



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN JACQUARD MECÁNICO EN UNA MÁQUINA DE
LANZADERA CON UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO EN EL PROCESO DE
TEJEDURÍA DEL TALLER ARTESANAL TEJIDOS CAYMI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: JOSUE ALEXANDER VISARREA YAMBERLA

TUTORA: LORENA ALEJANDRA FERNÁNDEZ YÁNEZ

Quito – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Josue Alexander Visarrea Yamberla con documento de identificación N° 1050459641 manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo: y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14 de agosto de 2025

Atentamente,



Josue Alexander Visarrea Yamberla

1050459641

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

Yo, Josue Alexander Visarrea Yamberla con documento de identificación N° 1050459641, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Dispositivo Tecnológico: “Implementación de un Jacquard mecánico en una máquina de lanzadera con un sistema semiautomático en el proceso de tejeduría del Taller Artesanal Tejidos Caymi”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de agosto de 2025

Atentamente,



Josue Alexander Visarrea Yamberla

1050459641

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lorena Alejandra Fernández Yánez con documento de identificación N° 1717366098, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN JACQUARD MECÁNICO EN UNA MÁQUINA DE LANZADERA CON UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO EN EL PROCESO DE TEJEDURÍA DEL TALLER ARTESANAL TEJIDOS CAYMI, realizado por Josue Alexander Visarrea Yamberla con número de identificación N° 1050459641, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requerimientos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de agosto de 2025

Atentamente,



Ing. Lorena Alejandra Fernández Yánez, MSc.

1717366098

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, primeramente, a Dios, por brindarme la confianza, valentía y fortaleza durante este trayecto académico y personal. Su guía me ha permitido alcanzar este objetivo tan importante en mi vida, y me ha bendecido con la compañía de personas de buen corazón.

Agradezco de corazón a mis profesores y tutores, quienes me han guiado con generosidad, compartiendo su tiempo, conocimiento, paciencia y dedicación. Gracias a sus enseñanzas y consejos, he podido construir los pilares que me permitieron superar los desafíos de este camino académico.

Así mismo, expreso mi profunda gratitud a mis amigos, quienes considero parte de mi familia, por todas las experiencias memorables, las travesuras, las risas, las largas jornadas de estudio, el apoyo incondicional y su paciencia. Su compañía hizo que este trayecto fuera más llevadero y lleno de aprendizajes significativos.

Mi sincero y profundo agradecimiento también a mi querida familia, por su amor, paciencia y confianza en mí. Gracias por estar presentes en cada etapa, por su comprensión en los días difíciles y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba.

Finalmente, mi eterna gratitud a mis queridas mascotas, Yoyo y Lía, quienes, con su incondicional lealtad, compañía silenciosa, mirada cariñosa y travesuras, llenaron de paz y alegría muchas de mis horas de trabajo, ayudándome a sobrellevar los momentos más complicados.

A todos ustedes: gracias por ser parte de esta breve pero hermosa etapa de mi vida. Espero poder compartir muchas más junto a ustedes.

Josue Visarrea

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que siempre me brindaron su incondicional apoyo y sobre todo mucha paciencia. Guardo sus consejos y cualidades en mi corazón que serán siempre una guía fundamental para mi vida profesional y personal.

A mis padres y hermanos por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles y por enseñarme el valor del esfuerzo y la constancia.

A mis amigos por su apoyo incondicional, risas y compañía hicieron que este proceso fuera más humano y llevadero.

A mis queridas mascotas, por estar siempre ahí, brindando calma, compañía y ternura en los momentos en los que las palabras no alcanzaban.

Finalmente, dedico este trabajo a mí mismo, como recordatorio que el esfuerzo, dedicación, confianza y la capacidad de pedir ayuda son fundamentales para enfrentar los miedos y las dudas que surgen al iniciar nuevos retos, proyectos y sueños. Para mi futuro yo, recuerda que siempre es hora de buscar lo esencial. No tengas miedo de volver a empezar de nuevo, porque sueñas el triunfo de alguien que lo merece, siendo la mejor versión de mí.

Josue Visarrea

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD 'POLITECNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXO	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del Problema	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
METODOLOGÍA	4
Fase Teórica	4
Fase de Diseño	4
Fase de Implementación.....	4
Fase de Pruebas.....	5
CAPÍTULO I.....	6

MARCO TEÓRICO	6
1.1 Proceso de bobinado.....	6
1.1.1 Canilla	6
1.2 Jacquard	7
1.2.1 Descripción de una montura Jacquard	8
1.2.2 Clasificación de las máquinas por el número de agujas	9
1.2.3 Jacquard mecánico.....	10
1.2.4 Jacquard electrónico	11
1.3 Sistemas de transmisión de potencia	12
1.3.1 Sistemas de transmisión de potencia por cadenas	13
1.3.2 Sistemas de transmisión de potencia por engranajes	15
1.3.3 Sistemas de transmisión de potencia por poleas	15
1.4 Control lógico programable	16
1.5 Normas aplicadas en la selección eléctrica.....	17
CAPÍTULO II	19
ANÁLISIS Y DISEÑO.....	19
2.1 Diagrama Causa – Efecto	20
2.2 Operacionalización de las variables	20
2.2.1 Ausencia de hilo de trama en la canilla.....	20
2.2.2 Sistema mecánico de paro automático.....	21
2.2.3 Sistema de transmisión de potencia.....	21
2.2.4 Sistema de alarmas visuales de seguridad.....	21
2.2.5 Diseño de estructura para el Jacquard.....	21
2.3 Análisis de alternativas	21
2.4 Cuadros comparativos de Selección de alternativas.....	22
2.4.1 Análisis de estrategias operativas para la implementación del sistema Jacquard en el telar de lanzadera.....	23

2.4.2	Análisis de alternativas para el diseño de estructura del Jacquard	24
2.4.3	Selección del material.....	25
2.4.4	Análisis de alternativas para el sistema de transmisión	27
2.4.5	Análisis de alternativas para el sistema mecánico de paro automático	29
2.4.6	Análisis de alternativas para el controlador lógico programable	31
2.5	Selección de componentes eléctricos	34
2.6	Cálculos y selección de elementos mecánicos y electrónicos	38
2.6.1	Cálculo de torque del motor para accionamiento del mecanismo leva seguidor ...	38
2.6.2	Cálculos y selección de elementos mecánicos	40
2.6.3	Simulación del análisis estativo para la estructura del Jacquard.....	46
2.6.4	Resultados de la simulación por esfuerzo (Von Mises)	46
2.6.5	Resultados de la simulación por desplazamiento total	47
2.6.6	Resultados de la simulación del factor de seguridad.....	47
2.6.7	Resultados de la simulación de fuerzas cortantes y momentos.....	48
2.6.8	Cálculo del diámetro primitivo.....	49
2.6.9	Cálculo de longitud de la cadena.....	50
2.6.10	Cálculo de relación de transmisión y velocidad	51
2.6.11	Cálculo de análisis modal.....	52
2.6.12	Simulación de análisis modal	53
2.7	Programación final de control.....	54
2.8	Diagrama del sistema eléctrico	55
2.8.1	Diagrama de potencia	55
2.8.2	Diagrama de control.....	56
CAPÍTULO III.....		59
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA		59
3. 1	Inspección técnica	59
3.1.1	Baja eficiencia en el tiempo de producción	59

3.1.2 Deficiencias en las condiciones de seguridad para el operario	60
3.1.3 Condición operativa de los motores sin protección	60
3.2 Implementación de la estructura para el sistema Jacquard	60
3.3 Adaptación del sistema Jacquard en el telar de lanzadera	61
3.4 Instalación del sistema eléctrico.....	64
CAPÍTULO IV	70
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS.....	70
4.1 Prueba de funcionamiento	70
4.1.2 Fallas presentadas en las pruebas de funcionamiento.....	70
4.2 Eficiencia del tiempo de cambio de diseño en tejidos geométricos	71
4.3 Cantidad de diseños geométricos elaborados para el tejido	73
4.3.1 Evaluación de los diseños elaborados.....	75
4.4. Costos	77
4.4.1. Costos elementos mecánicos	77
4.4.2. Costos elementos eléctricos	78
4.5. Mano de obra indirecta	79
4.6. Total, de costos de la implementación del Jacquard y sistema de control en el telar...	79
4.7. Análisis económico.....	79
4.7.1 Flujo de caja	79
4.7.2 Valor actual Neto (VAN).....	81
4.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	82
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS.....	87
ANEXOS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema de montura Jacquard [3].....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Estructura de un Jacquard mecánico [3].....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3. Correas de accionamiento de un Jacquard electrónico [3].....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4. Fases del sistema operativo del Jacquard [3].....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5. Etapas de transmisión de potencia [7]</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6. Transmisión por cadena [8]</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7. Partes de una cadena de rodillo [8]</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8. Par de engranajes [8]</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9. Esquema del sistema de poleas [8].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10. Componentes principales del PLC [10].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 11. Diagrama de causa-efecto.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 12. Viga IPE [13].....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13. Especificaciones técnicas de la viga IPE de acero ASTM A 572GR 50 [13].....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 14. Leva-seguidor [14].....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15. Panasonic FP-XH, modelo AFPXHC14R [15]</i>	<i>34</i>
<i>Figura 16. Contactor [16]</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17. Guardamotor [16].....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 18. Final de carrera [17]</i>	<i>36</i>
<i>Figura 19. Pulsadores genéricos [18].....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20. Luces piloto [18].....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 21. Servomotor FT5325M con engranaje metálico [19]</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22. Croquis de la estructura para el Jacquard.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 23. Diagrama de esfuerzos cortantes y momento máximo.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 24. Dimensiones de la viga IPE seleccionada.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 25. Relaciones de elementos fijos y fuerzas externas</i>	<i>46</i>
<i>Figura 26. Simulación ubicación de cargas y puntos fijos.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 27. Simulación desplazamiento total bajo cargas</i>	<i>47</i>
<i>Figura 28. Simulación del factor de seguridad.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 29. Fuerza cortante en dirección 1</i>	<i>48</i>
<i>Figura 30. Fuerza cortante en dirección 2</i>	<i>49</i>
<i>Figura 31. Representación del momento en las barras de la estructura.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 32. Estudio de frecuencia de la estructura del Jacquard.....</i>	<i>53</i>

<i>Figura 33. Diagrama de flujo del proceso de control del telar</i>	<i>54</i>
<i>Figura 34. Diagrama eléctrico de potencia del telar de lanzadera</i>	<i>56</i>
<i>Figura 35. Diagrama eléctrico de control del telar de lanzadera</i>	<i>58</i>
<i>Figura 36. Ensamble de la estructura para el sistema Jacquard</i>	<i>61</i>
<i>Figura 37. Desmontaje del telar de lanzadera</i>	<i>62</i>
<i>Figura 38. Instalación de la tabla de arcadas</i>	<i>62</i>
<i>Figura 39. Distribución de las mallas por la tabla de arcadas</i>	<i>63</i>
<i>Figura 40. Montaje de sistema de transmisión de potencia por cadenas</i>	<i>63</i>
<i>Figura 41. Ensamble de riel DIN y canaleta</i>	<i>64</i>
<i>Figura 42. Caja de control con PLC, fuente de alimentación y borneras.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 43. Instalación de la Caja de control y conexión de partes electrónicas</i>	<i>65</i>
<i>Figura 44. Boceto de la caja botonera.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 45. Corte de la plancha de acrílico para la caja botonera.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 46. Instalación de la botonera en el telar</i>	<i>66</i>
<i>Figura 47. Instalación de la botonera en el telar</i>	<i>67</i>
<i>Figura 48. Implementación del sistema de freno automático del telar.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 49. Conexión del PLC, convertidor Buck LM2596, servo tester y motor DC.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 50. Instalación del sistema de bobinado semiautomático asistido.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 51. Ligamento sarga 2/2.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 52. Ligamento tafetán.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 53. Ligamento Cruz.....</i>	<i>74</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Piezas de montura del Jacquard</i>	8
<i>Tabla 2. Máquinas Jacquard</i>	9
<i>Tabla 3. Máquinas Vicenzi</i>	10
<i>Tabla 4. Tipos de cadena de rodillos</i>	14
<i>Tabla 5. Tipos de PLC</i>	17
<i>Tabla 6. Alternativas de solución para mejora del funcionamiento del telar</i>	22
<i>Tabla 7. Comparativo de estrategias operativas para la implementación del Jacquard</i>	23
<i>Tabla 8. Característica de alternativas de perfil para la estructura</i>	24
<i>Tabla 9. Parámetros de evaluación para la estructura del Jacquard</i>	24
<i>Tabla 10. Cuadro comparativo de alternativas para perfil de estructura</i>	25
<i>Tabla 11. Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A572 GR 50</i>	26
<i>Tabla 12. Característica de alternativas de sistemas de transmisión</i>	27
<i>Tabla 13. Parámetros de evaluación para el sistema de transmisión</i>	28
<i>Tabla 14. Cuadro comparativo de alternativas de sistema de transmisión</i>	28
<i>Tabla 15. Característica de alternativas del sistema mecánico de paro automático</i>	29
<i>Tabla 16. Parámetros de evaluación para el sistema de paro automático</i>	30
<i>Tabla 17. Cuadro comparativo de alternativas para el sistema mecánico del paro automático</i>	30
<i>Tabla 18. Característica de alternativas del controlador lógico programable</i>	32
<i>Tabla 19. Parámetros de evaluación del controlador lógico programable</i>	32
<i>Tabla 20. Cuadro comparativo de alternativas del controlador lógico programable</i>	33
<i>Tabla 21. Especificaciones técnicas del PLC Panasonic</i>	33
<i>Tabla 22. Especificaciones de las abreviaturas nombradas en el diagrama de control</i>	57
<i>Tabla 23. Pruebas de los sistemas integrados en el telar</i>	70
<i>Tabla 24. Fallas detectadas y acciones correctivas implementadas</i>	71
<i>Tabla 25. Tiempo de cambio de diseño sin sistema Jacquard</i>	71
<i>Tabla 26. Tiempo de cambio de diseño con sistema Jacquard</i>	72
<i>Tabla 27. Evaluación de los diseños</i>	75
<i>Tabla 28. Recurrencia de fallas en el tejido</i>	75
<i>Tabla 29. Costo de elementos utilizados para la implementación del Jacquard</i>	77
<i>Tabla 30. Costo de elementos utilizados para la instalación del control eléctrico</i>	78
<i>Tabla 31. Mano de obra indirecta</i>	79

Tabla 32. Costo de elementos utilizados para la implementación del Jacquard	79
Tabla 33. Cantidad de producción de ponchos de lana	80
Tabla 34. Inversión para la elaboración de los ponchos de lana	80
Tabla 35. Ingreso neto mensual de los ponchos de lana.....	80
Tabla 36. Flujo de caja	81

ÍNDICE DE ANEXO

<i>Anexo 1. Manual de operación y mantenimiento</i>	<i>90</i>
<i>Anexo 2. Manual de mantenimiento preventivo.....</i>	<i>91</i>
<i>Anexo 3. Plantilla del Jacquard para la elaboración de tejidos en el telar</i>	<i>93</i>
<i>Anexo 4. Primer diseño para el tejido</i>	<i>93</i>
<i>Anexo 5. Segundo diseño para el tejido</i>	<i>94</i>

RESUMEN

El presente proyecto se ha enfocado en el diseño e implementación un sistema Jacquard mecánico en un telar de lanzadera, integrado con un sistema de control semiautomático para mejorar el proceso de tejeduría del taller artesanal “Tejidos Caymi”, en la comunidad de Peguche. La metodología se ha dividido en cuatro fases: teórica, diseño, implementación y pruebas.

En la fase teórica, se ha establecido los fundamentos mecánicos y electrónicos necesarios para comprender el funcionamiento del sistema. A través de un análisis detallado, se han identificado las principales deficiencias en los procesos actuales de tejeduría, lo que han permitido evaluar diversas alternativas de diseño orientadas a mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de generar patrones textiles complejos.

El desarrollo del proyecto ha incluido la descripción precisa del proceso de diseño, la selección de materiales y componentes adecuados, y la ejecución de simulaciones técnicas que han validado la viabilidad estructural y funcional del sistema propuesto. En la fase final, se ha demostrado la versatilidad en la elaboración de tejidos, y se han realizado un análisis económico que ha contemplado los costos de implementación y la rentabilidad del sistema.

Los resultados obtenidos han evidenciado que la solución desarrollada es técnica y económicamente viable, además de ser adaptable a otros talleres artesanales que buscan mejorar su productividad manteniendo la esencia del trabajo textil artesanal.

Palabras claves. Jacquard mecánico, telar de lanzadera, transmisión por cadena, control semiautomático

ABSTRACT

This project has focused on the design and implementation of a mechanical Jacquard system on a shuttle loom, integrated with a semi-automatic control system to improve the weaving process of the artisan workshop Tejidos Caymi, in the community of Peguche. The methodology has been divided into four phases: theoretical, design, implementation and testing.

In the theoretical phase, the mechanical and electronic fundamentals necessary to understand the operation of the system have been established. Through a detailed analysis, the main deficiencies in the current weaving processes have been identified, allowing the evaluation of various design alternatives aimed at improving operational efficiency and the capacity to generate complex textile patterns.

The development of the project has included the precise description of the design process, the selection of suitable materials and components, and the execution of technical simulations that have validated the structural and functional feasibility of the proposed system. In the final phase, the versatility in the production of fabrics has been demonstrated, and an economic analysis has been carried out that has contemplated the implementation costs and the profitability of the system.

The results obtained have shown that the developed solution is technically and economically feasible, as well as being adaptable to other artisan workshops that seek to improve their productivity while maintaining the essence of artisan textile work.

Keywords. Mechanical jacquard, shuttle loom, chain transmission, semi-automatic control

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

En la comunidad de Peguche ubicada en el cantón Otavalo existen talleres textiles artesanales para la producción de diferentes productos como: ponchos de lana, acrílico, cobijas, hamacas, manteles, sacos, pantalones, gorras, mochilas y gran variedad de productos [1].

Muchos de los talleres artesanales textiles aún emplean telares de madera, lo cual limita la producción y variedad de diseños debido al arduo proceso manual y al alto consumo de tiempo. No obstante, a pesar de estas limitaciones la demanda por los productos sigue siendo considerable.

Actualmente, en la comunidad de Peguche, los telares rudimentarios han sido reemplazados por maquinaria textil electromecánica, lo que ha incrementado significativamente la producción. Sin embargo, este avance también ha generado un aumento en los defectos de calidad, ya que las máquinas carecen de un sistema de detección de fallas ante la rotura de hilos y un mecanismo de paro automático para prevenir defectos en la tela, afectando la calidad del producto final.

Este es el caso del taller artesanal “Tejidos Caymi”, donde la producción aún depende en gran medida de un operador que debe estar en constante supervisión del telar de lanzadera. Las fallas recurrentes en la tela no pueden ser anticipadas por el operador, lo que impide cumplir con las demandas de producción establecidas. Además, la falta de un sistema de control adecuado en los telares mecánicos compromete la seguridad del operario.

JUSTIFICACIÓN

El principal problema de los telares de lanzaderas mecánicas es la falta de sistemas de protección y sensibilidad en relación con la calidad. Además, los tiempos de producción no pueden mejorarse [2]. Por ello, surge la necesidad de modernizar la productividad de los talleres artesanales en crecimiento, ya que esta problemática no solo está presente en el taller "Tejidos Caymi", sino también en la mayoría de los talleres artesanales textiles de Peguche. Para solventar estos desafíos en el proceso de tejeduría, se propone la adaptación de un Jacquard mecánico, lo que permitiría obtener una mayor variedad de patrones en los diseños de las prendas. Así mismo, se sugiere la implementación de un sistema de control semiautomático en las máquinas [3]. Con el objetivo de mejorar la calidad de la tela, optimizar los tiempos de producción y reducir las fallas durante el proceso.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Implementar un Jacquard mecánico en una máquina de lanzadera con un sistema semiautomático en el proceso de tejeduría del taller artesanal “Tejidos Caymi”.

Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento de la máquina de lanzadera mediante la revisión de sus partes estableciendo criterios de diseño de implementación del Jacquard.
- Diseñar los elementos mecatrónicos mediante la utilización de software de ingeniería para la optimización del funcionamiento del sistema Jacquard en el telar de lanzadera.
- Validar el funcionamiento de la máquina mediante pruebas de campo para la comprobación de la calidad de producción.

METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto está estructurada en cuatro fases principales: fase teórica, fase de diseño, fase de implementación y fase de pruebas, cada una enfocada en cumplir los objetivos propuestos y llevar a cabo la solución planteada para la implementación del sistema Jacquard mecánico en el telar de lanzadera.

Fase Teórica

En esta fase inicial, se realiza un análisis exhaustivo del funcionamiento de las máquinas involucradas, incluyendo el sistema mecánico del telar de lanzadera y el Jacquard mecánico. A través de referencias bibliográficas y estudios de casos, se establecen los criterios de diseño y desarrollo para la integración del sistema semiautomático. Además, se investiga el funcionamiento de los sistemas de control y sincronización para asegurar que la implementación sea compatible con las necesidades de producción del taller artesanal “Tejidos Caymi”. Este análisis permite comprender el sistema actual y las mejoras necesarias para optimizar la producción de tejidos.

Fase de Diseño

Concluida la fase teórica, se procede al diseño de los elementos mecatrónicos. En esta etapa, se definen los componentes necesarios para la implementación del sistema Jacquard en el telar de lanzadera. Esto incluye el controlador, los sensores para la detección de vaciado de hilo de trama en la canilla. Se realiza un análisis detallado de los parámetros de funcionamiento, enfocándose en la sincronización entre el sistema Jacquard y el mecanismo de parada automática del telar. El diseño busca optimizar el funcionamiento del sistema Jacquard para mejorar la calidad y eficiencia de la producción.

Fase de Implementación

En esta fase se integran los componentes diseñados al sistema mecánico del telar de lanzadera, con el objetivo de optimizar su funcionamiento junto con el sistema Jacquard. En esta etapa, se realizan los ajustes necesarios para asegurar la correcta sincronización entre los elementos mecatrónicos diseñados y la operación del telar, utilizando software apropiados que maximizan la precisión y eficiencia del sistema. Se instalan los sensores y mecanismos de control para monitorear y regular el proceso de tejeduría, poniendo en la detección de fallas, garantizando que el sistema opere de forma semiautomática y eficiente.

Fase de Pruebas

En la fase de pruebas, se valida el funcionamiento completo de la máquina, evaluando tanto el rendimiento del sistema Jacquard como el del telar de lanzadera bajo condiciones de producción reales. Las pruebas de campo se centran en comprobar la calidad de la producción de tejidos, así como la capacidad del sistema para detectar y corregir fallas, como la rotura de hilos. Además, se evalúa la eficiencia del sistema de parada automática. Se verifica que la sincronización entre los componentes sea adecuada para garantizar una producción continua, de alta calidad y sin interrupciones. Los resultados de estas pruebas permiten ajustar los parámetros de funcionamiento, asegurando que la máquina cumpla con los estándares de productividad y calidad requeridos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo está orientado a proporcionar los fundamentos teóricos que sustentan la modernización de los sistemas textiles, abordando tanto los avances tecnológicos como los principios mecánicos y electrónicos involucrados. A lo largo del capítulo, se analizarán conceptos clave relacionados con el funcionamiento y la evolución de los telares Jacquard (desde sus orígenes mecánicos hasta los sistemas electrónicos, el proceso de bobinado de la canilla y los diversos sistemas de transmisión de potencia que permiten el movimiento de la maquinaria. Finalmente, se explorará el rol esencial de los Controladores Lógicos Programables (PLC) como cerebro de la automatización industrial en este contexto.

1.1 Proceso de bobinado

El proceso de bobinado de hilo es una operación fundamental en la industria textil, cuyo objetivo es transferir el hilo desde su forma original de suministro hacia un soporte específico, como un canilla, bobina o carrete, de manera ordenada y bajo condiciones de tensión controlada. Este procedimiento permite preparar el hilo de trama para su uso posterior en máquinas de tejeduría, asegurando un desenrollado uniforme y sin interrupciones durante el tejido [4].

Existen diversos métodos de bobinado, entre los que destacan el bobinado paralelo y el bobinado cruzado. Este último es el más utilizado en aplicaciones industriales, ya que distribuye el hilo en capas diagonales que se cruzan entre sí, lo que proporciona mayor cohesión estructural al paquete de hilo y evita el deslizamiento o colapso durante el uso. La eficiencia del bobinado depende de factores como la tensión aplicada al hilo, la velocidad angular de la canilla, el tipo de hilo y la precisión del sistema de guiado [5].

1.1.1 Canilla

La canilla constituye un componente crítico en los telares de lanzadera, fungiendo como soporte para el hilo de trama, el cual es introducido transversalmente entre los hilos de urdimbre para conformar el tejido [4]. Diseñada como una bobina cilíndrica de dimensiones reducidas, su morfología compacta es indispensable para asegurar su alojamiento y libre movimiento dentro de la lanzadera, facilitando un desenrollado constante y uniforme del hilo sin generar desequilibrios o interrupciones que comprometan la eficiencia operativa del telar.

El encanillado, proceso de enrollado del hilo sobre la canilla, representa una fase preparatoria esencial en la cadena de producción textil [6]. A diferencia del hilo de urdimbre, el hilo de trama debe adaptarse a las especificaciones dimensionales de la canilla para garantizar su correcta inserción y alimentación. La calidad de este enrollado influye directamente en la tensión del hilo, la regularidad del suministro y la velocidad de operación del equipo, parámetros determinantes para la calidad final del producto. Particularmente en la hilatura de cabo suelto, el encanillado es fundamental para asegurar una alimentación continua y estable del hilo de trama durante el tejido, minimizando la incidencia de roturas e irregularidades que puedan afectar la producción [4].

1.2 Jacquard

Joseph-Marie Jacquard diseñó un telar automático capaz de tejer patrones intrincados utilizando la información almacenada en tarjetas perforadas, lo que permitía que los hilos se separaran individualmente para abrir la calada. Este dispositivo debía ser instalado en un telar existente, y su funcionamiento se basa en la apertura de la calada a través de agujas, que se manejan mediante una tarjeta perforada con un diseño predefinido. Cuando estas agujas encajan en los agujeros de la tarjeta, permiten que los ganchos sean sostenidos por las cuchillas colocadas en la grifa, la cual se desplaza hacia arriba y hacia abajo [3]. En la Figura 1, se observa la montura del Jacquard mecánico.

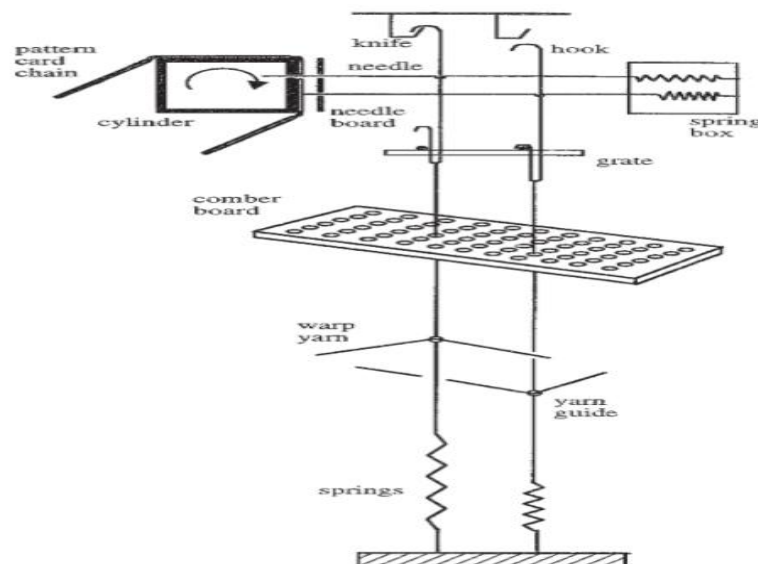


Figura 1. Esquema de montura Jacquard [3]

1.2.1 Descripción de una montura Jacquard

En la Tabla 1, se describe las principales piezas de una montura de Jacquard [3].

Tabla 1. Piezas de montura del Jacquard

Piezas de Jacquard	Descripción.
Grifa	Marco con cuchillas metálicas, que se mueve verticalmente.
Ganchos	Alambres organizados en filas que atraviesan la tabla de coletes y sostienen la urdimbre cuando el telar está en reposo.
Agujas	Alambres que aproximan o alejan los ganchos de la grifa. Su forma facilita el intercambio de piezas sin desmontar otras.
Estuche	Cajita con agujeros para las agujas y pequeños resortes que las mantienen en posición para que las cuchillas de la grifa las sostengan.
Cilindro	Prisma con varias caras que empuja las agujas y rota en pequeños incrementos para cada pasada.
Cartones	Son colocados entre el cilindro y las agujas, controlan qué ganchos se levantarán para formar la calada actuando sobre la grifa. Tiene perforaciones específicas que guían su posición en el cilindro y aseguran la selección adecuada.
Linterna	Pieza que permite que el cilindro gire al tomar contacto con los cuchillos.
Cuchillos	Son ganchos que, al engancharse en los bordones de la linterna, obligan al cilindro a girar en fracciones de vuelta ($1/4$, $1/5$ o $1/6$) cada vez que se separa de las agujas.
Martillos	Para asegurar la posición del cilindro y mantener cada giro paralelo a la tablita, se emplea en cada extremo una pieza en forma de martillo, sujeta con un resorte helicoidal que regula la rotación con la presión adecuada.
Coletes	Los coletes son cuerdas que penden de cada gancho y sostienen en su extremo inferior otro gancho, del cual cuelgan las arcadas.
Arcadas	Las arcadas son hilos de lino que conectan los ganchos con la urdimbre, transmitiendo el movimiento generado por la grifa.

Tabla de arcadas	Placa con agujeros que organiza las arcadas de la urdimbre.
Mallas	Cada arcada sostiene una malla con un anillo de metal o vidrio para guiar los hilos de urdimbre: el anillo metálico tiene tres orificios para un solo hilo, mientras que el de vidrio tiene varios orificios para múltiples hilos y dos adicionales para fijar la malla.

1.2.2 Clasificación de las máquinas por el número de agujas

Las máquinas Jacquard se denominan según la distribución del número de agujas. En la Tabla 2, se observa la disposición de monturas en el Jacquard.

Tabla 2. Máquinas Jacquard

Máquinas Jacquard	
Máquina de 100	Tiene 104 agujas distribuidas en 26 filas de 4 agujas, más 8 adicionales.
Máquina de 200	Compuesta por 26 filas verticales de 8 agujas, sumando 208 agujas. Se pueden colocar 24 agujas en las filas de los bañones, alcanzando un total de 232 agujas.
Máquina de 400	51 filas de 8 agujas con un total 408; se puede expandir a 432 con 6 agujas adicionales en cada fila de bañones.
Máquina de 500	62 filas de 8 agujas, sumando un total de 496, ampliable a 526 con 30 agujas adicionales.
Máquina de 600	612 agujas; se puede expandir a 652 con 40 agujas adicionales en filas de bañones.
Máquina de 800	744 agujas; se puede expandir a 794 con 50 agujas adicionales en filas de bañones.

Existe máquinas que superan las 800 agujas, sin embargo, los modelos son obsoletos por su costo y problemas de compatibilidad con los bañones [3].

Por otra parte, existe las máquinas Vicenzi, similares en funcionalidad a las Jacquard, utilizan tarjetas o cartones más pequeños que reducen el costo y espacio. En la Tabla 3, se observan las

configuraciones de dicha máquina. Se nombran según el número de agujas y ofrecen diversas versiones, desde 440 hasta 2640 agujas, organizadas en secciones y filas ajustables [3].

Tabla 3. Máquinas Vicenzi

Máquina Vicenzi	
Máquina de 440	24 filas de 16 agujas cada una, lo que da un total de 384 agujas, ampliable a 440 con la adición de 56 agujas en los baños.
Máquina de 656	Compuesta por 48 filas de 12 agujas, totalizando 576 agujas, ampliable a 656 al incorporar 80 baños.
Máquina de 880	Dos secciones de 440 agujas cada una.
Máquina de 1320	Tres secciones de 440 agujas.
Máquina de 1760	Dos secciones de 880 agujas, con cilindro adaptado para cartones de 880.
Máquina de 2200	Sección de 1320 y otra de 880, cada una con cartones independientes.
Máquina de 2640	Dos secciones de 1320, con cartones independientes para cada sección.

1.2.3 Jacquard mecánico

El sistema mecánico actual es obsoleto, ya que la estructura del tejido se programa mediante tarjetas perforadas o cartones que funcionan como patrones, recreando un ciclo continuo. La perforación en cada tarjeta define la selección de un lizo específico, configurando así el diseño textil. El funcionamiento se basa en la activación individual de un conjunto de agujas, ganchos y lizos. La tarjeta se coloca en un dispositivo accionador de múltiples caras, de forma que los orificios de las tarjetas se alineen con los del accionador. Esta alineación permite que las agujas atraviesen los orificios de la tarjeta, capturando el gancho en la cuchilla de la grifa y elevando los lizos para formar la calada. Al concluir el proceso, el dispositivo accionador se retira de las agujas, gira para exponer otra sección de la tarjeta, y el ciclo se reinicia de manera continua [3]. En la Figura 2 se observa la estructura de un Jacquard mecánico.

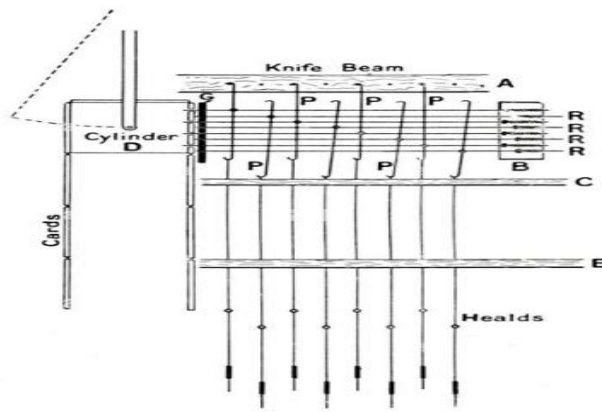


Figura 2. Estructura de un Jacquard mecánico [3]

1.2.4 Jacquard electrónico

Los sistemas digitales avanzados del Jacquard electrónico permiten mayor complejidad en el diseño de tejidos modernos, ofreciendo versatilidad en el uso de diferentes fibras y tejidos, y produciendo textiles resistentes, detallados y, en algunos casos, reversibles. Su funcionamiento se basa en cintas magnéticas, también conocidas como correas de accionamiento, que se sincronizan con el telar, mientras que el diseño se controla mediante programación [3].

Este sistema ofrece varias ventajas: es compatible con una amplia variedad de telares, tiene una fuente de alimentación propia, genera baja vibración incluso a altas velocidades y requiere poco mantenimiento. Además, elimina componentes tradicionales como el cilindro, agujas y tarjetas de diseño. También permite que el orillo codifique información para sensores y códigos de barra. En la Figura 3 se observa el funcionamiento del Jacquard electrónico [3].

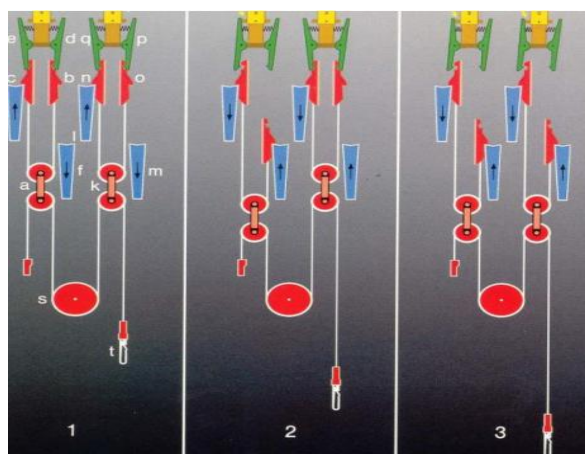


Figura 3. Correas de accionamiento de un Jacquard electrónico [3]

El proceso del telar Jacquard electrónico comienza en los rodillos dobles, que determinan las posiciones del gancho asociado a los lisos. Los cuchillos operan en direcciones opuestas para

facilitar el movimiento de los ganchos. Dependiendo de la programación, los electroimanes activan o liberan estos ganchos en un ciclo continuo, generando el movimiento ascendente y descendente de los lisos [3].

En la Figura 4, se observa el ciclo operativo del sistema consta de tres fases.

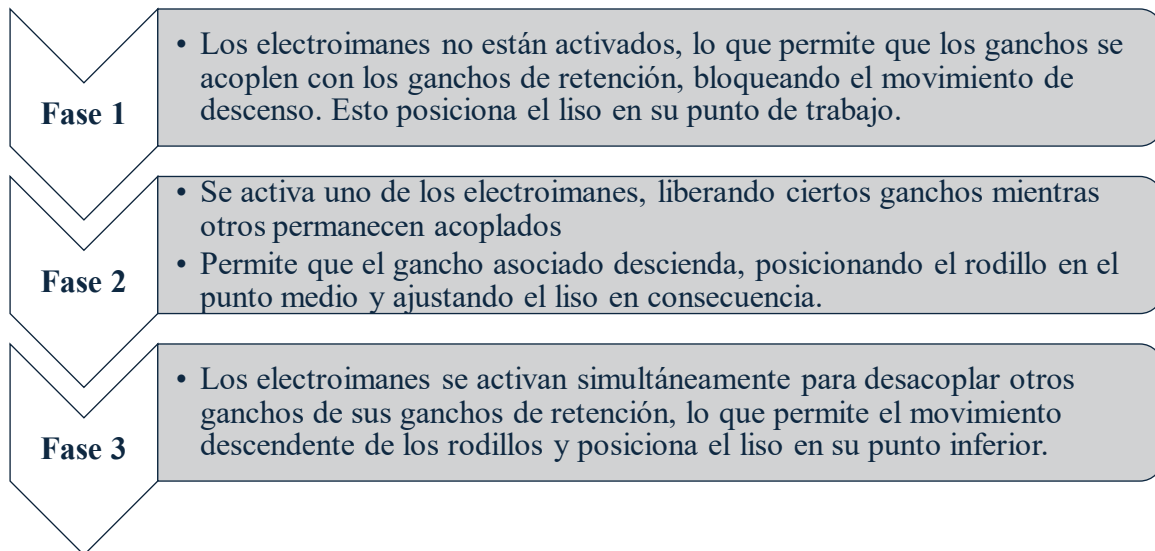


Figura 4. Fases del sistema operativo del Jacquard [3]

Estas tres fases son cruciales para la apertura de la calada: en la primera fase se preparan los lisos en la posición de trabajo; en la segunda, se mantienen en espera de la programación de pasadas; y en la tercera, los lisos descienden, lo que permite la apertura de la calada para la inserción de la trama y su posterior bataneo, completando así el proceso de tejido [3].

1.3 Sistemas de transmisión de potencia

La función de los sistemas de transmisión de potencia es distribuir la potencia y el movimiento generados por un motor hacia los diferentes componentes de una máquina, permitiendo así su funcionamiento óptimo. Los componentes mecánicos más utilizados en las cadenas cinemáticas para este propósito incluyen transmisiones por correa, transmisiones por cadena y engranajes, ya que generalmente el movimiento transmitido es de tipo rotacional. En la Figura 5, se observa los tipos de transmisión de potencia.

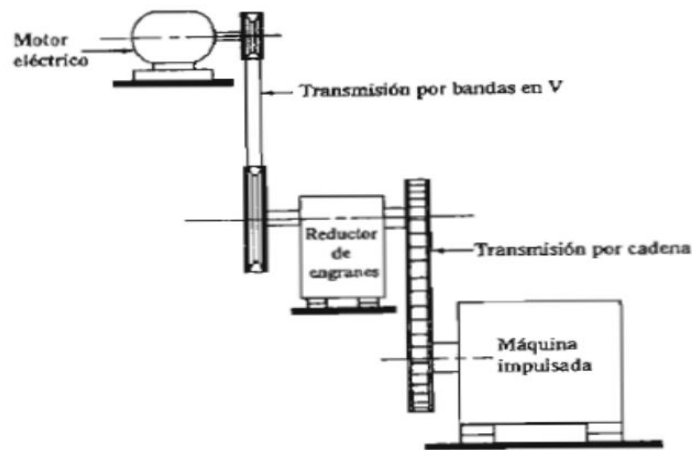


Figura 5. Etapas de transmisión de potencia [7]

Los sistemas de transmisión emplean ejes y árboles de transmisión, seleccionados según las demandas estructurales y el tipo de movimiento requerido. Los ejes, más cortos, sirven de soporte para elementos como poleas y engranajes y soportan cargas menores, mientras que los árboles, de mayor longitud y resistencia, están diseñados para transmitir potencia en distancias mayores y bajo cargas elevadas. La elección entre ambos depende de las necesidades de carga y movimiento del sistema. Las cadenas cinemáticas también incluyen acoples y soportes que mejoran la estabilidad, alineación y amortiguación de vibraciones, esenciales para la durabilidad y precisión en aplicaciones industriales, aumentando la confiabilidad y eficiencia en sistemas de transmisión mecánica [8].

1.3.1 Sistemas de transmisión de potencia por cadenas

La transmisión de potencia depende del mecanismo del principio de engranajes. El movimiento y la fuerza se transmiten de acuerdo con la distancia entre los piñones y se conserva el sentido de giro, generando así un método accesible y eficiente para transmitir potencia entre ejes paralelos [8]. En la Figura 6, se observa la transmisión por cadena.

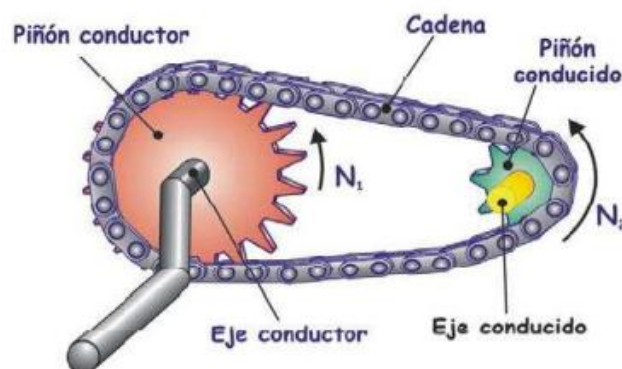


Figura 6. Transmisión por cadena [8]

El mecanismo de transmisión de energía por fuerzas extensibles, como las cadenas de transmisión, se utiliza comúnmente en sistemas mecánicos para transportar energía. En particular las de rodillos, destacan por su robustez y capacidad para transmitir potencia en condiciones exigentes. Una cadena de rodillos de acero está compuesta por elementos de revolución que funcionan como cojinetes y están separados por placas planas con ajuste de presión. En este mecanismo, el pasador y el casquillo permiten el giro suave del rodillo, optimizando el movimiento y la eficiencia de transmisión. En la Figura 7, se observa las partes de la cadena de rodillo [8].

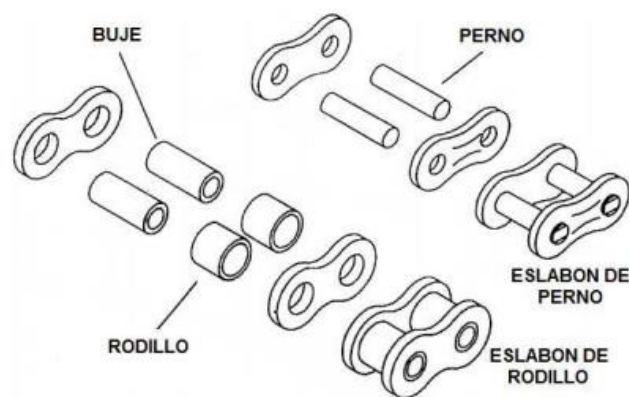

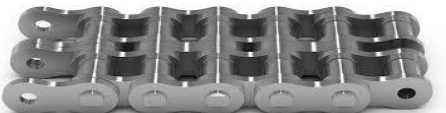


Figura 7. Partes de una cadena de rodillo [8]

Una de las ventajas significativas de las cadenas es su resistencia a temperaturas elevadas y su tolerancia a ambientes con aceite o grasa, lo que las hace ideales para aplicaciones industriales pesadas. No obstante, es importante destacar que, aunque ofrecen una transmisión efectiva, las cadenas tienden a ser más ruidosas en comparación con las bandas [8]. Existen tipos de cadenas de rodillos que se observa en la Tabla 4.

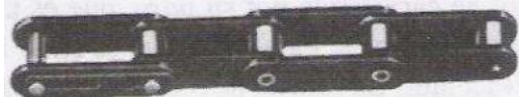
Tabla 4. Tipos de cadena de rodillos

Tipos de cadena de rodillos	
	Cadena de rodillos estándar, una hilera
	Cadena de rodillos estándar, dos hileras (también existen de tres y cuatro hileras)



Cadena de rodillos para trabajo pesado

Cadena de rodillos de paso doble.



Cadena de rodillos para transporte de paso doble.

1.3.2 Sistemas de transmisión de potencia por engranajes

Este sistema utiliza ruedas dentadas para transferir el movimiento rotativo de un eje a otro, permitiendo invertir el sentido de giro o modificar la velocidad angular. Los dientes del engranaje impulsor se acoplan con los del engranaje receptor, generando una fuerza perpendicular al radio que permite transmitir un par de torsión. Así, se transfiere potencia al sistema a través del giro del engranaje [9]. En la Figura 8, se observa un par de engranajes.

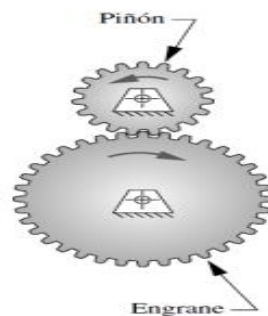


Figura 8. Par de engranajes [8]

1.3.3 Sistemas de transmisión de potencia por poleas

Una polea consiste en un conjunto de poleas y una banda elástica, generalmente de caucho reforzado con acero. Hay diferentes tipos de bandas según sus secciones transversales y las poleas en las que se montan. El sistema opera mediante fricción entre la banda y la polea, ajustando la tensión de la banda mediante la distancia entre poleas. Con el tiempo, la banda puede deformarse, por lo que es necesario ajustarla periódicamente para mantener la tensión adecuada. Este sistema es particularmente útil en las primeras etapas de transmisión de potencia [9]. En la Figura 9, se observa el sistema de poleas.

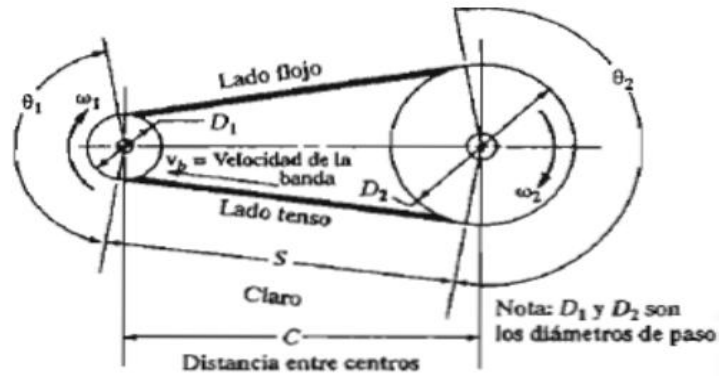


Figura 9. Esquema del sistema de poleas [8]

Una polea es una rueda acanalada que permite el paso de una correa o cuerda para mover una carga. En sistemas de poleas dobles, formados por una polea fija y otra móvil, la longitud de la cuerda debe ser el doble de la distancia recorrida por la carga, aunque la fuerza necesaria es solo la mitad del peso de la carga. Sin embargo, este sistema puede presentar problemas de alineación. Cuando la correa y la polea son dentadas, se mantiene la sincronización, evitando pérdidas de potencia. Este principio también se aplica en cadenas, donde los eslabones se ajustan al piñón para asegurar una transmisión constante de potencia [7].

1.4 Control lógico programable

Un controlador lógico programable o conocido como PLC, es un dispositivo electrónico diseñado para controlar y gestionar procesos automáticos en tiempo real de manera confiable y eficiente. Su principal función es recopilar, transformar, procesar, almacenar y emitir comandos para controlar equipos y máquinas en entornos industriales [10]. En la Figura 10, se observa los componentes principales del PLC.

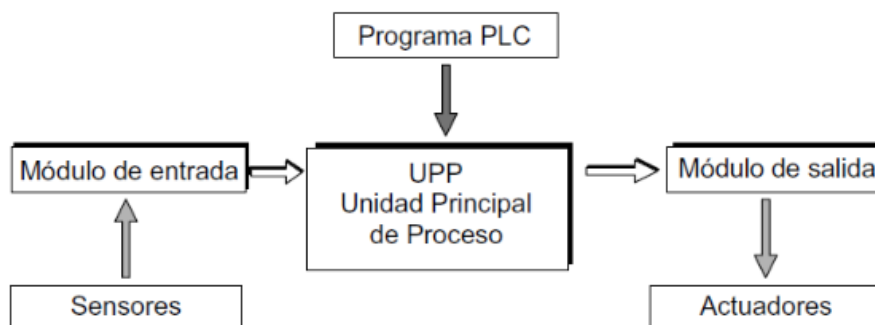


Figura 10. Componentes principales del PLC [10]

Externamente, el PLC presenta un diseño robusto para soportar las condiciones industriales. Sus terminales diferenciados para entradas y salidas garantizan una operación ordenada y segura. Existen tipos principales de PLC como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Tipos de PLC

Tipos de PLC	
PLC compactos	Ideales para instalaciones pequeñas con pocas señales.
PLC modulares	Diseñados para aplicaciones complejas. Cada módulo cumple una función como: la alimentación, la unidad central de procesamiento (CPU), y los módulos de entradas y salidas digitales o analógicas, además de módulos de comunicación y funciones especiales.

1.5 Normas aplicadas en la selección eléctrica

En la selección de componentes eléctricos y la instalación del tablero eléctrico, es fundamental cumplir con las normativas técnicas ecuatorianas y estándares internacionales para garantizar la seguridad, eficiencia y conformidad del sistema. Este proyecto se rige por los siguientes reglamentos y normas.

- **RTE INEN 021**

Determina los requisitos de fabricación y desempeño para conductores eléctricos aislados con material termoplástico para prevenir riesgos y evitar prácticas que puedan inducir a error de usuarios [11].

- **RTE INEN 091**

Proporciona el reglamento de requisitos de seguridad y eficiencia energética para productos y tableros eléctricos, para garantizar que los equipos cumplan con los estándares de calidad y seguridad [12].

- **IEC 60947-4-1**

Regula los contactores y arrancadores de motores para sistemas eléctricos de baja tensión. Proporciona los criterios técnicos para seleccionar dispositivos que controlen motores eléctricos de forma segura, eficiente y confiable. En particular, asegura el adecuado funcionamiento bajo distintas condiciones de carga eléctrica.

- **IEC 60947-5-5**

Detalla los requisitos para dispositivos de parada de emergencia accionados por cuerda y pulsadores eléctricos. Esta norma es esencial para seleccionar dispositivos de seguridad que cumplan con los estándares internacionales, asegurando una respuesta rápida y confiable.

- **IEC 60947-5-1**

Proporciona los requisitos técnicos para la selección de dispositivos de mando y señalización, como interruptores, pulsadores, y señalizadores. Ayuda a garantizar que los componentes eléctricos de control seleccionados sean adecuados para soportar las cargas y señales requeridas por el sistema.

- **IEC 60228**

Define las especificaciones de los conductores eléctricos, incluyendo los criterios de selección según su calibre, material (cobre o aluminio), y resistencia eléctrica. Esta norma asegura la correcta capacidad de conducción eléctrica y la seguridad de los cables frente a sobrecargas y cortocircuitos.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y DISEÑO

El presente capítulo detalla los fundamentos técnicos y metodológicos esenciales para diseñar e implementar un Jacquard mecánico en un telar de lanzadera con sistema semiautomático, destinado a optimizar los procesos de tejeduría del taller artesanal “Tejidos Caymi”. Este proyecto tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia, funcionalidad y calidad en la producción textil, abordando de manera integral los problemas asociados al funcionamiento actual del sistema de tejeduría.

Primeramente, se emplea un diagrama de causa-efecto como herramienta para identificar las principales deficiencias en el proceso de tejeduría. Este análisis permite clasificar los problemas que afectan la calidad del tejido, como: Ausencia de hilo de trama en la canilla, transmisión de potencia, sistema de paro automático y diseño estructural.

A partir de esta evaluación, se plantea un marco de acción para desarrollar mejoras que permitan superar estas limitaciones en el contexto del taller artesanal. Para garantizar el éxito del proyecto, se identifican las variables críticas que inciden directamente en el desempeño del sistema dichas anteriormente. Estas variables serán abordadas mediante el diseño y análisis técnico de componentes, utilizando herramientas para optimizar el rendimiento del sistema.

Además, se incluye un análisis de alternativas, donde se realiza un estudio comparativo de distintas opciones de diseño para el sistema Jacquard y mejora del telar de lanzadera. Este análisis se basa en los resultados obtenidos del diagrama causa – efecto, teniendo como objetivo seleccionar la opción que mejor cumpla con los requisitos de funcionalidad, costo y adaptabilidad a un entorno de producción artesanal.

Finalmente se presentan cuadros comparativos entre las alternativas seleccionadas para analizar el desempeño del sistema, asegurando que las mejoras implementadas contribuyan a optimizar los procesos de producción en “Tejidos Caymi”.

Estas herramientas permitirán asegurar que el diseño de la estructura cumpla con el factor de seguridad y la implementación del Jacquard cumpla con los planteamientos iniciales, ofreciendo una solución efectiva y económica que satisfaga las demandas de calidad en el acabado de tejidos dentro del taller de producción.

2.1 Diagrama Causa – Efecto

En la siguiente Figura 11 se muestra un diagrama de Ishiwaka, aborda seis problemas principales relacionados con el diseño e implementación de una máquina de lanzadera equipada con un Jacquard mecánico. Este análisis tiene como objetivo principal identificar las causas fundamentales que afectan la calidad de la producción textil y destacar las áreas críticas que necesitan mejoras para optimizar el proceso de tejeduría.

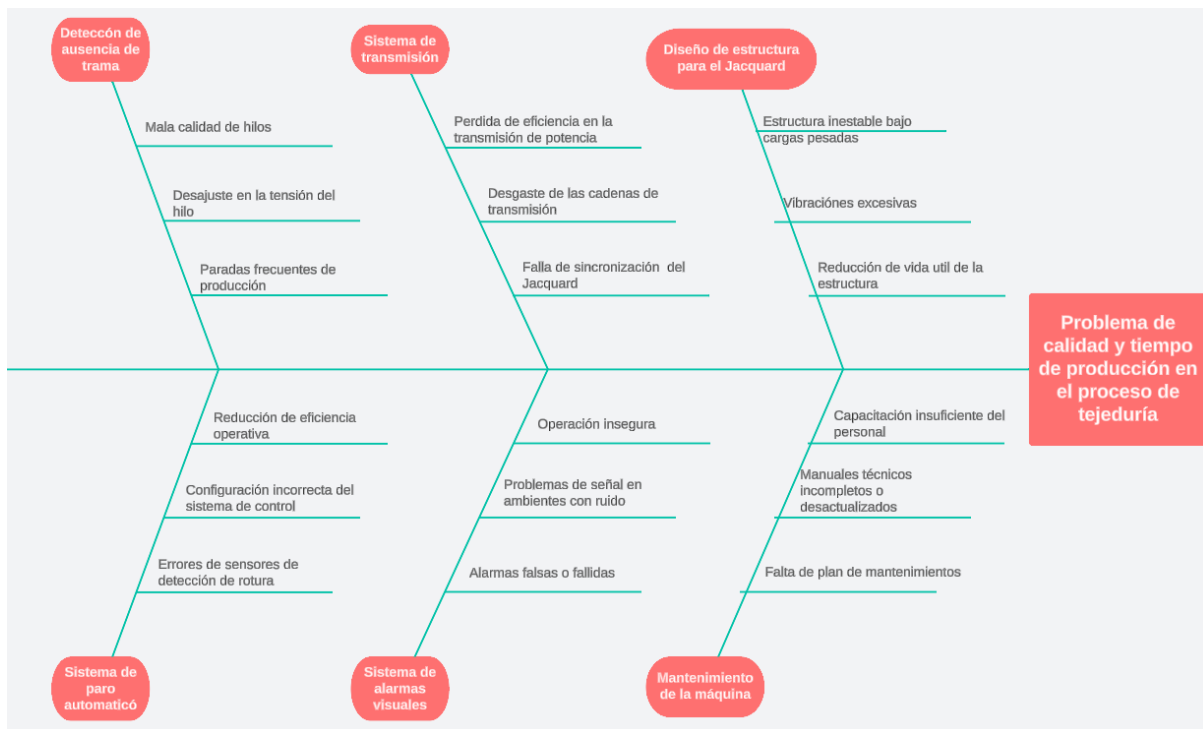


Figura 11. Diagrama de causa-efecto

2.2 Operacionalización de las variables

Para optimizar el proceso de tejeduría en la máquina de lanzadera y garantizar un acabado de alta calidad en la producción textil, es fundamental controlar con precisión las variables críticas del sistema. Estas variables están directamente relacionadas con el funcionamiento del Jacquard mecánico y su integración con el telar, permitiendo ajustes específicos para mejorar el desempeño general.

2.2.1 Ausencia de hilo de trama en la canilla

- **Definición:** Sistema compuesto por un sensor fotoeléctrico reflectivo que detecta una cinta catadióptrica ubicada en la canilla de la lanzadera que se refleja al vaciarse el bobinado de dicho elemento, permitiendo activar una señal para activar el sistema de freno automático.

- **Propósito del control:** Identificar canillas sin hilo de trama para reducir defectos en el tejido y minimizar el tiempo de inactividad, mejorando la eficiencia de producción.

2.2.2 Sistema mecánico de paro automático

- **Definición:** Mecanismo que detiene automáticamente el telar cuando se detecta una rotura en los hilos de urdimbre o trama.
- **Propósito del control:** Garantizar la calidad del tejido al evitar la continuidad de la operación en condiciones defectuosas. Este sistema incluye una valoración de alternativas para elegir la solución más efectiva.

2.2.3 Sistema de transmisión de potencia

- **Definición:** Mecanismo basado en cadenas que transfiere la potencia del motor principal del telar hacia el Jacquard.
- **Propósito del control:** Asegurar una transferencia de potencia estable y eficiente, eliminando desajustes y vibraciones. El control de la velocidad es fundamental para evitar desincronización entre el telar de lanzadera y el Jacquard.

2.2.4 Sistema de alarmas visuales de seguridad

- **Definición:** Conjunto de alarmas visuales que se activan ante una parada de la máquina.
- **Propósito del control:** Proteger al operador al alertar sobre condiciones de riesgo, reduciendo la probabilidad de accidentes y asegurando un entorno de trabajo seguro.

2.2.5 Diseño de estructura para el Jacquard

- **Definición:** Estructura metálica diseñada para sostener y estabilizar el cabezal Jacquard, asegurando su correcto posicionamiento.
- **Propósito del control:** Proveer una base sólida que permita alinear el Jacquard con los lisos del telar, garantizando un funcionamiento preciso y confiable.

2.3 Análisis de alternativas

En la Tabla 6 se evalúan las opciones de diseño para la implementación y diseño del Jacquard de manera que cumpla con los objetivos del proyecto para la mejora de calidad de producción y tiempo de operación.

Tabla 6. Alternativas de solución para mejora del funcionamiento del telar

Alternativas de solución para mejora del funcionamiento del telar	
Implementación de un sistema de transmisión de potencia eficiente	Consiste en la instalación de un sistema de transmisión por cadenas que conecte de manera óptima el motor al Jacquard. Seleccionando engranajes con base en su capacidad de minimizar pérdidas de energía y garantizar estabilidad en la operación.
Instalación de un sistema de detección de ausencia de trama en la canilla	Incorporación del sensor en un lugar estratégico del telar para que envíe la señal al PLC. Este sistema permitirá detener la máquina cuando exista rotura de trama.
Selección de perfil para la estructura del Jacquard	Implica seleccionar el tipo de perfil, como perfil I, tubo cuadrado o correas G y C, asegurando que ofrezca resistencia y soporte las cargas estáticas del Jacquard, con el objetivo de optimizar la vida útil de la estructura.
Adopción de un sistema mecánico de paro automático del telar	Integración de un sistema paro automático que permita el paro de máquina ante fallas. Este sistema automático busca evitar la continuidad de la operación en condiciones defectuosas.
Incorporación de sistemas alarmas visuales de seguridad	Se propone la implementación de controles de seguridad que garanticen un entorno seguro. Como alarmas visuales, dispositivos de emergencia.

2.4 Cuadros comparativos de Selección de alternativas

Este análisis permite comparar diversas alternativas para abordar los desafíos relacionados con el diseño e implementación del Jacquard en el telar. Su propósito es cumplir de manera eficiente con los requerimientos del proyecto, garantizando el correcto funcionamiento del sistema de paro de emergencia y el control automático, además de asegurar que la estructura soporte adecuadamente las cargas estáticas del Jacquard. Todo esto, buscando optimizar los costos de fabricación. Entre las opciones evaluadas se incluyen el diseño de un sistema de paro

automático, el desarrollo de una estructura adecuada, la mejora de componentes existentes y la posibilidad de subcontratar ciertos procesos de fabricación para este tipo de maquinaria.

2.4.1 Análisis de estrategias operativas para la implementación del sistema Jacquard en el telar de lanzadera

En la Tabla 7 se observa un cuadro comparativo sobre las alternativas de estrategias operativas para la implementación de un Jacquard y optimización del telar en el proceso de tejeduría y el costo estimado de dicha opción.

Tabla 7. Comparativo de estrategias operativas para la implementación del Jacquard

Alternativas	Definición	Costo Estimado
Mantenimiento y reparación	Realizar mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el óptimo funcionamiento del telar de lanzadera y Jacquard. Incluye inspección de motor, lubricación general del equipo, transmisión de potencia y revisión de componentes eléctricos.	\$200
Actualización de componentes	Modernizar la máquina con un nuevo sistema de detección de urdimbre, sistema de paro automático y contador de metros del producto para un mejor rendimiento en la calidad textil.	\$1,000
Subcontratación del equipo	Alquilar el uso de la maquinaria y espacio del taller a una empresa externa especializada en tejidos textiles, de manera temporal o permanente.	\$25 por hora

El precio estimado para mantenimiento y reparación es de \$200, Este enfoque garantiza la operación continua y eficiente de la maquinaria a lo largo del tiempo, reduciendo fallas y evitando los costos elevados asociados con la adquisición de una nueva máquina. Además, este plan proporciona flexibilidad y control sobre el proceso de tejeduría, permitiendo la creación de programas de mantenimiento adaptados a las necesidades específicas del operador. Como resultado, se mejora significativamente la fiabilidad del equipo y se minimizan los riesgos relacionados con tiempos de inactividad no planificados, optimizando tanto la productividad como la eficiencia operativa.

2.4.2 Análisis de alternativas para el diseño de estructura del Jacquard

La selección del tipo de perfil para la máquina asegura la resistencia y soporte a las cargas estáticas del Jacquard, con el objetivo de optimizar la vida útil de la estructura.

Se detalla a continuación en la Tabla 8, las características de las alternativas del perfil para la estructura del Jacquard.

Tabla 8. Característica de alternativas de perfil para la estructura

ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Perfil G	Perfil IPE	Tubo cuadrado
Fabricación por DIPAC	Fabricación por DIPAC	Fabricación por DIPAC
Material ASTM A36	Material ASTM A 572 grado 50	Calidad SAE J 403 1008
Norma NTE INEN-1623	Norma RTE INEN 018	Norma NTE INEN 2415
Espesor desde 2 a 12 milímetros	Disponible en IPE 80 a 500 milímetros	Disponible de 20 a 100 milímetros
Disponible en el mercado nacional	Disponible en el mercado nacional	Disponible en el mercado nacional
Bajo costo (Cotización en DIPAC MANTA)	Medio costo (Cotización en DIPAC MANTA)	Medio costo (Cotización en DIPAC MANTA)

En la Tabla 9, se detallan los parámetros de evaluación ante las alternativas que se evalúan en la escala del 0 al 5 para la estructura del Jacquard.

Tabla 9. Parámetros de evaluación para la estructura del Jacquard

Parámetros de evaluación	ALTERNATIVAS	VALORACIÓN
Complejidad en el montaje	Requiere mayor tiempo de ensamblaje para ajustes	0
	Menor tiempo de ensamblaje sin herramientas adicionales	5
Disponibilidad	Requiere importar el producto	0
	Disponibilidad en el mercado local	5

Estabilidad estructural	Inestabilidad de instalación y alto riesgo de accidentes	0
	Ajuste rápido y alta seguridad de instalación	5
Durabilidad	Baja resistencia mecánica del material	0
	Alta resistencia mecánica, sin riesgo de accidentes	5
Precio en el mercado local	Alto costo	0
	Bajo costo	5

En la Tabla 10, se realiza el cuadro comparativo de las alternativas disponibles para la construcción de la estructura, de acuerdo con los parámetros de evaluación.

Tabla 10. Cuadro comparativo de alternativas para perfil de estructura

N	Factores	Perfil G	Perfil IPE	Tubo cuadrado
1	Complejidad	1	3	3
2	Disponibilidad	3	4	4
3	Versatilidad	2	4	4
4	Durabilidad	3	5	4
5	Precio en el mercado local	5	3	3
	Sumatoria	14	19	18
	Índice porcentual	0.56	0.76	0.72
	Orden de selección	56%	76%	72%

El perfil IPE de acuerdo con el análisis realizado, presenta el índice de desempeño más alto de 76 %, siendo la alternativa más adecuada para la construcción de la estructura de soporte del sistema Jacquard. Este perfil ofrece un alto valor de límite de fluencia, módulo de resistencia, a flexión y compresión, adecuada para soportar el peso del cabezal Jacquard y resistir las cargas dinámicas inducidas durante la operación del telar.

2.4.3 Selección del material

La viga IPE de acero ASTM A 572 GR50 es un material altamente resistente y versátil, ampliamente utilizado en aplicaciones estructurales exigentes. Este tipo de acero se distingue

por su excelente capacidad de carga y su facilidad para ser moldeado y adaptado a diversas configuraciones. Gracias a su equilibrio entre durabilidad, resistencia y eficiencia en costos, es una opción ideal para estructuras que requieren un soporte confiable y robusto. Su diseño optimizado y propiedades mecánicas superiores lo convierten en una solución efectiva para tolerar los requerimientos del proyecto a largo plazo. En la Figura 12, se observa la viga IPE.



Figura 12. Viga IPE [13]

En la Tabla 11, se observa las propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A572 GR 50.

Tabla 11. Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A572 GR 50

Propiedades	Características
	Densidad: 7.85 g/cm ³
Física	Conductividad térmica: 50 W/m·K a 25 °C
	Módulo de elasticidad: 200 GPa
	Resistencia a la tracción: 485 MPa
Mecánica	Límite de fluencia: 345 MPa
	Alargamiento: 18 – 21 %
	0.23% C
	1.35% Mn
Química	0.04%P
	0.05% S
	0.15 - 0.40% Si

La Figura 13, muestra las medidas estándar de las vigas IPE disponibles en el mercado, que varían en tamaño y grosor, adaptándose a las necesidades específicas de cada aplicación.



DENOMINACIÓN	DIMENSIONES					PROPIEDADES					
	h	b	t	e	R	ÁREA SECCIÓN cm ²	PESOS kg/mts	INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENCIA (cm ³)	
	mm	mm	mm	mm	mm			Eje x-x	Eje y-y	Eje x-x	Eje y-y
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPE 160	160	82	5.00	7.40	7	20.10	15.80	869	68.30	109.00	16.70
IPE 200	200	100	5.60	8.50	9	28.50	22.40	1940	142.00	194.00	28.50
IPE 220	220	110	5.90	9.20	9	33.40	26.20	2770	205.00	252.00	37.30
IPE 240	240	120	6.20	9.80	12	39.10	30.70	3890	284.00	324.00	47.30
IPE 300	300	150	7.10	10.70	15	53.80	42.20	8360	604.00	557.00	80.50
IPE 400	400	180	8.60	13.50	118	84.50	63.30	23130	1320.00	1160.00	146.00
IPE 450	450	190	9.40	14.60	21	98.80	77.70	33740	1680.00	1500.00	176.00
IPE 500	500	200	10.20	16.00	21	116.00	90.70	48200	2140.00	1930.00	214.00

Figura 13. Especificaciones técnicas de la viga IPE de acero ASTM A 572GR 50 [13]

2.4.4 Análisis de alternativas para el sistema de transmisión

La transmisión es el mecanismo que transfiere la potencia desde el motor hasta el Jacquard, y su diseño afecta directamente la eficiencia del movimiento, la pérdida de energía y la durabilidad del sistema. En la Tabla 12, se realiza una descripción de la alternativa para el sistema de transmisión para la máquina.

Tabla 12. Característica de alternativas de sistemas de transmisión

ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Transmisión por cadena	Transmisión por poleas y correas
Transmisión sin deslizamiento	Deslizamiento en altas cargas
Instalación compleja	Fácil instalación
Disponibile en el mercado local	Disponibile en el mercado local
Alto costo	Bajo costo

En la Tabla 13, se detallan los parámetros de evaluación ante las alternativas que se evalúan en la escala del 0 al 5 para el sistema de transmisión.

Tabla 13. Parámetros de evaluación para el sistema de transmisión

Parámetros de evaluación	ALTERNATIVAS	VALORACIÓN
	Genera pérdida de velocidad	0
Precisión de transmisión	Excelente precisión, mantiene velocidad constante sin variaciones	5
	Requiere desmontaje completo para ajustes	0
Versatilidad	Ajuste rápido y sencillo sin herramientas adicionales	5
	Produce mucho ruido y vibraciones que afectan el proceso	0
Ruido y vibración	Operación muy silenciosa y sin vibración perceptible	5
	Menor vida útil en condiciones moderadas	0
Vida útil	Larga vida útil en condiciones elevadas y exigentes	5
	Piezas difíciles de conseguir y de alto costo	0
Disponibilidad de repuesto	Piezas fácilmente disponibles y a bajo costo	5

En la Tabla 14, se observa el cuadro comparativo de las alternativas de sistema de transmisión, de acuerdo con los parámetros de evaluación.

Tabla 14. Cuadro comparativo de alternativas de sistema de transmisión

N	Factores	Transmisión por cadena	Transmisión por poleas y correas
1	Precisión de transmisión	5	3
2	Versatilidad	3	4
3	Ruido y vibración	2	4
4	Vida útil	5	2

5	Disponibilidad de repuestos	4	4
	Sumatoria	19	17
	Índice porcentual	0.76	0.68
	Orden de selección	76%	68%

De acuerdo con el análisis presentado en la Tabla 14, el sistema de transmisión por cadena obtiene la puntuación más alta del 76 %, destacándose principalmente en los factores de transmisión fija y sincronización angular precisa. Además, posee una alta resistencia al desgaste por fricción y fatiga por carga cíclica.

2.4.5 Análisis de alternativas para el sistema mecánico de paro automático

El sistema de paro automático ante detección de errores de máquina o del operador determina la calidad del producto final. A continuación, se detalla en la Tabla 15, las características de alternativas del paro automático.

Tabla 15.Característica de alternativas del sistema mecánico de paro automático

ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Actuador lineal eléctrico EPCO	Mecanismo de leva y seguidor
Fabricación por Festo	Fabricación local
Carrera desde 30 mm	Carrera deseada en función del diseño de la leva
Accionado por motor integrado a la misma estructura	Accionamiento por servomotor acoplado a la leva
Canilla de rodamiento por bolas giratorio	Deslizador lineal por bolas
Requiere fuente de alimentación externa	Requiere fuente de alimentación externa
Construido en aluminio	Construido en aluminio Canilla de acero inoxidable
Producto importado	Disponible en el mercado nacional
Elevado costo Bajo costo (Cotización en Ecuainsetec S.A.)	Bajo costo Manufactura local

En la Tabla 16, se detallan los parámetros de evaluación ante las alternativas que se evalúan en la escala del 0 al 5 para el sistema de paro automático.

Tabla 16. Parámetros de evaluación para el sistema de paro automático

Parámetros de evaluación	ALTERNATIVAS	VALORACIÓN
	Genera pérdida de velocidad	0
Precisión de transmisión	Excelente precisión, mantiene velocidad constante sin variaciones	5
Disponibilidad	Difícil de encontrar, poca disponibilidad	0
	Fácil de encontrar a nivel local	5
Versatilidad	Requiere desmontaje completo para ajustes	0
	Ajuste rápido y sencillo sin herramientas adicionales	5
Durabilidad	Menor vida útil en condiciones moderadas	0
	Larga vida útil en condiciones elevadas y exigentes	5
Disponibilidad de repuesto	Piezas difíciles de conseguir y de alto costo	0
	Piezas fácilmente disponibles y a bajo costo	5

La Tabla 17, se observa el cuadro comparativo de las alternativas para el paro automático, de acuerdo con los parámetros de evaluación.

Tabla 17. Cuadro comparativo de alternativas para el sistema mecánico del paro automático

N	Factores	Actuador lineal Festo	Leva y seguidor
1	Precisión de transmisión	4	3
2	Disponibilidad	3	5
3	Versatilidad	4	4
4	Durabilidad	5	4
5	Disponibilidad de repuesto	2	4
	Sumatoria	18	20
	Índice porcentual	0.72	0.8
	Orden de selección	72%	80%

De acuerdo con el análisis comparativo presentado en la Tabla 17, el sistema leva-seguidor obtuvo la mayor puntuación de 80 %, posicionándose como la opción más eficiente para el mecanismo de paro automático en el telar de lanzadera. Su selección responde a ventajas técnicas clave: transmisión directa del movimiento, alta precisión de ajuste, fabricación local y bajo costo.

Este mecanismo transforma el movimiento rotacional de la leva en desplazamiento lineal del seguidor, lo que permite una activación confiable del paro automático ante condiciones específicas del proceso como se observa en la Figura 14. Además, frente a soluciones más complejas como los actuadores lineales eléctricos, el sistema leva-seguidor presenta una mejor relación costo-beneficio, mantenimiento sencillo y una implementación estructural más accesible, lo cual optimiza la funcionalidad general del sistema.

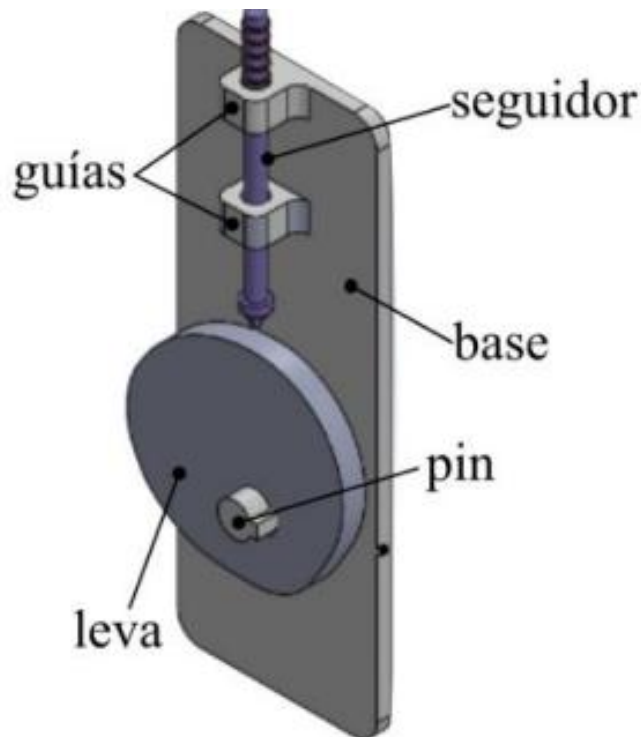


Figura 14. Leva-seguidor [14]

2.4.6 Análisis de alternativas para el controlador lógico programable

El controlador lógico programable es importante en la integración del proyecto, ya que se encarga de procesar la información proveniente de los sensores y enviar respuesta a los actuadores. En la Tabla 18, se observa las alternativas de los controladores lógicos programables.

Tabla 18. Característica de alternativas del controlador lógico programable

Características	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Modelo	Siemens LOGO! 230 RC	Panasonic FP-XH
Tensión de entrada	115 a 230 V AC	100 a 240 V CA
Software de programación	LOGO!Soft Comfort V7.1.5	FPWIN GR
Entradas digitales	8 a 115 V DC	8 a 24 V CC
Salidas digitales	4	6
Tipo de salida	Relé	Relé

En la Tabla 19, se detallan los parámetros de evaluación ante las alternativas que se evalúan en la escala del 0 al 5 para el sistema de control.

Tabla 19. Parámetros de evaluación del controlador lógico programable

Parámetros de evaluación	ALTERNATIVAS	VALORACIÓN
Fuente de alimentación	No proporciona alimentación para sensores o periféricos	0
	Incluye fuente de 24 V DC para alimentar sensores	5
Versatilidad	Limitado para aplicaciones básicas	0
	Incluye funciones avanzadas	5
Capacidad de expansión	No posee ampliación para módulos	0
	Compatible con módulos adicionales	5
Durabilidad	Menor vida útil en condiciones estándar	0
	Muy robusto, adecuado para ambientes industriales estándar	5
Precio	Mas costoso debido a importación	0
	Mas económico y accesible en el mercado local	5

La Tabla 20, se observa el cuadro comparativo de las alternativas del controlador lógico programable, de acuerdo con los parámetros de evaluación.

Tabla 20. Cuadro comparativo de alternativas del controlador lógico programable

N	Factores	Siemens LOGO! 230 RC	Panasonic FP-XH
1	Fuente de alimentación	1	5
2	Versatilidad	4	4
3	Capacidad de expansión	5	5
4	Durabilidad	5	5
5	Precio	3	4
	Sumatoria	18	23
	Índice porcentual	0.72	0.92
	Orden de selección	72%	92%

El controlador lógico programable, Panasonic FP-XH, muestra una mayor valoración en la Tabla 20, debido a que incluye una fuente de 24V DC para la alimentación de otros elementos electrónicos, número de entradas y salidas digitales requeridas para la conexión del circuito eléctrico, capacidad de expansión, durabilidad y precio.

Además, es el cerebro para desarrollar este proyecto, encargado de procesar el algoritmo de acuerdo con las funciones requeridas. A continuación, se detallan en la Tabla 21, sus principales especificaciones técnicas del PLC Panasonic FP-XH.

Tabla 21. Especificaciones técnicas del PLC Panasonic

Categoría	Especificaciones
Marca	Panasonic FP-XH
Modelo	AFPXHC14R
Entradas digitales	8 (24 VDC)
Salidas digitales	6 (relevadores, 250 VAC/2 A o 30 VDC/2 A)
Procesador y Velocidad	Procesador de alta velocidad Ciclo de escaneo 0.32 μ s por instrucción básica
Capacidades de Expansión	Soporta módulos adicionales para expandir entradas y salidas

	Compatibilidad con módulos RS232C y RS485
	Compatibilidad con módulos RS232C y RS485
Programación	Software FPWIN Pro
Fuente de alimentación	24 V DC

En la Figura 15 se observa el PLC Panasonic modelo FP-XH C14R, salida tipo relé.



Figura 15. Panasonic FP-XH, modelo AFPXHC14R [15]

2.5 Selección de componentes eléctricos

- **Selección del contactor**

El contactor es un dispositivo electromecánico utilizado para conectar o desconectar un circuito de manera remota, como se observa en la Figura 16.

Requerimientos técnicos:

- **Marca:** Contactores de la serie LCID de Chint.
- **Corriente nominal:** 9 A.
- **Tensión nominal:** 220 V AC.
- **Potencia soportada:** Hasta 2.2 KW.
- **Bobina:** 220 V AC.
- **Montaje:** Carril DIN.



Figura 16. Contactor [16]

- **Selección de guardamotor**

El guardamotor se utiliza para proteger el motor contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas de fase que pueden causar daños. Actúa interrumpiendo el suministro eléctrico al motor si detecta corrientes superiores al umbral configurado o condiciones anormales en el circuito, como se aprecia en la Figura 17.

Requerimientos técnicos:

- **Marca:** Chint o LS modelo MMS-32S.
- **Rango de corriente:** 4 a 6 A.
- **Tensión de operación:** 690 V.
- **Potencia soportada:** Curva estándar para motores.
- **Bobina:** 220 V AC.
- **Montaje:** Carril DIN.



Figura 17. Guardamotor [16]

- **Final de carrera**

Es un interruptor mecánico que se utiliza para detectar el límite físico de movimiento de un componente como se observa en la Figura 18. En este caso, se empleará para detectar la posición de la leva y la palanca de freno del telar de lanzadera.

Requerimientos técnicos:

- **Marca:** SPDT.
- **Capacidad de corriente:** 0.6 a 250 V AC.
- **Actuador:** Palanca de rodillo.
- **Bobina:** 110 V AC.
- **Tipo de contacto:** Normalmente cerrado (NC) y normalmente abierto (NO).



Figura 18. Final de carrera [17]

- **Pulsadores de control**

Son los componentes que permitirán el encendido y apagado manual de la máquina, así como también el botón de paro de emergencia, permitiendo la detención inmediata de la máquina en caso de una situación peligrosa o inesperada como se observa en la Figura 19.

Requerimientos técnicos:

- **Modelo:** Pulsadores CAMSCO metálico simple.
- **Tensión nominal:** 220 VAC.
- **Corriente nominal:** 5 A.
- **Material:** Plástico con contactos de latón.
- **Tipo de contacto:** No (START) y NC (STOP).

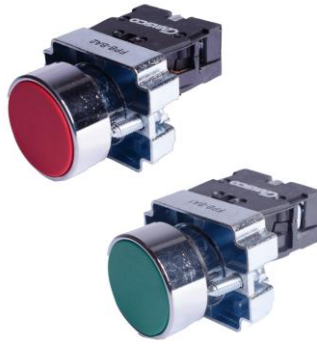


Figura 19. Pulsadores genéricos [18]

- **Luces piloto**

Son indicadores visuales que permiten supervisar el estado operativo de la máquina, mostrando si está encendida, apagada o si presenta alguna falla, como se aprecia en la Figura 20. Estas luces facilitan una rápida identificación del estado del sistema, mejorando la seguridad y el control durante su funcionamiento.

Requerimientos técnicos:

- **Modelo:** Luz piloto rojo ND16 – 22D de marcas como CHINT.
- **Tensión nominal:** 220 VAC.
- **Corriente nominal:** 20 mA.
- **Material:** Plástico.
- **Tipo de contacto:** Terminales de tornillo.



Figura 20. Luces piloto [18]

2.6 Cálculos y selección de elementos mecánicos y electrónicos

Se describen los cálculos necesarios para seleccionar los componentes mecánicos y electrónicos, asegurando que la máquina cumpla con los requerimientos técnicos específicos. También se incluye un análisis detallado de las simulaciones realizadas para validar el comportamiento de los elementos clave, garantizando la viabilidad técnica del proyecto.

2.6.1 Cálculo de torque del motor para accionamiento del mecanismo leva seguidor

Para determinar la fuerza de palanca del freno del telar, es fundamental calcular previamente la fuerza de rozamiento. En el caso del seguidor de la leva, este se desplaza axialmente dentro de un rodamiento lineal por bolas LM8UU, diseñado para minimizar la fricción entre ambos componentes. Este diseño tiene como objetivo reducir al máximo la carga adicional sobre el motor que acciona el mecanismo.

La fuerza de rozamiento generada entre el seguidor de la leva y el deslizador lineal por bolas se determina aplicando la ecuación 1. Cabe destacar que ambos elementos están fabricados en acero, lo que contribuye a su durabilidad y eficiencia en condiciones de operación.

$$F_r = \mu_s \cdot m \cdot g \quad Ec (1)$$

Donde:

- F_r : Fuerza de rozamiento [N].
- μ_s : Coeficiente de rozamiento estático.
- m : Masa del seguidor [Kg].
- g : aceleración gravitacional $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 1.

- μ_s : 0.18.
- m : 0.010 [Kg].
- g : $9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]$.

$$F_r = 0.18 \cdot 0.010 \text{Kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_r = 0.0176 \text{ N}$$

Se prosigue a calcular el momento de fuerza aplicando la ecuación 2, para obtener el dato de fuerza que opone el freno se mide mediante un dinamómetro.

$$M_z = (F_f + F_r) \cdot d \quad Ec (2)$$

Donde:

- M_z : Momento de fuerza [Nm].
- F_f : Fuerza que opone el freno [N].
- F_r : Fuerza de rozamiento [N].
- d : distancia de brazo de palanca [m].

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 2.

- F_f : 3 [Kgf].
- F_r : 0.0176 [N].
- d : 0.06 [m].

$$M_z = (0.0176 N + 3Kgf) \cdot 0.06m$$

$$M_z = 0.181 Nm$$

$$M_z = 18.1 Kgf \cdot cm$$

El torque requerido para accionar el mecanismo de leva-seguidor es de 18.1 Kgf·cm. Por lo tanto, es imprescindible seleccionar un servomotor que cumpla con esta especificación técnica para realizar el movimiento lineal necesario y activar la palanca de freno del telar. Este valor es crucial para garantizar que el diseño del sistema satisfaga los requisitos operativos, asegurando el correcto funcionamiento del sistema de paro automático.

El servomotor seleccionado es el modelo FT5325M de 25 kilogramos/cm debido a su torque y engranajes metálicos internos como se aprecia en la Figura 21.



Figura 21. Servomotor FT5325M con engranaje metálico [19]

Además, el servomotor gira 180° , sin embargo, es necesario que rote 360° para que actúe como un motor DC on/off y se adecue a los requerimientos del sistema de freno automático en el telar. De tal manera, se procede a desmontar el mecanismo interno para eliminar la placa de control de giro para que el mecanismo gire sin limitaciones. Este resultado permite optimizar la estructura del mecanismo de leva y seguidor, asegurando que sean capaces de soportar las condiciones de trabajo en el taller artesanal “Tejidos Caymi”.

2.6.2 Cálculos y selección de elementos mecánicos

La estructura destinada a la instalación del Jacquard mecánico fue diseñada y fabricada utilizando vigas tipo IPE de acero ASTM A572 GR 50. Este material se seleccionó debido a su elevada resistencia mecánica frente a grandes cargas y su versatilidad para adaptarse a diferentes configuraciones de instalación. Para garantizar la estabilidad y seguridad del diseño, se realizó un cálculo detallado del factor de seguridad, considerando tanto el peso total de la máquina como los esfuerzos generados bajo las condiciones de carga previstas. Las dimensiones y especificaciones técnicas de la estructura se detallan en la Figura 22.

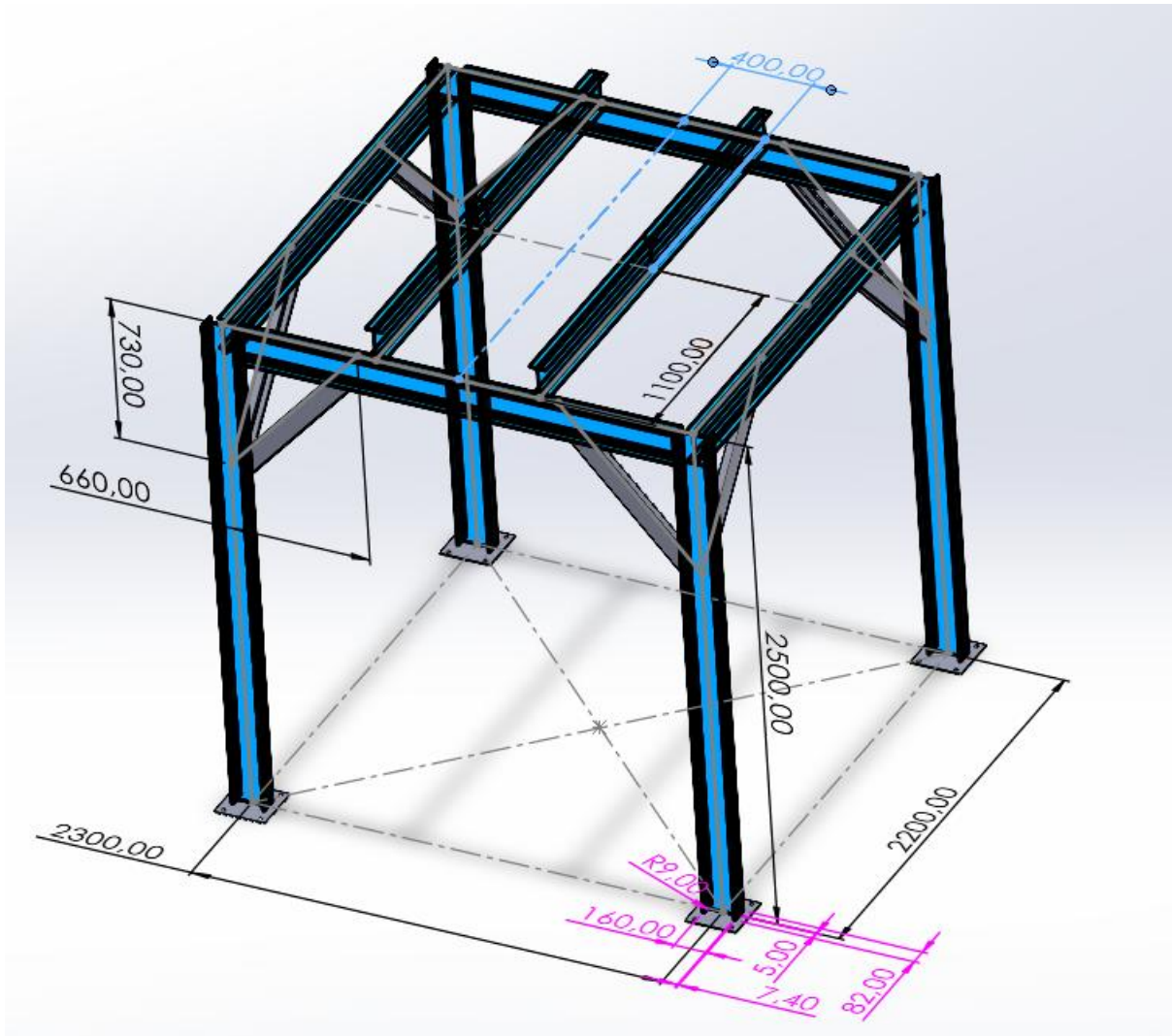


Figura 22. Croquis de la estructura para el Jacquard

Primeramente, se realiza una aproximación inicial del peso total de los elementos que conforman la estructura para el Jacquard mecánico. Este cálculo incluyó cada componente individual, considerando sus dimensiones y densidades, así como las fuerzas resultantes generadas por la suma de este peso en conjunto. Este análisis permitió obtener una estimación precisa de las cargas que la estructura deberá soportar, sirviendo como base para los cálculos posteriores de resistencia y factor de seguridad.

La masa lineal de la viga IPE 160 es de 15.80 kg/metro, de acuerdo con el dato obtenido del catálogo. Se emplean dos vigas de 2 metros como base de la máquina Jacquard. Mediante la ecuación 3, se simplifica unidades para determinar la masa de la viga.

$$m = \lambda * L \quad Ec (3)$$

Donde:

- **m**: Masa [Kg].
- **λ** : masa lineal $\left[\frac{kg}{m}\right]$.
- **L**: Longitud [m].

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 3.

- **λ** : 15.80 $\left[\frac{kg}{m}\right]$.
- **L**: 2 [m].

$$Masa_{viga} = 2 m * 15.80 kg/m = 31.6 kg$$

$$Masa_{total\ de\ vigas} = 31.6 kg * 2 vigas = 63.2kg$$

$$Masa_{aproximada} = 500 kg + Masa_{total\ de\ vigas}$$

$$Masa_{aproximada} = 500 kg + 63.2 kg = 563.2 kg$$

Dado que la masa aproximada de la máquina es de 563.2 kg, este se distribuye de manera uniforme entre dos puntos paralelos de apoyo que están en contacto directo con la estructura.

Donde:

$$Masa_{aproximada} = \frac{563.2 kg}{2} = 281.6kg$$

Se puede asumir que la fuerza aplicada se comporta como una carga puntual ubicada en el centro geométrico de la estructura, representando la concentración de peso en ese punto debido a la distribución uniforme de la masa. Se emplea la ecuación 4 para realizar el cálculo.

$$F = m * g \quad Ec (4)$$

Donde:

- **F**: Fuerza o Peso [N].
- **m**: Masa [Kg].
- **g**: aceleración gravitacional $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 4.

- m : 281.6 [Kg].
- g : 9.81 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

$$F = 281.6kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 2762.49N$$

Para analizar la capacidad estructural y verificar la resistencia de la viga seleccionada, se empleó el software MD Solids. Este permitió calcular el momento máximo de flexión generado por la carga puntual aplicada en el centro de la estructura. La simulación se basó en las características geométricas de la estructura y las condiciones de carga establecidas previamente.

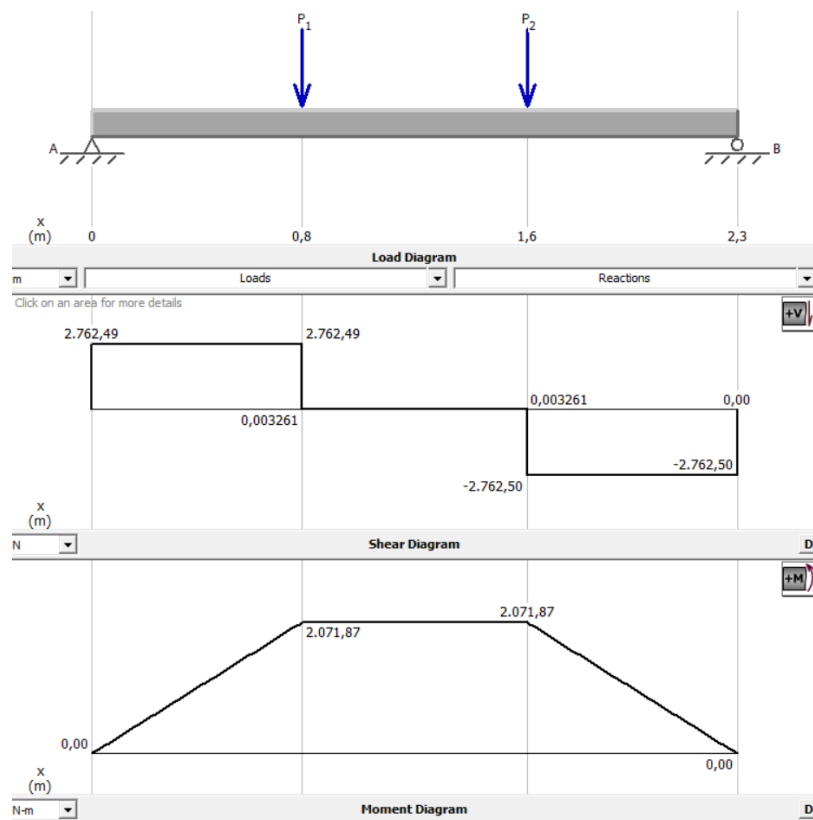


Figura 23. Diagrama de esfuerzos cortantes y momento máximo

Dado el valor del esfuerzo permisible calculado, se procede a calcular el módulo de sección (W) mediante la ecuación 5, ya que permite evaluar la resistencia de la viga seleccionada frente a los esfuerzos de flexión que se genera en la estructura.

$$W = \frac{M_{max}}{\tau_{ciz}} \quad Ec (5)$$

Donde:

- W : Módulo de sección [m^3].
- M_{max} : Momento cortante máximo [Nm].
- τ_{ciz} : Esfuerzo cortante permisible [Mpa].

Los datos conocidos son los siguientes y se reemplazan en la ecuación 5.

- M_{max} : 2071.87 [Nm].
- τ_{ciz} : 345 [Mpa].

$$W = \frac{2071.87 \text{ N.m}}{0.6(345 \times 10^6 \frac{N}{m^2})}$$

$$W = 10.009 \times 10^{-6} m^3$$

$$W = 10.009 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado el módulo de sección en el eje y-y (W_{y-y}), se procede a consultar el catálogo proporcionado por el proveedor para seleccionar la viga IPE que cumpla con los requisitos de diseño estructural. En este caso observamos los parámetros seleccionados en la Figura 24.



DENOMINACIÓN	DIMENSIONES					ÁREA SECCIÓN cm ²	PESOS kg/mts	PROPIEDADES			
	h mm	b mm	t mm	e mm	R mm			INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENCIA (cm ³) SECCIÓN	
								Eje x-x	Eje y-y	Eje x-x	Eje y-y
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPE 160	160	82	5.00	7.40	7	20.10	15.80	869	68.30	109.00	16.70
IPE 200	200	100	5.60	8.50	9	28.50	22.40	1940	142.00	194.00	28.50
IPE 220	220	110	5.90	9.20	9	33.40	26.20	2770	205.00	252.00	37.30
IPE 240	240	120	6.20	9.80	12	39.10	30.70	3890	284.00	324.00	47.30
IPE 300	300	150	7.10	10.70	15	53.80	42.20	8360	604.00	557.00	80.50
IPE 400	400	180	8.60	13.50	118	84.50	63.30	23130	1320.00	1160.00	146.00
IPE 450	450	190	9.40	14.60	21	98.80	77.70	33740	1680.00	1500.00	176.00
IPE 500	500	200	10.20	16.00	21	116.00	90.70	48200	2140.00	1930.00	214.00

Figura 24. Dimensiones de la viga IPE seleccionada

Para calcular la tensión máxima se emplea la ecuación 6. Se considera el módulo de resistencia a la flexión W_{x-x} de la viga IPE 160, de acuerdo con el parámetro seleccionado anteriormente.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} \quad Ec (6)$$

Donde:

- σ_{max} : Tensión máxima [MPa].
- **M**: Momento flector [Nm].
- **W**: Módulo de resistencia [m^3].

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 6.

- **M**: 2071.87 [Nm].
- **W**: 109.00 [cm^3].

$$\sigma_{max} = \frac{2071.87 \text{ N.m}}{109 \times 10^{-6} \text{ m}} = 19.007 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad mediante la ecuación 7, teniendo en consideración que el material de la viga es acero ASTM A572 GR 50 por lo que tiene una resistencia a la fluencia de $\sigma_y=345\text{MPa}$.

$$F.S. = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \quad Ec (7)$$

Donde:

- **F.S.**: Factor de seguridad.
- σ_y : Limite de fluencia del material [MPa].
- σ_{max} : Esfuerzo Cortante Máximo [MPa].

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 7.

- σ_y : 345 [MPa].
- σ_{max} : 19.007 [MPa].

$$F.S. = \frac{(345 \text{ Mpa})}{19.007 \text{ MPa}}$$

$$F.S. = 18.15$$

2.6.3 Simulación del análisis estativo para la estructura del Jacquard

La simulación se llevó a cabo en Solidworks para el estudio de la resistencia y estabilidad de la estructura que soportará el Jacquard como se aprecia en la Figura 25.

- Las placas base inferiores se definieron como elementos fijos.
- Se aplicaron fuerzas externas equivalentes al peso máximo aproximado que tendrá la máquina sobre las vigas horizontales superiores, distribuida con carga puntual.

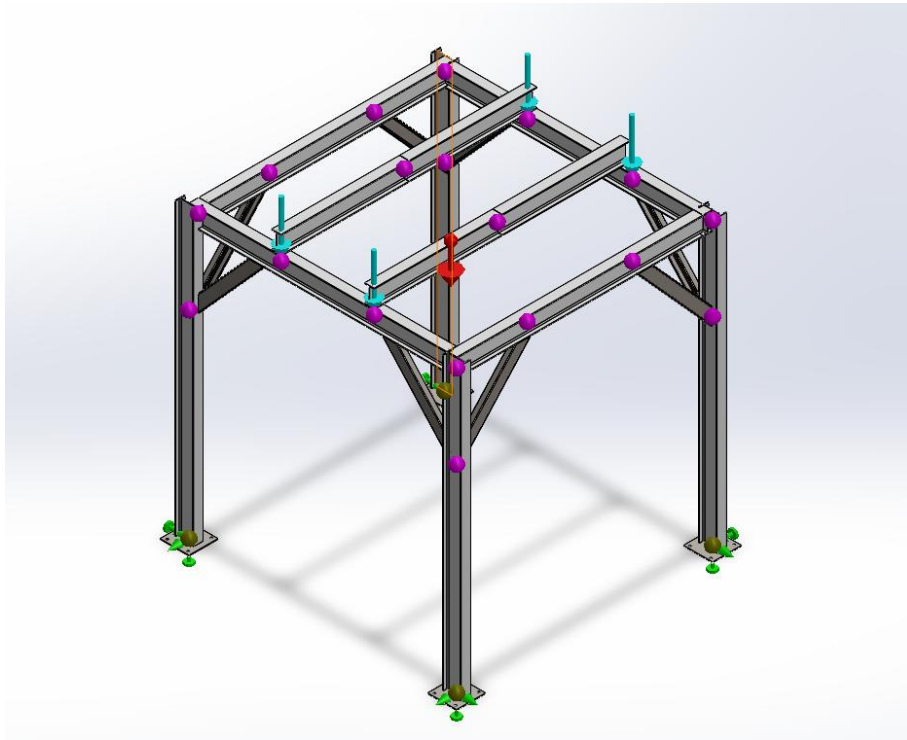


Figura 25. Relaciones de elementos fijos y fuerzas externas

2.6.4 Resultados de la simulación por esfuerzo (Von Mises)

El esfuerzo máximo alcanzado es de 4.447×10^5 N/m² (0.4447 MPa), valor significativamente inferior al límite de cedencia del acero ASTM A572 Grado 50, que es de 345 MPa. Esto indica que la estructura opera dentro de un rango elástico seguro, sin riesgo de deformación plástica. En la Figura 26 se observa la simulación del esfuerzo (Von Mises).

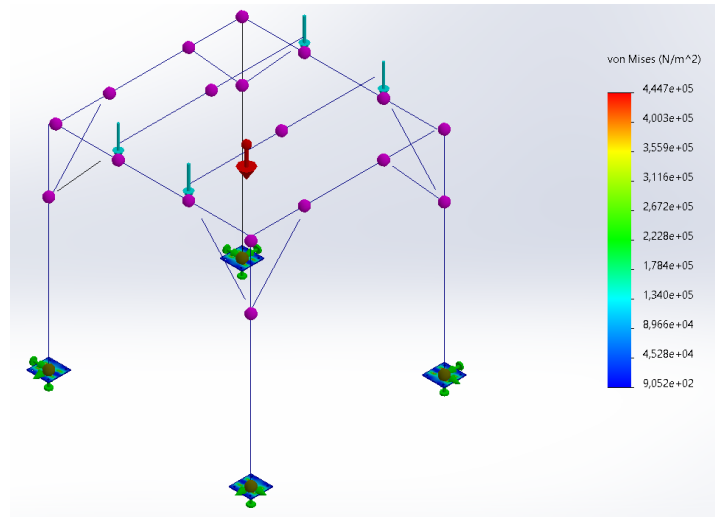


Figura 26. Simulación ubicación de cargas y puntos fijos

2.6.5 Resultados de la simulación por desplazamiento total

Tiene un valor máximo de 0,2092 mm por lo cual la deformación es mínima y dentro de los límites admisibles, asegurando el comportamiento estructural bajo las cargas aplicadas. En la Figura 27 se aprecia el desplazamiento total bajo cargas de la estructura del Jacquard.

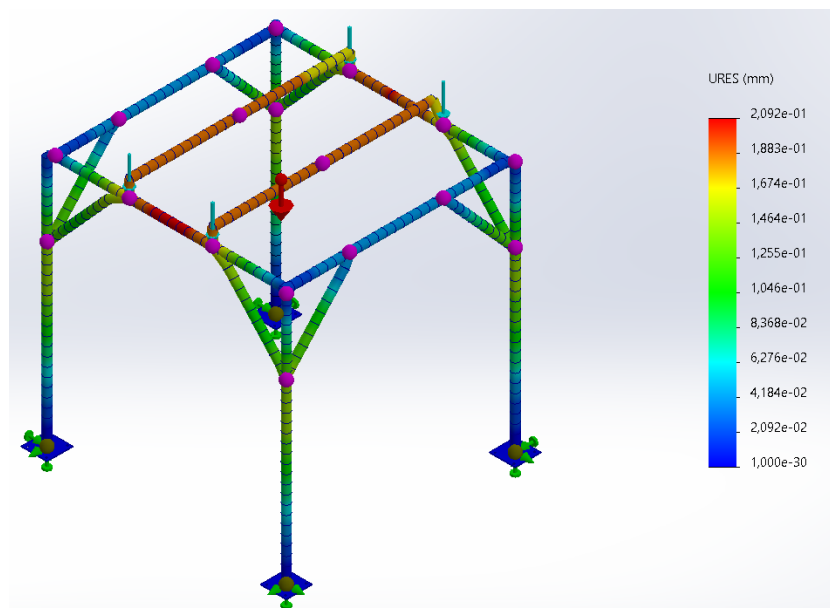


Figura 27. Simulación desplazamiento total bajo cargas

2.6.6 Resultados de la simulación del factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido mediante simulación fue de 16, mientras que el calculado analíticamente fue de 18.15, lo que evidencia una buena correlación entre ambos métodos. Esta concordancia confirma la validez de los cálculos realizados y garantiza que la estructura posee

un amplio margen de seguridad frente a las condiciones de carga máximas. En la Figura 28 se observa la simulación del factor de seguridad.

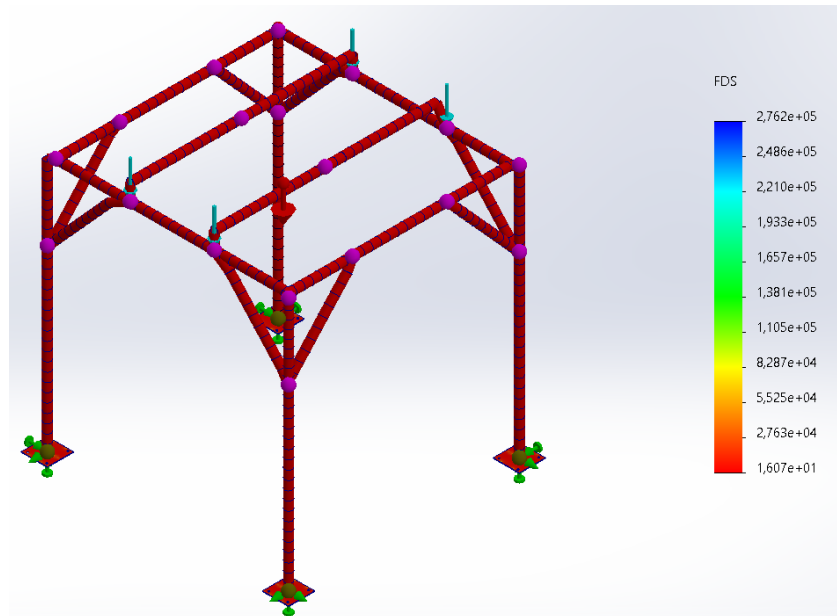


Figura 28. Simulación del factor de seguridad

2.6.7 Resultados de la simulación de fuerzas cortantes y momentos

En la Figura 29 se muestra la distribución de la fuerza cortante en la dirección 1, correspondiente a la aplicación de cargas horizontales. La gradiente de colores permite identificar las zonas con mayores concentraciones de esfuerzo cortante.

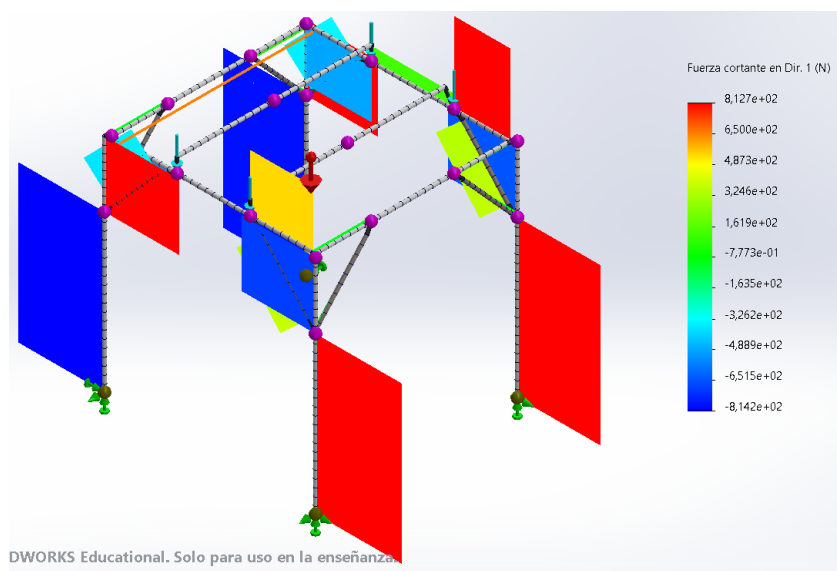


Figura 29. Fuerza cortante en dirección 1

En la Figura 30 presenta la fuerza cortante en la dirección 2, asociada a las cargas verticales. Los resultados evidencian cómo estas cargas afectan principalmente a las vigas superiores del pórtico, donde se concentra la transferencia de carga hacia los apoyos.

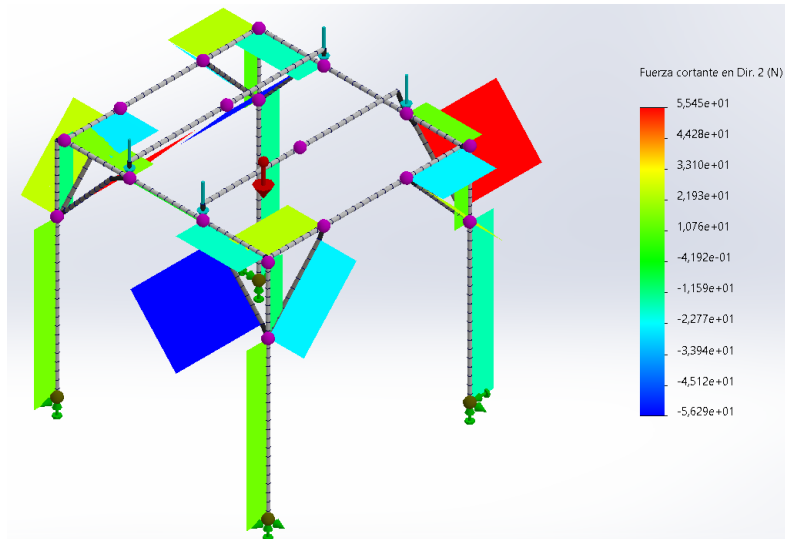


Figura 30. Fuerza cortante en dirección 2

La Figura 31 se observa la distribución de los momentos flectores generados por las cargas aplicadas. Esta representación permite identificar las regiones con mayor demanda interna, fundamentales para evaluar la rigidez estructural y el diseño resistente de los elementos.

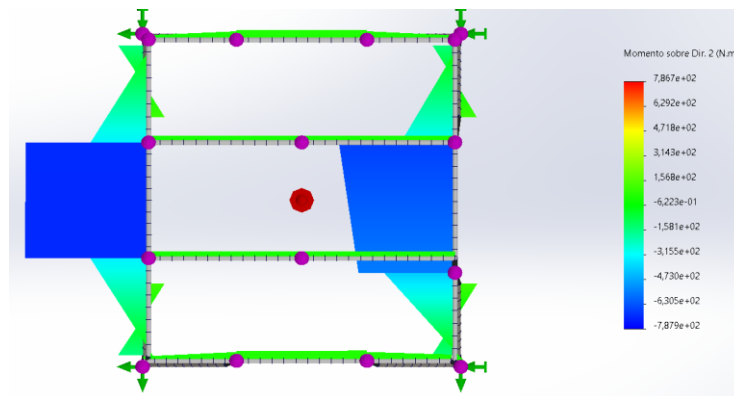


Figura 31. Representación del momento en las barras de la estructura

2.6.8 Cálculo del diámetro primitivo

En el cálculo del diámetro primitivo se utiliza la ecuación 8, que tiene en cuenta los diámetros del piñón conductor como también del piñón conducido.

- Diámetro de piñón conductor:

El paso de la cadena nos da en pulgadas de $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto, es necesario convertirlo a milímetros.

$$D_p = \frac{Z \times p}{\pi} \quad Ec (8)$$

Donde:

- **D_p**: Diámetro primitivo [mm].
- **Z**: Número de dientes.
- **p**: Paso de la cadena [mm].

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 8.

- **Z**: 20.
- **p**: $\frac{3}{4}$ ".

$$D_p = \frac{20 * (\frac{3}{4} * 25.4)}{\pi}$$

$$D_p = \frac{20 * (19.05)}{\pi}$$

$$D_p = 121.27 \text{ mm}$$

- Diámetro de piñón conducido:

Se emplea la ecuación 8, para conocer el diámetro del piñón conducido.

Donde:

- **Z**: 40.
- **p**: 19.05 [mm].

$$d_p = \frac{40 * 19.05}{\pi}$$

$$d_p = 242.55 \text{ mm}$$

2.6.9 Cálculo de longitud de la cadena

La distancia entre centros del piñón conductor y el piñón conducido es de 2.02 metros. Para conocer la longitud de la cadena para el sistema de transmisión de potencia se calcula con la ecuación 9.

$$L = 1.57(D_p + d_p) + 2C + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \quad Ec (9)$$

Donde:

- **L**: Longitud de una cadena de rodillos.
- **D_p**: Diametro primitivo del piñon conductor.
- **d_p**: Diametro primitivo del piñon conducido.
- **C**: Distancia entre centros.

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 9.

- **D_p**: 121.27 [mm].
- **d_p**: 242.55 [mm].
- **C**: 2020 [mm].

$$L = 1.57(121.27 \text{ mm} + 242.55 \text{ mm}) + 2 * 2020 \text{ mm} + \frac{(121.27 \text{ mm} - 242.55 \text{ mm})^2}{4 * 2020 \text{ mm}}$$

$$L = 4613.017 \text{ mm o } 4.61 \text{ metros}$$

El resultado obtenido es de 4.61 metros, longitud de la cadena necesaria para integrar el sistema de transmisión de potencia.

2.6.10 Cálculo de relación de transmisión y velocidad

Para determinar la velocidad de transmisión por cadena, es necesario determinar la relación de transmisión. Debido a que el sistema Jacquard poseía el piñon conducido de 40 dientes y como dato las revoluciones de la placa del motor del telar de 1710 rpm se procede a calcular la velocidad del piñon conducido y la relación de transmisión como se establece en la ecuación 10 y 11.

- La relación de transmisión **i**:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad Ec (10)$$

Donde:

- **i**: relación de transmisión.
- **Z₁**: Número de dientes del piñon motriz.
- **Z₂**: Número de dientes del piñon conducida.

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 10.

- **Z₁**: 20.

- **Z2:** 40.

$$i = \frac{Z2}{Z1} = \frac{40}{20} = 2$$

Para determinar la velocidad del piñón conducido se emplea la ecuación 11.

- Velocidad del piñón conducido N2:

$$N2 = N1 \left[\frac{Z1}{Z2} \right] \quad Ec (11)$$

Donde:

- **Z1:** Número de dientes del piñón motriz.
- **Z2:** Número de dientes del piñón conducida.
- **N1:** velocidad motriz [rpm].
- **N2:** velocidad conducida [rpm].

Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 11.

- **Z1:** 20.
- **Z2:** 40.
- **N1:** velocidad motriz [rpm].

$$N2 = 1710 \text{ rpm} \left[\frac{20}{40} \right]$$

$$N2 = 855 \text{ rpm}$$

2.6.11 Cálculo de análisis modal

Para evitar fallas de resonancia entre la estructura y el sistema de transmisión por cadena, se realiza un análisis de frecuencia natural.

$$f = \frac{1}{T} [s^{-1}, \text{Hz}] \quad Ec (12)$$

Donde:

- **f:** Frecuencia [Hz].
- **T:** Periodo [s].

La velocidad angular del sistema de transmisión por cadena es 855 rpm, la cual se convierte a Hertz (Hz) mediante la ecuación 12.

$$f = \frac{\text{rpm}}{60}$$

$$f = \frac{855 \text{ rpm}}{60} = 14.25 \text{ Hz}$$

Para evitar la resonancia, la frecuencia de excitación calculada debe estar al menos un 30% por encima de la frecuencia natural más cercana de la estructura para el Jacquard, siendo el factor de seguridad un margen de separación de frecuencia que se calcula mediante la ecuación 13.

$$F.S. = 30\% + f \quad Ec (13)$$

Donde:

- **F.S:** Factor de seguridad.
- **f:** Frecuencia [Hz].

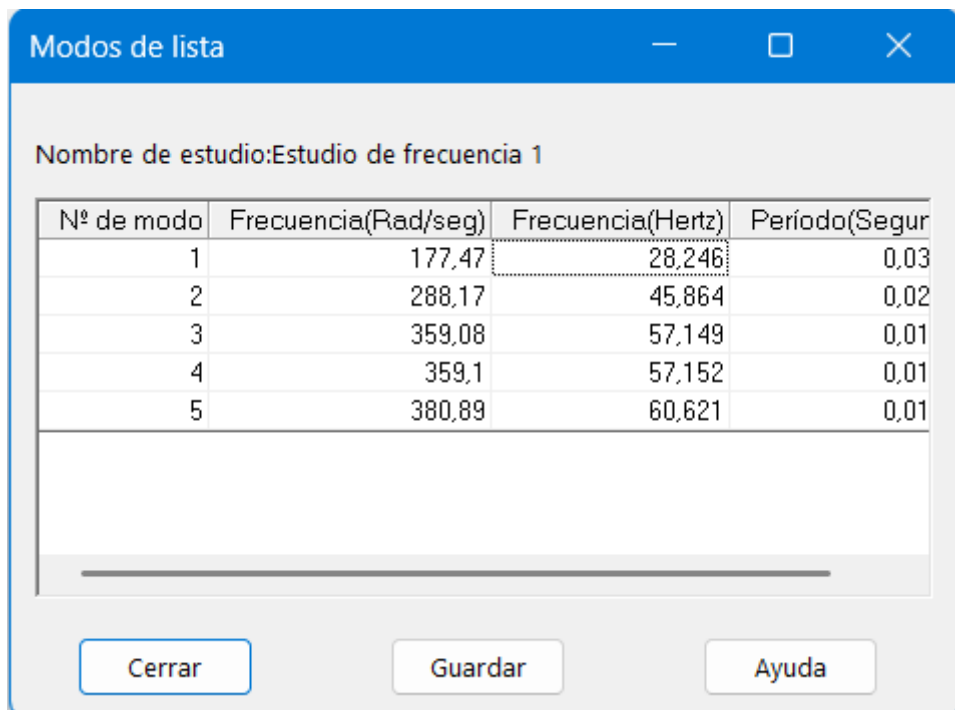
Los datos conocidos son los siguientes y se procede a reemplazarlos en la ecuación 13.

$$F.S = 30\% + 14.25 \text{ Hz} = 14.55 \text{ Hz}$$

El factor de seguridad aplicado el 30 % da como resultado 14.55 Hz.

2.6.12 Simulación de análisis modal

En la Figura 32 se aprecia los resultados de la simulación del análisis modal de la estructura.



Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segur)
1	177,47	28,246	0,03
2	288,17	45,864	0,02
3	359,08	57,149	0,01
4	359,1	57,152	0,01
5	380,89	60,621	0,01

Figura 32. Estudio de frecuencia de la estructura del Jacquard

La primera frecuencia natural crítica de la estructura es de 28.246 Hz, valor superior al factor de seguridad calculado de 14.55 Hz, lo cual indica que la estructura está fuera del rango de resonancia y, por tanto, es segura frente a vibraciones inducidas por el sistema de transmisión.

2.7 Programación final de control

En este paso se debe realizar la programación del proceso de control del telar de lanzadera en la cual se describe con lógica básica el funcionamiento de los sistemas integrados como se aprecia en la Figura 33.

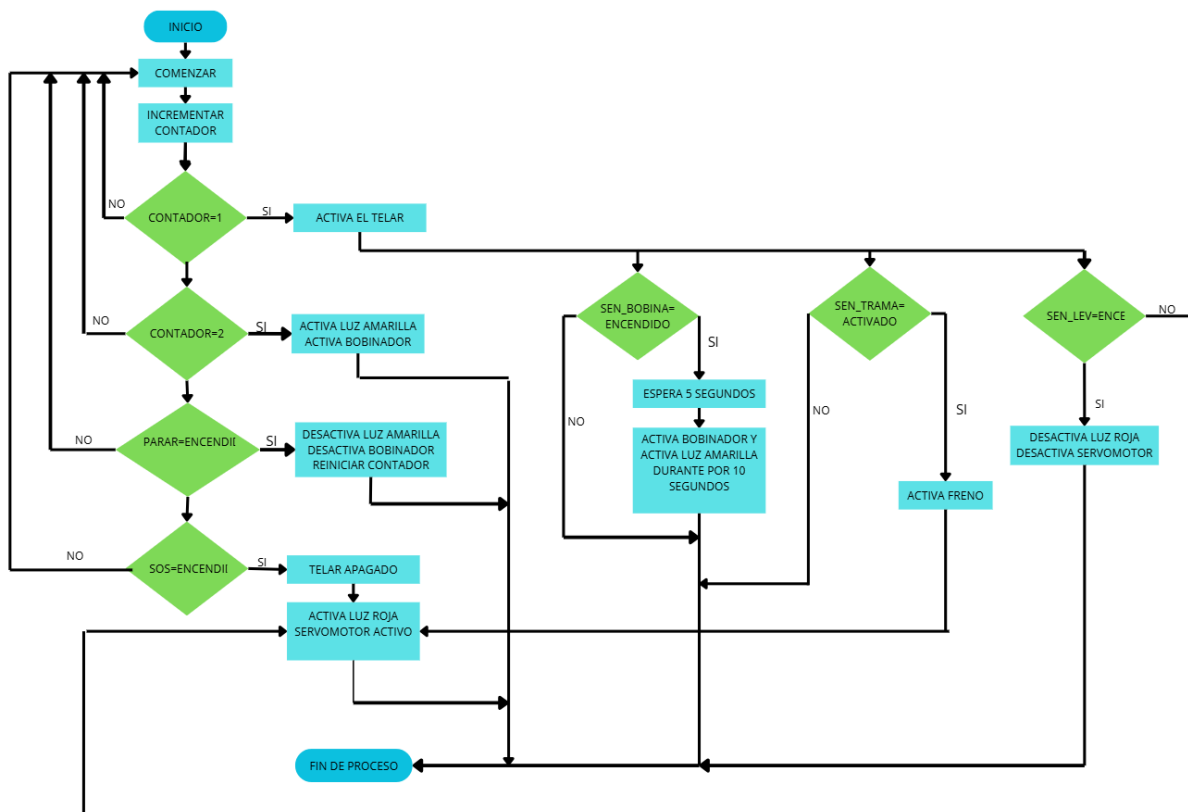


Figura 33. Diagrama de flujo del proceso de control del telar

En la programación de la botonera se adecúa de acuerdo con las necesidades del operador. Por ende, al presionar el botón de start, se activa el telar y simultáneamente la luz piloto verde, indicando el estado operativo. Además, se ha incorporado una funcionalidad para encendido manual del motor bobinador, útil en situaciones donde la calidad del hilo genera roturas inesperadas.

El botón de emergencia apaga el telar y se activa el freno del telar por seguridad, ya que ante un nuevo encendido de la máquina es necesario que el telar se encuentre con el freno activado para retomar el proceso de tejeduría.

Sin embargo, el encendido y apagado automático del motor bobinador se encuentra programado. Se detalla el proceso que consiste en esperar 5 segundos una vez detectada la cinta catadióptrica para que el operador pueda acoplar de forma segura el canilla en el porta canilla y después del lapso se enciende el motor bobinador durante 10 segundos y la luz piloto amarilla, el tiempo se estableció realizando las mediciones en que el canilla se llena hasta el nivel admitido en la lanzadera, al transcurrir el tiempo el motor bobinador y la luz piloto amarilla indicando finalización del proceso y se apaga.

Para la programación de detección de rotura de trama es necesario que el sensor detecte la cinta catadióptrica que detecta cuando el hilo en la canilla de lanzadera se termine. Una vez detectada se activa la luz piloto roja y el servomotor encargado de girar la leva y active el freno hasta que el sensor detecte el posicionamiento de la leva y desactive los dispositivos.

2.8 Diagrama del sistema eléctrico

Esta sección presenta los diagramas eléctricos correspondientes al sistema de potencia y control del telar de lanzadera, elaborados con base en los componentes seleccionados previamente. Ambos esquemas son fundamentales para comprender el funcionamiento integrado del sistema de automatización.

2.8.1 Diagrama de potencia

La Figura 34 muestra el diagrama del circuito de potencia, el cual incluye las protecciones y conexiones para el motor trifásico del telar marca Picañol, así como el motor monofásico encargado del sistema de bobinado de la canilla. En este esquema se identifican los elementos de protección (guardamotores y contactores) que garantizan la seguridad y confiabilidad de la operación de los motores.

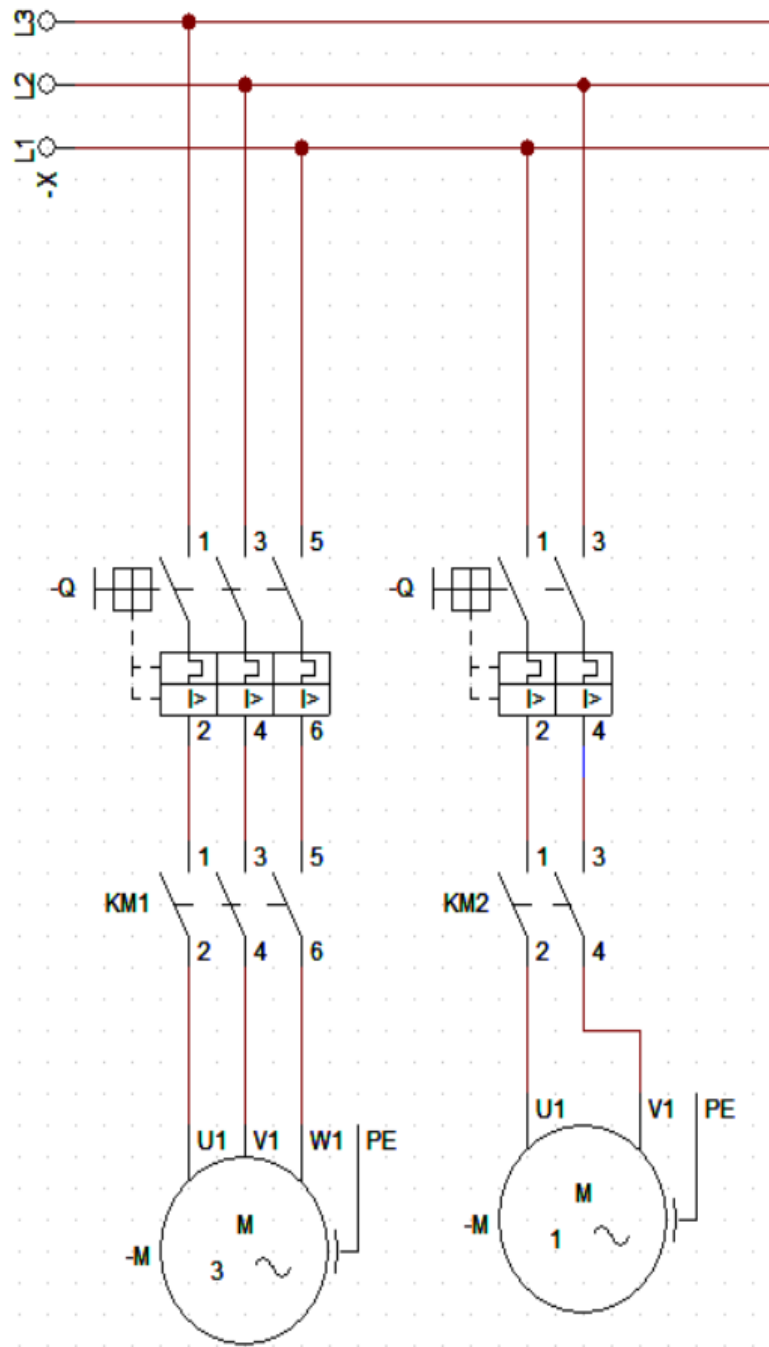


Figura 34. Diagrama eléctrico de potencia del telar de lanzadera

2.8.2 Diagrama de control

En la Figura 35 se presenta el diagrama de control que representa la lógica de funcionamiento automatizado del telar. Este esquema incluye las conexiones al PLC, sensores, botones de mando y actuadores, permitiendo el control secuencial del sistema. Para facilitar la comprensión del diagrama, en la Tabla 22 se describen las abreviaturas utilizadas para identificar cada componente del sistema de control.

Tabla 22. Especificaciones de las abreviaturas nombradas en el diagrama de control

Abreviatura	Descripción
START	Pulsador verde de encendido
STOP	Pulsador rojo de paro
SOS	Botón de emergencia
S_LEV	Final de carrera de la leva
S_TRA	Sensor fotoeléctrico de la trama de lanzadera
S_BOB	Sensor fotoeléctrico de la canilla para bobinado
KM1	Motor del telar de lanzadera
KM2	Motor de bobinado
L_RED	Luz piloto rojo
L_GRN	Luz piloto verde
L_YEL	Luz piloto amarillo

En la Tabla 22, se presentan 6 entradas digitales y 5 salidas digitales para realizar la respectiva conexión con el controlador lógico programable.

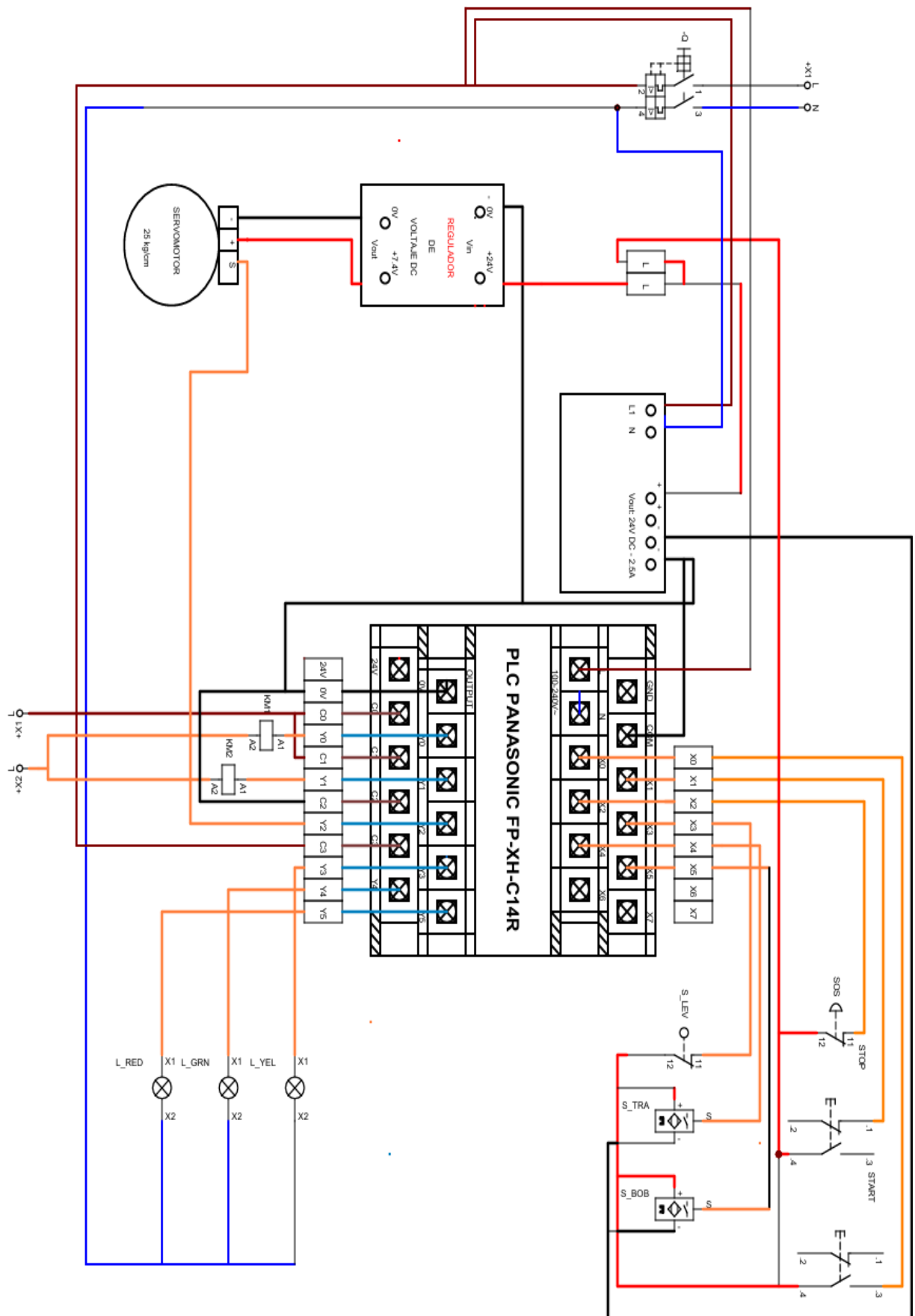


Figura 35. Diagrama eléctrico de control del telar de lanzadera

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA

En este capítulo se detalla la implementación práctica del sistema Jacquard aplicado al telar de lanzadera. Se analiza la situación actual de los procesos de tejeduría en talleres artesanales, destacando los principales problemas que enfrentan, tales como la falta de detección de fallas, eficiencia y seguridad.

También, constituye una base sólida para materializar la solución propuesta, combinando teoría y práctica para optimizar los procesos de tejeduría y mejorar la calidad de producción.

3. 1 Inspección técnica

En el taller artesanal “Tejidos Caymi”, los procesos de tejeduría son predominantemente manuales. Esta metodología limita significativamente la continuidad del trabajo y afecta la calidad del producto final. Los problemas más destacados de esta situación son los siguientes.

3.1.1 Baja eficiencia en el tiempo de producción

La ausencia de sistemas automáticos para detectar la rotura de urdimbre, rotura de trama y activar un freno inmediato ante dicho percance en los procesos de tejeduría aumenta los tiempos de producción y depende en gran medida de la habilidad del operador. La detección manual de una rotura de trama consume tiempo valioso y requiere atención inmediata, lo que genera tiempos muertos, interrupciones frecuentes y, como resultado, una disminución en la capacidad productiva. Esto afecta directamente la competitividad del taller, además de generar posibles retrasos en las entregas, lo que podría impactar negativamente en la satisfacción del cliente.

Como solución a este problema, se propone la instalación de un sistema de detección de ausencia de hilo de trama en la canilla de lanzadera. Este sistema incluye un sensor fotoeléctrico reflectivo y a su vez se adhiere cinta catadióptrica en la canilla de la lanzadera, que permiten un funcionamiento eficiente y continuo. Una de las ventajas clave de este mecanismo es su facilidad de instalación y mantenimiento, además de no requerir equipos electrónicos costosos. El sistema opera cuando se produce una señal ante la ausencia de hilo de trama en la canilla de la lanzadera. Este sistema debe activar el mecanismo de freno automático del telar.

Con la automatización de la detección de roturas, se acelerará significativamente la identificación de fallos en los hilos, reduciendo tiempos muertos y mejorando la eficiencia

general del proceso. Esto resultará en una mayor calidad de producción y en un incremento en la capacidad competitiva del taller.

3.1.2 Deficiencias en las condiciones de seguridad para el operario

El proceso manual de tejeduría implica riesgos significativos para el operario, como lesiones derivadas de posturas inadecuadas durante la operación. Estas condiciones no solo afectan la salud del trabajador, sino que también disminuyen la eficiencia del proceso debido a interrupciones frecuentes y un incremento en los errores.

Para garantizar la seguridad del operario y proteger la integridad de la máquina, se implementarán sistemas de paro de emergencia y luces piloto. Estas medidas permitirán una respuesta rápida ante cualquier eventualidad, reduciendo los riesgos laborales y mejorando la continuidad y calidad del proceso de producción.

3.1.3 Condición operativa de los motores sin protección

Inicialmente, los motores del telar se encienden y apagan directamente desde el breaker de la caja principal, sin pasar por un sistema de protección ni control. Esta configuración representa un riesgo para los equipos y para el operador, ya que no hay mecanismos que protejan contra sobrecargas o fallos eléctricos.

Por esta razón, se está implementando un sistema de potencia y control que incorpora guardamotores, contactores, indicadores visuales y un PLC, con el fin de mejorar la seguridad, eficiencia y automatización del funcionamiento del telar de lanzadera.

3.2 Implementación de la estructura para el sistema Jacquard

En esta sección, se lleva a cabo el ensamble de la estructura de acuerdo con las medidas establecidas anteriormente. En la Figura 36, se aprecia la implementación de la estructura para el Jacquard.

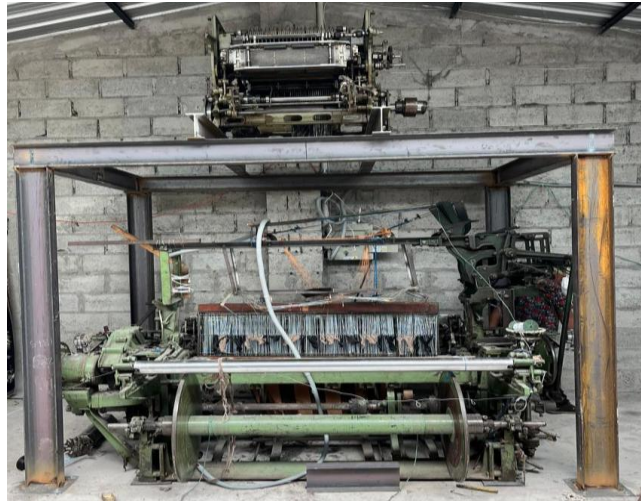


Figura 36. Ensamble de la estructura para el sistema Jacquard

3.3 Adaptación del sistema Jacquard en el telar de lanzadera

a) Mantenimiento previo a la instalación del Jacquard mecánico de 1344 agujas

Antes de la instalación del Jacquard mecánico marca Grosse de 1344 agujas, se identificó que la máquina no contaba con los repuestos necesarios para su correcto funcionamiento. Por ello, se inspeccionaron componentes clave como grifas, ganchos, agujas y el tambor.

Durante este proceso, se sustituyeron las amarras plásticas por ganchos de alambre, ya que estos permiten sujetar las mallas sin dañarlas ni provocar roturas por fricción. Además, se realizó una limpieza y un mantenimiento general a las grifas, agujas y tambor, asegurando su operatividad antes de la integración al telar de lanzadera.

b) Instalación del sistema Jacquard

Para la instalación del sistema Jacquard, se desmontaron la corona y los marcos del telar de lanzadera con el fin de liberar espacio. Posteriormente, se alineó el Jacquard mecánico con el telar para permitir la adaptación de las mallas, la canasta de rejillas y la tabla de arcadas, elementos esenciales del sistema. En la Figura 37, se aprecia el telar desmantelado.



Figura 37. Desmontaje del telar de lanzadera

La tabla de arcadas se ajustó únicamente para 625 agujas, en lugar de las 1344 disponibles, ya que esa es la cantidad de hilos de urdimbre requerida para la elaboración de un poncho de lana, que es el producto principal destinado a fabricarse. En la Figura 38, se observa la instalación de la tabla de arcadas.

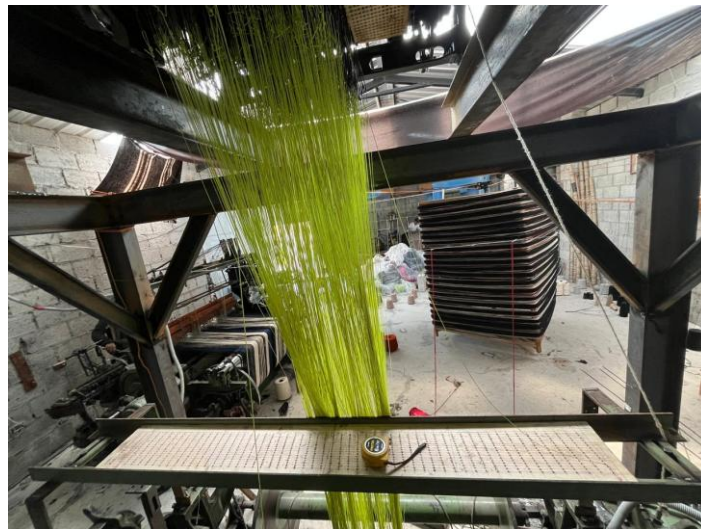


Figura 38. Instalación de la tabla de arcadas

Las mallas utilizadas fueron reutilizadas de un Jacquard electrónico, originalmente diseñadas para una materia prima más fina. Sin embargo, se adaptaron adecuadamente para trabajar con hilo de lana. En la Figura 39, se muestra la distribución uniforme de las mallas por la tabla de arcadas.



Figura 39. Distribución de las mallas por la tabla de arcadas

c) Sistema de transmisión de potencia por cadenas del Jacquard mecánico

Se instaló el piñón conductor en el eje principal del telar y el piñón conducido en el eje del mecanismo Jacquard, asegurando una correcta alineación entre ambos. Posteriormente, se conectaron mediante una cadena de transmisión cuya longitud se calculó con la ecuación 9 y se ajustó su tensión para garantizar un funcionamiento preciso y estable del sistema. De este modo se integra el sistema del Jacquard mecánico con el telar de lanzadera como se aprecia en la Figura 40.



Figura 40. Montaje de sistema de transmisión de potencia por cadenas

3.4 Instalación del sistema eléctrico

a) Montaje del tablero eléctrico

Primeramente, se mide las dimensiones de las paredes de la caja para realizar los cortes de la canaleta y riel DIN para poder ensamblarlas de manera que tengan un aspecto estético y seguro como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Ensamble de riel DIN y canaleta

Se instalaron los componentes principales (fuente del 24 V, PLC, Guardamotores, contactores, breaker, luces piloto) dentro de un gabinete metálico cerca del telar, como se aprecia en la Figura 42.



Figura 42. Caja de control con PLC, fuente de alimentación y borneras

Al culminar con el ensamble del tablero de control se realiza las conexiones eléctricas de los breakers de control y potencia de los motores de la máquina, contactores, guardamotores, fuente, PLC y borneras de acuerdo con los planos establecidos y se instala cerca de la caja de breakers ubicada detrás del telar de lanzadera como se aprecia en la Figura 43.



Figura 43. Instalación de la Caja de control y conexión de partes electrónicas

Finalmente, se realiza la comprobación de la conexión de los elementos de control y potencia del tablero mediante la medición de continuidad con el multímetro antes de alimentar los componentes electrónicos previo al encendido del tablero el cual no presenta fallas.

b) Control de botonera

Se fabrica una caja botonera a base de acrílico para el arranque manual y automático del telar de lanzadera. En la Figura 44, se aprecia el boceto de la caja de botones con sus respectivas medidas.

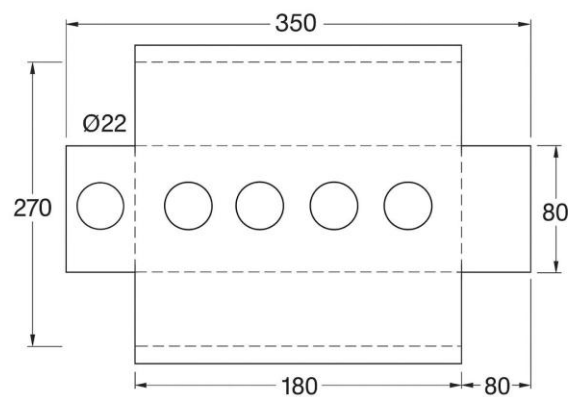


Figura 44. Boceto de la caja botonera

Se utilizó una amoladora para realizar los cortes, una pistola de calor para formar los dobleces. En la Figura 45, se aprecia el proceso de corte de una plancha de acrílico de 3 mm de espesor.



Figura 45. Corte de la plancha de acrílico para la caja botonera

Con la ayuda de un taladro se realizó los 5 agujeros de 22 milímetros en la caja en la cual se coloca un componente siendo la distribución la siguiente: un botón de emergencia, una luz piloto amarilla (indicador de advertencia para el operador), pulsador verde (inicio), pulsador rojo (paro) y un último agujero para la salida de cables de los pulsadores.

Ubicado los componentes en su respectivo orden en la botonera y conectados al tablero de control, se coloca la caja botonera de manera vertical en el perfil derecho de la tabla de arcadas cerca de la palanca de freno del telar de lanzadera como se aprecia en la Figura 46.



Figura 46. Instalación de la botonera en el telar

c) Instalación del sistema de detección de rotura por trama

Se elabora una base regulable para montar un sensor fotoeléctrico reflectivo en el extremo del batán, donde la lanzadera recibe el impulso de la espada.

La canilla fue modificada colocando una banda reflectiva de 2 cm por debajo de la cabeza, en el cual, es el área que termina el hilo del bobinado. Cuando el sensor detecta la cinta, envía una señal al PLC que activa el sistema de freno automático.

c) Montaje del sistema de leva seguidor para el sistema de freno automático

El sistema mecánico de leva seguidor está compuesto por una leva fabricada en aluminio de 10 mm de espesor y un seguidor con longitud total de 14 mm de diámetro. Este cuenta con un rodamiento de bolas acoplado en la parte lateral izquierda que hace contacto con la leva para evitar fricción y esfuerzos indeseados. En su parte superior incorpora un rodamiento que reduce la fricción durante el desplazamiento sobre la leva. El seguidor se mueve a través de un deslizador lineal con rodamientos de bolas, el cual está fijado al chasis del telar. En la Figura 47, se aprecia el diseño del sistema leva seguidor.

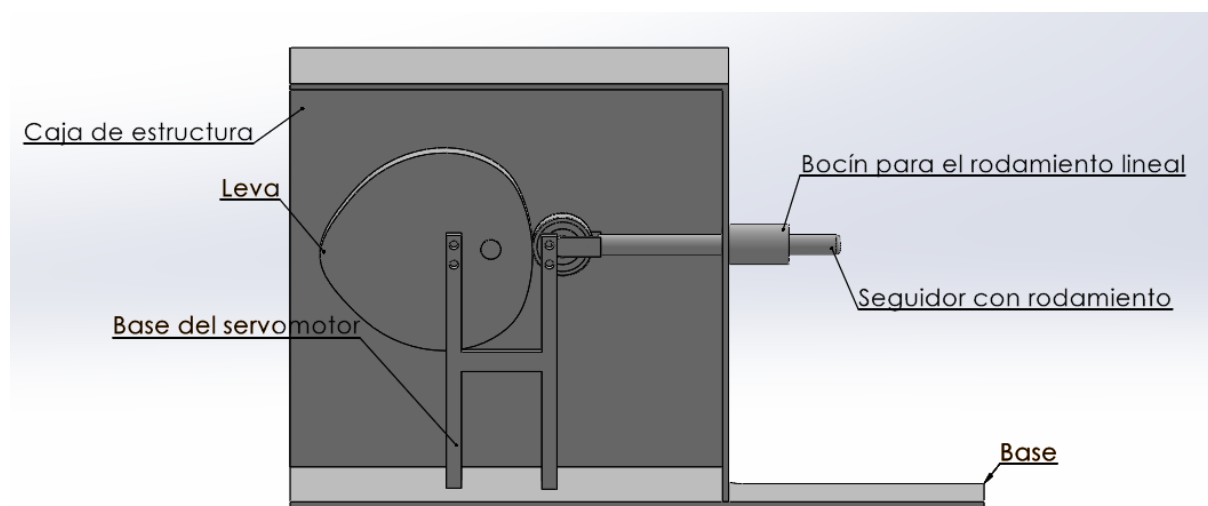


Figura 47. Instalación de la botonera en el telar

Se diseña un soporte compacto que se adapta al espacio reducido entre el telar y la estructura del Jacquard. Este soporte sostiene el servomotor modificado (tipo DC on/off), la leva, el seguidor con rodamiento y el final de carrera, garantizando una integración funcional y eficiente del sistema.

Se fabrica la caja que recubre el sistema de leva seguidor a partir de una cabina obsoleta que poseía el taller, con el uso de la amoladora se genera los cortes y acondicionarlo a las medidas establecidas en el diseño. Además, se ajusta la base del servomotor, el bocín y el rodamiento lineal asegurándose que se mantenga estable. También se instala el final de carrera en la parte lateral izquierda para la detección de la leva como se aprecia en la Figura 48.



Figura 48. Implementación del sistema de freno automático del telar

Para la instalación y control del motor DC mediante el PLC, es necesario tomar en cuenta la tensión de operación del actuador, cuyo rango de operación es de 6 V a 7.4 V. Por ende, se agrega al tablero el convertidor Buck LM2596 que se regula a 7.4 V. Sin embargo, el PLC no cuenta con generación de PWM, por lo cual el actuador en la fase de prueba se activa en tiempos indefinidos y su rotación es aleatoria, siendo un resultado erróneo.

Se implementa un dispositivo externo que genera los PWM para controlar el motor DC el cual se integra un servo tester al diagrama eléctrico de control. El servo tester tiene un rango de tensión de 4.8 V a 6 V, por lo cual se modifica el esquema eléctrico de manera que el PLC controle el encendido del servo tester que envía la señal PWM al motor DC. En la Figura 49, se aprecia el diagrama de conexión del motor DC.

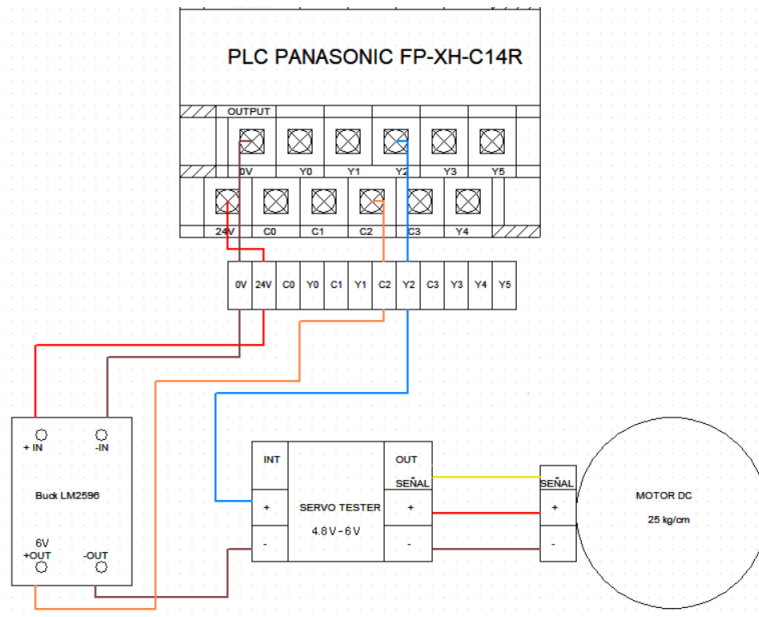


Figura 49. Conexión del PLC, convertidor Buck LM2596, servo tester y motor DC

Por último, se configura la velocidad y el sentido de giro, que se regula mediante la perilla del servo tester para que active el freno del telar de lanzadera. Una vez modificadas las conexiones se ejecuta la prueba de funcionamiento y se comprueba el funcionamiento controlado del motor DC y activación del freno.

e) Instalación del sistema de bobinado semiautomático asistido

Se fijó una base ajustable para el sensor fotoeléctrico reflectivo en el motor de la porta canilla, que originalmente se operaba mediante un breaker como se aprecia en la Figura 50. Al detectar la cinta catadióptrica adherida a la canilla, el sensor activa el motor por 10 segundos. Durante este proceso, el operador guía manualmente el hilo hacia la entrada de la canilla, dado que el tiempo de 10 segundos fue establecido previamente mediante pruebas empíricas, se considera suficiente para alcanzar el nivel deseado.



Figura 50. Instalación del sistema de bobinado semiautomático asistido

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS

4.1 Prueba de funcionamiento

Se realiza las pruebas mediante la revisión del listado de los sistemas implementados en el telar. El primer punto para verificar es si la botonera está funcionando de manera idónea, después se debe comprobar el encendido de los indicadores visuales ante las operaciones de encendido del telar, encendido del motor de bobinado y ante la activación del freno automático y botón de emergencia.

El análisis final es la comprobación de los sistemas establecidos y de esta manera se concluye la modernización. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Pruebas de los sistemas integrados en el telar

Pruebas	Día 1		Día 2		Día 3		Día 4	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Encendido de botoneras		x		x	x		x	
Indicadores visuales		x	x		x		x	
Detección de ausencia de hilo de trama		x		x		x	x	
Bobinado semiautomático de canilla	x		x		x		x	
Tiempo de encendido para el bobinado de canilla		x	x		x		x	
Sistema de Freno automático		x		x		x	x	
TOTAL	1	5	3	3	4	2	6	0

4.1.2 Fallas presentadas en las pruebas de funcionamiento

Durante las pruebas de funcionamiento del sistema integrado Jacquard y el telar, se identificaron diversas fallas mecánicas y de calibración. La Tabla 24 resume los eventos ocurridos y las soluciones técnicas aplicadas para su corrección, con el fin de garantizar la operatividad continua y segura del sistema.

Tabla 24. Fallas detectadas y acciones correctivas implementadas

Falla identificada	Solución correctiva aplicada
El sensor no detecta la cinta catadióptrica de la canilla debido a una mala calibración de altura y distancia con la lanzadera	Se incrementa la longitud de la cinta de la canilla a 40 milímetros para una detección prematura de ausencia de hilo y calibración de distancia entre la altura del sensor y la lanzadera
El sistema mecánico de leva seguidor no activa completamente la palanca de freno del telar, debido a una mala calibración de distancia entre la palanca de freno y seguidor.	Calibración de distancia del seguidor para la activación completa de la palanca de freno del telar.
Falla en el tejido por enredaderas de las mallas por pelusas	Limpieza general y revisión de estado de mallas antes del encendido de máquina

4.2 Eficiencia del tiempo de cambio de diseño en tejidos geométricos

Se determina el impacto funcional del sistema Jacquard en la eficiencia operativa del telar, se realiza una comparación del tiempo requerido para efectuar un cambio de diseño geométrico, considerando los procesos tradicionales sin el sistema Jacquard y con la implementación del sistema Jacquard mecánico.

La Tabla 25 presenta el detalle de las actividades y tiempos asociados al procedimiento tradicional sin Jacquard.

Tabla 25. Tiempo de cambio de diseño sin sistema Jacquard

Actividad	Tiempo estimado
Desmontaje de los marcos para cambiar el ligamento	30 minutos
Desmontaje de costillas y colgado de la corona del telar para cambiar el diseño geométrico en el tejido	45 minutos
Contratación del servicio para la elaboración costillas y tabla de arcadas con un nuevo diseño geométrico que se adapte a tan solo 24 espadas de la corona que se encargan del diseño en el tejido	5 días (Jornada de 8 horas)
Inserción del nuevo conjunto de costillas, tabla de arcadas y los marcos	1 hora

Configuración de marcos según el nuevo diseño	45 minutos
Cruzado del urdido por las mallas del telar	1 hora
Pruebas de tejido para detección de errores	1 hora
Corrección de fallas por implementación	1 hora
Si existe fallas por error en el diseño del cartón se elabora un nuevo picado del cartón del Jacquard	10 minutos
Tiempo total estimado (h)	46. 16 horas
Tiempo total estimado (min)	2770 minutos

En la Tabla 26, se aprecia la descripción del proceso correspondiente al sistema con Jacquard mecánico implementado.

Tabla 26. Tiempo de cambio de diseño con sistema Jacquard

Actividad	Tiempo estimado
Contratación de servicio para la elaboración de un nuevo diseño geométrico en el cartón de Jacquard que se adecua a 625 agujas.	2 días (Jornada laboral de 8 horas)
Desmontaje del cartón de Jacquard	5 minutos
Colocación de sujetadores y empalme de cartón nuevo	10 minutos
Inserción cuidadosa del cartón en posición adecuada	10 minutos
Cruzado del urdido por las mallas del Jacquard	1 hora
Se realiza pruebas de tejido para identificar si existe errores por una mala implementación o error en el diseño del cartón	30 minutos
Corrección por fallas debido a una mala implementación	45 minutos
Si existe fallas por error en el diseño del cartón se elabora un nuevo picado del cartón del Jacquard	10 minutos
Tiempo total estimado (h)	18.83 horas
Tiempo total (min)	1130 minutos

Para cuantificar la mejora en términos de eficiencia, se aplicó la siguiente ecuación 14.

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{\text{Producción esperada} - \text{Producción real}}{\text{Producción esperada}} \right) * 100 \quad Ec (14)$$

Donde:

- **Producción real:** 2770 minutos.
- **Producción esperada:** 1130 minutos.

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{2770 \text{ min} - 1130 \text{ min}}{2770 \text{ min}} \right) * 100 = 59.2 \%$$

Este resultado indica que el sistema Jacquard reduce en un 59.2 % el tiempo requerido para el cambio de diseño en comparación con el método convencional. En términos relativos, el proceso con Jacquard es 2.45 veces más eficiente, lo que representa una mejora significativa en la productividad del operador y una optimización del tiempo de configuración del telar.

4.3 Cantidad de diseños geométricos elaborados para el tejido

Durante las pruebas de funcionamiento del sistema Jacquard mecánico, se elaboraron tres patrones textiles con distintos niveles de complejidad, con el objetivo de verificar la correcta alineación de las agujas, la repetibilidad del sistema, y la capacidad de reproducción de diseños complejos.

- **Primer diseño**

Se implementa un ligamento tipo sarga 2/2, el cual se caracteriza por su entrelazado, donde cada hilo de trama pasa por encima de dos hilos de urdimbre y luego por debajo de dos. Este patrón genera una línea diagonal continua a lo largo del tejido, como se aprecia en la Figura 51. El diseño fue empleado como prueba base para comprobar la correcta activación de las 625 agujas. Este patrón permitió validar el funcionamiento general del sistema sin presentar incidencias.

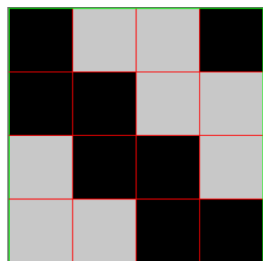


Figura 51. Ligamento sarga 2/2

- **Segundo diseño**

Consiste en una combinación del ligamento sarga 2/2, ligamento tafetán y se incorpora un diseño geométrico tipo cruz con 3 franjas verticales repetitivas a lo largo del tejido, ubicadas en posiciones equidistantes, para evaluar la precisión del sistema en la activación de grupos específicos de agujas.

El ligamento tafetán es la estructura más simple de entrelazado textil, en la cual los hilos de trama se cruzan de forma alternada con los hilos de urdimbre, pasando sucesivamente uno por encima y otro por debajo, como se muestra en la Figura 52.

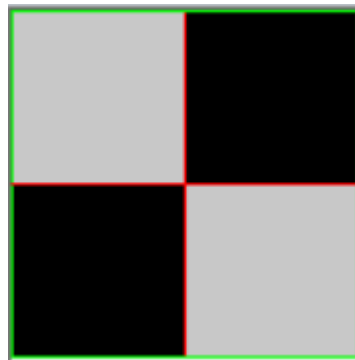


Figura 52. Ligamento tafetán

Cada franja presenta una secuencia simétrica de figuras en forma de diamante, generadas a partir de una combinación de ligamentos flotantes que permite una mejor apariencia del diseño geométrico en el tejido, como se aprecia en la Figura 53.

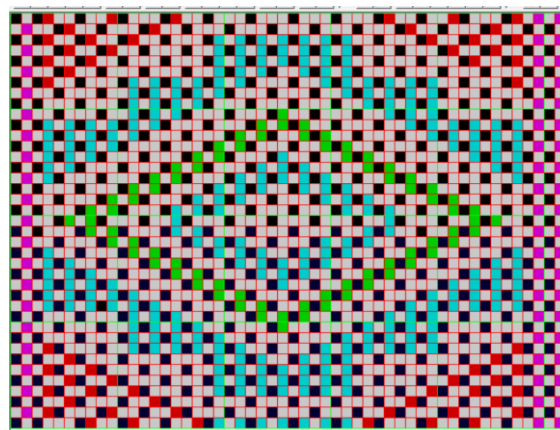


Figura 53. Ligamento Cruz

Este diseño fue seleccionado debido a su relevancia en el mercado artesanal, donde se demanda la incorporación de elementos decorativos sobre fondos clásicos, y representa una prueba de compatibilidad entre la función mecánica del Jacquard y la estética de tejidos tradicionales.

4.3.1 Evaluación de los diseños elaborados

En la tabla 27 se aprecia la información de pruebas funcionales.

Tabla 27. Evaluación de los diseños

Diseño	Ligamentos	Tipo de falla	Corrección de falla
1	Sarga 2/2	<ul style="list-style-type: none"> - Las agujas y ganchos se atascan debido a la falta de lubricación y limpieza e impiden levantar los hilos - Atascamiento de agujas y mallas 	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza una limpieza general, calibración y lubricación a las agujas y mallas del Jacquard. - Se calibra y reajusta las mallas para evitar hilos flotantes - Se posiciona y se alinea adecuadamente el cartón en el Jacquard.
2	Sarga 2/2, tafetán, hilos flotantes y diseño geométrico tipo cruz	<ul style="list-style-type: none"> - Hilos flotantes en exceso en todo el tejido y no se identifica el diseño geométrico - Atascamiento de agujas y mallas 	<ul style="list-style-type: none"> - Ser cuidadoso en la manipulación del picado del cartón para evitar dobleces y roturas inoportunas - Se calibra y reajusta las mallas para evitar hilos flotantes

De acuerdo con los resultados de la Tabla 27 se evidencia fallas recurrentes presentadas en el funcionamiento de los dos diseños elaborados. En la Tabla 28, se aprecia la frecuencia y recurrencia de dichas fallas que se determina en 25 ponchos que son el total de número de pruebas.

Tabla 28. Recurrencia de fallas en el tejido

Tipo de falla	Frecuencia de fallas (antes)	Frecuencia de fallas con correcciones	Número de pruebas
---------------	------------------------------	---------------------------------------	-------------------

Atascamiento de agujas y mallas por falta de lubricación o impurezas de la materia prima (lana)	8	3	
Falta de tensión en el arnés de las mallas del Jacquard	4	2	25
Rotura de arnés de las mallas del Jacquard	1	0	
Total	13	5	25

Se determina el porcentaje de eficiencia en la calidad del tejido antes de realizar las correcciones, mediante la ecuación 14.

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{\text{Producción esperada} - \text{Producción real}}{\text{Producción esperada}} \right) * 100 \quad \text{Ec (14)}$$

Donde:

- **Producción real:** 13 ponchos.
- **Producción esperada:** 25 ponchos.

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{25 \text{ ponchos} - 13 \text{ ponchos}}{25 \text{ ponchos}} \right) * 100 = 48 \%$$

También se determina el porcentaje de eficiencia en la calidad del tejido después de realizar las correcciones respectivas.

Donde:

- **Producción real:** 5 ponchos.
- **Producción esperada:** 25 ponchos.

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{25 \text{ ponchos} - 5 \text{ ponchos}}{25 \text{ ponchos}} \right) * 100 = 80 \%$$

Durante las pruebas iniciales se registraron 13 fallas en 25 tejidos, reflejando una eficiencia del 48 %. Estas fallas se debieron principalmente al atascamiento de agujas y a la falta de tensión en el arnés. Luego de aplicar acciones correctivas como limpieza de impurezas, lubricación en las agujas y ajuste de tensión en el arnés de las mallas, las fallas se redujeron a 5, elevando la eficiencia operativa al 80 %. Esta mejora evidencia la importancia del mantenimiento

preventivo y del control en la calidad de los materiales, especialmente en el uso de fibras como la lana, para asegurar el correcto funcionamiento del Jacquard mecánico.

La correcta reproducción de estos elementos permitió verificar la alineación y activación sincronizada de las agujas, la capacidad de repetición cíclica de los diseños dentro del mismo cartón siempre y cuando la manipulación sea cuidadosa y rigurosa, además permite la estabilidad estructural del tejido ante la combinación de diferentes tipos de ligamento.

4.4. Costos

Para la implementación del Jacquard y sistemas de control se han considerado diversos gastos de los elementos utilizados tanto mecánicos y eléctricos.

4.4.1. Costos elementos mecánicos

En la Tabla 29 se detallan todos los elementos necesarios para la implementación del Jacquard.

Tabla 29. Costo de elementos utilizados para la implementación del Jacquard

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (USD)	Precio Total (USD)
1	Jacquard marca Grosse de 1344 agujas	600	600
4	Perfil IPE 160mmx82x5x6mt	112,81	451,24
4	Placas de acero 20x20	5,95	23,80
16	Pernos de expansión	1,5	24
2	Cadena de rodillo RS-60	43,48	86,96
1	Piñón de 20 dientes	21,33	21,33
1	Rodamiento lineal KH1026PP KBP	16,20	16,20
630	Mallas	0,10	63
1	Tablero de arcadas de 625 agujeros	300	300
1	1 rollo de cordón de arnés de 1mm para máquina Jacquard	37,5	37,5
1	Plancha de acrílico de 40x30 cm	5	5
20	Tornillos con tuerca	0,06	1,20
		Total	1630.23

4.4.2. Costos elementos eléctricos

En la Tabla 30 se detallan todos los elementos necesarios para la instalación del control eléctrico.

Tabla 30. Costo de elementos utilizados para la instalación del control eléctrico

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (USD)	Precio Total (USD)
1	Gabinete metálico de 40x40	46,16	46,16
3	Riel din perforado de 1mt	2,10	6,3
20	Tornillos autoperforantes	0,04	0,8
2	Canaleta plástica ranurada 40x60 de 1mt	7,36	7,36
1	Breaker para riel din de 2 polos	13,50	13,50
2	Contactores 220V/9A	10,99	10,99
2	Guardamotor de 4-6 A	44	88
17	Borneras para riel	0,85	14,45
1	Fuente de 24 VDC/2.5 A	101,50	101,50
1	Caja de distribución UKK 125	13,69	13,69
1	PLC Panasonic FP-XH-C14R	202	202
1	Servomotor de 25kg/cm	32	32
2	Finales de carrera Switch con palanca y rueda	1,70	2,40
1	Convertidor Buck LM2596	3	3
1	Servo tester	5,25	5,25
2	Sensor fotoeléctrico reflectante E3F-R2P3 PNP	7,30	14,60
1	Pulsador retenido tipo hongo NC	4,50	4,50
2	Pulsador verde NA y rojo NC	3,75	7,50
4	Luces piloto (verde, rojo, amarillo)	1	4
20	Tornillos con tuerca	0,06	1,20
		Total	579.2

4.5. Mano de obra indirecta

En la Tabla 31 se muestra el costo de mano de obra indirecta para la fabricación de elementos.

Tabla 31. Mano de obra indirecta

Descripción	Valor unitario (USD)
Fabricación del diseño en el cartón para Jacquard (0.35 ctvs por picada)	14
Mano de obra de soldador	400
Montacarga	100
Total	514

4.6. Total, de costos de la implementación del Jacquard y sistema de control en el telar

El valor total de la implementación del Jacquard y sistemas de control en el telar se sumarán los valores de la construcción mecánica, eléctrica y mano de obra como se aprecia en la Tabla 32.

Tabla 32. Costo de elementos utilizados para la implementación del Jacquard

Nombre del Costo	Valor (USD)
Construcción mecánica	1630.23
Construcción eléctrica	579,2
Mano de obra indirecta	514
Total	2723.43

4.7. Análisis económico

Para el desarrollo del análisis económico se colocará los cálculos de periodo de recuperación de la inversión, Tasa interna de retorno (TIR) y Valor actual neto (VAN).

4.7.1 Flujo de caja

Para determinar el flujo de caja mensual se establece la producción del telar de lanzadera como se aprecia en la Tabla 33.

Tabla 33. Cantidad de producción de ponchos de lana

Producción	Cantidad de ponchos	USD (USD)
Producción Mensual	800	10400

También se determina la inversión requerida para la producción de los tejidos de los ponchos de lana como se detalla en la Tabla 34.

Tabla 34. Inversión para la elaboración de los ponchos de lana

Nombre de Inversión	Valor Mensual (USD)
Materia prima (Lana)	7500
Cardado	240
Cordón	5.5
Etiquetas	24
Botones	28.8
Confeción	240
Operador	745
Transporte	140
Servicios básicos	67
Total	8990.3

Una vez determinada la producción e inversión se procede a calcular el ingreso neto como se observa en la Tabla 35.

Tabla 35. Ingreso neto mensual de los ponchos de lana

Detalle	USD (USD)
Producción mensual	10400
Inversión mensual	-8990.3
Total	1409.7

El ingreso neto es de 1409.7 USD en la fabricación de los tejidos.

4.7.2 Valor actual Neto (VAN)

Para evaluar la viabilidad económica de la implementación del Jacquard junto a los sistemas de control para el telar se emplea el método del valor actual neto. El VAN permite determinar la diferencia entre los ingresos futuros y la inversión inicial, ajustados al valor del dinero en el tiempo mediante la ecuación 15.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{f_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad Ec (15)$$

Donde:

- **VAN**: Valor actual neto.
- **f_t**: es el flujo de caja de periodo t.
- **I₀**: es la inversión inicial.
- **I**: es la tasa de rentabilidad (15% en este caso).
- **n**: es el número de periodos.

En la Tabla 36, se aprecia el flujo de caja. Este análisis es primordial para determinar si la implementación del proyecto genera un retorno económico positivo en un periodo de 9 meses.

Tabla 36. Flujo de caja

Periodo (t)	Flujo de Caja (ft) [USD]
1	1409.7
2	2000
3	2500
4	3000
5	3500
6	4000
7	4500
8	5000
9	55000

Para calcular la inversión inicial se calcula mediante la ecuación 16.

$$I_0 = \text{Costo total} + \text{Inversión mensual} \quad Ec (16)$$

Donde:

$$I_0 = 2723.43 + 8990.3 = 11,713.73 \text{ USD}$$

$$I_0 = 11,713.73 \text{ USD}$$

Una vez determinado el flujo de caja en un periodo de 9 meses y la inversión inicial se emplea la ecuación 15.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{f_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad Ec (15)$$

Donde:

- f_t : flujo de caja definidos en la Tabla 31.
- I_0 : 11,713.73 USD.
- i : 15%.
- n : 9.

$$VAN = \frac{1409.7}{(1 + 0.15)^1} + \frac{2000}{(1 + 0.15)^2} + \frac{2500}{(1 + 0.15)^3} + \frac{3000}{(1 + 0.15)^4} + \frac{3500}{(1 + 0.15)^5} \\ + \frac{4000}{(1 + 0.15)^6} + \frac{4500}{(1 + 0.15)^7} + \frac{5000}{(1 + 0.15)^8} + \frac{5500}{(1 + 0.15)^9} - 11,713.73$$

$$VAN = 1225.8 + 1512.2 + 1643.7 + 1715.2 + 1740.1 + 1729.3 + 1691.7 + 1634.5 \\ + 1563.4 - 11,713.73$$

$$VAN = 14455.9 - 11,713.73$$

$$VAN = 2742.17$$

El proyecto es viable ya que el VAN obtenido es positivo y asciende a 2742.17\$ aproximadamente en un periodo de 9 meses, superando la inversión inicial y es un indicador favorable del proyecto.

4.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa de retorno interno es el porcentaje de rentabilidad que genera el proyecto, indicando su atractivo financiero. Es el valor de descuento que hace que el valor neto (VAN) del proyecto sea igual a cero, su fórmula se demuestra en la siguiente ecuación 17.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{f_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0 \quad Ec (17)$$

Donde:

- f_t : es el flujo de caja de periodo t.
- I_0 : es la inversión inicial.
- **TIR** : es la tasa interna de retorno.
- n : es el número de periodos.

Datos del proyecto:

- f_t : flujo de caja definidos en la Tabla 31.
- I_0 : 11,713.73 USD.
- i : 15%.
- n : 9.

A través de la inversión inicial 11,713.73 USD y con los flujos de caja de la Tabla 31 se determina el TIR reemplazando en la ecuación 17.

$$11,713.73 = \frac{1409.7}{(1 + 0.15)^1} + \frac{2000}{(1 + 0.15)^2} + \frac{2500}{(1 + 0.15)^3} + \frac{3000}{(1 + 0.15)^4} + \frac{3500}{(1 + 0.15)^5} \\ + \frac{4000}{(1 + 0.15)^6} + \frac{4500}{(1 + 0.15)^7} + \frac{5000}{(1 + 0.15)^8} + \frac{5500}{(1 + 0.15)^9}$$

$$\text{TIR} = 19.95\%$$

De acuerdo con el resultado obtenido de la tasa interna de retorno del proyecto es financieramente viable ya que proporciona un valor de retorno superior a la tasa de rentabilidad mínima requerida que es del 15%.

CONCLUSIONES

- La implementación del Jacquard mecánico de 1344 agujas permitió levantar un total de 625 hilos de urdimbre, cantidad necesaria para la elaboración de tejidos de ponchos de lana en el telar de lanzadera. Esta capacidad ha posibilitado la creación de diseños textiles complejos, detallados y personalizados, lo cual es inviable con los sistemas tradicionales de calada mediante lizos que han sido reemplazados. La integración al telar de lanzadera ha ampliado significativamente la versatilidad en la elaboración de patrones geométricos sin requerir múltiples modificaciones estructurales, optimizando el aprovechamiento de la maquinaria existente e incrementando la productividad creativa. Los resultados han evidenciado una reducción del 59.2% en el tiempo de cambio de diseño comparado con el método tradicional, lo que se traduce en un proceso 2.45 veces más eficiente.
- El diseño de la estructura para el Jacquard y el sistema de leva seguidor, desarrollado mediante el software SolidWorks, fue fundamental para la creación de piezas ajustadas a las dimensiones de la máquina y para la realización de simulaciones que permitieron verificar su funcionamiento antes de la implementación. Asimismo, posibilitó la realización del análisis estático y modal de la estructura del Jacquard, evaluando su comportamiento frente a las condiciones de trabajo del taller artesanal. Estos estudios garantizaron la seguridad estructural del sistema tanto ante cargas estáticas como dinámicas, asegurando un diseño funcional y confiable.
- El sistema semiautomático implementado en el telar de lanzadera permitió al operador determinar un control de seguridad óptimo, como el encendido y apagado de la máquina que garantiza su seguridad mediante el uso de la botonera y paro de emergencia, así como también garantiza la seguridad para los elementos rotativos de la máquina mediante la implementación de guardamotores.
- Las pruebas de campo realizadas han validado el funcionamiento integral del sistema. Aunque las pruebas iniciales mostraron una eficiencia del 48% debido a fallas como atascamiento de agujas y falta de tensión, la aplicación de acciones correctivas como la limpieza, lubricación y ajuste del arnés elevó la eficiencia operativa al 80%. Esto demuestra una mejora sustancial en la calidad de producción y subraya la importancia del mantenimiento preventivo. El sistema ha logrado reproducir con éxito patrones complejos, verificando la alineación y activación sincronizada de las agujas, la capacidad de repetición cíclica de los diseños y la estabilidad estructural del tejido.

- La inversión total para la implementación del Jacquard y el sistema de control ha ascendido a \$2723.43 USD, cubriendo costos mecánicos, eléctricos y de mano de obra indirecta. El análisis económico ha demostrado la viabilidad financiera del proyecto, con un Valor Actual Neto (VAN) positivo de aproximadamente \$2742.17 USD en un periodo de 9 meses, superando la inversión inicial. La Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida supera la tasa de rentabilidad mínima requerida del 15%, lo que confirma el atractivo financiero y la rentabilidad del proyecto.

RECOMENDACIONES

- La implementación de un Jacquard mecánico es aplicable en la máquina de lanzadera del taller artesanal “Tejidos Caymi”, de igual manera se puede aplicar a la gran mayoría de máquinas textiles artesanales en la comunidad de Peguche de las cuales tienen demanda en la versatilidad de diseños geométricos en sus tejidos, reemplazando los lizos y corona, diversificando la productividad.
- Implementar un protocolo de mantenimiento preventivo que contemple limpieza periódica, lubricación de las agujas y revisión de tensiones en los arneses, asegurando así la durabilidad del sistema Jacquard y la calidad del tejido. Además, manipular cuidadosamente el cartón del picado del Jacquard para su desmontaje e instalación.
- Explorar y mejorar la activación rápida del sistema leva seguidor, de tal manera que sea más eficiente en el entorno de detección de hilo de husillo y sea un tamaño compacto para que no interfiera en las actividades del operador.
- Para evitar fallas en el tejido del telar debido a errores de aguja del Jacquard se debe realizar pruebas mediante el uso de diseños geométricos pequeños para corregir fallas para luego colocar diseños geométricos grandes. Además, el cartón con el diseño debe ser manipulado con cuidado debido a que puede romperse.
- Para el telar y el Jacquard tenga una vida útil larga es necesario realizar mantenimientos preventivos de acuerdo con los cronogramas respectivos, tales como limpieza, lubricación de elementos mecánicos, conexiones eléctricas y su buen funcionamiento.

REFERENCIAS

- [1] J. G. Lema Vega, "Automatización de un telar electromecánico de lanzadera," Tesis de grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, UTN, Ibarra, Imbabura, 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8556/1/04%20MEC%20234%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>. [Último acceso: 27 Marzo 2024].
- [2] T. Waldron, A. Naranjo, F. Cano, G. Pizarro and T. Zapata, *Mecanismos de telares*. 1978. [En línea]. Available: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6185/mecanismo_telares.pdf?sequence=1. [Último acceso: 21 Julio 2025].
- [3] C. I. G. Terán, "Adaptación y puesta en marcha de un jacquard mecánico en un telar de lanzadera," Tesis de grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, UTN, Ibarra, Imbabura, 2024. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15515>. [Último acceso: 7 Marzo 2024].
- [4] A. L. Ivester and J. D. Neefus, "Industria de productos textiles," en *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, Capítulo 89, INSST, 1998 [En línea]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+89.+Industria+de+productos+textiles>. [Último acceso: 6 Mayo 2025].
- [5] M. E. Poma Alejandro, "Diseño e implementación de un sistema de control automático para una máquina texturizadora en la planta de fibras textiles ENKADOR," Tesis de grado, EPN, Quito, Pichincha, 2014. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7346/1/CD-5488.pdf>. [Último acceso: 3 Junio 2025].
- [6] G. Q. A. Augusto y H. Z. B. Isabel, "Diseño, operación y aplicación de métodos analíticos en los hilados de fibras textiles naturales y sus mezclas," Tesis de grado, UNSA, Arequipa, Perú, 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e7223b57-dc6e-4505-9f7b-35971b8b9d00/content>. [Último acceso: 3 Junio 2025].

- [7] C. J. Higuera Efres, "Eficiencia de un sistema de transmisión de potencia no convencional," Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Mecánica, UPB, Santander, Colombia, 2020. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/9085>. [Último acceso: 6 Noviembre 2024].
- [8] D. F. C. Avila y M. A. R. Galvis, "Banco de Pruebas de Sistemas de Transmisión de Potencia," Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Mecánica, UPB, Santander, Colombia, 2013. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1095>. [Último acceso: 6 Noviembre 2024].
- [9] J. S. Franco Ramirez and K. J. G. Baquero, "Diseño de un banco didáctico para ensayos de transmisión de potencia," Tesis de grado, Facultad de Tecnología, UD, Bogotá, Cundinamarca, 2020. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/0643e907-c58a-486f-bd52-65afb3e7ab30/content>. [Último acceso: 6 Noviembre 2024].
- [10] M. Domingo, "Controladores lógicos programables," 1994. [En línea]. Available: https://controlelectricos.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/curso_plc.pdf. [Último acceso: 8 Noviembre 2024].
- [11] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 021:2008, THERMOPLASTIC ISOLATED CONDUCTORS FOR ELECTRICAL USES*. Quito, Ecuador, 2008.
- [12] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 091: CONMUTADORES. APARATOS DE CONMUTACIÓN DE BAJO VOLTAJE*. Quito, Ecuador: INEN, 1997. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-091.pdf>
- [13] DIPAC, "DIPAC MANTA," DIPAC MANTA, [En línea]. Available: <https://dipacmanta.com/producto/vigas/ipe/ipe/>. [Último acceso: 21 Diciembre 2024].
- [14] V. Córdova, A. Herrejón y J. Cabrera, "Diseño y construcción de banco didáctico para el análisis del mecanismo levaseguidor controlado con Arduino," en *MEMORIAS DEL XXX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM 25 al 27 DE*

SEPTIEMBRE DE 2024 CIUDAD QUERÉTARO, QUERÉTARO, MÉXICO, Querétaro, México, 2024.

- [15] P. Industry, "Panasonic Industry," [En línea]. Available: <https://industry.panasonic.com/global/en/products/fasys/plc/plc/number/afpxhc14r>. [Último acceso: 11 Julio 2025].
- [16] C. E. T. WORD, "CHINT EMPOWER THE WORD," [En línea]. Available: <https://www.chint.eu/es/material-electrico/soluciones-para-la-industria/contactores-industriales/serie-nc1>. [Último acceso: 11 julio 2025].
- [17] L. electrónica, "La electrónica," [En línea]. Available: <https://laelectronica.com.gt/final-de-carrera-spdt-mediano-con-rueda->. [Último acceso: 11 julio 2025].
- [18] G. & Rodriguez, "Gonzaga & Rodriguez," [En línea]. Available: <https://electricoindustrial.com.ec/categoria-producto/fabricante/camsco/aparatos-control/control-senalizacion-camsco/pulsadores-senalizacion-camsco/>. [Último acceso: 11 julio 2025].
- [19] Robotshop, "Robotshop," [En línea]. Available: <https://www.robotshop.com/es/products/servo-digital-de-180-grados-74-v-25-kg-cm-ft5325m-de-feetech?srsltid=AfmBOooqByFCZDAi591o5sAm2q9TvI91tNH3HPDvYuzBF6Joo7leBIQp>. [Último acceso: 11 julio 2025].

ANEXOS

Anexo 1. Manual de operación y mantenimiento

<p>Este manual proporciona las instrucciones necesarias para operar de forma segura y eficiente el sistema Jacquard y el telar de lanzadera, garantizando su óptimo rendimiento y prolongando su vida útil en el entorno del taller artesanal.</p>
<p>a) Encendido de la máquina</p>
<ul style="list-style-type: none">• Verifique que no existan obstrucciones mecánicas en el telar ni en el sistema Jacquard.• Asegúrese de que la palanca de freno del telar esté activada para evitar movimientos no deseados.• Inspeccione que las mallas del Jacquard estén en buen estado.• Confirme que la máquina esté conectada a una fuente de alimentación de 220 V.• Coloque los guardamotores en posición de encendido.• Encienda los interruptores (breaker) de control y potencia.• Presione el pulsador verde para iniciar el funcionamiento del motor principal.
<p>b) Proceso de bobinado de la canilla</p>
<ul style="list-style-type: none">• Coloque la canilla en la base de la porta canilla.• El sensor detectará la presencia de la canilla, activando automáticamente el segundo motor.• El motor permanecerá encendido por 10 segundos; durante este tiempo se iluminará la luz piloto amarilla.• Repita el procedimiento cada vez que se requiera bobinar una nueva canilla.
<p>c) Apagado del equipo</p>
<ul style="list-style-type: none">• Al finalizar el proceso de tejido, presione el pulsador rojo para detener la máquina.• El sistema de freno automático se activará inmediatamente.• Apague los interruptores de control y potencia.• Desconecte la máquina de la fuente eléctrica.
<p>d) Elementos de seguridad</p>

- Utilice protección auditiva y mascarilla durante la operación; el equipo genera niveles de ruido elevados.
- Manténgase dentro del área segura frente a la palanca de mando del telar.
- En caso de emergencia, presione el botón de parada de emergencia para detener el sistema de inmediato.

Anexo 2. Manual de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en la inspección, limpieza, ajuste y reemplazo programado de componentes, con el objetivo de evitar fallas inesperadas y asegurar el funcionamiento continuo de las máquinas.

Equipo	Frecuencia de mantenimiento	Componente	Objetivo
Telar de lanzadera	Diaria	Lanzadera	Revisión y limpieza (Eliminación de pelusa, residuos de material en los canales de hilo)
		Espada	Verificar el estado de la espada del lateral derecho e izquierdo
		Carrete de tejido	Verificar que el carrete de tejido esté correctamente posicionado dentro de los límites de operación establecidos.
	Semanal	Carrete de urdimbre	Verificar la tensión de la urdimbre y ajustar si es necesario
		Piñones del mecanismo de enrollamiento	Limpieza y lubricación con grasa de los piñones
Mensual	Motor principal	Medir la corriente nominal con la pinza amperimétrica y comparar con los datos de la placa	

		Motor de bobinado de la canilla	Medir la corriente nominal con la pinza amperimétrica y comparar con los datos de la placa
Sistema Jacquard	Diario	Mallas	Revisión y ajuste de tensión de las mallas en caso de ser necesario
		Agujas	Limpieza de pelusa y verificar el accionamiento en las mallas
	Semanal	Cartón	Limpieza de pelusa e inspeccionar el estado de calidad de cartón encargado del diseño del tejido. Reemplazar si esta desgastado
		Cilindro	Inspeccionar que rote adecuadamente y accione cada aguja del cartón. Calibrar en caso de perder el tiempo de pasada
		Puntos de lubricación del Jacquard	Engrasar el mecanismo para garantizar un correcto funcionamiento del sistema mecánico
Sistema de transmisión de potencia por cadena	Semanal	Piñones y cadena	Limpieza de pelusa y lubricación de cadenas

Anexo 5. Segundo diseño para el tejido

