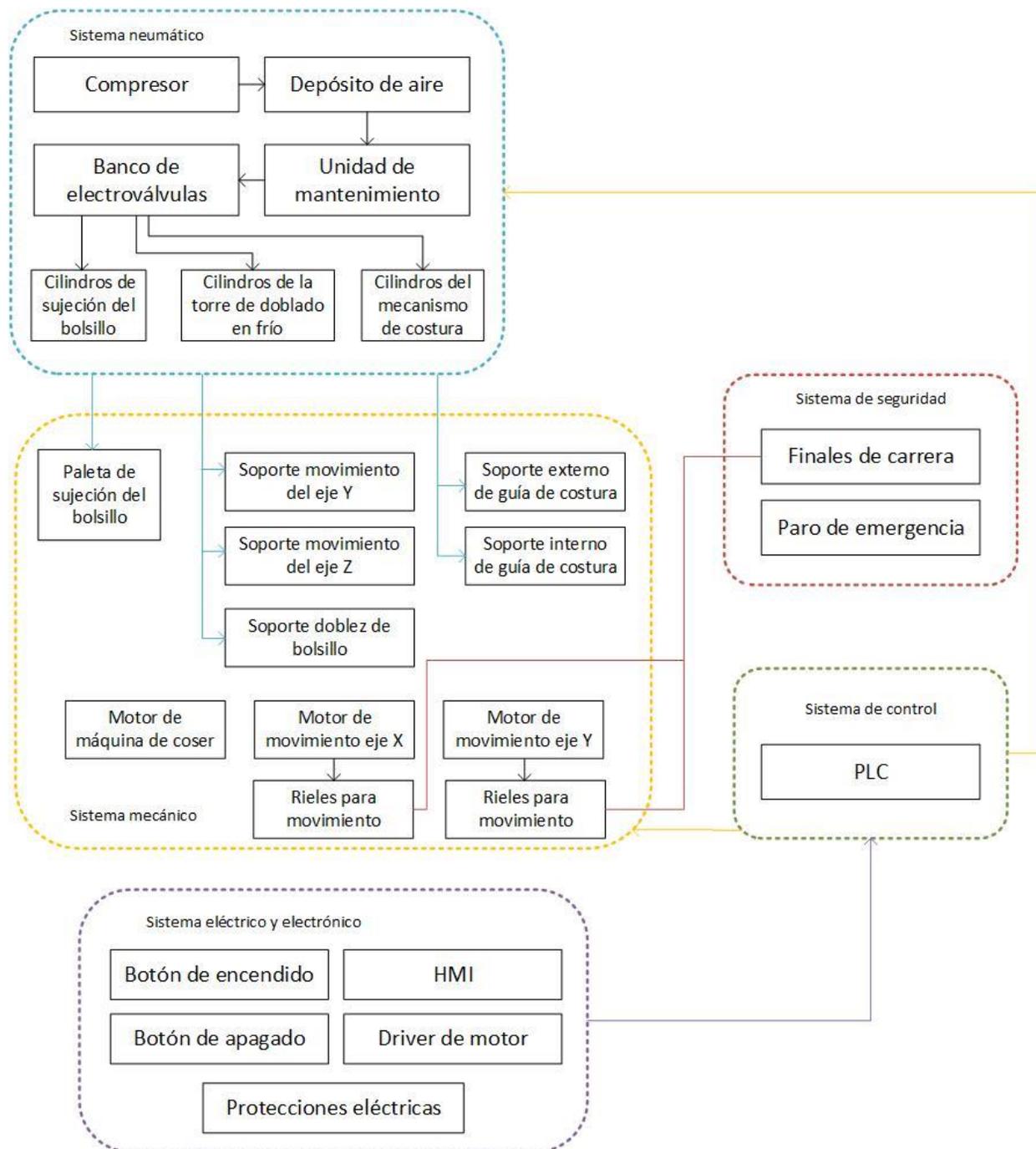


Nota. El diseño se realizó juntamente con la empresa y con mínimos ajuste con respecto al concepto original.

A partir del diseño de la máquina, es posible crear un diagrama general para el funcionamiento de la misma, tomando en cuenta los diferentes sistemas que la conforman, como mecánico, eléctrico, neumático, control y de seguridad, estos sistemas se detallan en el diagrama de bloques de la Figura 16.

Figura 16

Diagrama de bloques de la máquina



Una vez realizado el diagrama de bloques del funcionamiento general de la máquina se establece el material de construcción para la estructura de la misma, se realizan los análisis mecánicos en los puntos de esfuerzo, selección de motores adecuados para el movimiento de los ejes, selección de los componentes mecánicos y sistema de control apropiado.

Estructura del sistema

Para el diseño de la máquina se consideraron tres materiales entre los que se realizó la comparación de las propiedades mecánicas, físicas, químicas y precio para proceder a la elección adecuada.

Tabla 8.

Características de los materiales para la estructura de la máquina

Características	Aluminio 6061	Acero A36	PLA
Normas	ASTM	ASTM	ISO
Propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo a la fluencia mínimo: 241 MPa • Esfuerzo a la tensión: 145 MPa • Elongación mínima en 50 mm (2") (2"): 23% • Módulo de elasticidad 68.9 GPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa • Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa • Elongación mínima en 50 mm (2"): 23% • Módulo de elasticidad 200 GPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo a la fluencia mínimo: 45.6 MPa • Esfuerzo a la tensión: 49.5 MPa • Elongación mínima en 50 mm (2"): 23% • Módulo de elasticidad 2346.5 MPa (29000 KSI)

Características	Aluminio 6061	Acero A36	PLA
Propiedades físicas	Densidad: 2.7 g/cm ³	Densidad: 7.85 g/cm ³	Densidad: 1,24 g/cm ³ .
Propiedades químicas	0 – 0.70 % Fe	0.25 – 0.29 % C	Ácido poliláctico
	0 – 0.15 % Mn	0.60 – 1.20 % Mn	
	0.4 – 0.80 % Si	0.15 – 0.40 % Si	
	0.15 – 0.4 % Cu	0.04 % P máx	
	0.8 – 1.2 % Mg	0.05 % S máx	
	0 – 0.25 % Zn		
Maquinado	Complejo	Manejable	Manejable
Disponibilidad de mercado	Poco accesible	Accesible	Accesible
Facilidad de trabajo	8/10	10/10	10/10
Durabilidad	Alto	Alto	Bajo
Resistencia	Alto	Alto	Bajo
Precio	Plancha	Plancha	Kilo
	\$300.00	\$150.00	\$30.00

Nota. La tabla mostrada indica las principales características de los materiales propuestos para la construcción de la estructura de la máquina.

Después de conocer las características técnicas de los diferentes materiales propuestos para la construcción de la estructura de la máquina para la aplicación de bolsillos en pantalones jean, se realiza una tabla comparativa para seleccionar el material de construcción adecuado, en la tabla 9, se muestra dicha selección de materiales de acuerdo a las características técnicas antes mostradas con ello aseguraremos la resistencia de la estructura.

Tabla 9.

Selección de material para la estructura

Características	Aluminio 6061	Acero A36	PLA
Propiedades mecánicas	+	+	-
Facilidad de uso	-	+	-
Precio	0	0	+
Mayor calidad	+	-	+
Más seguridad	0	+	-
Nivel de utilidad	+	+	+
Suma +	3	4	3
Suma -	1	1	3
Suma 0	2	1	0
Evaluación neta	2	3	0
Posición	2	1	3

Nota. La tabla mostrada sirvió para determinar que el material adecuado para la construcción de la estructura de la máquina es el acero ASTM A36, ya que cuenta con una gran variedad de espesor en laminado, es accesible en el mercado, de precio accesible y de gran durabilidad y resistencia, que permitirá garantizar un producto de calidad.

Para el movimiento del eje X, así como del eje Y de la máquina, se empleará un mecanismo cremallera-piñón, que será accionado con un motor de pasos, además se prevé la utilización de rieles para el desplazamientos de los ejes, primero se realiza la selección de los rieles para ello se eligen de acuerdo a la capacidad de carga que debe soportar, en nuestro caso los patines deben soportar el peso de la pieza para la colocación del bolsillo y la pieza

para el acople del bolsillo trasero, por otro lado, en el sistema de movimiento del mecanismo para el doblar del bolsillo también se emplean rieles, por lo tanto éstas deben ser aptas para trabajos industriales, debe tener un grado de precisión en la medida de milímetros, y que sea de fácil mantenimiento. Con esas condiciones se escogen los patines HGW 15 CC, en el Anexo 1, se presenta el manual de selección de estos rieles y la nomenclatura de los mismos, a continuación, se coloca el significado de la serie de riel elegida para nuestro proyecto:

- HG: es la serie del patín, permite gran capacidad de carga y en direcciones radiales, radial inversa y lateral.
- W: con brida
- 15: es el ancho del riel en milímetros
- C: es el tipo de carga, en este caso es pesada
- C: es el tipo de montaje, en este caso es superior e inferior

Figura 17

Riel seleccionado



Nota. La figura muestra el riel seleccionado para el movimiento de ejes.

Factor de diseño

Para establecer el factor de diseño de la máquina se toma en cuenta las características del material seleccionado, el diseño de las piezas y de acuerdo a lo establecido en el libro de diseño de elementos de máquinas del autor Robert Mott, tenemos que:

Según (Mott, 2006), para el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo carga dinámica con incertidumbre en alguna combinación de carga, propiedades del material, análisis de tensión o entorno. El deseo de brindar seguridad adicional para los componentes críticos también puede justificar el uso de estos valores de 4 o superiores.

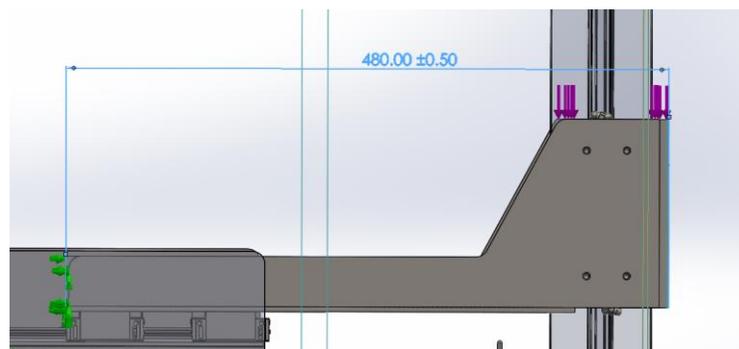
Análisis estructural

Para el análisis estructural tomamos en cuenta que para el material acero ASTM A36 necesitamos un factor de seguridad igual o mayor a 4, como se explicó en el apartado de factor de diseño, ya que su estructura estará sometida a fuerzas estáticas y dinámicas.

El punto más crucial de análisis estructural en la máquina para aplicación de bolsillos es en el eje Z, el cual se encarga de soportar la sección de doblado en frío de bolsillos que tiene un peso de 8kg.

Figura 18

Soporte de la sección de doblado en frío



Para esta sección se realiza el análisis de esfuerzos como una viga en voladizo con una longitud total de 480 mm y la carga aplicada de 141.7 N a lo largo de 90 mm.

Figura 19

Diagrama de cuerpo libre: eje en voladizo



$$w_1 = \frac{141.7N}{90mm}$$

$$w_1 = 1,57 \text{ N/mm}$$

Con el software educativo MDSolids se obtienen los valores de fuerza cortante y momento flexionante con sus respectivas gráficas.

Figura 20

Diagrama de fuerza cortante (N)

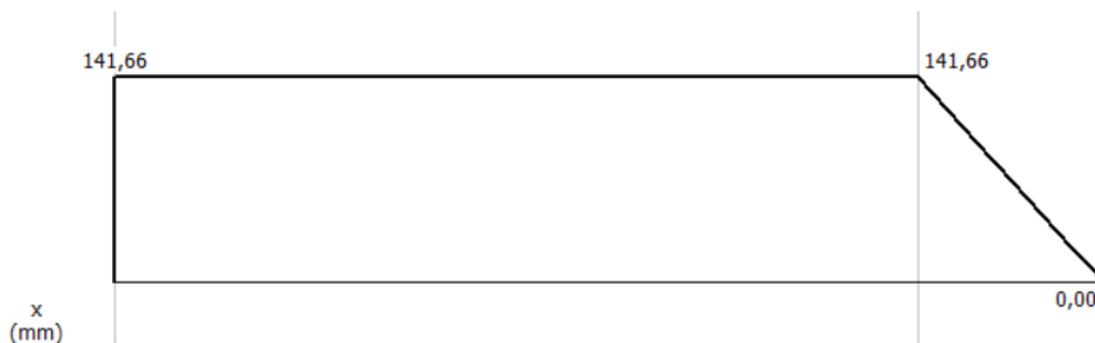
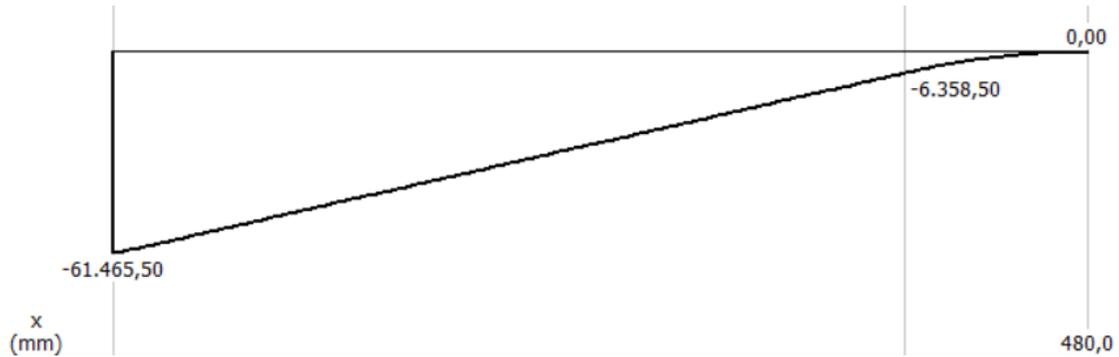


Figura 21

Diagrama de momento flexionante (N.mm)



De las gráficas obtenidas, los valores obtenidos son:

$$V = 141,7 \text{ N}$$

$$M = 61,47 \text{ N.m}$$

Para que el esfuerzo sea seguro, se analiza la viga en voladizo entonces el módulo de sección requerido es:

$$S = \frac{M}{\sigma_d} \quad (6)$$

Donde:

- $M = 141,7 \text{ N} * 480 \text{ mm} = 68016 \text{ N.mm}$
- $\sigma_d = 0,66S_y = 0,66 * 250 \text{ MPa} = 165 \text{ MPa}$

$$S = \frac{68016 \text{ N.mm}}{165 \text{ MPa}}$$

$$S = 412.218 \text{ mm}^3$$

Si se elige una viga C150x12.2 se obtiene:

$$S = 8 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2.86 * 10^5 \text{ mm}^4$$

La deflexión máxima permisibles es

$$y_{\text{máx}} = \frac{L}{360} \quad (7)$$

$$y_{\text{máx}} = \frac{480 \text{ mm}}{360}$$

$$y_{\text{máx}} = 1.33 \text{ mm}$$

Según (Mott, 2006), la fórmula de deflexión máxima es:

$$y_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{3EI} \quad (8)$$

Entonces el momento de inercia requerido es:

$$I = \frac{PL^3}{3Ey_{\text{máx}}}$$

$$I = \frac{(141.7 \text{ N}) * (480 \text{ mm})^3}{3(200000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)(1.33)}$$

$$I = 19637.7 \text{ mm}^4$$

Se determina el esfuerzo flexionante real:

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\sigma = \frac{68016 \text{ Nmm}}{8 * 10^3 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = 8.502 \text{ MPa}$$

Entonces la flexión real es:

$$y_{\text{máx}} = \frac{141.7 \text{ N} * (480 \text{ mm})^3}{3(200000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)(2.86 * 10^5 \text{ mm}^4)}$$

$$y_{\text{máx}} = 0.09 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se comparan los esfuerzos reales con los de diseño y la flexión real con la flexión de diseño y se obtiene que:

$$\sigma_{\text{real}} < \sigma_d$$

$$y_{\text{máx}_{\text{real}}} < y_{\text{máx}_d}$$

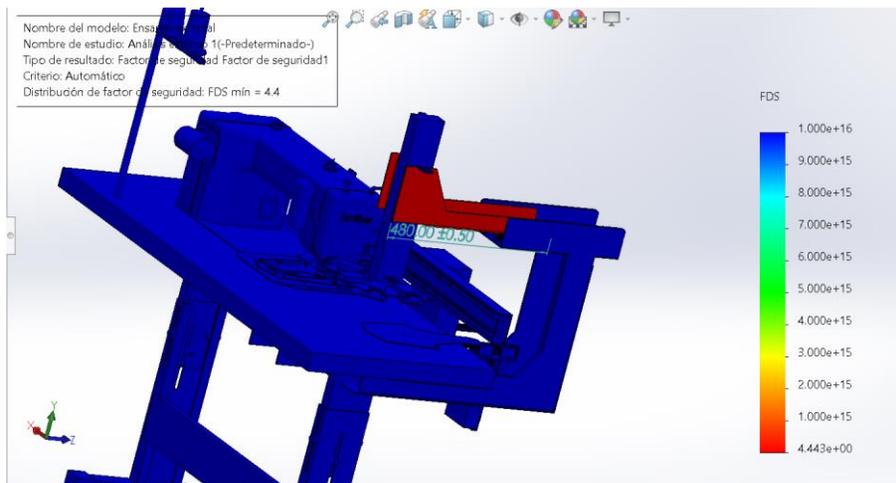
Así se concluye que no existirá falla por flexión en la estructura de sujeción de la sección de doblado en frío.

Análisis estructural en software especializado

Después de realizar los cálculos de los esfuerzos en la estructura, se realiza la simulación de los componentes además se determina el factor de seguridad mediante la simulación en el software SolidWorks.

Figura 22

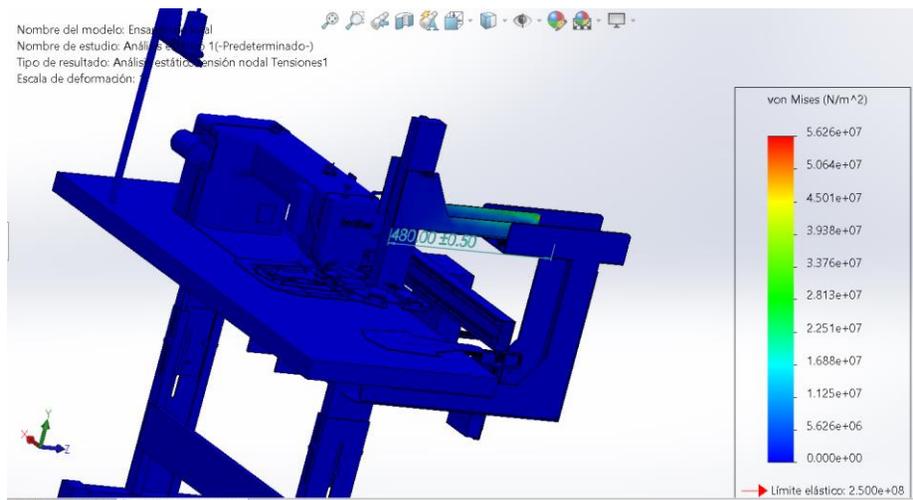
Simulación del factor de seguridad



Una vez colocado los apoyos y las fuerzas, se procede a realizar el análisis estático de la estructura que soporta la sección de doblado en frío, en la cual se obtuvo los resultados del factor de seguridad que se puede ver en la Figura 22 y el valor de esfuerzo de Von Mises que se puede ver en la Figura 23.

Figura 23

Valor máximo del esfuerzo de Von Mises



El límite elástico del Acero A36 es de 200 MPa y el valor máximo de Von Mises de la simulación es 52 MPa, por lo tanto, no supera el límite elástico del Acero A36 lo cual garantiza que no sufrirá deformación por las cargas colocadas.

Mediante la simulación en SolidWorks del componente Z, de la máquina de aplicación de bolsillos logramos comprobar, que el diseño propuesto cumple con un factor de seguridad superior a 4, el cual garantiza el correcto funcionamiento de la máquina al no comprometer fallas estructurales.

Selección de motores

Los motores deben soportar fuerzas que son ejercidas por el peso de los elementos que se deben mover tanto en el eje X como en el eje Y. Al emplear un motor paso a paso nos fijamos en el torque requerido para que cumpla la función de movimiento de los componentes, además, se toma en cuenta el sistema de transmisión que es piñón-cremallera.

$$T_{req} = F * d \quad (9)$$

$$T_{req} = (W + F_r) * d$$

Sabiendo que:

$$W = 4.13 \text{ N}$$

$$F_r = 0.15 * 4.13 = 0.6195 \text{ N}$$

$$d = 800 \text{ mm}$$

$$T_{req} = (4.13 + 0.6195) * 800$$

$$T_{req} = 3799.6 \text{ Nmm}$$

$$T_{req} = 3.79 \text{ Nm}$$

En este caso el motor que cumple con el torque requerido es un Nema 24 para el movimiento de los ejes, en la Figura 24 se muestra el motor.

Figura 24

Motor paso a paso NEMA 24 con encoder



Nota. La figura muestra un motor paso a paso con encoder. Tomado de (Motoren, 2023)

En la tabla 10, se muestran las principales características de un motor NEMA 24 con encoder.

Tabla 10.

Características de un motor paso a paso con encoder nema 24

Característica	Valor
Modelo	24HE40-5004D-E1000
No. Fase	2
Corriente nominal/Fase	5 A
Par de retención	4,0 Nm
Resistencia de fase	0,6 ohmios \pm 10%
Ángulo de paso	1.8
Diámetro del eje	10 mm
Tipo de circuito de salida	Tipo diferencial
Tipo de codificador	Óptico incremental

Encoder	
Voltaje de conducción	5 V
Corriente de salida	55 mA
Resolución	1000ppr
Señal de salida	2 canales
Frecuencia de salida	≤1MHz
Velocidad de funcionamiento	≤5000 rpm
Protección IP	IP20

Nota. Tomado de (Stepperonline, 2023)

Para la selección del motor de la máquina de coser se verifican las características del motor de fábrica y se reemplaza por un motor a pasos que posea características similares para así controlar el funcionamiento de la máquina de coser, en este sentido se elige un motor Nema 34 con encoder que se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Motor paso a paso NEMA 34 con encoder



Nota. La figura muestra un motor paso a paso con encoder NEMA 34. Tomado de (RTELLIGENT, 2023)

En la tabla 11, se muestran las principales características de un motor con encoder.

Tabla 11.

Características de un motor paso a paso con encoder nema 34

Característica	Valor
Modelo	86A4ED
No. Fase	2
Corriente nominal/Fase	5 A
Par de retención	4,0 Nm
Resistencia de fase	0,8 ohmios \pm 10%
Ángulo de paso	1.8
Diámetro del eje	14 mm

Nota. Tomado de (RTELLIGENT, 2023).

Selección de drivers para los motores.

De acuerdo a los motores seleccionados, se eligen los drivers correspondientes, sabiendo que se requiere de precisión en los movimientos de los motores y acorde a las recomendaciones del fabricante. Se selecciona el driver CL57T para los motores del movimiento de los ejes de la máquina que se ven en la Figura 26 y cuyas características están en el Anexo 2.

Figura 26

Driver de motor CL57T



Nota. En la figura se muestra un driver para motores NEMA 24. Tomado de (Stepperonline, 2023)

En la tabla 12, se presentan las características de un driver para motor paso a paso que ayudaran a configurar de manera adecuada la programación.

Tabla 12.

Características de un driver de motor paso a paso nema 24 con encoder

Características	Min.	Típico	Máx.
Corriente de salida (A)	0	-	8
Tensión de alimentación (VDC)	24	36	48
Corriente de señal lógica (mA)	7	10	16
Frecuencia de entrada de pulso (KHz)	0	-	200
Ancho de pulso mínimo (μS)	2.5	-	-
Configuración de dirección mínima (μS)	5	-	-
Resistencia de aislamiento (M Ω)	500		

Nota. Tomado de (Stepperonline, 2023)

Se selecciona el driver para el motor de la máquina de coser de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del fabricante del motor nema 34, se elige el driver T86 que se ven en la Figura 27 y cuyas características están en el Anexo 3.

Figura 27

Driver de motor T86



Nota. En la figura se muestra un driver para motores NEMA 34. Tomado de (RTELLIGENT, 2023)

En la tabla 13, se presentan las características de combinados con un codificador interno que se utiliza para cerrar los bucles de posición, velocidad y corriente en tiempo real.

Tabla 13.

Características del driver de motor T86

Características	Min.
Fuente de alimentación	24 – 100 V CC
Precisión de control	4000 pulso/r
Modo de pulso	Dirección y pulso, CW/CCW doble pulso
Rango de velocidad	Convencional 1200 ~ 1500 rpm, hasta 4000 rpm
Filtrado de pulsos	Filtro de señal digital de 2 MHz

Nota. Tomado de (Stepperonline, 2023)

Selección de sistema de control

Una vez que se han elegido los motores y drivers de los mismos se puede elegir un sistema de control adecuado para los mismo en este sentido se toma en cuenta que para el control de los motores paso a paso se requiere de salidas a transistor para controlarlos, además se requiere entradas y salidas de acuerdo a los componentes especificados en el diagrama de bloques de funcionamiento general de la máquina en este sentido se realiza la selección de un controlador lógico programable PLC.

Se realiza una comparación de los controladores disponibles en el mercado para estas aplicaciones industriales y se elige el adecuado.

En primera instancia se analizan las características de un PLC de la marca Xinje este se muestra en la Figura 28, además de las características a mayor detalle se presentan en el Anexo 4.

Figura 28

Controlador lógico programable XDM60T4E marca Xinje



Nota. Tomado de (XINJE, 2023)

En la tabla 14, se muestra las principales características del controlador lógico programable de la marca Xinje.

Tabla 14.

Características del controlador lógico programable XDM60T4E marca Xinje

Características	Valor
Serie	XDM
Puntos de entrada/salida	36 entradas/24 salidas
Tipo de salida	Salida de transistor
Número de pulsos	4 salidas de pulso
Fuente de alimentación	120 V

Nota. Tomado de (XINJE, 2023)

Para la segunda opción se toma en cuenta al controlador de la marca Siemens, todas las características a detalle del mismo se muestran en el Anexo 5.

Figura 29

Controlador lógico programable S7-1200 marca Siemens



Nota. Tomado de (Siemens, 2023)

En la tabla 15, se muestra las principales características del controlador lógico programable de la marca Siemens.

Tabla 15.

Características del controlador lógico programable S7-1200 marca Siemens

Características	Valor
CPU	1214C
Puntos de entrada/salida	6 entradas/10 salidas
Tipo de salida	Salida de relé
Módulos de expansión	Admite
Fuente de alimentación	120 V

Nota. Tomado de (Siemens, 2023)

Una vez que se conocen las principales características de los controladores se realiza una tabla de comparativa para la posterior selección del PLC adecuado. En la tabla 9, se realiza la selección del controlador se ha tomado en cuenta como punto fundamental el presupuesto establecido, ya que el PLC de la marca Siemens requiere de módulos de expansión lo que elevaría más los costos de manufactura comparado con el PLC de la marca Xinje que no requiere de módulos de expansión para la aplicación de control requerida.

Tabla 16.

Selección del controlador lógico programable

Características	XDM60T4E	S7-1200
Entradas/salidas	+	-
Conectividad	-	+
Precio	+	-
Mayor calidad	0	+
Más seguridad	0	0
Nivel de utilidad	+	+
Suma +	3	3

Características	XDM60T4E	S7-1200
Suma -	1	2
Suma 0	2	1
Evaluación neta	2	1
Posición	1	2

Nota. La tabla mostrada sirvió para determinar que el controlador adecuado para la aplicación es el PLC de la marca Xinje con el modelo XDM60T4E.

Diseño neumático

Al obtener la fuerza necesaria para la sección de doblado en frío, que fue de 4.75 N, se realizan los cálculos y selección de los elementos que formaran parte del sistema neumático.

Los elementos que conforman el sistema neumático se muestran en la Figura 30, de igual manera se presenta el diagrama de conexión en la Figura 31.

Figura 30

Diagrama de bloques del sistema neumático

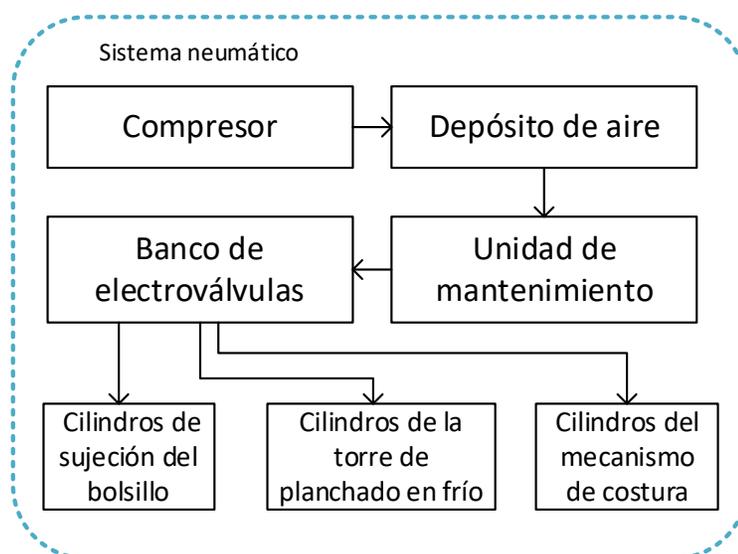
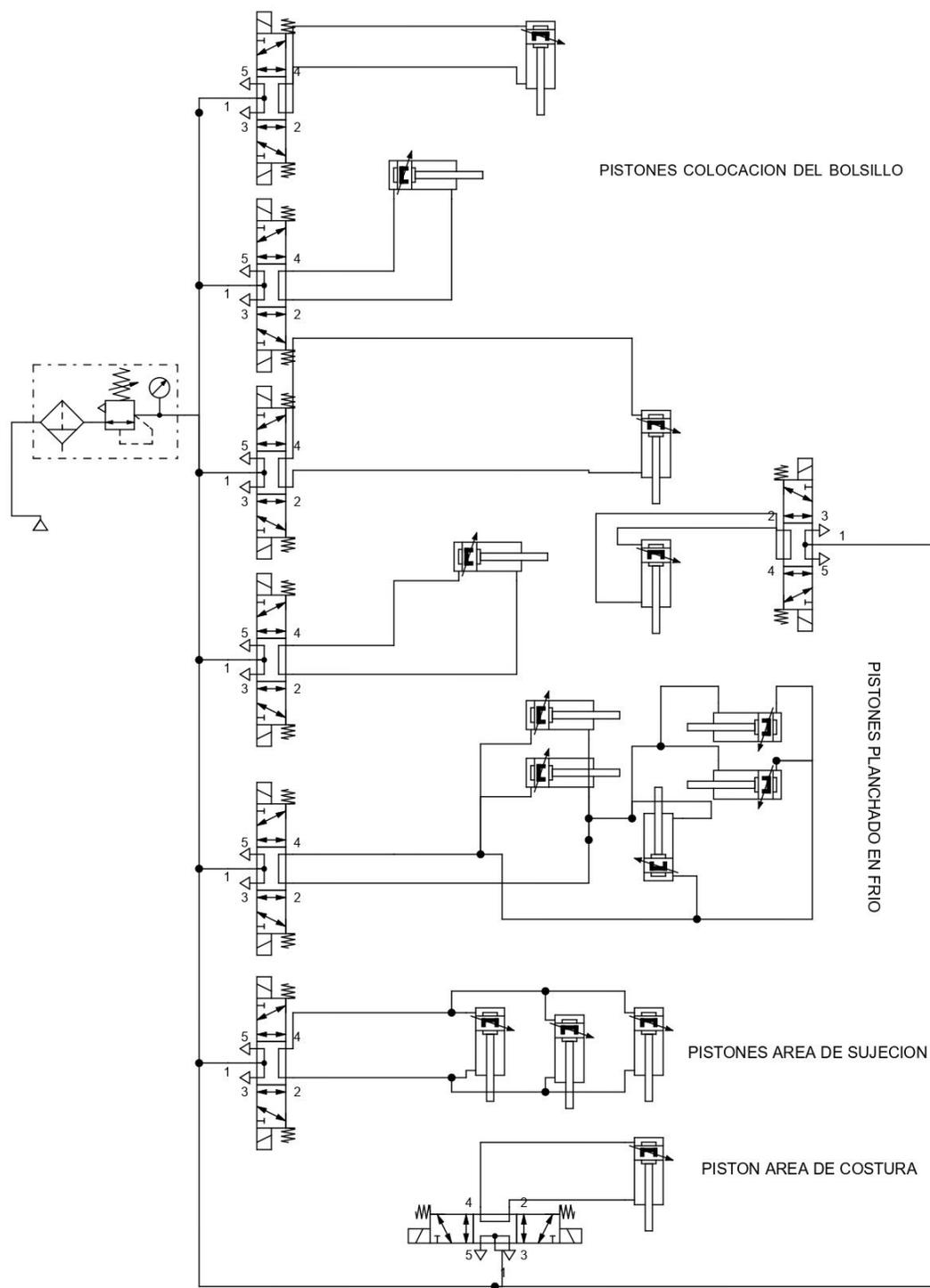


Figura 31

Diagrama de conexión neumática



Cilindro neumático para la sección de doblado

Se considera el espacio disponible acorde a la estructura para colocar el cilindro neumático, se establece que es posible usar un cilindro con diámetro de 25 mm, con diámetro del vástago de 10 mm.

Una vez establecidos estos datos, se calcula el área efectiva del cilindro con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi d_e^2}{4} \quad (10)$$

$$A = \frac{\pi(25 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A = 490.625 \text{ mm}^2$$

Ahora que se conoce la fuerza necesaria para mover la estructura, es posible obtener la presión con la fórmula a continuación:

$$F = A * p \quad (11)$$

$$p = \frac{F}{A}$$

Con:

- $A = 490.625 \text{ mm}^2$
- $F = 141.7 \text{ N}$

$$p = \frac{141.7 \text{ N}}{0.000490625 \text{ m}^2}$$

$$p = 288815.29 \text{ Pa}$$

$$p = 41.89 \text{ psi}$$

Al establecer la presión de trabajo óptima, se selecciona un cilindro que cumpla con un rango de trabajo apropiado en ese sentido se ha elegido el cilindro neumático MAL25x25, que se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Cilindro neumático MAL25x25



Nota. En la figura se muestra un cilindro doble efecto. Tomado de (Amazon, 2023)

En la tabla 17, se muestran las principales características del cilindro MAL25x25.

Tabla 17.*Características del cilindro doble MAL25x25*

Características	Valor
Carrera	25 mm
Rango de presión	0.1-1 Mpa.
Tamaño del puerto	G1/8 pulgadas
Rosca del vástago del pistón	M10x1.0.984 in

Nota. Tomado de (Amazon, 2023)

En base a la presión de trabajo calculada se eligen todos los actuadores para la máquina de aplicación de bolsillo, estos cilindros cumplen con la característica del rango de presión acorde a la función en la que se desarrollan, se estiman únicamente diferentes valores de carrera.

Selección del HMI

En la visualización de la información que se proporciona al operario de la máquina de aplicación de bolsillos, se decide colocar una pantalla de características básicas que cumpla con el propósito de funcionamiento, por ella se seleccionó un HMI de la marca Xinje TG765-MT, que se puede ver en la Figura 33.

Figura 33*Pantalla táctil TG765-MT*

Nota. Tomado de (Andes, 2023)

En la tabla 18, se detallan las principales características del HMI seleccionado:

Tabla 18.

Características de la pantalla táctil TG765-MT

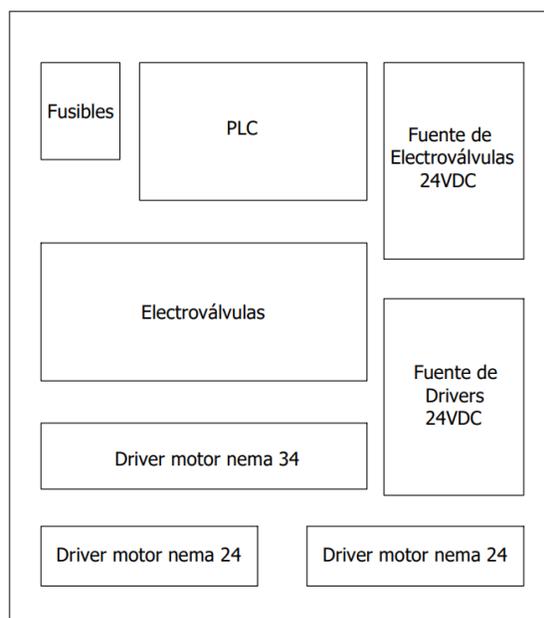
Características	Valor
Resolución	800 x 480 pixeles
Memoria	128 MB
Alimentación	24 VDC
Puerto de descarga	RS232
Puerto para PLC	RS232
Protección	IP65

Nota. Tomado de (Andes, 2023)

Finalmente, al tener todos los elementos necesarios es posible estimar un modelo aproximado del tablero eléctrico como se ve en la Figura 34, en el que se colocarán los elementos antes seleccionados.

Figura 34

Distribución del tablero eléctrico



Implementación de la máquina

En este capítulo detallaremos la implementación de los diferentes sistemas que conforman la máquina como son:

- Sistema mecánico
- Sistema neumático
- Sistema eléctrico y electrónico
- Sistema de control

Implementación del sistema mecánico

Construcción de soportes de ejes móviles

La estructura anclada a la máquina nos permite soportar tanto el eje X e Y, para empezar, se cortó la plancha metálica acorde al diseño analizado anteriormente como se puede ver en la Figura 35.

Figura 35

Corte plasma de la estructura



Una vez cortado el material procedemos a perforar agujeros que sostendrán los rieles por donde se deslizará tanto el eje X e Y, después procedemos a soldar la base para formar la estructura como se puede ver en la Figura 36 y 37.

Figura 36

Estructura del eje Y



Figura 37

Estructura del eje X



Construcción de estructura para el doblado en frío

Una vez cortada las partes de la estructura en corte plasma como se puede ver en la Figura 35. Procedemos a soldar las diferentes partes para formar una estructura fija que se anclara a la estructura original de la máquina de coser como se puede ver en la Figura 38.

Figura 38

Estructura para el doblado en frío.



A partir de esto podemos colocar las dos estructuras anteriormente fabricadas en la máquina de coser las cuales son sujetadas con pernos además procedemos a colocar los rieles y a pintar la estructura como se puede ver en la Figura 39.

Figura 39

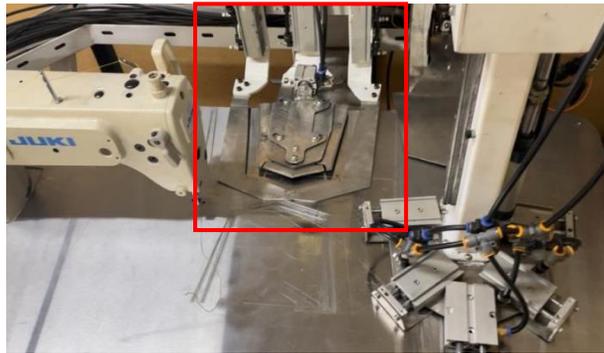
Montaje de la estructura.



A partir de aquí procedemos a fabricar el soporte del bolsillo que se ubicará en los ejes móviles X e Y, el cual permite sujetar el bolsillo para trasladar a la zona de costura y el mecanismo de doblado, éste contará con 5 pistones de doble efecto. Para esto se tomó en cuenta las especificaciones del cliente en cuanto al tamaño del bolsillo y el espesor de la tela como se ve en la Figura 40.

Figura 40

Montaje de la estructura.



Para concluir con la construcción mecánica realizamos el soporte de la pantalla HMI, soporte de motores, pistones y mangueras neumáticas como se puede ver en la figura 41.

Figura 41

Soportes de la máquina.



Implementación del sistema neumático

Colocación de válvulas y regulador de presión

En sistema neumático se instaló un regulador de presión de 120 PSI el cual entrega la presión de 60 PSI a las electroválvulas 5/3 que son colocadas en el tablero con sus respectivas mangueras neumáticas como se puede ver en la Figura 42 y 43.

Figura 42

Banco de electroválvulas 5/3.

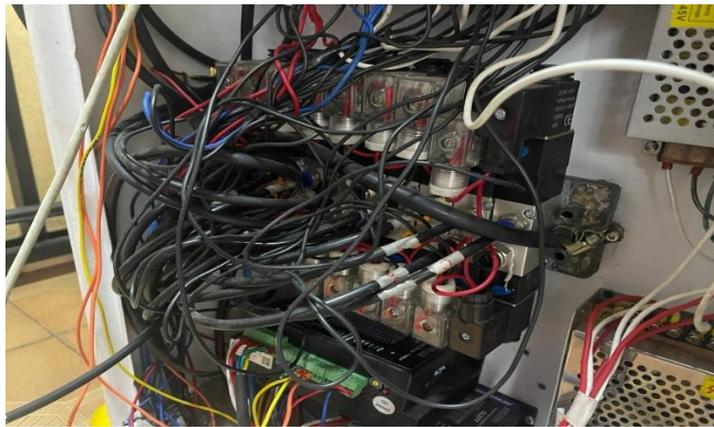


Figura 43

Regulador y mangueras neumáticas.



A continuación, procedemos a colocar los cilindros doble efecto en la estructura de planchado en frío la cual consta de 5 cilindros que realizan el doblado en frío, dos para el soporte del bolsillo y dos para presión del bolsillo con la trasera del pantalón a coser como se puede ver en la Figura 44.

Figura 44

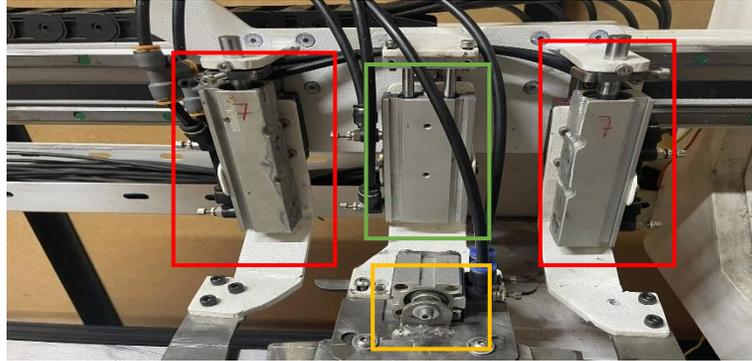
Pistones doble efecto en sistema de doblado en frío.



Finalmente se colocan los pistones de doble efecto en la zona de costura que consta de 4 pistones los cuales están distribuidos de la siguiente forma; 2 pistones para sujetar la trasera del pantalón, 1 pistón que sujeta el bolsillo y 1 pistón que permite expandir y contraer la zona de costura del bolsillo como se puede ver en la Figura 45.

Figura 45

Pistones doble efecto en sistema de costura.



Implementación del sistema eléctrico y electrónico

Para la implementación del sistema eléctrico y electrónico, partimos del diseño aproximado presentado en el capítulo de diseño, en el cual tendrá protecciones eléctricas, drivers de motores, PLC y distribución de las electroválvulas.

Partimos de un tablero eléctrico de 40 cm por 80 en el cual colocamos canaletas para la distribución de cables, rieles, bases de las electroválvulas y las fuentes de 24 voltios las cuales son ubicados de tal manera que se optimice de mejor manera los espacios del tablero eléctrico como se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Tablero eléctrico.



Finalmente colocamos los HMI y mandos de control físicos, como botones de inicio de secuencias paro de emergencia y encendido de la máquina como se ve en la Figura 47.

Figura 47

Tablero de control.



El HMI cuenta con pantallas bajo la norma ASM, la cual nos proporciona directrices para obtener un espacio de interacción eficaz y coherente de máquina-humano y aumentar al máximo el potencial humano con visualización de información exacta de la máquina, operaciones y errores producidos por la misma. La norma se encuentra en el Anexo 6.

Figura 48

Tablero de control.



Implementación del sistema de control

Para la implementación del sistema de control partimos obteniendo los datos de las trayectorias de los ejes X e Y de los dos modelos de bolsillos que producirá la máquina como se puede observar en la Figura 49.

Figura 49

Trayectoria de modelos de dos bolsillos.

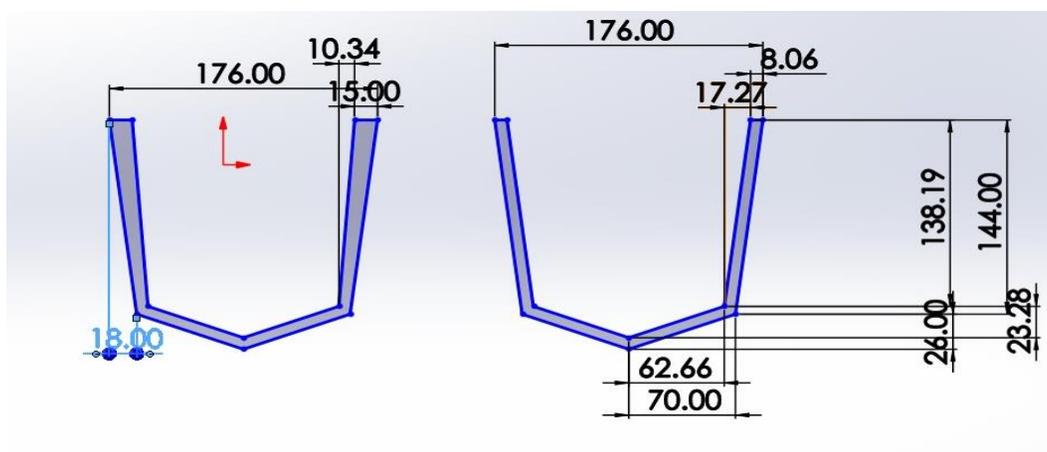


Tabla 19.

Trayectorias de bolsillos para los dos modelos.

Puntos del modelo 1		Puntos del modelo 2	
X	Y	X	Y
0	0	0	0
-18	144	18	144
-70	26	70	26
-70	-26	70	-26
-18	-144	18	-144
15	0	-8.06	0
10.34	138.19	-17.27	138.19
62.66	23.28	-62.66	23.28
62.66	-23.28	-62.66	-23.28
10.34	-138.19	-17.27	-138.19
15	0	-8.06	0

Para el cálculo de la cantidad de pulsos y la frecuencia a la cual se enviarán los pulsos a los ejes se toma en cuenta la configuración del driver, la cual cuenta de 20000 pulsos por revolución tanto para el eje Y, como para el eje X. Además, tenemos que tomar en cuenta que el avance por revolución en el eje X es de 85 mm y en el eje Y es de 48 mm.

El primer paso es calcular la cantidad de pulsos que necesitaremos para cada punto en los ejes X e Y para los dos modelos de bolsillos lo cual podemos encontrar con la siguiente ecuación:

$$\text{pulsos en } x = \frac{(\text{Distancia en } X)(\text{Pulsos por revolución})}{\text{Avance en } X} \quad (12)$$

$$\text{pulsos en } Y = \frac{(\text{Distancia en } Y)(\text{Pulsos por revolución})}{\text{Avance en } Y} \quad (13)$$

Para encontrar las frecuencias necesarias para cada eje, debemos encontrar las velocidades de cada uno de los ejes definidas por cada tramo para esto sabemos que:

$$V = \frac{d}{t} \quad (14)$$

Donde:

V : Velocidad en mm/min

d : Distancia en mm

t : Tiempo en min

Para realizar la trayectoria punto a punto los ejes deben culminar en el mismo tiempo, pero a diferentes velocidades por lo cual procedemos a encontrar el tiempo determinando una velocidad de la máquina a 1000 mm/min. Para lo cual procedemos a encontrar la distancia mediante las coordenadas X e Y.

$$d = \sqrt{\text{posicion de } X^2 + \text{posicion de } Y^2} \quad (15)$$

Remplazamos la ecuación 15, en la ecuación 14 y despejamos el tiempo.

$$t = \frac{\sqrt{(\text{Distancia en X})^2 + (\text{Distancia en Y})^2}}{V} \quad (16)$$

Una vez obtenido el tiempo procedemos a encontrar las velocidades de los ejes X e Y con la ecuación 14.

$$Vx = \frac{\text{Distancia en X}}{t} \quad (17)$$

$$Vy = \frac{\text{Distancia en Y}}{t} \quad (18)$$

Dadas las velocidades X e Y en *mm/min* procedemos a cambiar de escala a *mm/seg* y así encontramos la frecuencia en *pulsos/seg* como se muestra en la ecuación 19 y 20.

$$fx = \frac{Vx * \text{Pulsos por revolucion}}{\text{Avance por revolucion en X} * 60} \quad (19)$$

$$fy = \frac{Vy * \text{Pulsos por revolucion}}{\text{Avance por revolucion en y} * 60} \quad (20)$$

Finalmente procedemos al cálculo de todos los parámetros necesarios con las coordenadas de la tabla 19 y la velocidad de la máquina definida en 1000 mm/min para los dos modelos de bolsillos los cuales están representados en las siguientes tablas.

Tabla 20.*Datos del bolsillo 1.*

X	Y	Pulsos X	Pulsos Y	Velocidad (mm/min)	T (min)	Velocidad X (mm/min)	Velocidad Y (mm/min)	Pulsos/seg X	Pulsos/seg Y
0	0	-	-	1000					
-18	144	-4,235.29	60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	992.28	-486.41	6,890.82
-70	26	-16,470.59	10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	348.19	-3,676.18	2,417.96
-70	-26	-16,470.59	-10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	-348.19	-3,676.18	-2,417.96
-18	-144	-4,235.29	-60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	-992.28	-486.41	-6,890.82
15	0	3,529.41	-	1000	0.015	1,000.00	-	3,921.57	-
10.34	138.19	2,432.94	57,579.17	1000	0.138576303	74.62	997.21	292.61	6,925.09
62.66	23.28	14,743.53	9,700.00	1000	0.06684485	937.39	348.27	3,676.06	2,418.54
62.66	-23.28	14,743.53	-9,700.00	1000	0.06684485	937.39	-348.27	3,676.06	-2,418.54
10.34	-138.19	2,432.94	-57,579.17	1000	0.138576303	74.62	-997.21	292.61	-6,925.09
15	0	3,529.41	-	1000	0.015	1,000.00	-	3,921.57	-

Tabla 21.*Datos del bolsillo 2.*

X	Y	Pulsos X	Pulsos Y	Velocidad mm/min	T (min)	Velocidad X mm/min	Velocidad Y mm/min	Pulsos/seg X	Pulsos/seg Y
0	0	-	-	1000					
-18	144	-4,235.29	60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	992.28	-486.41	6,890.82
-70	26	-16,470.59	10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	348.19	-3,676.18	2,417.96
-70	-26	-16,470.59	-10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	-348.19	-3,676.18	-2,417.96
-18	-144	-4,235.29	-60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	-992.28	-486.41	-6,890.82
8.06	0	1,896.47	-	1000	0.00806	1,000.00	-	3,921.57	-
17.27	138.19	4,063.53	57,579.17	1000	0.13926496	124.01	992.28	486.31	6,890.84
62.66	23.28	14,743.53	9,700.00	1000	0.06684485	937.39	348.27	3,676.06	2,418.54
62.66	-23.28	14,743.53	-9,700.00	1000	0.06684485	937.39	-348.27	3,676.06	-2,418.54
17.27	-138.19	4,063.53	-57,579.17	1000	0.13926496	124.01	-992.28	486.31	-6,890.84
8.06	0	1,896.47	-	1000	0.00806	1,000.00	-	3,921.57	-

Una vez obtenido todos los datos requeridos para cada eje procedemos a la configuración de los motores tanto de los ejes X e Y, de los cuales tendrán con las configuraciones que se presentan en las tablas 22 y 23.

Tabla 22.

Características del eje X en el motor 1

Característica	Valor
Vueltas por revolución	20000
Resolución del encoder	1000ppr
Avance por pulso	0.0045mm
Frecuencia máxima de trabajo	100kHz

Tabla 23.

Características del eje Y en el motor 2

Característica	Valor
Vueltas por revolución	20000
Resolución del encoder	1000ppr
Avance por pulso	0.0024mm
Frecuencia máxima de trabajo	100kHz

Con los datos anteriores definidos procedemos a realizar la programación del PLC mediante Ladder en el software libre XDPPro de la marca Xinje, para esta programación nos basamos en el manual, el cual nos proporciona toda la información sobre el control de motores, funciones matemáticas, traslado de datos y funciones de automatización, este manual se encuentra en el Anexo 4.

Además de las trayectorias que cumplen los ejes al momento del inicio y después de aplicar el paro de emergencia los ejes proceden a buscar el cero máquina y posicionarse correctamente para realizar la trayectoria efectivamente para esto tenemos la siguiente configuración en la cual los motores realizan una trayectoria de búsqueda de los finales de carrera que indican el cero máquina como se puede observar en la Figura 50 y Figura 51.

Figura 50

Cero máquina en el eje X.

data start address:	HD0	user params address:	D100	system params:	K1	output:	Y0
mode:	relative	start execute section count:	0	Config			
Add Delete Upwards Downwards							
	frequency	pulse count	wait condition	wait register	jump register		
▶ 1	120	99999	EXT signal	X4	K0		
2	200	-773	pulse sending complete	K0	K0		
used space:							
		Read From PLC		Write To PLC		OK Cancel	

Figura 51

Cero máquina en el eje Y.

data start address:	HD29	user params address:	D103	system params:	K1	output:	Y1
mode:	relative	start execute section count:	0	Config			
Add Delete Upwards Downwards							
	frequency	pulse count	wait condition	wait register	jump register		
▶ 1	150	99999	EXT signal	X5	K0		
2	210	-820	pulse sending complete	K0	K0		
used space: HD29-HD58,D103-D106							
		Read From PLC		Write To PLC		OK Cancel	

Implementación del sistema de monitoreo inteligente

La implementación del monitoreo inteligente será capaz de informar los siguientes parámetros, los cuales fueron definidos por parte de la empresa, pensando en un análisis profundo de la producción y control de operario, además, de puntos importantes para un mantenimiento preventivo de la máquina.

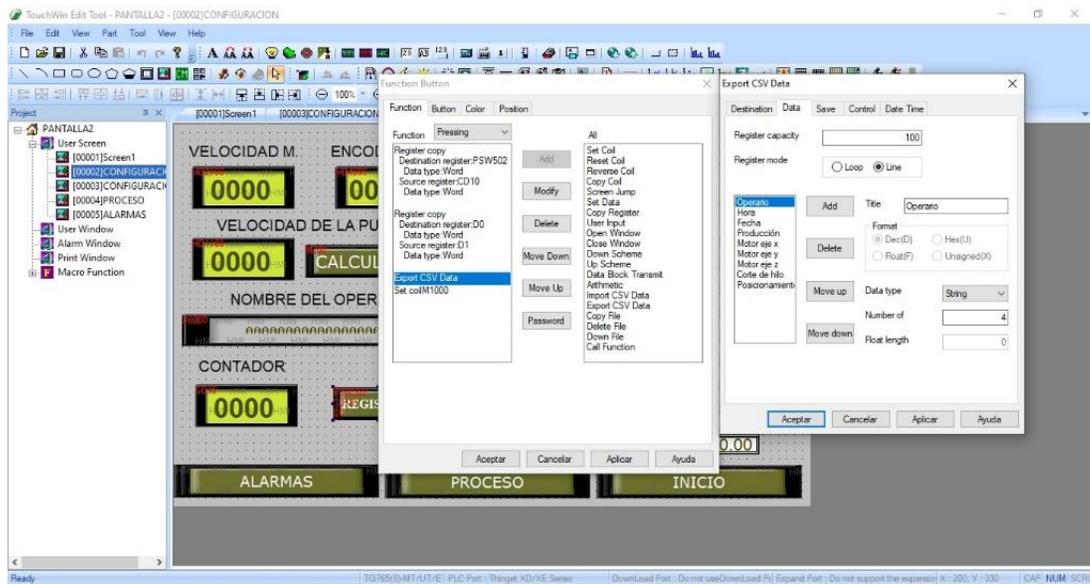
1. Hora y fecha de entrada-salida del operario
2. Producción diaria de los modelos programados
3. Fallos de motores
4. Fallo por corte de hilo
5. Fallo por mal posicionamiento de aguja

Al contar con una pantalla HMI de la marca Xinje nos permite realizar un monitoreo de la producción y de los errores que pueda tener la máquina, los cuales son definidos en una función llamada Data export, la cual permite determinar parámetros los cuales serán exportados mediante el puerto USB de la pantalla que nos entrega un archivo CSV que es compatible con Excel, como determina el fabricante en el manual que se encuentra en el Anexo 7.

En la Figura 52, se muestra el ingreso de los parámetros requeridos por la empresa, los cuales se exportan colocando una memoria USB en la pantalla HMI, la cual cuenta con un pulsador de registro, el cual debe ser accionado al final de cada jornada laboral.

Figura 52

Parámetros del monitoreo inteligente



Capítulo IV:

Pruebas y resultados

En este capítulo se realizan las pruebas de funcionamiento de la máquina para aplicación de bolsillos a parche en pantalones jean, se toman en cuenta aspectos como el tiempo de doblado y costura del bolsillo, el sistema control empleado, la seguridad de la máquina, funcionamiento del sistema neumático para el doblado en frío, funcionamiento de la máquina de coser recta al coser el bolsillo en la trasera y cumplimiento de las trayectorias de costura de acuerdo a los modelos establecidos. Estos aspectos se comparan con la aplicación manual hecha por un operario, cabe recalcar que en el caso de sistemas de seguridad no se hará dicha comparación ya que el operario no cuenta con sistemas de seguridad al realizar su jornada laboral.

Pruebas de funcionamiento

La máquina debe cumplir con objetivos fundamentales como la costura del bolsillo, el funcionamiento del sistema de seguridad, el funcionamiento del sistema de control y el tiempo que toma realizar la aplicación del bolsillo.

Pruebas de doblado del bolsillo

Se realizan diez pruebas para comprobar si el sistema neumático es capaz de realizar el doblado en frío, estos resultados se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24.*Datos de la prueba de doblez del bolsillo*

No. de prueba	¿Doble del bolsillo?
1	Si
2	Si
3	Si
4	Si
5	Si
6	Si
7	Si
8	Si
9	Si
10	Si

De acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 24, se obtiene que la máquina tiene una efectividad del 100% al realizar el doblez del bolsillo, por lo que comprobamos que los actuadores neumáticos funcionan correctamente y se realiza la activación de los mismos en el tiempo establecido en el sistema de control.

Pruebas de costura del bolsillo

Para esta clase de pruebas, se toma en cuenta únicamente la capacidad de la máquina para realizar la costura del bolsillo. Como se estableció en el capítulo de diseño de la máquina, se tienen dos modelos diferentes de bolsillos, para cada uno de estos modelos hay diferentes dimensiones por lo que se realizan las pruebas de costura para cada modelo, aquí se quiere comprobar si la máquina cumple con el deber de coser el modelo 1 y modelo 2 de cada bolsillo.

En la Tabla 25, se muestran los resultados de la prueba de costura de cada modelo se valora de acuerdo a si cumple o no cumple con la costura.

Tabla 25.

Datos de la prueba de costura del bolsillo

Prueba	Costura modelo 1	Costura modelo 2
1	Cumple	Cumple
2	Cumple	Cumple
3	Cumple	Cumple
4	Cumple	Cumple
5	Cumple	Cumple
6	Cumple	Cumple
7	Cumple	Cumple
8	Cumple	Cumple
9	Cumple	Cumple
10	Cumple	Cumple

De acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 25, se puede deducir que la máquina fue capaz de realizar la costura del bolsillo en el 100% de las pruebas realizadas, por lo que tiene la trayectoria adecuada y cumple con su función principal.

Pruebas del sistema de control

Para la realización de esta prueba, ejecutamos un análisis de trayectorias comparando las distancias requeridas por la empresa, como se muestra en la Figura 47, para cada punto de costura en el bolsillo con las distancias calculadas y entregadas por el PLC, como se muestra en la Tabla 26 y Tabla 27.

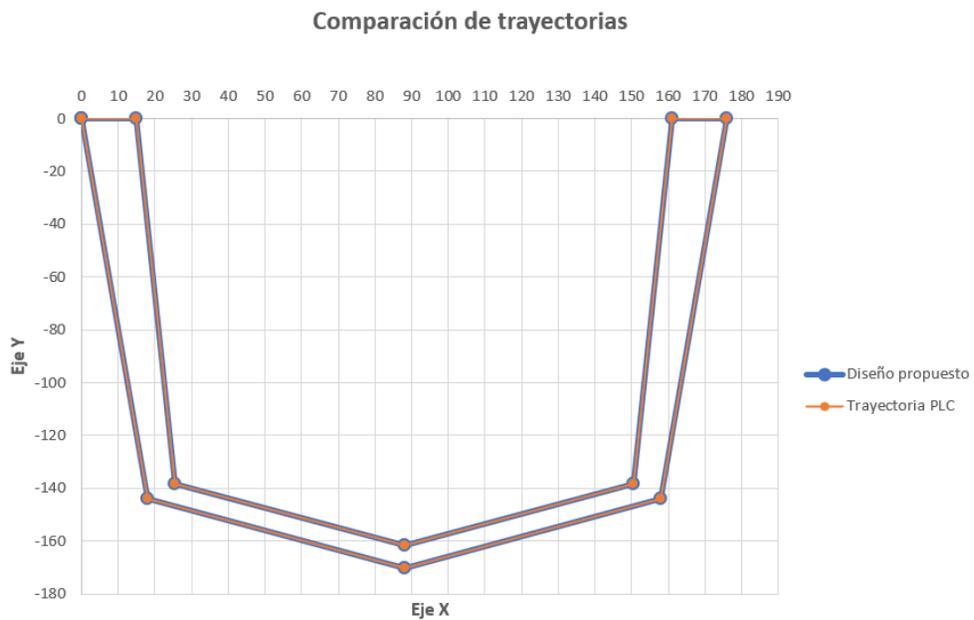
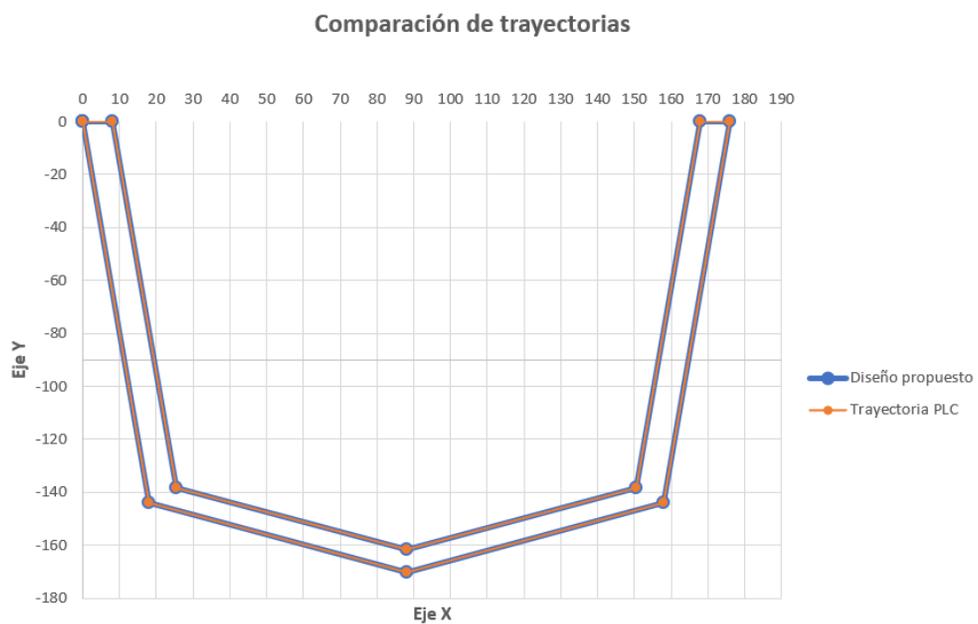
Tabla 26.*Comparativa de trayectoria del modelo 1*

Distancia X	Distancia Y	Distancia PLC X	Distancia PLC Y
0	0	0	0
18	-144	17,9988	-144,0000
88	-170	88,0005	-169,9992
158	-144	158,0023	-144,0000
176	0	176,0010	0
161	0	161,0028	0
150,66	-138,19	150,6625	-138,1896
88	-161,47	88,0005	-161,4696
25,34	-138,19	25,3385	-138,1896
15	0	14,9983	0
0	0	0	0

Tabla 27.*Comparativa de trayectoria del modelo 2*

Distancia X	Distancia Y	Distancia PLC X	Distancia PLC Y
0	0	0	0
18	-144	17,9988	-144,0000
88	-170	88,0005	-169,9992
158	-144	158,0023	-144,0000
176	0	176,0010	0
167,94	0	167,9430	0
150,67	-138,19	150,6710	-138,1896
88,01	-161,47	88,0090	-161,4696
25,35	-138,19	25,3470	-138,1896
8,08	0	8,0750	0
0,02	0	0	0

Como podemos observar no existe gran diferencia en cuanto a variación de datos óptimos y los datos calculados por el PLC, por lo tanto, no realizamos ningún cambio en cuanto a las ecuaciones de cálculo en el PLC, obteniendo una trayectoria calculada por el PLC muy semejante a la trayectoria óptima especificada por la empresa. Esto se puede observar en las Figura 53 y Figura 54.

Figura 53*Comparativa de trayectoria del modelo 1***Figura 54***Comparativa de trayectoria del modelo 2.*

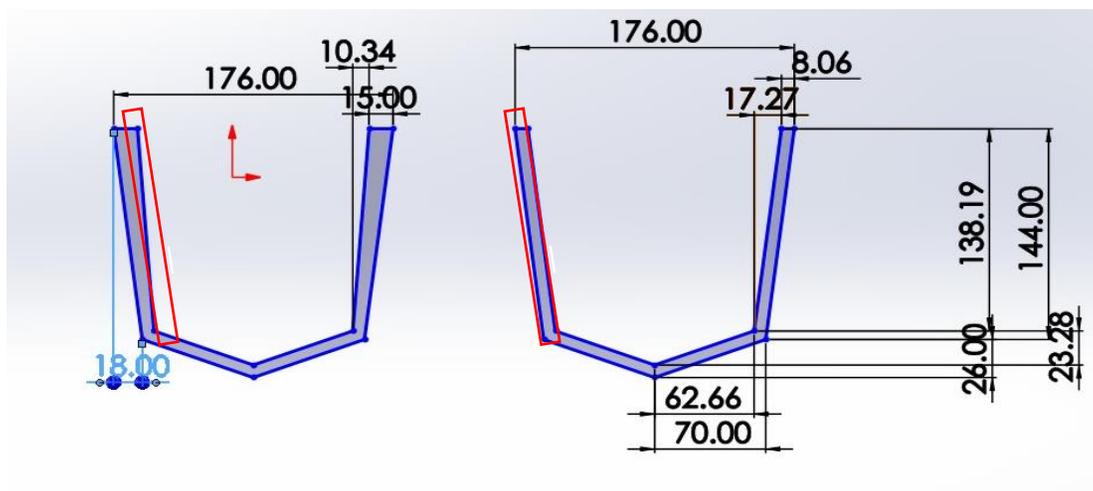
Con estos datos podemos determinar que la prueba del sistema de control para el sistema neumático cumple en un 100% su funcionalidad, la cual no generará errores en su proceso de funcionamiento durante su ciclo de trabajo.

Pruebas de medidas de bolsillos

Para esta prueba, comparamos las medidas óptimas del diseño de la trayectoria del bolsillo con las medidas de las costuras del bolsillo, para esto, escogemos la trayectoria más larga del contorno del bolsillo, que en los dos modelos son los mismos. Como se muestra la Figura 55.

Figura 55

Comparativa de trayectoria



Para comparar estas dos medidas realizamos un total de 10 pruebas las cuales, las medimos en el eje X e Y, obteniendo los datos que se muestran las Tablas 29.

Tabla 29.*Comparativa de distancias del bolsillo*

Distancia X	Distancia Y	Distancia medida X	Distancia medida Y
18	144	17,9	143,3
18	144	17,6	143,7
18	144	17,8	143,9
18	144	17,5	143,1
18	144	17,7	143,4
18	144	17,6	143,5
18	144	17,2	143,3
18	144	17,5	143,5
18	144	17,3	143,6
18	144	17,8	143,7

Una vez realizadas las 10 pruebas, se calculó el promedio en el eje X de las distancias medidas dando un valor de 17,59 mm, obteniendo una eficiencia de 97.7% y una precisión de $\pm 0,4$ mm. De igual manera se calculó el promedio en el eje Y de las distancias medidas dando un valor de 143,5 mm, obteniendo una eficiencia de 99% y una precisión de $\pm 0,5$ mm, los cuales son aceptables para el trabajo realizado por la máquina.

Pruebas del funcionamiento del monitoreo inteligente

Para realizar la prueba del monitoreo inteligente se tomó en cuenta los parámetros establecidos por la empresa y se realizó un total de 10 pruebas en las cuales se forzaron errores en los motores, corte de hilo y posicionamiento de la aguja, los cuales nos ayudaran a verificar el correcto registro de las mismas, como se observa en la Tabla 29.

Tabla 30.

Errores forzados para el monitoreo inteligente.

No. de prueba	Error motor eje X	Error motor eje Y	Error motor eje Z	Error corte de hilo	Error posicionamiento de aguja
1	NO	NO	NO	NO	NO
2	SI	NO	NO	NO	NO
3	NO	SI	NO	NO	NO
4	NO	NO	SI	NO	NO
5	NO	NO	NO	SI	NO
6	NO	NO	NO	NO	SI
7	NO	SI	NO	NO	SI
8	NO	SI	NO	SI	NO
9	SI	NO	SI	NO	NO
10	NO	SI	SI	NO	NO

Después de realizar las 10 pruebas, procedemos a exportar en una memoria USB el archivo CSV, el cual fue abierto en Excel, como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31.

Resultados del monitoreo inteligente.

Operario	Hora	Fecha	Producción	Motor eje X	Motor eje Y	Motor eje Z	Corte de hilo	Posicionamiento de aguja
Andrés	10:08:00	27/7/2023	1	0	0	0	0	0
Andrés	10:10:32	27/7/2023	2	1	0	0	0	0
Andrés	10:13:04	27/7/2023	3	0	1	0	0	0
Andrés	10:15:36	27/7/2023	4	0	0	1	0	0
Andrés	10:18:08	27/7/2023	5	0	0	0	1	0
Andrés	10:20:40	27/7/2023	6	0	0	0	0	1
Andrés	10:23:12	27/7/2023	7	0	1	0	0	1
Andrés	10:25:44	27/7/2023	8	0	1	0	1	0
Andrés	10:28:16	27/7/2023	9	1	0	1	0	0
Andrés	10:30:48	27/7/2023	10	0	1	1	0	0

Como se observó en la Tabla 31, logramos exportar los parámetros requeridos por la empresa, además, comprobamos el correcto funcionamiento de la detección de errores de manera automática por el monitoreo inteligente, las cuales serán interpretadas por el personal de la empresa para un control de asistencia, producción y datos para un mantenimiento preventivo.

Pruebas del funcionamiento de los sistemas de seguridad

En esta prueba se toma en cuenta que la máquina tiene finales de carrera tanto para el eje X como para el eje Y; un sensor inductivo para iniciar la secuencia una vez que la aguja se encuentre en la posición adecuada y un paro de emergencia para el accionamiento del operario de la máquina.

En la Tabla 32, se muestran las pruebas realizadas con la respectiva secuencia de funcionamiento para los casos descritos en el aparatado anterior, los cuales deben detener la máquina en caso de activación de uno de los casos propuestos.

Tabla 32.

Datos de la prueba de costura del bolsillo

No. de prueba	Descripción	Mediciones realizadas
Prueba 1	<ul style="list-style-type: none"> • Encendido de la máquina • Posicionamiento de aguja adecuado • Presionar el botón de inicio de proceso • Dejar que el proceso transcurra • Presionar el botón de paro de emergencia 	¿Se detuvo?
Prueba 2	<ul style="list-style-type: none"> • Encendido de la máquina • Posicionamiento de aguja adecuado • Presionar el botón de inicio de proceso • Dejar que el proceso transcurra • Presionar el final de carrera del eje X 	¿Se detuvo?

No. de prueba	Descripción	Mediciones realizadas
Prueba 3	<ul style="list-style-type: none"> • Encendido de la máquina • Posicionamiento de aguja adecuado • Presionar el botón de inicio de proceso • Dejar que el proceso transcurra • Presionar el final de carrera del eje Y 	¿Se detuvo?
Prueba 4	<ul style="list-style-type: none"> • Encendido de la máquina • Posicionamiento de aguja incorrecto • Presionar el botón de inicio de proceso 	¿Inicio la secuencia?

En el proceso manual el operario no cuenta con un sistema de seguridad por lo que no se puede comparar con el proceso automatizado. Se realizó un total de veinte pruebas de seguridad, éstas se hacen de manera aleatoria para simular el proceso de trabajo normal en una jornada laboral.

En la Tabla 33, se indican los resultados de la prueba del correcto funcionamiento del botón de paro de emergencia, aquí se observa un porcentaje de efectividad del 100%, por lo que, la máquina detuvo su proceso de funcionamiento en todas las veces que se accionó este botón. Con ello aseguramos que el operario y la máquina no sufrirán daños.

Tabla 33.

Resultados de la prueba del paro de emergencia

Prueba	Paro de emergencia
1	Proceso se detiene
2	Proceso se detiene
3	Proceso se detiene
4	Proceso se detiene
5	Proceso se detiene
6	Proceso se detiene
7	Proceso se detiene
8	Proceso se detiene
9	Proceso se detiene

Prueba	Paro de emergencia
10	Proceso se detiene
11	Proceso se detiene
12	Proceso se detiene
13	Proceso se detiene
14	Proceso se detiene
15	Proceso se detiene
16	Proceso se detiene
17	Proceso se detiene
18	Proceso se detiene
19	Proceso se detiene
20	Proceso se detiene

De la prueba de los finales de carrera de los ejes móviles tanto eje X como en el eje Y, se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 34 y Tabla 35. Aquí se obtuvo una efectividad del 100%, ya que cuando se acciono el final de carrera de cada eje ya no hubo movimiento de la máquina a lo largo de estos ejes así aseguramos que la máquina no chocará ni se saldrá de los límites de posicionamiento establecidos.

Tabla 34.

Prueba de finales de carrera del eje X

Prueba	Movimiento eje X
1	Sin movimiento
2	Sin movimiento
3	Sin movimiento
4	Sin movimiento
5	Sin movimiento
6	Sin movimiento
7	Sin movimiento
8	Sin movimiento
9	Sin movimiento
10	Sin movimiento
11	Sin movimiento

Prueba	Movimiento eje X
12	Sin movimiento
13	Sin movimiento
14	Sin movimiento
15	Sin movimiento
16	Sin movimiento
17	Sin movimiento
18	Sin movimiento
19	Sin movimiento
20	Sin movimiento

Tabla 35.

Prueba de finales de carrera del eje Y

Prueba	Movimiento eje Y
1	Sin movimiento
2	Sin movimiento
3	Sin movimiento
4	Sin movimiento
5	Sin movimiento
6	Sin movimiento
7	Sin movimiento
8	Sin movimiento
9	Sin movimiento
10	Sin movimiento
11	Sin movimiento
12	Sin movimiento
13	Sin movimiento
14	Sin movimiento
15	Sin movimiento
16	Sin movimiento
17	Sin movimiento
18	Sin movimiento
19	Sin movimiento
20	Sin movimiento

Finalmente, se realiza la prueba de posicionamiento de la aguja, en la que mediante el sensor inductivo se verifica que la aguja se encuentra alzada, de esta manera la máquina puede iniciar con el proceso de costura evitando así la colisión de la aguja con la estructura de la misma. Los resultados de la prueba de posicionamiento de la aguja se muestran en la Tabla 36, dando como resultado un 100% de efectividad en al no iniciar la secuencia de costura.

Tabla 36.

Prueba de posicionamiento de la aguja

Prueba	Secuencia de costura
1	No realiza
2	No realiza
3	No realiza
4	No realiza
5	No realiza
6	No realiza
7	No realiza
8	No realiza
9	No realiza
10	No realiza
11	No realiza
12	No realiza
13	No realiza
14	No realiza
15	No realiza
16	No realiza
17	No realiza
18	No realiza
19	No realiza
20	No realiza

Pruebas de tiempo de doblado y costura de bolsillos

Al realizar las diferentes pruebas del sistema de seguridad de la máquina y al haber realizado la prueba de funcionamiento básico de doblado y costura del bolsillo, se pueden realizar las pruebas de tiempo de doblado y costura de los bolsillos.

Actualmente a dos personas realizan la costura de 400 bolsillos en ocho horas, esto implica que a cada operario le toma 144 segundos realizar el doblado y costura de un solo bolsillo, al haber realizado este análisis se entiende que el tiempo que la máquina emplee en realizar el doblado y costura del bolsillo tiene que ser menor. Para realizar esta prueba se toma en cuenta el tiempo que se tarda un operario en realizar el doblado y costura del bolsillo durante el transcurso de un día de trabajo y se compara con el tiempo en que la máquina realiza este mismo proceso, se tomaron varios datos sobre este tiempo así que se muestra un resumen de los datos en la Tabla 37.

Tabla 37.

Datos de la prueba de doblado y costura del bolsillo

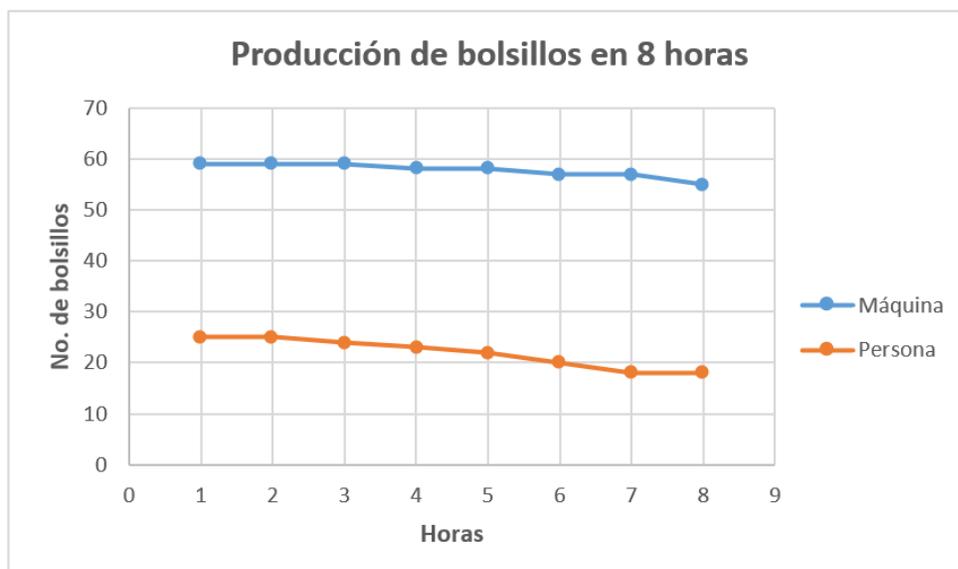
No. de prueba	Tiempo máquina (s)	Tiempo persona (s)	No. de prueba	Tiempo máquina (s)	Tiempo persona (s)
1	60	145	11	61	151
2	59	148	12	59	148
3	62	143	13	63	147
4	61	144	14	65	144
5	60	141	15	59	143
6	59	146	16	61	148
7	60	143	17	63	142
8	58	144	18	60	147
9	61	142	19	58	149
10	62	150	20	66	152

Con los datos mostrados en la Tabla 37, se puede obtener el promedio de tiempo que toma el proceso de doblado y costura de un bolsillo con la máquina, de este cálculo se obtiene el valor de 60,85 segundos por bolsillo, por otra parte, el promedio del mismo proceso hecho a mano es de 145,85 segundos, esto significa que hay un aumento de 58,28% en la velocidad de producción de un bolsillo. Al hacer una comparación con un solo operario que es capaz de hacer 200 bolsillos en una jornada laboral y la máquina que puede realizar 472 bolsillos en el mismo tiempo, se obtiene un aumento del 136% en el número de producción de bolsillos por operario.

Durante toda la jornada laboral se realiza una prueba para verificar la cantidad de bolsillos que una persona es capaz de realizar para así, comparar con la cantidad de bolsillos que realiza la máquina en el mismo tiempo, los datos de esta prueba se muestran en la Figura 56.

Figura 56

Comparación de la producción por una persona y la máquina



A partir del gráfico se puede observar que la producción de bolsillos se duplica desde la primera hora de trabajo, y conforme pasa el tiempo la máquina se mantiene constante en la producción y solo se ve reducida por el cansancio del operario de la misma pero no afecta de manera significativa al proceso.

Por otra parte, se observa una reducción significativa en la producción de los bolsillos hecha por una persona ya que el cansancio físico al estar sentado en toda la jornada laboral, además del cansancio visual afectan significativamente en la producción.

Validación de la máquina

Mediante pruebas realizadas en la máquina determinamos que tiene una eficiencia de 97.7% en el eje X y una eficiencia del 99% en el eje Y, con una precisión de la máquina de 0.5 mm, con un driver controlado a 20000 pulsos por revolución, el cual nos brinda una seguridad al cumplir la trayectoria.

Los motores paso a paso con bucle cerrado fueron utilizados como principal elemento para realizar el movimiento de los ejes X e Y, en estos se tomó en cuenta las vibraciones que se podrían generar por los acoples del motor a velocidades altas y bajas, en la cual determinamos un rango de velocidades que permiten trabajar a la máquina sin sufrir vibraciones que afecten el comportamiento de la misma, la velocidad máxima a la que trabajará la máquina es de 5000 mm por minuto y la mínima es de 1000 mm por minuto.

Ya que se seleccionó el acero ASTM A36 para la estructura se verifica que su resistencia a la tracción, elasticidad y dureza cumplen con las características necesarias para realizar el trabajo propuesto, al tener un contenido de carbono máximo de 0.29% se considera un acero suave, por lo que tiene la capacidad de remacharse, apernarse y soldarse. Además, es fabricado bajo la norma ASTM A36 por lo que se tiene la seguridad de emplear un material

de calidad y de acuerdo al análisis de esfuerzos realizados no se supera el límite de fluencia de 250 MPa, por lo que el material no puede deformarse.

Para proteger el sistema de control disponemos de un fusible RT18-32A, el cual otorgará una protección al PLC, a las fuentes de voltaje, las cuales suministran de energía a las electroválvulas, drivers y pantalla HMI, también, disponemos de las conexiones a tierra de todos los dispositivos, las cuales se conectarán a la red de la fábrica que contiene reguladores de voltaje para evitar sobretensiones en esta red.

El diseño del HMI se realizó bajo la norma ASM por lo que logramos incorporar cuatro pantallas diferentes, las cuales proporcionan una información adecuada para que el operario pueda interpretar sin dificultad, la primera pantalla nos presenta el nombre de la fábrica y en la parte inferior los modelos a trabajar, en la segunda pantalla encontramos el menú de configuración de la máquina el cual nos permite ingresar el nombre del operario, la velocidad de trabajo de la máquina y los puntos del modelo del bolsillo, además, cuenta con botones para el adelanto y retroceso de pantallas en la parte inferior, la tercera pantalla permite visualizar al operario el proceso que cumple la máquina al igual que botones para el adelanto y retroceso de pantallas en la parte inferior, la cuarta pantalla permite visualizar las diferentes alarmas generadas por la máquina, lo que permite al operario identificar de manera rápida y eficaz el error generado para su posterior solución.

Validación de hipótesis

Para determinar el nivel de confianza del sistema de costura, es necesario utilizar el método estadístico T-Student, se determinó usar este método ya que, si la máquina reduce el tiempo de producción por bolsillo, su producción aumentará. Así se toma como el parámetro principal al tiempo de fabricación de cada uno de los bolsillos.

Realizamos esta validación con el 99% de confiabilidad, a continuación, se presentan las diferentes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo con la máquina para aplicación de bolsillos en pantalón jean es menor a la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo hecho manualmente.

Hipótesis alternativa (H_1): la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo con la máquina para aplicación de bolsillos en pantalón jean es mayor a la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo hecho manualmente.

Para aplicar este método calculamos la diferencia entre las medidas de la variable, su desviación estándar y el número de pruebas (Dietrichson, 2019), matemáticamente se representa mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\widehat{X}_D}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \quad (21)$$

Donde:

\widehat{X}_D es la media de las diferencias

S_D es la desviación estándar de las diferencias

n el número de pruebas.

En la Tabla 38, se encuentran los datos de los resultados de la prueba del tiempo de la máquina.

Tabla 38.*Datos de la prueba de costura del bolsillo*

No. de prueba	Tiempo máquina (s)	Tiempo persona (s)	Diferencia
1	60	145	85
2	59	148	89
3	62	143	81
4	61	144	83
5	60	141	81
6	59	146	87
7	60	143	83
8	58	144	86
9	61	142	81
10	62	150	88
11	61	151	90
12	59	148	89
13	63	147	84
14	65	144	79
15	59	143	84
16	61	148	87
17	63	142	79
18	60	147	87
19	58	149	91
20	66	152	86

Con estos datos se determina que la media de la diferencia entre las mediciones del tiempo de máquina y tiempo de persona es de 85 segundos. Con este dato es posible obtener la

desviación estándar a partir de la siguiente ecuación:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}} \quad (22)$$

Donde:

- $|x - \mu|^2$ es la diferencia entre el valor del dato y la media del conjunto de datos
- N es el número de datos tomados
- DE es la desviación estándar

Para la desviación estándar calculamos la sumatoria de la diferencia entre el dato real y la media, obteniendo un valor de 246. Con ello se halla el valor de la desviación estándar como se muestra a continuación:

$$DE = \sqrt{\frac{246}{20}}$$

$$DE = 3,598$$

Ahora se aplica la ecuación 19, se tiene:

$$t = \frac{85}{\frac{3.598}{\sqrt{20}}}$$

$$t = 105.65$$

Ahora se calcula los grados de libertad de acuerdo a la ecuación:

$$g.l = n - 1 \quad (23)$$

Donde:

- n = número de muestras

Al haber realizado 20 pruebas y aplicando la ecuación 21 se obtiene:

$$g.l = 19$$

Como se estableció una confiabilidad de 99%, se realiza el análisis del valor t para el 0.01 de error y 19 grados de libertad, por lo tanto, el valor obtenido por tabla es de 2.539, ahora se comparan el valor de t calculado con el valor de t crítico.

$$105.65 > 2.539$$

El valor de t calculado es mayor que el valor de t crítico, por lo tanto, se ubica en la zona de rechazo de la hipótesis nula, esto quiere decir que la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo con la máquina para aplicación de bolsillos en pantalón jean es mayor a la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo hecho manualmente.

Análisis de costos

En la elaboración de este proyecto se obtuvo los componentes por importación y otros a nivel nacional, estos gastos fueron realizados en su totalidad por la empresa Coditex. En la Tabla 39, se detallan estos valores.

Tabla 39.*Costos del proyecto*

Elemento	Unidades	Precio por unidad	Costo
Máquina de coser	1	\$ 600.00	\$ 600.00
Motores	3	\$ 200.00	\$ 600.00
Electroválvulas	9	\$ 30.00	\$ 270.00
Actuadores neumáticos	14	\$ 40.00	\$ 560.00
Driver de motores	3	\$ 60.00	\$ 180.00
PLC	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Pantalla HMI	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Estructura	1	\$ 1500.00	\$1500.00
Mano de Obra	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Logística	1	\$ 300.00	\$ 300.00
Componentes neumáticos	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Componentes eléctricos	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Total			\$5410.00

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Al concluir con el proyecto de investigación para la empresa Coditex, procedemos a realizar las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

- Se diseñó, construyó e implementó un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex, con un aumento de la producción diaria en la costura de bolsillos en pantalones del 136%, con esto se tiene que el tiempo de producción por cada bolsillo se redujo, el promedio de tiempo de aplicación por cada bolsillo es de 60.85 segundos, por lo que es un resultado favorecedor para la producción de cada lote.
- Las pruebas del sistema neumático aplicado en la máquina nos arrojaron un 100% de efectividad al trabajar a una presión de 60 psi, esta presión es mayor a la calculada para poder garantizar el funcionamiento adecuado de los cilindros de doble efecto.
- Se seleccionó el acero ASTM A36 para la estructura se verifica que su resistencia a la tracción, elasticidad y dureza cumplen con las características necesarias para realizar el trabajo propuesto, con un contenido de carbono máximo de 0.29% se considera un acero suave, de acuerdo al análisis de esfuerzos realizados para este material el esfuerzo máximo de diseño es de 165 MPa y el esfuerzo flexionante real es de 8.05 MPa, por lo que el material no puede deformarse.
- Mediante pruebas realizadas en la máquina determinamos que tiene una eficiencia de 97.7% en el eje X y una eficiencia del 99% en el eje Y, con una

precisión de la máquina de 0.5 mm, con un driver controlado a 20000 pulsos por revolución, el cual nos brinda una seguridad al cumplir la trayectoria.

- Se obtuvo el promedio de tiempo que toma el proceso de doblado y costura de un bolsillo con la máquina, de este cálculo se alcanza el valor de 60,85 segundos por bolsillo, por otra parte, el promedio del mismo proceso hecho a mano es de 145,85 segundos, esto significa que hay un aumento de 58,28% en el tiempo de producción de un bolsillo, también logrando reducir el número de operarios a la mitad para el proceso de aplicación de bolsillos.
- En las pruebas de los sistemas de seguridad como el botón de paro de emergencia, finales de carrera y posicionamiento de la aguja se alcanzó una efectividad del 100%.

Recomendaciones

De igual manera se enlistan las siguientes recomendaciones:

- Para el diseño de un mecanismo automatizado que se acoplará a una máquina de coser hay que tomar en cuenta el tipo de mecanismo de costura, la velocidad de avance y la velocidad de penetración de la aguja.
- Para la implementación del sistema neumático es indispensable tomar en cuenta los cálculos de diseño y lo disponible en la fábrica donde se implementará la máquina.
- Al implementar los ejes X e Y, para el movimiento de la costura debemos tomar en cuenta las relaciones de los mecanismos implementados en cada eje para realizar una trayectoria eficiente.
- Al momento de programar los motores de los ejes debemos tomar en cuenta la configuración de los drivers de acuerdo a la precisión requerida por la empresa.

- Al ser el sistema de control un PLC debemos tomar en cuenta que la configuración de los motores viene dada por la cantidad de pulsos necesarios y la frecuencia requerida para enviar pulsos, estos datos se obtienen al programar una velocidad determinada de avance.
- El PLC al aceptar valores enteros, en configuración baja de pulsos en los drivers ocasiona una descoordinación entre los ejes, por lo cual, hay que establecer una configuración en los drivers de 20000 pulsos por revolución.
- Para el encendido de la máquina se recomienda utilizar velocidades bajas para la búsqueda de los límites de los ejes X e Y, los cuales permiten con finales de carrera posicionar a la máquina en su cero máquina.
- La implementación del HMI, debe tomar en cuenta todas las especificaciones necesarias requeridas por la empresa para poder seleccionar un modelo adecuado.
- Para la implementación del monitoreo inteligente es necesario tener una comunicación USB con el HMI, el cual proporcionara los datos necesarios para un análisis de producción requeridos por la empresa.
- Para los mecanismos de sujeción del bolsillo, en un futuro es recomendable utilizar un material que no tenga un coeficiente bajo de fricción.
- Para el dobléz en frío es recomendable realizar una secuencia, la cual permita accionar los cilindros neumáticos de tal manera que doblen siguiendo una secuencia determinada la cual permita obtener un mejor dobléz.
- Para una futura adecuación del mecanismo de costura recomendamos realizar a una máquina de brazo largo ya que permitirá tener una zona de trabajo más extensa.

Bibliografía

ACURIO, M. G. (Octubre de 2017). *CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTIL DEL JEAN EN MATERIA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL EN LA CIUDAD DE PELILEO.*

<https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2113/1/76524.pdf>

Amazon. (2023). *Sydien Cilindro neumático*. <https://www.amazon.com/Sydien-Cylinder-Connector-Pneumatic-Fitting/dp/B07JC9TV67?th=1>

Andes, I. (2023). *PANTALLA TÁCTIL TG765 MT 7"*.

<https://industrialesandes.co/pantallas-hmi/605-pantalla-tactil-tg765-mt-7.html>

AUDACES. (26 de Noviembre de 2021). *Big Data e Industria 4.0.*

<https://audaces.com/es/big-data-industria-textil-4-0/>

AUDACES. (17 de Noviembre de 2021). *Industria Textil 4.0: la revolución que toda confección de ropa necesitaba.* <https://audaces.com/es/industria-textil-4-0-la-revolucion-que-toda-confeccion-de-ropa-necesitaba/>

AUTOMATIZACION, D. (2022). *Máquina de pegar bolsillo DRP 3020 G.*

<http://www.drpautomatizacion.com.ar/site/pages/product/1>

Brother. (2023). *Brother industries.*

https://support.brother.com/g/b/faqend.aspx?c=us&lang=es&prod=hf_inovxv8500deus&faqid=faqh00100595_000

Calderón, C. (2016). *Análisis de la maquinaria industrial con sus aditamentos y su incidencia en los tiempos de producción en la confección de ropa infantil.*

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23983/1/TESIS%20Cris%20Calderon%20.pdf>

- Cejarosu. (2020). *Cremallera-piñon*.
http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinon.htm
- Dietrichson, A. (22 de junio de 2019). *Métodos Cuantitativos*.
<https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/prueba-t-para-muestras-pareadas.html>
- ElectroIndustria. (diciembre de 2016). *Controladores eficientes para la industria inteligente*.
<https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2942&ni=controladores-eficientes-para-la-industria-inteligente#:~:text=Los%20controladores%20industriales%20son%20equipos,necesidad%20de%20la%20intervenci%C3%B3n%20humana.>
- FESTO. (2023). *Neumática*. Festo Didactic.
- Gómez , A. (2017). *QFD LA CASA DE LA CALIDAD*. Retrieved 21 de Abril de 2022, from <http://asesordecalidad.blogspot.com/2017/03/qfd-la-casa-de-la-calidad-herramienta.html#.YmsStdrMJEa>
- González, V. (28 de Abri de 2021). *La Industria Textil en América Latina*.
<https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/2021/04/la-industria-textil-en-america-latina/>
- HIWIN. (2023). *Guías lineales de bolas*.
<https://rodavigo.net/catalogos/HIWIN/Gu%C3%ADa%20lineal/HIWIN%2003%20Gu%C3%ADas%20lineales%20de%20bolas.pdf>

Ikastaroak. (2023). *Correas dentadas*.
https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DPM/DPM06/es_DFM_DPM06_Contentidos/CalculoCorreasDentadas.html

INTERNATIONAL, J. (2021). *Máquina automática para la aplicación de bolsillos con cabeza de costura en eje eléctrico y unidad de doblado*.
<https://www.jaminternational.it/es/macchine/macchina-per-jeans-mod-jt862h/>

Microsoft. (07 de marzo de 2023). *¿Qué es un controlador?*
<https://learn.microsoft.com/es-es/windows-hardware/drivers/gettingstarted/what-is-a-driver->

Motoren. (25 de mayo de 2023). *Motor paso a paso con codificador + controlador*.
<https://es.developmentscout.com/industria/tecnolog%C3%ADa-de-accionamiento/MEC%C3%81NICA/11627-motor-paso-a-paso-koco-motion>

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. PEARSON.

Orientales, M. (19 de abril de 2022). *Maquinas de coser orientales*.
<http://maquinasorientales.com/2022/04/19/maquina-de-coser-recta-industrial-como-elegir-la-adecuada/>

ROYSE. (02 de septiembre de 2022). *¿Qué es un sistema neumático industrial?*
<https://rodamientos.net/elementos-de-sistemas-neumaticos-para-la-industria/#:~:text=Un%20sistema%20neum%C3%A1tico%20es%20aquel,entonces%20de%20E2%80%9C%20sistema%20hidr%C3%A1ulico%20E2%80%9D>.

RTelligent. (2023). *Motor NEMA 34*.
<http://www.rtelligent.net/upload/wenjian/motor/86A4ED%EF%BC%8886HSM78D-K1440-001%EF%BC%89.PDF>

SEARS. (2023). *Válvula De Aire De Solenoide Neumática Baomain*.
<https://www.sears.com/baomain-pneumatic-solenoid-air-valve-4v230c-08-dc/p-A092494860>

Siemens. (2023). *Hoja de datos*.
https://media.automation24.com/datasheet/es/6ES72141BG400XB0_es.pdf

Stepperonline. (2023). *Motor paso a paso de circuito cerrado Nema 24 serie E 4,0 Nm/566,45 oz.in codificador 1000PPR (4000CPR)*. <https://www.omc-stepperonline.com/it/serie-e-nema-24-closed-loop-motore-passo-passo-4-0-nm-566-56oz-in-encoder-1000ppr-4000cpr-24he40-5004d-e1000>

TELÉGRAFO. (06 de Agosto de 2016). *Los empresarios buscan mejorar la calidad de la mercadería, a fin de recuperar clientes*.
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/la-produccion-de-jeans-en-pelileo-bajo-50-por-2-factores-externos>

TME. (08 de Septiembre de 2020). *MOTOR PASO A PASO – TIPOS Y EJEMPLOS DEL USO DE MOTORES PASO A PASO*. <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/#:~:text=El%20motor%20paso%20a%20paso,eje%20cada%201%2C8%C2%B0>.

Vidal, P. (2023). *Leyes generales de los Gases*.
https://www.liceopablonerudatemuco.cl/wp-content/uploads/2020/05/QU%C3%8DMICA-8AVO-B%C3%81SICOGuia-leyes-de-Leyes_de_los_gases.pdf

XINJE. (2023). *XINJE*. <http://m.xinje.com/>

Yacuzzi, E., y Martín, F. (2019). *QFD: CONCEPTOS*. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina.

Zikodrive. (2018). *Motores de pasos*. [https://zikodrive.com/es/uFAQs/principal-diferencias-stepper-motor-driver-stepper-motor-controller/#:~:text=Un%20controlador%20de%20motor%20de%20pasos%20es%20un%20componente%20electr%C3%B3nico,control\)%20el%20motor%20de%20pasos.](https://zikodrive.com/es/uFAQs/principal-diferencias-stepper-motor-driver-stepper-motor-controller/#:~:text=Un%20controlador%20de%20motor%20de%20pasos%20es%20un%20componente%20electr%C3%B3nico,control)%20el%20motor%20de%20pasos.)

Anexos