



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UN TELAR ELECTROMECAÁNICO DE
LANZADERA

AUTOR: LEMA VEGA JOSÉ GEOVANNY

DIRECTOR: ING. WASHINGTON GUSTAVO MOSQUERA TERÁN

IBARRA - ECUADOR

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100350674-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Lema Vega José Geovanny		
DIRECCIÓN:	Quinchuquí – Otavalo - Imbabura		
EMAIL:	jglemav@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 690 708	TELÉFONO MÓVIL:	0983461351

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Automatización de un telar electromecánico de lanzadera
AUTOR:	Lema Vega José Geovanny
FECHA:	26 de Julio de 2018
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Washington Gustavo Mosquera Terán

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días de Julio del 2018



Firma

Nombre: José Geovanny Lema Vega

Cédula: 100350674-6

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado "AUTOMATIZACIÓN DE UN TELAR ELECTROMECAÁNICO DE LANZADERA", certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor José Geovanny Lema Vega, bajo mi supervisión.



Ing. Washington Mosquera

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza para lograr mis objetivos y por bendecirme con una familia que siempre ha sabido apoyarme.

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que siempre me brindaron su incondicional apoyo, a mis padres, mis hermanos, mis amigos, profesores, que de una u otra manera me motivaron a alcanzar esta meta... A todos, Dios los bendiga.

Da.Is...

Geovanny Lema

CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
CONSTANCIAS	III
CERTIFICACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
TABLA DE ILUSTRACIONES	XI
TABLA DE ECUACIONES	XV
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	5
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.1. ANTECEDENTES.....	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. Objetivo General	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. ALCANCE.....	7
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	8
CAPÍTULO II	10
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1. TELAR ELECTROMECAÁNICO DE LANZADERA	10
2.2. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN TELAR PLANO DE LANZADERA	10
2.3. PROCESO DE TEJEDURÍA EN UN TELAR PLANO DE LANZADERA	12
2.3.1. Proceso de urdido.....	12
2.3.1.1. Urdido directo.....	12
2.3.1.2. Urdido indirecto o seccional	13
2.3.2. Proceso de enrollamiento de la urdimbre en el carrete	15
2.3.3. Proceso de anudado.....	16
2.3.4. Proceso de tejeduría.....	17
CAPÍTULO III	19
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL TELAR ELECTROMECAÁNICO DE LANZADERA	19
3.1. Descripción de la situación actual del telar electro mecánico	19
3.2. Propuesta de sistema automático de detección de rotura de hilos	19
3.3. Desarrollo del algorit mo para el sistema de control	19
3.3.1. Diagrama de flujo del proceso para detectar rotura de hilos	19
3.3.2. Diagrama para detección de rotura de hilo en urdimbre	20
3.3.3. Diagrama para detección de rotura en hilo de trama	21
3.3.4. Diagrama para detección de hilo en lanzadera	22
3.3.5. Diagrama para detección de abertura de compuerta del tablero de control	23
3.3.6. Diagrama de paro de emergencia	25
3.4. Análisis y selección de elementos mecánicos para el sistema de detección de rotura de hilos	26
3.4.1. Desarrollo de la estructura para detectar rotura en urdimbre	26

3.4.1.1.	Barra bimetálica del paraurdimbre	26
3.4.1.2.	Láminas metálicas	27
3.4.2.	Desarrollo del mecanismo de accionamiento de freno	28
3.4.2.1.	Diseño de leva y seguidor	29
3.4.2.2.	Diagrama cinemático de desplazamiento	31
3.5.	Análisis y selección de elementos eléctricos y electrónicos para el sistema automatizado de detección de rotura de hilos	36
3.5.1.	Controlador Lógico Programable	36
3.5.1.1.	Diseño del programa en LOGO!Soft Comfort v7	38
3.5.1.2.	Cálculo del espacio de memoria del PLC LOGO! 230RC y tamaño del circuito	40
3.5.2.	Cálculo de torque del motor para accionamiento del mecanismo de freno	43
3.5.3.	Fuente de alimentación del motor	46
3.5.4.	Desarrollo de la estructura para detectar hilo en el husillo de la lanzadera	47
3.5.5.	Diseño de elementos para posicionamiento del batán	51
3.6.	Diagrama eléctrico del Sistema de detección de rotura de hilos	53
3.7.	Graficet del sistema de detección de rotura de hilos	56
CAPÍTULO IV		59
4.	DISEÑO DE MECANISMO DE ENROLLAMIENTO DE URDIMBRE	59
4.1.	Descripción de situación actual del proceso de enrollamiento de urdimbre	59
4.2.	Propuesta de mecanismo de enrollamiento de urdimbre	59
4.3.	Análisis y selección de elementos mecánicos para el mecanismo de enrollamiento de urdimbre	62
4.3.1.	Mecanismo de sujeción	62
4.3.2.	Mecanismo de accionamiento	64
4.4.	Análisis y selección de elementos eléctricos para el mecanismo de enrollamiento de urdimbre	69
4.4.1.	Cálculo de potencia del motor para accionamiento del mecanismo de urdimbre	69
4.4.1.1.	Selección de motor eléctrico	71
4.5.	Cálculo de esfuerzos del mecanismo de enrollamiento	72
4.5.1.	Análisis de resistencia del piñón	72
4.5.2.	Análisis de resistencia de la corona	75
4.6.	Calculo de desplazamiento angular por efecto de inercia del motor.	76
4.7.	Diagrama eléctrico de arranque directo del motor trifásico	78
CAPÍTULO V		79
5.	Construcción y montaje del sistema automático de detección de hilos rotos y el mecanismo de enrollamiento de urdimbre en el telar Northrop	79
5.1.	Montaje del tablero de control del sistema de detección de rotura de hilos	79
5.2.	Montaje de sensórica del sistema de detección	80
5.2.1.	Paraurdimbre	80
5.2.2.	Sensor Fotoeléctrico retroreflectivo	82
5.2.3.	Sensor Magnético de la compuerta	82
5.2.4.	Botón de paro de emergencia	83
5.2.5.	Mecanismo de freno	83
5.2.6.	Finales de carrera	85
5.3.	Construcción del mecanismo de sujeción de urdimbre	86
5.4.	Montaje del motor de enrollamiento y sistema de engranajes	87
5.5.	Pruebas de funcionamiento	88
5.5.1.	Simulación del sistema de detección de rotura de hilos en el software LOGO!Soft Comfort v7	88
5.5.2.	Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado de detección de rotura de hilos	89
5.5.3.	Pruebas de funcionamiento del mecanismo de enrollamiento de urdimbre	91
5.5.4.	Fallas presentadas en las pruebas de funcionamiento y correcciones realizadas	92
CONCLUSIONES		94

RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	99
ANEXO A: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE DETECCIÓN DE ROTURA DE HILOS	102
ANEXO B: PLANOS DE ELEMENTOS MECÁNICOS	104
ANEXO C: MANUAL TÉCNICO DEL USUARIO.....	112
ANEXO D: INFORME TÉCNICO DE MANTENIMIENTO.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Láminas en función de la materia prima a tejer. Tomado de Vilatuña, 2007	27
Tabla 2. Características de alternativas de accionamiento de freno.....	28
Tabla 3. Valoración de alternativas para mecanismo de accionamiento de freno	29
Tabla 4. Características del aluminio y acero inoxidable. Fuente: Raimond, 1992	35
Tabla 5. Características de PLC M-Duino y PLC LOGO!.....	36
Tabla 6. Valoración de alternativas de PLC.....	37
Tabla 7. Recursos disponibles en LOGO!. Fuente: Siemens	40
Tabla 8. Capacidad de almacenamiento para funciones especiales en LOGO! Fuente: Siemens	40
Tabla 9. Cálculo de espacio de memoria del PLC LOGO! 230RC.....	41
Tabla 10. Características de alternativas de servomotores. Fuente: Datasheet del fabricante.....	44
Tabla 11. Valoración de alternativas de servomotores	45
Tabla 12. Características de alternativas para regulador de voltaje	46
Tabla 13. Valoración de alternativas de regulador de voltaje	47
Tabla 14. Valoración de alternativas para sensor hilo en el husillo de la lanzadera	48
Tabla 15. Características del sensor fotoeléctrico retroreflectivo	48
Tabla 16. Características de un encoder y un final de carrera. Fuente: datasheet fabricante	52
Tabla 17. Valoración de alternativas para dispositivo de posición de batán.....	52
Tabla 18. Abreviaturas de elementos descritos en el diagrama eléctrico del sistema automatizado.....	54
Tabla 19. Abreviaturas usadas en la descripción de las acciones del Grafcet.....	56
Tabla 20. Alternativas para el mecanismo de enrollamiento de urdimbre	60
Tabla 21. Valoración de alternativas de mecanismo de enrollamiento de urdimbre	61
Tabla 22. Requerimientos del mecanismo de sujeción y sus soluciones	63
Tabla 23. Medidas normalizadas para dientes. Galbarro, 2018	68
Tabla 24. Datos geométricos para el sistema de engranajes del telar Northrop	69
Tabla 25. Características del motor para el mecanismo de enrollamiento	72
Tabla 26. Fallas y correcciones realizadas durante pruebas de funcionamiento	93

Tabla 27. Factor de Lewis, Y. Fuente: Galbarro, 2018.....	99
Tabla 28. Producción normal del telar Northrop	100
Tabla 29. Producción del telar Northrop con la implementación del sistema automatizado y el mecanismo de enrollamiento	101

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Liso.....	10
Figura 2. Marco sin lisos	10
Figura 3. Corona del telar Northrop	11
Figura 4. Lanzadera.....	11
Figura 5. Diagrama de partes principales de un telar plano	12
Figura 6. Filetas en el proceso de urdido. Fuente: FLEXICO, México (2018)	13
Figura 7. Proceso de Urdido indirecto. Fuente: Alberto, 2017	14
Figura 8. Urdido seccional vertical	14
Figura 9. Varillas usadas como peine de entrecruce	15
Figura 10. Proceso de enrollamiento manual	16
Figura 11. Proceso de anudado automático. Fuente: Stäubli, (2018)	16
Figura 12. Tejido plano tipo tafetán. Fuente: La Colonial	17
Figura 13. Tejido plano tipo Sarga. Fuente: Wikipedia	18
Figura 14. Tejido plano tipo Satén. Fuente: Bustamante, 2017	18
Figura 15. Diagrama del sistema de detección de hilos rotos. Realizado en software libre Dia .	20
Figura 16. Diagrama de rotura de hilo en urdimbre. Realizado en software libre Dia	21
Figura 17. Diagrama de rotura de hilo en trama. Realizado en software libre Dia	22
Figura 18. Diagrama de detección de hilo en lanzadera. Realizado en software libre Dia	23
Figura 19. Diagrama de detección de apertura de compuerta de control. Realizado en software libre Dia	24
Figura 20. Diagrama de accionamiento de botón de paro de emergencia. Realizado en software libre Dia	25
Figura 21. Barra bimetálica del paraurdimbreseparada por un aislante	26
Figura 22. Tipos de láminas de paraurdimbres, Fuente: Vilatuña Ana, pág. 39	27
Figura 23. Leva de disco con seguidor de cara plana	30
Figura 24. Elementos de un mecanismo de leva-seguidor. Realizado con herramienta gráfica Paint	30

Figura 25. Diagrama con movimiento uniforme modificado. Fuente: Teoría de mecanismos ...	31
Figura 26. Diagrama de movimiento parabólico. Fuente: Teoría de mecanismos	32
Figura 27. Diagrama de movimiento armónico. Fuente: Teoría de mecanismos	32
Figura 28. Diagrama de movimiento cicloidal. Fuente: Teoría de mecanismos.....	32
Figura 29. Diagrama cinemático de desplazamiento de leva con movimiento uniforme	33
Figura 30. Perfil de leva con diagrama de movimiento uniforme, con circunferencia base de 10mm.....	34
Figura 31. Perfil de leva con circunferencia base de 10mm modificado	34
Figura 32. Diagrama cinemático de desplazamiento de leva con movimiento uniforme modificado.....	35
Figura 33. Diseño del sistema automático de detección de rotura de hilos diseñado en lenguaje de programación de bloques con LOGO!Soft Comfort v7	39
Figura 34. Ejemplo de cálculo de espacio de memoria en un bloque especial de LOGO!. Fuente: Siemens	41
Figura 35. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de freno.....	44
Figura 36. Servomotor MG995 con dientes metálicos. Fuente: Datasheet fabricante	45
Figura 37. Sensor fotoeléctrico retroreflectivo modelo OMKQN E3F-R2P3.....	49
Figura 38. Rebote de señal de sensor fotoeléctrico retroreflectivo en espejo, a) espejo normal, b) espejo catadióptrico.....	50
Figura 39. Cinta retroreflectiva basada en el principio del espejo catadióptrico. Fuente: 3M	50
Figura 40. Posición del batán, a) Batán en posición de avance, b) Batán en regreso.....	51
Figura 41. Estados de acción del final de carrera del batán	53
Figura 42. Diagrama eléctrico del Sistema de detección de rotura de hilos	55
Figura 43. Graficet en nivel 3 del Sistema de detección de rotura de hilos	58
Figura 44. Bosquejos del diseño del mecanismo de sujeción.....	62
Figura 45. Mecanismo de sujeción. a) Vista frontal, b) Vista lateral.....	64
Figura 46. Sistema de engranajes del telar Northrop.....	64
Figura 47. Relaciones de dientes, radio, giro, velocidad y torque en un sistema de engranajes.	65

Figura 48. Partes de un diente de engranaje	67
Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del sistema de engranajes.....	70
Figura 50. Diagrama de cuerpo libre del sistema de engranajes detallándose los momentos torsores.....	70
Figura 51. Diagrama de cuerpo libre en diente del piñón	73
Figura 52. Diagrama de cuerpo libre en diente de la corona	75
Figura 53. Arranque directo de motor trifásico con guardamotor	78
Figura 54. Proceso de montaje de tablero de control	79
Figura 55. Tablero de control terminado	80
Figura 56. Convertidor Buck LM2596 con aislamiento plástico en sus extremos.....	80
Figura 57. Barra bimetálicas montadas sobre bases recicladas. Borneras de conexión.....	81
Figura 58. Lámina de contacto del paraurdimbre	81
Figura 59. Lámpara de aviso de rotura de hilo de urdimbre	81
Figura 60. Sensor fotoeléctrico instalado en la caja del batán.....	82
Figura 61. Husillo con cinta catadióptrica	82
Figura 62. Sensor magnético instalado en la parte superior de la compuerta del tablero	83
Figura 63. Botón de paro de emergencia instalado en la parte posterior del telar Northrop	83
Figura 64. Leva y seguidor con resorte plástico	84
Figura 65. Soporte desmontable y caja de protección para el mecanismo de leva-seguidor	84
Figura 66. Instalación del mecanismo de leva-seguidor	84
Figura 67. Final de carrera del batán y tope de nylon	85
Figura 68. Final de carrera instalado junto a la leva de aluminio	85
Figura 69. Final de carrera instalado en la palanca de mando.....	86
Figura 70. Fabricación de base de prensaestopa de sujeción	86
Figura 71. Espiral guía fabricado en PVC por moldeo con calor	87
Figura 72. Mecanismo de sujeción montado en el telar Northrop y en un telar Picañol	87
Figura 73. Guardamotor LS y acople de acero.....	88
Figura 74. Fabricación de base del motor trifásico	88

Figura 75. Simulación de activación de señal de compuerta abierta.....	89
Figura 76. Simulación de activación de señal de paro de emergencia	89
Figura 77. Paro de emergencia en etapa de prueba en el telar Northrop	90
Figura 78. Momento en que se acciona el freno del telar	90
Figura 79. Luces piloto activadas por ausencia de hilo de trama en lanzadera	90
Figura 80. Mecanismo de sujeción de urdimbre en el telar Northrop	91
Figura 81. Mecanismo de sujeción de urdimbre en el telar Picañol.....	91
Figura 82. Colocación de urdimbre en guías del rastrillo.	92
Figura 83. Accionamiento del mecanismo de enrollamiento de urdimbre en el telar Northrop..	92

TABLA DE ECUACIONES

DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN	
Fuerza de rozamiento	$F_r = \mu_s \cdot m \cdot g$	[1]
Momento de fuerza	$M_z = (F_f + F_r) \cdot d$	[2]
Relación de magnitudes en sistema de engranajes	$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{T_1}{T_2}$	[3]
Paso circular del engranaje	$p = \frac{\pi \cdot d}{Z}$	[4]
Módulo del engranaje	$m = \frac{d}{Z}$	[5]
Torque o momento de fuerza	$M_g = F \cdot d$	[6]
Relación torque-número de dientes	$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{M_g}{M_g'}$	[7]
Torque	$T = \frac{P}{\omega}$	[8]
Fuerza tangencial	$F_t = \frac{T}{\frac{d}{2}}$	[9]
Fuerza tangencial en función a esfuerzo por flexión	$F_t = \sigma \cdot e \cdot m \cdot Y$	[10]
Factor de seguridad	$N = \frac{S_y}{\sigma_e}$	[11]
Relación velocidad angular – número de dientes	$Z_1 \cdot \omega_1 = Z_2 \cdot \omega_2$	[12]
Aceleración angular	$\alpha = \frac{\omega_f \cdot \omega_g}{T_1 \cdot T_g}$	[13]
Velocidad angular	$\omega_f - \omega_0 = \int_{t_0}^{t_1} \alpha dt = \alpha \cdot t$	[14]
Desplazamiento angular	$\theta - \theta_0 = \int_{t_0}^{t_1} \alpha \cdot t dt = \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$	[15]
Desplazamiento angular en función de distancia	$\theta = \frac{s}{r}$	[16]

RESUMEN

El presente proyecto pretende mejorar la producción de un telar electromecánico de lanzadera mediante el diseño de un sistema automatizado capaz de detectar la rotura de los hilos de urdimbre y trama y además un mecanismo de enrollamiento de urdimbre e implementarlo en un telar Northrop.

El sistema es controlado por un PLC SIEMENS que recibe las señales de sensores ubicados en lugares estratégicos del telar permitiendo que éste se detenga automáticamente en caso de presentarse anomalías en el proceso de tejido, además la implementación del mecanismo de enrollamiento de urdimbre permite que solamente un operario controle y supervise el proceso.

El proyecto permitió evitar en gran medida los defectos existentes en la tela debido a la rotura de hilos del tejido y también reducir al mínimo el esfuerzo necesario para el enrollamiento de la urdimbre, mejorando de esta manera la calidad del producto final, reduciendo el desperdicio de materia prima y aumentando la producción de todo el taller.

Palabras clave: telar, urdimbre, trama, PLC, batán, fotoeléctrico, catadióptrico,

ABSTRACT

This project pretends upgrade a shuttle electromechanical power loom by the design of an automated system able to detect broken yarns, both warp and weft, and also the design of a warp roll up mechanism implemented in a Northrop power loom.

The system is controlled by a SIEMENS PLC that receives the signal of sensors located in strategic places of the loom allowing it getting stop automatically if an anomaly is detected in the tissue process; besides, the warp roll up mechanism implemented in the loom allows that just one single operator controls and supervises the whole process.

The defects in the fabric produced by the broken yarns were almost completely avoided by the implementation of this system, also the human toil needed to roll up the warp in the loom was reduced at the minimum, thus getting a better quality products, reducing the waste of yarn and improving the whole workshop production.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la automatización de un telar electromecánico de lanzadera que consiste en un sistema que le permite a un telar convencional detectar la rotura de hilo o su ausencia en la lanzadera durante el proceso de tejido, además de dotar un mecanismo que facilita el proceso de enrollamiento de urdimbre en el telar de un taller semi-industrial.

Un telar de lanzadera convencional se caracteriza por ser meramente mecánico, haciendo imposible que actúe por sí mismo en caso de presentarse alguna anomalía durante el proceso de tejido. El proceso de enrollamiento artesanal se caracteriza por la necesidad de involucrar a dos o más trabajadores durante un proceso que requiere mucho esfuerzo humano.

Para analizar estas problemáticas es necesario mencionar las consecuencias que estas provocan. La primera, genera defectos en el producto final haciendo que la unidad producida sea descartada para su venta; la segunda, involucrar a dos o más operarios al proceso, provoca que se detenga la producción de los demás telares durante el enrollamiento de la urdimbre de un telar.

El interés de este trabajo nace por la necesidad del sector textil semi-industrial de la zona de Peguche de mejorar su producción, cualitativa y cuantitativamente. Por otra parte, también surge la posibilidad de mejorar el rendimiento de los telares usados en la mayoría de los talleres locales aplicando la mecatrónica.

La investigación de campo es crucial en el desarrollo de este proyecto, ya que permite visualizar los requerimientos tanto del telar en particular como de todos los subprocesos que involucra la tejeduría. Se aplica además el método experimental para determinar las características de funcionamiento de ciertos procesos y elementos.

- Diseñar un sistema automatizado de detección de rotura de hilos y un mecanismo de enrollamiento de la urdimbre en el carrete del telar.
- Construir el sistema automatizado en el telar electromecánico de lanzadera.
- Probar la mejora de la productividad con el diseño implementado en el telar de lanzadera Northrop.

En el capítulo I se realiza el planteamiento del problema, se trazan los objetivos y se delimitan los alcances de este proyecto.

En el capítulo II se detallan las partes constitutivas del telar electromecánico de lanzadera y se explica de manera general los distintos subprocesos que intervienen en el proceso de tejeduría.

En el capítulo III se abarca el diseño del sistema de detección de rotura de hilos y se detallan los algoritmos, diagramas, programas y elementos usados a través de tablas de valoración de alternativas.

En el capítulo IV se abarca el diseño del mecanismo de enrollamiento de urdimbre, las alternativas de diseño y análisis de elementos a usar son detallados en este apartado.

En el capítulo V se muestra la construcción e implementación del sistema automático de detección de rotura de hilo y el mecanismo de enrollamiento de urdimbre en el telar Northrop y además se documentan las respectivas pruebas de funcionamiento del sistema y del mecanismo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

A nivel local no se tiene información documentada sobre proyectos realizados a telares electromecánicos de lanzadera, pero se tiene el caso de un proyecto que se asemeja mucho al concepto general. Se titula “Diseño e implementación de un sistema de control para telares circulares basado en PLC’s y VSD’s” realizado por Cesar Andrés Felizzo la, en la Universidad Simón Bolívar, en el vecino país de Venezuela. Este proyecto consiste en la automatización de un telar circular de antes de los años 90; el proyecto incluye el control centralizado mediante un PLC y además el control del motor mediante un variador de velocidad dado que el motor trabaja a dos velocidades distintas (Piñate, 2008).

Previa investigación de campo se determinó que algunos talleres familiares de la zona de Peguche han diseñado un mecanismo para el enrollamiento de la urdimbre en el telar, pero este no está integrado al telar, sino más bien a otra máquina que realiza la urdimbre. Este mecanismo podría servir como modelo base para el desarrollo de este sistema en cuanto a la mecánica, debiéndose aplicar un control de tensión adicional para un mejor manejo del proceso.

El proyecto propuesto serviría como modelo para futuras investigaciones y ayudaría a solucionar los problemas que presentan los telares de lanzadera a los artesanos de la zona de Peguche.

1.2. Planteamiento del problema

Los artesanos de las comunidades rurales de Otavalo utilizaban telares fabricados en madera para realizar sus artesanías, pero ello consumía demasiado tiempo debido al hecho de que todo el proceso era manual.

Hoy en día el proceso es un poco más rápido en razón de que los artesanos cambiaron los telares manuales por telares electromecánicos adquiridos a grandes industrias textiles ecuatorianas y de países vecinos que remataban sus “máquinas viejas”; estos telares, generalmente de procedencia europea, estaban contruidos con los mejores materiales de la época por lo que aún funcionan, pero presentan bajas en la producción de tela debido a la pérdida de tiempo de trabajo, desperdicio de material por rotura de los hilos de urdimbre y trama en el proceso de tejeduría y sobreesfuerzo humano en el proceso de enrollamiento de la urdimbre en el carrete del telar.

El costo de un telar moderno sobrepasa las posibilidades adquisitivas de los artesanos locales, por lo que se propone un mejoramiento del telar actual consiguiéndose con ello un aumento en la producción y consecuentemente un mejoramiento en la calidad de la tela (Jaramillo, 2013).

La mayoría de los telares electromecánicos utilizados actualmente por los artesanos de la zona de Peguche presentan desventajas frente a los telares modernos, pero sus principales piezas constitutivas son de excelente calidad (Cuvi, 2011), pudiéndose automatizarla y lograr aumentos en la producción de tela.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Mejorar la producción de tela de un telar electromecánico de lanzadera mediante el diseño de un sistema automatizado capaz de detectar la rotura de los hilos de urdimbre y trama y la implementación de un sistema de enrollamiento de la urdimbre en el carrete del telar.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema automatizado de detección de rotura de hilos y un mecanismo de enrollamiento de la urdimbre en el carrete del telar.
- Construir el sistema automatizado en el telar electromecánico de lanzadera.
- Validar la mejora de la productividad con el diseño implementado en el telar de lanzadera Northrop.

1.4. Alcance

El sistema propuesto será capaz de:

- Detectar de rotura de hilo de urdimbre y trama.
- Detener automáticamente el telar en caso de anomalías en el tejido.
- Informar al operador sobre la falla detectada mediante un aviso visual.
- Reducir el esfuerzo humano en el enrollamiento del hilo de urdimbre.

El sistema usará un controlador lógico programable para procesar la información.

El telar usado como base será un telar de lanzadera de la marca Northrop del año 1954.

La detención del telar no afectará la correcta circulación de la lanzadera a través del batán.

El diseño debe ser igual o más funcional que el original y se debe asegurar que a los operadores les resulte tan familiar como el resto de los telares de lanzadera.

1.5. Justificación

La gran mayoría de artesanos de las comunidades de la zona de Peguche, en el cantón Otavalo, trabajan con telares electromecánicos de lanzadera de los años 50 en adelante, mismos que han sido adquiridos como maquinaria de segunda mano a industrias textiles nacionales y extranjeras como Colombia y Venezuela (Cuvi, 2011). Estos telares, en su mayoría de fabricación europea, siguen funcionando y lo seguirán haciendo si se les da un correcto mantenimiento. Pero su eficiencia se ve afectada al momento de comparar su productividad con la de los telares modernos. Este problema se presenta en muchos de los telares existentes en los pequeños talleres familiares de la zona. Muchos de los propietarios de estos talleres no cuentan con los recursos necesarios para adquirir telares modernos.

Este proyecto pretende mejorar la productividad de estos pequeños talleres, especialmente de los telares antiguos, solucionando la rotura de los hilos de urdimbre y de trama durante el proceso de tejeduría. La calidad de la tela depende del correcto flujo de los hilos de urdimbre y por supuesto de la trama. En ocasiones algunos de estos hilos se rompen, y por la velocidad del telar o descuido del operario no se detectan a tiempo y la tela presenta fallas que si no se reparan en ese momento, queda descartada para su venta.

Es por esto que el operario debe detener el telar, cortar la trama de la sección afectada, regresar la urdimbre a la posición adecuada y calibrar el golpe del batán de modo que no sea notoria la falla. Esto supone un desperdicio de material y una pérdida de tiempo de trabajo.

Otro aspecto tomado en cuenta para mejorar la productividad es reducir el esfuerzo que realizan los trabajadores para enrollar la urdimbre en el carrete del telar, para esto se pretende aprovechar el giro del mismo motor del telar y acoplarlo al carrete para que el

operario no deba hacer el duro trabajo manualmente, o en su defecto, utilizar un motor pequeño adicional directamente con esta finalidad, variando su velocidad de giro (Piñero, 2015) en función de la tensión de enrollamiento. Todo dependerá de un estudio de factibilidad entre ambas opciones.

CAPÍTULO II

2. Fundamento teórico

2.1. Telar electromecánico de lanzadera

El telar electromecánico de lanzadera pertenece al grupo de telares planos, es decir, la estructura básica de su tejido requiere de dos hilos, urdimbre y trama. Es una máquina formada por un conjunto de mecanismos sincronizados, accionados por un motor eléctrico, capaces de realizar tejidos textiles con la supervisión y control de un operario.

2.2. Elementos principales de un telar plano de lanzadera

- Urdimbre.- Conjunto de hilos ordenados y plegados paralelamente. Su longitud y número de hilos son parámetros que dependen del tejido a realizar. (Pilataxi, 2007)
- Trama.- Hilo que entrecruza sincronizadamente la urdimbre y da forma a la tela.
- Liso.- Conjunto de láminas delgadas y perforadas en su centro a través de las cuales pasan cada uno de los hilos de la urdimbre (Figura 1).



Figura 1. Liso

- Marco.- Estructura encargada de sostener verticalmente los lisos. Recibe el movimiento alternativo producido en la corona y permite el entrecruce de los hilos de la urdimbre en el peine. El número de marcos a utilizar depende del diseño del tejido. Son necesarios al menos dos marcos para realizar un tejido (Figura 2).

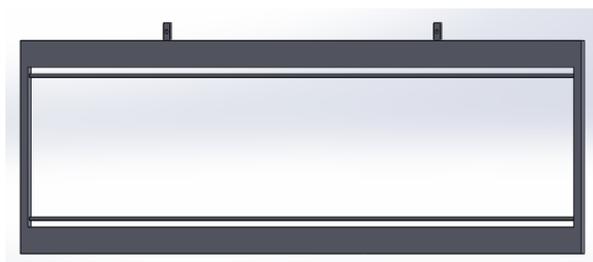


Figura 2. Marco sin lisos

- Corona.- Mecanismo que permite generar el cruce entre los hilos de urdimbre mediante el movimiento sincronizado y alternativo de los marcos del liso. Como se muestra en la figura 3, está conformado por un conjunto de piezas dentadas que se mueven en función de una lámina perforada con un patrón de diseño o en otros casos en función a una estructura giratoria con dientes dispuestos estratégicamente formando también un patrón.



Figura 3. Corona del telar Northrop

- Batán.- Elemento oscilante que recibe el movimiento del motor a través de un cigüeñal y genera la calada deseada, es decir, el golpe necesario para unir los hilos de la trama con la urdimbre y así fabricar la tela. Sobre este se desliza la lanzadera. Contiene el peine.
- Peine.- Elemento formado por delgadas láminas dispuestas vertical y paralelamente y unidas en sus extremos. Va sujeto a la parte superior del batán. Permite distribuir correctamente la urdimbre antes de fabricar la tela. La distancia de separación de cada lámina depende del tejido a realizar.
- Lanzadera.- Elemento en el cual se monta el carrete o husillo de hilo. Se desplaza de izquierda a derecha y viceversa a través del batán y del entrecruce de la urdimbre (Figura 4).



Figura 4. Lanzadera

- Espada-caja.- Conjunto de elementos que impulsa la lanzadera a través del batán, está ubicada en cada extremo del batán.

En la figura 5 puede observarse la posición de cada elemento en un telar convencional de lanzadera.

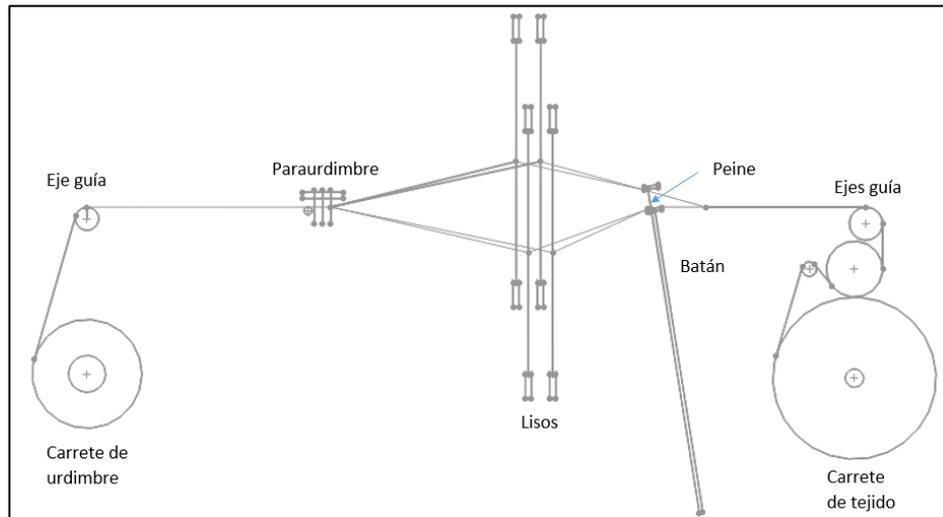


Figura 5. Diagrama de partes principales de un telar plano

2.3. Proceso de tejeduría en un telar plano de lanzadera

Intervienen varios subprocesos previos a la tejeduría propiamente dicha, mismas que se detallan a continuación.

2.3.1. Proceso de urdido

Proceso para preparar la urdimbre, consiste en ordenar los hilos en función al diseño o patrón elegido por el operario. Existen principalmente dos tipos de urdido, el directo y el indirecto (Alberto, 2017).

2.3.1.1. Urdido directo

En el proceso de urdido directo todos los hilos que conformen la urdimbre se enrollan directamente en el carrete del telar (Alberto, 2017). Obviamente deberá desmontarse el carrete del telar, transportarse a la urdidora y una vez terminado el proceso de urdido, volverá a montarse en el telar. Las filetas de la máquina urdidora contienen tantos conos

de hilo como requiera el ancho de la tela a producir como se muestra en la figura 6, mientras que la longitud de la urdimbre puede variar ampliamente dependiendo de la producción deseada. Este tipo de proceso es común para plantas de producción a gran escala y para telas uniformes, es decir, telas sin diseños ni patrones complicados. En este proyecto no se analiza a fondo este proceso, pero puede estudiárselo en detalle en la bibliografía citada.



Figura 6. Filetas en el proceso de urdido. Fuente: FLEXICO, México (2018)

2.3.1.2. Urdido indirecto o seccional

En este proceso se colocan los hilos por secciones, siguiendo un patrón o diseño establecido por el operario urdidor. Se trabaja con un término coloquial denominado “minol” que representa a un grupo de 24 hilos con los que se puede formar el diseño o patrón. La fileta tendrá entonces solamente 24 conos, teniéndose que repetir este patrón tantas veces como el ancho deseado de la tela lo requiera, es decir en función de cuantos minoles se desee la tela. El proceso requiere de unos peines que diseñan el patrón, la urdimbre se va enrollando en un rodillo dotado de separadores que impiden el desorden de los minoles. Conforme la urdimbre va enrollándose, el peine guía va avanzando desde un extremo hacia el otro del rodillo. Una vez terminado el proceso se procede a pasar toda la urdimbre del rodillo al carrete del telar, el mismo que deberá ser desmontado previamente. Este proceso también es a gran escala, pero para telas con patrones o diseños variados. En la figura 7 podemos observar detalladamente el proceso.

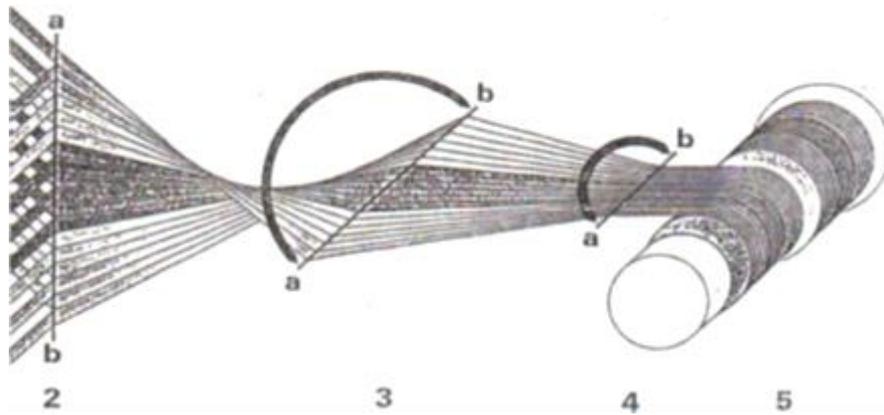


Figura 7. Proceso de Urdido indirecto. Fuente: Alberto, 2017

“En este caso entre la fileta y el peine de cruz hay un peine guía que permite girar la faja cuando se urden dibujos con franjas simétricas de colorido. En el esquema, 2 corresponde al peine vertical; 3 el peine de cruz; 4 peine de urdir; 5 bota de urdidor. La letra a indica el primer hilo de la faja y b el último, Los arcos indican la posibilidad de inversión de posición de los hilos para formar simetrías.” (Alberto, 2017)

En la mayoría de talleres de la zona se realiza este mismo proceso pero de forma manual, es decir, en lugar de un rodillo horizontal en donde se envuelva toda la urdimbre, se tiene una estructura vertical (ver figura 8). El operario urdidor es el encargado de girar la estructura con un brazo, y con la otra hacer de peine guía de avance. El entrecruce o peine de cruz se lo realiza conforme avance el proceso con varillas situadas en la parte superior de la estructura vertical como se muestra en la figura 9.



Figura 8. Urdido seccional vertical

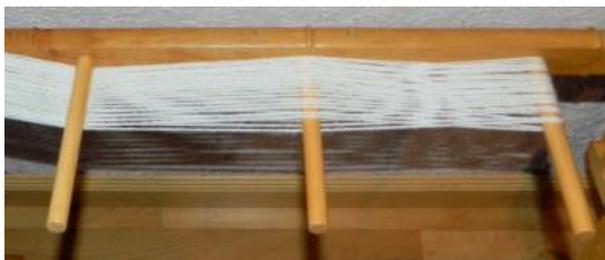


Figura 9. Varillas usadas como peine de entrecruce

Un excelente proceso de urdido asegura a posteriori un excelente proceso de tejeduría. Si una sección de la urdimbre tiene una tensión mucho menor a las demás, conlleva a fallas en el proceso de tejeduría, y en este proyecto específicamente, una falla en la detección de la rotura de hilos en la urdimbre, creando una falsa alarma de rotura.

2.3.2. Proceso de enrollamiento de la urdimbre en el carrete

En el apartado anterior se determinan dos maneras de enrollamiento de la urdimbre en el carrete, la primera con el urdido directo, en donde el carrete, una vez desmontado del telar, se lo coloca en la urdidora y el proceso de urdido se lo realiza directamente en él.

En el segundo caso, urdido seccional, el carrete también es desmontado del telar pero solamente una vez terminado el proceso de urdido. Aquí el carrete se coloca paralelo al rodillo que contiene la urdimbre y mediante un mecanismo se traspasa todo el hilo al carrete. Ambos casos requieren de un esfuerzo para volver a montar el rodillo ya cargado de urdimbre al telar.

Un tercer caso se da en los talleres de pequeñas dimensiones. Aquí la producción no es a gran escala y los patrones a crear son muy variados, por lo que la mayoría de operarios opta por el urdido seccional vertical. Una vez terminado el proceso de urdido, se forma una cadena desenrollable con la misma urdimbre y se lo transporta al telar. Se coloca un peine a manera de rastrillo sobre el eje guía del carrete para lograr una distribución uniforme de la urdimbre en el carrete. Un operario sostiene a cierta tensión la urdimbre mientras que otro operario gira manualmente el carrete hasta enrollar toda la urdimbre.

Como se aprecia en la figura 10, en este caso no es necesario desmontar el carrete del telar.



Figura 10. Proceso de enrollamiento manual

2.3.3. Proceso de anudado

Consiste en anudar cada uno de los hilos de la urdimbre, una vez terminado el proceso de tejeduría, con los hilos de la nueva urdimbre. Este proceso puede ser manual o automático.

El proceso manual depende de la habilidad del operario, tomando en promedio una hora y media por cada 40 minoles, 100 minutos por cada 1000 hilos, lo que equivale a 10 nudos por minuto aproximadamente (Ver anexo de mantenimiento). Se dispone en el mercado dispositivos de anudado automático (Figura 11) que realizan el proceso en corto tiempo, los más rápidos actualmente realizan 600 nudos por minuto, como los modelos TOPMATIC y MAGMA T12 del fabricante Stäubli (Stäubli, 2018). Cabe destacar que su elevado costo y sus características de producción no se apegan al mercado al que este proyecto está destinado, pero el desarrollo de modelos automáticos similares mejoraría la producción local.



Figura 11. Proceso de anudado automático. Fuente: Stäubli, (2018)

2.3.4. Proceso de tejeduría

Una vez que la urdimbre está lista, se prepara el hilo de trama en la lanzadera. La urdimbre avanza por el eje guía, atraviesa por los agujeros del liso del marco, aquí se entrecruza gracias al mecanismo de la corona, luego atraviesa el peine sobre el cual se desliza la lanzadera conduciendo el hilo de trama y por último el batán golpea la trama hacia el frente, formando la calada deseada y obteniéndose el tejido.

Existen 3 tipos básicos de tejido para un telar plano industrial, tipo tafetán, tipo sarga y tipo raso.

Tafetán es el más básico, consiste en el entrecruce de la urdimbre con la trama con la necesidad de solamente dos marcos. Analizando la figura 12, los hilos de la urdimbre (1) permiten el paso de los hilos de la trama (2) que se desplazan de derecha a izquierda y viceversa entrelazándose alternativamente entre ellos y creando el tejido (La Colonial, 2014). La cantidad de saltos para formar el escalonado es de uno.

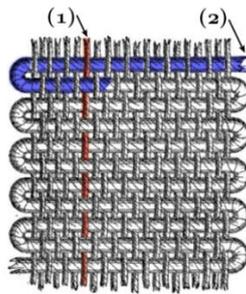


Figura 12. Tejido plano tipo tafetán. Fuente: La Colonial

Sarga es un tipo de tejido plano caracterizado por tener una diagonal en relieve formada por los hilos de la urdimbre y alternados con otra diagonal menor formada por la trama. Si el entrecruce y la calada son uniformes, se obtiene una diagonal de 45° (Bustamante, 2017). Un pequeño cambio en el mecanismo de la corona o en la calada genera un entrecruzado o un ángulo de la diagonal diferentes y por consiguiente un diseño distinto

en la tela. Son necesarios de 3 marcos en adelante. La cantidad de saltos escalonados es de uno (Figura 13).

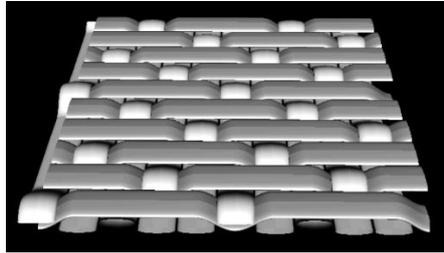


Figura 13. Tejido plano tipo Sarga. Fuente: Wikipedia

Raso o Satén es el tipo de tejido plano más lustroso, ya que tiene saltos escalonados diferentes a la unidad, es decir, tiene un escalonamiento más abierto y por ello el color de la urdimbre sobresale siendo así más vistoso. En la figura 14 se tiene una muestra de este tipo de tejido; trabaja con más de cinco marcos.

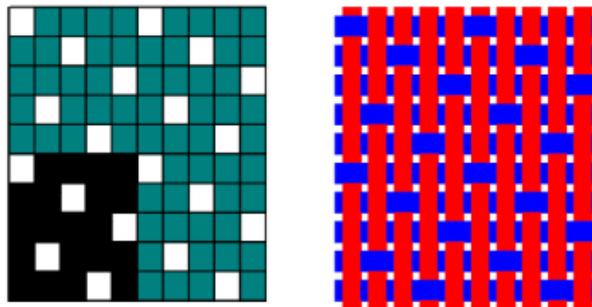


Figura 14. Tejido plano tipo Satén. Fuente: Bustamante, 2017

El telar con el que se cuenta para este proyecto produce el tejido plano tipo sarga, utiliza 4 marcos, con saltos escalonados de 1, que genera un tejido de doble faz.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL TELAR ELECTROMECAÁNICO DE LANZADERA

3.1. Descripción de la situación actual del telar electromecánico

El telar de lanzadera tiene un funcionamiento meramente mecánico, cumple las funciones de producir tejidos pero no es capaz de actuar por si solo en caso de presentarse alguna anomalía en el tejido, producidos por el estado de la materia prima o por descuido del operario, y por esto en ocasiones se producen tejidos de mala calidad que son descartados para su comercialización. .

3.2. Propuesta de sistema automático de detección de rotura de hilos

Se describe el desarrollo de un sistema para la detección de rotura de hilos tanto de la urdimbre como de la trama y con ello, la detención automática del telar electromecánico, logrando así mejorar la calidad en la fabricación del tejido. Para el desarrollo de este sistema se analizan distintas tecnologías disponibles en máquinas y telares semejantes. Se propone un sistema conformado por sensores posicionados en lugares estratégicos del telar, mismos que detecten la rotura de hilos de urdimbre o trama, esta señal de rotura se envía a un controlador lógico programable que procesa la información y a su vez, envía una señal de salida a un actuador mecánico, deteniéndose así inmediatamente el telar electromecánico.

3.3. Desarrollo del algoritmo para el sistema de control

3.3.1. Diagrama de flujo del proceso para detectar rotura de hilos

En la figura 15 se muestra un diagrama con la lógica básica para el sistema de detección de hilos rotos y la inmediata detención del telar. Se considera que el telar debe estar en marcha para que inicie la lógica del sistema.

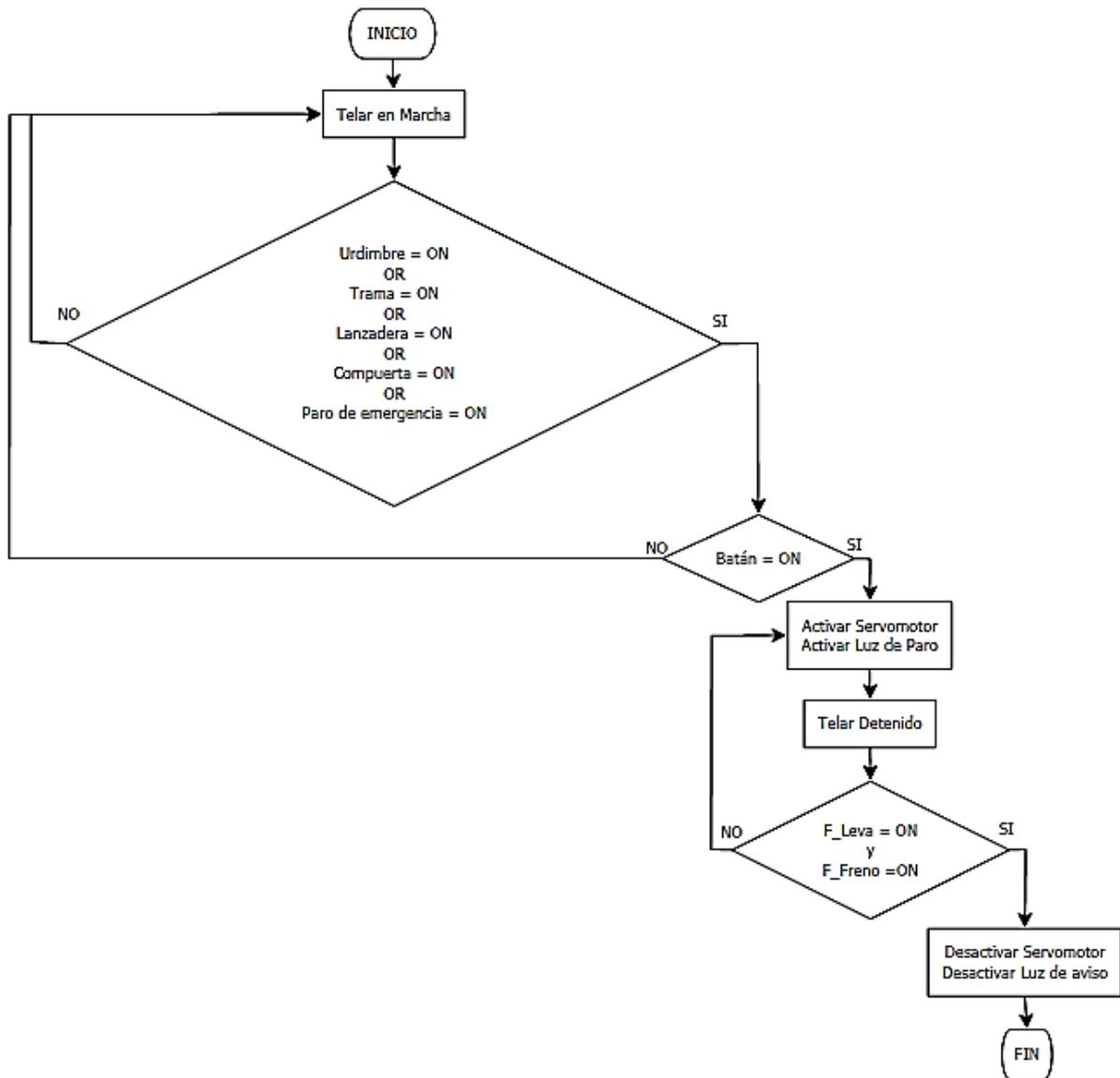


Figura 15. Diagrama del sistema de detección de hilos rotos. Realizado en software libre Dia

Se detalla a continuación cinco diagramas, con los algoritmos usados para el posterior diseño del programa. Cada diagrama corresponde al proceso de un sensor en particular.

3.3.2. Diagrama para detección de rotura de hilo en urdimbre

Si un hilo de la urdimbre se rompe, una alarma visual indica el hecho al operario y al mismo tiempo una señal se envía al PLC para que el telar se detenga; en la figura 16 se muestra el diagrama respectivo.

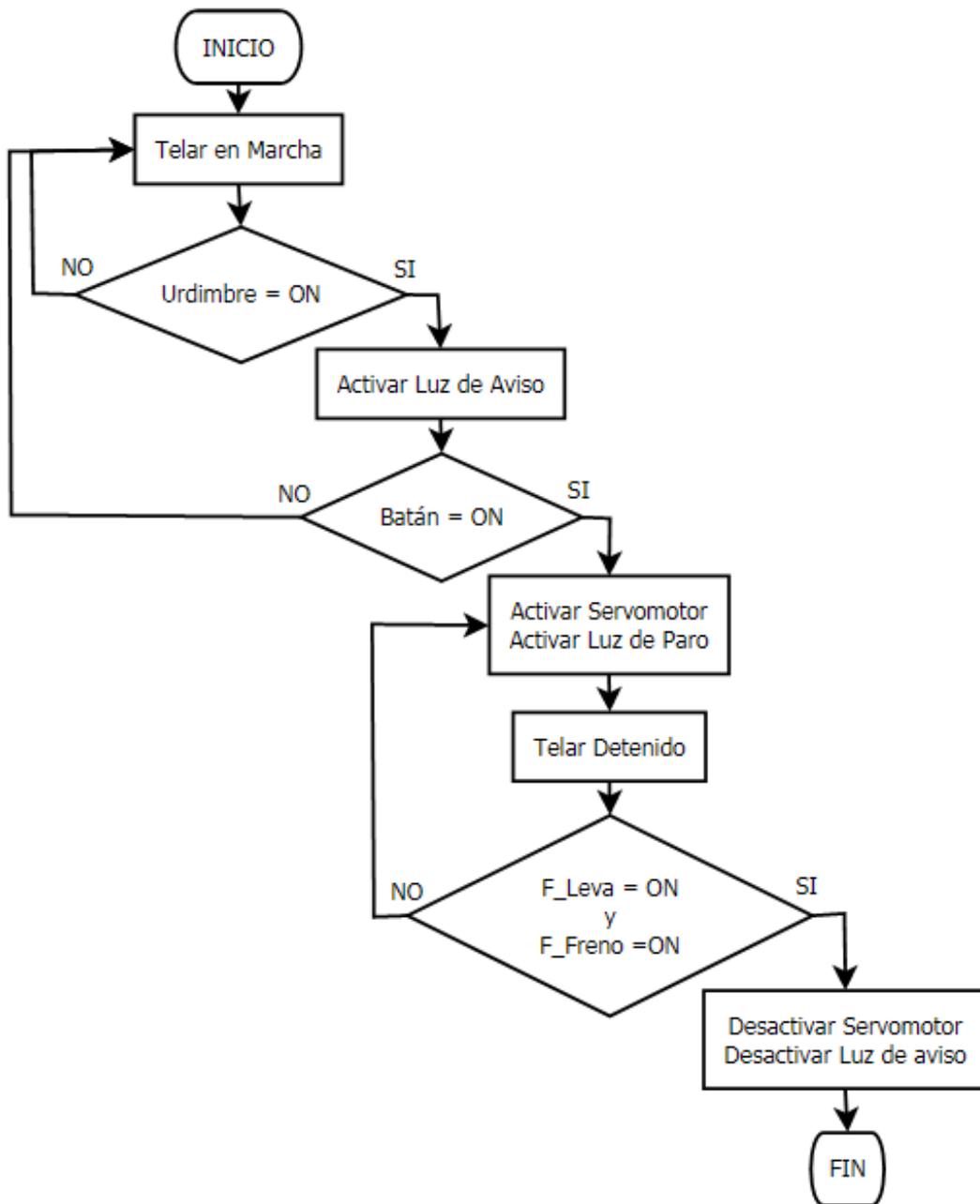


Figura 16. Diagrama de rotura de hilo en urdimbre. Realizado en software libre Dia

3.3.3. Diagrama para detección de rotura en hilo de trama

La lanzadera viaja a través del batán a una velocidad de 6m/s y en ocasiones puede producirse una fricción no controlable del hilo del husillo contra alguna parte fija del batán, rompiéndose y generándose una falla en el tejido. El sistema detecta cuando el hilo del husillo se rompe y envía la señal al PLC, deteniéndose el telar (Figura 17).

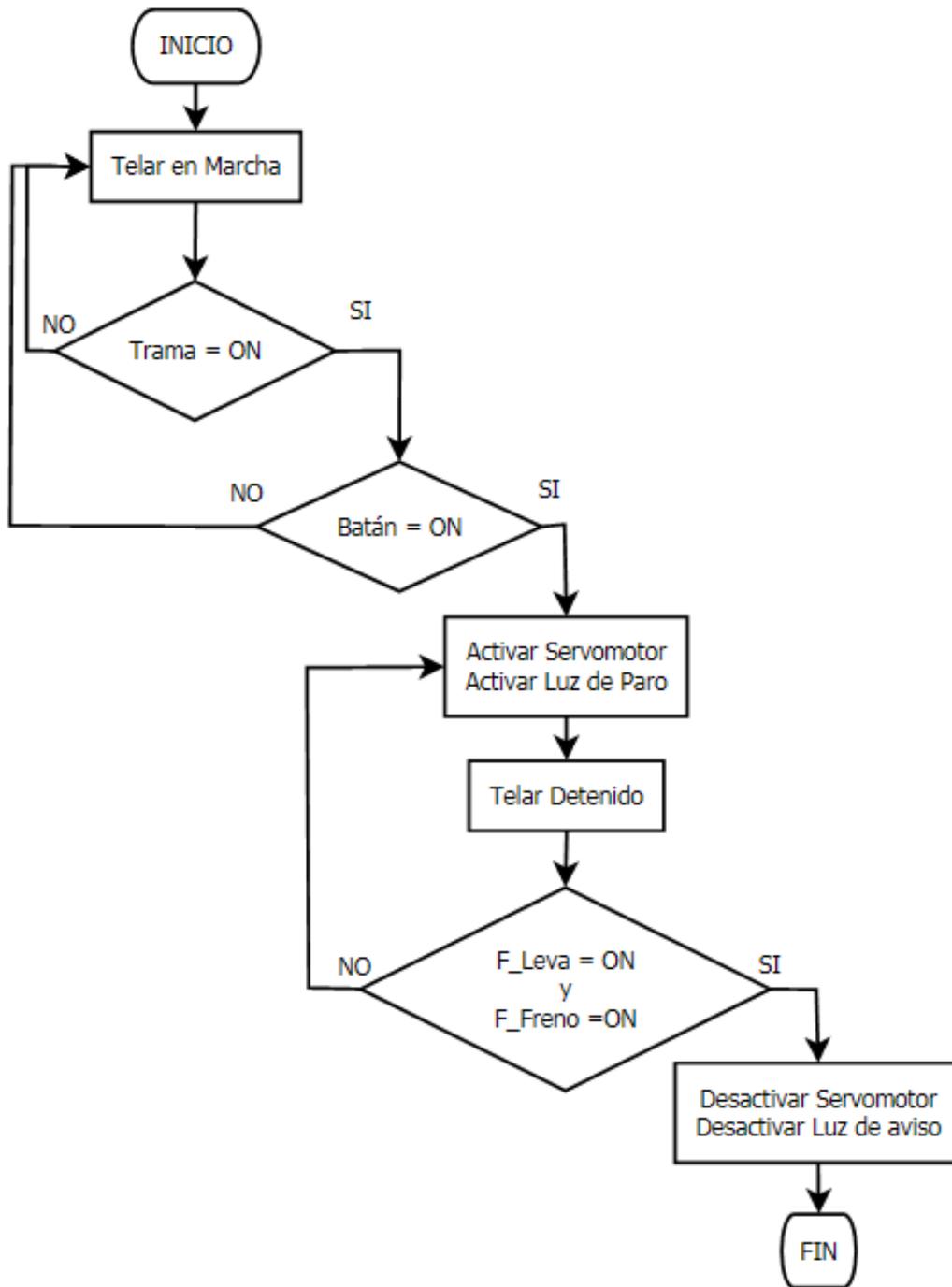


Figura 17. Diagrama de rotura de hilo en trama. Realizado en software libre Dia

3.3.4. Diagrama para detección de hilo en lanzadera

Un funcionamiento semejante a la detección de rotura de la trama tiene la detección de hilo en la lanzadera, con la diferencia de que aquí se detecta cuando el hilo en el husillo de la lanzadera se termine. El diagrama de la figura 18 muestra la lógica seguida.

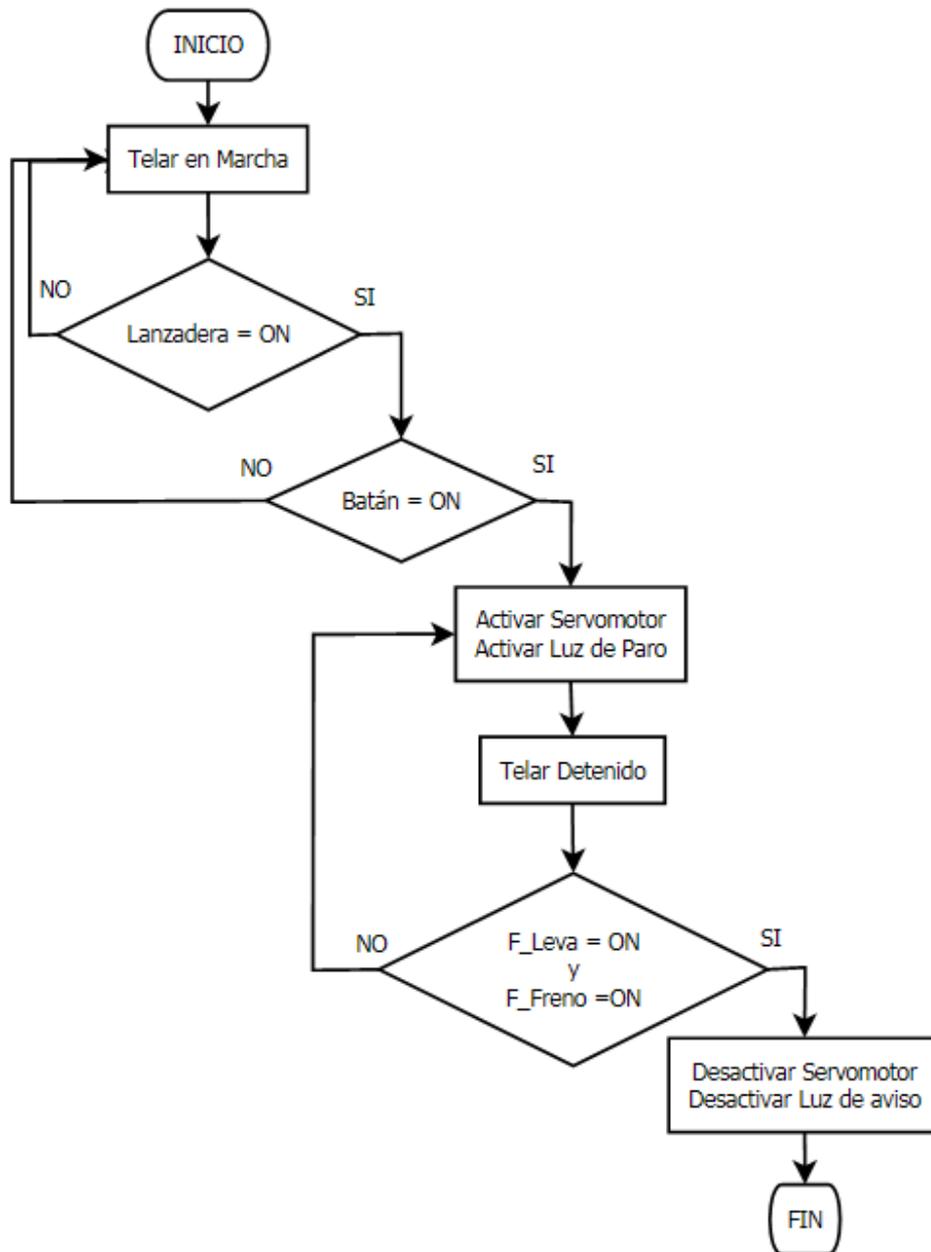


Figura 18. Diagrama de detección de hilo en lanzadera. Realizado en software libre Dia

3.3.5. Diagrama para detección de apertura de compuerta del tablero de control

En caso de que por desconocimiento o negligencia, el operario abriese la compuerta del tablero de control mientras el telar esté en marcha, se envía una señal al PLC para que la máquina se detenga, además se activa una luz de aviso y en la pantalla del PLC se muestra un mensaje de advertencia. (Análisis de seguridad sujeto a la Guía para resguardos y protecciones de Maquinaria y equipos, sección 1.6 de Mantenimiento y al Reglamento

de Seguridad del Trabajo contra Riesgos en Instalaciones de Energía Eléctrica, Art 18 en adelante) (Ministerio de Trabajo y Recursos Humanos, 1998) (Chaverri, 2009). En la figura 19 se aprecia la lógica del algoritmo.

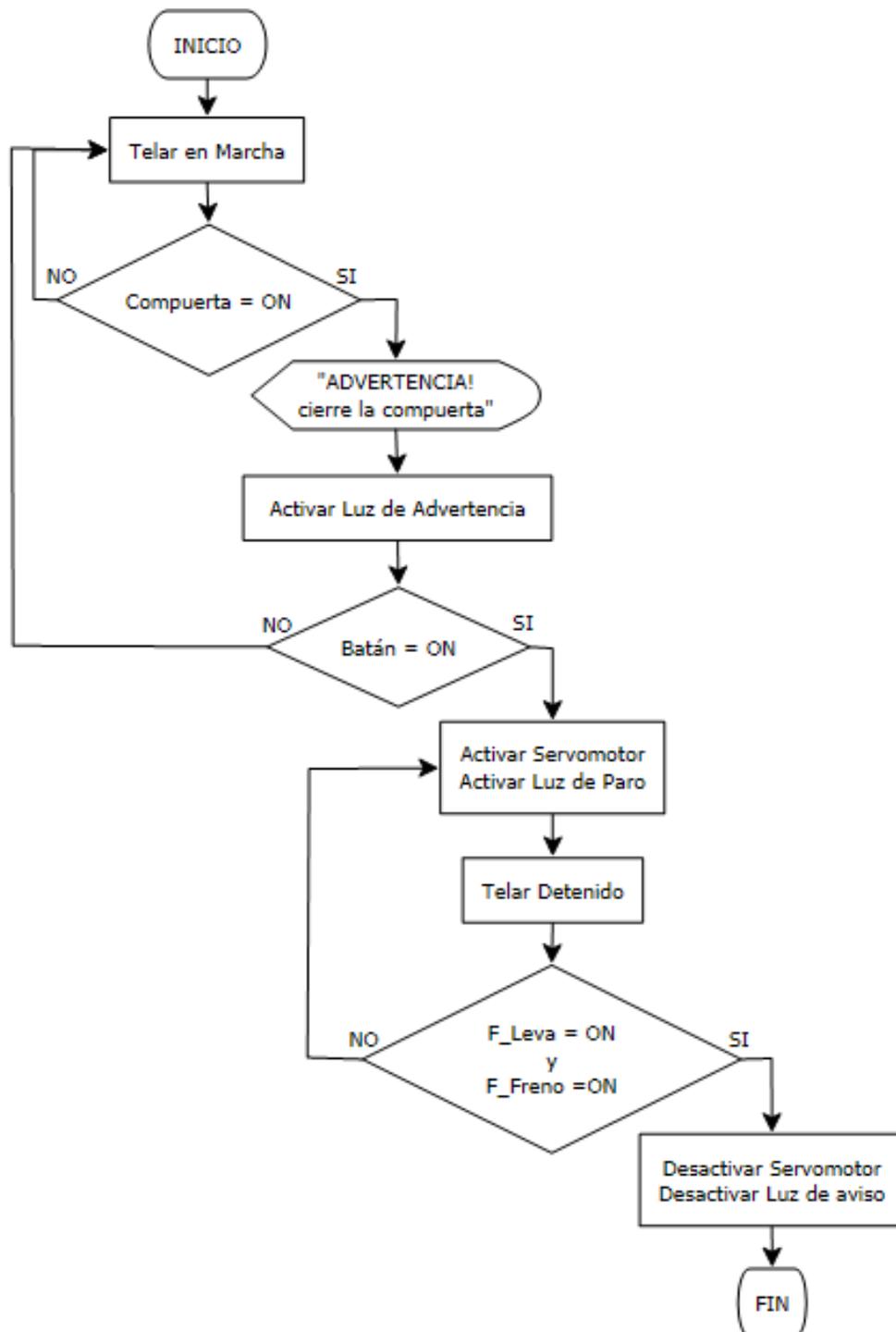


Figura 19. Diagrama de detección de apertura de compuerta de control. Realizado en software libre Dia

3.3.6. Diagrama de paro de emergencia

Para el proyecto, el paro de emergencia se ubica en la parte posterior del telar debido a que resulta más asequible y necesario para el operador, y cumpliendo con las exigencias de las guías de buenas prácticas. (Ricardo Chavarría Cosar, 1984). Una luz intermite para indicar el accionamiento del botón de paro de emergencia y se desactiva solo si el botón regresa a la posición original, impidiendo así la puesta en marcha del telar (Figura 20).

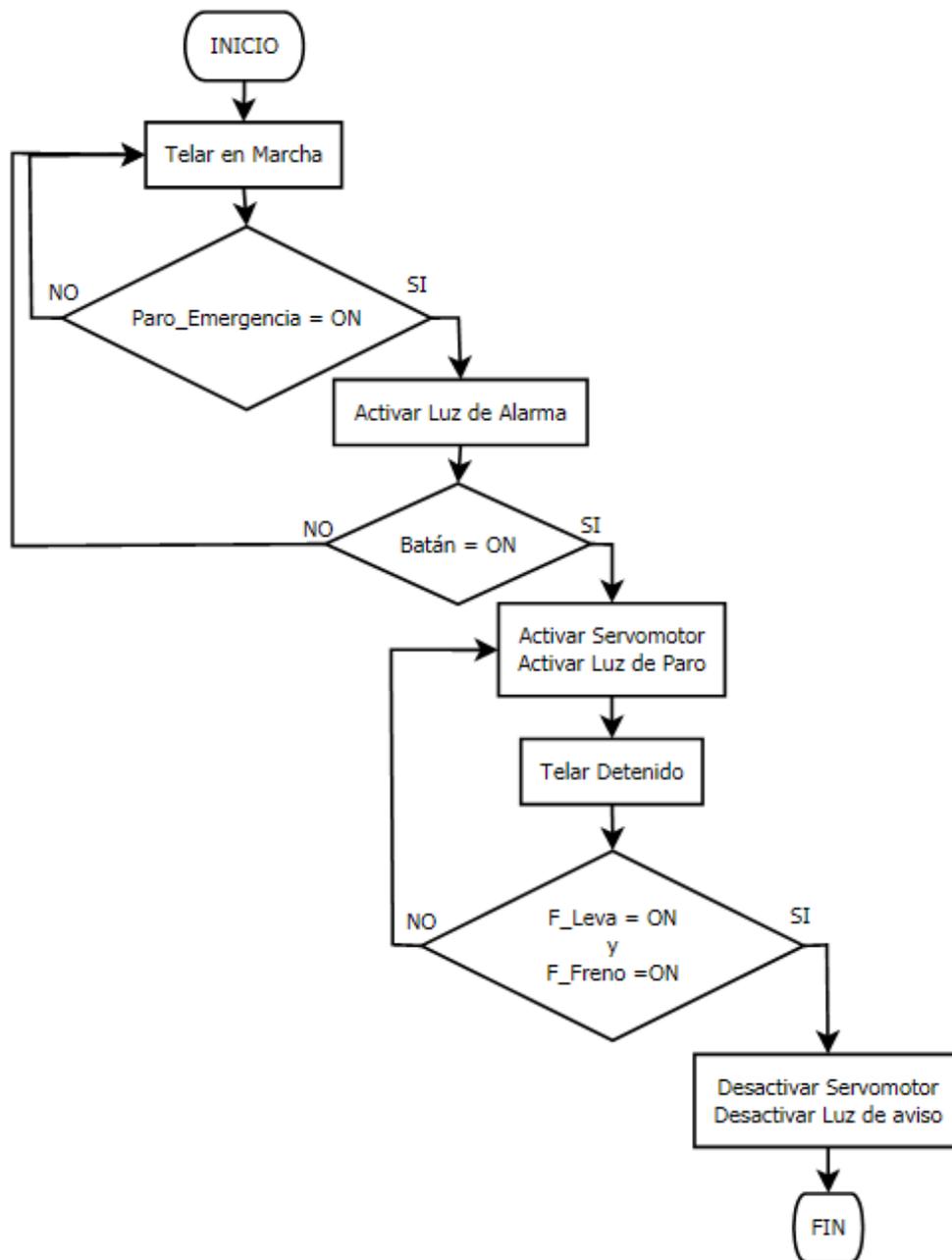


Figura 20. Diagrama de accionamiento de botón de paro de emergencia. Realizado en software libre Dia

3.4. Análisis y selección de elementos mecánicos para el sistema de detección de rotura de hilos.

3.4.1. Desarrollo de la estructura para detectar rotura en urdimbre

La detección oportuna de la rotura de uno o varios de los hilos de la urdimbre es esencial tanto para mejorar la calidad del tejido como para aprovechar y maximizar el tiempo de trabajo del telar. Los telares de pinzas y de lanzadera actuales utilizan un dispositivo llamado paraurdimbre que consta principalmente de barras bimetálicas y láminas delgadas y debido a su sencillez, versatilidad y disponibilidad es usado en este proyecto.

El conjunto de barras y láminas aprovecha la tensión de la urdimbre existente entre el carrete y los lisos del marco, si un hilo se rompe, se pierde esta tensión, la lámina cae y se cierra un circuito eléctrico. Cada hilo de la urdimbre pasa por una fina lámina metálica y éstas a su vez van montadas en las barras; la distribución de las láminas puede variar en función del tipo de tejido a realizar. Se instalan tantas láminas como número de hilos tenga la urdimbre.

3.4.1.1. Barra bimetálica del paraurdimbre

Consiste en una barra bimetálica montada una sobre la otra y separadas entre sí por un aislante plástico (Figura 21). Los contactos del bimetálico están conectados a una fuente de 24V DC, siendo una fina lámina metálica la encargada de cerrar el circuito y enviar la señal al PLC.

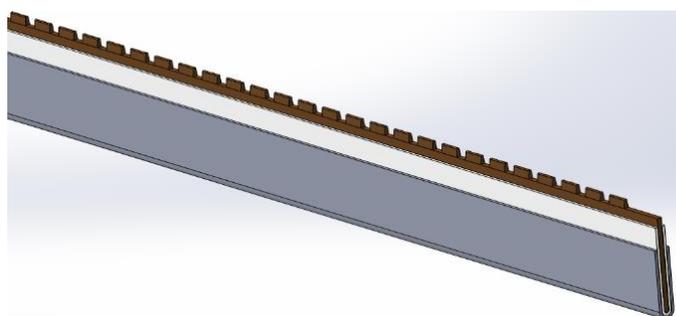


Figura 21. Barra bimetálica del paraurdimbre separada por un aislante

3.4.1.2. Láminas metálicas

Son delgadas láminas que están suspendidas en el aire gracias a la tensión de los hilos de urdimbre. A continuación la figura 22 y la tabla 1 detallan las características principales de las láminas existentes en el mercado textil.

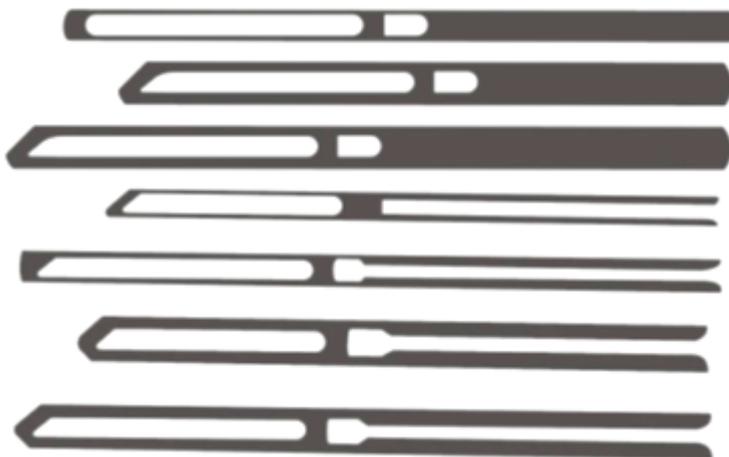


Figura 22. Tipos de láminas de paraurdimbre, Fuente: Vilatuña Ana, pág. 39

La terminación en punta de las láminas permite un mejor contacto con el paraurdimbre.

Tabla 1. Láminas en función de la materia prima a tejer. Tomado de Vilatuña, 2007

LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	PESO (gr)	MATERIA PRIMA DE URDIMBRE
165	11	0.20 0.30	1.2	Algodón de 16 a 30 Ne. Lana peinada de 24 a 45 Ne. Lino de 44 a 84 Ne.
165	11	0.30	3.4	Algodón de 8 a 16 Ne. Lana peinada de 14 a 24 Ne. Lino de 22 a 44 Ne.
165	11	0.4	4.5	Algodón de 5 a 8 Ne. Lana peinada de 12 Ne y más fuerte. Lino de 14 a 22 Ne.
180	12	0.65	7.0	Algodón de 5 Ne y más fuerte. Lana cardada de 16 Ne y más fuerte. Lino de 14 Ne y más fuerte.

En este proyecto se usa la lámina de 3.4gr basándose en los siguientes requerimientos:

- El orlón es la materia prima usada en este telar para el tejido que produce. Esta fibra sintética tiene propiedades similares a la lana natural.
- Peso de la lámina suficiente para no cambiar en exceso la tensión del hilo.
- Parte inferior abierta para mayor facilidad de reanudado en caso de rotura del hilo.
- Disponibilidad permanente en el mercado local.
- Desarrollo del mecanismo de accionamiento de freno

3.4.2. Desarrollo del mecanismo de accionamiento de freno

Se detallan a continuación una tabla de características y una tabla de valoración (tabla 2 y 3 respectivamente) con las alternativas disponibles para accionar el freno del telar.

Tabla 2. Características de alternativas de accionamiento de freno

ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Actuador lineal eléctrico EPCO	Mecanismo de leva y seguidor
Fabricado por Festo	Fabricación local
Carrera desde 30mm	Carrera deseada en función del diseño de la leva
Accionado por motor integrado a la misma estructura	Accionamiento por servomotor acoplado a la leva
Husillo de rodamiento por bolas giratorio	Deslizador lineal por bolas
Requiere fuente de alimentación externa	Requiere fuente de alimentación externa
Tipo de protección IP40 (acorde a DIN EN IEC 60529)	Tipo de protección IP20 (acorde a DIN EN IEC 60529)
Construido en aluminio	Construido en aluminio Husillo de acero inoxidable
Producto importado	Disponible en el mercado nacional
Elevado costo (Cotización en Ecuainsetec S.A.)	Bajo costo (manufactura local)

Tabla 3. Valoración de alternativas para mecanismo de accionamiento de freno

Grado de importancia	Factores	Actuador lineal Festo	Valoración 1	Leva y seguidor	Valoración 2
15%	Complejidad	4	0.60	3	0.45
15%	Disponibilidad	3	0.45	5	0.75
20%	Versatilidad (instalación)	4	0.80	4	0.80
25%	Durabilidad	5	1.25	4	1.00
25%	Precio en el mercado local	2	0.50	4	1.00
TOTAL			3.60		4.00

Calificación: 5=excelente-muy fácil

2=regular-difícil

4=muy bueno-fácil

1=malo-muy difícil

3=bueno-medio

La tabla de valoración 3 se basa en criterios que el autor toma en cuenta en función a la realidad del taller para el cual se dirige este proyecto. El grado de valoración va del 1 al 5 como se explica en la parte inferior de la tabla 3, multiplicado por el grado de importancia que tenga el criterio analizado. Esta temática se aplica en todas las tablas de valoración que se detallan en este proyecto.

En función a la tabla 3 de valoración, se determina optar por la alternativa 2, el mecanismo de leva y seguidor; precio, durabilidad y versatilidad son los factores con más peso en este análisis debido al espacio disponible para la instalación del mecanismo en el telar y además la situación del taller al cual el proyecto está dirigido.

3.4.2.1. Diseño de leva y seguidor

“La versatilidad y flexibilidad en el diseño de los sistemas de levas se encuentran entre sus características más atractivas. Con todo, esto da origen

también a una gran variedad de perfiles y formas, y a la necesidad de cierta terminología para distinguirlas.” (López, 1987)

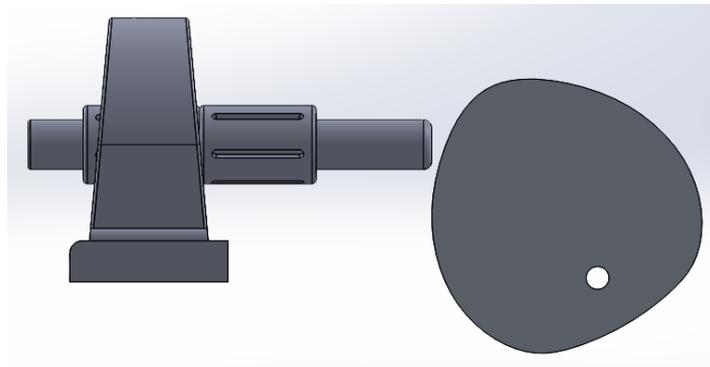


Figura 23. Leva de disco con seguidor de cara plana

El mecanismo de leva y seguidor de cara plana mostrado en la figura 23 es sencillo y se apega a las condiciones de trabajo del telar, además la fricción entre las superficies en contacto es mínima debido a que no está sometido a grandes revoluciones. Las bases para sujetar el mecanismo son diseñadas específicamente para el telar Northrop.

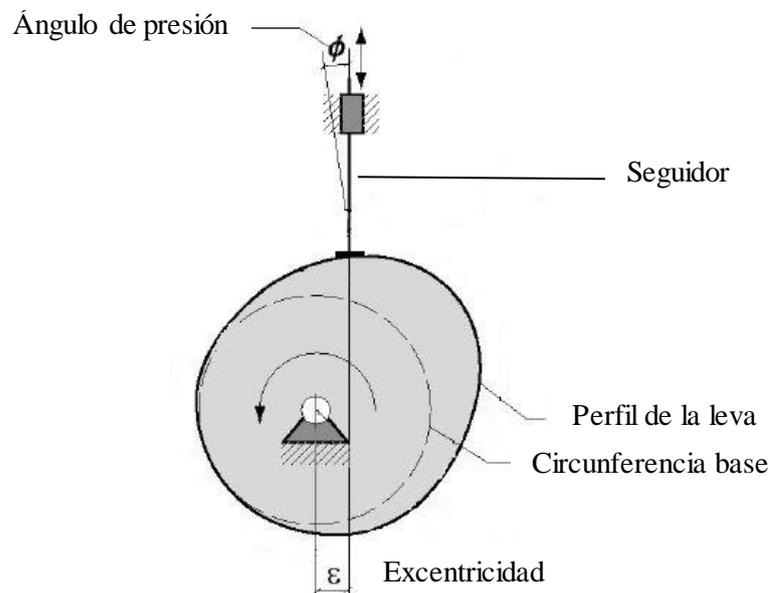


Figura 24. Elementos de un mecanismo de leva-seguidor. Realizado con herramienta gráfica Paint.

En la figura 24 puede observarse las principales partes de un mecanismo de leva – seguidor y se explica en breve cada parte.

Circunferencia base.- Es la circunferencia más pequeña que se forma en el centro de rotación de la leva.

Ángulo de presión.- Es el ángulo φ formado entre la normal común a los perfiles de la leva y del seguidor en el punto geométrico de contacto y la dirección de la velocidad del seguidor en dicho punto. (Departamento de Ingeniería Mecánica, 2017)

Excentricidad: Es la distancia ε entre el eje a lo largo del cual se traslada el seguidor y el centro de rotación de la leva. Su valor puede ser nulo en caso de seguidores alineados. Sólo está presente en seguidores con movimiento de traslación. (Departamento de Ingeniería Mecánica, 2017)

3.4.2.2. Diagrama cinemático de desplazamiento

El diagrama de desplazamiento es un método gráfico que permite determinar la forma final de una leva en función de ciertos parámetros; se analiza la trayectoria que genera el recorrido de la leva en movimientos de ascenso, reposo y descenso. Los tipos de diagramas de desplazamiento difieren entre sí en función de la velocidad de giro al cual son sometidos y la trayectoria a seguir (Departamento de Ingeniería Mecánica, S.F), teniéndose entre estos los siguientes:

- MOVIMIENTO UNIFORME.- Para mecanismos sometidos a velocidad constante y velocidad de giro de la leva menor a 1000 rpm (Figura 25).

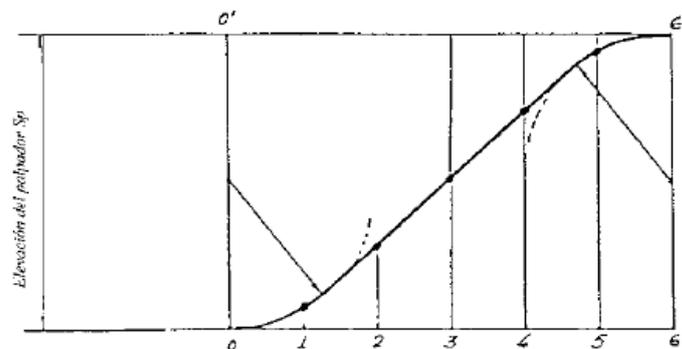


Figura 25. Diagrama con movimiento uniforme modificado. Fuente: Teoría de mecanismos

- MOVIMIENTO PARABÓLICO.- Para mecanismos con aceleración constante y velocidades de giro de la leva entre 1000 y 6000rpm (Figura 26).

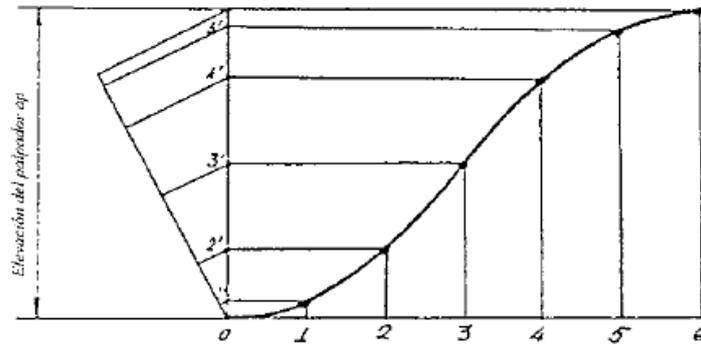


Figura 26. Diagrama de movimiento parabólico. Fuente: Teoría de mecanismos

- MOVIMIENTO ARMÓNICO.- La velocidad de giro de la leva puede ser superior a 1000rpm (Figura 27).

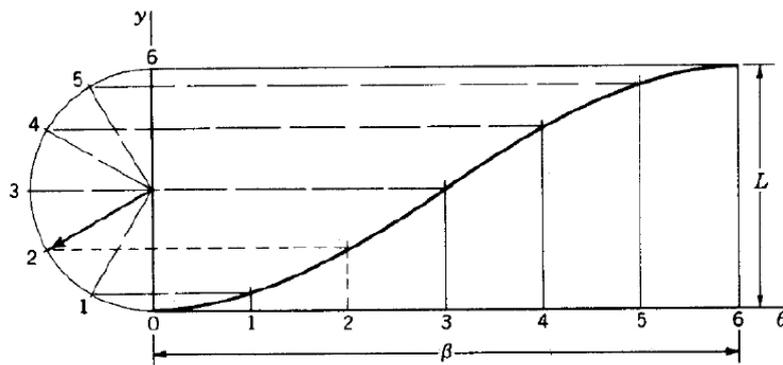


Figura 27. Diagrama de movimiento armónico. Fuente: Teoría de mecanismos

- MOVIMIENTO CICLOIDAL.- Permite una velocidad de giro mayor a todos los casos anteriores (Figura 28).

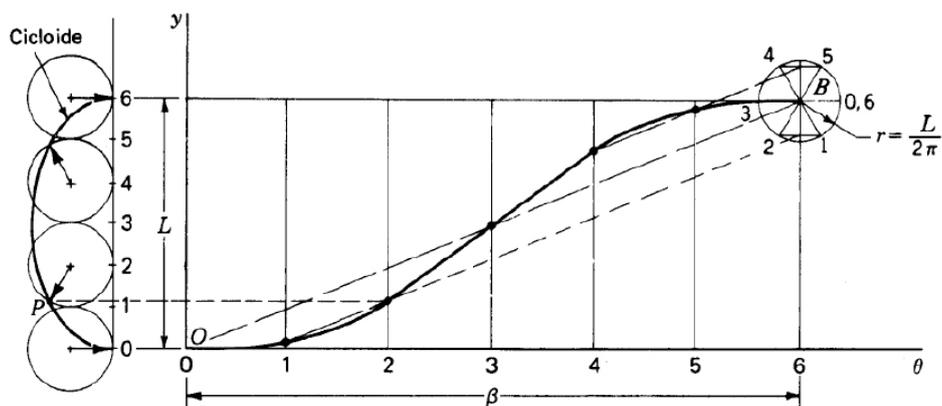


Figura 28. Diagrama de movimiento cicloidal. Fuente: Teoría de mecanismos

El diagrama de movimiento uniforme se acopla a los requerimientos del mecanismo de freno en razón de que las revoluciones necesarias son pocas.

En la figura 29, en el eje horizontal se tiene representado de manera lineal los 360° de una vuelta completa de la leva, y además tiene subdivisiones en horizontal y vertical, estas divisiones pueden variar en función de la resolución que se desee darle al trazo del perfil de la leva, mientras más divisiones, más datos se tiene para el trazado. El espacio disponible para instalar el mecanismo en el telar, específicamente la leva, es de 60mm desde el centro, además el vástago o seguidor del mecanismo debe tener una carrera mínima de 30mm para poder accionar el freno del telar, por lo que se determina la carrera máxima del vástago en 48mm con 8 subdivisiones horizontales de 6mm cada una, dando así 16 subdivisiones verticales, es decir, el perfil de la leva esta descrita cada 22.5° de los 360° de una vuelta de la leva. No es necesario una fase de reposo de la leva ya que una vez que el seguidor accione el freno en la fase de ascenso, la fase siguiente no afecta el funcionamiento del mecanismo.

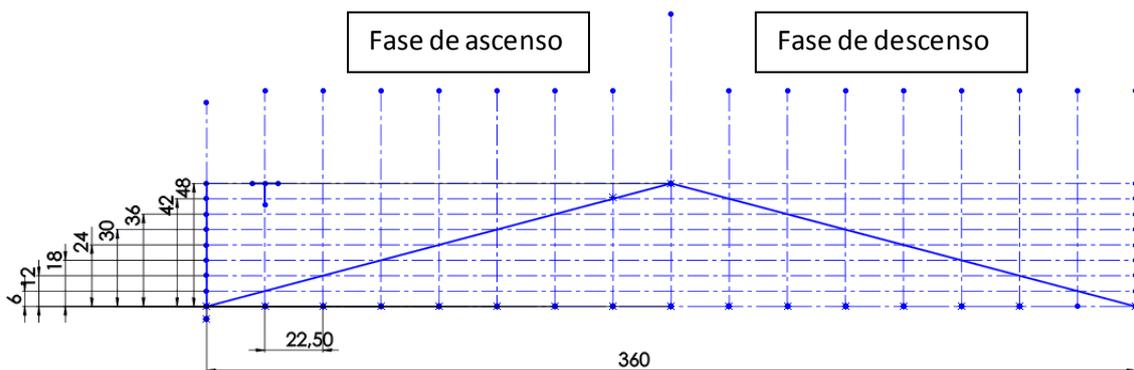


Figura 29. Diagrama cinemático de desplazamiento de leva con movimiento uniforme

El diámetro de la circunferencia base de la leva es de 10mm debido al espacio disponible en el telar. Si el trazado del perfil de la leva sigue cada punto del diagrama de desplazamiento, se obtiene el perfil que se muestra en la figura 30, con una excentricidad bastante pronunciada en el punto de cota 0 y 6mm. Esta excentricidad se produce porque

la circunferencia base es de longitud mucho menor a la carrera del vástago, que es de 48mm.

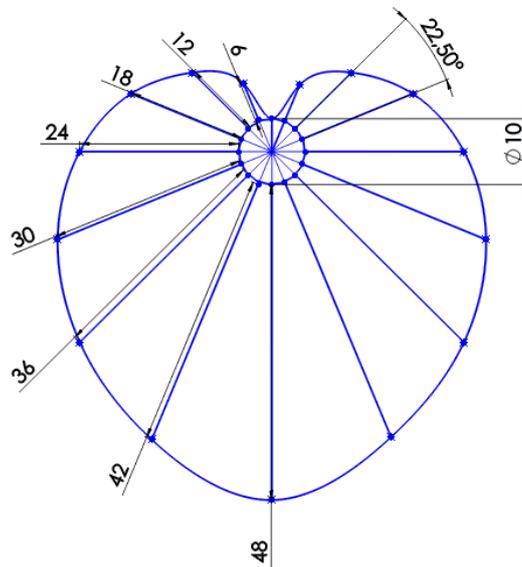


Figura 30. Perfil de leva con diagrama de movimiento uniforme, con circunferencia base de 10mm. Para evitar el choque entre el vástago y el perfil de la leva al llegar a estos puntos de excentricidad, se procede a modificar el trazado en los puntos 0 y 6mm con ayuda de la herramienta Spline del software Solidworks, obteniéndose un perfil uniforme como se muestra en la figura 31, además se realiza una pequeña modificación en el punto de cota de 42mm, siendo ahora de 42.40mm.

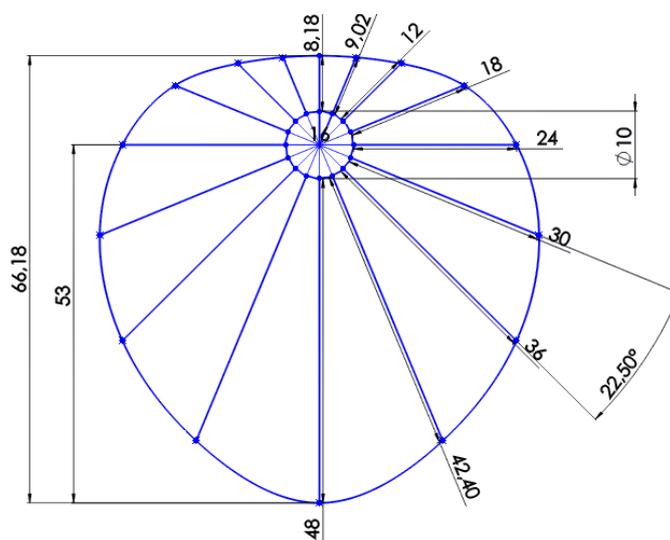


Figura 31. Perfil de leva con circunferencia base de 10mm modificado

Con esta modificación, el diagrama cinemático de desplazamiento resulta como el que se muestra en la figura 32 en el que se denota un aumento en el inicio de la fase de ascenso y al final de la fase de descenso pero no afecta a la carrera de 40mm requerido para el diseño. En el pico del diagrama se produce un redondeo con el fin de evitar coques entre el vástago y la leva.

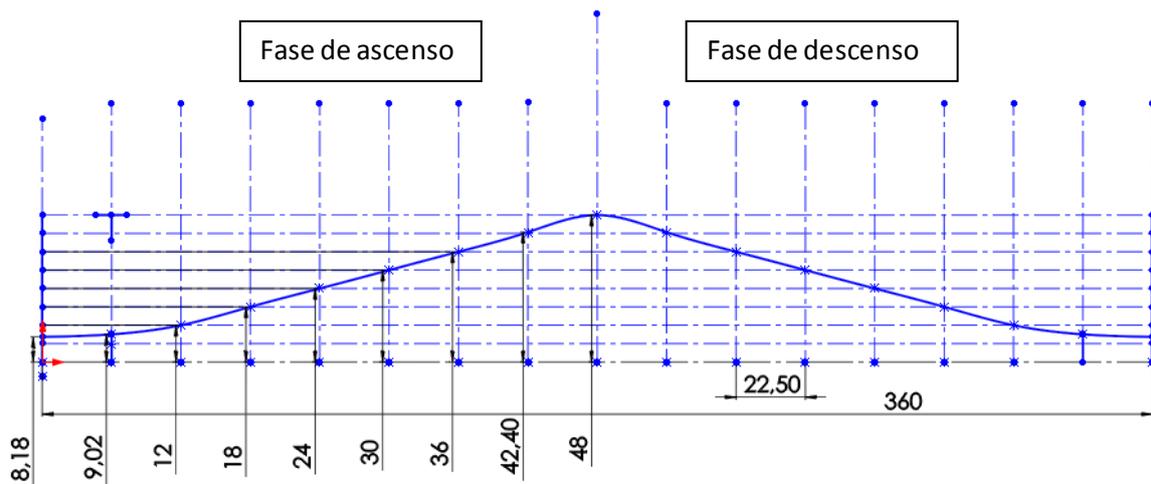


Figura 32. Diagrama cinemático de desplazamiento de leva con movimiento uniforme modificado

La leva es construida en aluminio y el seguidor en acero inoxidable. Se detallan sus propiedades a continuación en la tabla 4:

Tabla 4. Características del aluminio y acero inoxidable. Fuente: Raimond, 1992

Leva de Aluminio	Seguidor de Acero inoxidable
Material ligero (densidad de 2700 kg/m ³)	Resistente a la corrosión
Resistente a la corrosión (estado normal de oxidación III, forma una capa de alúmina Al ₂ O ₃ que lo protege de la oxidación)	Bajo coeficiente de rozamiento (μ_s) con otra superficie de acero (con la superficie del deslizador lineal por bolas, también de acero) ($\mu_s=0.18$)
Moldeable, fácil de maquinar	Bajo μ_s con una superficie de aluminio ($\mu_s=0.61$) (Raimond, 1992)

3.5. Análisis y selección de elementos eléctricos y electrónicos para el sistema automatizado de detección de rotura de hilos

3.5.1. Controlador Lógico Programable

El elemento más importante para el desarrollo de este proyecto es el cerebro del sistema, este debe ser capaz de recibir las señales de los diferentes sensores, procesar el algoritmo detallado en la sección anterior y enviar una respuesta a los actuadores. Se consideran dos alternativas para cumplir este objetivo, la primera es un PLC M-DUINO 21 I/Os de Arduino y la otra es un PLC LOGO! 230RC de Siemens; en la tabla 5 se muestra las características de cada alternativa acorde a las principales necesidades del proyecto como son alimentación, modularidad, disponibilidad, I/O, garantía, entre otros.

Tabla 5. Características de PLC M-Duino y PLC LOGO!

CARACTERÍSTICA		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
		M-DUINO 21 I/Os	LOGO! 230RC
Tensión de entrada:		12/24V DC	115/230V AC/CC
Consumo de corriente máxima:		0.5 A	30mA
Flash Memory		256kB	53.280kB
Software de programación		Open Source Arduino IDE	Licencia pagada: LOGO!Soft Comfort V7.1.5
Lenguaje de programación		Wiring (similar a C)	Gráfica (Ladder o bloques)
Cable de programación		USB	LOGO USB
Entradas	digitales	13 a 24V DC	8 a 115 V DC
	analógicas	3 de 0-10V DC	Ninguno
	Velocidad de cambio de flancos	---	50ms
Salidas	Digitales	8	4
	Analógicas	3	Ninguno
	Tipo de salida	Relé ---	Relé a 10 ^a c/u
Fuente de alimentación externa		24VDC 700mA	No requerido

CARACTERÍSTICA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
	M-DUINO 21 I/Os	LOGO! 230RC
Expansibilidad	I2C – 127 elements Serial Port RS232/RS485	Módulos: - DM8 230R - DM8 24 - AM2
Visualización	Sin pantalla	Pantalla integrada
Tipo de protección	IP20 (acorde DIN EN IEC 60529)	IP20 (acorde DIN EN 55011, IEC 61131-2, VDE 0631)
Fabricante	Industrial Shields	Siemens
Disponibilidad	Producto importado	Producto importado
Garantía	Baja	Alta

Se muestra en la tabla 6 la valoración dada a cada alternativa en base a los criterios del autor. El grado de importancia se determina en función al elemento o dispositivo a seleccionar.

Tabla 6. Valoración de alternativas de PLC

Grado de importancia	Factores	M-DUINO 21 I/Os	Valoración 1	LOGO! 230RC	Valoración 2
15%	Disponibilidad	3	0.45	4	0.60
15%	Precio en el mercado local	4	0.60	2	0.30
20%	Versatilidad (modular)	5	1.00	5	1.00
25%	Durabilidad	3	0.75	5	1.25
25%	Fiabilidad	3	0.75	5	1.25
TOTAL			3.55		4.40

Calificación

5=excelente-muy fácil

2=regular-difícil

4=muy bueno-fácil

1=malo-muy difícil

3=bueno-medio

En base a la tabla de valoración 6, la alternativa 2, el PLC LOGO! 230RC del fabricante alemán Siemens, muestra una mayor valoración en la tabla, debiéndose principalmente a su durabilidad y fiabilidad, estos PLC's son robustos y ampliamente usados en la industria. La licencia del producto se paga una sola vez al adquirirlo (RelePro Automation, 2018), y las actualizaciones del software son gratuitas. La alternativa 1 es una tecnología emergente con muy buenas características, incluso mejores que el LOGO! en cuanto a comunicación (datasheet Arduino), pero su fiabilidad aún no ha sido probada, lo que conlleva a cierta duda para un trabajo continuo.

3.5.1.1. Diseño del programa en LOGO!Soft Comfort v7

En base a los diagramas de flujo anteriormente detallados, se desarrolla el programa en el software LOGO!Soft Comfort v7, en lenguaje de programación de bloques (ver figura 33). Se utilizan retardos a la desconexión con el objetivo de mantener activa la señal visual hasta que el operario se percate del mismo.

El PLC LOGO! 230RC cuenta con 8 entradas digitales (I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8) y de éstas, las que son usadas por sensores (I2, I3, I4, I7) se conectan a un relé autoenclavador que permite recibir la señal, guardarla y desconectarla cuando la salida (Q1 o Q2) se active y cierre el loop del algoritmo.

Las entradas de Freno (I6) y Compuerta (I5) se conectan a un bloque de función NOT debido a que en el circuito deben estar activas.

Las entradas de Compuerta (I5) y Emergencia (I7) utilizan bloques de texto de aviso que aparece en la pantalla del PLC. Además la entrada Emergencia también se conecta a un generador de impulsos asíncrono con el objetivo de producir una luz intermitente en la salida Lámpara (Q2).

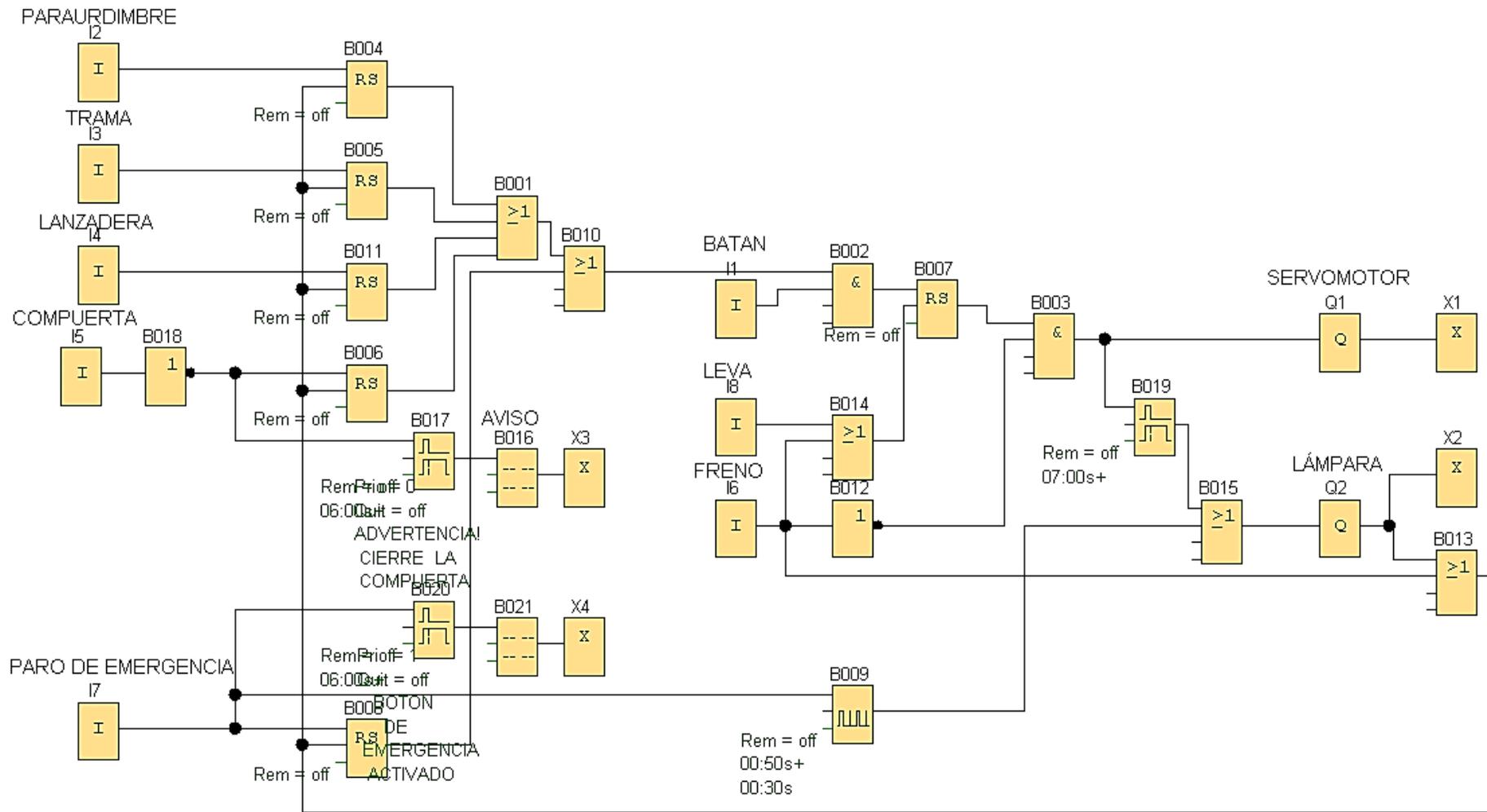


Figura 33. Diseño del sistema automático de detección de rotura de hilos diseñado en lenguaje de programación de bloques con LOGO!Soft Comfort v7

3.5.1.2. Cálculo del espacio de memoria del PLC LOGO! 230RC y tamaño del circuito

El tamaño de un programa en LOGO! está limitado por la memoria, es decir, la ocupación de memoria de los bloques. El espacio de memoria necesario para las funciones especiales se puede fraccionar en 4 zonas de memoria. (Datasheet LOGO! 2018).

- Par.- Rango en el que LOGO! almacena los valores teóricos, por ejemplo, los valores límite de un contador.
- RAM: rango en el que LOGO! guarda los valores reales actuales.
- Timer.- Rango que LOGO! necesita para las funciones de tiempo.
- Memoria remanente.- Área de memoria que permite guardar datos como tiempo de trabajo de una máquina o configuraciones de máquina aun después de quitar tensión al PLC. La memoria remanente (Rem) desactivada se almacena en la memoria RAM del PLC y cuando está activada, en la memoria Rem.

Tabla 7. Recursos disponibles en LOGO!. Fuente: Siemens

Bloques	Par	RAM	Tempor.	Rem	Marcas
56	48	27	16	15	8

La tabla 7 muestra los recursos disponibles en el PLC LOGO!, y la tabla 8 se detalla una tabla con los valores para cada bloque de función especial del PLC LOGO! 230RC.

Tabla 8. Capacidad de almacenamiento para funciones especiales en LOGO! Fuente: Siemens

Funciones especiales	Par	RAM	Tempor.	Rem
Retardo a la desconexión	2	1	1	0
Generador de impulsos asíncrono	3	1	1	0
Relé autoenclavador *	0	1	0	1
Textos de aviso	1	0	0	0

* Según si se parametriza esta función con o sin remanencia, la respectiva función ocupa la siguiente zona de memoria:

- Remanencia desactivada: espacio de memoria RAM
- Remanencia activada: espacio de memoria Rem

La tabla 9 determina el espacio de memoria usado por el programa en el PLC, para esto se detalla cada bloque usado en el circuito; para este proyecto no se activa la memoria de remanencia en ninguna función debido a que no es necesario contabilizar tiempos de trabajo de la máquina o guardar configuraciones especiales. Pero puede ser activado si en un futuro caso se lo necesitare. Las funciones básicas AND, OR NOT y sus derivaciones no aportan espacio en Par, RAM o Rem, más si en cantidad de bloques. En la figura 34 se detalla la manera de calcular el espacio de memoria para cada bloque de funciones.

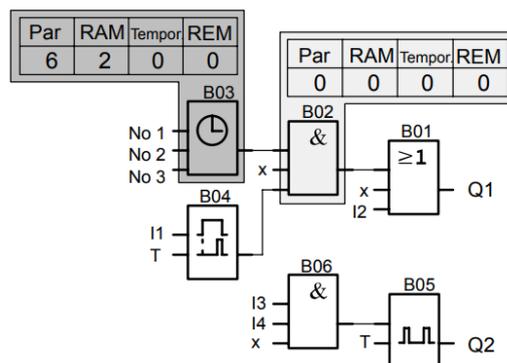


Figura 34. Ejemplo de cálculo de espacio de memoria en un bloque especial de LOGO!. Fuente: Siemens
 Para el cálculo de memoria se detallan los recursos utilizados por cada bloque de función y se suman dichos valores, obteniéndose así un total de espacio utilizado.

Tabla 9. Cálculo de espacio de memoria del PLC LOGO! 230RC

N° Bloq.	Función	Zona de memoria				
		Par	RAM	Temp.	Rem	Bloq.
B001	OR	0	0	0	0	1
B002	AND	0	0	0	0	1

N° Bloq.	Función	Zona de memoria				
		Par	RAM	Temp.	Rem	Bloq.
B003	AND	0	0	0	0	1
B004	Relé autoenclavador	0	1	0	1	1
B005	Relé autoenclavador	0	1	0	1	1
B006	Relé autoenclavador	0	1	0	1	1
B007	Relé autoenclavador	0	1	0	1	1
B008	Relé autoenclavador	0	1	0	1	1
B009	Generador de impulsos asíncrono	3	1	1	0	1
B010	OR	0	0	0	0	1
B011	Relé autoenclavador	0	1	0	1	1
B012	NOT	0	0	0	0	1
B013	OR	0	0	0	0	1
B014	OR	0	0	0	0	1
B015	OR	0	0	0	0	1
B016	Texto de aviso	1	0	0	0	1
B017	Retardo a la desconexión	2	1	1	0	1
B018	NOT	0	0	0	0	1
B019	Retardo a la desconexión	2	1	1	0	1
B020	Retardo a la desconexión	2	1	1	0	1
B021	Texto de aviso	1	0	0	0	1
Recursos ocupados por el programa		11	10	4	6	21
Límites de memoria en LOGO!		48	27	16	15	56
Espacio disponible en LOGO!		37	17	12	9	35

Se determina que el programa diseñado en LOGO!Soft Comfort v7 puede trabajar normalmente en el PLC LOGO! 230RC.

3.5.2. Cálculo de torque del motor para accionamiento del mecanismo de freno

El seguidor se desliza axialmente dentro en un deslizador lineal por bolas NTN KH1228 tratando de evitar al mínimo la fricción entre estos dos elementos con el fin de evitar más carga al motor que acciona el mecanismo.

Para el cálculo de fuerza de rozamiento (F_r) producido entre el seguidor de la leva y el deslizador lineal por bolas se aplica la ecuación [1]. Ambos elementos son fabricados en acero.

Datos:

- Coeficiente de rozamiento estático (μ_s) entre dos superficies de acero: 0.18 (Raimond, 1992)
- Masa del seguidor (m): 0.09Kg
- Gravedad (g): 9.81 m/s²

$$F_r = \mu_s \cdot m \cdot g \quad [1]$$

$$F_r = 0.18 \cdot 0.09\text{Kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_r = 0.0159 \text{ N}$$

Cálculo de momento de fuerza (M_z) requerido para accionar el mecanismo de freno.

Datos:

- Fuerza que opone el freno (F_f): 3.5Kgf (dato de fuerza obtenido al accionar el freno del telar con un dinamómetro)
- Fuerza de rozamiento (F_r): 0.0159 N
- Distancia de brazo de palanca (d): 0.025m

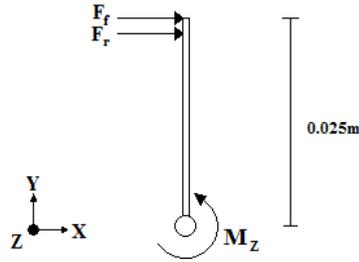


Figura 35. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de freno

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

$$M_z = (3.5 \text{ N} + 0.0159 \text{ N}) \cdot 0.025 \text{ m}$$

$$M_z = 0.0879 \text{ Nm}$$

$$M_z = 8.79 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

El torque necesario para accionar el mecanismo es de 8.79 Kgf·cm, por tanto se detalla a continuación una tabla de características. Desde un inicio se toma en cuenta las ventajas de un servomotor para este mecanismo. Debido a su fuerza y bajas revoluciones.

Tabla 10. Características de alternativas de servomotores. Fuente: Datasheet del fabricante

ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Towardpro MG995	Towardpro MG996R
Alta velocidad	Alto torque
Torque: 8.5 kgf·cm (4.8 V) 10 kgf·cm (6 V)	Torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V) 11 kgf·cm (6 V)
Velocidad: 0.2 s/60° (4.8 V) 0.16 s/60° (6 V)	Velocidad: 0.17 s/60° (4.8 V) 0.14 s/60° (6 V)
Voltaje de operación: 4.8 V a 7.2 V	Voltaje de operación: 4.8 V a 7.2 V
Corriente no especificada	Corriente 2.5 A (6V)
Protección IP65 (acorde a DIN EN IEC 60529)	Protección IP65 (acorde a DIN EN IEC 60529)
Engranajes metálicos	Engranajes metálicos y uno plástico
Disponibilidad permanente	Disponibilidad permanente
Costo razonable en el mercado local	Costo razonable en el mercado local

La tabla 11 detalla los criterios de selección de la alternativa del servomotor.

Tabla 11. Valoración de alternativas de servomotores

Grado de importancia	Factores	MG995	Valoración ₁	MG996R	Valoración ₂
15%	Complejidad	4	0.60	4	0.60
15%	Disponibilidad	5	0.75	5	0.75
20%	Versatilidad (instalación)	4	0.80	4	0.80
25%	Durabilidad	5	1.25	4	1.00
25%	Precio en el mercado local	4	1.00	4	1.00
TOTAL			4.40		4.15

Calificación: 5=excelente-muy fácil

2=regular-difícil

4=muy bueno-fácil

1=malo-muy difícil

3=bueno-medio

Ambas opciones tienen características muy similares en cuanto a torque, pero según la tabla de valoración 11, sobresale el servomotor MG995 Towardpro High Speed. La razón es por el factor durabilidad, el modelo MG996R tiene mayor torque pero uno de sus engranajes internos es de plástico, mientras que el MG995, como se aprecia en la figura 36, tiene todos los engranajes metálicos. La velocidad de accionamiento varía solamente en 0.02s.



Figura 36. Servomotor MG995 con dientes metálicos. Fuente: Datasheet fabricante

El servomotor se somete a cambios estructurales, debido a que solamente gira 180° y lo requerido para el mecanismo es total libertad de giro (360°), como un motor DC normal,

por ellos se procede a destruncarlo, es decir, eliminar el engranaje y la placa de control de giro. El montaje del motor con la leva se lo realiza con el acople que viene incluido en el kit del proveedor.

3.5.3. Fuente de alimentación del motor

Varios de los elementos del sistema funcionan con 24V DC por lo que se cuenta con una fuente de alimentación LOGO Power de Siemens, que permite tener cargas de hasta 2.5A; las alternativas que se detallan a continuación se proponen en torno a los recursos disponibles (Tabla 12).

- Voltaje de entrada: 24V DC (determinado por la fuente LOGO Power)
- Voltaje de salida: 4.8 - 7.2V DC (determinado por el motor MG995)

Tabla 12. Características de alternativas para regulador de voltaje

CARACTERÍSTICA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
	Regulador LM7805	Convertidor Buck LM2596
Voltaje de entrada Max.	25V DC	45V DC
Voltaje de salida	5V DC	1.5 a 35V DC (regulable)
Corriente	1.5A Max.	3A Max.
Package (fuente: datasheet)	KC TO-220	KTT TO-263
Instalación	Requiere fabricación de placa	Módulo (no requiere fabricación de placa)
Precio	\$5.00 USD	\$4.50 USD
Disponibilidad	Permanente	Permanente

Tabla 13. Valoración de alternativas de regulador de voltaje

Grado de importancia	Factores	Regulador LM7805	Valoración 1	Convertidor Buck LM2596	Valoración 2
15%	Precio en el mercado local	4	0.60	4	0.60
25%	Disponibilidad	5	1.25	5	1.25
30%	Versatilidad (instalación)	3	0.90	5	1.50
30%	Durabilidad (robustez)	2	0.60	5	1.50
TOTAL			3.35		4.85

Calificación: 5=excelente-muy fácil

2=regular-difícil

4=muy bueno-fácil

1=malo-muy difícil

3=bueno-medio

El convertidor Buck domina por mucho al regulador LM7805, siendo la corriente soportada por este convertidor, la característica más importante, por ello es la alternativa seleccionada como alimentación para el motor DC en función a la tabla de valoración 13.

3.5.4. Desarrollo de la estructura para detectar hilo en el husillo de la lanzadera

Uno de los problemas más comunes en un telar de lanzadera convencional es que no existe un sistema que detecta cuando el hilo del husillo se termina, haciendo que el telar siga en funcionamiento aún sin el hilo de la trama. Este problema se da por descuido del operador, provocando defectos en la tela al momento de intentar remediar la falla.

Se propone un sistema que detecte oportunamente el hilo en el husillo y envíe esta señal al PLC en caso de que se termine el hilo.

La tabla 14 permite determinar el tipo de sensor a usar en función a las características del objeto a detectar:

- Fibra textil no metálica
- Amplia gama de colores

- Distancia mínima de detección: 6cm
- Velocidad de detección: 50ms
- Superficie irregular
- Sujeto a alta vibración del medio.

Tabla 14. Valoración de alternativas para sensar hilo en el husillo de la lanzadera

Característica de sensor	Inductivo	Capacitivo	Fotoeléctrico retroreflectivo	Ultrasónico
Detección de fibra textil	---	X	X	X
Dificultad para detectar colores	---	---	---	---
Diferenciación de metal, madera y fibra textil simultáneamente	---	---	X	---
Detección con variación de posición del objeto	---	---	X	X
Inmunidad a agentes externos (polvo)	---	X	X	---
Regulación para sensado innecesaria	X	---	X	X
Total características favorables	1	2	5	3

EL sensor retroreflectivo tiene mejores características de funcionamiento y en base a ello se detalla la tabla 15.

Tabla 15. Características del sensor fotoeléctrico retroreflectivo

Sensor fotoeléctrico retroreflectivo
Tensión de alimentación: 6 – 36 VDC
Consumo de corriente: 40mA Max.
Bornes de conexión: NO y NC

Sensor fotoeléctrico retroreflectivo
Emisor y receptor en la misma estructura
Modo de detección: retroreflectivo (espejo)
Distancia de sensado: 0 – 500mm
Velocidad de sensado: 0.5ms
Salida tipo PNP
Luz LED visible para una alineación sencilla
Grado de protección IP67/IP69K * (acorde a DIN EN IEC 60529)
Estructura plástica cilíndrica
Marca: Sin marca – Genérico, modelo E3F-R2P3
Disponibilidad: producto importado, fabricante chino

* IP69K es una especificación de protección estipulada por DIN 40050 Parte 9 de los estándares alemanes.

Un sensor fotoeléctrico como el de la figura 37 responde a cambios en la variación de luz, existen sensores fotoeléctricos por barrera de luz, reflejo sobre objetos y retroreflectivos, en un sensor fotoeléctrico retroreflectivo el emisor envía la señal, esta señal rebota en un espejo y es captada por el receptor.



Figura 37. Sensor fotoeléctrico retroreflectivo modelo OMKQN E3F-R2P3

Con un espejo normal el receptor recibe la señal del emisor siempre y cuando el espejo esté en dirección perpendicular, como se muestra en la parte a) de la figura 38. Esta disposición es complicada de lograr en el husillo de la lanzadera, ya que es de forma

circular y requiere gran precisión para recibir la señal de rebote; para resolver este problema se usa un espejo catadióptrico, que permite al receptor recibir la señal del emisor sin importar el ángulo que presente la superficie del objeto a sensar, como se aprecia en la parte b) de la figura 38.

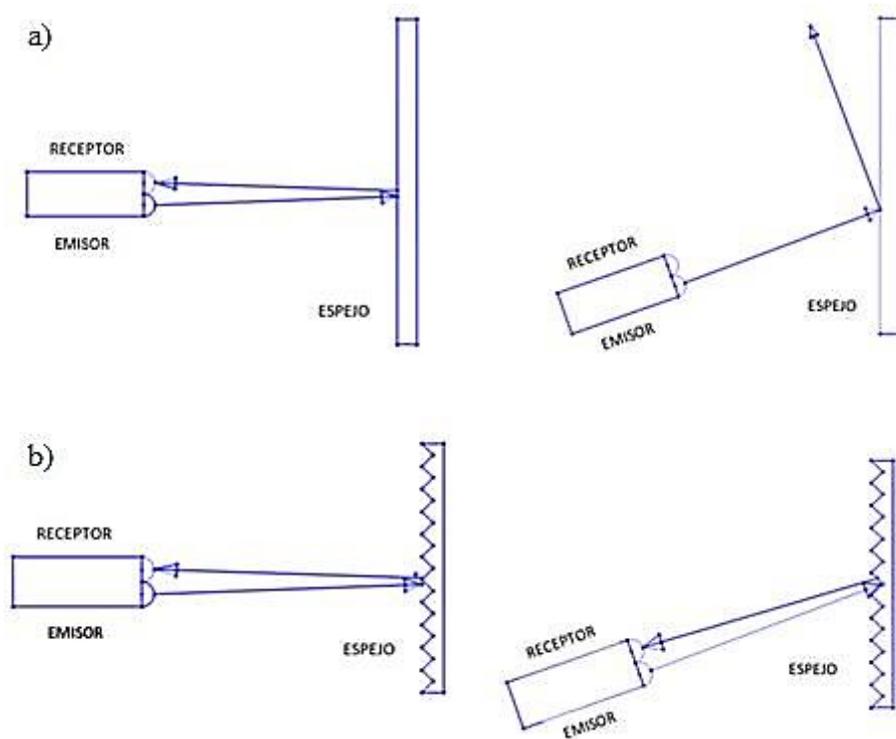


Figura 38. Rebote de señal de sensor fotoeléctrico retroreflectivo en espejo, a) espejo normal, b) espejo catadióptico

La cinta retroreflectiva (Figura 39) utiliza el mismo principio de reflexión que un espejo catadióptico, lo que facilita su instalación en el husillo de la lanzadera. Esta cinta permanece cubierta mientras el hilo de trama no se termine y cuando lo hace, permite el rebote de la señal del emisor hacia el receptor del sensor.



Figura 39. Cinta retroreflectiva basada en el principio del espejo catadióptico. Fuente: 3M

3.5.5. Diseño de elementos para posicionamiento del batán

Es primordial que al momento de accionarse el freno del telar, el batán se encuentre dirigiéndose hacia los marcos, posición de regreso como se explica en la parte a) de la figura 40, de tal forma que la lanzadera pueda atravesar por entre el cruce del peine. En caso de accionar el freno con el batán en avance (ver parte b de la figura 40). La lanzadera puede salir del carril del batán y ocasionar accidentes, sufrir daños en su estructura u ocasionar daños al operario.

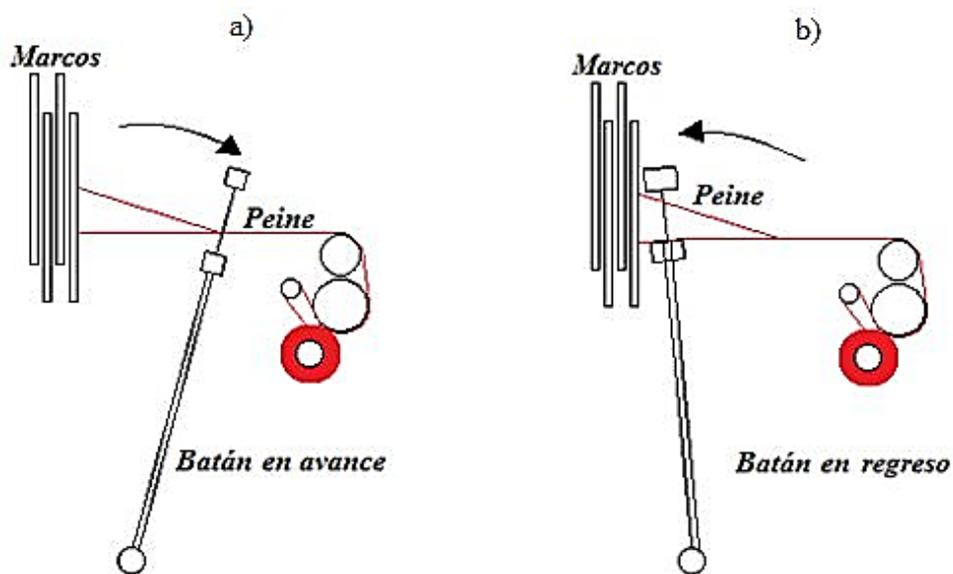


Figura 40. Posición del batán, a) Batán en posición de avance, b) Batán en regreso

3.5.5.1. Dispositivo para determinar posición de batán

Mediante visitas a varios talleres textiles se determina que muchos telares planos con control automático utilizan un encoder para determinar la posición del batán al momento de accionar el freno. Un encoder es un dispositivo electromecánico capaz de convertir la posición angular de un eje a un código digital que pueda ser leído por un computador (Requena, 2009). Existe la posibilidad de utilizar un sensor final de carrera para realizar este trabajo y por ello se detalla una tabla de características de ambas alternativas tomadas en consideración (ver tabla 16).

Tabla 16. Características de un encoder y un final de carrera. Fuente: datasheet fabricante

CARACTERÍSTICA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
	Encoder	Final de carrera ME-8108
Voltaje de alimentación:	---	115/250 VAC
Corriente máxima:	---	5A
Dato de salida	Digital (1-0)	Digital (1-0)
Accionamiento	optoacoplamiento, sin contacto entre superficies	Contacto directo entre piezas.
Contactos	---	1NO- 1NC
Tipo de protección	IP20 (acorde DIN EN IEC 60529)	IP17 (acorde DIN EN IEC 60529)
Fabricante	Fabricación casera	Camsco
Disponibilidad	No disponible	Siempre en stock
Garantía	Media	Alta

La tabla 17 muestra la valoración que tiene cada alternativa para su selección.

Tabla 17. Valoración de alternativas para dispositivo de posición de batán

Grado de importancia	Factores	ENCODER	Valoración 1	FINAL DE CARRERA ME-8108	Valoración 2
15%	Complejidad	3	0.45	5	0.75
20%	Disponibilidad	2	0.40	5	1.00
20%	Versatilidad (instalación)	4	0.80	4	0.80
20%	Precio en el mercado local	4	0.80	4	0.80
25%	Durabilidad	4	1.00	4	1.00
TOTAL			3.45		4.35

Calificación: 5=excelente-muy fácil
4=muy bueno-fácil
3=bueno-medio

2=regular-difícil
1=malo-muy difícil

Los telares existentes en los talleres visitados usan un encoder de una sola aspa, pero su adquisición en el mercado nacional es dificultoso, siendo la disponibilidad su punto en contra, entendiéndose de que en caso de alguna avería el operario no tendría facilidad en reponer el dispositivo. El sensor final de carrera de rodillo desplegable permite una fácil adaptación e instalación en el telar, permitiendo una óptima determinación de la posición del batán para su detención como se aprecia en la figura 41 y por tanto es la alternativa seleccionada.

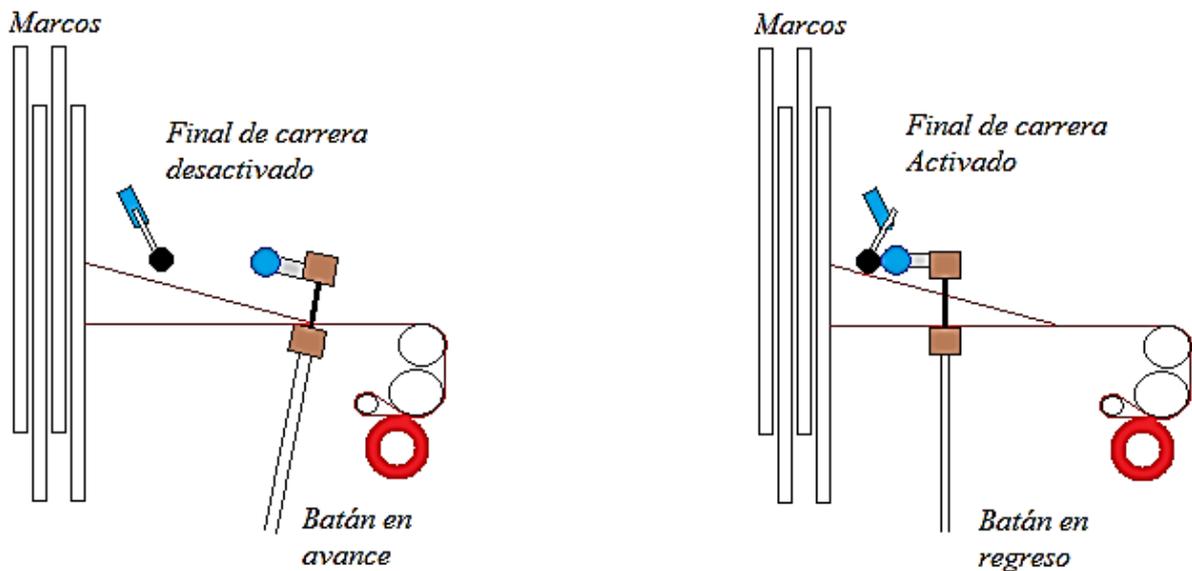


Figura 41. Estados de acción del final de carrera del batán

3.6. Diagrama eléctrico del Sistema de detección de rotura de hilos

En la parte superior izquierda de la figura 42 se observa el diagrama de arranque y protección del motor trifásico, propio del telar Northrop, y a esta etapa de potencia y mando se le anexa la etapa de control del sistema automatizado con el objetivo de tener un solo punto de encendido del conjunto. En la tabla 18 se detallan también las

abreviaturas usadas para nombrar ciertos elementos del sistema. En el apartado de anexo se tiene el mismo archivo en formato A3 para una mejor visualización del plano eléctrico

Tabla 18. Abreviaturas de elementos descritos en el diagrama eléctrico del sistema automatizado

ABREV.	DESCRIPCIÓN
B.ON	Botón de Encendido
B.OFF	Botón de Apagado
B.N	Bornera de Neutro
B.F	Bornera de Fase o Línea
S.BA	Final de carrera del Batán
S.UR	Paraurdimbre
S.TR	Sensor de trama
S.LA	Sensor fotoeléctrico de la lanzadera
S.CO	Final de carrera de compuerta del tablero de control
S.FR	Final de carrera del freno
S.LV	Final de carrera de la leva
S.EM	Botón de paro de emergencia
H.A	Lámpara de advertencia
H.U	Lámpara para rotura de hilo de urdimbre
H.C	Lámpara de advertencia de apertura de compuerta
I1 , BA	Entrada del PLC para señal del Batán
I2 , UR	Entrada del PLC para señal de urdimbre
I3 , TR	Entrada del PLC para señal de la trama
I4 , LA	Entrada del PLC para señal de la trama de lanzadera
I5 , CO	Entrada del PLC para señal de la compuerta
I6 , FR	Entrada del PLC para señal del freno
I7 , EM	Entrada del PLC para señal de botón de emergencia
I8 , LV	Entrada del PLC para señal de la leva

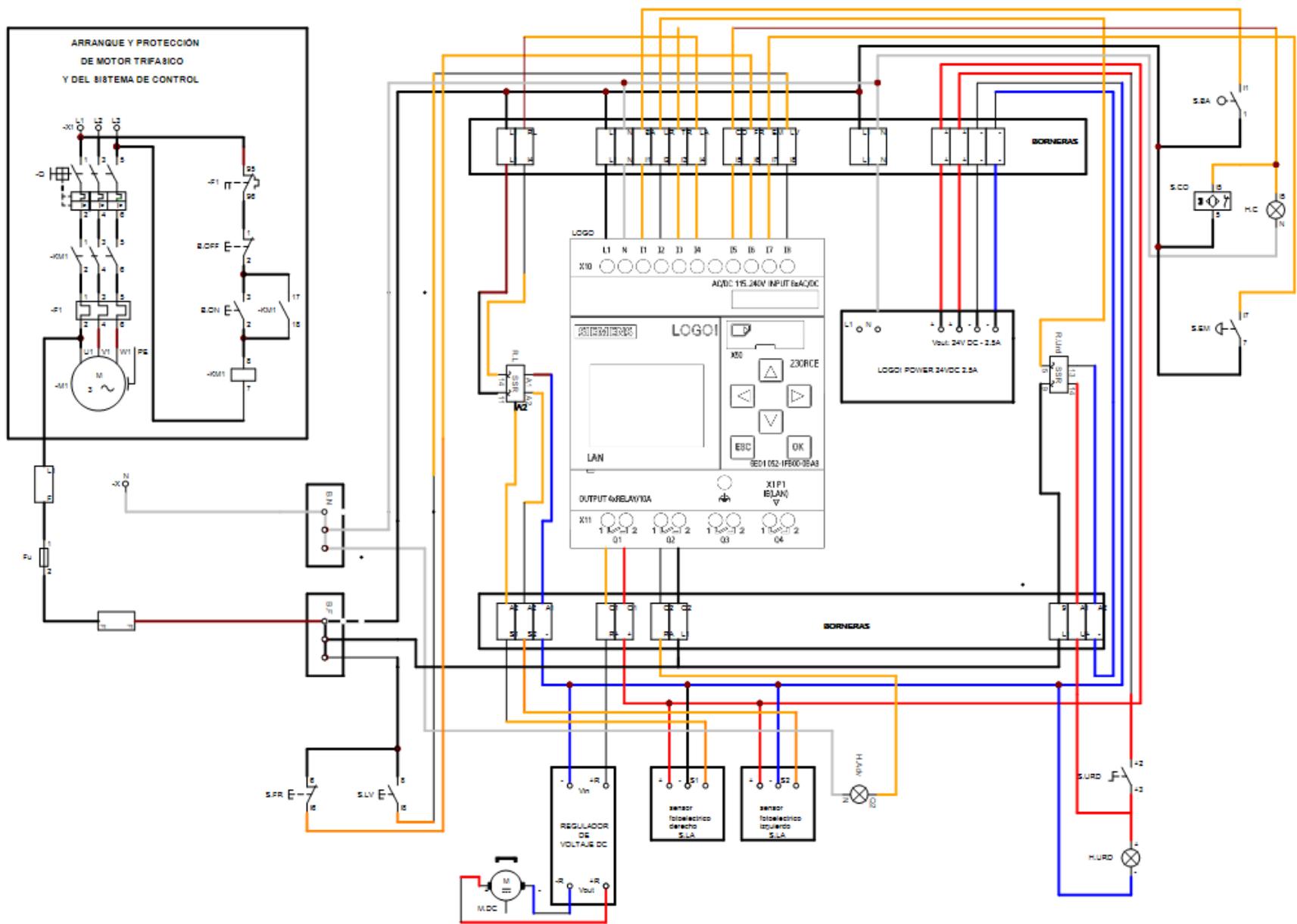


Figura 42. Diagrama eléctrico del Sistema de detección de rotura de hilos

3.7. Graficet del sistema de detección de rotura de hilos

Se detalla el Graficet en nivel 3 de las acciones realizadas en las entradas y salidas del programa en conjunto con las acciones realizadas en cada componente físico del sistema, como son actuadores y sensores. El Graficet es realizado con representaciones en base a la norma IEC 60848 e IEC 61131-3. En la tabla 19 se detallan las abreviaturas usadas en el Graficet para una mayor comprensión de las acciones realizadas en cada fase. (Ver figura 43).

Tabla 19. Abreviaturas usadas en la descripción de las acciones del Graficet

ABREVIATURA	DESCRIPCION
A1	Telar encendido.
A2	Telar en marcha Condición asociada: Botón de paro de emergencia debe estar desactivado. Caso contrario el telar se detendrá cada vez que se accione la palanca de mando.
A3	Caída de lámina de paraurdimbre por pérdida de tensión en hilo de la urdimbre.
A4	Activación entrada I2 del PLC. Encendido de lámpara de advertencia.
A5	Perdida de fricción en paratrama.
A6	Activación de entrada I3 en el PLC.

ABREVIATURA	DESCRIPCION
A7	Cinta catadióptrica visible debido a ausencia de hilo en el husillo de la lanzadera.
A8	Activación entrada I4 del PLC.
A9	Accionamiento de palanca de seguridad en la compuerta.
A10	Activación de entrada I5, encendido de lámpara de advertencia, mensaje en PLC por 10s.
A11	Activación de entrada I7 del PLC. Es necesario desenclavar el botón de paro de emergencia luego de haber solucionado la falla que provoque su activación.
A12	Encendido intermitente de lámpara de advertencia.
A13	Accionamiento de la palanca del final de carrera S.BA.
A14	Activación entrada I13 del PLC
Q1	Activación de la salida Q1 del PLC.
Q2	Acción asociada a Q1: Encendido de luz piloto indicadora de parada del telar. 110V AC
A15	Motor DC activado.
A16	Telar detenido.
A17	Bloqueo de señales de parada.
A18	Motor DC desactivado.

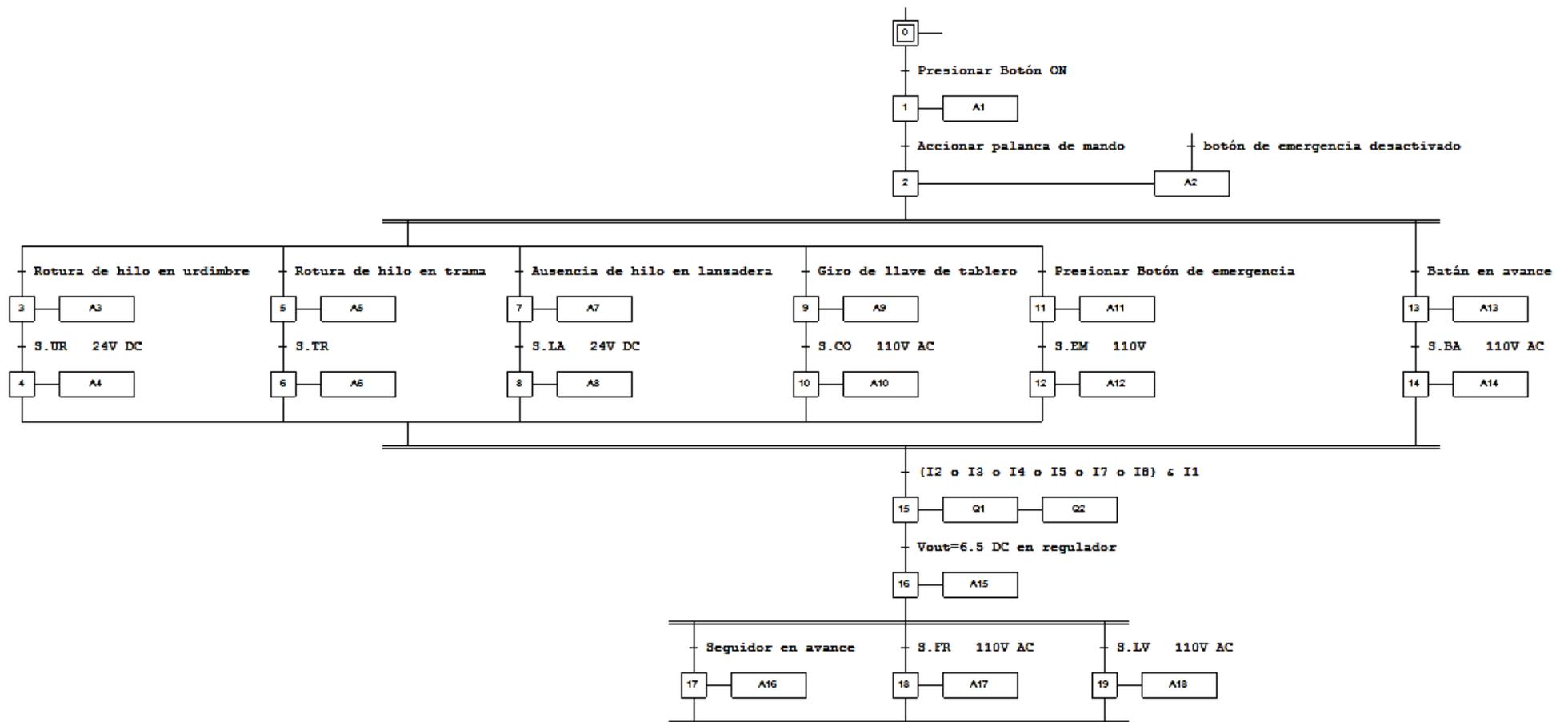


Figura 43. Grafcet en nivel 3 del Sistema de detección de rotura de hilos

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE MECANISMO DE ENROLLAMIENTO DE URDIMBRE

4.1. Descripción de situación actual del proceso de enrollamiento de urdimbre

El proceso de enrollamiento actual en el telar de lanzadera es netamente manual, siendo necesario 2 o más operarios para realizar el trabajo. Una vez que se prepara los hilos de la urdimbre en el rastrillo para el enrollamiento en el carrete, un operario la sostiene a cierta tensión mientras uno o dos operarios giran manualmente el carrete tantas vueltas sean necesarias hasta envolver todos los metros que tenga la urdimbre. El operario que sostiene esta urdimbre debe realizar un leve giro al hilo con el objetivo de tensar los hilos que hayan quedado flojos en el proceso de urdido vertical manual.

4.2. Propuesta de mecanismo de enrollamiento de urdimbre

Se menciona en los capítulos 1 y 2 la importancia de un mecanismo para el enrollamiento de la urdimbre en el carrete del telar. Su diseño e implementación reduce el esfuerzo humano y aumenta el tiempo de trabajo del telar. El mecanismo debe adaptarse a la situación actual del taller, es decir, al proceso de urdido seccional vertical y al enrollamiento directo sin desmontar el carrete.

Dos alternativas son tomadas a consideración, una es diseñar un sistema que controle la velocidad de giro del carrete en función de la fuerza de tensión que oponga el operario al sostener manualmente la urdimbre; y la otra es diseñar un mecanismo que sostenga la urdimbre a una fuerza de tensión fija y así el giro del motor no requiere de variación de velocidad. Se muestra la tabla 20 con las características de cada alternativa.

Tabla 20. Alternativas para el mecanismo de enrollamiento de urdimbre

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
	SISTEMA DE URDIMBRE A TENSIÓN MECÁNICA VARIABLE	MECANISMO DE URDIMBRE A TENSIÓN MECÁNICA FIJA
Tipo de sistema	Sistema de lazo cerrado	Sistema de lazo abierto
Numero de operarios	Uno	Ninguno
Actuador requerido	Motor trifásico	Motor trifásico
Control de velocidad del motor	Variador de frecuencia	Mecanismo de engranajes (propio del telar).
Sujeción de urdimbre	Manual (operario)	Mecanismo de sujeción y tensión mecánica
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Motor: disponibilidad permanente - Variador de frecuencia: disponibilidad permanente 	<ul style="list-style-type: none"> - Motor: disponibilidad permanente - Mecanismo de sujeción: fabricación local

La primera alternativa propone un sistema en lazo cerrado, usando un variador de frecuencia que controle la velocidad de giro del motor en función a la tensión que oponga en operario al sostener la urdimbre. En este sistema es necesario que un operario sostenga permanentemente la urdimbre durante el enrollamiento, si disminuye la fuerza con la que el operario la sostiene, el variador de frecuencia aumenta la velocidad de giro del motor,

pero si la tensión en la urdimbre aumenta, el motor gira a menos revoluciones, manteniéndose así una tensión uniforme.

La segunda alternativa propone un sistema de lazo cerrado en el que no es necesario la acción de un operario durante todo el proceso de enrollamiento de la urdimbre, debido a que este proceso se realiza con un mecanismo de tensión mecánica fija que sostiene la urdimbre y el operario solamente actúa al final de la operación. El motor a utilizar no requiere variación de velocidad y las RPMs necesarias son determinadas previo análisis de campo y obtenidas mediante un mecanismo de engranajes.

Tabla 21. Valoración de alternativas de mecanismo de enrollamiento de urdimbre

Grado de importancia	Factores	SISTEMA DE URDIMBRE A TENSION MECÁNICA VARIABLE	Valoración 1	MECANISMO DE URDIMBRE A TENSION MECÁNICA FIJA	Valoración 2
15%	Disponibilidad	5	0.75	5	0.75
20%	Versatilidad (instalación)	4	0.80	5	1.00
20%	Durabilidad	5	1.00	4	0.80
20%	Complejidad	3	0.60	5	1.00
25%	Precio en el mercado local	2	0.50	4	1.00
TOTAL			3.65		4.55

Calificación: 5=excelente-muy fácil

2=regular-difícil

4=muy bueno-fácil

1=malo-muy difícil

3=bueno-medio

En función a la tabla 21, la alternativa 2, con un puntaje de 4.55, es la alternativa escogida para el desarrollo del mecanismo de enrollamiento. La complejidad del sistema close loop (lazo cerrado) para este proyecto representa una alternativa no viable, pero es aplicable para procesos que necesiten mayor grado de control.

4.3. Análisis y selección de elementos mecánicos para el mecanismo de enrollamiento de urdimbre

EL mecanismo consta de dos partes principales, el mecanismo de sujeción en sí y el mecanismo de accionamiento del sistema de engranajes.

4.3.1. Mecanismo de sujeción

Los factores más importantes a tomar en cuenta para el diseño son:

- Mantener una tensión estable de la urdimbre durante el enrollamiento.
- Tensión de sujeción regulable para trabajar con urdimbres de minoles variados, es decir, diferentes cantidades de hilos.
- Evitar rotura de hilos de urdimbre durante el proceso de enrollamiento.
- El mecanismo debe ser ligero y desmontable.
- Adaptable a otros telares de lanzadera.

El diseño parte de bosquejos como el de la figura 44 con el cual se analiza la funcionalidad requerida para el proceso.

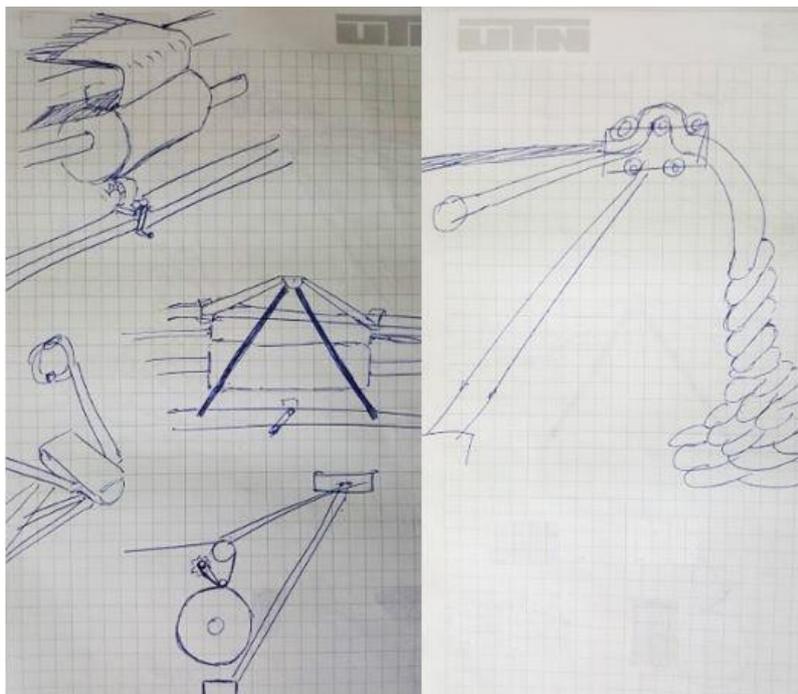


Figura 44. Bosquejos del diseño del mecanismo de sujeción

Al ser un mecanismo inexistente en el mercado actual, se lo diseña con elementos de fácil disponibilidad. Se detalla una tabla de los requerimientos y las soluciones adoptadas (ver tabla 22).

Tabla 22. Requerimientos del mecanismo de sujeción y sus soluciones

Requerimiento	Alternativa de solución	Descripción
Sujeción regulable pero estable durante el proceso	Prensaestopa	Elemento usado para sujetar cables eléctricos. Permite regular y mantener fija la sujeción de los hilos de urdimbre.
Evitar rotura de hilos	Conducto guía en espiral	La urdimbre pasa a través de un conducto espiral antes de ser sujetado por la Prensaestopa, esto produce un enrollamiento en el hilo que simula el giro que el operario realizaría manualmente.
Ligero y desmontable	Estructura metálica autoportante	Estructura diseñada con ángulos metálicos de 2cm a 90° y pasadores ajustables. Además de tener una geometría funcional, la estructura permite el desacople del conducto espiral para que el operario tenga fácil acceso en la etapa final del proceso.
Adaptable a otros telares de lanzadera	Elementos de empotramiento ajustables	La estructura tiene elementos que permiten su fácil empotramiento al telar, pero es necesario crear puntos de apoyo, esto es, perforaciones dentadas en el telar.

En la figura 45 se observa el diseño del mecanismo diseñado en el software Solidworks y se aprecian las características mencionadas en la tabla anterior; se aprecia también que el empotramiento en tres puntos del telar confiere una base sólida al mecanismo. Nótese

Para el estudio del sistema de engranajes es necesario aplicar los fundamentos básicos de cálculo, aplicando las relaciones entre número de dientes, radios, dirección de giro, velocidad angular y torque transmitido por los engranajes. En la figura 47 se detallan estas relaciones para una mejor comprensión del mecanismo. Es importante determinar que el engranaje de menor tamaño se denomina piñón y el de mayor tamaño se denomina corona.

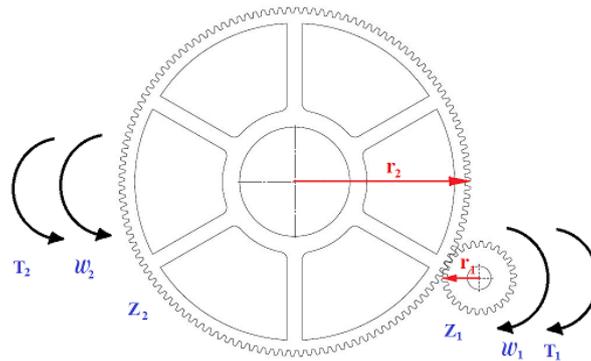


Figura 47. Relaciones de dientes, radio, giro, velocidad y torque en un sistema de engranajes

A partir de un análisis gráfico se determinan ecuaciones de relación teniendo en cuenta el valor de entrada y el de salida.

$$\begin{array}{c} \omega_1 \rightarrow \left[\frac{Z_1}{Z_2} \right] \rightarrow \omega_2 \\ T_1 \rightarrow \left[\frac{Z_2}{Z_1} \right] \rightarrow T_2 \end{array}$$

El producto entre el radio y la velocidad angular del piñón es igual al producto entre el radio y la velocidad angular de la corona, lo mismo ocurre con la relación entre número de dientes-velocidad angular y torque-velocidad angular.

Si se conoce el valor de una magnitud (número de dientes, radios, velocidad angular o torque), el cálculo de la magnitud de salida se obtiene aplicándose la ecuación [3].

$$r_1 \cdot \omega_1 = r_2 \cdot \omega_2 \quad ; \quad T_1 \cdot \omega_1 = T_2 \cdot \omega_2 \quad ; \quad Z_1 \cdot \omega_1 = Z_2 \cdot \omega_2$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{T_1}{T_2} \quad [3]$$

El proceso manual de enrollamiento tiene un régimen de giro del carrete de aproximadamente 130 revoluciones por minuto, y por análisis de campo se determina que una velocidad de giro de 160 revoluciones por minuto para el proceso de enrollamiento con urdido seccional vertical es aceptable. A continuación se analiza la velocidad de giro obtenida con el sistema original disponible en el telar Northrop (nótese en la figura 49 que el giro del carrete es solidario al giro de la corona) y el resultado se compara con el régimen de giro de los motores trifásicos más comunes, para determinar su funcionalidad para este proyecto (el análisis completo de las características del motor trifásico se detalla en el apartado 4.4.1).

Datos:

- Número de dientes del piñón motriz (Z_1): 26
- Numero de dientes de la corona (Z_2): 130
- Velocidad angular aprox. de la corona (ω_2): 160 RPM
- Velocidad angular promedio del piñón (ω_1): 1200 RPM (mínimo valor disponible en el mercado local).

Aplicando la ecuación [3] se determina el régimen de giro aproximado del piñón requerido para el sistema:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad \rightarrow \quad \omega_2 = \frac{Z_2 \cdot \omega_1}{Z_1} \quad \rightarrow \quad \omega_2 = \frac{130 \cdot 160}{26} \quad \rightarrow \quad \omega_2 = 800 \text{ RPM}$$

Debido a la dificultad de encontrar un motor de 800 RPM se descarta la utilización del piñón de 26 dientes propio del telar y se determina diseñar un piñón usando la misma corona por razones de costos de fabricación. Entonces:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad \rightarrow \quad Z_1 = \frac{Z_2 \cdot \omega_2}{\omega_1} \quad \rightarrow \quad Z_1 = \frac{130 \cdot 160 \text{ RPM}}{1200 \text{ RPM}} \quad \rightarrow \quad Z_1 = 17.3$$

EL número de dientes para el diseño del piñón es de 17.

Al no disponer de todos los datos de fabricación de los engranajes originales del telar Northrop, se procede a calcularlos tomando medidas aproximadas de los dientes con ayuda de un calibrador con el fin de determinar características necesarias tanto para el diseño del piñón como para el cálculo de esfuerzos en los dientes.

Datos aproximados del piñón:

- Nro. de dientes (Z): 26
- Diámetro exterior: 100 mm
- Profundidad del diente: 7.5 mm
- Diámetro primitivo (d): 93 mm

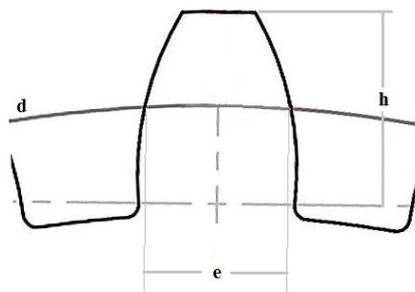


Figura 48. Partes de un diente de engranaje

El paso circular se define por la siguiente ecuación:

$$p = \frac{\pi \cdot d}{Z} \quad [4]$$

$$p = \frac{\pi \cdot 93 \text{ mm}}{26} \quad \rightarrow \quad p = 11.23$$

Obtenido el paso se determina el módulo del engranaje aplicando la siguiente ecuación.

$$m = \frac{d}{Z} \quad [5]$$

$$m = \frac{93 \text{ mm}}{26} \quad \rightarrow \quad m = 3.57 \text{ mm}$$

Con los valores de módulo y paso aproximados se determinan los valores detallados en la tabla 23 con la ayuda de la tabla de medidas normalizadas para dientes. Los valores de

modulo, paso angular, entre otros, son los mismos tanto para la corona como para el piñón, por ello se usa el piñón de 26 dientes pese a que no será el usado para este sistema.

Tabla 23. Medidas normalizadas para dientes. Galbarro, 2018

Módulo	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25
Peso mm	3.14	3.93	4.71	5.5	6.28	7.07	7.85	8.64	9.42	10.21
Espacio entre dientes	1.57	1.97	2.36	2.75	3.14	3.54	3.93	4.32	4.71	5.11
Espesor del diente	2.17	2.71	3.25	3.79	4.33	4.87	5.42	5.96	6.5	7.04
Módulo	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5	5.25	5.5	5.75
Peso mm	11	11.78	12.56	13.35	14.13	14.92	15.70	16.49	17.28	18.06
Espacio entre dientes	5.5	5.89	6.29	6.68	7.07	7.46	7.86	8.25	6.64	9.03
Espesor del diente	7.58	8.13	8.67	9.21	9.75	10.29	10.83	11.38	11.92	12.46
Módulo	6	6.25	6.5	7	7.5	8	9	10	11	12
Peso mm	18.84	19.64	20.42	21.99	23.56	25.13	28.27	31.42	34.56	37.7
Espacio entre dientes	9.43	9.82	10.21	11	11.78	12.57	14.14	15.71	17.28	18.85
Espesor del diente	13	13.54	14.08	15.17	16.25	17.32	19.5	21.67	23.83	26
Módulo	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Peso mm	40.84	43.98	47.12	50.27	53.41	56.55	59.69	62.83	65.97	69.12
Espacio entre dientes	20.42	21.99	23.56	25.13	26.70	28.27	29.85	31.42	32.98	34.56
Espesor del diente	28.17	30.33	32.5	34.67	36.86	39	41.17	43.33	45.5	47.67
Módulo	25	28	30	32	35	38	40	50		
Peso mm	78,54	87,96	94,25	100,5	110	109,4	125,8	157,1		
Espesor del diente	39,27	43,98	47,12	50,26	54,98	59,96	62,83	78,54		
Profundidad del diente	53,9	60,4	64,7	69	75,5	81,9	86,3	107,8		

La tabla 24 muestra los datos para los engranajes del mecanismo con los que a posteriori se calculan su resistencia a diferentes esfuerzos. Además los datos del piñón de 17 dientes se toman para construirlo en un taller de mecanizado.

Tabla 24. Datos geométricos para el sistema de engranajes del telar Northrop

DATO	PIÑÓN MOTRIZ	CORONA INDUCIDA
Nro. de dientes (Z)	17	130
Diámetro externo	66.5 mm	462.183 mm
Diámetro primitivo (d)	59.5 mm	455.183 mm
Diámetro interno	51.36 mm	447.023 mm
Módulo (m)	3.5 mm	3.5 mm
Espesor del diente (e)	5.5 mm	5.5 mm
Paso circular (p)	11 mm	11 mm
Ángulo de presión	15°	15°
Profundidad del diente (h)	7.58 mm	7.58 mm

4.4. Análisis y selección de elementos eléctricos para el mecanismo de enrollamiento de urdimbre

4.4.1. Cálculo de potencia del motor para accionamiento del mecanismo de urdimbre

El sistema de engranajes para el mecanismo de enrollamiento está formado por un piñón, conectado directamente al eje del motor eléctrico, y una corona, que recibe la potencia del piñón y los transmite al carrete.

Aplicando la relación de torque T en función del número de dientes Z mostrado en la ecuación [3] se determina que si el número de dientes del engranaje inducido es mayor que el del engranaje motriz, el torque de salida es mayor que el torque de entrada y si el número de dientes del engranaje inducido es menor que el del motriz, el torque de salida es menor que el torque de entrada. Se puede, por tanto, determinar el torque generado en el piñón motriz por la fuerza F aplicada en el eje de la corona. Para calcular esto es

necesario suponer que la corona es motriz y el piñón es el inducido; esta suposición es contraria al funcionamiento real solo para este caso de cálculo.

Datos:

- Fuerza que opone la urdimbre por acción del mecanismo de sujeción (F): 95N (dato de fuerza obtenido con un dinamómetro)
- Distancia de brazo de palanca al eje de la corona (d): 0.155m

En el engrane del carrete se tiene un Torque o Momento de fuerza (M_g) generado por la fuerza que opone la urdimbre al tensionarse por el mecanismo de sujeción.

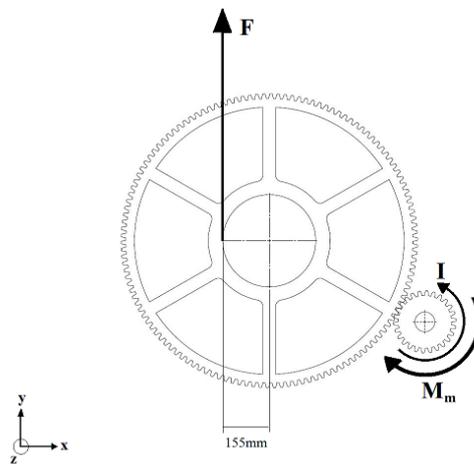


Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del sistema de engranajes

$$M_g = F \cdot d \quad [6]$$

$$M_g = 95 \text{ N} \cdot 0.155\text{m} \quad \rightarrow \quad M_g = 14.725 \text{ N}$$

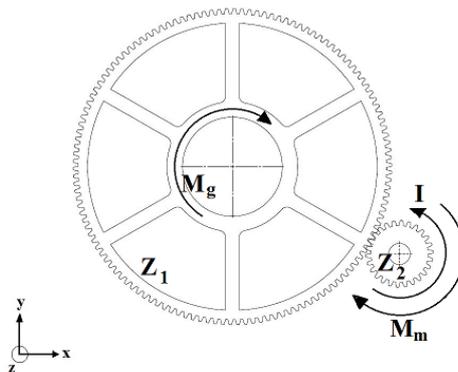
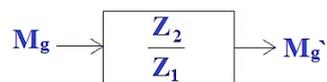


Figura 50. Diagrama de cuerpo libre del sistema de engranajes detallándose los momentos torsores

Se aplica la Ley de la mano derecha para determinar la dirección y sentido de la magnitud. Una vez conocido el torque M_g se determina su valor M_g' en el engranaje pequeño y este valor se suma al valor del momento de inercia, ambos tienen el mismo sentido pero sentidos contrarios a M_m que es el torque que genera el motor eléctrico.

- Momento de inercia (I) del piñón por el conjunto del carrete:
- Radio de piñón: 0.03325m
- Fuerza que opone el conjunto del carrete: 170N (dato de fuerza obtenido con un dinamómetro)

$$I = 170 \text{ N} \cdot 0.03325 \text{ m} \quad \rightarrow \quad I = 5.65 \text{ Nm} ;$$



$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{M_g}{M_g'} \quad [7]$$

$$M_g' = \frac{M_g}{Z_1} \cdot Z_2 \quad \rightarrow \quad M_g' = \frac{14.725 \text{ Nm}}{130} \cdot 17 \quad \rightarrow \quad M_g' = 1.93 \text{ Nm} ;$$

$$M_t = M_g' + I \quad \rightarrow \quad M_t = 1.93 \text{ Nm} + 5.65 \text{ Nm} \quad \rightarrow \quad M_t = 7.58 \text{ Nm} ;$$

Entonces, el torque que el motor debe ser capaz de aplicar para que el mecanismo funcione deber ser mayor al torque total $M_t = 7.58 \text{ Nm}$.

4.4.1.1. Selección de motor eléctrico

Se detallan los requerimientos principales para la selección del motor:

- Torque mínimo: 8 Nm
- Alimentación: Trifásico
- Velocidad angular: 1200 RPM
- Frecuencia de trabajo: 60Hz

Dados los requerimientos se determina usar un motor trifásico las características detalladas en la tabla 25:

Tabla 25. Características del motor para el mecanismo de enrollamiento

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	SIEMENS
Modelo	S60812
Potencia	2 HP
Velocidad	1200 RPM
Alimentación	220 / 440 V AC

4.5. Cálculo de esfuerzos del mecanismo de enrollamiento

El estudio de las cargas aplicadas en los dientes de los engranajes del mecanismo permite asegurar su resistencia al ser sometidos a los esfuerzos provocados por la tensión de la urdimbre en el carrete.

4.5.1. Análisis de resistencia del piñón

Datos piñón motriz:

- Potencia a transmitir (P): 2HP (1491.4 watts)
- Velocidad angular (ω): 1200 RPM (125.664 rad/s)
- Módulo (m): 3.5mm (3.5×10^{-3} m)
- Número de dientes (Z_1): 17
- Diámetro primitivo (d): 59.5mm (0.0595 m)
- Espesor del diente (e): 5.5mm (5.5×10^{-3} m)

1) Cálculo de torque (T) generado por el motor trifásico:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad [8]$$

$$T = \frac{1491.4 \text{ W}}{125.664 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \rightarrow T = 11.868 \text{ Nm}$$

2) Cálculo de fuerzas ejercidas sobre el diente del piñón:

Cuando los dientes de dos engranajes entran en contacto se produce una fuerza perpendicular a la zona de contacto que va variando conforme giran los engranajes, y esta fuerza a su vez se descompone en dos componentes perpendiculares (Galbarro, 2018), una fuerza normal (F_n) y una tangencial (F_t) que es igual a la relación entre la torsión T y el radio primitivo. El valor de F_n es despreciable por lo que no se aprecia para este estudio.

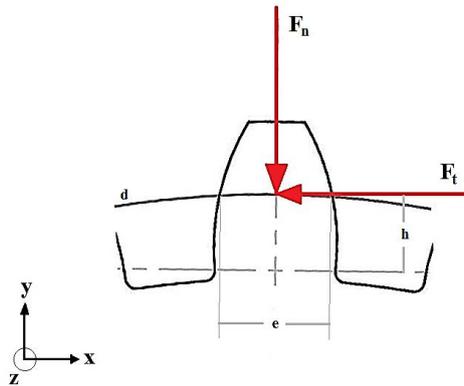


Figura 51. Diagrama de cuerpo libre en diente del piñón

$$F_t = \frac{T}{\frac{d}{2}} \quad [9]$$

$$F_t = \frac{11.868 \text{ Nm}}{\frac{0.0595 \text{ m}}{2}} \rightarrow F_t = 398.92 \text{ N}$$

3) Análisis del esfuerzo generado en la base del diente

Para el análisis del esfuerzo en el diente se considera a éste como una viga a la cual se le aplica una carga puntual F_t . La expresión utilizada para el cálculo del esfuerzo (σ) se deriva de un análisis de flexión que no se detalla en este apartado pero puede ser estudiado en la siguiente cita (Galbarro, 2018).

$$F_t = \sigma \cdot e \cdot m \cdot Y \quad [10]$$

Siendo e el espesor del diente, m su módulo y Y el factor de Lewis; este factor es un valor adimensional que permite calcular de forma más sencilla la resistencia de un diente a la

fractura y depende netamente de la geometría del diente haciendo complicado obtener una medida exacta, por lo que se recurre al uso de tablas en los cuales aplicando interpolación se puede obtener valores muy aproximados. Aplicando la tabla 27 se determina por interpolación de datos que $Y=0.083$

$$F_t = \sigma \cdot e \cdot m \cdot Y \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{F_t}{e \cdot m \cdot Y} \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{398.92 \text{ N}}{5.5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 3.5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 0.083}$$

$$\sigma = 249\,678.842 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \rightarrow \sigma_p = 249.7 \text{ MPa}$$

Se obtiene un esfuerzo $\sigma_p = 249.7 \text{ MPa}$ y este valor es comparado con el límite elástico (S_y) del material de fabricación del engranaje que es empleado como esfuerzo máximo admisible (σ_{adm}) (Galbarro, 2018). Se determina la resistencia que tienen al esfuerzo aplicado en el proceso de enrollamiento y además se determina un factor de seguridad.

El piñón se construye en un material plástico debido a que el desgaste entre materiales disímiles es menor que entre materiales similares, además no requiere de lubricación constante y reduce el ruido (Moya & Velázquez, 2007)

- $\sigma_p = 249.7 \text{ MPa}$ Esfuerzo en el piñón
- $S_y = 282 \text{ MPa}$ Resistencia a la flexión Nylon 66 sin relleno

$$N = \frac{S_y}{\sigma_e} \quad [11]$$

$$N = \frac{282 \text{ MPa}}{249.7 \text{ MPa}} \quad \rightarrow \quad N = 1.13$$

$\sigma_p < \sigma_e < S_y \rightarrow$ Ambos esfuerzos son menores que el esfuerzo admisible, por tanto se determina que efectivamente soportan el proceso de enrollamiento de urdimbre y además el factor de seguridad (N) mínimo es de 1.13, siendo un valor aceptable para el diseño del piñón.

4.5.2. Análisis de resistencia de la corona

Datos corona inducida:

- Potencia a transmitir (P): 2HP (1491.4 watts)
- Módulo (m): 3.5mm (3.5×10^{-3} m)
- Número de dientes (Z_2): 130
- Diámetro primitivo (d): 455.183mm (0.455183 m)
- Espesor del diente (e): 5.5mm (5.5×10^{-3} m)

1) Cálculo de velocidad angular (ω_2):

$$Z_1 \cdot \omega_1 = Z_2 \cdot \omega_2 \quad [12]$$

$$\omega_2 = \frac{Z_1 \cdot \omega_1}{Z_2} \rightarrow \omega_2 = \frac{17 \cdot 1200 \text{rpm}}{130} \rightarrow \omega_2 = 157 \text{ RPM}$$

$$\omega_2 = 16.43 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

2) Cálculo de torque (T) generado por el motor trifásico:

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow T = \frac{1491.4 \text{ W}}{16.43 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \rightarrow T = 90.71 \text{ Nm}$$

3) Cálculo de fuerzas ejercidas sobre el diente de la corona:

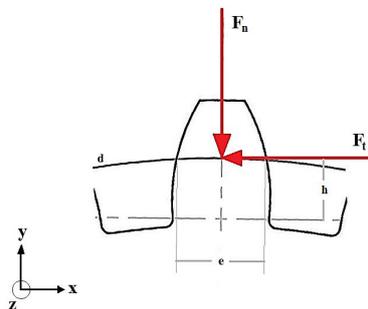


Figura 52. Diagrama de cuerpo libre en diente de la corona

$$F_t = \frac{T}{\frac{d}{2}} \rightarrow F_t = \frac{90.71 \text{ Nm}}{\frac{0.455183 \text{ m}}{2}} \rightarrow F_t = 398.57 \text{ N}$$

4) Análisis del esfuerzo generado en la base del diente:

$$F_t = \sigma \cdot e \cdot m \cdot Y \quad ;$$

Siendo e el espesor del diente, m su módulo y Y el factor de Lewis; aplicando la tabla 27 se determina por interpolación de datos el valor de $Y = 0.1182$.

$$F_t = \sigma \cdot e \cdot m \cdot Y \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{F_t}{e \cdot m \cdot Y} \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{398.57 \text{ N}}{5.5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 3.5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 0.1182}$$

$$\sigma = 175\,170.762,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \rightarrow \quad \sigma_e = 175.2 \text{ MPa}$$

Al tratarse del análisis de un engranaje propio del telar Northrop se desconoce el tipo de acero usado en su fabricación, por tanto se procede a realizar este análisis con el tipo de acero menos resistente en el mercado actual y con esto se puede determinar la resistencia que tienen al esfuerzo aplicado en el proceso de enrollamiento y además se determina un factor de seguridad.

- $\sigma_e = 175.2 \text{ MPa}$ Esfuerzo en el engrane
- $S_y = 181.61 \text{ MPa}$ Resistencia a la fluencia AISI 1010HR

$$N = \frac{S_y}{\sigma_e} \quad \rightarrow \quad N = \frac{181.61 \text{ MPa}}{175.2 \text{ MPa}} \quad \rightarrow \quad N = 1.03$$

$\sigma_p < \sigma_e < S_y \rightarrow$ Ambos esfuerzos son menores que el esfuerzo admisible, por tanto se determina que efectivamente soportan el proceso de enrollamiento de urdimbre y además el factor de seguridad (N) mínimo es de 1.03, siendo un valor aceptable para la utilización de la corona.

4.6. Calculo de desplazamiento angular por efecto de inercia del motor.

Un factor a tener en cuenta en el enrollamiento de urdimbre es la desaceleración del motor al terminar el proceso, ya que se genera un momento de inercia al desconectar la alimentación; esta inercia provoca un desplazamiento angular hasta que el motor quede

completamente detenido, siendo necesario conocer el momento propicio en el que debe desconectarse la alimentación al mecanismo para que el proceso de enrollamiento sea exitoso. El cálculo del desplazamiento angular, desde la desactivación del mecanismo hasta que el motor se detenga, permite determinar la cantidad de urdimbre necesaria al momento de apagar el motor; y con esto se evita daños tanto en la urdimbre como en el mecanismo. A continuación se detalla el cálculo requerido para ello.

Datos:

- Velocidad angular inicial (ω_0) = $\omega_2 = 157$ RPM ($\omega_2 = 16.43$ rad/s)
- Velocidad angular final (ω_f) = 0
- Tiempo (t_1): 4s

1) Cálculo de aceleración angular

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t_1 - t_0} \quad [13]$$

$$\alpha = \frac{-16.43 \frac{rad}{s}}{4s} \quad \rightarrow \quad \alpha = -4.107 \frac{rad}{s^2}$$

2) Cálculo del desplazamiento angular

Al integrar la aceleración se obtiene la velocidad y al integrar la velocidad se obtiene el desplazamiento ($\theta - \theta_0$), por tanto:

$$\omega_f - \omega_0 = \int_{t_0}^{t_1} \alpha dt = \alpha \cdot t \quad [14]$$

$$\theta - \theta_0 = \int_{t_0}^{t_1} \alpha \cdot t dt = \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 \quad [15]$$

$$\theta - \theta_0 = \left[\frac{1}{2} \cdot \left(-4.107 \frac{rad}{s^2} \right) \cdot 4^2 \right] - \left[\frac{1}{2} \cdot \left(-4.107 \frac{rad}{s^2} \right) \cdot 0^2 \right]$$

$$\theta - \theta_0 = -32.86 \text{ rad}$$

Conocido el desplazamiento angular, se determina la distancia aplicando la ecuación 16:

$$\theta = \frac{s}{r} \quad [16]$$

$$s = \theta \cdot r \quad \rightarrow \quad s = 32.86 \text{ rad} \cdot 0.25 \text{ m} \quad \rightarrow \quad s = 8.2 \text{ m}$$

Entonces es necesario tener 8 metros de urdimbre aun sin enrollar al momento de cortar la alimentación al motor del mecanismo.

4.7. Diagrama eléctrico de arranque directo del motor trifásico

Como se aprecia en la figura 53, el contactor magnético y el relé térmico se representan en forma separada para una mejor comprensión, pero van dentro de un mismo elemento físico junto con los mandos de encendido y apagado.

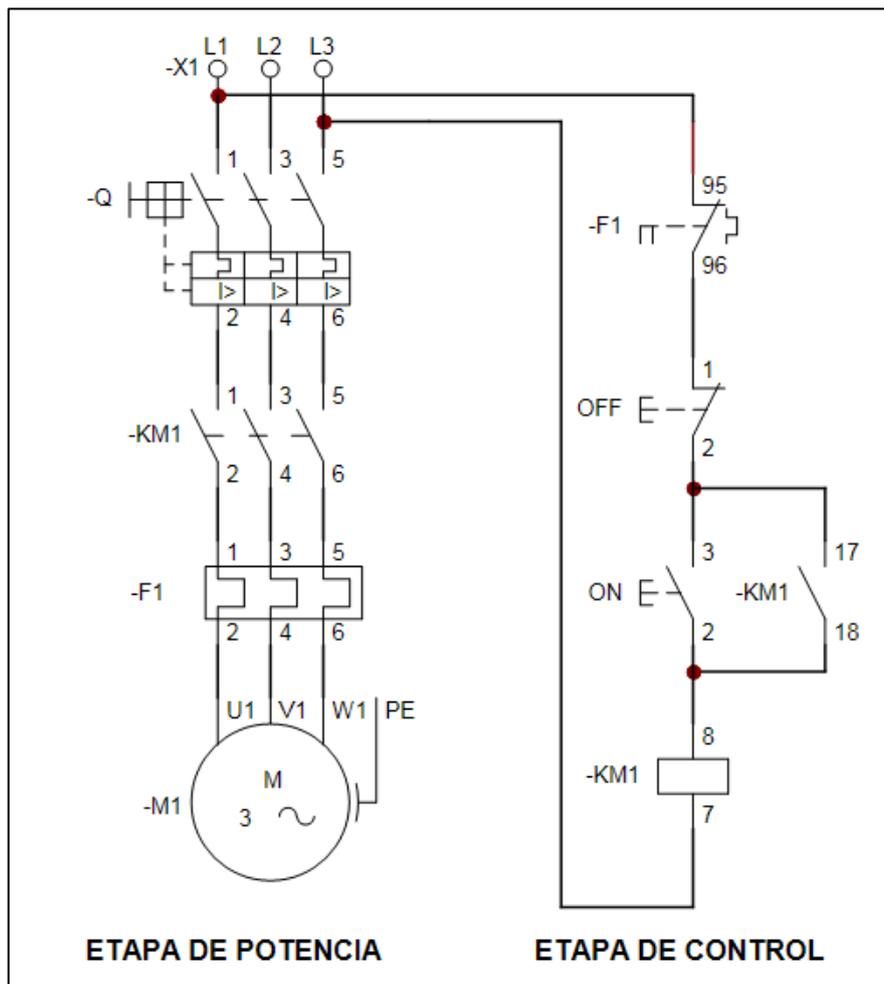


Figura 53. Arranque directo de motor trifásico con guardamotor

CAPÍTULO V

5. Construcción y montaje del sistema automático de detección de hilos rotos y el mecanismo de enrollamiento de urdimbre en el telar Northrop

Para ciertos elementos se elaboran bases y soportes con materiales variados, teniendo en cuenta su funcionalidad, resistencia y disponibilidad. Todos los cables van ocultos con el fin de no despistar la atención del operario. Se utiliza el cable flexible multifilar 18AWG para toda la instalación de los sensores y cableado del tablero de control a 110V AC y a 24V DC, con los respectivos aislantes para zonas de peligro. Las instalaciones y conexiones están sujetas al Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 021 (Directorio del Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2008) y a las normas de representación de esquemas eléctricos elaborado por Tecnicuport (Tecnicuport, 2018).

5.1. Montaje del tablero de control del sistema de detección de rotura de hilos

La dimensión de la caja del tablero de control es de 30x30cm y dentro se instalan 4 filas de rieles DIN para montar el PLC, la fuente, los relés, el regulador de voltaje DC, las borneras y demás elementos del sistema. Las borneras para la fase y neutro en la alimentación cuenta con una protección que impide su contacto en caso de mantenimiento o revisión del tablero de control. (Véase figuras 54, 55 y 56).



Figura 54. Proceso de montaje de tablero de control

Los cables que llegan desde los sensores hasta el tablero de control deben pasar por una prensaestopa para evitar que sufran desgaste por fricción y todos los demás cables externos son protegidos con tuberías de seguridad denominados caracol.

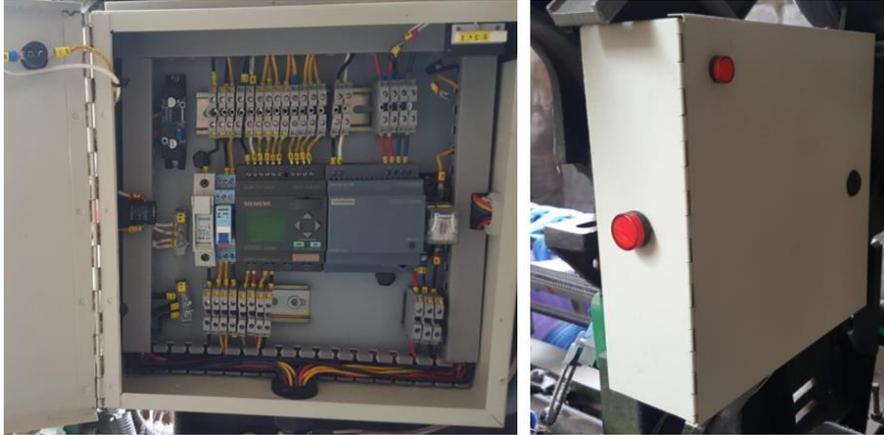


Figura 55. Tablero de control terminado

El convertidor Buck se monta sobre un soporte plástico para evitar cortocircuitos.



Figura 56. Convertidor Buck LM2596 con aislamiento plástico en sus extremos

5.2. Montaje de sensórica del sistema de detección

5.2.1. Paraurdimbre

El paraurdimbre es propio de un telar de pinzas, por lo que se procede a cortarlo sin afectar la continuidad en el bimetálico y así adaptarlo a las medidas del telar Northrop, como se muestra en la figura 57. Las bases del paraurdimbre son elaborados con piezas recicladas de otro telares y se acondicionan borneras para la instalación de los cables de la alimentación de 24V DC.



Figura 57. Barra bimetálicas montadas sobre bases recicladas. Borneras de conexión

En total se instalan 480 láminas de contacto en el paraurdimbre, es decir, 12 hilos por los 40 minoles que tiene el tejido a fabricar, distribuidos en 3 grupos (Véase figura 58).



Figura 58. Lámina de contacto del paraurdimbre

Adicionalmente se instala una lámpara de aviso de rotura de hilos de urdimbre, de 24VAC, instalado en una posición de fácil visibilidad para el operario desde distintos lugares. Se fabrica una base en acrílico mediante moldeo por calor y así obtener la forma deseada como se observa en la figura 59.



Figura 59. Lámpara de aviso de rotura de hilo de urdimbre

5.2.2. Sensor Fotoeléctrico retroreflectivo

Este sensor se ubica en las cajas del telar, que son los extremos del batán en donde la lanzadera recibe el golpe de la espada para impulsarse. Se construyen bases metálicas regulables para sujetar el sensor. Unos bocines de caucho instalados en las bases absorben la vibración del telar durante su funcionamiento. Véase figura 60.



Figura 60. Sensor fotoeléctrico instalado en la caja del batán

En el husillo de la lanzadera se adhiere una lámina de cinta catadióptrica como se aprecia en la figura 61, para que cierre el circuito y envíe la señal al PLC cuando se termine el hilo de trama.



Figura 61. Husillo con cinta catadióptrica

5.2.3. Sensor Magnético de la compuerta

El sensor magnético se instala en la parte superior derecha del tablero de control (véase figura 62) y adicionalmente una lámpara indicadora conectada en paralelo a la señal del sensor. Esta lámpara emite luz verde permanece encendida mientras el telar está en funcionamiento y se apaga en caso de abrirse la compuerta.



Figura 62. Sensor magnético instalado en la parte superior de la compuerta del tablero

5.2.4. Botón de paro de emergencia

Para el caso del telar Northrop el botón de paro de emergencia se coloca en la parte posterior al sitio de mando como se observa en la figura 63, ya que si el operario se encontrase lejos de la palanca de mando por alguna eventualidad, éste pueda detener el telar desde la parte posterior.



Figura 63. Botón de paro de emergencia instalado en la parte posterior del telar Northrop

5.2.5. Mecanismo de freno

La leva se construye a partir de una pieza de aluminio reciclada, es por ello que lleva una perforación en el centro pero esto no afecta su estructura principal. Un resorte plástico permite retornar el seguidor a su posición original evitando choques con la palanca de mando. El seguidor se desplaza en un deslizador lineal por bolas y éste a su vez se empotra al chasis del telar mediante un cojinete de bancada modelo UCP204-12.

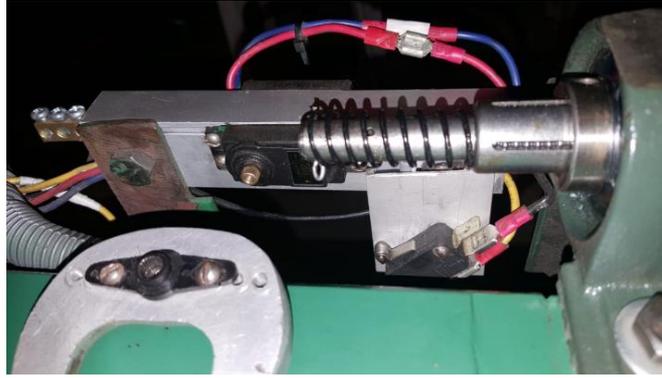


Figura 64. Leva y seguidor con resorte plástico

Se diseña un soporte a medida, de tal manera que se acople al pequeño espacio disponible en el telar y sostenga el motor DC, la leva de aluminio y el final de carrera S.LV. Este soporte debe ser desmontable para labores de mantenimiento como se observa en las figuras 64, 65 y 66.

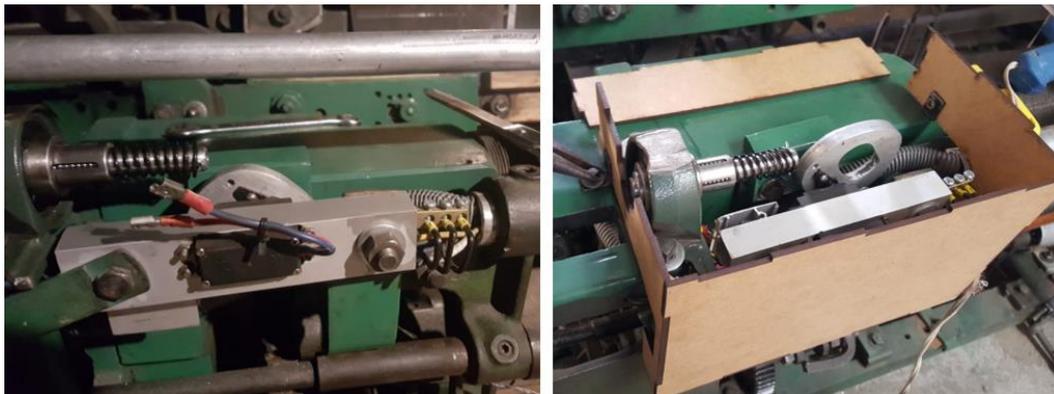


Figura 65. Soporte desmontable y caja de protección para el mecanismo de leva-seguidor



Figura 66. Instalación del mecanismo de leva-seguidor

5.2.6. Finales de carrera

Batán.- Se coloca el Final de carrera de rodillo regulable (S.BA) en la parte superior del batán, detrás del peine, y se instala un tope de nylon que sirve de contacto con el rodillo del final de carrera. Los cables de señal y alimentación van dentro de un recubrimiento plástico en espiral para su protección como se observa en la figura 67.



Figura 67. Final de carrera del batán y tope de nylon

Leva.- Se coloca el final de carrera de rodillo (S.LV) junto a la leva, cercano al lugar en donde la leva tiene su máxima distancia de giro con el seguidor (ver figura 68). Esto permite que el motor DC se desactive justo después de accionar el freno y permanecer en una adecuada posición de inicio.



Figura 68. Final de carrera instalado junto a la leva de aluminio

Freno.- Se coloca el final de carrera de paleta (S.FR) en el tope del mecanismo de freno del telar, teniendo en cuenta de que la lámina del S.FR quede presionada al accionar la palanca de mando (ver figura 69).

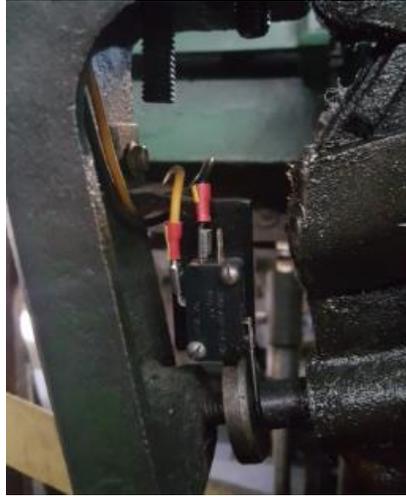


Figura 69. Final de carrera instalado en la palanca de mando

5.3. Construcción del mecanismo de sujeción de urdimbre

Como se observa en la figura 70, la estructura del mecanismo de sujeción se construye con ángulo metálico de 2mm y una placa de acero galvanizado de alta resistencia a flexión, ambos disponibles en el mercado. Todos los elementos se construyen a partir del diseño en el software Solidworks y los planos se detallan en el apartado Anexos.



Figura 70. Fabricación de base de prensaestopa de sujeción

La espiral guía se fabrica en tubo PVC y para su enrollamiento se procede a rellenar todo el segmento con arena y se aplica calor uniformemente. Cuando se calienta el material plástico es posible darle forma espiral con pequeñas estrías como se observa en la figura 71, estas estrías no afectan la funcionalidad de la guía.



Figura 71. Espiral guía fabricado en PVC por moldeo con calor

Para una mayor facilidad de instalación del mecanismo en el telar se utilizan pernos diseñados con cabeza de paleta que ajustan el mecanismo sin uso de herramienta y pueda adaptarse a diferentes modelos de telares de lanzadera, como se aprecia en la figura 72.

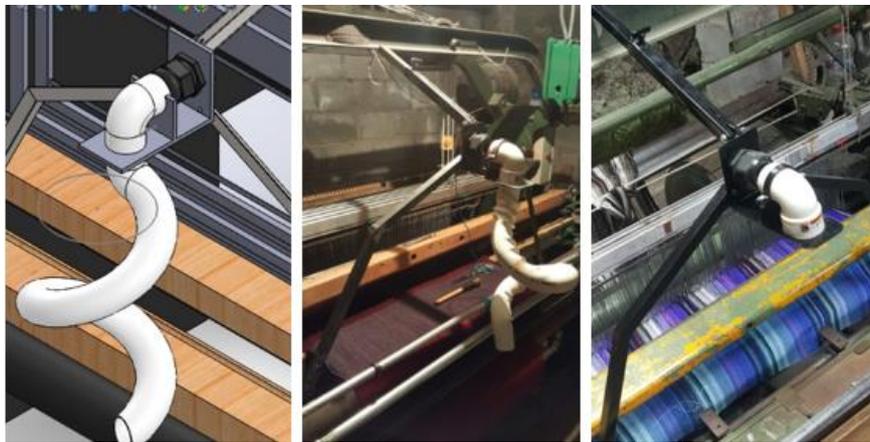


Figura 72. Mecanismo de sujeción montado en el telar Northrop y en un telar Picañol

5.4. Montaje del motor de enrollamiento y sistema de engranajes

El motor cuenta con arranque directo a través de un guardamotor para su protección. Se utiliza cable 12AWG para sistemas trifásicos en la instalación eléctrica del motor. El tipo de conexión usado es 380V Delta-Delta a 7.05A como indica la placa del motor trifásico Siemens, se utiliza esta configuración con el fin de no tener un arranque demasiado lento. El guardamotor LS MEC MMS-32S usado para el arranque permite una regulación de corriente desde 9A hasta 13A, permitiendo variar la configuración de arranque del motor en caso de que se lo requiera.

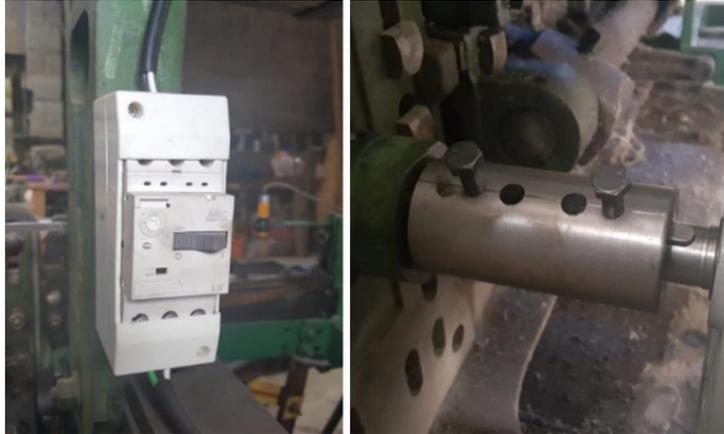


Figura 73. Guardamotor LS y acople de acero

Un acople fabricado en acero permite transmitir el giro del motor hacia el sistema de engranajes; no es necesario desacoplar el motor para iniciar el proceso de tejeduría ya que la velocidad de avance de la urdimbre es muy pequeña. El motor va montado sobre una base metálica calibrada a la altura del eje del piñón. Véanse figuras 73 y 74.



Figura 74. Fabricación de base del motor trifásico

5.5. Pruebas de funcionamiento

5.5.1. Simulación del sistema de detección de rotura de hilos en el software

LOGO!Soft Comfort v7

El sistema es probado en simulaciones computarizadas para corregir cualquier error que se presente antes de montar e implementarlo en el telar, en las figuras se determina el correcto funcionamiento del sistema accionando virtualmente las señales de cada sensor como se observa en las figuras 75 y 76.

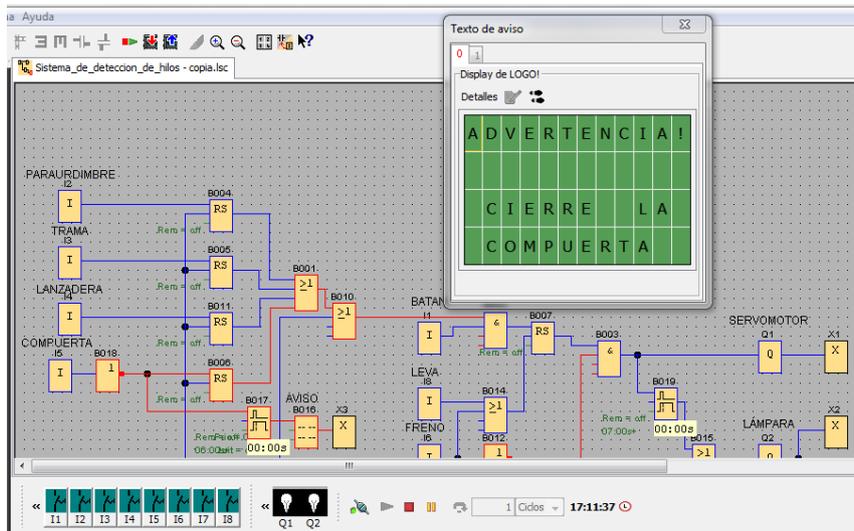


Figura 75. Simulación de activación de señal de compuerta abierta

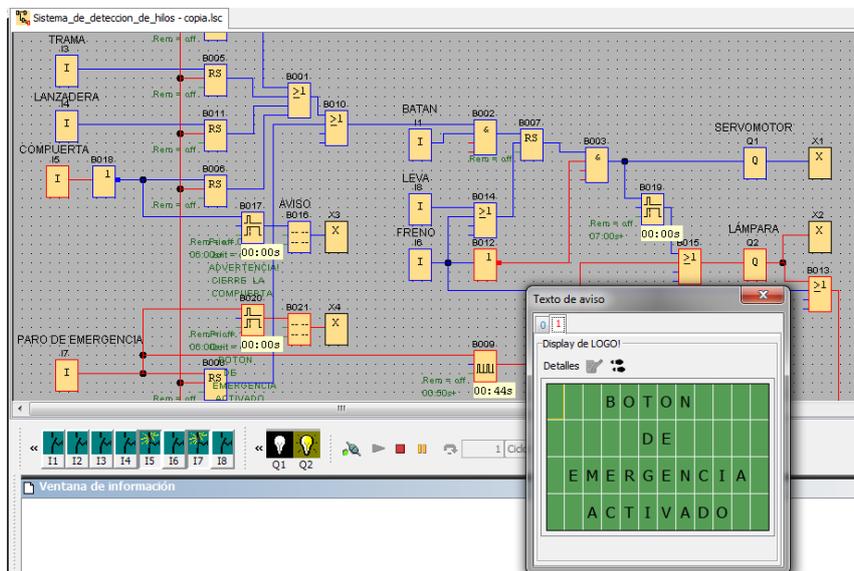


Figura 76. Simulación de activación de señal de paro de emergencia

5.5.2. Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado de detección de rotura de hilos

Las pruebas de funcionamiento del sistema automatizado de detección de rotura de hilos se realizan con el método experimental de campo, debido a que no se dispone de ningún protocolo de pruebas para maquinaria textil. Pero se obtienen datos de funcionamiento muy similares (paradas en caso de rotura) que brindan resultados fiables. Las pruebas in situ se las puede apreciar en el video anexo al presente trabajo.

Se aprecia en la figura 77 el paro de emergencia en fase de pruebas.



Figura 77. Paro de emergencia en etapa de prueba en el telar Northrop

En la figura 78 se observa el momento en el que el mecanismo de leva y seguidor acciona la palanca de mando y detiene el telar.



Figura 78. Momento en que se acciona el freno del telar

En la figura 79 se observa la luz piloto que muestra la detención del telar y la luz del sensor fotoeléctrico también activada debido a la ausencia de hilo de trama en la lanzadera. En caso de presionar el paro de emergencia, esta luz piloto roja es intermitente.



Figura 79. Luces piloto activadas por ausencia de hilo de trama en lanzadera

5.5.3. Pruebas de funcionamiento del mecanismo de enrollamiento de urdimbre

El mecanismo es puesto a prueba en el telar Northrop obteniéndose resultados similares a los calculados. El efecto de giro logrado con la guía en espiral permite un enrollamiento más uniforme y sin riesgo de rotura de hilos como se aprecia en la figura 80.



Figura 80. Mecanismo de sujeción de urdimbre en el telar Northrop

Además se hacen pruebas en un telar de lanzadera de la marca Picañol como se aprecia en la figura 81. El giro que se produce por la guía espiral presenta mejoras inclusive con el enrollamiento manual del carrete. La prensaestopa mantiene una tensión uniforme durante todo el proceso.



Figura 81. Mecanismo de sujeción de urdimbre en el telar Picañol

Para que el mecanismo de accionamiento no presente problemas es importante que el proceso de preparación de urdimbre en el rastrillo sea correcto como se observa en la figura 82. Es importante centrar los extremos de la urdimbre al carrete.



Figura 82. Colocación de urdimbre en guías del rastrillo.

Al final del proceso el operario debe tener presente apagar el motor con una distancia mínima de 8 metros de urdimbre, en caso de mal cálculo solamente se enrolla manualmente el resto de urdimbre. Es necesario que el operario preste mucha atención al finalizar el proceso, debido a que un descuido prolongado puede causar daños al mecanismo de sujeción.



Figura 83. Accionamiento del mecanismo de enrollamiento de urdimbre en el telar Northrop

El proceso de enrollamiento también puede apreciarse en el video anexado al presente trabajo.

5.5.4. Fallas presentadas en las pruebas de funcionamiento y correcciones realizadas

Se detalla a continuación la tabla 26 que describe las fallas producidas durante las pruebas de funcionamiento y las respectivas correcciones aplicadas.

Tabla 26. Fallas y correcciones realizadas durante pruebas de funcionamiento

Falla	Solución aplicada
Sensor fotoeléctrico no detecta al espejo catadióptrico por alta velocidad de la lanzadera (24m/s)	El aumento en la longitud de la cinta en el husillo de 10mm a 20mm soluciona el problema de lectura del sensor.
Falta de torque en el motor del mecanismo de freno, el telar no se detiene.	Calibración de potenciómetro en el convertidor Buck de 4,8 a 6,0V DC.
Excesivo ruido y contacto defectuoso en el sistema de engranajes del mecanismo de enrollamiento. Mala calibración del piñón.	Recalibración de la base del motor trifásico.

CONCLUSIONES

- El sistema automatizado instalado en el telar Northrop permitió detectar oportunamente la rotura de hilos y además permitió al operario determinar visualmente la causa de la detención del telar mediante el uso de luces piloto; el operario tiene la posibilidad de diferenciar la causa de la detención del telar basándose en la luz piloto activada en cada parada.
- El mecanismo de enrollamiento mejoró el flujo de hilo de urdimbre durante el proceso de tejeduría, evitándose roturas en los lisos y paraurdimbre y por consiguiente se redujo el número de paradas del telar por fallas y el tiempo que el operario ocupaba para resolver el daño, disminuyendo el tiempo de tres minutos con el sistema convencional a un tiempo de 0.5 minutos (30 segundos) con el sistema automatizado como se comprueba en las tablas 28 y 29 de datos de producción.
- Algunos elementos del sistema, tanto de detección de rotura de hilos, como de enrollamiento de urdimbre, no fueron diseñados, sino que fueron analizados para determinar su resistencia y funcionalidad, esto debido a que se contó con algunas piezas recicladas que cumplían con los requerimientos.
- Se usan barras bimetálicas de paraurdimbre de un telar diferente al Northrop porque no existe un modelo específico para este telar debido a su antigüedad. Las barras bimetálicas adquiridas fueron modificadas en su longitud.
- El hilo de trama que viaja en la lanzadera a través del batán tiene una trayectoria que no permite un control estable, por ello en este proyecto no se pudo detectar su rotura, pero la detección de ausencia de hilo de trama en la lanzadera brinda una alternativa a esta problemática.

- Luego de realizar pruebas de funcionamiento y rendimiento del telar con el sistema automatizado y el mecanismo de enrollamiento, se determinó que:
- El tiempo de parada del telar para reparar las fallas por rotura de urdimbre o trama disminuyó de 3 minutos a medio minuto, esto debido a que el operario ya no debía cortar parte del tejido y recalibrar la urdimbre, sino solamente amarrar el hilo roto.
- En función a las tablas 28 y 29 la producción diaria aumentó en 5 unidades.
- El desperdicio de materia prima por fallas se anuló casi en su totalidad debido a la oportuna detención automática del telar en caso de rotura de hilo.
- El operario tuvo mayor control del proceso en razón de que simultáneamente al proceso de tejeduría podía realizar un chequeo o control de funcionamiento correcto del telar.

RECOMENDACIONES

- El desarrollo de proyectos con controladores lógicos programables puede aplicarse en la gran mayoría de maquinaria textil de los talleres de la zona de Otavalo, cambiando las grandes y obsoletas placas de control por pequeños y sofisticados tableros inteligentes, mejorando así su rendimiento y productividad.
- La aplicación de normas de seguridad industrial en la mayoría de talleres textiles de esta zona permitiría crear un ambiente laboral más confiable y además disponer de maquinaria y equipos de protección dimensionados para los requerimientos de cada taller.
- Al disponer de maquinaria textil antigua pero operativa, se proponer proyectos relacionados con implementación de protección y recubrimiento de los mecanismos y elementos móviles de los telares de lanzadera.
- El mecanismo de enrollamiento puede mejorarse y redimensionarse para talleres de mayor producción, teniendo en cuenta la versatilidad de este mecanismo para cualquier telar de lanzadera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, Y. U. (2017). *Automatización de la dobladora de tejido plano artesanal de Textiles VINARDI*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Bustamante, R. (31 de Julio de 2017). *APTT Asociación Peruana de Técnicos Textiles*.
Obtenido de Fundamentos del diseño en el tejido plano:
<http://apttperu.com/fundamentos-del-diseno-tejido-plano/>
- Chaverri, E. U. (2009). *Guía para resguardos y protecciones de maquinaria y equipos*. Costa Rica: Consejo de Salud Ocupacional.
- Cuvi, N. (2011). Auge y decadencia de la fábrica de hilados y tejidos de algodón La Industrial, 1935 - 1999. *Revista Ecuatoriana de Historia*, 71-73.
- Departamento de Ingeniería Mecánica. (2017). *Teoría de mecanismos*. España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Departamento de Ingeniería Mecánica. (S.F). *Teoría de mecanismos*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Directorio del Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2008). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 021 "Conductores y alambres para uso eléctrico aislados con material termoplástico"*. Quito, Ecuador.
- Galbarro, H. R. (01 de Junio de 2018). *Ingemecánica*. Obtenido de Fundamentos de las transmisiones por engranajes:
www.ingemecanica.com/tutorialsemana/tutorialn151.html
- Jaramillo, M. (2013). *Condiciones adecuadas para un mejor funcionamiento de telares de cinta flexible*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- La Colonial. (28 de Enero de 2014). Obtenido de Tejido a la plana y tejido de punto:
<https://lacolonial.wordpress.com/2014/01/26/tejido-a-la-plana-y-tejido-de-punto/>
- López, E. T. (1987). *Análisis del diseño de levas de disco*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ministerio de Trabajo y Recursos Humanos. (1998). *Reglamento de seguridad del trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica*. Quito.
- Moya, J., & Velázquez, J. (2007). *Cálculo de engranajes plásticos, Ingeniería Mecánica Vol 6*. Cuba & México: Ediciones MECÁNICA.
- Pilataxi, A. R. (2007). *Análisis de cálculos de telas de tejido plano*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Pilataxi, A. R. (2007). *Análisis y cálculos de telas de tejido plano que servirá de base para la implementación de un software textil*. Ibarra: Universidad Técnica Del Norte.
- Piñate, C. A. (2008). *Diseño e implementación de un sistema de control para telares circulares basado en PLC's y VSD's*. Sartenajas, Venezuela: Universidad Simón Bolívar.
- Piñero, J. (2015). *Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia*. España, Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Raimond, S. (1992). *Física*. México: Editorial McGraw-Hill.

- RelePro Automation. (10 de Febrero de 2018). *RelePro Automation*. Obtenido de https://relepro.com/logo/21/siemens_logosoft-comfort-v8_6ed1058-0ba08-0ya1.html
- Requena, J. V. (2009). *Encoders*. Chile: Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María.
- Ricardo Chavarría Cosar. (1984). *Dispositivos de parada de emergencia*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Siemens AG. (2003). *Manual LOGO! Siemens edición 6*. Obtenido de Bereich, Automation and Drives: www.siemens.com/logo/
- Stäubli. (02 de Febrero de 2018). *Stäubli.com*. Obtenido de <https://www.staubli.com/en/textile/textile-machinery-solutions/weaving-preparation/warp-tying/topmatic/>
- Tecnicsuport. (2018). *Normas de representación de esquemas eléctricos*. Obtenido de <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Normas%20de%20Representacion.pdf>

ANEXOS

Tabla 27. Factor de Lewis, Y. Fuente: Galbarro, 2018

Factor de Lewis, Y			
Número de dientes	$\alpha = 14,5^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	Diente corto
10	0,056	0,064	0,083
11	0,061	0,072	0,092
12	0,067	0,078	0,099
13	0,071	0,083	0,103
14	0,074	0,088	0,108
15	0,078	0,092	0,111
16	0,080	0,094	0,115
17	0,083	0,096	0,117
18	0,085	0,098	0,120
19	0,088	0,100	0,123
20	0,090	0,102	0,125
21	0,092	0,104	0,127
23	0,094	0,106	0,130
25	0,097	0,108	0,133
27	0,099	0,111	0,136
30	0,101	0,114	0,139
34	0,104	0,118	0,142
38	0,106	0,122	0,145
43	0,109	0,126	0,147
50	0,111	0,130	0,151
60	0,113	0,134	0,154
75	0,115	0,138	0,158
100	0,117	0,142	0,161
150	0,119	0,146	0,165
300	0,122	0,150	0,170

Tabla 28. Producción normal del telar Northrop

Datos de producción del telar Northrop sin el sistema automatizado

Horario de trabajo:	07:30-10:30 y 11:00-14:00 y 15:00-18:00
Horas diarias de trabajo del operario (horas):	9
Tiempo para engrasado de piezas móviles del telar (min):	10
Tiempo estimado para enrollamiento de urdimbre (min):	34,46
Tiempo para amarre de urdimbre (min):	150

Tiempo de trabajo diario del telar (horas):	5,76
Tiempo total para cambio de canilla (min):	31,70
Tiempo total diario para arreglo de fallas en trama y urdimbre (min):	27
Tiempo neto del proceso de tejeduría diario del telar (min):	286,84
(trab operario - engrasado - enrollamiento - amarre - (X)cambio canilla - (Y)falla) (horas):	4,78
Tiempo neto restante	-30,14

Tiempo neto necesario para tejer el total de metros (en min)	316,98
(trab operario - enrollado - amarre (en horas):	5,28

Producción de tela del telar Northrop en función del tiempo neto		DIARIO
	en unidades	27
	en metros	61

Tiempo neto del proceso de tejeduría diario del telar sin enrollado (en min)	355,54
(trab operario - enrollado - amarre (en horas):	5,93

Producción de tela del telar Northrop sin proceso de enrollamiento		DIARIO
	en unidades	34
	en metros	75

cantidad de chalinas (unidades)	30
chalinas de dos caras (en metros)	2,24
hilo extra inicio (en metros)	0,3
hilo extra final (en metros)	0,7
Total de metros de hilo de urdimbre (m)	68,2 m

DATOS ADICIONALES	
tiempo de enrollamiento de 1 metro de tela (min)	0,36
Distancia de avance de una canilla (en metros)	0,53 <small>*sujeto a anchura</small>
Duración de una canilla (en min)	2,5 <small>*sujeto a anchura</small>
canillas necesarias para un chal	4,23 <small>*sujeto al avance</small>
tiempo neto estimado para tejido de un chal (min)	10,57
tiempo de cambio de canilla en 1 chal (min)	1,06
número de paradas por falla / chal tejido	0,3
número de pasadas de la lanzadera x minuto	125
numero de paradas para cambio de canilla (X)	127
numero de paradas para arreglo de falla (Y)	9
Tiempo estimado para corrección de falla (en min):	3
Tiempo para cambio de canilla (en seg):	15

Cantidad de chales por tejer (unidades)	3
Tiempo necesario para tejer chales restantes	26,91 min

Tabla 29. Producción del telar Northrop con la implementación del sistema automatizado y el mecanismo de enrollamiento

Datos de producción actual del telar Northrop con el sistema automatizado

Horario de trabajo:	07:30-10:30 y 11:00-14:00 y 15:00-18:00
Horas diarias de trabajo del operario (horas):	9
Tiempo para engrasado de piezas móviles del telar (min):	10
Tiempo estimado para enrollamiento de urdimbre (min):	10,27
Tiempo para amarre de urdimbre (min):	150

Tiempo de trabajo diario del telar (horas):	6,16
Tiempo total para cambio de canilla (min):	47,55
Tiempo total diario para arreglo de fallas en trama y urdimbre (min):	6,75
Tiempo neto del proceso de tejeduría diario del telar (min):	315,43
(trab operario - engrasado - enrollamiento - amarre - (X)cambio canilla - (Y)falla) (horas):	5,26
Tiempo neto restante	-160,04

Tiempo neto necesario para tejer el total de metros (en min)	475,47
(trab operario - enrollado - amarre (en horas):	7,92

Producción de tela del telar Northrop en función del tiempo neto		DIARIO
	en unidades	30
	en metros	67

Tiempo neto del proceso de tejeduría diario del telar sin enrollado (en min)	379,73
(trab operario - enrollado - amarre (en horas):	6,33

Producción de tela del telar Northrop sin proceso de enrollamiento		DIARIO
	en unidades	36
	en metros	81

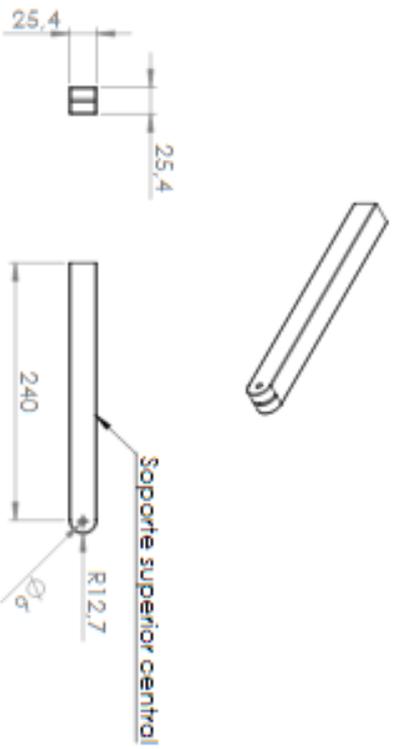
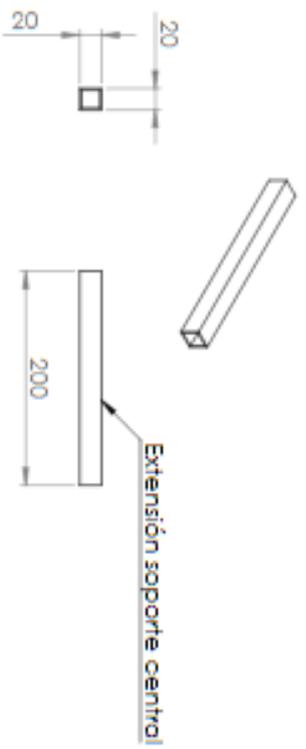
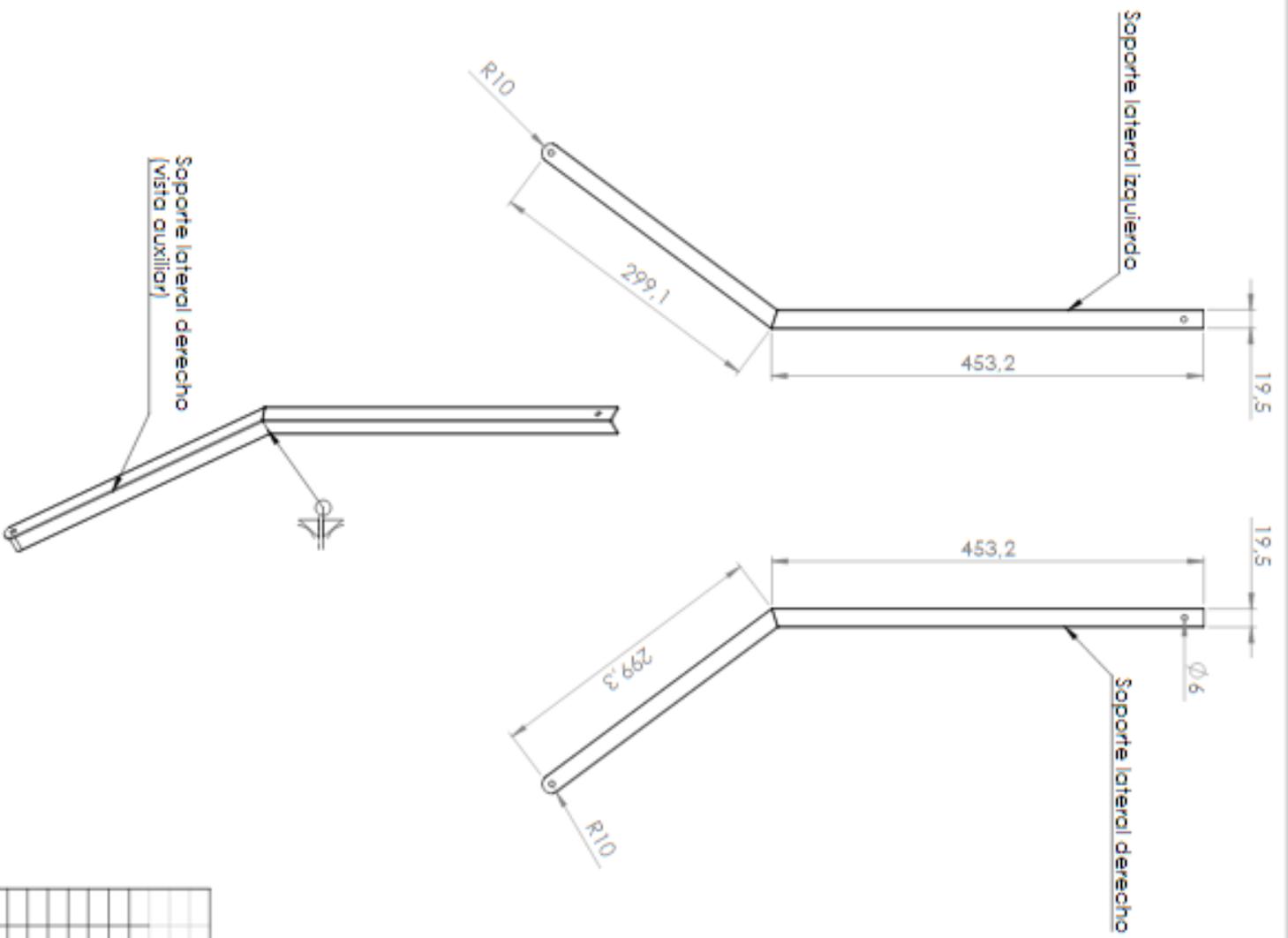
cantidad de chalinas (unidades)	45
chalinas de dos caras (en metros)	2,24
hilo extra inicio (en metros)	0,3
hilo extra final (en metros)	0,7
Total de metros de hilo de urdimbre (m)	101,8 ^m

DATOS ADICIONALES	
Velocidad de giro del mecanismo	1507,8 rad/min
desplazamiento angular de 1m de tela en el rodillo	4 rad/min
tiempo de enrollamiento de 1 metro de tela (min)	0,0027
Distancia de avance de una canilla (en metros)	0,53 *sujeto a anchura
Duración de una canilla (en min)	2,5 *sujeto a anchura
canillas necesarias para un chal	4,23 *sujeto al avance
tiempo neto estimado para tejido de un chal (min)	10,57
tiempo de cambio de canilla en 1 chal (min)	1,06
número de paradas por falla / chal tejido	0,3
número de pasadas de la lanzadera x minuto	125
numero de paradas para cambio de canilla (X)	190
numero de paradas para arreglo de falla (Y)	13,5
Tiempo estimado para corrección de falla (en min):	0,5
Tiempo para cambio de canilla (en seg):	15

Cantidad de chales por tejer (unidades)	15
Tiempo necesario para tejer chales restantes	142,90 ^{min}

**ANEXO A: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE
DETECCIÓN DE ROTURA DE HILOS**

ANEXO B: PLANOS DE ELEMENTOS MECÁNICOS



CANTIDAD		UNIDAD		DESCRIPCIÓN		MATERIAL		NOTAS	
1	+	1		SopORTE de la prensaestopa		Acero estructural			
1		1		Extensión soporte central					
1		1		SopORTE superior central					
UNIDAD TECNICA DE DISEÑO: ME_003_C1 ESCALA: 1:2 FECHA: 14/05/2023									

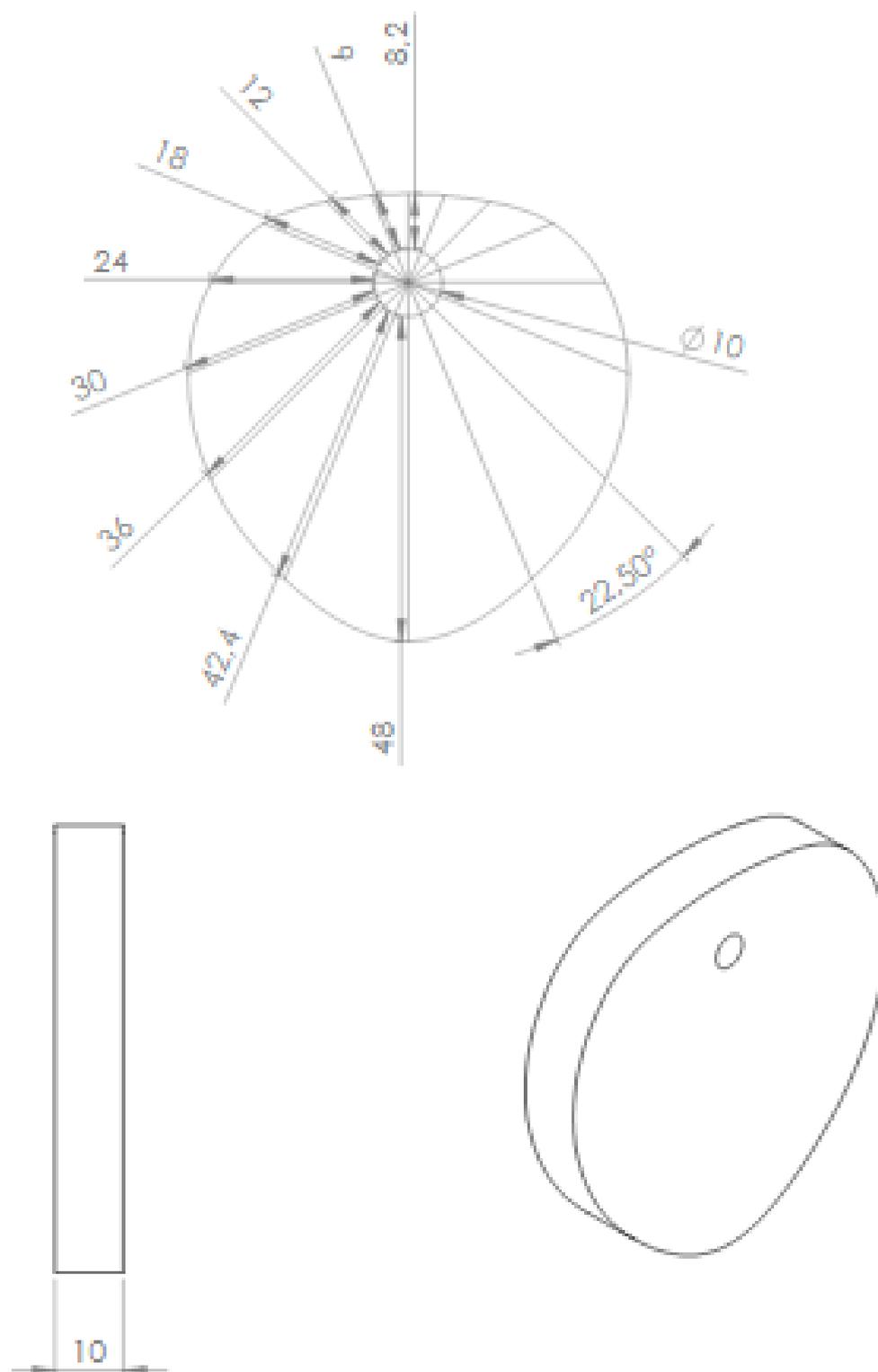
A

B

C

D

E



F

				Tolerancia	Plus	Material		Aluminio
				+/-				
					Fecha	Nombre	Descripción	
				Dis.	01/01/2018	Diego Lema	Leva	
				Rev.	01/01/2018	Carlos Villanar		
				Apro.	01/01/2018	Carlos Villanar		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE		Nº de Dibujo		MFR_001_C1
				CIB		Sufijo de		
Relación	Modificación	Fecha	Nombre			MFR_001		

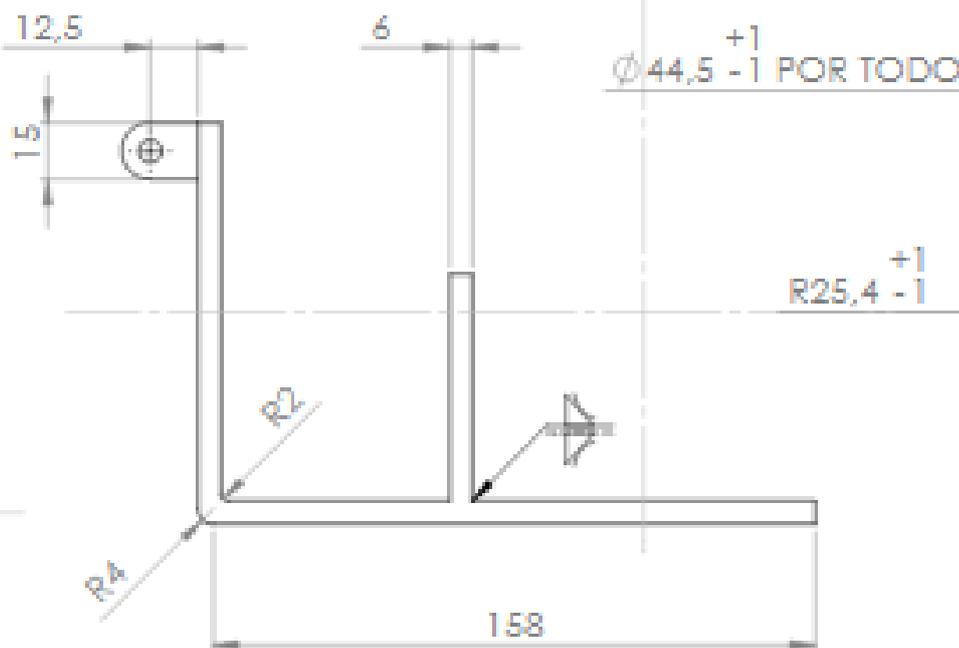
Escala: 1:1

A4

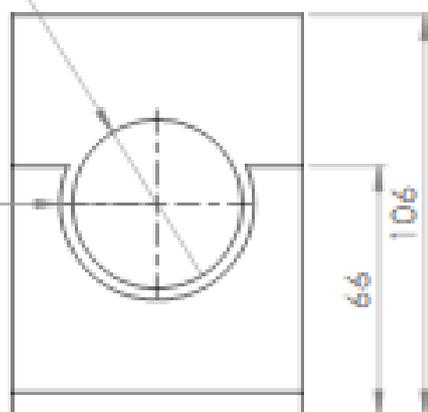
VISTA SUPERIOR



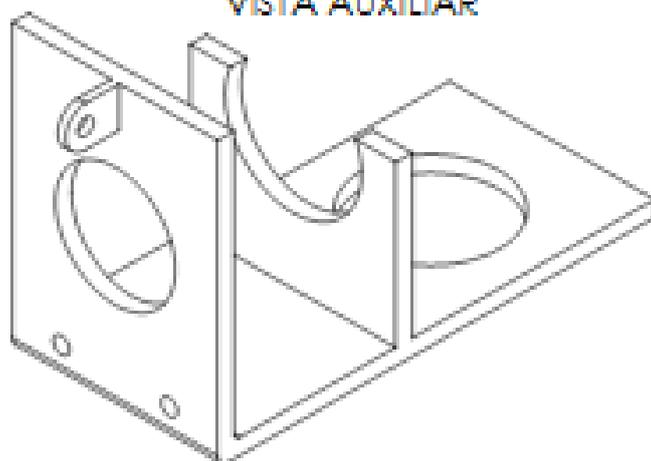
VISTA LATERAL



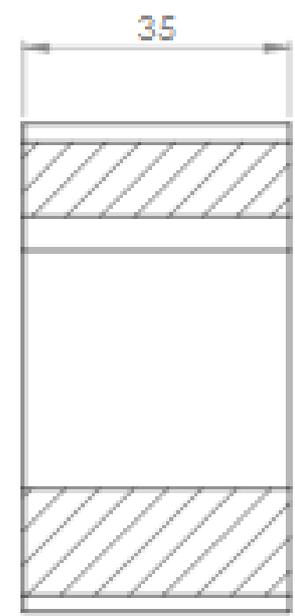
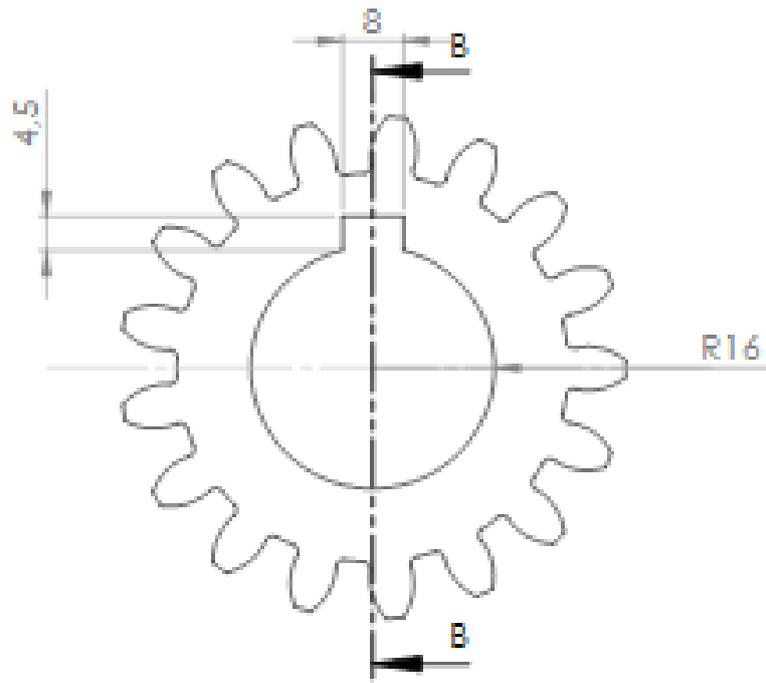
VISTA FRONTAL



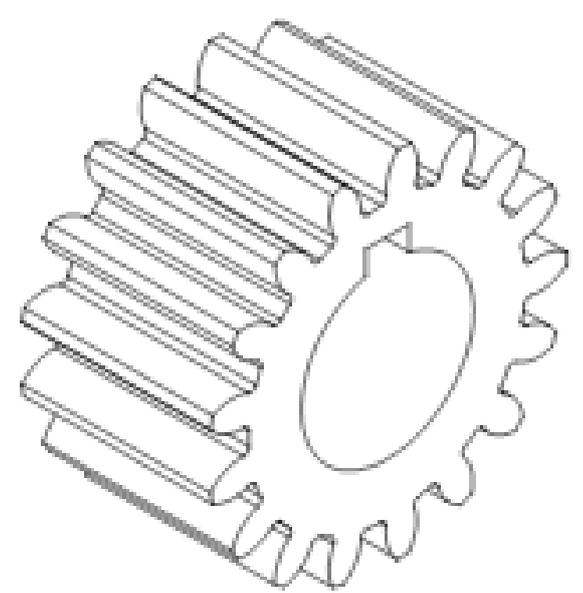
VISTA AUXILIAR



				Tolerancia		Pasa		Material			
				+/- 1				Chapa acero lagrimada			
					Fecha	Nombre		Descripción			
				Dis.	07/07/2018	Diez Jara		Base_Prensaestopa			
				Rev.	07/07/2018	Carlos Villanar		Escala 1:2			
				Apro.	07/07/2018	Carlos Villanar		A4			
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE				Código de Diseño			
				CUB				ME_002_C1			
Estado				Modificación				Fecha			
Nombre								Autorización			
								ME_002			



SECCIÓN B-B

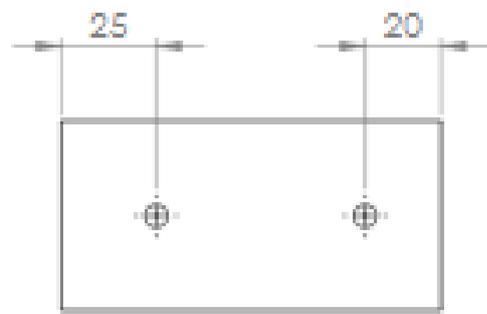


Número de dientes: 17
 Diámetro externo: 66.5 mm
 Diámetro interno: 51 mm
 Diámetro primitivo: 60 mm
 Paso circular: 11 mm
 Módulo: 3.5 mm
 Ángulo de presión: 15°
 Altura de diente: 7.6 mm

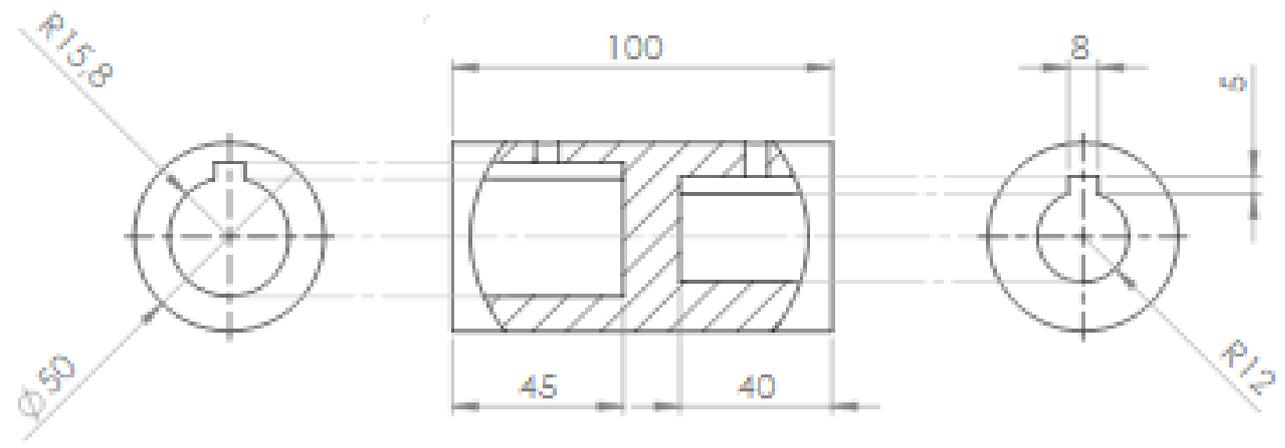
No se registra un nombre comercial de este piñón en nylon 66

				Tolerancia	Pos.	Material	
				+/- 1		Nylon 66	
						Denominación	
						Piñón_Sistema_de enrollamiento	
						Escala: 1:1	
						A4	
						Clase de pieza	
						ME_001_C1	
						Autopieza	
						ME_001	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
				Civil			

A

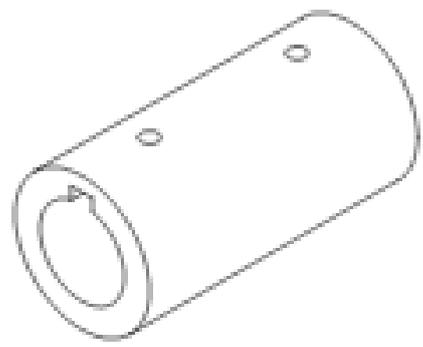


B



C

D



E

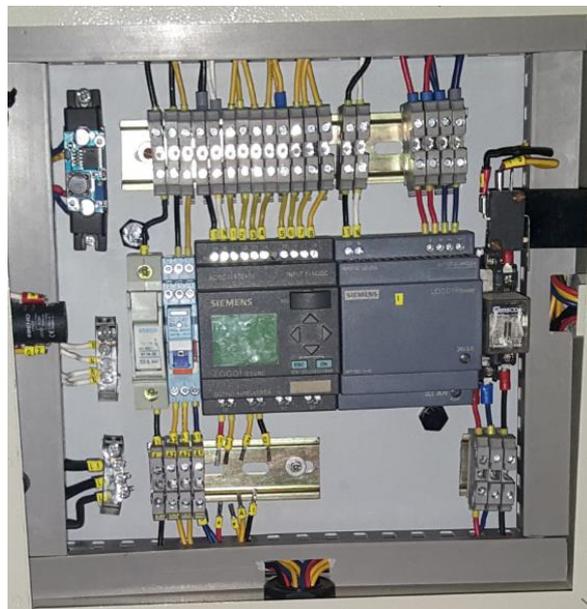
				Tolerancia	Acero	Material	
				+/- 1		Acero de transmisión	
					Fecha	Nombre	Descripción
					01/01/2018	Diego Lopez	Acople motor - piñón
					01/01/2018	Carlos Villanar	
					01/01/2018	Carlos Villanar	
				UNIVERSIDAD TECNICA DEL NOROCCIDENTE		N° de Diseño	
				Civil		ME_004_C1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala	
						ME_004	

F

ANEXO C: MANUAL TÉCNICO DEL USUARIO

SISTEMA AUTOMATIZADO DE DETECCIÓN DE ROTURA DE HILOS Y MECANISMO DE ENROLLAMIENTO DE URDIMBRE

Manual técnico del Usuario



Elaborado el 30 de Julio del 2018 en las instalaciones del taller artesanal Awanny
Crafts. Quinchuquí, Otavalo

Elaborado por: José Geovanny Lema Vega
Tesista de Ingeniería en Mecatrónica UTN



PRESENTACIÓN:

Antecedentes: Los telares de lanzadera no tienen la capacidad de detectar la rotura de hilos de urdimbre o la ausencia de hilo de trama en el husillo, lo que provoca fallas en el producto final, descartándolo para su comercialización. Por otra parte el proceso de enrollamiento de urdimbre requiere de mucho esfuerzo humano y esto se refleja en pérdida de tiempo de trabajo.

OBJETIVOS DEL SISTEMA:

El sistema automático de detección de rotura de hilos brinda al telar de lanzadera la capacidad de actuar en caso de presentarse rotura o ausencia de hilo tanto de trama como de urdimbre, proporcionando al operario mayor control del proceso de tejeduría.

El mecanismo de enrollamiento automático reduce el esfuerzo humano para colocar la urdimbre en el carrete del telar y aprovecha de mejor manera el tiempo de trabajo del operario.

INTRODUCCIÓN:

Este manual está dirigido al personal operador del telar Northrop que requiera realizar labores de mantenimiento y también al técnico que deba ejecutar revisiones al sistema automatizado.

Se detalla primeramente el modo de uso del sistema, modo de trabajo de los diferentes sensores y actuadores que integran el sistema, los diagramas eléctricos del tablero de control y la sección de solución de problemas.

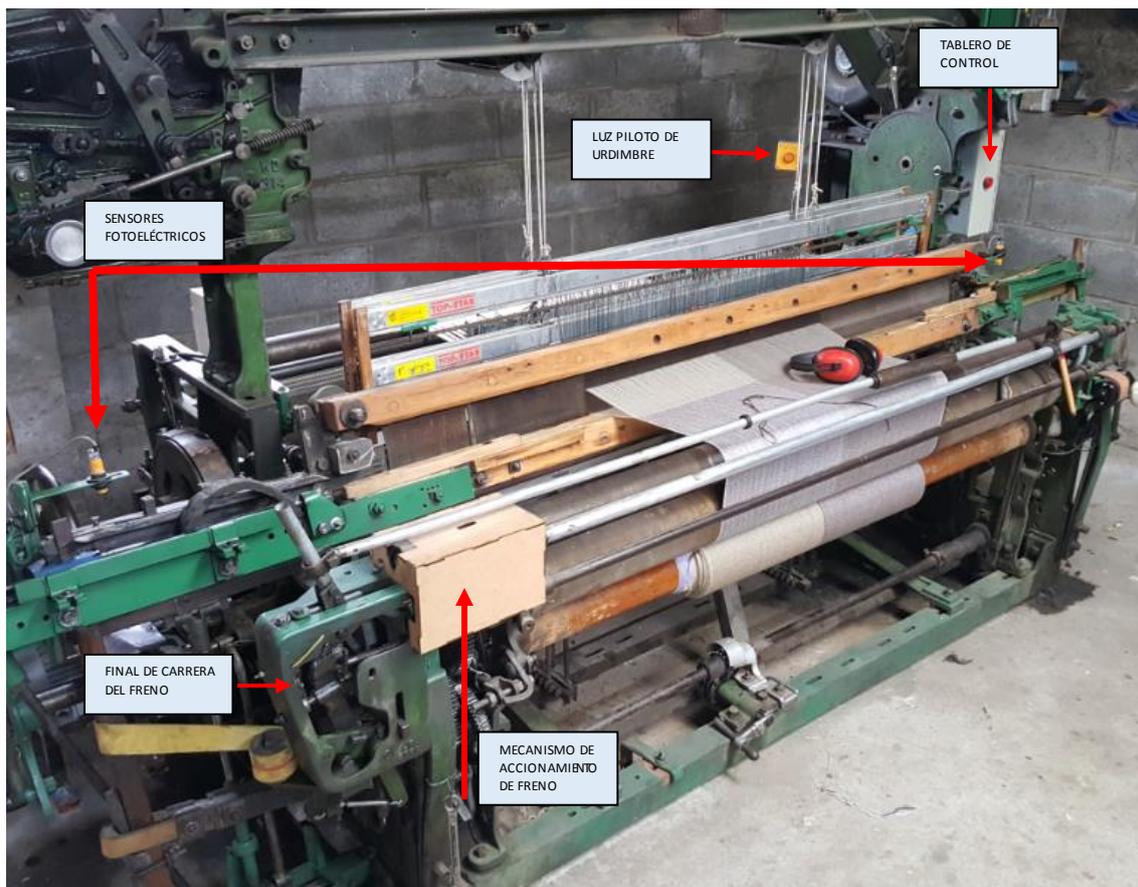
GENERALIDADES

Advertencias de seguridad

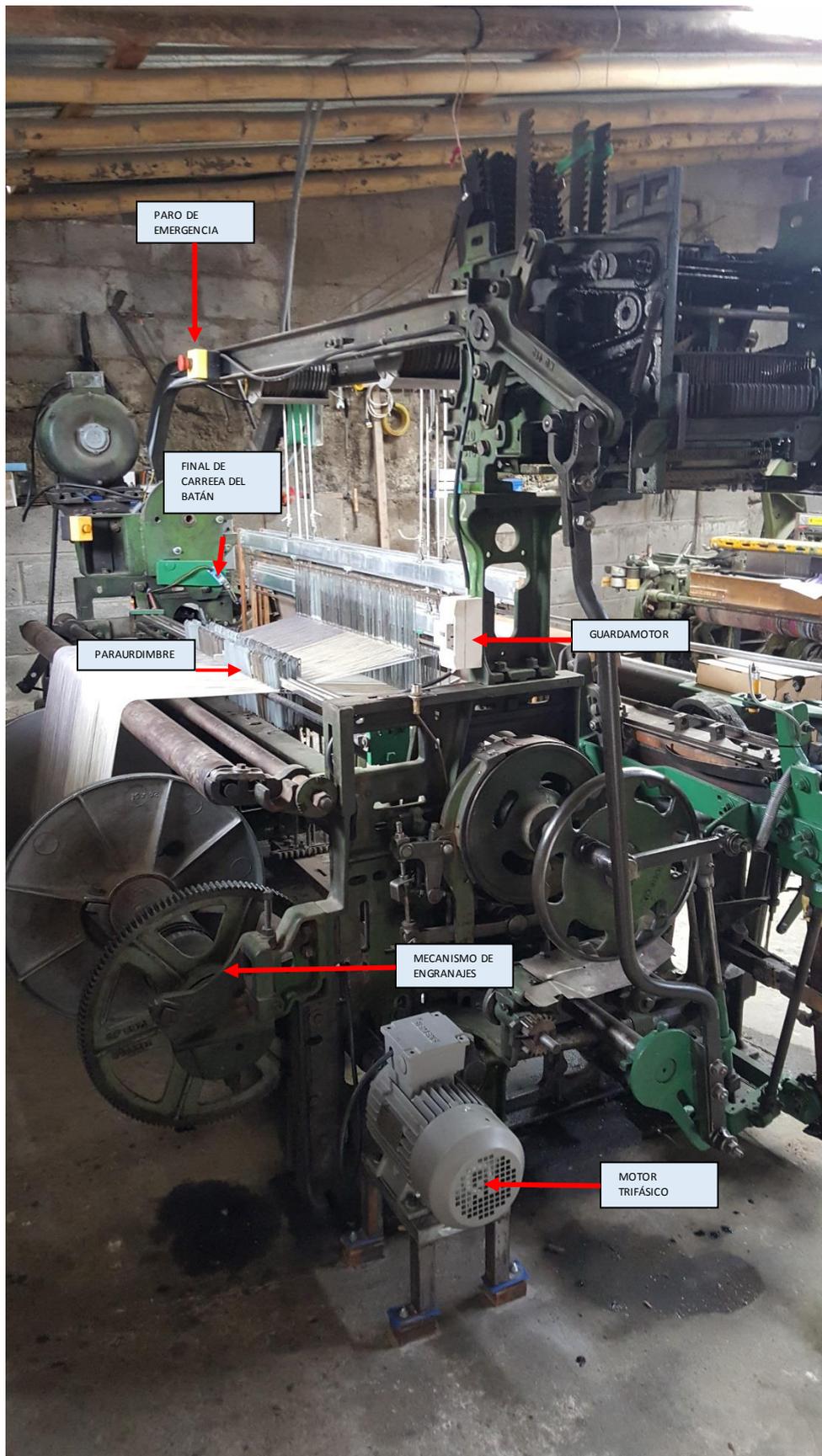


- ✓ Evite abrir la compuerta del tablero de control mientras el telar esté en marcha, existe peligro de mutilamiento por estar cerca a las correas de transmisión del motor.
- ✓ Utilice siempre protectores auditivos, el telar trabaja con elevados niveles de ruido.
- ✓ Manténgase en lo posible dentro de la zona de seguridad del telar, que es frente a la palanca de mando.

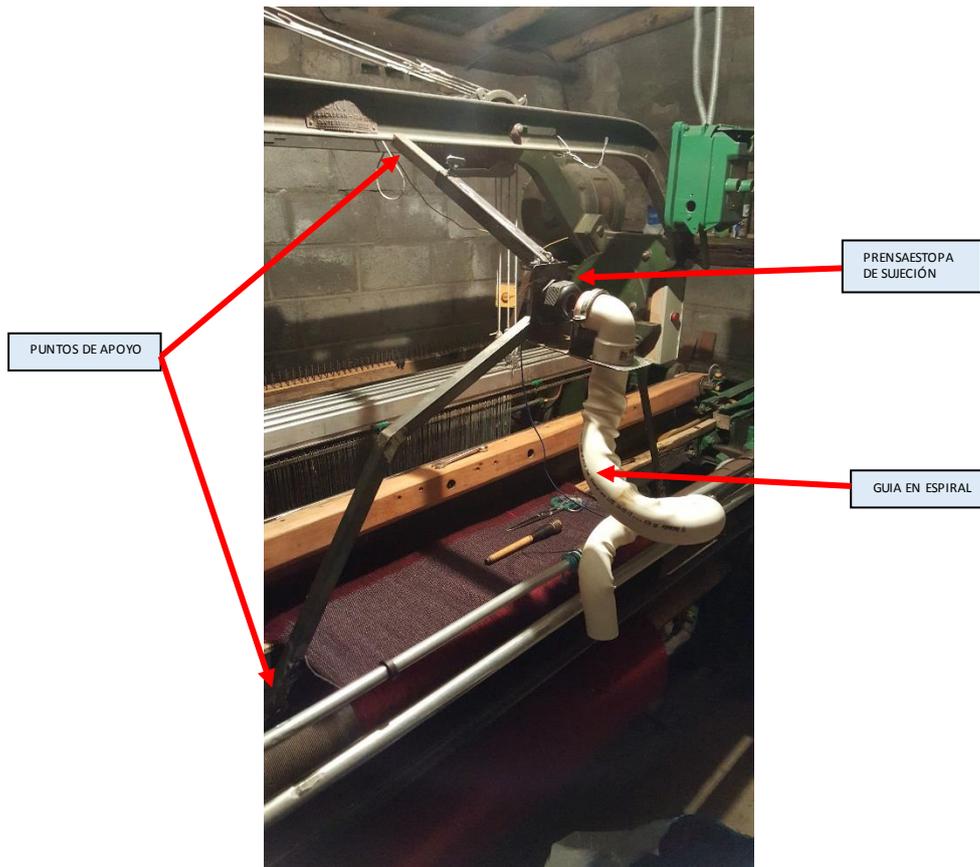
Partes del sistema automatizado en el telar electromecánico



Vista frontal del telar Northrop



Vista posterior del telar Northrop



Mecanismo de enrollamiento

Modo de operación del sistema de detección de rotura de hilos:

1. El operador debe encender el telar con el botón ON y simultáneamente se enciende el sistema automatizado.
2. El proceso de tejeduría es el mismo que en un telar convencional. El sistema actúa solo cuando se presenta rotura o ausencia de hilo.
3. En caso de rotura de hilo de urdimbre el telar se detiene y se enciende la luz piloto amarilla ubicada en la parte posterior del telar, sobre el paraurdimbre y permanece encendida hasta que el operador revise el daño. Una vez realizada la corrección se reinicia el proceso normalmente.

Si se trata de una nueva remesa de urdimbre, se recomienda desconectar el cable positivo del paraurdimbre durante la primera mitad del proceso de tejido del primer ejemplar con el objetivo de evitar falsos contactos de las láminas metálicas. Cuando todos los hilos de urdimbre estén tensos vuelva a conectar el cable de rojo del paraurdimbre.

4. En caso de ausencia de hilo en el husillo de la trama el telar se detiene y se enciende el led del sensor retroreflectivo ubicado en cada caja del telar. El operador debe realizar el cambio de husillo y reiniciar el proceso normalmente.
5. En caso de abrir la compuerta del tablero de control con el telar en marcha, se desactiva la luz verde de la compuerta, se detiene el telar y se muestra un mensaje de advertencia en la pantalla del PLC. El telar no se pondrá en marcha mientras no se cierre la compuerta.
6. En caso de accionar el botón de paro de emergencia se activa la luz roja intermitente del tablero de control, se detiene el telar y se muestra un mensaje de advertencia en la pantalla del PLC. Mientras no se desactive el botón luego de realizarse la respectiva revisión, el telar no se pone en marcha.

Modo de operación del mecanismo de enrollamiento de urdimbre:

1. Los soportes del mecanismo de sujeción se instala en el telar usando los apoyos ajustables ubicados en la guía de tejido. El soporte superior del mecanismo se ajusta en la estructura superior del telar.
2. La urdimbre atraviesa la guía espiral desde la parte inferior y sale por el orificio de la prensaestopa. Una vez que el extremo de la urdimbre se encuentra sobre el guía del carrete, se regula la prensaestopa hasta quedar tensionado.
3. La urdimbre se coloca en el rastrillo de manera ordenada y se sujeta al carrete para iniciar el proceso.
4. Gire el carrete manualmente hasta que la urdimbre quede tensionada uniformemente y con cuidado accione el guardamotor para iniciar el proceso.
5. Desactive el guardamotor cuando aún falten ocho metros de urdimbre por enrollar y realice el proceso manualmente. Finalizada la operación retire el mecanismo de sujeción del telar.

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- **AREA MECÁNICA**
 - Lubricar periódicamente con aceite de baja densidad el deslizador por bolas del mecanismo de accionamiento de freno para lo cual es necesario levantar la tapa de la caja de protección.

- Lubricar periódicamente con grasa los piñones del mecanismo de enrollamiento.
- **ÁREA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**
 - Revisar las conexiones del paraurdimbre.
 - Realizar una limpieza mensual del tablero de control con el telar apagado y verificar correcto ajuste de borneras y cables.
 - Limpiar periódicamente los finales de carrea del batán y del freno, evitando la acumulación de aceite o grasa en el pulsador.
 - Con el telar encendido y detenido, y el final de carrera del freno desactivado compruebe voltaje de alimentación del motor DC usando un multímetro. Para ello accione el botón de emergencia y accione el final de carrera del batán. Desactive el paro de emergencia una vez terminada la operación. El valor del voltaje no debe superar los 6 voltios DC.
 - Con el telar encendido y detenido abra la compuerta del tablero de control y accione el paraurdimbre para comprobar funcionamiento correcto de los relés. Accione también los sensores retroreflectivos con ayuda de un husillo con cinta catadióptrica.

MANEJO DE ERRORES Y FALLAS

Falla	Solución
- Desgaste del acople para el motor DC del freno	- Ajuste del perno de sujeción de la leva con el motor
- Falso contacto en las borneras del paraurdimbre	- Ajustar el socket de alimentación positiva
- Mala recepción de señal de sensores en PLC	- Ajuste de borneras del tablero de control
- Mala sujeción en prensaestopa - Desgaste de guarnición de caucho	- Cambio de prensaestopa

ANEXO: Se dispone del diagrama eléctrico del sistema en el tablero de control.

ANEXO D: INFORME TÉCNICO DE MANTENIMIENTO



INFORME TÉCNICO DE MANTENIMIENTO REALIZADO AL TELAR
ELECTROMECAÁNICO NORTHROP COMO PARTE DEL TRABAJO DE GRADO

AUTOR: LEMA GEOVANNY

DIRECTOR: WASHINGTON MOSQUERA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

IBARRA – ECUADOR

2017

1. Objeto del informe

Mantenimiento preventivo y/o correctivo del telar electromecánico de lanzadera marca Northrop para determinar su estado actual.

- Identificación de posibles fallas en el control de las variables consideradas en el desarrollo del proyecto
- Identificación y reparación de piezas con posible desgaste o en mal estado
- Puesta a punto del telar luego del mantenimiento realizado

2. Descripción de la situación actual del telar

El telar Northrop disponible fue sometido a mantenimiento, limpieza y calibración; a continuación se detallan los principales problemas encontrados.

Elemento	Descripción	Mantenimiento realizado
Mecanismo de avance de urdimbre	Suspendido debido a atascamiento por oxidación de piezas	Se eliminó el óxido incrustado en el mecanismo quedando así en funcionamiento
Espada derecha	Rota, madera frágil	Se cambió la espada por uno de fibra que es más resistente
Espada izquierda	Fuerza de golpe calibrado con materiales diversos	Se realizó una perforación para eliminar los materiales innecesarios.
Barra de sujeción de la caja izquierda	Rota, exceso de golpe por mala calibración	Se soldó la pieza afectada y se añadió un perno para mejorar la ergonomía de la caja.
Brazo accionador de la espada derecha	Perno de retorno a posición de origen roto	Se adecuó otro perno para sujetar el resorte del brazo
Guía de entrada de lanzadera a caja derecha	Desgastada debido a golpe de la lanzadera por mala calibración	Se fabricó otra guía para mejorar la entrada de la lanzadera a la caja

Elemento	Descripción	Mantenimiento realizado
Mecanismo de accionamiento del freno	Exceso de juego al accionar la palanca	Se realizó una calibración completa, eliminándose así el juego existente. Se instaló un resorte para mejorar el mecanismo.
Anclaje del piñón de pasada	Desgastada por exceso de trabajo y mala calibración	Por la dificultad de fabricar una pieza de anclaje nueva se rellenó la misma pieza con suelda, quedando en óptimas condiciones
Retorno de la espada izquierda a posición de origen	Cauchos instalados no cumplen correctamente la función.	Se instalaron un resorte y una tira de cuero resistente para retornar la espada de mejor manera a la posición requerida

3. Conclusiones del informe

- Se determinó el estado real del telar electromecánico con el que se cuenta para el desarrollo e implementación del sistema propuesto.
- Se logró adquirir información del funcionamiento del telar desde un punto de vista más técnico.
- Se evidenciaron ciertos requerimientos para el momento del diseño del sistema propuesto.
- Al tener el telar en óptimas condiciones de trabajo se facilita el desarrollo e implementación de los diferentes componentes del sistema propuesto.
- Se tiene un panorama más claro del impacto que generará el desarrollo del proyecto propuesto.

4. Anexos

Se anexan fotografías para evidenciar el mantenimiento realizado

ELEMENTO	ANTES	DESPUÉS
Mecanismo de avance de urdimbre		
Espada derecha		
Espada izquierda		

Anclaje del
piñón de
pasada



Imágenes del telar completo

ANTES

DESPUÉS

