



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TEJEDORA POR
TRAMA RECTILÍNEA DUBIED GALGA 12, E IMPLEMENTACIÓN
DE UN MÓDULO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN
ARTIFICIAL, PARA EL MEJORAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN
DE TEJIDO DE PUNTO**

AUTOR: TORRES GALLO, DAVID ALEXANDER

DIRECTOR: ING. REA MINANGO, SYLVIA NATHALY

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TEJEDORA POR TRAMA RECTILÍNEA DUBIED GALGA 12, E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL, PARA EL MEJORAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE TEJIDO DE PUNTO”** fue realizado por el señor **Torres Gallo, David Alexander**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, octubre del 2019

Firma:

Ing. Rea Minango Nathaly

C.C.:1721261921



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Torres Gallo, David Alexander, declaro que el contenido, ideas y criterio del trabajo de titulación: **“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TEJEDORA POR TRAMA RECTILÍNEA DUBIED GALGA 12, E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL, PARA EL MEJORAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE TEJIDO DE PUNTO”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Latacunga, octubre del 2019

Firma:

Torres Gallo David

C.C.:1804415071



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Torres Gallo, David Alexander, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TEJEDORA POR TRAMA RECTILÍNEA DUBIED GALGA 12, E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL, PARA EL MEJORAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE TEJIDO DE PUNTO”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, octubre del 2019

Firma:



Torres Gallo David
C.C.:1804415071

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a los pilares fundamentales de mi vida, mi madre Fanny quien con su infinito cariño, comprensión me ha enseñado que con paciencia y perseverancia se pueden alcanzar las metas y objetivos que me haya propuesto, mi padre Manuel quien, con su humildad, empeño ha sacado adelante a toda nuestra familia a pesar de los duros obstáculos que se nos ha presentado, para toda mi vida ellos serán el ejemplo a seguir y con quienes puedo contar y confiar incondicionalmente.

A mis hermanas, Michelle y a la pequeña Nicole con quienes he aprendido desde chico la responsabilidad de ser el hermano mayor de dos hermosas niñas, me han entregado también su amor fraternal, ayuda y siendo aún más jóvenes me han enseñado valiosas lecciones.

A mis queridos abuelos, mi abuela Bertha quien me ha apoyado a lo largo de todo este tiempo y me ha dado consuelo en ocasiones fundamentales de mi vida, mi abuelo Fausto, quien ha sido mi mentor y me ha brindado su apoyo para la obtención de mi título, los dos me han brindado sabios consejos para encaminar mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, quien con su amor infinito ha permitido, que alcance un peldaño más en mi vida, además de ser mi guía en los éxitos que he alcanzado al día de hoy, de la misma manera a mis padres y hermanas, por todo el trabajo y soporte que me han dado durante mi vida universitaria.

A esta prestigiosa institución la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a cada docente con quienes he aprendido un sinfín de conocimientos para una formación profesional y de calidad. En especial agradezco a la Ing. Nathaly Rea por su paciencia, cooperación, y buen encaminamiento durante la realización de este proyecto.

A mis amigos Jessy, Bismar, Luis, Oscar, Kevin, Kari, Cris, Carlos, Stalin, Diego, Andrés, Daniel, Jhos, Kathy, Pame y Francisco con los cuales compartí muchos momentos de lucha, sacrificio, entrega y apoyo para finalizar semestre a semestre hasta llegar aquí.

Gracias a todos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.	1
1.2. Planteamiento del problema.	2
1.3. Justificación e importancia.	3
1.4. Objetivos.	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.	5
1.6. Alcance	6
1.7. Estructura del proyecto.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Tejidos textiles.	10
2.1.1. Tejido de punto	10
2.1.2. Características del tejido de punto.....	11

2.1.3.	Clasificación del tejido de punto.	11
2.1.4.	Principales usos del tejido de punto.	13
2.1.5.	Elementos de tejido textil (tela).....	14
2.2.	Máquinas de tejido de punto.	16
2.2.1.	Agujas de máquinas de tejido de punto.	16
2.2.2.	Clasificación de agujas de máquinas de tejido de punto.....	17
2.2.3.	Galga	18
2.2.4.	Máquina rectilínea de tejido de punto	18
2.3.	Sistema de visión artificial y control de calidad.	21
2.3.1.	Sistema de visión artificial	21
2.3.2.	Elementos de un sistema por visión artificial	21
2.3.3.	Sistema de control de calidad por visión artificial	23
2.4.	Tipos de sistemas de transmisión de movimiento	24
2.5.	Estado del arte	25

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1.	Determinación del estado inicial de la máquina.	30
3.1.1.	Fonturas.....	31
3.1.2.	Carro.....	31
3.1.3.	Guiahilos	33
3.1.4.	Tensor de hilo	33
3.1.5.	Palanca para mover la fontura posterior	34
3.1.6.	Fileta.....	35
3.1.7.	Bancada	35
3.1.8.	Palanca para mover la fontura frontal	35
3.1.9.	Rodillo.....	36
3.2.	Selección de conceptos.....	37
3.2.1.	Selección del sistema de ajuste de parámetros.	40
3.2.2.	Selección del sistema para la velocidad en el rodillo (movimientos en vaivén).	42
3.2.3.	Selección del sistema para la velocidad del carro (movimientos en vaivén).....	43

3.2.4.	Selección del sistema de control.....	44
3.3.	Determinación de parámetros.	45
3.4.	Selección de componentes eléctricos.	47
3.4.1.	Motores para mecanismos de selección de parámetros en el tejido implementados dentro del carro y driver.	47
3.4.2.	Motores para mecanismos de selección de parámetros en el tejido implementados fuera del carro y driver.	49
3.4.3.	Controladores.....	51
3.4.4.	Cámara.	53
3.4.5.	Pantalla HMI.....	54
3.4.6.	Fuentes de alimentación.....	54
3.5.	Diseño de elementos estructurales y mecánicos adaptados.	55
3.5.1.	Diseño de sistema de transmisión para el movimiento en vaivén del carro.	56
3.5.2.	Cálculo de la leva del rodillo.	87
3.5.3.	Diseño de mecanismos para la selección de parámetros.....	91
3.6.	Diseño electrónico	113

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1.	Construcción e implementación de los mecanismos adaptados	118
4.1.1.	Construcción e implementación de la transmisión para dar un movimiento en vaivén al carro	118
4.1.2.	Construcción e implementación de los mecanismos para la selección de parámetros .	119
4.2.	Implementación del sistema eléctrico.....	122
4.3.	Diseño, programación de HMI y módulo de control de calidad en Raspberry Pi (Master).	129
4.3.1.	Pantalla principal	131
4.3.2.	Pantalla de establecimiento de parámetros	135
4.3.3.	Pantalla de establecimiento de velocidad del movimiento en vaivén del carro.	139
4.3.4.	Pantalla de control de calidad por visión artificial	140
4.4.	Programación de Arduinos Mega (Esclavos).....	148
4.4.1.	Primer Arduino Mega.....	148

4.4.2. Segundo Arduino Mega	150
-----------------------------------	-----

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Prueba de producción	152
5.2. Pruebas de obtención de imágenes	156
5.3. Detección de fallos en el tejido	162
5.4. Prueba de detección de orificios	162
5.5. Validación de la hipótesis.....	164
5.5.1. Validación de la hipótesis para el índice de producción por el método de T-student...	165
5.5.2. Validación de la hipótesis para el módulo de control de calidad por el método T-student.....	168
5.6. Costos	171

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	174
6.2. Recomendaciones	178

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
---	------------

ANEXOS.....	184
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales usos del tejido de punto.	13
Tabla 2. Clasificación de agujas de máquinas de tejido de punto.	17
Tabla 3. Aplicaciones de control de calidad por visión artificial.	23
Tabla 4. Tipos de sistemas de transmisión de movimiento.	24
Tabla 5. Necesidades del usuario.	37
Tabla 6. Matriz QFD.	39
Tabla 7. Selección de conceptos para mecanismos implementados en selectores de parámetros.	41
Tabla 8. Selección del sistema para la velocidad en el rodillo (movimientos en vaivén).	42
Tabla 9. Selección de conceptos para el sistema de transmisión para los movimientos en vaivén del carro.	43
Tabla 10. Selección de conceptos para el sistema de control.	44
Tabla 11. Tabla de determinación de parámetros.	46
Tabla 12. Especificaciones técnicas de servomotor MG996R.	48
Tabla 13. Especificaciones técnicas de driver PCA9685.	48
Tabla 14. Características técnicas de motor Pololu 37Dx57L mm.	49
Tabla 15. Características técnicas de módulo Driver L298N.	50
Tabla 16. Características técnicas de servomotor híbrido nema 34 (86HS120).	50
Tabla 17. Características técnicas de driver HBS860H.	51
Tabla 18. Características de la Raspberry Pi modelo 3B+.	52
Tabla 19. Características Arduino Mega.	53
Tabla 20. Características de la cámara Anera AE-Cam165.	53
Tabla 21. Características de la pantalla touch Waveshare de 7 pulg.	54
Tabla 22. Fuentes utilizadas en el proyecto.	55
Tabla 23. Distribución de pesos en la base de la transmisión.	74
Tabla 24. Gráficas y ecuaciones para hallar la posición, velocidad y aceleración en el seguidor.	88
Tabla 25. Establecimiento de la comunicación serial en la aplicación.	130
Tabla 26. Valores de área de tejidos en operación manual.	153
Tabla 27. Tiempos e índices de producción de altos de manga y cuerpos talla 40 (Control manual y automático).	155
Tabla 28. Tipos de umbralización.	157
Tabla 29. Pruebas de detección de orificios en el tejido.	162
Tabla 30. Condiciones para la validación de la hipótesis nula H_0	165
Tabla 31. Condiciones para la validación de la hipótesis alternativa H_a	169
Tabla 32. Costos.	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Control de hilo de una máquina manual.....	7
Figura 2	Formas que la malla puede tomar.....	11
Figura 3	Tejido por trama.....	12
Figura 4	Tejido en urdiembre.....	12
Figura 5	Elementos que conforman un tejido textil.....	14
Figura 6	Alto de tejido de punto.....	15
Figura 7	Suéter de uniforme.....	15
Figura 8	Partes de una aguja.....	16
Figura 9	Agujas galga 5 y galga 8.....	18
Figura 10	Partes de la máquina de tejido por trama rectilínea.....	19
Figura 11	Proceso de visión artificial.....	21
Figura 12	Ejemplo de un sistema por visión artificial.....	22
Figura 13	Estado inicial de la máquina Dubied galga 12.....	30
Figura 14	Vista lateral con las fonturas que posee.....	31
Figura 15	Carro principal de máquina Dubied.....	31
Figura 16	Carrito de guiahilo.....	33
Figura 17	Tensor de hilo.....	34
Figura 18	Palanca del mecanismo de la fontura posterior.....	34
Figura 19	Mecanismo de desfase de la fontura posterior.....	35
Figura 20	Mecanismo para mover fontura frontal.....	36
Figura 21	Ubicación de rodillo.....	36
Figura 22	Palanca para la activación del rodillo.....	37
Figura 23	Obtención de fuerza de desplazamiento del carro: a) vista superior, b) vista lateral.	45
Figura 24	Obtención de una fuerza a cierta distancia (Torque): a) vista superior, b) vista frontal.....	46
Figura 25	Vista en explosión de los elementos implementados en la máquina de tejido de punto Dubied.....	55
Figura 26	Transmisión de banda en V.....	56
Figura 27	Vista Superior del sistema de poleas.....	57
Figura 28	Caja reductora para servomotor híbrido Nema 34.....	59
Figura 29	Establecimiento de parámetros de las fuerzas y torques.....	59
Figura 30	Gráfica torque vs rpm de servomotor híbrido Nema 34 (86HS120).....	64
Figura 31	Distancia que recorre linealmente el carro principal.....	70
Figura 32	Representación de fuerzas y momentos que actúan sobre la base de la transmisión.....	74
Figura 33	Diagramas de cargas, fuerzas cortantes y momentos flectores de la base de toda la transmisión.....	75
Figura 34	Diagrama de cargas, fuerzas cortantes y momentos flectores para el eje en B.....	78
Figura 35	Vista Isométrica del eje diseñado.....	83
Figura 36	Leva circular excéntrica.....	87

Figura 37	Dimensiones del perfil de la leva circular (excéntrica)	87
Figura 38	Gráfica de posición lineal del seguidor vs posición angular de la leva	90
Figura 39	Gráfica de velocidad lineal del seguidor vs posición angular de la leva	90
Figura 40	Gráfica de aceleración lineal del seguidor vs posición angular de la leva	91
Figura 41	Mecanismos para selección de parámetros implementados en el carro	92
Figura 42	Mecanismos para la selección de parámetros implementados fuera del carro, a) para la fontura frontal, b) para la fontura posterior.	92
Figura 43	Mecanismo para el subsistema de selección de agujas.	93
Figura 44	Medidas principales de los eslabones que componen el subsistema de selección de aguja (en mm), los cuales se conectan: a) con el servomotor y b) con la perilla. .	93
Figura 45	Las 3 posiciones del mecanismo de selección de agujas: a) 38°, b) 0° y c) -38°.	93
Figura 46	Parámetros del mecanismo de selección de agujas.	94
Figura 47	Gráfica de posición angular del eslabón conectado al servomotor vs tiempo	99
Figura 48	Gráfica de posición angular del eslabón conectado al selector vs tiempo	99
Figura 49	Gráfica de velocidad angular del eslabón conectado al selector vs tiempo	99
Figura 50	Gráfica de aceleración angular del eslabón conectado al selector vs tiempo	100
Figura 51	Propiedades mecánicas del plástico ABS.....	100
Figura 52	Malla generada en el acople del selector de puntada.	101
Figura 53	Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople del selector de puntada.	102
Figura 54	Resultados del análisis de desplazamientos en el acople del selector de puntada ...	102
Figura 55	Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople del selector de puntada	103
Figura 56	Rueda de fricción para subsistema de selección de apriete.....	104
Figura 57	Malla generada en el acople del selector de guiahilo.	106
Figura 58	Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople del selector de guiahilo.	106
Figura 59	Resultados del análisis de desplazamientos en el acople del selector de guiahilo. .	107
Figura 60	Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople del selector de guiahilo.	107
Figura 61	Malla generada en el acople para la apertura de la cama frontal.	108
Figura 62	Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople para la apertura de la cama frontal.	109
Figura 63	Resultados del análisis de desplazamientos en el acople para la apertura de la cama frontal.	109
Figura 64	Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople para la apertura de la cama frontal.	110
Figura 65	Malla generada en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.....	111
Figura 66	Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.	111

Figura 67	Resultados del análisis de desplazamientos en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.	112
Figura 68	Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.....	112
Figura 69	Esquema de conexión de un sensor con resistencia pull up.....	114
Figura 70	Esquema de conexión del driver HBS860H	114
Figura 71	Configuración de switchs de driver HBS860H.....	115
Figura 72	Esquema de conexión del módulo puente H L298N	115
Figura 73	Esquema de conexión driver PCA9685.....	116
Figura 74	Cálculo de corriente mínima del breaker de protección.....	117
Figura 75	Base de la transmisión.	118
Figura 76	Polea conducida.	118
Figura 77	Implementación de la transmisión del carro en la máquina	119
Figura 78	Piezas impresas en plástico ABS	120
Figura 79	Bases de los mecanismos implementados en el carro	120
Figura 80	Mecanismos de: a) selección de agujas y b) selección de guiahilo.	120
Figura 81	Implementación total de todos los mecanismos incorporados en el carro	121
Figura 82	Mecanismos implementados fuera del carro: a) activación de mecanismo de rodillo, b) activación de mecanismo de cama frontal y c) activación de mecanismo de cama posterior.	121
Figura 83	Ubicación de sensores para los mecanismos implementados fuera del carro: a) activación de mecanismo de rodillo, b) activación de mecanismo de cama frontal y c) activación de mecanismo de cama posterior.	122
Figura 84	Sensores capacitivos montados sobre la base de la transmisión de movimiento del carro.....	123
Figura 85	Ubicación de sensores de guiahilo.	123
Figura 86	Conexión de servomotores al driver PCA9685	124
Figura 87	Ubicación del panel de control	124
Figura 88	Armario incorporado: a) vista posterior y b) vista frontal.	125
Figura 89	Distribución de elementos en el armario	126
Figura 90	Caja de circuito de protección.....	126
Figura 91	Manguera corrugada	127
Figura 92	Ubicación de cámaras para el módulo de control de calidad por visión artificial. ...	128
Figura 93	Carcasa posterior de la máquina.	128
Figura 94	Declaración de librerías.....	129
Figura 95	Distribución de pantalla principal.....	131
Figura 96	Creación de Timer para indicadores de fallo.	133
Figura 97	Modo manual.	134
Figura 98	Distribución de pantalla secundaria de parámetros.	135
Figura 99	Apertura de ventana de búsqueda para abrir archivos .csv	137
Figura 100	Apertura de ventana de búsqueda para guardar archivos .csv	137

Figura 101 Modificación de un parámetro de la barra de selección de opciones en la tabla de secuencia.	138
Figura 102 Eliminación de una fila.....	138
Figura 103 Acción de botón pulsado (Aceptar y Regresar)	139
Figura 104 Distribución de pantalla secundaria de velocidad.	139
Figura 105 Código para establecimiento de un valor seleccionado en QComboBox.	140
Figura 106 Distribución de pantalla secundaria de control de calidad.	141
Figura 107 Captura de imágenes de cada cámara	141
Figura 108 Impresión en los cuadros de monitoreo de una imagen.	142
Figura 109 Transformación a escala de grises	143
Figura 110 Aplicación de threshold (Binario)	143
Figura 111 Aplicación de homografía	144
Figura 112 Establecimiento de ROI.....	145
Figura 113 Aplicación de momentos.	146
Figura 114 Ubicación del área de tejido analizada por el control de calidad.....	147
Figura 115 Algoritmo para el acondicionamiento del rango de aguja.	147
Figura 116 Declaración de librerías.....	148
Figura 117 Creación de objetos Separador y PCA9685.....	148
Figura 118 Parámetros de establecimiento de comunicación serial e I2C	148
Figura 119 Recepción de cadena de ordenes	149
Figura 120 Asignación de órdenes a una cadena de caracteres.	149
Figura 121 Determinación y envío de posición angular por uno de los canales del driver.....	150
Figura 122 Declaración y configuración de los pines para el controlador del motor Nema 34..	151
Figura 123 Tren de pulsos para aceleración del motor Nema 34.....	151
Figura 124 Imagen original captada por ambas cámaras.	157
Figura 125 Corrección de perspectiva utilizando Homografía.	160
Figura 126 Región de interés y aplicación de momentos para la detección de bordes (orificios en el tejido).	161
Figura 127 Detección de orificios en los indicadores de la pantalla principal.....	161
Figura 128 Orificio en el tejido.....	164

RESUMEN

La necesidad de aumentar la producción en la industria textil con una baja inversión, ha provocado que una buena opción sea la automatización de sus equipos y maquinaria. En el presente trabajo se diseñó, construyó e implementó un sistema para la automatización de una máquina tejedora por trama rectilínea Dubied galga 12, adicionando una etapa de control de calidad para la detección oportuna de fallos en el tejido de punto. La autonomía deseada se la establece mediante diferentes subsistemas implementados que permiten variar parámetros en la producción del tejido de punto, entre los que se encuentran la selección del tipo de aguja, tipo de puntada, nivel de apriete, guiahilo, velocidad de avance del carro; y dimensiones en la tela como el ancho y el alto. La programación del sistema utiliza lenguaje C++ con los IDEs de Arduino y Qt Creator para el desarrollo de una interfaz gráfica en la que se puede establecer los parámetros de secuencia para la creación del tejido de punto; así como factores de umbralización, homografía, zona de interés (ROI) y detección de contornos para el módulo de control de calidad. La validación del proyecto se realizó mediante 40 pruebas de tejidos, donde se determinó que los tiempos de producción para suéteres completos talla 40 se redujeron de 38,4 a 37.31 minutos, es decir el aumento en la producción del tejido de punto fue de 8.5%, además en la detección de fallos más del 90% de aceptabilidad con lo que se asegura la calidad del tejido elaborado.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **INDUSTRIA TEXTIL**
- **CONTROL DE CALIDAD**

ABSTRACT

The need to increase production in the textile industry with a low investment has caused a good option to be the automation of its equipment and machinery. The present work intended to design, build+ and implement a system for the automation of a knitting machine by rectilinear weft Dubied 12 gauge, adding a quality control stage for the timely detection of failures in knitting. The desired autonomy is established by different subsystems implemented that allow varying parameters in the production of knitting, among which are the selection of the type of needle, type of stitch, level of tightening, guide thread, speed of advance of the carriage; and dimensions in the fabric such as width and height. The system programming uses C ++ language with the IDEs of Arduino and Qt Creator for the development of a graphical interface in which the sequence parameters for the creation of knitting can be established; as well as thresholding factors, homography, area of interest (ROI) and contour detection for the quality control module. The validation of the project was carried out by means of 40 tissue tests, where it was determined that production times for full size 40 sweaters were reduced from 38.4 to 37.31 minutes, that is, the increase in knitting production was 8% , in addition to the detection of failures more than 90% of acceptability, which ensures the quality of the elaborated fabric.

KEY WORDS:

- **AUTOMATION**
- **KNITTING**
- **QUALITY CONTROL**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

El origen del tejido de punto se remonta a la antigüedad donde se anudaban redes para formar múltiples telas. El proceso se fue tecnificando con la implementación de agujas, las cuales surgieron en Europa por parte de los árabes en el siglo V, mientras que su utilización afloró en Inglaterra y Escocia en los siglos XIV y XV. (Acosta, 2009)

En el siglo XVI acontecen hechos importantes que permitieron el origen del tejido de punto en forma mecánica. El clérigo Inglés William Lee inventó la primera máquina de tejido de punto en 1589. A partir de entonces se quedan establecidas las bases de esta industria, pero su auge llegó en la mitad de la Segunda Guerra Mundial cuando se inventa la aguja selfactina o de lengüeta, mientras que para 1866 se manufactura la primera máquina rectilínea tricotosa. (Ruiz, 2013)

En la actualidad existen máquinas de tejido de punto que han implementado grandes avances en su tecnología, siendo evidente los cambios y adaptaciones de desarrollos industriales, de esta manera se ha permitido inclusive diseñar desde un software determinado (proveniente de cada marca de máquina), distintos diseños o modelos del tejido que se quiera realizar, pero en el ámbito nacional aún se están utilizando máquinas manuales y semiautomáticas que si bien poseen limitaciones en su funcionamiento no dejan de ser útiles para la industria textil.

La máquina tejedora por trama rectilínea de la marca Dubied galga 12 del presente proyecto proviene de un negocio familiar, la misma que posee un ancho de tejido de 2 metros, con una

regulación de apriete del tejido en una escala propia de la máquina que va de 0 a 20 (siendo 20 menos apretado o elástico), el número de galga implica la cantidad de agujas en una pulgada.

Para este caso las agujas que abarcan cada pulgada son 12, cabe mencionar que puede realizar diferentes tipos de puntada entre las que se encuentran llano, jersey, punto inglés, *jacquard*, tubular, etc.

Desde hace varios años se ha visto una limitación en la producción de tejidos para la confección de suéteres de uniforme por la tecnología de los equipos que posee el negocio familiar, como es el caso de la máquina rectilínea, siendo completamente mecánica y controlada de forma manual, llevando a que se requiera de la automatización e implementación de un módulo de control de calidad en la misma.

1.2.Planteamiento del problema.

En la actualidad las empresas e industrias han tomado como una vía factible la automatización de sus equipos y maquinaria que permite mayores beneficios en cuanto al incremento de las escalas de producción en un menor tiempo, optimización de costos y recursos, además del mejoramiento de la calidad de los productos finales que ofertan.

Por otra parte, la adquisición de maquinaria nueva o seminueva que se oferta en el mercado de nuestro país se encuentra a precios elevados que van desde los \$8000 hasta los \$20000 en marcas como CAMfive de procedencia China (Sotic, 2015), frente a la inversión que se puede dar en maquinaria automatizada, para lo cual el presente proyecto será de aproximadamente \$1500.

La industria textil nacional que se dedica a la producción tejido de punto para la elaboración de prendas, principalmente en negocios familiares, han visto la necesidad de automatizar su maquinaria e implementar una etapa de control de calidad ya que poseen equipos con tecnología muy limitada, cuyo control es manual y en su mayoría lo realiza un operario, que produce los movimientos y ajustes de parámetros del tejido, presentando muchos inconvenientes como pérdidas de tiempo, orificios en el tejido, tamaños irregulares, entre otros; lo que resulta en un producto de baja calidad, clientes insatisfechos y en general pérdidas económicas.

1.3.Justificación e importancia.

En los últimos años la automatización de maquinaria ha ganado terreno en las industrias por la mejora en la cantidad y tiempos de producción, y aumento de la calidad de los productos. Un punto a favor de la automatización de maquinaria es que es menos costosa frente a la adquisición de una máquina nueva, seminueva o usada con un nivel de tecnología básico que prestan funciones similares, lo que se evidencia en el ámbito local ya que en Ecuador se ofertan máquinas de este tipo a precios elevados.

La máquina de tejido de punto se emplea en la elaboración de tela para la confección de uniformes, de esta manera en 8 horas se genera material suficiente para 18 suéteres de tamaño mediano. Según registros de la máquina objeto de este proyecto, el rendimiento del operario es mayor en horas iniciales generando una producción variable, además el producto está sujeto errores humanos lo que podría producir tejidos imperfectos; por lo que la producción a ritmo constante y con un sistema que verifique su calidad, podría ser mayor, prevendría y detectaría fallos.

Con la automatización de la máquina de tejido de punto, aumentará la producción, siendo esta constante y exacta, ya que el sistema no dependerá de factores humanos como son: el esfuerzo o cansancio del operario.

Al implementar un módulo de control de calidad por visión y por sensores en guía hilos se logrará un tejido sin defectos, o minimizando en gran medida el impacto de pérdidas en la materia prima, ya que normalmente el hilo de tejidos con desperfectos se puede reciclar y reutilizar.

El proyecto aportará grandes beneficios al negocio familiar, ya que se implementará una máquina con mayor autonomía en el control del funcionamiento alcanzando, mayor calidad y producción en los tejidos.

1.4.Objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Automatizar una máquina tejedora por trama rectilínea Dubied galga 12 e implementar un módulo de control de calidad por visión artificial para el mejoramiento en la producción del tejido de punto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar los mecanismos de transmisión de movimiento que se puedan implementar en el proyecto.

- Establecer requerimientos y parámetros de diseño de la parte mecánica, entre los elementos que la conforman están: mecanismos para el movimiento en vaivén del carro, selección de guía hilo y parámetros de ajuste.
- Diseñar y construir los elementos mecánicos y estructurales añadidos para la autonomía deseada.
- Seleccionar un controlador robusto, sensores y actuadores en función de los requerimientos de diseño previamente establecidos.
- Diseñar un módulo de control de calidad mediante visión artificial, el cual permita detectar orificios en el tejido.
- Desarrollar una interfaz Humano Máquina (HMI) para el control de parámetros de ajuste y monitoreo de funcionamiento de la máquina.
- Realizar pruebas de velocidad de producción y calidad del tejido.

1.5.Hipótesis.

La automatización de la máquina tejedora por trama rectilínea Dubied galga 12 e implementación de un módulo de control de calidad por visión artificial, permitirá mejorar la producción y la calidad del tejido de punto.

1.6. Alcance

El presente proyecto buscó automatizar una máquina tejedora por trama rectilínea Dubied galga 12 con lo cual se dotó de una mayor autonomía en el control para el usuario, mejoramiento de la producción, además de implementar un módulo de control de calidad para la prevención y detección de imperfecciones en el tejido.

El proyecto comenzó con un análisis del estado actual en el que se encuentra la máquina de tejer y se establecerán parámetros de diseño para los elementos tanto mecánicos como electrónicos a añadir, con el fin de automatizarla.

Entre los cuales están posiciones, dimensiones y torques necesarios para ajustar los parámetros como la talla, apriete, tipo de puntada del tejido, guía hilo y posición de camas.

En la parte mecánica se diseñaron estructuras que se adaptarán a la máquina, las cuales contendrán los actuadores necesarios para la ejecución de los movimientos, y se elegirá el conjunto de transmisión lineal que presente mejores características para el movimiento en vaivén del carro.

Se seleccionaron los componentes electrónicos como controladores, sensores y actuadores para efectuar los movimientos en función de los parámetros de diseño previamente establecidos.

Posterior al diseño y selección de componentes mecánicos, electrónicos y de control, se procedió con la construcción e implementación de los mismos en la máquina.

Se programó un algoritmo para el controlador que contenga todas las secuencias posibles que permitirán la creación del tejido deseado por el operario tomando como base parámetros de talla, apriete y puntada.

El módulo de control de calidad se realizó mediante visión artificial, para evitar intervenir en la producción, desarrollando un algoritmo que permita detectar imperfecciones en el tejido (orificios) causadas por agujas rotas o en mal estado. Para este sistema se deberá seleccionar una cámara, con las mejores características para la aplicación, no sin antes haber preparado un pequeño escenario con la iluminación idónea, el cual será ubicado en la parte inferior de la máquina, desde donde es posible observar el tejido que elabora.

También se implementaron tensores de guía hilos que actúan como sensores para permitir detectar nudos y motas en el hilo utilizado, para prevención de tejido defectuoso, similar al mostrado en la Figura 1.

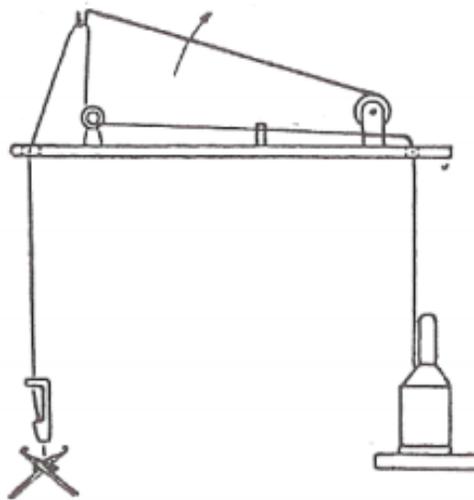


Figura 1. Control de hilo de una máquina manual.

Fuente: (Ruiz, 2013)

Para el monitoreo de la máquina se implementó una interfaz Humano Máquina (HMI), con indicadores que muestren fallas en el hilo o el tejido, señales obtenidas del módulo de control de

calidad; también permitirá el ajuste de parámetros como el tipo de puntada, apriete del tejido, cantidad, y talla.

Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema que permitan verificar los movimientos automáticos de la máquina, la correcta detección de fallas en el hilo y en el tejido, y la validación de la hipótesis propuesta en este proyecto.

1.7.Estructura del proyecto

El capítulo 1 aborda el problema que se trata de solucionar, del mismo modo se plantea los antecedentes de trabajos similares que servirán de guía para la elaboración e implementación del sistema para alcanzar la autonomía deseada y el módulo de control de calidad, además se plantean los objetivos a ser alcanzados y el alcance del presente trabajo.

El capítulo 2 describe la investigación bibliográfica de los diferentes tejidos textiles, elementos del tejido y confección, máquinas de tejido de punto, con su respectiva clasificación; sistemas de control de calidad y visión artificial, tipos de sistemas de transmisión de movimiento y el estado del arte.

El capítulo 3 establece el estado inicial en el que se encuentra la máquina, además de un estudio de la casa de la calidad, con lo que se detalla los diferentes requerimientos técnicos para la autonomía final deseada, así como la selección de conceptos, presentando diferentes alternativas para cada subsistema, seleccionado el que mejores prestaciones permita el desarrollo del trabajo. También se selecciona los componentes eléctricos y electrónicos con los cuales se diseña todo el

circuito eléctrico. Finalmente se diseñan los elementos mecánicos mediante cálculos y un software CAD-CAE.

El capítulo 4 presenta la construcción de los elementos mecánicos, así como su implementación y también la del sistema eléctrico y electrónico. Se detalla también la programación del HMI, el módulo de control de calidad y demás controladores utilizados en el sistema.

El capítulo 5 detalla todas las pruebas realizadas sobre el sistema implementado, entre las que se encuentran pruebas de producción, de precisión y exactitud del módulo de control de calidad, para una posterior validación de la hipótesis planteada y un estudio financiero.

El capítulo 6 describe las conclusiones que se ha podido formular al finalizar el presente trabajo, así también las recomendaciones para trabajos futuros, en concordancia con el estudio desarrollado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Tejidos textiles.

Existe una gran variedad de tejidos textiles, pero se los ha dividido en 5 grupos principales, como se detalla en la investigación de Ruiz (2013), los cuales son:

- **De trenza:** Actualmente este tipo de tejido ha perdido muchos mercados tradicionales por la competencia de tejido de punto y urdiembre por su precio y calidad.
- **De nudos:** Son utilizados principalmente en ornamentación, compuestos por hilos cruzados en ángulo recto.
- **De red:** Se utilizan principalmente en la industria pesquera, rara vez se utiliza en bolsas de mano.
- **De pie y trama:** Se forman por hilos de urdiembre e hilos de trama colocados alternativamente unos encima de otros.
- **De punto:** Se forman por puntos o mallas.

2.1.1. Tejido de punto

Es una técnica de elaboración de tejidos, en la cual se enlazan bucles de hilos en forma horizontal o vertical, mediante un conjunto de agujas. Los bucles en la industria textil se los conoce como: puntada, malla y loop. La puntada puede alargarse o ensancharse para dar elasticidad al tejido, como se muestra en la Figura 2. (Gavilán, 2015)



Figura 2. Formas que la malla puede tomar.
Fuente: (Gavilán, 2015).

2.1.2. Características del tejido de punto.

Según Andrango (2018) la estructura del tejido de punto le da ciertas características que lo diferencian de otros tejidos planos, como menciona, por ejemplo:

- Presentan mayor confort durante el uso.
- Poseen una mayor compresión (hasta un 5% frente a un 2% de los tejidos de calada).
- Se puede utilizar fácilmente los moldes de confección por su elasticidad.

2.1.3. Clasificación del tejido de punto.

El tejido en punto se divide en dos clases que son:

- **Por trama o contra hilo.** – En este tipo de tejido las mallas se realizan de manera horizontal uniéndose uno a otro en la misma pasada, como muestra la Figura 3 permitiendo que sea fácil de destejer.

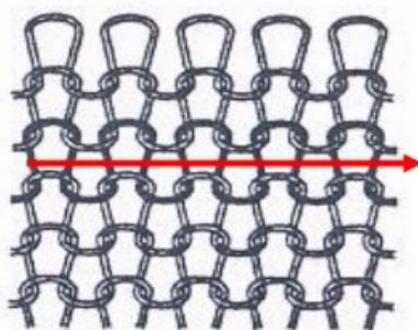


Figura 3. Tejido por trama.

Fuente: (Gavilán, 2015)

En el pasado las fibras para realizar la trama eran algodón, lana y lino, pero con el paso de los años se han incorporado fibras artificiales y sintéticas. (Gail, 2011)

- **Por urdiembre.** - En este tejido, las mallas se forman de manera vertical, uniéndose entre sí en pasadas adyacentes como indica la Figura 4, las conexiones de las mallas son diagonales y verticales; este tipo de tejido es difícil de destejer.

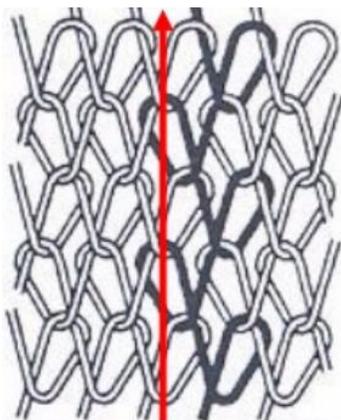


Figura 4. Tejido en urdiembre.

Fuente: (Gavilán, 2015).

Las telas más sencillas se realizan en urdiembre en espiral, que se forma enredando un hilo alrededor de un par de vigas en forma de espiral con el que se teje la urdiembre. Para realizar este tipo de tejido se utiliza un hilo fuerte y resistente como: lana, lino y seda y los artificiales y

sintéticos como el nailon o rayón, ya que al hacer la urdimbre el hilo permanece bajo tensión.
 (Gail, 2011)

2.1.4. Principales usos del tejido de punto.

En la Tabla 1 se puede observar los principales usos que puede tener el tejido de punto por trama y urdimbre.

Tabla 1

Principales usos del tejido de punto.

Tejido de punto por trama	Tejido de punto por urdimbre
Prendas exterior masculino y femenino: polos <i>t-shirt</i> , polo <i>box</i> chompas, <i>tank top</i> , prendas de polar, medias, <i>snikers</i> , suéteres de uniforme.	Lencería y corsetería: elásticos con y sin relieve, encajes (<i>brasier</i>), cuerpo del interior.
Prenda interior: trusas, BVD, <i>boxer</i> .	Prendas deportivas: buzos, casaquillas, forros de trusas.
Prenda deportivas: camisetas, forros de trusas, medias, buzos, suspensores.	Prendas exteriores femeninas: chaquetas.
Trajes de baños: bikinis, <i>short</i> de baño.	Tejidos para el hogar: manteles, cortinas, alfombras, tapetes decorativos.
Complementos de prendas: cuellos, puños, pecheras, aplicaciones (<i>mesh</i> , rectilíneos).	Complementos: aplicaciones y forros (<i>tules</i> , <i>mesh</i>).
Ropa para bebés: pijamas, polos, buzos, toallas, frazadillas, colchas, corritas, mitones.	

Fuente: (Gavilán, 2015)

2.1.5. Elementos de tejido textil (tela)

Es necesario conocer el significado de los términos que se usan en costura para definir a cada uno de los elementos que conforman los tejidos textiles, por lo que en la Figura 5 se pueden observar la representación de los de mayor relevancia. (Azuara, 2017)

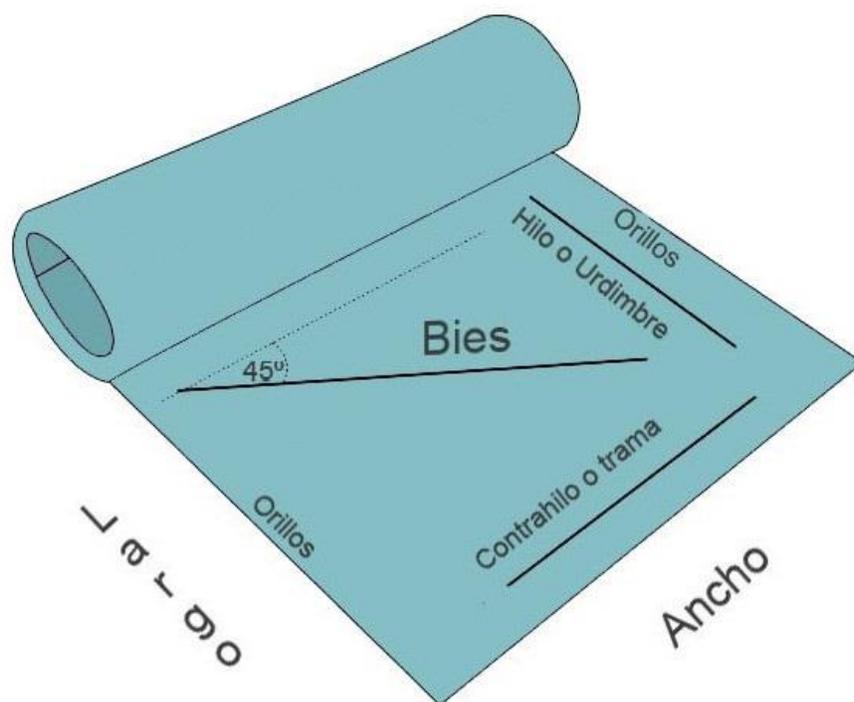


Figura 5 Elementos que conforman un tejido textil.

Fuente: (Azuara, 2017)

- **Urdimbre o hilo:** Determina el largo de la tela, en la sección 2.1.4 se habla a detalle de este tipo de tejido.
- **Trama o contrahilo:** Determina el ancho de la tela, en la sección 2.1.4 se habla a detalle de este tipo de tejido.
- **Orillos:** Son los extremos de la tela.

- **Bies:** Diagonal de 45 ° establecida entre las esquinas de orillo y orillo.

Para la creación de suéteres se utiliza secciones de tela denominadas altos, cuyas dimensiones es el largo vertical de la prenda a confeccionar. En la Figura 6 se represando un alto de tejido de punto de suéter de uniforme.



Figura 6 Alto de tejido de punto.

Las tallas de los suéteres de uniforme confeccionados vienen determinados a su vez por los altos, cuya medida va de la parte superior de los hombros a la faja de la cintura como indica la Figura 7.



Figura 7 Suéter de uniforme.

2.2.Máquinas de tejido de punto.

Las máquinas de tejido de punto conocidas también como tricotosa, son dispositivos mecánicos que se utiliza para tejer, utilizando agujas las cuales se encuentran en la fontura de las máquinas. Existe una variedad de máquinas, desde las más simples que se conforman desde bobinas, plantillas de cartón sin ningún tipo de partes móviles hasta mecanismos sofisticados complejos electrónicos, sin embargo, cada una de estas máquinas producen diversos tipos de tejido de punto, las cuales se modifican por la manipulación de las agujas. (Ruíz, 2013)

2.2.1. Agujas de máquinas de tejido de punto.

Las agujas son una parte esencial para las máquinas de tejer, ya que de ellas depende el tejido obtenido, en la Figura 8 se puede observar las partes que constituyen una aguja.

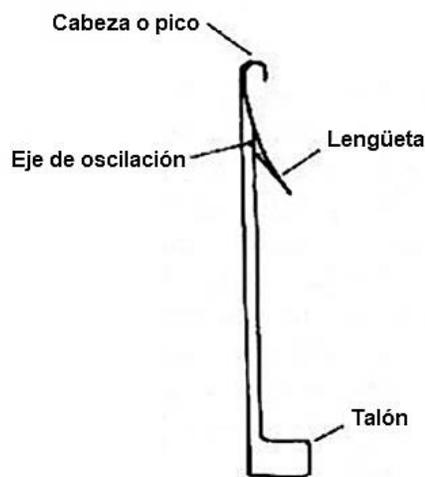


Figura 8.Partes de una aguja

Fuente: (Ruíz, 2013)

Existen máquinas que poseen agujas cuyos talones tienen dos medidas, lo cual permite la creación de distintas puntadas.

2.2.2. Clasificación de agujas de máquinas de tejido de punto.

Las agujas de máquinas de tejido de punto presentan la clasificación, como se presenta en Tabla 2.

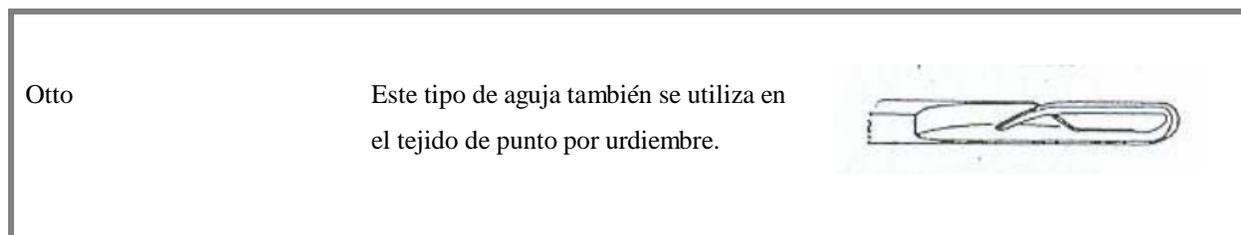
Tabla 2

Clasificación de agujas de máquinas de tejido de punto.

Nombre	Descripción	Imagen
De pico	Las dimensiones varían dependiendo la máquina, galga entre otras y el ganchillo es flexible. Este tipo de aguja realiza el tejido, siendo la misma cadeneta que se realiza a mano usando crochet.	
De lengüeta o selfactina	Es una aguja de ganchillo rígido, la cual puede cerrarse o abrirse. Este tipo de agujas se utiliza en las máquinas de tejido por urdiembre, donde cada una trabaja de manera independiente.	
De cerrojo o compuesta.	Esta aguja tiene un gancho rígido en el extremo, un tubo por el cual se desliza el orificio desliza un cerrojo que abre y cierra dicho gancho.	

CONTINÚA





Fuente: (Ruíz, 2013)

2.2.3. Galga

Las máquinas de tejido de punto se encuentran numeradas por la galga inglesa, que se define como “el número de agujas que caben en una pulgada inglesa medidas en la fontura” según Ruiz (2013), como se puede observar en la Figura 9. Se le da la abreviación de Gg o E.

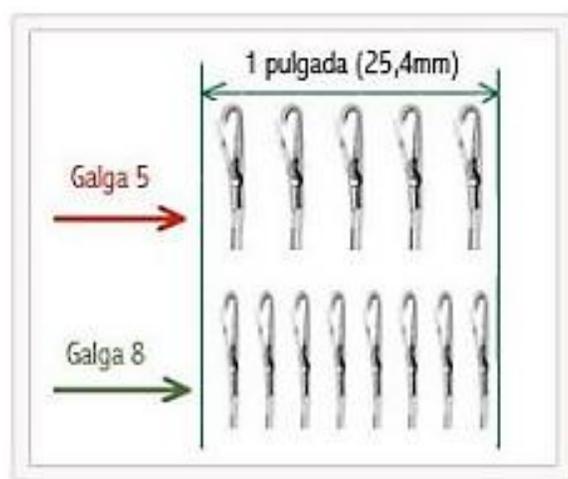


Figura 9. Agujas galga 5 y galga 8

Fuente: (Ruiz, 2013)

2.2.4. Máquina rectilínea de tejido de punto

La mayoría de máquinas rectilíneas de tejido de punto presentan fonturas o camas de agujas, las cuales se encuentran dispuestas en ranuras de la placa unas paralelas a otras. Poseen una fontura delantera y otra trasera ubicadas de manera horizontal (lineal) y formando una V invertida cuyo ángulo variaría entre 90 y 100 grados. Sobre la fontura se transporta un carro en vaivén que lleva

el hilado, el cual contiene selectores para escoger con qué puntada o guía hilo trabajar y demás parámetros de ajuste para el tejido. La cantidad de veces que el carro pasa por la fontura y la distancia recorrida sobre la misma determinan el tamaño del tejido. En la Figura 10 se puede observar las partes de una máquina rectilínea de la marca Dubied. (Ruiz, 2013).

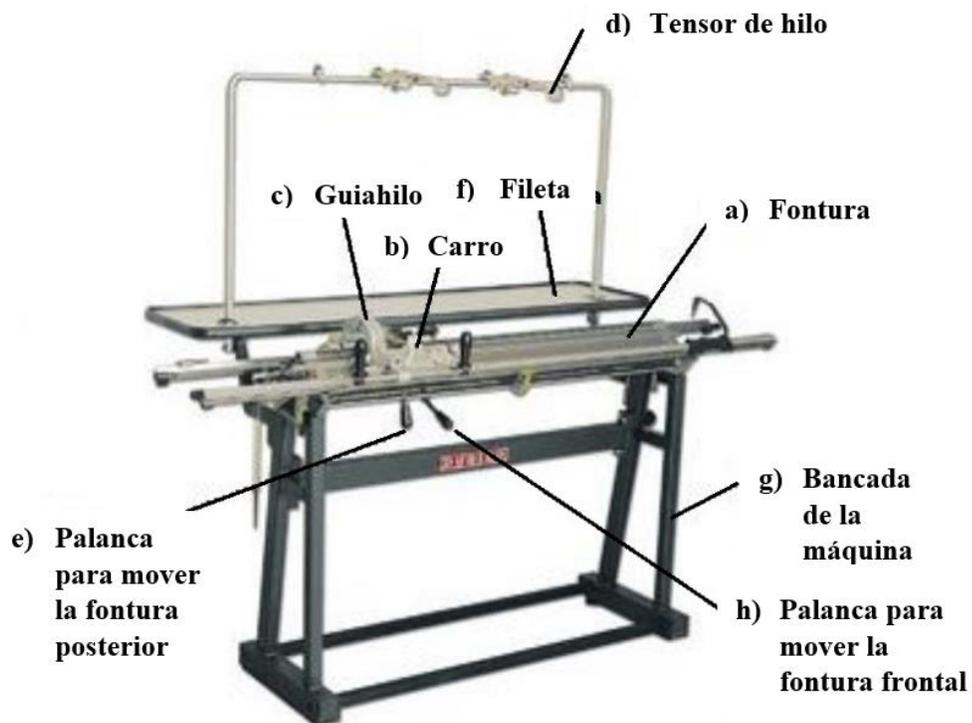


Figura 10. Partes de la máquina de tejido por trama rectilínea

Fuente: (Ruiz, 2013)

- a) Fonturas.** – son planchas metálicas con ranuras en las se colocan las agujas, las máquinas Dubied tienen dos fonturas.
- b) Carro.** – dispositivo móvil que se desplaza a lo largo de las fonturas, posee múltiples selectores para la variación de parámetros como la puntada, el apriete, el tipo de guiahilo con el cual trabajar, así como también levas lineales que permiten que se accionen las agujas.

- c) **Guiahilos.** – son un par de carros pequeños que se ubican a los lados del carro principal, permiten que el hilo sea direccionado correctamente a los ganchos de las agujas desde los tensores de hilo.
- d) **Tensor de hilo.** – son dispositivos compuestos por resortes, que dirigen el hilo ubicado en los conos que se encuentran en la fileta hacia los carritos de guiahilo.
- e) **Palanca para mover la fontura posterior.** –ubicada bajo las fonturas, activa un mecanismo que permite desplazar la fontura posterior en 4 distintas posiciones de manera horizontal, esto permite crear nuevas puntadas.
- f) **Fileta.** – pequeña mesa ubicada bajo los tensores de hilo, la cual puede portar todos los hilos con los que se va a formar los tejidos.
- g) **Bancada de la máquina.** – es la base principal de toda la máquina y soporta todos los mecanismos que permiten la formación del tejido.
- h) **Palanca para mover la fontura frontal.** - se ubica bajo las fonturas, activa un mecanismo de la fontura frontal para el desplazamiento vertical de la misma. Posee 2 posiciones: una, donde se encuentra alineada con la fontura posterior; y, otra donde se encuentra en desfase, desplazándose hacia abajo, esta operación es utilizada ocasionalmente para poder observar el tejido, cuando se encuentre el tejido solo en la fontura posterior.

2.3.Sistema de visión artificial y control de calidad.

2.3.1. Sistema de visión artificial

La visión artificial o también llamada visión por computador, se define como la captación de imágenes, para un posterior tratamiento de las mismas, de este modo se puede intervenir sobre un proceso en base a los resultados. En la Figura 11 se representa los pasos para el procesamiento de imágenes mediante visión artificial, partiendo desde la adquisición de la imagen hasta la ejecución de una acción con los datos conseguidos. (Vanessa Alvear, 2017)



Figura 11.Proceso de visión artificial

Fuente: (Vanessa Alvear, 2017)

2.3.2. Elementos de un sistema por visión artificial

Los sistemas por visión artificial dependen de varios elementos que trabajan en conjunto, para adquirir, procesar y analizar imágenes para una toma de decisiones oportuna. Entre estos elementos se encuentran los mencionados a continuación y en la Figura 12 :

- **Iluminación.** – permite aclarar la pieza a analizar, para una correcta adquisición de datos.
- **Cámara.** – sus elementos principales son un lente y sensor. El lente capta la imagen para enviarla al sensor en forma de luz, el cual la transforma en una imagen digital, que será analizada.
- **Procesador de visión.** – conformado por algoritmos que permiten manipular la imagen para extraer los datos necesarios para una correcta toma de decisiones.

(marketingbcnvision, 2017)

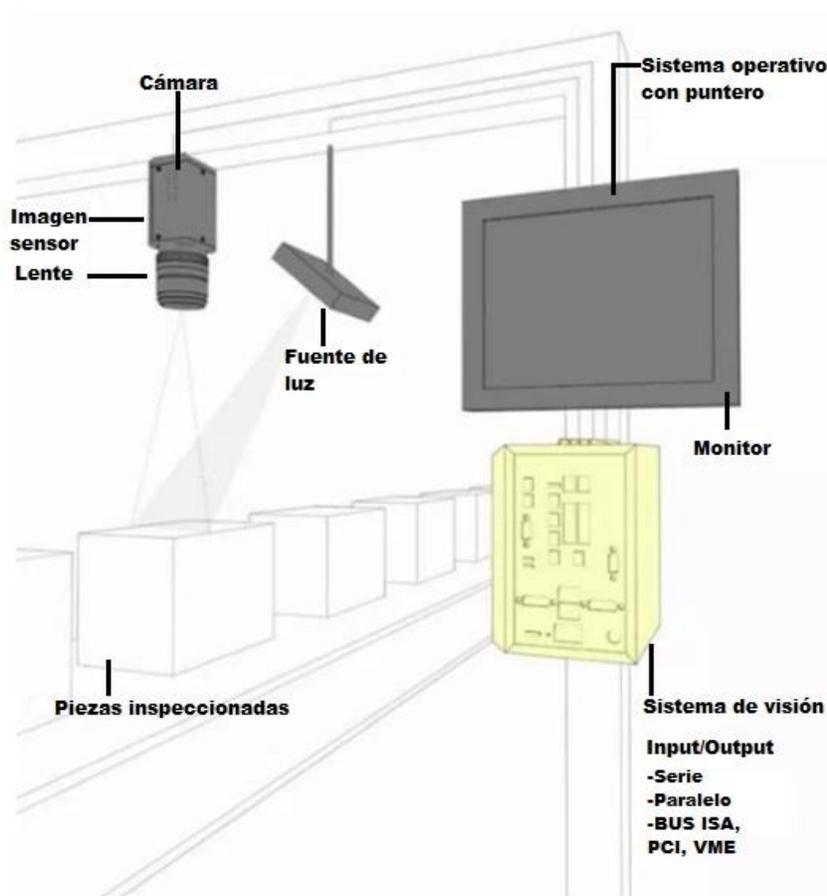


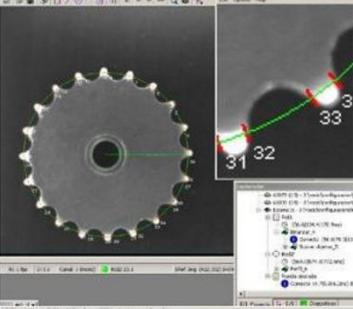
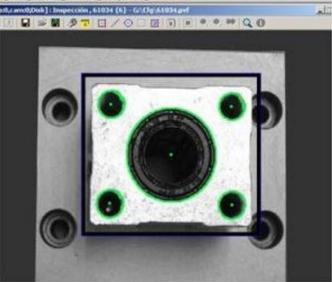
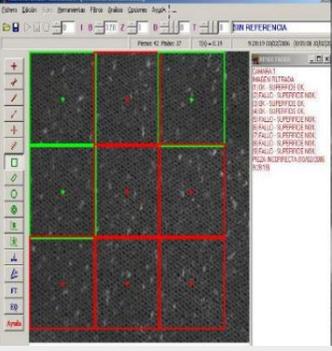
Figura 12 Ejemplo de un sistema por visión artificial.

Fuente: (marketingbcnvision, 2017)

2.3.3. Sistema de control de calidad por visión artificial

Mediante los sistemas de visión artificial se puede verificar el cumplimiento de parámetros y características o especificaciones técnicas de un objeto a partir de un patrón dado. Algunos de los ejemplos de aplicaciones se presentan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3.
Aplicaciones de control de calidad por visión artificial

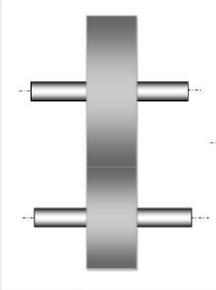
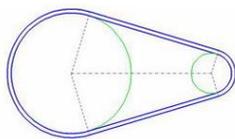
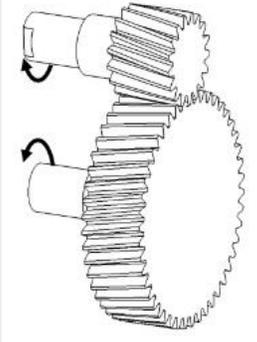
Aplicación	Imagen
Medición	
Forma	
Brillo, textura, decoloraciones, rugosidades, grietas, poros, etc.	

Fuente: (Secretaría de Estado de Educación y Formación Profesional, 2011)

2.4. Tipos de sistemas de transmisión de movimiento

Las transmisiones de movimiento son la solución efectiva desplazar objetos entre puntos estratégicos, sin la necesidad de realizar grandes esfuerzos. De este modo surgieron ideas para técnicas y mecanismos que poco a poco se fueron perfeccionando. Entre los mecanismos de transmisión de movimiento que más destacan se encuentran en la Tabla 4:

Tabla 4.
Tipos de sistemas de transmisión de movimiento.

Nombre	Descripción	Imagen
Ruedas de fricción	<p>Son elementos mecánicos diseñados para transmitir movimiento de giro entre dos ejes de transmisión por medio de la fuerza de rozamiento entre las superficies de contacto de un par de ruedas.</p> <p>Ventajas: son fáciles de manufacturar, poco mantenimiento y nivel de ruido bajo.</p> <p>Desventajas: no transmiten grandes potencias, y desgaste elevado.</p>	
Polea y banda	<p>Son un conjunto de dos poleas acopladas con una banda, con el fin de transmitir velocidades y fuerzas entre ejes paralelos que se encuentran a una distancia predeterminada.</p> <p>Ventajas: elevado rendimiento, gran aplicabilidad en equipos.</p> <p>Desventaja: no se pueden transmitir potencias elevadas porque se podría producir deslizamiento entre la banda y poleas.</p>	
Engranajes	<p>Son sistemas de transmisión de movimientos circulares, constituidos por ruedas dentadas, que hacen contacto entre sí mediante sus dientes, la de menor dimensión se llama corona, mientras que la de mayor dimensión piñón.</p> <p>Ventajas: ocupa espacios muy reducidos, no se puede deslizar, puede transmitir grandes potencias y elevado rendimiento.</p> <p>Desventajas: altos costes de fabricación, y el elevado ruido.</p>	

CONTINÚA



Cadena y catarina	<p>Esta clase de sistema de transmisión está compuesto por una cadena cerrada cuyos eslabones engranada a ruedas dentadas llamada catarina.</p> <p>Ventajas: el acoplamiento se efectúa sin deslizamiento, la relación de velocidades se mantiene constante, mayor eficiencia y no necesita estar tan tensa.</p> <p>Desventajas: costo elevado, el sistema es ruidoso, menos flexible y necesita mucho mantenimiento (lubricación).</p>	
-------------------	---	---

Fuente: (Búa, s.f.)

2.5.Estado del arte

El análisis del estado del arte permite la investigación de temas relacionados con el proyecto permitiendo la circulación de la información, generando demanda de conocimiento y estableciendo comparaciones con otras temáticas paralelas, para ofrecer diferentes medios de comprensión del problema referido. (Molina, 2015)

- **Diseño e implementación de un sistema automatizado para una máquina textil rectilínea**

Gómez Paillacho J, Ing. Bravo Narvaez Y, “Diseño e implementación de un sistema automatizado para una máquina textil rectilínea para la microempresa textil TECMATEJ”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.

Objetivo: Dar una alternativa practica y económica a la industria textil, de modo que se implemente la automatización en las máquinas tejedoras incrementando la producción y disminuyendo los costos respectivos al producto final.

Muestra: La muestra fue tomada de 10 valores de distancia de recorrido del carro en vaivén, así como sus respectivos tiempos, conteo de pasadas para 6 velocidades distintas de avance del carro.

Resumen: En el proyecto se diseña y construye un sistema que permite darle autonomía en su trabajo a una máquina rectilínea textil, el mismo siendo capaz de controlar el movimiento del carro tejedor necesario para la realización de tejido conforme a un valor seteado de un contador electrónico. Se añade un arreglo electrónico y mecánico que permite controlar un motor trifásico para el control de los movimientos del carro, el cual invierte su sentido de giro gracias a finales de carrera. Para el control y monitoreo de los diferentes parámetros que se desea establecer se utiliza un PIC16F628A y un *display* LCD alfanumérico 16x2.

Resultados: Se compara un antes y un después en cuanto a los tiempos de producción de la máquina, en donde la máquina en un estado inicial para generar 900 pasadas tardaba alrededor de 23 minutos, tiempo que aumentaba dependiendo del nivel de cansancio del operador, mientras que después de la automatización se redujo a 11 minutos aproximadamente, eliminando el aumento en el tiempo de producción a causa del cansancio. Económicamente, la inversión total fue de \$1182,674; semanalmente se obtiene una ganancia de \$178,25; con lo que se recupera en 33 días laborales.

Conclusión: La implementación de la motorización para la máquina, aporta a la microempresa un sistema automático, rápido y confiable en la elaboración de tejidos. Implementando esta clase de sistema en varias máquinas a la vez generará una reducción en la mano de obra, con lo que una sola persona podrá realizar labores de control de las máquinas, optimizando recursos y procesos.

- **Diseño y construcción de un prototipo automatizado de telar**

Arias Andrade L, Taipicaña Guano A, Ing. Cortez Pazmiño B Msc., “Diseño y construcción de un prototipo automatizado de telar plano de inserción de trama continua para tejido artesanal”, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, 2016.

Objetivo: Diseñar y construir un prototipo de telar automático con inserción de trama continua para la elaboración de tejido artesanal.

Muestra: Se obtuvo la muestra de 3 valores de tejido entregado en función del tiempo.

Resumen: La importancia de la automatización de procesos en máquinas radica en que la industria ha ganado un interés por el desarrollo claro de optimización de espacio, exactitud, tiempo y eliminación de errores en los productos generados. El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de telar plano, para la optimización de recursos en el proceso de tejido artesanal, representando así un menor esfuerzo y mayor producción para los artesanos que trabajan en esta actividad. La máquina utiliza un controlador lógico programable para la recepción de señales de los sensores e indicar que acción debe realizar los actuadores neumáticos y eléctricos que operan en el proceso de tejido. Mediante una interfaz humana máquina se podrá seleccionar de entre secuencias de tejidos previamente establecidos o crear nuevos diseños que se desee probar.

Resultados: Se obtuvo que, en la primera hora de elaboración del tejido, se formó 1,2 metros de tela, a la segunda hora 2,45 metros y a la tercera hora 4,8 metros.

Conclusión: El diseño y construcción de componentes mecánicos y demás sistemas que conforman el prototipo de telar plano automatizado con inserción de trama continua, optimizó

tiempos de producción, así como también recursos en el proceso de la elaboración de tejido, que representa menos esfuerzo físico por parte del operario y mayor producción, de este modo cumpliendo con los requerimientos establecidos por el cliente.

- **Recuperación y transformación de la máquina de tejer Trigamo galga 10 de manual a automática**

Salazar Martínez C, Ing. Loza Matovelle D, “Recuperación y transformación de la máquina de tejer Trigamo galga 10 de manual a automática para la microempresa tejidos Martínez”, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, 2017.

Objetivo: Recuperar y transformar la máquina Trigamo galga 10 de manual a automática para la microempresa tejidos Martínez.

Muestra: Se obtuvo 20 valores de velocidad lineal del carro y de conteo de pasadas.

Resumen: El proyecto parte con el análisis de las partes principales de las piezas de la máquina de tejer Trigamo galga 10, detectando el estado en el que se encuentren, para una posterior recuperación de las que se encuentren dañadas; o en el caso de encontrarse piezas faltantes se adquieren o construyen, con lo que se consigue un correcto funcionamiento de la máquina. El diseño de la automatización radica en el sistema motriz, la estructura soporte de la automatización y el circuito de control. El circuito de control utiliza lógica cableada, con elementos de sensado específicos para este tipo de maquinaria como lo es un contador y un tensor electromecánico.

Resultados: Se logró implementar satisfactoriamente los diferentes elementos que conforman la automatización de la máquina Trigamo, poniendo a prueba cada elemento para una verificación

del cumplimiento de los requerimientos para los cuales fueron diseñados. Se obtuvo de las pruebas realizadas de velocidad que el avance del carro que el sistema gira uniformemente, no se producen excesivas vibraciones en la máquina, el sistema no choca en ningún momento, las bandas no patinan, el contador realiza un conteo descendiente del número de pasadas de forma constante, al llegar a cero el contador detiene la máquina inmediatamente.

Conclusión: Al recuperar las piezas en mal estado de la máquina Trigamo, se pudo armar completamente la máquina Trigamo, con lo que se pudo calibrar correctamente cada sistema, logrando así el correcto funcionamiento en modo manual, para una posterior automatización de la máquina, en donde se suplió la manera en la que se aportaba movimiento en el carro, inicialmente realizado por el operario, posteriormente cambiándolo a movimiento generado por un sistema motor- polea-banda.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Determinación del estado inicial de la máquina.

En la sección 2.2.4. se detalla los componentes de la máquina de tejido de punto Dubied, por lo que se procede a realizar un análisis detallado del estado inicial, de cada elemento importante en la máquina. En la Figura 13 se aprecia una vista general de la máquina de tejido de punto del proyecto en su estado inicial.



Figura 13 Estado inicial de la máquina Dubied galga 12

3.1.1. Fonturas

Presentan un leve desgaste a la altura de los talones de las agujas, pero esto no perjudica el funcionamiento de la máquina durante la creación del tejido, como se indica en la Figura 14.



Figura 14 Vista lateral con las fonturas que posee.

3.1.2. Carro

El carro posee 4 subsistemas que permiten configurar distintos parámetros en el tejido, cada tipo de línea indica un subsistema diferente, como se presenta a continuación, en la Figura 15.

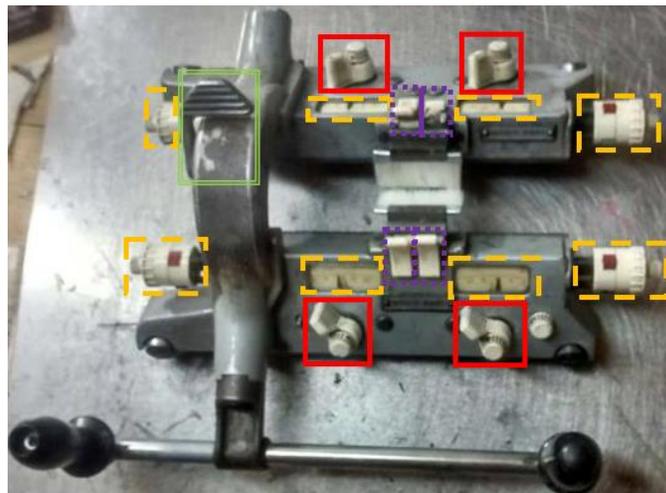


Figura 15 Carro principal de máquina Dubied

- **El subsistema de selección de agujas**, se encuentra marcado en recuadros de líneas continuas, se activa en un rango de 3 posiciones, en las cuales se puede trabajar con todas las agujas, solo con agujas altas o sin agujas, ya que maneja levas lineales en la parte inferior. Estos selectores son fundamentales para que la máquina pueda tejer 4 tipos de puntada básicas como llano, rib, jersey y tubular. En este sistema se presenta funcional y sin avería.
- **El subsistema de selección de puntada adicional**, se encuentra marcado en recuadros de líneas punteadas, al igual que el anterior cada uno de estos posee tres posiciones de activación, donde se puede cambiar de puntada en todas las agujas, agujas altas o en ninguna aguja. Para que este subsistema funcione deben estar activados para todas las agujas o solo altas en el subsistema de selección de agujas, además también posee levas lineales que permiten que el sistema funcione, permite realizar puntadas semi-perlé y perlé. Uno de los selectores se encuentra roto por lo que se procederá a tomar medida del que presenta una mayor similitud y se diseñará uno nuevo para una posterior impresión con deposición de hilo fundido (3D).
- **El sistema de selección de apriete**, se encuentra marcado en recuadros de líneas entre cortadas, con sus respectivos indicadores numéricos, estos presentan una pequeña rueda conectada a un sinfín con lo que al girar en una u otra dirección la rueda se puede regular el apriete en el rango de números que van del 0 al 22, como los sistemas anteriores este posee levas para cumplir su función. En este sistema todos sus elementos se encuentran en perfecto estado.

- **Selector de guiahilo**, se encuentra marcado en un recuadro con líneas dobles, también posee tres posiciones, en la primera y tercera en las que se mantiene en diagonal, se puede escoger un guiahilo a la vez para seleccionar, en la segunda a dos guiahilos a la vez, este sistema se encuentra en un buen estado.

3.1.3. Guiahilos

La máquina posee un par de guiahilos, de plástico en sus bases y platinas para el soporte del hilo, como se aprecia en la Figura 16, presentan un buen estado, pero se debe cambiar la estructura de sus platinas por todos los elementos que se añadirán en el carro.



Figura 16 Carrito de guiahilo

3.1.4. Tensor de hilo

Los tensores instalados en la máquina de tejido de punto, se encuentran en un buen estado, como se muestra en la Figura 17. Actualmente se cuenta con tensores de hilo que pueden detectar nudos y motas en el hilo (causantes de fallas en el tejido), actúan como sensores, por lo que se

incorporaran tensores de este tipo, procedentes de máquinas electromecánicas con mejores avances.



Figura 17 Tensor de hilo

3.1.5. Palanca para mover la fontura posterior

La palanca para mover la fontura posterior activa un mecanismo lateral, como se presenta en la Figura 18 y Figura 19, el mecanismo posee un buen funcionamiento, pero la activación del desfase de esta fontura en el proyecto se realiza directamente en el mecanismo lateral.



Figura 18 Palanca del mecanismo de la fontura posterior



Figura 19 Mecanismo de desfase de la fontura posterior

3.1.6. Fileta

La mesa donde se soportan los conos de hilo se encuentra en un estado aceptable, en el proyecto no se realiza cambios para la fileta.

3.1.7. Bancada

La bancada se encuentra algo deteriorada superficialmente por lo que se ha corroído en ciertos sectores, se deberá desmontar todos los mecanismos superiores para pintar la misma como prevención ante la oxidación.

3.1.8. Palanca para mover la fontura frontal

La palanca para mover la fontura frontal, activa un par de mecanismos laterales, como se observa en la Figura 20, los cuales se encuentran en buen funcionamiento, para la activación del desfase de esta fontura se lo realiza directamente del mecanismo.



Figura 20 Mecanismo para mover fontura frontal.

3.1.9. Rodillo

La máquina utiliza peso muerto para el descenso del tejido (pesas de 1 Kg a cada lado) habitualmente, pero anteriormente se le adaptó un rodillo bajo las fonturas para este fin como se muestra en las Figura 21 y Figura 22, pero que no se hace uso; se rehabilitará para conseguir un descenso de la tela automatizado. El rodillo funciona con una palanca en la parte posterior de la máquina que cada vez que se la hace descender, permite que gire el rodillo, para el descenso de la tela.



Figura 21 Ubicación de rodillo.



Figura 22 Palanca para la activación del rodillo

3.2. Selección de conceptos

En la realización del proyecto se utilizó la metodología de Ulrich (2017), partiendo de las necesidades y requerimientos para la selección de los sistemas idóneos para la automatización de la máquina. A continuación, se presentan las necesidades del usuario en la Tabla 5.

Tabla 5.
Necesidades del usuario.

Número	Necesidad	Importancia
1	Reduce tiempo de producción	5
2	Fácil uso	5
3	Regulación del ancho del tejido	4
4	Regulación del alto del tejido	4
5	Regulación de la elasticidad del tejido	4
6	Selección del tipo de puntada	4
7	Selección del guía hilo de trabajo	4
8	Regulación de la velocidad de descenso del tejido	4
9	Regulación de la velocidad del carro	4

10	Detección de nudos y motas en el hilo	5
11	Detección de orificios en el tejido	5
12	Trabaja con diferentes tipos de hilos	5
13	Seguridad al operar la máquina	5
14	Fácil instalación y mantenimiento	4

Se debe resaltar la importancia que cada necesidad deberá tener en el proyecto, ya que en base a ello se podrá generar los procesos que la máquina deberá cumplir para satisfacer todas las funciones destinadas para su autonomía.

A continuación se presenta la Tabla 6, la cual muestra la matriz QFD para el desarrollo del proyecto, que relaciona las necesidades del usuario en requerimientos técnicos para la autonomía final deseada, para lo que se califica dependiendo de la relación que existe entre los mismos de acuerdo a la siguiente escala:

- No se relacionan: 1
- Se relacionan levemente: 3
- Se relaciona fuertemente: 9

Como se puede observar, los requerimientos técnicos de mayor impacto para el proyecto son:

- Torque para ajuste de parámetros (En el tejido).
- Velocidad de rodillos.
- Velocidad del carro.
- Sistema de control.

Todos los sistemas implementados serán modulares y montados sobre los selectores de parámetros, para en caso de avería se pueda retirar fácilmente cualquier mecanismo, permitiendo un mantenimiento fácil y además evitando forzar los actuadores incorporados.

3.2.1. Selección del sistema de ajuste de parámetros.

En el ajuste de parámetros se requiere dar movimiento a diferentes selectores, en su gran mayoría perrillas, botones en el carro, mientras que debajo de las fonturas y a los lados de la misma existen mecanismos que permiten el desfase de las mismas, no se necesita que sean mecanismos de grandes dimensiones o que generen movimientos de gran amplitud debido a que las dimensiones de la máquina lo limitan, los movimientos deben ser de tipo circular. Además se ha dividido en seis subsistemas: selectores del tipo de aguja con la que se trabaja, de puntada, de nivel de apriete, de guiahilo, desfase de fontura posterior y desfase de fontura frontal, por lo que en la Tabla 7 se analiza los diferentes tipos de mecanismos para este fin, utilizando las siguientes representaciones:

- Igual a: 0
- Mejor que: +
- Peor que: -

Tabla 7

Selección de conceptos para mecanismos implementados en selectores de parámetros

Criterios de selección	Conceptos			
	Caja de engranes	Mecanismo compuesto por eslabones	Ruedas de fricción	Poleas + Banda
Bajo costo	-	+	+	-
Tamaño	+	+	+	-
Facilidad de implementar	-	0	0	-
Facilidad de mantenimiento	0	+	+	0
Torque o fuerza	+	-	-	-
Eficiencia	+	-	-	+
Suma +	3	3	3	1
Suma 0	1	1	1	0
Suma -	2	2	2	4
Evaluación neta	1	1	1	-3
Lugar	1	1	1	2
¿Continuar?	Combinar	Combinar	Combinar	No

El sistema que mejores prestaciones para la generación de movimientos en los parámetros de ajuste del tejido (perrillas) y de fonturas (mecanismos de palancas), son la caja de engranes, los mecanismos compuestos por eslabones y ruedas de fricción, todos ellos se combinarán de cierto modo, ya que como se estableció previamente existen subsistemas que tienen distintos requerimientos. Por otra parte, el sistema de transmisión compuesto por banda más poleas queda descartado para posteriores análisis.

3.2.2. Selección del sistema para la velocidad en el rodillo (movimientos en vaivén).

El movimiento que se debe dar al sistema es lineal en vaivén de cortas distancias. En la Tabla 8, se analiza las diferentes opciones para cumplir con este fin:

Tabla 8

Selección del sistema para la velocidad en el rodillo (movimientos en vaivén).

Criterios de selección	Conceptos				
	Leva	Piñón + Cremallera	Tornillo sinfín + collarín	Poleas + Banda	Catarinas + Cadena
Bajo costo	+	-	-	+	-
Facilidad de implementar	+	-	-	-	-
Facilidad de mantenimiento	-	-	-	0	0
Torque o fuerza	-	+	+	-	-
Generación de movimientos lineales cortos	+	-	-	-	-
Velocidad lineal constante	+	+	+	+	+
Eficiencia	-	+	+	+	+
Suma +	4	3	3	3	2
Suma 0	0	0	0	1	1
Suma -	3	4	4	3	4
Evaluación neta	1	-1	-1	0	-2
Lugar	1	3	3	2	4
¿Continuar?	Si	No	No	No	No

El sistema que presenta mejores características para la velocidad en el rodillo, es el de la leva ya que se puede implementar fácilmente, tomando en cuenta que la palanca para el movimiento del rodillo se puede accionar como un seguidor, mientras que quedan descartadas las opciones de: piñón + cremallera, tornillo sinfín + collarín, poleas + banda y catarinas + cadena.

3.2.3. Selección del sistema para la velocidad del carro (movimientos en vaivén).

Para dar movimiento al carro, se requiere de múltiples movimientos lineales en vaivén considerando longitudes desde los 30 cm hasta un máximo de 2 metros, por lo que se requiere diseñar un mecanismo de transmisión de movimiento para cumplir esta meta, que será analizado en la Tabla 9:

Tabla 9.

Selección de conceptos para el sistema de transmisión para los movimientos en vaivén del carro.

Criterios de selección	Conceptos			
	Piñón + Cremallera	Tornillo sinfín + collarín	Poleas + Banda	Catarinas + Cadena
Bajo costo	-	-	+	-
Facilidad de implementar	-	-	0	0
Facilidad de mantenimiento	-	-	0	0
Torque o fuerza	+	+	-	-
Generación de movimientos lineales amplios	+	+	+	+
Velocidad lineal constante	+	+	+	+
Eficiencia	+	+	+	+
Suma +	4	4	4	3
Suma 0	0	0	2	2
Suma -	3	3	1	2
Evaluación neta	1	1	3	1
Lugar	2	2	1	2
¿Continuar?	No	No	Si	No

El mecanismo que mejor aplicabilidad para el movimiento del carro es el de poleas + banda, mientras que quedan descartados los mecanismos de: piñón + cremallera, tornillo sinfín + collarín y catarinas + cadena.

3.2.4. Selección del sistema de control

El principal elemento en este sistema es elegir un controlador adecuado para esta clase de sistemas, tomando como base el trabajo en un entorno donde se requiere bastante procesamiento para la ejecución de secuencias, así como para la adquisición y tratamiento de imágenes, por lo que en la Tabla 10 se analiza las diferentes opciones que pueden encontrarse en el mercado.

Tabla 10

Selección de conceptos para el sistema de control.

Criterios de selección	Conceptos			
	PLC (Basado en Arduino)	PLC Logo (Siemens)	Raspberry Pi	Tarjeta de la familia de STM32
Bajo Costo	0	-	+	+
Facilidad de implementar	+	0	+	-
Facilidad de mantenimiento	-	-	-	-
Puertos de conexión para periféricos (Cámaras, Pantalla, etc.)	-	-	+	-
Desarrollo de interfaz gráfica	-	-	+	+
Adquisición y tratamiento de imágenes	0	-	+	0
Número de Entradas y Salidas (Análogas y Digitales)	0	-	-	+
Velocidad del Procesador	-	-	+	+
Protecciones	+	+	-	-
Facilidad de programación	+	0	+	-
Suma +	3	1	7	4
Suma 0	3	2	0	1

CONTINÚA



Suma -	4	7	3	5
Evaluación neta	-1	-6	4	-1
Lugar	2	3	1	2
¿Continuar?	No	No	Si	No

El controlador que ofrece mayores prestaciones para el proyecto, es la tarjeta raspberry pi, mientras que se descarta se analizar a futuro el PLC (Basado en arduino), PLC Logo (Siemens) y la tarjeta de la familia STM32.

3.3.Determinación de parámetros.

Los parámetros de mayor relevancia para una posterior selección de componentes son los torques y fuerzas, así como también establecer la variación de desplazamiento, tanto lineal como angular, dependiendo del caso, todos ellos son necesarios para que los distintos mecanismos ejecuten los movimientos deseados por el usuario. Para tomar muestras de fuerzas y torques se utilizó una balanza digital de mano, la cual facilitó la toma de datos, como se muestra en las Figura 23 y Figura 24. Mientras que el dimensionamiento de las variaciones de desplazamiento, se estableció con la ayuda de un flexómetro y un calibrador pie de rey.



Figura 23 Obtención de fuerza de desplazamiento del carro: a) vista superior, b) vista lateral.



Figura 24 Obtención de una fuerza a cierta distancia (Torque): a) vista superior, b) vista frontal.

Para determinar de una mejor manera los parámetros se los dividirá, dependiendo de su ubicación y se los subdividirá dependiendo del tipo de accionamiento, como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11.

Tabla de determinación de parámetros

Ubicación	Accionamiento	Fuerza/Torque	Variación de desplazamiento
En el carro	Selección de aguja	0,7 Kgf*2cm= 1,4 Kgf.cm	70°
	Selección de puntada adicional	0,55 Kgf*2 cm = 1,1 Kgf.cm	70°
	Selección de nivel de apriete	0,5 Kgf*0,5 cm = 0,25 Kgf.cm	450° (Variar en 1 el nivel de apriete)
	Selector de guiahilo	0,7 Kgf*5 cm= 3,5 Kgf.cm	80°
Fuera del carro	Mecanismo de fontura posterior	6,95 Kgf* 10cm= 69,5 Kgf.cm	72°
	Mecanismo de fontura frontal	7,5 Kgf* 10 cm= 75 Kgf.cm	60°
	Mecanismo de accionamiento del rodillo	2,4 Kgf	3cm

CONTINÚA



	Transmisión para movimientos en vaivéñ del carro	12,65 Kgf	168,6cm
--	--	-----------	---------

3.4. Selección de componentes eléctricos.

3.4.1. Motores para mecanismos de selección de parámetros en el tejido implementados dentro del carro y driver.

En la sección 3.3 se especifican los torques y variaciones de posición requeridos para el movimiento de cada uno de los parámetros dentro de este sistema, por lo cual se seleccionan para todos los accionamientos servomotores MG996R; para los que deben desplazarse ángulos menores a 80° se seleccionó los truncados, estos servomotores son muy útiles para estas aplicaciones porque poseen un buen control de posición, mientras que para los selectores de nivel de apriete, que requieren girar n vueltas se consideran a los servos de esta misma serie pero que no poseen truncamiento. En la Tabla 12 se especifican sus características y una imagen del servomotor.

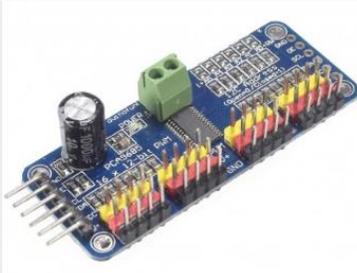
Dentro del carro se debe montar trece motores, uno por cada selector de parámetro, por lo que la mejor opción para controlarlos, es el driver PCA9685, con el cual se puede conectar un máximo de dieciséis servomotores a cada uno de ellos suministrando PWM individualmente, en la Tabla 13 se presentan las características técnicas y una imagen del driver.

Tabla 12*Especificaciones técnicas de servomotor MG996R*

Especificación Técnica	Valor	Imagen
Peso	55 g	
Dimensiones	40.7 x 19.7 x 42.9 mm	
Torque	9.4 Kgf.cm (4.8 V), 11 Kgf.cm (6 V)	
Velocidad de operación	0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)	
Corriente	500mA a 900 mA (6V)	
Voltaje de operación	4.8 V a 7.2 V	
Rango de temperatura	0°C a 55°C	

Fuente: (Tower Pro, s.f.)

Tabla 13*Especificaciones técnicas de driver PCA9685*

Especificación Técnica	Valor	Imagen
Voltaje de operación	4,5V a 6V	
Niveles lógicos de voltaje	3,3V, 5V	
Protocolo de comunicación	I2C	
Frecuencia de comunicación	1,6 KHz máx.	
Resolución de salidas	12bits	

Fuente: (Adafruit Industries, 2015).

3.4.2. Motores para mecanismos de selección de parámetros en el tejido implementados fuera del carro y driver.

a. Motores para los mecanismos de fontura posterior, fontura frontal y activación de rodillo.

Por la exigencia de un torque mayor en estos mecanismos, se seleccionó el moto-reductor Pololu 37Dx57L mm; en la Tabla 14 se especifican sus características técnicas y una imagen del mismo, para el movimiento de fonturas se limita el movimiento con finales de carrera. El driver que mejores prestaciones para este fin es el módulo L298N , el cual es un módulo puente H, que permite controlar el giro, velocidad de hasta un máximo de dos motores DC a la vez; en la Tabla 15 se encuentran sus características técnicas.

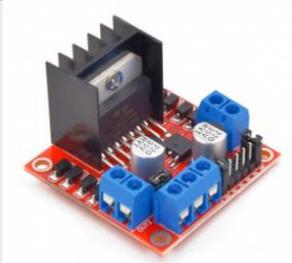
Tabla 14

Características técnicas de motor Pololu 37Dx57L mm

Especificación Técnica	Valor	Imagen
Relación	131:1	
Voltaje de operación	12V	
Corriente	5A	
Velocidad (sin carga)	80 rpm (12V), 40 rpm (6V)	
Torque	250 oz.in ó 176,54 Kgf.cm (12V), 125 oz.in ó 88,27 Kgf.cm (6V)	
Peso	205 g	
Diámetro del eje	6 mm	

Fuente: (Pololu Corporation, s.f.)

Tabla 15*Características técnicas de módulo Driver L298N*

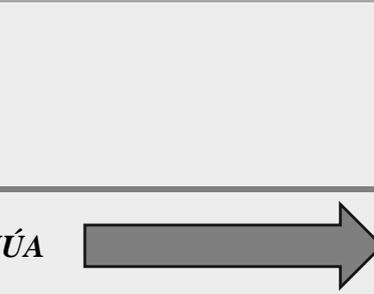
Especificación Técnica	Valor	Imagen
Voltaje de operación	3 -35 V	
Corriente	2 A máx.	
Nivel lógico de voltaje	5V	
Peso	30 g	
Dimensiones	43x43x27 mm	

Fuente: (Prometec, 2018)

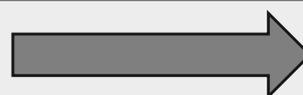
b. Motor para generación de movimientos en vaivén del carro principal.

El motor utilizado para la generación de movimientos en vaivén del carro principal, es un servomotor híbrido a pasos Nema 34 (86HS120), el cual está incorporado con un *encoder* para un control a lazo cerrado, lo cual procura una menor pérdida de pasos, frente a los motores a pasos convencionales, combina lo mejor de los motores a pasos con los servomotores industriales, sus características técnicas y una imagen se muestran en la Tabla 16. El driver para el motor Nema 34 (HBS860H), trabaja desde 200 pasos/revolución hasta un máximo de 40000 pasos/revolución, también posee un puerto serial RS232, se puede establecer comunicación con controladores que posean este mismo protocolo de comunicación, en la Tabla 17.

Tabla 16*Características técnicas de servomotor híbrido nema 34 (86HS120)*

Especificación Técnica	Valor	Imagen
Torque	1699,2 oz.in ó 12 N.m	
Corriente de fase	6 A	
Inercia del rotor	0,0568 oz. in. sen ² ó 4000 g. cm ²	
Peso	5,3 Kg	

CONTINÚA



Temperatura de operación	-40°C a 100°C	
--------------------------	---------------	--

Fuente: (Leadshine, 2018)

Tabla 17
Características técnicas de driver HBS860H

Especificación Técnica	Valor	Imagen
Voltaje de operación	30 – 100 V	
Pulsos de entrada	200 KHz	
Resistencia de aislamiento	500 MΩ	
Peso	508 g	
Temperatura de operación	70°C máx.	

Fuente: (Leadshine, 2018)

3.4.3. Controladores.

Para realizar el control principal de la máquina se utilizó controladores que permitan la adquisición y tratamiento de imágenes, siendo muy importante la compatibilidad con el compilador de Qt, ya que con las librerías de OpenCV permite el desarrollo de la visión artificial del sistema de control de calidad, a su vez permite la creación de las ventanas del HMI. Estos controladores fueron seleccionados en la Sección 3.2.4.

a. Raspberry Pi 3 B+

Se utilizó una Raspberry Pi modelo 3B+; para controlar el sistema la misma que cuenta con las características mostradas en la Tabla 18.

Tabla 18.

Características de la Raspberry Pi modelo 3B+

Especificación técnica	Valor/Descripción	Imagen
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC	
Frecuencia de reloj	1,4 GHz	
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM	
Conectividad inalámbrica	2.4GHz / 5GHz	
	IEEE 802.11.b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE	
Conectividad de red	Gigabit Ethernet over	
Puertos	GPIO 40 pines	
	HDMI	
	4 x USB 2.0	
	CSI (cámara Raspberry Pi)	
	DSI (pantalla tácil)	
	Toma auriculares / vídeo compuesto	
	Micro SD	
	Micro USB (alimentación) Power-over-Ethernet (PoE)	

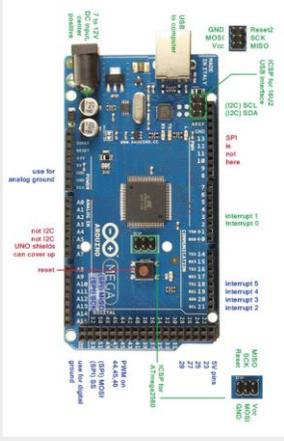
Fuente: (Pastor, 2018)

b. Arduino Mega

Se utilizó dos Arduinos Mega por la gran cantidad de entradas y salidas digitales para realizar el control de los motores y sensores que intervienen en el proceso de automatización de la máquina,

el cual se conecta por medio del puerto serial con la Raspberry siendo el Arduino esclavo y la Raspberry maestro. La Tabla 19 muestra las características del controlador Arduino utilizado.

Tabla 19.
Características Arduino Mega

Especificación técnica	Valor/Descripción	Imagen
Microcontrolador	ATmega2560	
Voltaje Operativo	5V	
Voltaje de entrada	7-12 V	
Pines digitales entrada salida	54, 15 salidas PWM	
Pines análogos de entrada	16	
Corriente DC por cada Pin entrada	40mA	
Salida		
Corriente DC entregada en el Pin	50 Ma	
3.3v		
Memoria Flash	256 Kb	
SRAM	8kb	
EEPROM	4 Kb	
Clock Speed	16 MHz	

Fuente: (Gonzales, 2013)

3.4.4. Cámara.

Para la detección de fallas en el tejido se utilizó una cámara web de la marca Anera, modelo AE-Cam165, con las características mostradas en la Tabla 20.

Tabla 20.
Características de la cámara Anera AE-Cam165

Especificación técnica	Valor/Descripción	Imagen
Resolución	640x480	
Interfaz	USB	
Píxeles	20 mega	

CONTINÚA



Sensor de imagen	CMOS	
Marca	Anera	
Modelo	AE-CAM165	
Marco	30 Fps	
Monitor	CRT.LCD	
Distancia de foto	4 cm	
Potencia	160mW	
Sistema Operativo	Windows XP, Vista ,7, 8, 10	
Tipo de imagen	Vertica/Horizontal	

Fuente: (Integrales, 2019)

3.4.5. Pantalla HMI.

La pantalla HMI se escogió partiendo de la compatibilidad con el controlador Raspberry por lo que se seleccionó una pantalla *touch* de la marca Waveshare de 7 pulg, con las características y una imagen mostradas en la Tabla 21.

Tabla 21.

Características de la pantalla touch Waveshare de 7 pulg.

Especificación técnica	Valor/Descripción	Imagen
Marca	Waveshare	
Resolución	1024x600	
Control táctil	Resistivo	
Compatibilidad	Raspberry Pi	
Drivers	Incluidos	
Voltaje	3.3 – 5 V	
Tamaño	7 pulg.	

Fuente: (Waveshare, 2019)

3.4.6. Fuentes de alimentación.

Se utilizaron 3 fuentes para el presente proyecto las cuales se especifican en la Tabla 22.

Tabla 22*Fuentes utilizadas en el proyecto*

Tipo de fuente	Salida	Función
Conmutada	60V-6A	Alimentación de motor Nema 34.
Conmutada	5V-6A	Alimentación de servomotores ubicados en el carro.
De PC	200W	Alimentación a motoreductores Pololu y sensores.

3.5. Diseño de elementos estructurales y mecánicos adaptados.

En la

Figura 25 se representa todos los elementos estructurales y mecánicos implementados en la máquina de tejido de punto Dubied, para conseguir la autonomía deseada.

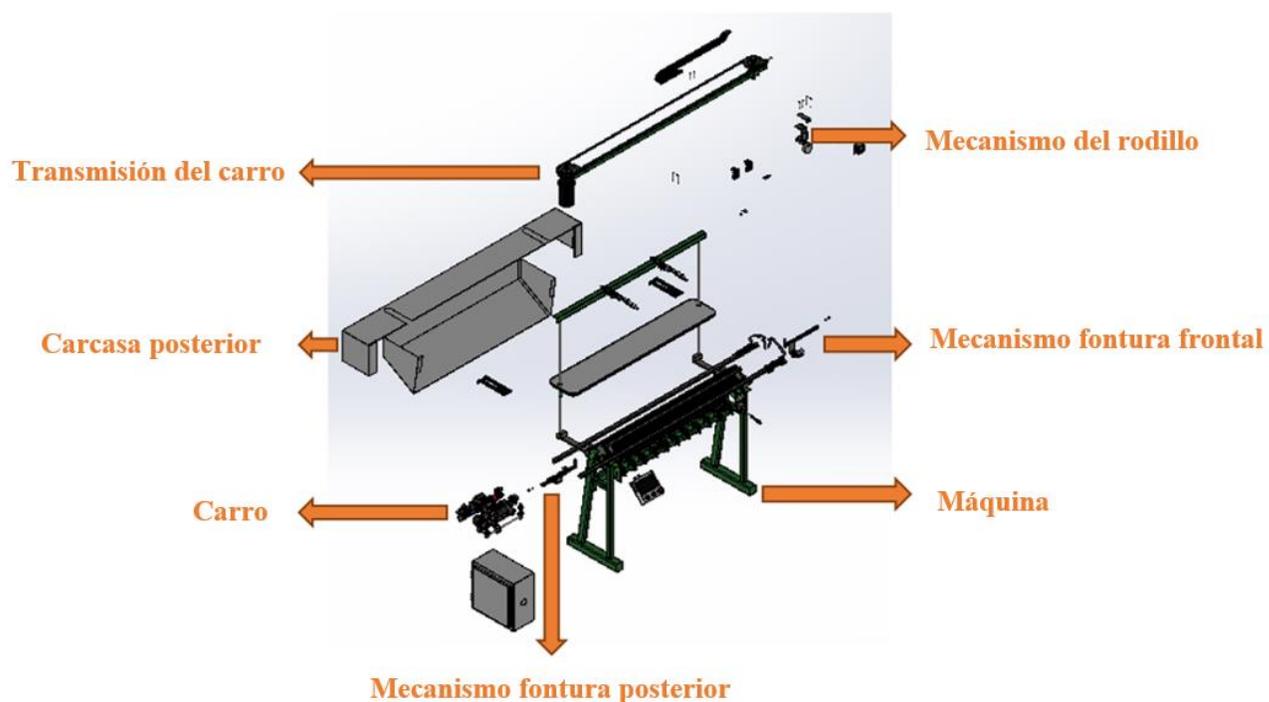


Figura 25 Vista en explosión de los elementos implementados en la máquina de tejido de punto Dubied.

3.5.1. Diseño de sistema de transmisión para el movimiento en vaivén del carro.

a. Cálculo para la selección del motor

En el diseño de la transmisión, para ejecutar los movimientos en vaivén del carro de la máquina, se optó por un juego de poleas con banda en V, en el extremo izquierdo se encuentra la polea conductora con el motor y en el extremo derecho la polea conducida con el tensor de la banda, como el que se presenta a continuación en la Figura 26.

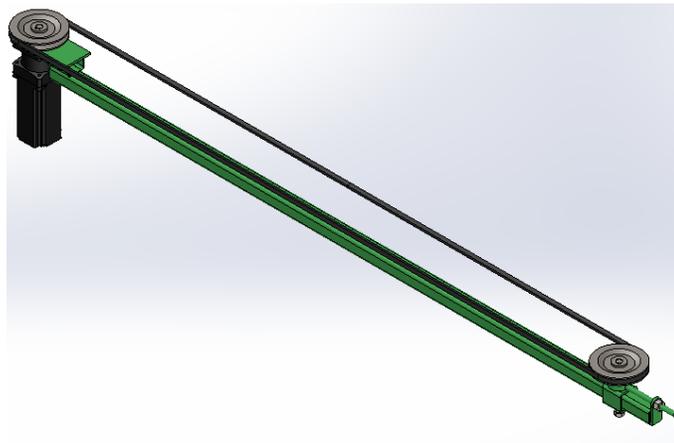


Figura 26 Transmisión de banda en V

Los datos tomados como base para partir con los cálculos de selección del motor son la velocidad lineal de la banda $V_b = 1,2 \frac{m}{s}$, basados en características técnicas de máquinas rectilíneas del mercado que oferta Sotic (2015); y, la fuerza lineal con la que el carro parte del reposo a mayor carga, es decir con hilo tejido llano $F_b = 12,65Kgf = 124,05N$ mediante una balanza de mano cómo se determinó en la Sección 3.3 (Figura 23).

Por las dimensiones de la máquina y la trayectoria rectilínea del carro se decidió utilizar una relación de poleas de 1:1, además la velocidad lineal de ambas poleas es igual a la velocidad de la

banda. Se asumió $D_A = D_B = 120 \text{ mm}$, como se observa en la Figura 27, ya que la mejor ubicación que se le puede dar a la transmisión es detrás de las fonturas, con lo que se cuenta con un espacio limitado de apenas 180 mm.



Figura 27 Vista Superior del sistema de poleas

Con la Ecuación 1 se puede calcular la velocidad angular:

$$D_A = D_B$$

$$V_b = V_A = V_B$$

$$1,2 = \frac{D_A}{2} \omega_A = \frac{D_B}{2} \omega_B \quad \text{Ec.1}$$

$$\omega_A = \frac{1,2}{\frac{0,12}{2}}$$

$$\omega_A = \omega_B = 20 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \rightarrow n_A = n_B = 190,99 \text{ rpm}$$

Donde:

ω_A : Velocidad angular de la polea en el punto A en [rad/s].

ω_B : Velocidad angular de la polea en el punto B en [rad/s].

n_A : Velocidad angular de la polea en el punto A en [rpm].

n_B : Velocidad angular de la polea en el punto B en [rpm].

En la hoja de datos de los motores a pasos se especifica que en su mayoría trabajan a velocidades de 1000 rpm (Anexo A 12), por lo que se debe añadir una etapa reductora, la mejor opción es una caja reductora de engranes, por su ergonomía y fácil implementación, como se observa en la Figura 28, con la relación que se calcula en la Ecuación 2:

$$RV = \frac{n_m}{n_A} \quad \text{Ec. 2}$$

$$RV = \frac{1000}{190,99}$$

$$RV = 5,23 \cong 5$$

Se recalcula la velocidad angular en la polea A con la Ecuación 3

$$n_A = \frac{n_m}{RV} \quad \text{Ec. 3}$$

$$n_A = 200 \text{ rpm} \rightarrow \omega_A = 20,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Donde:

RV : Relación de velocidades entre la velocidad angular del motor y la velocidad angular de las poleas.

n_m : Velocidad angular en rpm del motor en [rpm].



Figura 28 Caja reductora para servomotor híbrido Nema 34.
Fuente: (Alibaba Group, s.f.)

La selección del motor a pasos adecuado para el sistema se realiza mediante la teoría de Mott (2006), del capítulo 12 de diseño de ejes. En el esquema mostrado en la Figura 29, se detallan las fuerzas y torques que intervienen.

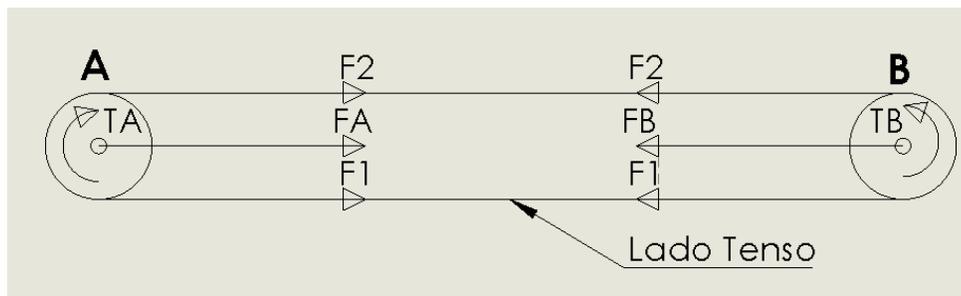


Figura 29 Establecimiento de parámetros de las fuerzas y torques

Donde

F_1 : Fuerza en el lado tenso de la banda en [N].

F_2 : Fuerza en el lado flojo de la banda en [N].

F_A : Fuerza en el punto A en [N].

F_B : Fuerza en el punto B en [N].

T_A : Torque en el punto A en [N.m].

T_B : Torque en el punto B en [N.m].

La fuerza en el lado tenso de la banda será mayor al lado flojo. Las tensiones en las poleas A y B se pueden encontrar mediante la Ecuación 5 y 6, de la teoría de Mott (2006) del capítulo 12 de diseño de ejes.

$$F_1 > F_2$$

$$F_1 = F_b$$

$$F_B = F_1 + F_2 \quad \text{Ec. 4}$$

$$T_A = (F_1 - F_2) \left(\frac{D_A}{2} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

$$T_B = (F_1 - F_2) \left(\frac{D_B}{2} \right) \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

F_b : Fuerza que debe ejercer la banda para mover el carro principal en [N].

D_A : Diámetro de paso de la polea en el punto A en [m].

D_B : Diámetro de paso de la polea en el punto B en [m].

Para transmisiones en bandas V se pueden calcular las fuerzas, con la Ecuación 7, 8 y 9, de Mott (2006) del capítulo 12 cálculo de poleas para bandas en V.

$$\frac{F_1}{F_2} = 5 \quad \text{Ec. 7}$$

$$F_2 = \frac{124,05}{5}$$

$$F_2 = 24,81 \text{ N}$$

$$F_B = F_1 + F_2 \quad \text{Ec. 8}$$

$$F_B = 124,05 + 24,81$$

$$F_B = 148,86 \text{ N}$$

$$F_B = 1,5 F_N \quad \text{Ec. 9}$$

$$F_N = \frac{F_B}{1,5}$$

$$F_N = \frac{148,86}{1,5}$$

$$F_N = 99,24 \text{ N}$$

Donde:

F_N : Fuerza impulsora neta en [N].

El cálculo del torque en la polea del punto B o A, se puede realizar mediante la Ecuación 10:

$$T_A = T_B = F_N \left(\frac{D_A}{2} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

$$T_A = 99,24 \left(\frac{0,12}{2} \right)$$

$$T_A = 5,95 \text{ Nm}$$

La potencia requerida del motor se puede calcular con la Ecuación 14, tomando como base todas las pérdidas que tenga el sistema (Ecuación 13), en este caso la transmisión por banda (Ecuación 11) y la caja reductora (Ecuación 12), según la teoría de Correa (2010), para el diseño de un sistema transmisión polea banda.

$$n_{bandas} = 0,75$$

$$Pérdida_b = 1 - n_{bandas} \quad \text{Ec. 11}$$

$$Pérdida_b = 1 - 0,75 = 0,25$$

$$n_{engranes} = 0,96$$

$$Pérdida_e = 1 - n_{engranes} \quad \text{Ec. 12}$$

$$Pérdida_e = 1 - 0,96 = 0,04$$

$$Pérdidas_t = 1 - Pérdidas_b - Pérdidas_e \quad \text{Ec. 13}$$

$$Pérdidas_t = 1 - 0,25 - 0,04 = 0,71$$

$$P_B = T_B(\omega_B) = P_{caja}$$

$$P_B = 5,95 (20,94)$$

$$P_B = 124,69 \text{ W}$$

$$P_m = \frac{P_{caja}}{Pérdidas_t} \quad \text{Ec. 14}$$

$$P_m = \frac{124,89}{0,71}$$

$$P_m = 175,61 \text{ W}$$

Donde:

n_{bandas} : Eficiencia en la banda.

$n_{engranes}$: Eficiencia en la caja de engranes.

$Pérdida_b$: Pérdida producida por la banda.

$Pérdida_e$: Pérdida producida por la caja de engranes.

$P_{\text{p\u00e9rdidas}_t}$: P\u00e9rdidas totales.

P_B : Potencia en el punto B en [W].

P_{caja} : Potencia en la caja reductora en [W].

P_m : Potencia del motor en [W].

El motor seleccionado fue un servomotor h\u00edbrido Nema 34 86HS120 (Anexo A 12), en la Figura 30 se muestra la gr\u00e1fica de torque vs rpm, donde se demuestra que el motor se encuentra en un rango de torque correcto, comparado con el calculado a la velocidad standard de 1000 rpm (104,72 rad/s), obteniendo la potencia seg\u00fan la Ecuaci\u00f3n 15.

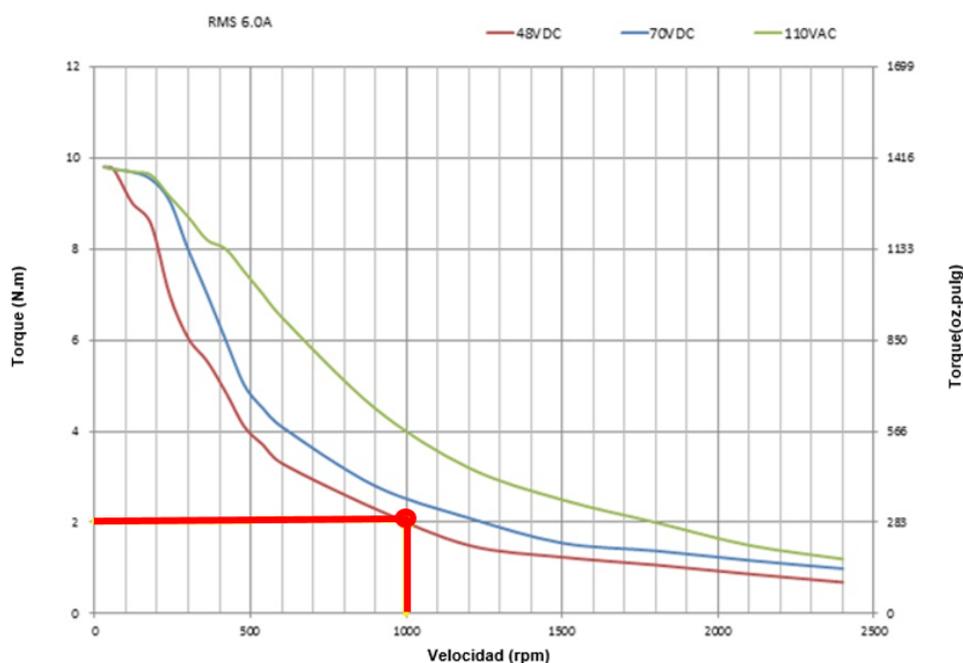


Figura 30 Gr\u00e1fica torque vs rpm de servomotor h\u00edbrido Nema 34 (86HS120)

Fuente: (Leadshine, 2018)

$$P_m = T_m \omega_m \quad \text{Ec. 15}$$

$$P_m = 2 (104,72)$$

$$P_m = 209,44 \text{ W}$$

Donde:

T_M : Torque del motor en [Nm].

ω_M : Velocidad angular del motor en [rad/s].

La potencia calculada $P_m = 209,44 \text{ W}$ de la gráfica de torque vs rpm del motor seleccionado Figura 30, es mayor a la potencia requerida calculada $P_m = 175,61 \text{ W}$, por lo que el motor cumple con el requerimiento mínimo para la transmisión.

A continuación, se recalculan las fuerzas producidas en cada polea a causa de la transmisión por banda y caja de engranes, considerando que las pérdidas dirigidas a la polea A (Ecuación 16), igual a la pérdida producida por la caja de engranes; pérdidas dirigidas a la polea B (Ecuación 18), igual a las pérdidas producidas por la caja de engranes y la banda (Pérdidas totales):

$$Pérdida_A = 1 - Pérdida_e \quad \text{Ec. 16}$$

$$Pérdida_A = 1 - 0,04 = 0,96$$

Donde:

$Pérdida_A$: Pérdidas dirigidas a la polea A

$$P_A = P_M(\text{Pérdida}_A) \quad \text{Ec. 17}$$

$$P_A = 209,44 (0,96)$$

$$P_A = 201,06 \text{ W}$$

Donde:

P_A : Potencia en el Punto A en [W].

$$\text{Pérdida}_B = \text{Pérdidas}_t = 1 - \text{Pérdidas}_b - \text{Pérdidas}_e \quad \text{Ec. 18}$$

$$\text{Pérdida}_B = 0,71$$

Donde:

Pérdida_B : Perdidas dirigidas a la polea B

$$P_B = P_M(\text{Pérdida}_B) \quad \text{Ec. 19}$$

$$P_B = 209,44 (0,71)$$

$$P_B = 148,7 \text{ W}$$

Donde:

P_B : Potencia en el Punto B en [W].

$$T_A = \frac{P_A}{\omega_B} \quad \text{Ec. 20}$$

$$T_A = \frac{201,06}{20,94}$$

$$T_A = 9,6 \text{ Nm}$$

$$T_B = \frac{P_B}{\omega_B} \quad \text{Ec. 21}$$

$$T_B = \frac{148,7}{20,94}$$

$$T_B = 7,1 \text{ Nm}$$

Las fuerzas impulsoras netas sobre las poleas de bandas en V se calculan con la Ecuación 22 y 23.

$$F_{NA} = \frac{T_A}{\frac{D_A}{2}} \quad \text{Ec. 22}$$

$$F_{NA} = \frac{9,6}{\frac{0,12}{2}}$$

$$F_{NA} = 160 \text{ N}$$

Donde:

F_{NA} : Fuerza impulsora neta del punto A en [N].

$$F_{NB} = \frac{T_B}{\frac{D_B}{2}} \quad \text{Ec. 23}$$

$$F_{NB} = \frac{7,1}{\frac{0,12}{2}}$$

$$F_{NB} = 118,33 \text{ N}$$

Donde:

F_{NB} : Fuerza impulsora neta del punto B en [N].

La fuerza F_A y F_B generan momentos sobre el perfil ya que se ubican a 0,08 m de la ubicación del eje neutro del perfil, los mismos que pueden ser calculados con la Ecuación 24 y 25.

$$F_A = 1,5 F_{NA} \quad \text{Ec. 24}$$

$$F_A = 1,5(160)$$

$$F_A = 240 \text{ N}$$

$$F_B = 1,5 F_{NB} \quad \text{Ec. 25}$$

$$F_B = 1,5(118,33)$$

$$F_B = 177,49 \text{ N}$$

$$M_A = F_A(0,08) \quad \text{Ec. 26}$$

$$M_A = 240(0,08)$$

$$M_A = 19,2 \text{ Nm}$$

$$M_B = F_B(0,08) \quad \text{Ec. 27}$$

$$M_B = 177,49(0,08)$$

$$M_B = 14,19 \text{ Nm}$$

Donde:

M_A : Momento que ejerce la fuerza en el punto A sobre el perfil de base en [N.m].

M_B : Momento que ejerce la fuerza en el punto B sobre el perfil de base en [N.m].

b. Cálculo para la selección de la banda en V.

Para elegir correctamente una banda en V se debe tener en cuenta parámetros como la distancia que recorre linealmente el carro principal de la máquina sobre las fonturas, la misma que se puede deducir del ancho total de la máquina (1970 mm) más el acople de la banda (50 mm) y menos el ancho del carro (334 mm) en la Figura 31, con el cual se establece la distancia entre centros, el valor de diámetro de paso de las poleas de 120 mm, y la potencia del motor que anteriormente se seleccionó.

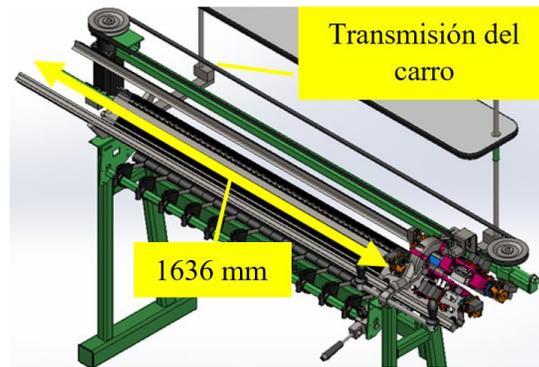


Figura 31 Distancia que recorre linealmente el carro principal.

En el mercado local se encuentran generalmente las bandas de sección clásica por lo que se procede a seleccionar de entre estas la de sección A (Anexo A 1), partiendo del diámetro de la polea que anteriormente se estableció en 120mm ($4,7\text{in}$) y la potencia de entrada del sistema (PA) $192,68\text{W}$ ($0,26\text{hp}$).

Se debe conocer también longitud de paso L_p de la banda, la cual establece la medida de la banda abierta, se determina mediante la Ecuación 28, Nisbett (2008), capítulo 17 de elementos mecánicos flexibles.

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad \text{Ec. 28}$$

$$L_p = 2(66,38\text{in}) + \frac{\pi(4,7\text{in} + 4,7\text{in})}{2} + \frac{(4,7\text{in} - 4,7\text{in})^2}{4(66,38\text{in})}$$

$$L_p = 147,53\text{in}$$

Donde:

C : es la distancia entre centros [in]. ($1686\text{mm}=66,38\text{in}$)

D : diámetro de paso de la polea mayor [in]. (120mm=4,7in)

d : diámetro de paso de la polea menor [in]. (120mm=4,7in)

Se debe elegir la banda cuya longitud sea inmediata superior a lo calculado es decir la A158, tomando como referencia el catálogo de bandas de la marca DRB, como se muestra en el Anexo A 2.

Se debe recalcular la distancia entre centros con la Ecuación 29, Nisbett (2008), capítulo 17 de elementos mecánicos flexibles.

$$C = 0,25 \left\{ \left[Lp - \frac{\pi(D + d)}{2} \right] + \sqrt{\left[Lp - \frac{\pi(D + d)}{2} \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad \text{Ec. 29}$$

$$C = 0,25 \left\{ \left[147,53 \text{ in} - \frac{\pi(4,7 \text{ in} + 4,7 \text{ in})}{2} \right] + \dots \right. \\ \left. \dots + \sqrt{\left[147,53 \text{ in} - \frac{\pi(4,7 \text{ in} + 4,7 \text{ in})}{2} \right]^2 - 2(4,7 \text{ in} - 4,7 \text{ in})^2} \right\}$$

$$C = 71,62 \text{ in} = 1819,08 \text{ mm}$$

El ángulo de contacto de la banda sobre las poleas, se puede establecer con la Ecuación 30, Nisbett (2008), capítulo 17 de elementos mecánicos flexibles.

$$A = 180^\circ - 57^\circ \left(\frac{D - d}{C} \right) \quad \text{Ec. 30}$$

$$A = 180^\circ - 57^\circ \left(\frac{4,7 - 4,7}{71,62} \right)$$

$$A = 180^\circ$$

Para el cálculo del número de bandas de la transmisión se procede, estableciendo diversos factores como:

Potencia corregida (P_c), se calcula con la Ecuación 31, obtenida de Galbarro (2019).

$$P_c = P_A(K) \quad \text{Ec. 31}$$

$$P_c = 201,06 W(1,2)$$

$$P_c = 241,72 W$$

Donde:

P_A : es la potencia en la Polea A (Potencia de entrada) en [W]. ($P_A = 201,06 W$)

K : es el factor de corrección de potencia de acuerdo al Anexo A 3 ($K = 1,2$, para maquinas motrices de carga ligera que trabajan de 6 a 16 horas diarias y a una velocidad menor a 600 rpm).

Potencia efectiva (P_e), se calcula con la Ecuación 32, obtenida de Galbarro (2019).

$$Pe = Pb(Fcl)(FCA) \quad \text{Ec. 32}$$

$$Pe = 350,48W(1,14)(1)$$

$$Pe = 399,55 W$$

Donde:

Pb: es la potencia base en [W], de acuerdo al Anexo A 4, es de 0,47 hp= 350,48W (*Pb* = 350,48W Bandas de sección A que trabajan a 200 rpm y con poleas de diámetro de 120 mm).

Fcl: es el coeficiente corrector por longitud de la banda, de acuerdo al Anexo A 5 (*Fcl* = 1,14 Banda de sección A con una longitud de banda de 158 pulg.).

FcA: es el coeficiente corrector por arco de contacto, de acuerdo al Anexo A 6 (*FcA* = 1, para un ángulo de contacto de la banda con la polea de 180°).

El número de bandas utilizadas (# bandas) se establece con la Ecuación 33, obtenida de Galbarro (2019).

$$\# \text{ bandas} = \frac{Pc}{Pe} \quad \text{Ec. 33}$$

$$\# \text{ bandas} = \frac{241,72 W}{399,55 W}$$

$$\# \text{ bandas} = 0,61 \cong 1$$

c. Determinación del diámetro del eje en la polea conducida (punto B).

Se especifican los pesos a cada lado del perfil que se utiliza de base para la transmisión (Figura 32), datos obtenidos del programa CAD de diseño y Anexo A 12, a continuación en la Tabla 23:

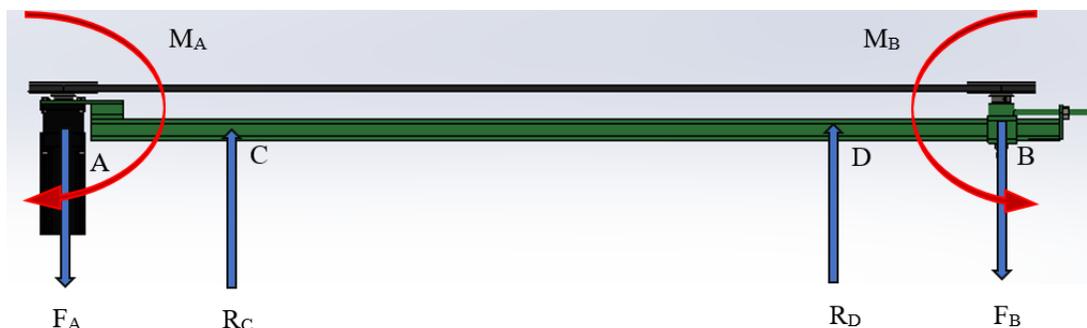


Figura 32 Representación de fuerzas y momentos que actúan sobre la base de la transmisión

Tabla 23

Distribución de pesos en la base de la transmisión

Ubicación	Elemento	Valor
	Servomotor híbrido Nema 34 (W_M)	5,3 Kgf (51,98 N)
Extremo izquierdo	Caja reductora (W_C)	2,5 Kgf (24,52 N)
	Polea conductora (W_{PM})	1,6 Kgf (15,7 N)
	Peso total extremo izquierdo ($F_A = W_M + W_C + W_{PM}$)	9,4Kgf (92,2N)
Extremo derecho	Polea conducida (W_{PC})	1,75 Kgf (17,16 N)
	Base polea conducida (W_T)	0,69Kgf (6,77N)
	Peso total en extremo derecho ($F_B = W_{PC} + W_T$)	2,44Kgf (23,93N)

A continuación, se presentan los diagramas de carga, fuerza cortante y momento flector sobre la base de las poleas (Figura 33), realizado mediante un software de análisis de elementos mecánicos.

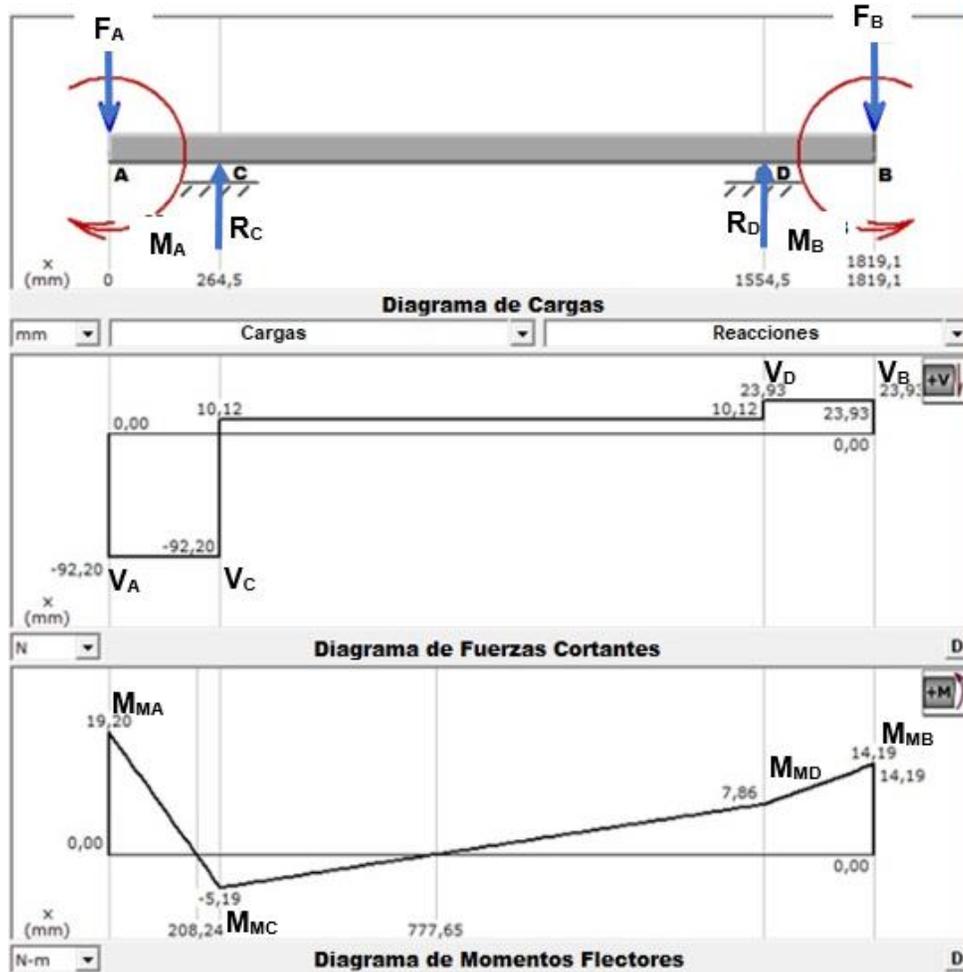


Figura 33 Diagramas de cargas, fuerzas cortantes y momentos flectores de la base de toda la transmisión.

Sumatoria de fuerzas en el eje y

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_A + R_C + R_D - F_B = 0$$

$$R_C + R_D = 92,2 N + 23,93 N$$

$$R_C + R_D = 116,13 N$$

Donde:

R_C : Fuerza de reacción del punto C en [N].

R_D : Fuerza de reacción del punto D en [N].

Sumatoria de momentos en el punto C

$$\sum M_C = 0$$

$$R_D(1,29 m) - F_B (1,55 m) + F_A(0,26 m) - M_A + M_B = 0$$

$$R_D(1,29 m) - 23,93 N (1,55 m) + 92,2 N(0,26 m) - 19,2Nm + 14,19Nm = 0$$

$$R_D = 18,13 N$$

$$R_C = 98 N$$

De los diagramas representados en la Figura 33 se obtienen los siguientes valores:

Fuerzas Cortantes Máximas

- Fuerza cortante en el punto A: $V_A = -92,2N$
- Fuerza cortante en el punto C: $V_C = -92,2N$
- Fuerza cortante en el punto D: $V_D = 23,93N$

- Fuerza cortante en el punto B: $V_B = 23,93N$

Momentos Flectores Máximos

- Momento flector en el punto A: $M_{MA} = 19,2Nm$
- Momento flector en el punto C: $M_{MC} = -5,19Nm$
- Momento flector en el punto D: $M_{MD} = 7,86Nm$
- Momento flector en el punto B: $M_{MB} = 14,19Nm$

El análisis para el cálculo del eje se debe realizar por fatiga basados en los métodos de Nisbett (2008), del capítulo 7 de ejes, flechas y sus componentes.

Para el eje se seleccionará como material el Acero AISI 1020 (disponible en el mercado local Anexo A 11), cuyas propiedades son:

- Esfuerzo último en tracción $S_{ut} = 469 MPa (68 ksi)$
- Resistencia de fluencia $S_y = 393 MPa (57 ksi)$

Se formula el diagrama de cargas, fuerzas cortantes y momentos flectores sobre el eje B, como se muestra en la Figura 34, donde se han obtenido los siguientes resultados:

Fuerzas Cortantes

- Fuerza cortante en el punto A: $V_R = -177,49N$
- Fuerza cortante en el punto C: $V_B = -177,49N$

Momentos Flectores

- Momento flector en el punto A: $M_R = 14,2Nm$
- Momento flector en el punto C: $M_B = 0Nm$

En la Figura 35 se puede visualizar la representación de las fuerzas que actúan sobre el eje.

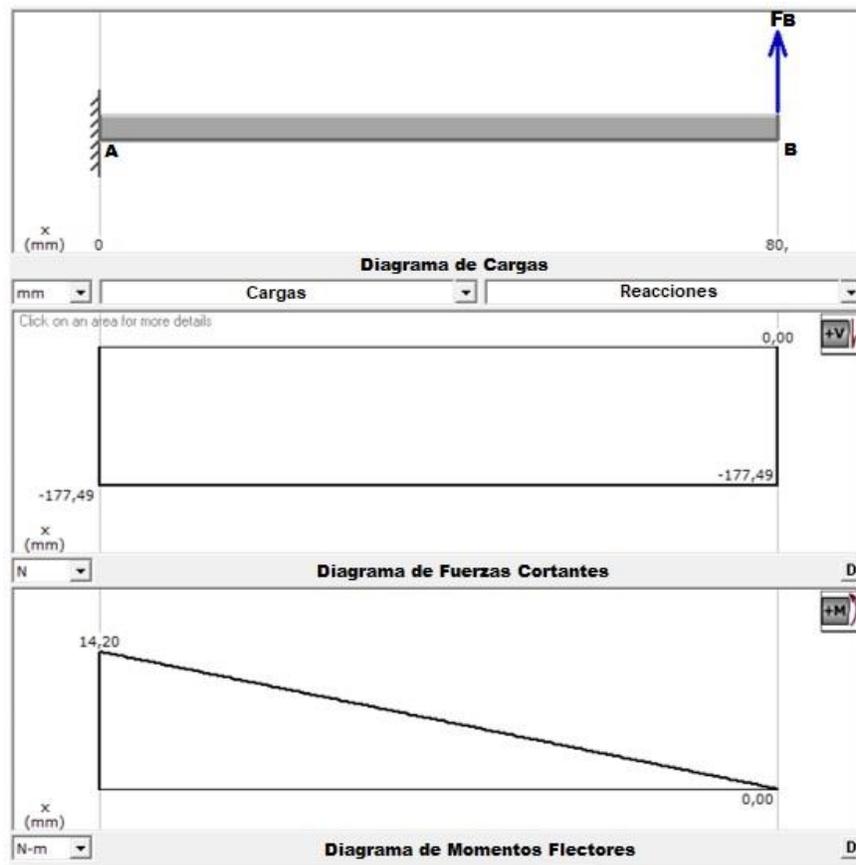


Figura 34 Diagrama de cargas, fuerzas cortantes y momentos flectores para el eje en B.

En el punto B se acopla la polea conducida del sistema, mientras que el punto R, la base (rodamiento).

Cálculo de límite de resistencia a la fatiga, Nisbett (2008), capítulo 6 de fallas por fatiga resultantes de carga variable.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad \text{Ec. 34}$$

Donde

k_a : factor de modificación de la condición superficial

k_b : factor de modificación del tamaño

k_c : factor de modificación de la carga

k_d : factor de modificación de la temperatura

k_e : factor de confiabilidad

k_f : factor de modificación de efectos varios

S'_e : límite de resistencia a la fatiga de viga rotatoria

S_e : límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

Para el caso donde $S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi}$ (1400 MPa):

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \quad \text{Ec. 35}$$

$$S'_e = 0,5 (469 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 234,5 \text{ MPa}$$

- **ka**, factor de superficie, se calcula con Ecuación 36.

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ec. 36}$$

Cuyos factores se presentan en el Anexo A 7, en este caso el acabado superficial es maquinado.

$$k_a = 0,88$$

- k_b : factor de tamaño, se asume que $d=20\text{mm}$, entonces cuando $2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$, se establece la Ecuación 37.

$$k_b = 1,24d^{-0,107} \quad \text{Ec. 37}$$

$$k_b = 0,89$$

- k_c : factor de carga, ya que está sometido a flexión y torsión se utiliza el de menor valor en este caso a torsión:

$$k_c = 0,59$$

- k_d : factor de temperatura, se asigna del Anexo A 8.
A temperatura ambiente (20°C):

$$k_d = 1$$

- k_e : factor de confiabilidad, se puede encontrar en el Anexo A 9:
- k_f : factor de efectos varios, se asume:

$$k_f = 1$$

Una vez hallados todos los factores de confiabilidad se procede a encontrar el límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e = 108,36 \text{ MPa}$$

Posteriormente se calcula el factor de concentración del esfuerzo por fatiga, que para su primera iteración se toma los valores del Anexo A 10.

Por sugerencia del autor, al tratarse de un elemento de transmisión el cual se ubicará sobre el eje, se selecciona la opción de filete de hombro: agudo $\left(\frac{r}{d} = 0,02\right)$ para el caso en B, mientras que para el caso en R se selecciona la opción de filete de hombro: bien redondeado $\left(\frac{r}{d} = 0,1\right)$, entonces:

Filete de hombro: agudo

$$K_f = K_t = 2,7$$

$$K_{fs} = K_{ts} = 2,2$$

Filete de hombro: bien redondeado

$$K_f = K_t = 1,7$$

$$K_{fs} = K_{ts} = 1,5$$

Entonces se procede a calcular el diámetro del eje en el punto B y R, con la Ecuación 38, basada en la teoría de Goodman, según Nisbett (2008), del capítulo 7 de ejes, flechas y sus componentes:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde:

d : diámetro del eje calculado

n : factor de seguridad

M_a : Momento alternante en [N.m] ($M_B = 0 Nm$ y $M_R = 14,2 Nm$)

T_a : Torque alternante en [N.m] (En este caso es igual a cero)

M_m : Momento medio en [N.m] (En este caso es igual a cero)

T_m : Torque medio en [N.m] ($T_B = 7,1 Nm$)

Reemplazando todos los valores encontrados se obtienen los valores de diámetro igual a:

$$dB = \left(\frac{16(2)}{\pi} \left\{ \frac{1}{108,36 MPa} [4(2,7(0Nm))^2 + 3(2,2(0Nm))^2]^{\frac{1}{2}} + \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{469 MPa} [4(2,7(0Nm))^2 + 3(2,2(7,1Nm))^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$dB = 8,13 mm$$

$$dR = \left(\frac{16(2)}{\pi} \left\{ \frac{1}{108,36 MPa} [4(2,7(14,2Nm))^2 + 3(2,2(0Nm))^2]^{\frac{1}{2}} + \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{469 MPa} [4(2,7(0Nm))^2 + 3(2,2(7,1Nm))^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$dR = 16,76 mm$$

Donde:

dB : Diámetro para el eje en la polea conducida.

dR : Diámetro para el eje en el rodamiento de la polea conducida.

Se aproxima los valores de los diámetros a valores estándar, como se puede observar en la

Figura 35.

$$dB = 9,525 \text{ mm} = \frac{3}{8} \text{ in}$$

$$dR = 19,05 \text{ mm} = \frac{3}{4} \text{ in}$$

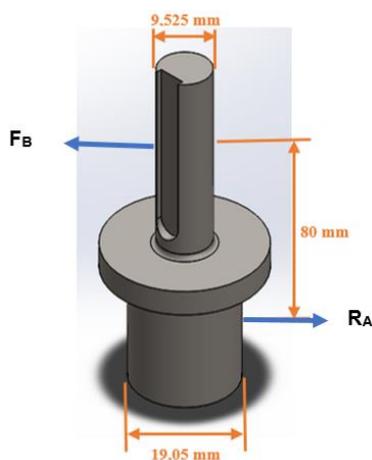


Figura 35 Vista Isométrica del eje diseñado

En base a las ecuaciones del Anexo A 10, de la relación de radio de la muesca sobre el diámetro:

$$\frac{rB}{dB} = 0,02 \text{ y } \frac{rR}{dR} = 0,1$$

$$rB = 0,19 \text{ mm}$$

$$rR = 1,9 \text{ mm}$$

Donde:

rB y rR : son el radio de la muesca de la polea y el rodamiento respectivamente.

Por sugerencia de Nisbett (2008) se considera para ambos diámetros:

$$\frac{DB}{dB} = \frac{DR}{dR} = 1,5$$

$$DB = 14,29 \text{ mm}$$

$$DR = 28,52 \text{ mm}$$

Donde DB y DR son los diámetros mayores de cambio de sección para la polea y el rodamiento respectivamente.

Para el recalcu del factor de concentración del esfuerzo por fatiga se procede con la Ecuación 39 y 40

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Ec. 39}$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

q y $q_{cortante}$: es la sensibilidad a la muesca a esfuerzos normales y cortantes respectivamente. Los cuales se pueden calcular mediante la Ecuación 41.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

\sqrt{a} : se le conoce como la constante de Neuber.

Para flexión o axial se calcula con la Ecuación 42 (Reemplazando el valor de S_{ut} en *ksi*):

$$\sqrt{a} = 0,246 - 3,08 (10^{-3})S_{ut} + 1,51 (10^{-5})S_{ut}^2 - 2,67(10^{-8})S_{ut}^3 \quad \text{Ec. 42}$$

$$\sqrt{a} = 0,09 \sqrt{pulg} = 0,49\sqrt{mm}$$

Para torsión se calcula con la Ecuación 43 (Reemplazando el valor de S_{ut} en *ksi*):

$$\sqrt{a} = 0,19 - 2,51 (10^{-3})S_{ut} + 1,35 (10^{-5})S_{ut}^2 - 2,67 (10^{-8})S_{ut}^3 \quad \text{Ec. 43}$$

$$\sqrt{a} = 0,07\sqrt{pulg} = 0,37\sqrt{mm}$$

Entonces los valores de la sensibilidad a la muesca para la polea y el rodamiento son de:

$$q_B = 0,47 \text{ y } q_R = 0,74$$

$$q_{cortanteB} = 0,54 \text{ y } q_{cortanteR} = 0,79$$

Además, los factores de concentración de esfuerzos de la polea y el rodamiento son de:

$$K_fB = 2,3 \text{ y } K_fR = 1,5$$

$$K_{f_s}B = 1,94 \text{ y } K_{f_s}R = 1,4$$

El factor de seguridad se calcula mediante el método de Goodman Modificado con la Ecuación

44.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad \text{Ec. 44}$$

Donde:

σ'_a : es el esfuerzo alternante en [MPa].

σ'_m : es el esfuerzo medio en [MPa].

Basándose en la combinación de esfuerzos de acuerdo a la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos de Von Mises para ejes están dados por las Ecuaciones 45 y 46.

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{32 K_f(M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{32 K_{fs}(T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 45}$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{32 K_f(M_m)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{32 K_{fs}(T_m)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 46}$$

Por lo que los esfuerzos hallados para la polea y el rodamiento son de:

$$\sigma'_a B = 0 \text{ MPa y } \sigma'_a B = 112,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m B = 26,61 \text{ MPa y } \sigma'_m B = 11,92 \text{ MPa}$$

Entonces el factor de seguridad para la polea y el rodamiento es igual a:

$$nB = 4,15 \cong 4.$$

$$nR = 3,31 \cong 3.$$

Por lo que el diseño es aceptable al ser un factor mayor a uno.

3.5.2. Cálculo de la leva del rodillo.

La activación del mecanismo del rodillo se realizó mediante una leva (Figura 36), ya que la palanca que permite la generación de movimiento necesita impulsos lineales cortos, convirtiéndola en este caso en el seguidor; la variación de los impulsos es de 59 mm aproximadamente. Se estableció también, que, por cada pasada del carro, la leva debe avanzar una vuelta.

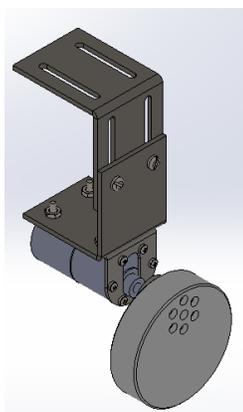


Figura 36 Leva circular excéntrica

El perfil de la leva que se seleccionó es circular (excéntrica), ya que aporta un movimiento armónico simple, donde el seguidor se ubica bajo el centro geométrico de la leva. En la Figura 37 se puede observar las dimensiones del perfil de la leva.

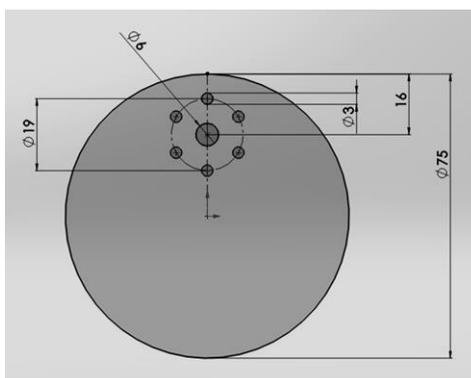
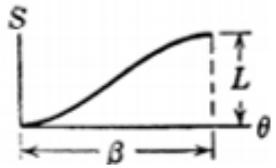
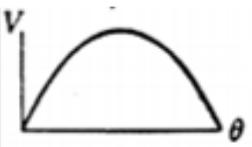
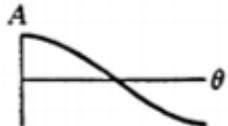


Figura 37 Dimensiones del perfil de la leva circular (excéntrica)

Se calculó la escala de movimientos del seguidor mediante las ecuaciones presentadas en la Tabla 24.

Tabla 24

Gráficas y ecuaciones para hallar la posición, velocidad y aceleración en el seguidor.

Tipo	Representación	
	Gráfica	Ecuación
Posición		$S = \frac{L}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right) \quad \text{Ec. 47}$
Velocidad		$V = \frac{\pi L}{2\beta} \left(\sin \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right) \quad \text{Ec. 48}$
Aceleración		$A = \frac{\pi^2 L}{2\beta^2} \left(\cos \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right) \quad \text{Ec. 49}$

Fuente: (Lozano, 2017)

Donde:

S : Posición del seguidor [mm]

V : Velocidad del seguidor [mm/s]

A : Aceleración del seguidor [mm/s^2]

L : Variación del movimiento del seguidor [mm]

θ : Posición angular de la leva [*rad*]

β : Periodo angular del movimiento de la leva [*rad*]

Reemplazando los valores establecidos inicialmente en las ecuaciones 47, 48 y 49:

$$S = \frac{L}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right)$$

$$S = \frac{59}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{\pi\theta}{\pi} \right) \right)$$

$$S = 29,5(1 - \cos(\theta))$$

$$V = \frac{\pi L}{2\beta} \left(\sin \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right)$$

$$V = \frac{\pi(59)}{2(\pi)} \left(\sin \left(\frac{\pi\theta}{\pi} \right) \right)$$

$$V = 29,5(\sin(\theta))$$

$$A = \frac{\pi^2 L}{2\beta^2} \left(\cos \left(\frac{\pi\theta}{\beta} \right) \right)$$

$$A = \frac{\pi^2(59)}{2\pi^2} \left(\cos \left(\frac{\pi\theta}{\pi} \right) \right)$$

$$A = 29,5(\cos(\theta))$$

Se puede observar las gráficas de posición lineal del seguidor vs posición angular de la leva en la Figura 38, velocidad lineal del seguidor vs posición angular de la leva en la Figura 39 y aceleración lineal del seguidor vs posición angular de la leva en la Figura 40.

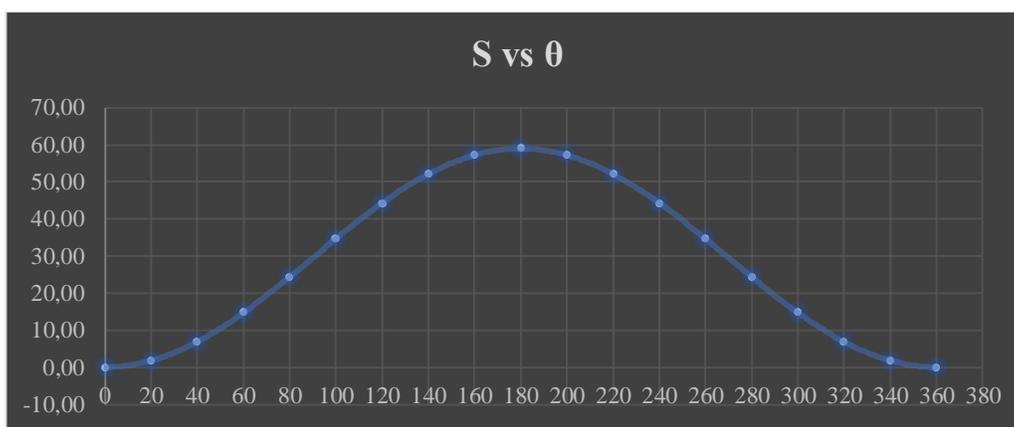


Figura 38 Gráfica de posición lineal del seguidor vs posición angular de la leva

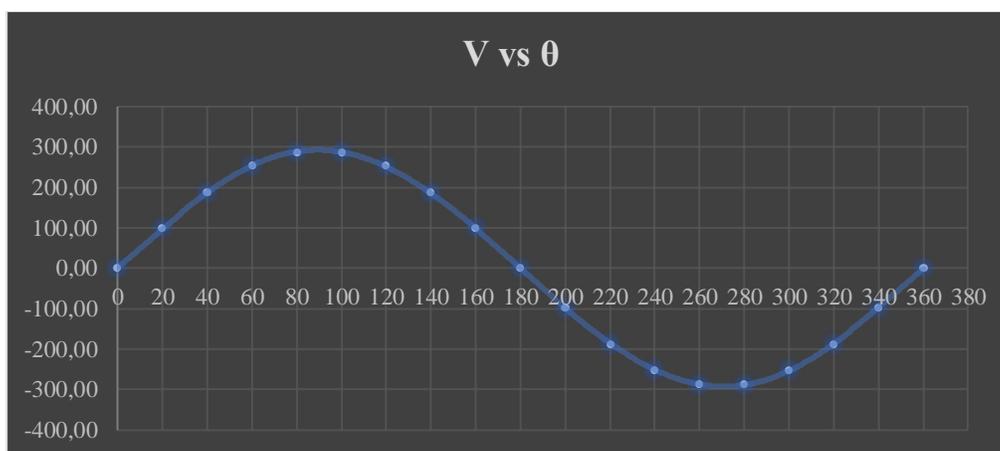


Figura 39 Gráfica de velocidad lineal del seguidor vs posición angular de la leva

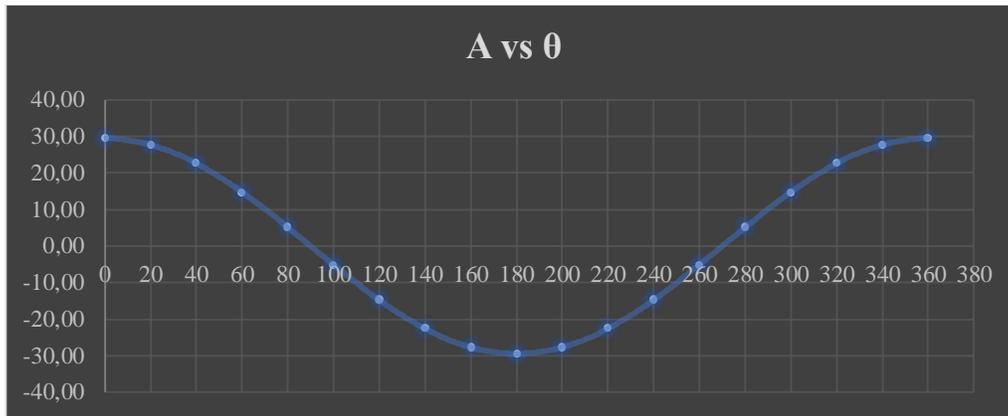


Figura 40 Gráfica de aceleración lineal del seguidor vs posición angular de la leva

3.5.3. Diseño de mecanismos para la selección de parámetros.

En la sección 3.2 se realizó la selección de conceptos, donde se estableció los mecanismos a utilizar en el sistema, por lo que se seleccionó una combinación de tres mecanismos distintos; todas las medidas para los mecanismos de las obtuvo de las dimensiones reales tomadas de la máquina, como se observa en la Figura 41, donde m0, m1, m2 y m3 corresponden al subsistema de selección de aguja; m4, m5, m6 y m7 corresponden al subsistema de selección de puntada adicional; m8, m9, m10 y m11 son parte del subsistema de selección de apriete y m12 es el subsistema de selección de guiahilo. También existen mecanismos que forman parte de la selección de parámetros, pero que no se implementan en el carro, como se presenta en la Figura 42 a) y b).

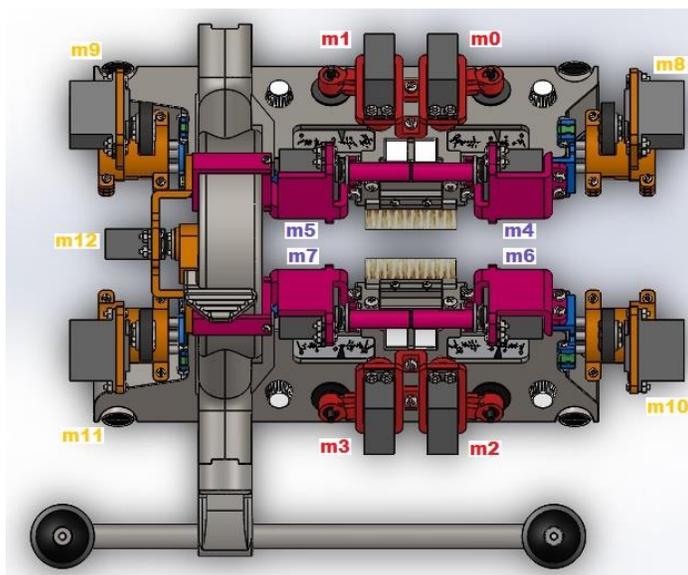


Figura 41 Mecanismos para selección de parámetros implementados en el carro

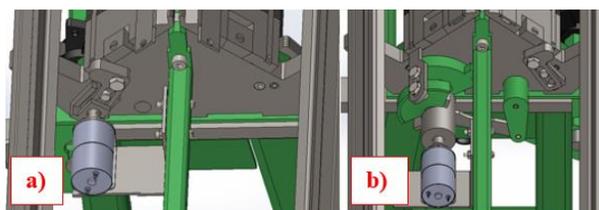


Figura 42 Mecanismos para la selección de parámetros implementados fuera del carro, a) para la fontura frontal, b) para la fontura posterior.

a. Mecanismos implementados en el carro

- **Subsistema de selección de agujas.**

En este sistema se utilizó los servomotores MG996R, con eslabones (Figura 43); el eslabón conectado a la perilla debe establecer una variación de ángulo máxima de 76° , como se estableció en la Sección 3.3. Debido a las dimensiones del carro, los eslabones poseen las medidas como se presenta en la Figura 44. El mecanismo se mueve en tres posiciones, para cada modo en el que trabaja este sistema, como se muestra en la Figura 45. Además, el material con el que fueron construidos fue plástico ABS.

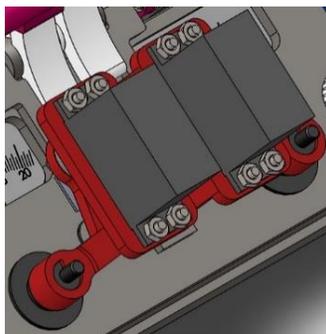


Figura 43 Mecanismo para el subsistema de selección de agujas.

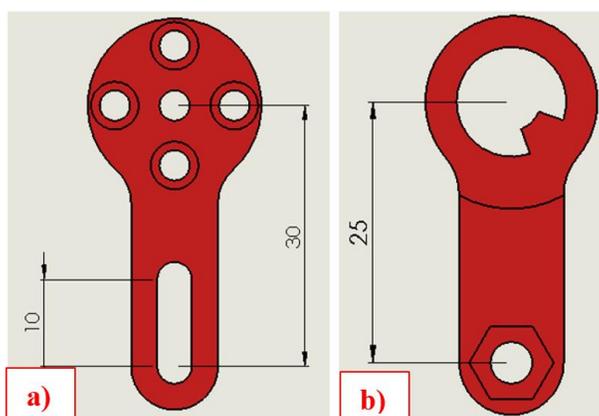


Figura 44 Medidas principales de los eslabones que componen el subsistema de selección de aguja (en mm), los cuales se conectan: a) con el servomotor y b) con la perilla.



Figura 45 Las 3 posiciones del mecanismo de selección de agujas: a) 38° , b) 0° y c) -38° .

A continuación, se establecen los parámetros para el cálculo de las posiciones en el eslabón que representa mayor relevancia (se encuentra conectado directamente con la perrilla), como se muestra en la Figura 46.

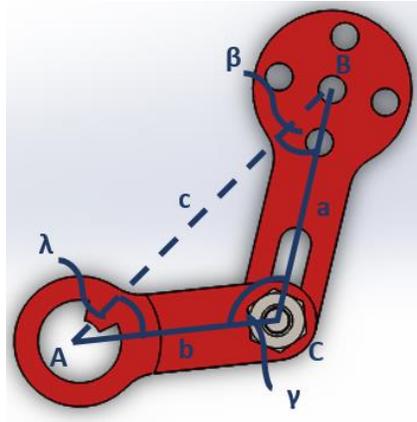


Figura 46 Parámetros del mecanismo de selección de agujas.

Donde:

A: Vértice formado entre el eslabón que se conecta a la perrilla y la diagonal de los puntos donde se ubican los ejes de sujeción de los eslabones.

B: Vértice formado entre el eslabón que se conecta al servomotor y la diagonal de los puntos donde se ubican los ejes de sujeción de los eslabones.

C: Vértice formado entre los eslabones.

λ : Ángulo del vértice *A*.

β : Ángulo del vértice *B*.

γ : Ángulo del vértice *C*.

a : Longitud del eslabón que se conecta al servomotor. [mm]

b : Longitud del eslabón que se conecta a la perilla. [mm]

c : Distancia de la diagonal de los puntos donde se ubican los ejes de sujeción de los eslabones igual a 45 mm.

Los valores máximos de los ángulos se los puede calcular mediante las leyes de coseno (Ecuación 50) y seno (Ecuación 51).

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab(\cos \gamma)} \quad \text{Ec. 50}$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{30^2 + 25^2 - 45^2}{2(30)(25)} \right)$$

$$\gamma = 109,47^\circ$$

$$\frac{a}{\sin(\lambda)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)} \quad \text{Ec. 51}$$

$$\frac{a}{\sin(\lambda)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$$

$$\lambda = \sin^{-1}\left(\frac{a(\sin(\gamma))}{c}\right)$$

$$\lambda = \sin^{-1}\left(\frac{30(\sin(109,47))}{45}\right)$$

$$\lambda = 38,94^\circ$$

$$\frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{b(\sin(\gamma))}{c}\right)$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{25(\sin(109,47))}{45}\right)$$

$$\beta = 31,59^\circ$$

El ángulo α indica la mitad de la apertura máxima del eslabón que conecta con la perrilla, por lo que la variación total sería igual al doble de ese valor es decir $77,88^\circ$ con lo que se puede establecer que satisface la variación de ángulo que requiere para dar los movimientos requeridos.

Conociendo el inverso de la velocidad angular del servomotor como se indica en sus características técnicas, igual a $0,17\text{s}/60^\circ$ (en 4,8V), se puede calcular la velocidad angular de los eslabones ω_a .

$$\omega_a = \frac{1}{\frac{0,17s}{60^\circ}}$$

$$\omega_a = \frac{352,94^\circ}{s} = 6,16 \frac{rad}{s}$$

Una vez hallado el valor de la velocidad angular en el eslabón que conecta al servomotor se puede establecer la Ecuación 52 con la que se puede calcular la posición angular en el mismo, sabiendo que el valor inicial de apertura del ángulo es de $-31,59^\circ$ ($-0,55$ rad) y el valor final de la apertura de ángulo es de $31,59^\circ$ ($0,55$ rad).

$$\omega_a = \frac{d\beta}{dt}$$

$$d\beta = \omega_a dt$$

$$\int_{\beta_0}^{\beta} d\beta = \omega_a \int_0^t dt$$

$$\beta = \beta_0 + \omega_a t$$

$$\beta = -0,55 + 6,16t$$

Ec. 52

El valor de tiempo a una apertura de $0,55$ rad, se calcula despejando la Ecuación 52.

$$0,55 = -0,55 + 6,16t$$

$$t = 0,18 \text{ s}$$

Mediante la ley de senos se establece la Ecuación 53 del ángulo del eslabón que conecta con el selector.

$$\frac{a}{\sin(\lambda)} = \frac{b}{\sin(\beta)}$$

$$\lambda = \frac{a(\sin(\beta))}{b}$$

$$\lambda = \frac{30(\sin(-0,55 + 6,16t))}{25}$$

$$\lambda = 1,2 \sin(-0,55 + 6,16t) \quad \text{Ec. 53}$$

Las ecuaciones de velocidad (Ecuación 54) y aceleración angular (Ecuación 55) del eslabón se pueden establecer derivando la Ecuación 53.

$$\dot{\lambda} = 7,39 \cos(-0,55 + 6,16t) \quad \text{Ec. 54}$$

$$\ddot{\lambda} = -45,52 \sin(-0,55 + 6,16t) \quad \text{Ec. 55}$$

En la Figura 47, Figura 48, Figura 49 y Figura 50, se representan las gráficas de los valores calculados de posición angular en los dos eslabones, velocidad angular y aceleración angular en el eslabón conectado al selector cada parámetro.

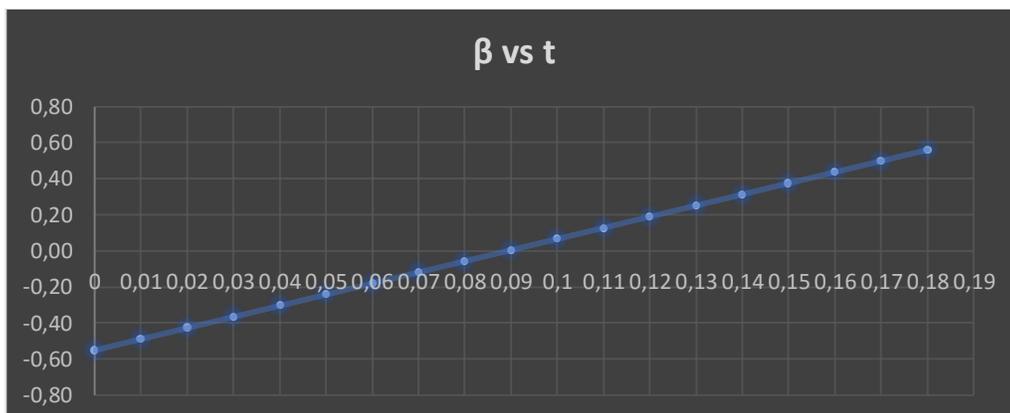


Figura 47 Gráfica de posición angular del eslabón conectado al servomotor vs tiempo

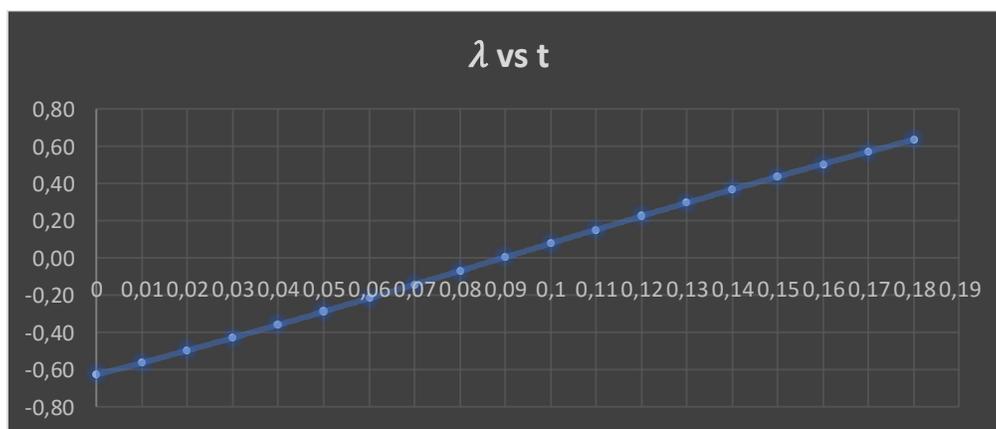


Figura 48 Gráfica de posición angular del eslabón conectado al selector vs tiempo

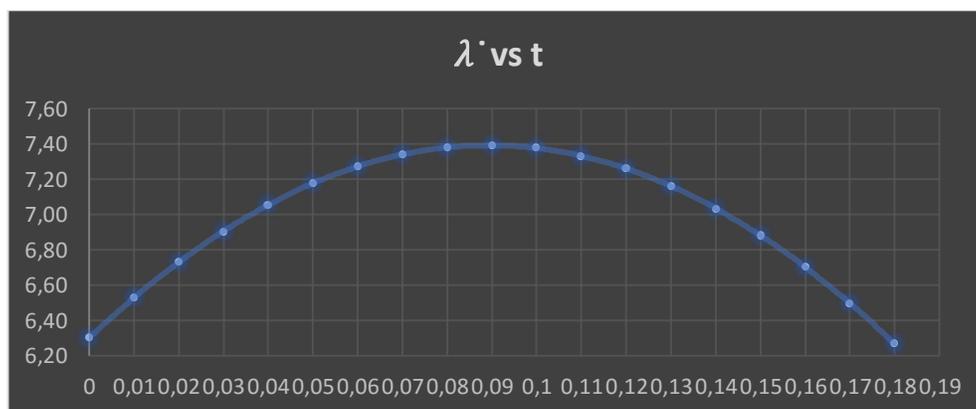


Figura 49 Gráfica de velocidad angular del eslabón conectado al selector vs tiempo

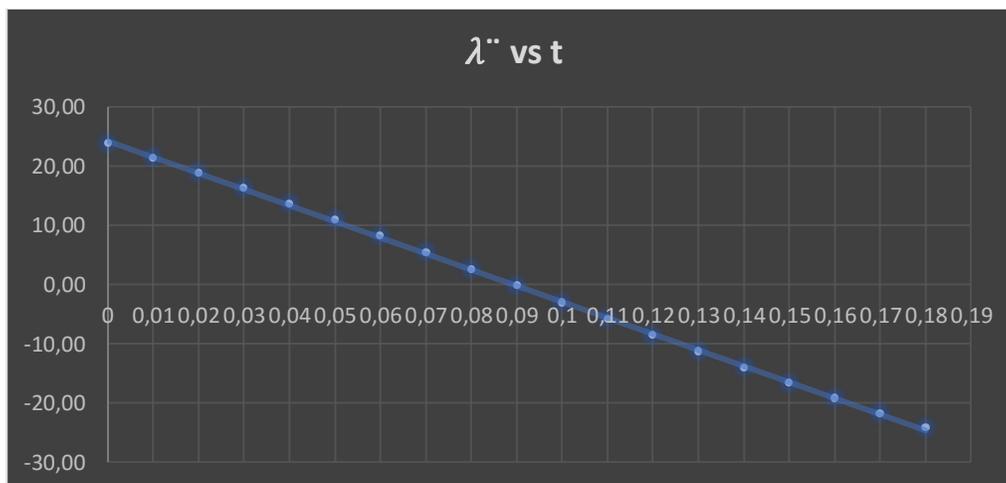


Figura 50 Gráfica de aceleración angular del eslabón conectado al selector vs tiempo

- **Subsistema de selección de puntada adicional.**

En el subsistema de selección de puntada adicional se utilizó acoples conectados directamente entre los servomotores y los selectores de puntada, se trabajó con un software CAD-CAE para su diseño, con el cual también se realizó su análisis, el material utilizado para el acople fue plástico ABS, impreso por deposición fundida (impresión 3D), cuyas propiedades fueron añadidas en el software como se muestra en la Figura 51.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	290075.4753	psi
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	46252.53454	psi
Densidad de masa	0.0368498	lb/pulgadas ³
Límite de tracción	4351.13213	psi
Límite de compresión		psi
Límite elástico	10225.16	psi
Coefficiente de expansión térmica		/°F
Conductividad térmica	3.01734e-006	Btu/(pulg·s·°F)
Calor específico	0.33104	Btu/(lb·°F)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 51 Propiedades mecánicas del plástico ABS

Fuente: (Ultimaker, 2017)

Los datos de ingreso para el análisis son: 9,4 Kgf.cm (0,92 Nm) el torque del servomotor MG996R y 5,39 N, aplicados para mover el selector, establecidos en la Sección 3.3, esto en la cavidad donde se acopla el selector. Se generó una malla sobre la pieza como se observa en la Figura 52. Se debe cumplir con las condiciones de diseño establecida en la Ecuación 56 y 57, para establecer un diseño seguro.

Esfuerzos

$$\tau_{Calculado} < \tau_{Recomendado} \quad \text{Ec. 56}$$

Factor de seguridad

$$n_{Calculado} > n_{Recomendado} \quad \text{Ec.57}$$

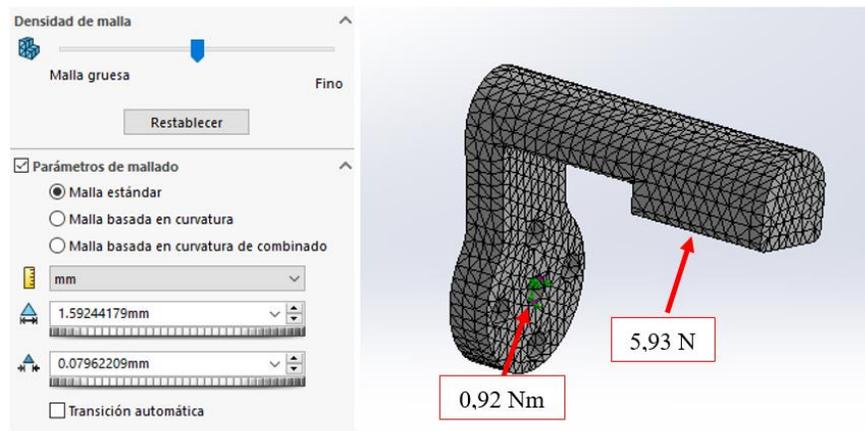


Figura 52 Malla generada en el acople del selector de puntada.

Posteriormente se generaron los resultados del análisis de tensiones de Von Mises, desplazamientos máximos y factor de seguridad como se detallan en las Figura 53, Figura 54 y Figura 55 respectivamente.

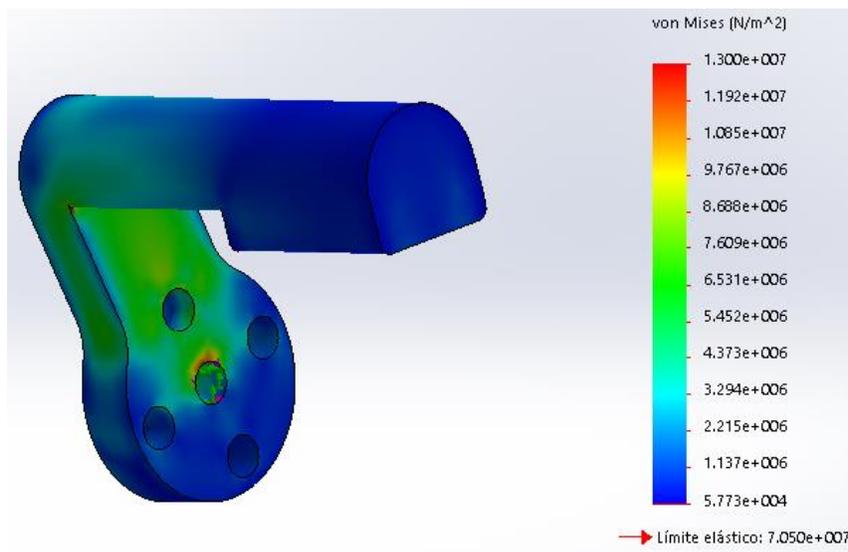


Figura 53 Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople del selector de puntada.

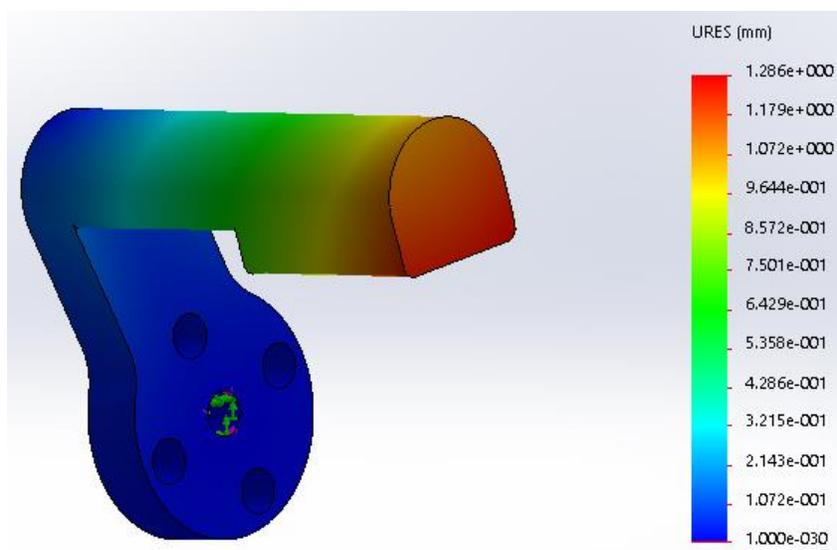


Figura 54 Resultados del análisis de desplazamientos en el acople del selector de puntada

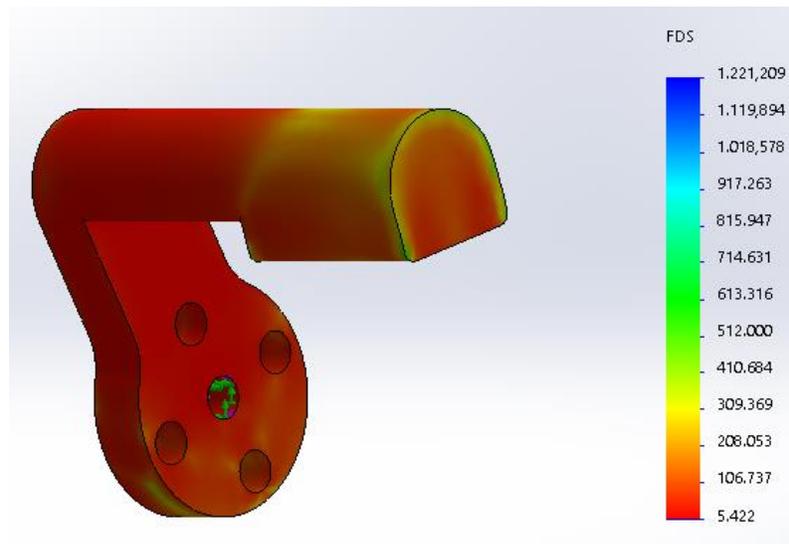


Figura 55 Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople del selector de puntada

Conclusión: como se detalla en la Figura 53, el máximo esfuerzo de Von Mises es de $1,300e^{+7}$ Pascales (esfuerzo calculado), y el límite elástico de $7,050e^{+7}$ Pascales (esfuerzo recomendado), cumpliendo así con la condición de la ecuación 53; por otra parte el desplazamiento máximo se produce en la cavidad donde conecta con el selector, que es de 1,286 mm siendo este bastante bajo (Figura 54) y el factor de seguridad mínimo es de 5,422 representado en la Figura 55 y es mayor que uno como se establece en la Ecuación 57, por lo que el diseño es confiable.

- **Subsistema de selección de apriete.**

La opción que se escogió para el subsistema de selección de apriete fueron ruedas de fricción, las cuales se acoplan a los selectores de variación de apriete que son pequeñas ruedas que accionan un mecanismo interno en el carro para cumplir con este fin. El material que se utilizó para la fabricación de las ruedas de fricción fue caucho nacional (caucho reciclado de llantas de automóvil), por su gran adherencia, fácil manufactura y costo, como se puede observar en la Figura 56.

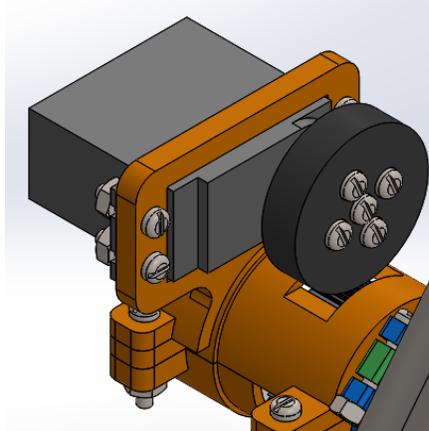


Figura 56 Rueda de fricción para subsistema de selección de apriete

Las ruedas de fricción se establecieron con diámetros de 40 mm por las dimensiones del carro, mientras que los selectores de apriete tienen diámetros de 1,2 mm. Se puede calcular la relación de velocidad con los diámetros mediante la Ecuación 58.

$$i = \frac{nr2}{nr1} = \frac{Dr1}{Dr2} \quad \text{Ec. 58}$$

$$i = \frac{40}{12} = 3,33$$

Donde:

Dr1: Diámetro de la rueda de fricción.

Dr2: Diámetro del selector de apriete.

nr2: Velocidad angular del selector de apriete.

nr1: Velocidad angular de la rueda de fricción.

i: Relación de velocidades entre la rueda de fricción y el selector de apriete.

La rueda de fricción gira a $6,16 \frac{rad}{s}$, por lo que con la relación de velocidad se pudo calcular la velocidad a la que girara el selector de apriete.

$$nr2 = nr1 * i$$

$$nr2 = (6,16)3,33$$

$$nr2 = 20,51 \frac{rad}{s}$$

Según datos obtenidos del movimiento de los selectores, con 450° se puede variar en 1 el nivel de apriete, por la relación de velocidades entre el selector de apriete y las ruedas de fricción igual a 3,33 se establece que se necesita 135° del movimiento de las ruedas de fricción para variar el nivel de apriete en 1.

- **Subsistema de selección de guiahilo.**

Al igual que el sistema de selección de puntada el selector de guiahilo se utilizó un acople directo entre el servomotor y la palanca de selección del guiahilo, un software CAD-CAE para su diseño y análisis, y el material con el que se fabricó fue plástico ABS, impreso por deposición fundida (impresión 3D).

Los datos de ingreso de torques, fueron 0,34 Nm del torque necesario para mover la palanca, de los datos encontrados en la Sección 3.3 y 0,92 Nm es el equivalente al toque que proporciona el servomotor MG996R. Se generó una malla sobre la pieza como se observa en la Figura 57.

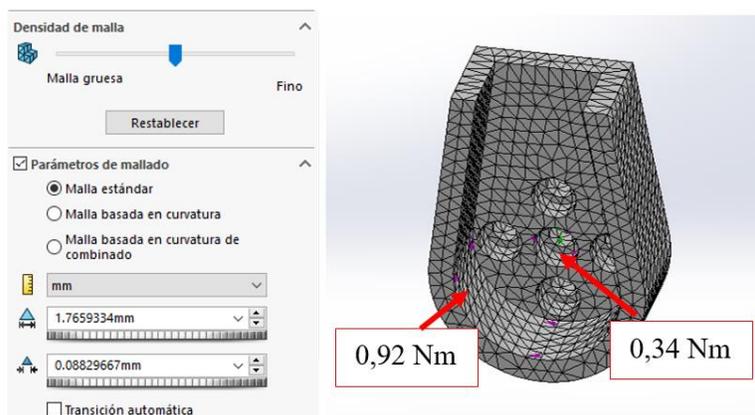


Figura 57 Malla generada en el acople del selector de guiahilo.

Posteriormente se generaron los resultados del análisis de tensiones de Von Mises, desplazamientos máximos y factor de seguridad como se detallan en las Figura 58, Figura 59 y Figura 60 respectivamente.

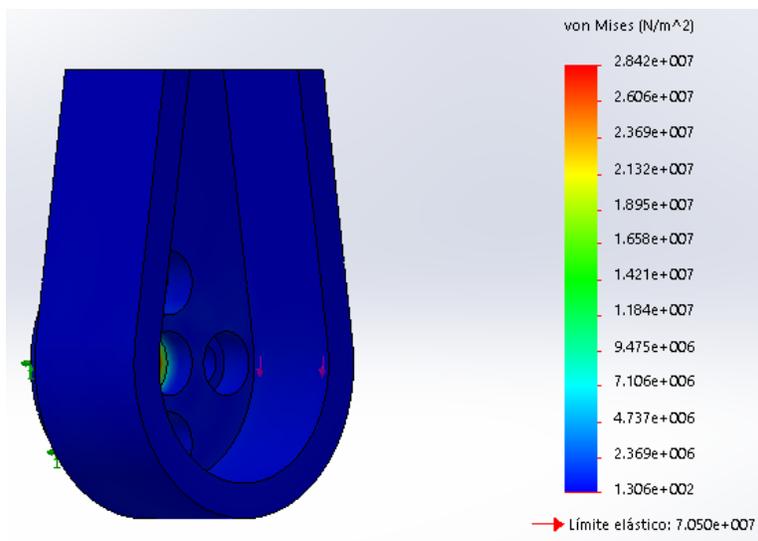


Figura 58 Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople del selector de guiahilo.

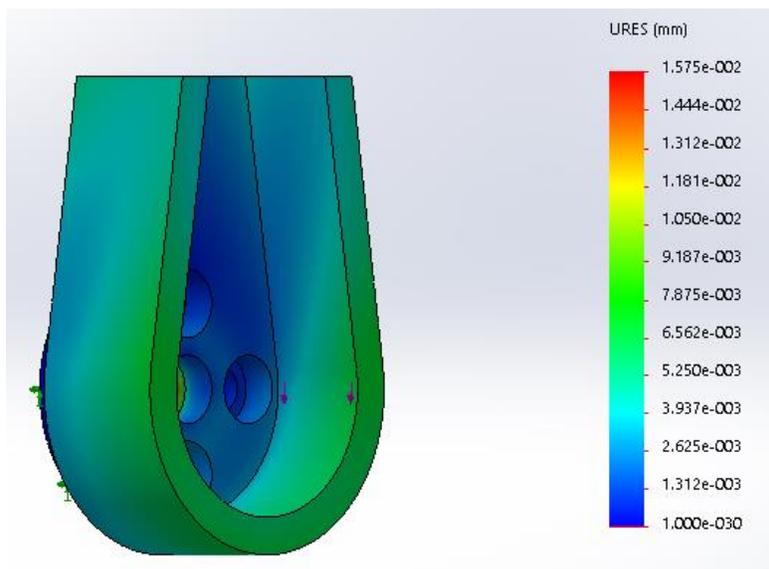


Figura 59 Resultados del análisis de desplazamientos en el acople del selector de guiahilo.

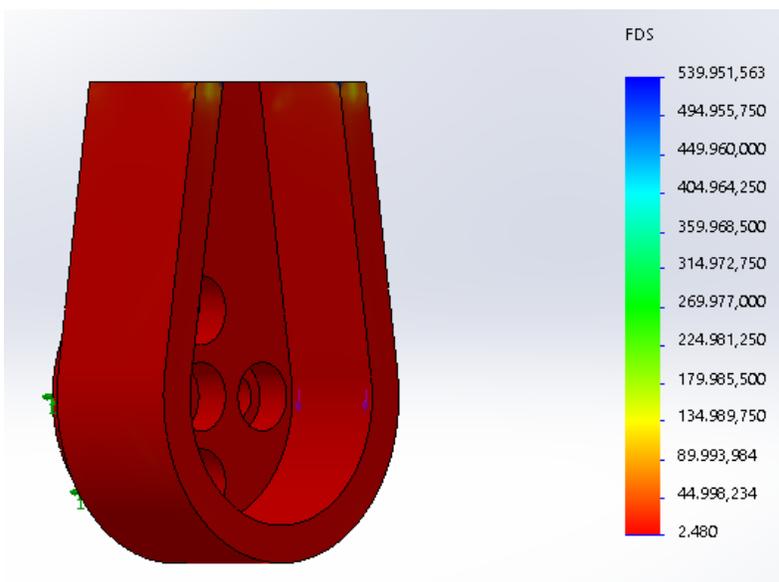


Figura 60 Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople del selector de guiahilo.

Conclusión: como se detalla en la Figura 58, el máximo esfuerzo de Von Mises es de $2,842e^{+7}$ Pascales (esfuerzo calculado), y el límite elástico de $7,050e^{+7}$ Pascales (esfuerzo recomendado), cumpliendo así con la condición de la Ecuación 56; por otra parte el desplazamiento máximo se

produce en la cavidad donde conecta con el selector, que es de $1,575e^{-2}$ mm siendo este bastante bajo (Figura 59) y el factor de seguridad mínimo es de 2,48 representado en la Figura 60 y es mayor que uno como se establece en la Ecuación 57, por lo que el diseño es confiable.

b. Mecanismo para la fontura frontal

El mecanismo para la apertura de la fontura frontal es un acople directo que conecta entre el motor reductor Pololu y el mecanismo de la fontura frontal, el cual fue diseñado y analizado en software CAD-CAE; el material utilizado para su construcción fue acero estructural A36, ya que este elemento es más crítico por los requerimientos de torque para la generación de movimientos.

Los datos de ingreso de torques, fueron 7,35 Nm del torque necesario para mover la palanca del mecanismo de la cama frontal, de los datos encontrados en la Sección 3.3 y 17,31 Nm es el equivalente al toque que proporciona el motor reductor Pololu. Se generó una malla sobre la pieza como se observa en la Figura 61.

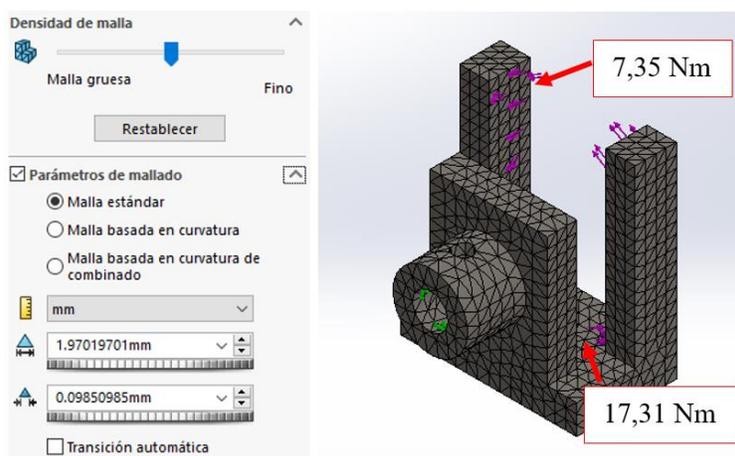


Figura 61 Malla generada en el acople para la apertura de la cama frontal.

Posteriormente se generaron los resultados del análisis de tensiones de Von Mises, desplazamientos máximos y factor de seguridad como se detallan en las Figura 62, Figura 63 y Figura 64 respectivamente.

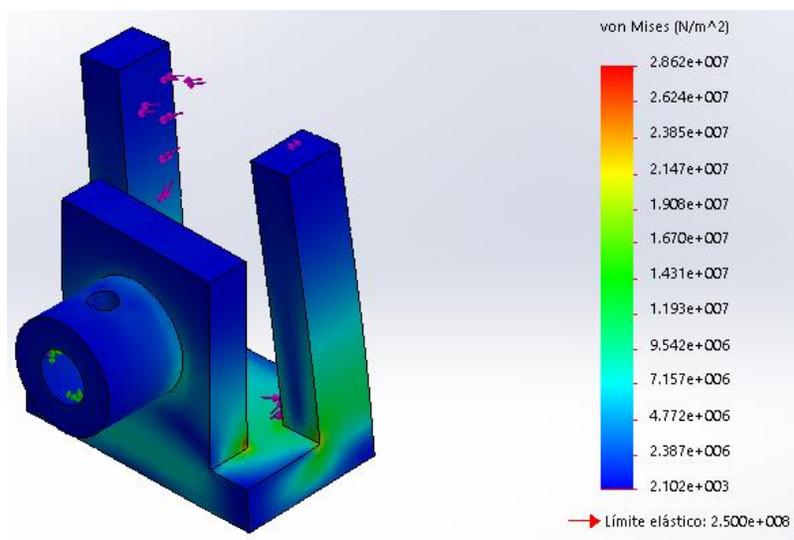


Figura 62 Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople para la apertura de la cama frontal.

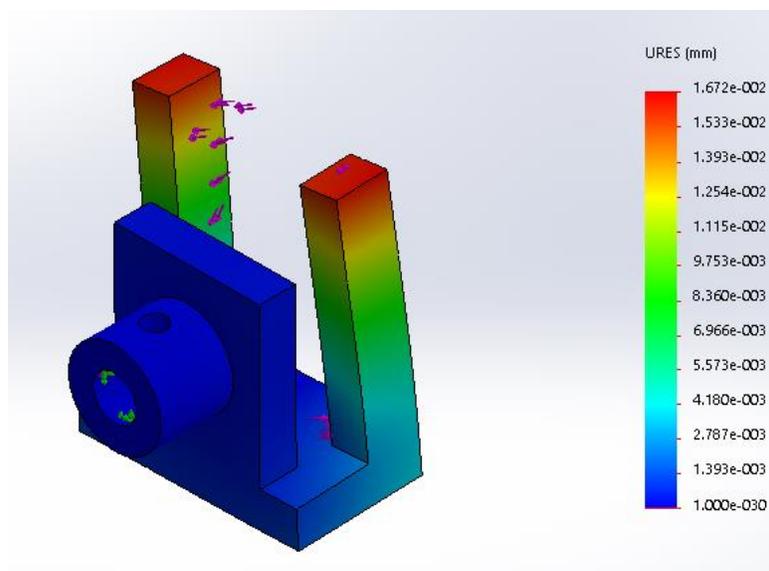


Figura 63 Resultados del análisis de desplazamientos en el acople para la apertura de la cama frontal.

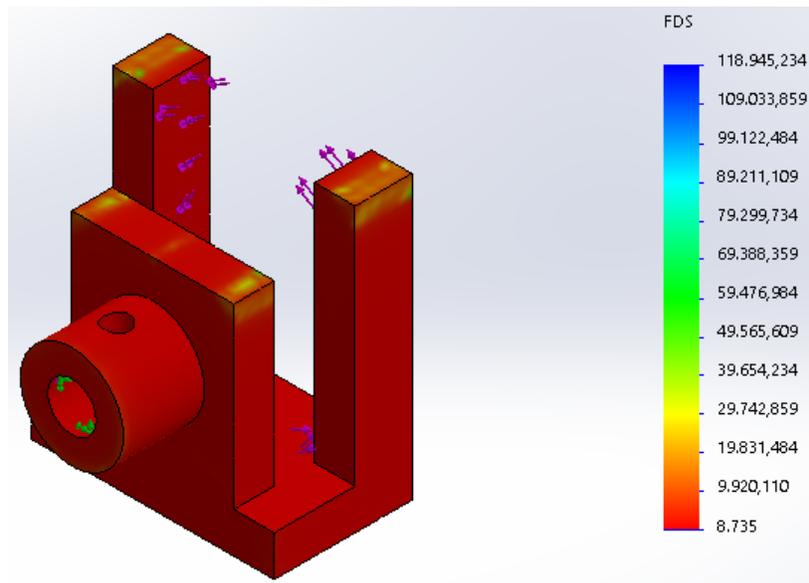


Figura 64 Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople para la apertura de la cama frontal.

Conclusión: como se detalla en la Figura 62, el máximo esfuerzo de Von Mises es de $2,862e^{+7}$ Pascales (esfuerzo calculado), y el límite elástico de $2,5e^{+8}$ Pascales (esfuerzo recomendado), cumpliendo así con la condición de la Ecuación 56; por otra parte el desplazamiento máximo se produce en la cavidad donde conecta con el selector, que es de $1,672e^{-2}$ mm siendo este bastante bajo (Figura 63) y el factor de seguridad mínimo es de 8,735 representado en la Figura 64 y es mayor que uno como se establece en la Ecuación 57, por lo que el diseño es confiable.

c. Mecanismo para la fontura posterior

El mecanismo para el desplazamiento de la fontura posterior es un acople directo que conecta entre el motoreductor y el mecanismo de la fontura posterior, el cual fue diseñado y analizado en software CAD-CAE; el material utilizado para su construcción fue acero estructural A36, ya que este elemento es más crítico por los requerimientos de torque para la generación de movimientos.

Los datos de ingreso de torques, fueron 6,82 Nm del torque necesario para mover la palanca del mecanismo de la fontura posterior, de los datos encontrados en la Sección 3.3 y 17,31 Nm es el equivalente al toque que proporciona el motor reductor Pololu. Se generó una malla sobre la pieza como se observa en la Figura 65.

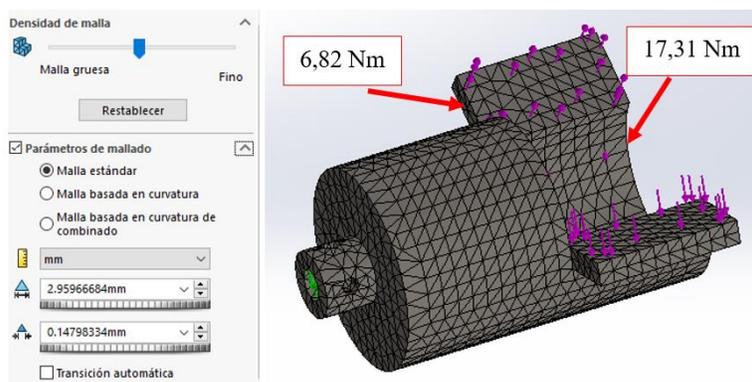


Figura 65 Malla generada en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.

Posteriormente se generaron los resultados del análisis de tensiones de Von Mises, desplazamientos máximos y factor de seguridad como se detallan en las Figura 66, Figura 67 y Figura 68 respectivamente.

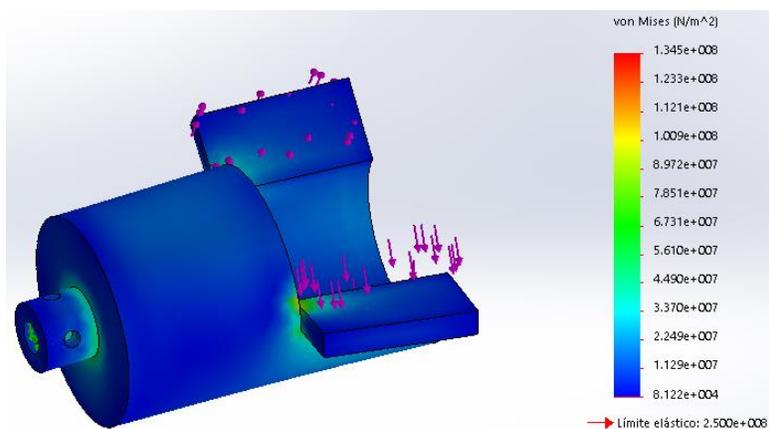


Figura 66 Resultados del análisis de tensiones de Von Mises en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.

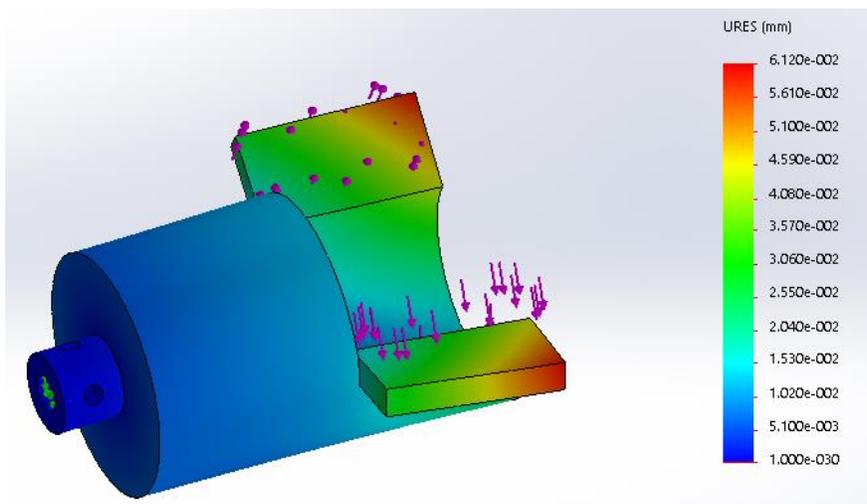


Figura 67 Resultados del análisis de desplazamientos en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.

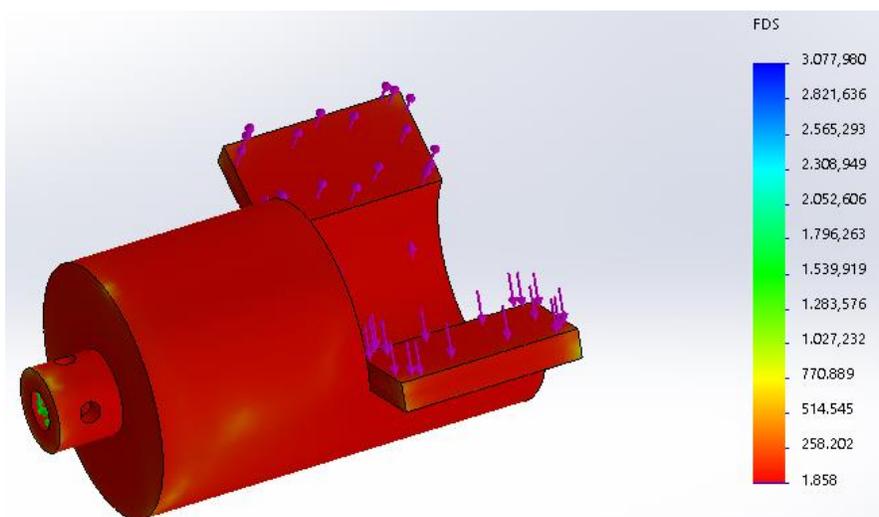


Figura 68 Resultados del análisis de factor de seguridad en el acople para el desplazamiento de la fontura posterior.

Conclusión: como se detalla en la Figura 66, el máximo esfuerzo de Von Mises es de $1,345e^{+8}$ Pascales (esfuerzo calculado), y el límite elástico de $2,5e^{+8}$ Pascales (esfuerzo recomendado), cumpliendo así con la condición de la Ecuación 56; por otra parte el desplazamiento máximo se produce en la cavidad donde conecta con el selector, que es de $6,12e^{-2}$ mm siendo este bastante

bajo (Figura 67) y el factor de seguridad mínimo es de 1,858 representado en la Figura 68 y es mayor que uno como se establece en la Ecuación 57, por lo que el diseño es confiable.

3.6.Diseño electrónico

Previamente, en la Sección 3.4, se estableció los componentes electrónicos de mayor relevancia que se utilizaron en el proyecto. Las conexiones se realizaron de dos maneras: la primera, con elementos que se accionan o sensan cuando el carro se encuentra en movimiento, conectándolos a uno de los Arduino Mega; y, la segunda, con elementos que se accionan o sensan cuando el carro se encuentra en reposo estos se conectan al segundo Arduino Mega, las conexiones se realizan de este modo para separar las secuencias por programación.

Elementos conectados al primer Arduino Mega

Dos sensores capacitivos, dos sensores de guiahilo y un final de carrera del mecanismo de activación del rodillo, todos ellos son alimentados con salidas de 5V que provienen de la fuente de computadora, con conexión *PULL UP* con resistencias de 10 K Ω para su protección, cada sensor necesita un pin de Arduino configurado como entrada digital para la recepción de señal, todos los sensores van conectados a una GND común que posee todo el circuito (Figura 69 y Anexo E 1).

El driver HBS860H permite el control del servomotor híbrido Nema 34, se alimentó con la fuente conmutada de 60V-6A, además para eliminación de ruido se utilizó un condensador de 4,7 μ F conectado en paralelo con los cables de conexión de la misma, el controlador se configuró a 200 pasos/revolución (1,8° por paso), como se muestra en la Figura 71. Para la conexión con Arduino se requiere 3 pines configurados como salidas digitales, los cuales van conectados a los pines PUL + (Para la recepción de pulsos), DIR + (Establecimiento de la dirección), ENA +

(Habilitación del driver), del driver, mientras que los pines PUL-, DIR-, ENA- van conectados a la GND común del circuito (Figura 70 y Anexo E 2).

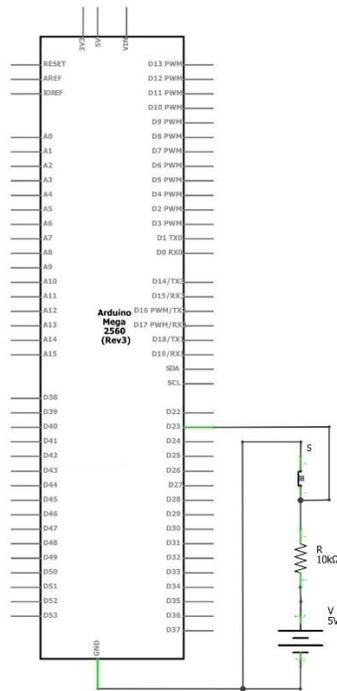


Figura 69 Esquema de conexión de un sensor con resistencia pull up

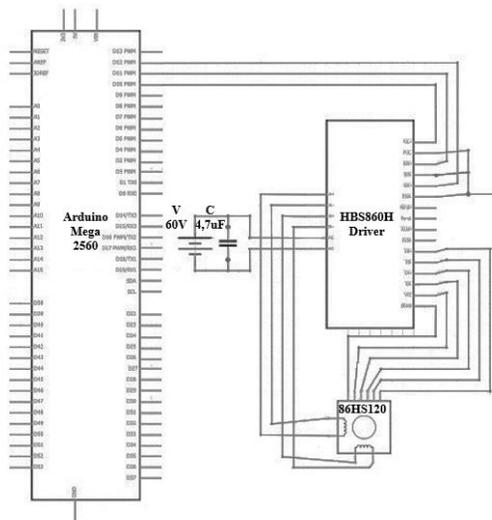


Figura 70 Esquema de conexión del driver HBS860H



Figura 71 Configuración de switches de driver HBS860H

El módulo puente H L298N que permite controlar el moto reductor Pololu del mecanismo del rodillo, este driver se alimentó mediante una salida de 12V de la fuente de computadora, para el control del módulo se requiere 2 pines configurados como salidas digitales de Arduino, además se debe conectar a la GND común del circuito, al módulo se le pueden conectar un máximo de 2 motores, como se puede observar en la Figura 72 y Anexo A 3.

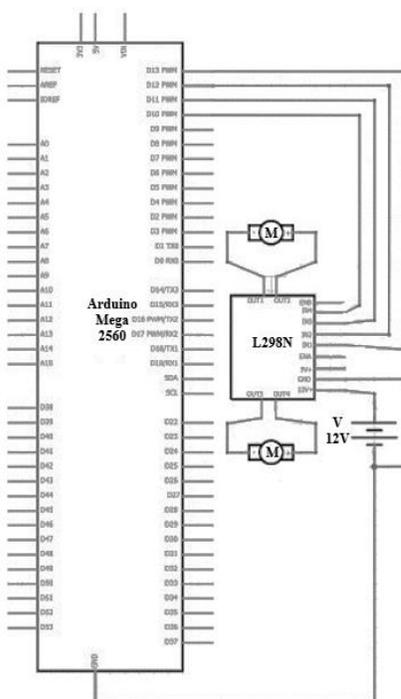


Figura 72 Esquema de conexión del módulo puente H L298N

Elementos conectados al segundo Arduino Mega

Se conecta dos finales de carrera, el primero para el acople de la cama frontal y el segundo para el acople de la cama posterior, se conecta del mismo modo que los sensores del primer arduino.

El driver PCA9685, el cual permite el control de los 13 servomotores MG996R que se implementaron en el carro, se alimentó por una fuente conmutada de 5V-6A, además la comunicación con el Arduino se estableció mediante I2C, se conecta con 4 pines, SDA (línea de datos), SCL (línea de reloj), VCC y GND; en la Figura 73 y Anexo E 4 se puede observar el esquema de conexión.

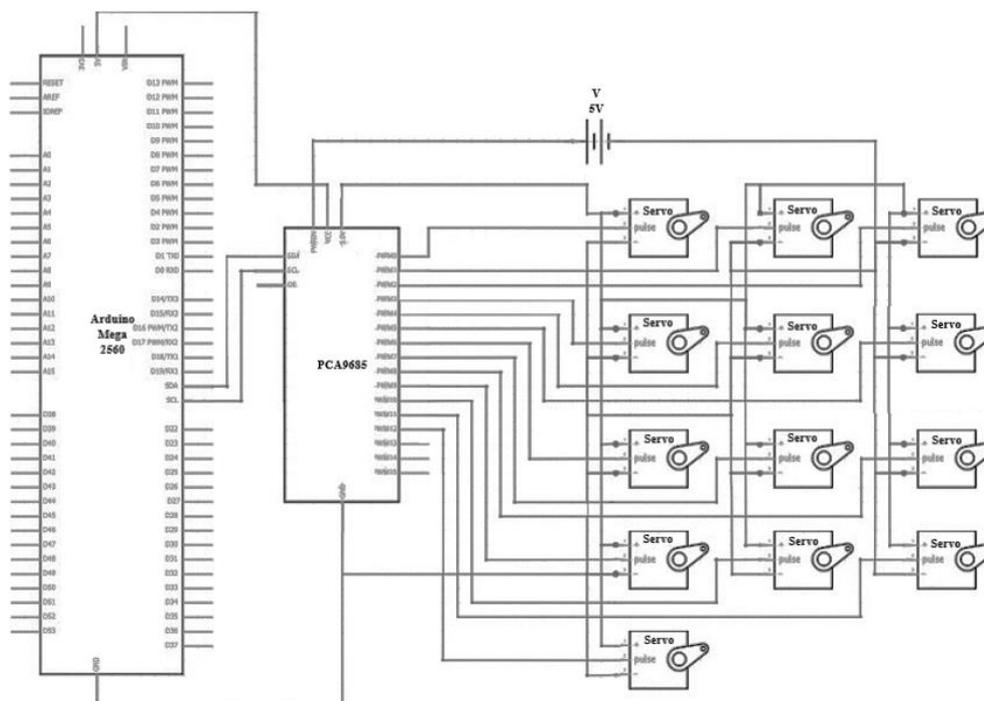


Figura 73 Esquema de conexión driver PCA9685

Módulo puente H L298N que permite el control de dos motoredutores Pololu, el uno para el movimiento en el mecanismo de la cama frontal y el otro para la cama posterior, se conecta del mismo modo que el módulo del puente H del primer Arduino.

Circuito de protección

Ya que las fuentes son las únicas que van conectadas directamente a los 110V de la toma, se debe hacer el cálculo del *breaker* necesario para proteger todos estos elementos, la primera y la segunda fuente (Alimentación del motor Nema 34 y Servomotores) poseen una corriente de 6A, mientras que la tercera de 3A (Alimentación de sensores y motoredutores), en la Figura 74 se puede observar el cálculo de la corriente mínima con la que se puede seleccionar el *breaker* según (Eléctrica Aplicada, s.f.), con lo que se seleccionó un *breaker* de 20A.

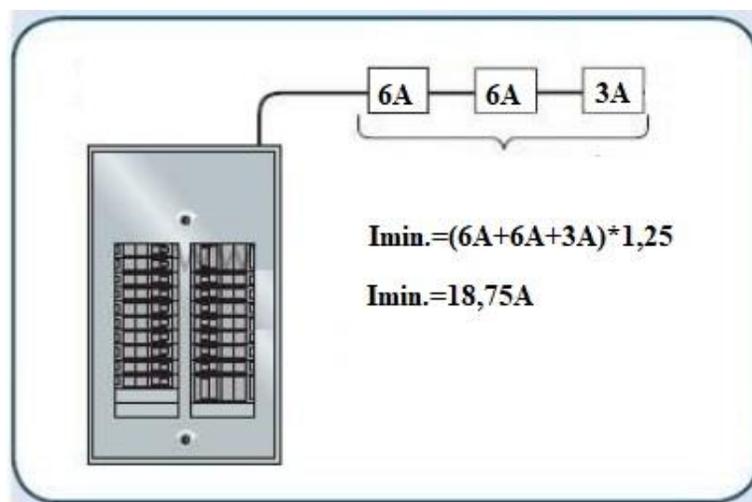


Figura 74 Cálculo de corriente mínima del breaker de protección

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Construcción e implementación de los mecanismos adaptados

4.1.1. Construcción e implementación de la transmisión para dar un movimiento en vaivén al carro

La base y las poleas fueron construidas con acero estructural A36, mientras que en el eje de la polea conducida se utilizó acero AISI 1020. En la base se usó perfil cuadrado de 4 cm de lado por un espesor de 2 mm, mientras que para las poleas plancha de acero de ½ pulg. de espesor.

La polea conductora se encuentra fija y acoplada a la caja reductora del motor, como se presenta en la Figura 75.

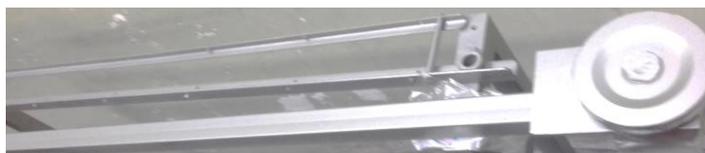


Figura 75 Base de la transmisión.

La polea conducida no se encuentra fija, con el fin de tensar la banda, se soldó un eje roscado de ½ pulg. de diámetro en la base de la misma, como se muestra en la Figura 76.



Figura 76 Polea conducida.

Para su implementación se realizó orificios en las bases de la fileta de la máquina, con ello se puede acoplar la base de las poleas mediante abrazaderas, como se puede observar en Figura 77.



Figura 77 Implementación de la transmisión del carro en la máquina

4.1.2. Construcción e implementación de los mecanismos para la selección de parámetros

Los mecanismos que se encuentran montados en el carro se realizaron mediante impresión 3D (deposición fundida), con plástico ABS, como se observa en la Figura 78, todas las medidas de los mecanismos se establecieron mediante software CAD y tomando como base las dimensiones reales del carro (Planos en el Anexo C).

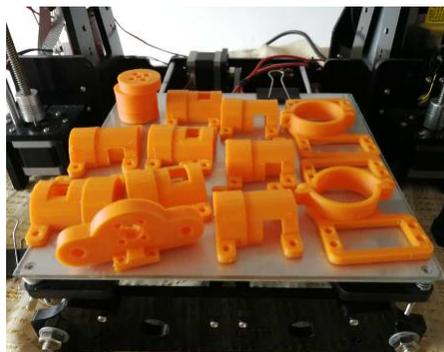


Figura 78 Piezas impresas en plástico ABS

Para una mayor facilidad en su implementación, el diseño de los mismos se lo realizó mediante un sistema desmontable, cuyas bases se presentan en la Figura 79. En la Figura 80 se muestra cómo se ensamblan y montan dos tipos de mecanismos.



Figura 79 Bases de los mecanismos implementados en el carro

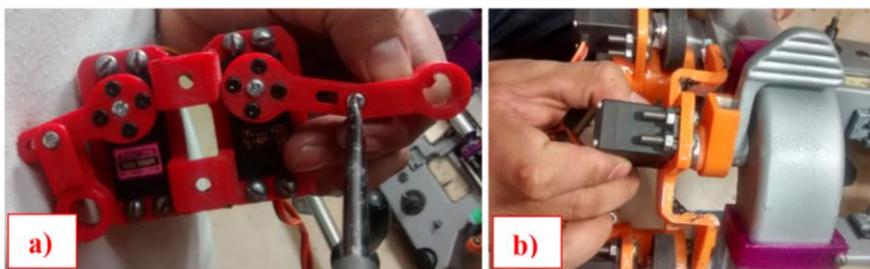


Figura 80 Mecanismos de: a) selección de agujas y b) selección de guiahilo.

En la Figura 81 se detallan todos los mecanismos implementados en el carro



Figura 81 Implementación total de todos los mecanismos incorporados en el carro

Los mecanismos montados fuera del carro fueron construidos mediante el diseño establecido en la Sección 3.4 y software CAD. Para las bases de todos estos mecanismos se utilizó platina de 2 pulg. de ancho por 1/8 pulg. de espesor. El mecanismo del rodillo se acopla en la base de las poleas como se presenta en la Figura 82 a), mientras de los mecanismos para las camas se acoplan en los extremos de las fonturas, como se puede observar en la Figura 82 b) y c) , mediante bases acopladas a la bancada de la máquina, utilizando perfiles de acero estructural A36 cuadrados de 2 cm de lado por 2 mm de espesor.



Figura 82 Mecanismos implementados fuera del carro: a) activación de mecanismo de rodillo, b) activación de mecanismo de cama frontal y c) activación de mecanismo de cama posterior.

Los acoples para dar movimiento a las camas fueron mecanizados en acero estructural a A36, mientras que la leva fue mecanizada de un eje de 3 pulg. de nailon.

4.2. Implementación del sistema eléctrico

En la Sección 3.5 se establece el circuito eléctrico del sistema, la ubicación de los elementos depende del propósito para el cual se utilizan. Los actuadores se encuentran acoplados a los mecanismos a los cuales aporten movimiento. Por otra parte, cada uno de los sensores tiene una ubicación distinta como se muestra a continuación:

En el mecanismo de activación del movimiento de rodillo, sobre la leva (Figura 83 a); en el mecanismo de activación del movimiento de la cama posterior, sobre el acople del motor (Figura 83 b); en el mecanismo de activación del movimiento de la cama frontal, al costado izquierdo del acople (Figura 83 c).

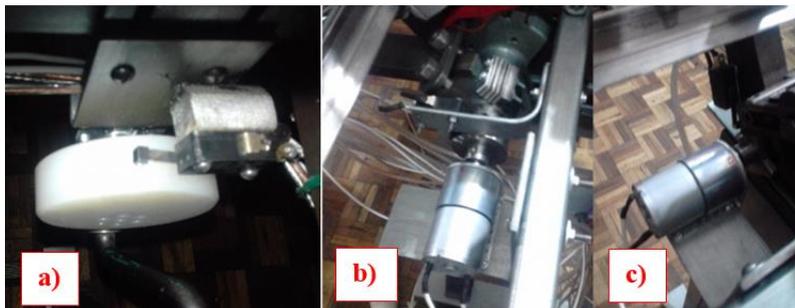


Figura 83 Ubicación de sensores para los mecanismos implementados fuera del carro: a) activación de mecanismo de rodillo, b) activación de mecanismo de cama frontal y c) activación de mecanismo de cama posterior.

Dos sensores capacitivos, ubicados en la base del mecanismo de transmisión de movimiento en el carro, el primero se encuentra a la derecha de la bancada de la máquina, mientras que el otro a la mitad de la bancada, como se muestra en la Figura 84.



Figura 84 Sensores capacitivos montados sobre la base de la trasmisión de movimiento del carro.

Los tensores de guiahilo también son considerados sensores y se los ubica en una base sobre la fileta propia de la máquina, como se puede observar en la Figura 85.

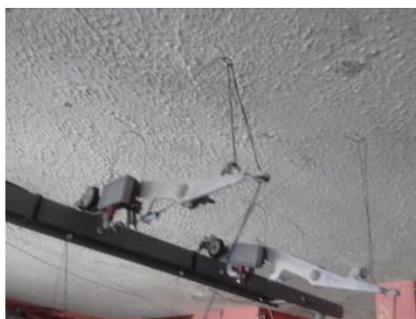


Figura 85 Ubicación de tensores de guiahilo.

El driver (PCA9685) de los servomotores que se encuentran en el carro, se ubica sobre el acople del carro con la banda, se posicionó en este lugar porque se puede conectar los cables de los servomotores de una manera corta al driver, evitando conectar menos cables a mayores distancias, como se detalla en la Figura 86. Los cables de alimentación y transmisión de datos son llevados al acople del carro mediante una cadena porta cables 18x25 mm.

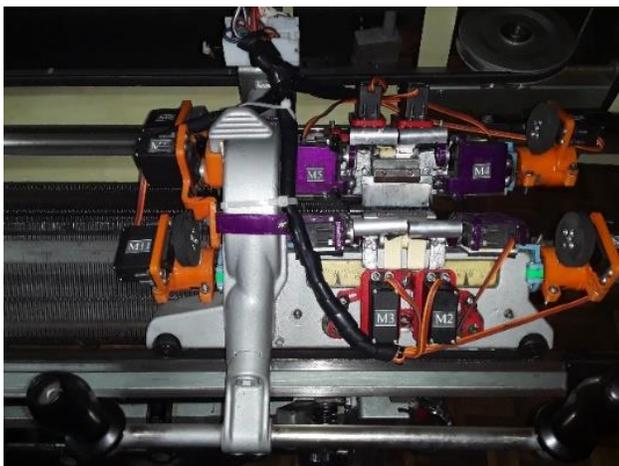


Figura 86 Conexión de servomotores al driver PCA9685

El panel de control conformado por la Raspberry Pi, pantalla *touch*, 2 botones pulsadores y un *swich*, se ubican en una carcasa en la parte frontal de la máquina y a la izquierda de las fonturas, para una mayor visualización para el operador, como se muestra en la Figura 87. El *swich* tiene la función de encender o apagar el sistema, mientras que los botones permiten iniciar, pausar o finalizar la secuencia previamente establecida.



Figura 87 Ubicación del panel de control

El armario ubicado a la izquierda de la bancada, contiene en su interior todas las fuentes de alimentación del sistema, así como drivers para el servomotor híbrido y los motoreductores Pololu, también 2 Arduinos Mega y el módulo relé de 4 canales para Arduino.

Las dimensiones del armario son de 40x40x20 cm para que quepa todos los elementos antes especificados en su interior. Se lo acopló a la máquina mediante mordazas de 2 ½ pulg. a las patas de la bancada de la máquina, como se puede observar en la Figura 88.

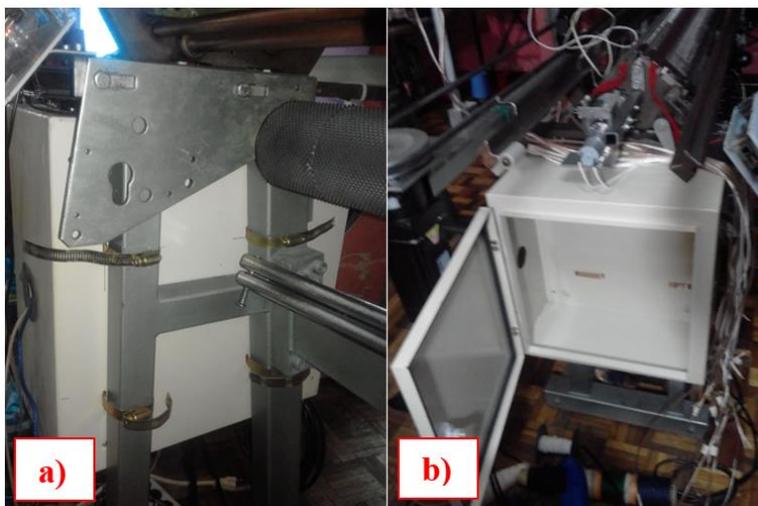


Figura 88 Armario incorporado: a) vista posterior y b) vista frontal.

El armario cuenta con doble fondo por lo que se puede colocar los elementos electrónicos en el mismo con la distribución que se presenta en la Figura 89. Siguiendo la normativa NEC (Capítulo 15 instalaciones electromecánicas) para armarios eléctricos, todos los elementos son colocados a 1,5 cm sobre la superficie (doble fondo), además se separa los elementos de alimentación de los de control de la máquina. (Construcción, 2013)



Figura 89 Distribución de elementos en el armario

Bajo el armario se coloca el circuito de protección del sistema eléctrico con el *breaker* de 20A, como se muestra en la Figura 90, también en el lateral derecho del armario se coloca un indicador lumínico que va conectado directamente al *breaker*, con el cual se observa el correcto funcionamiento del mismo.



Figura 90 Caja de circuito de protección

Además, para llevar todos los cables hacia los elementos en su interior se utilizó canaletas ranuradas de 26x15 mm, mientras que por fuera del armario se utilizó manguera corrugada de 1 pulg. y de ½ pulg, como se puede observar en la Figura 91.



Figura 91 Manguera corrugada

En el cableado de todo el sistema se utilizó cables flexibles calibre 18 y 20. El cable calibre 18 fue utilizado para alimentación de motores y drivers, mientras que el cable calibre 20 para envío y recepción de señales entre sensores y controladores. Ya que se requirió una conexión serial entre la Raspberry Pi y los dos Arduino Mega se utilizó cable serial de Arduino, el cual posee en un extremo un puerto USB tipo A y en el otro un puerto USB tipo B.

Las cámaras para el módulo de control de calidad por visión artificial se ubicaron bajo la base de la transmisión del carro, ya que desde allí se puede visualizar de mejor manera el descenso constante del tejido, así como también se evita interferir en la manipulación de cualquier elemento mecánico de la máquina (Figura 92).



Figura 92 Ubicación de cámaras para el módulo de control de calidad por visión artificial.

Para la protección del operador, así como la creación de un escenario oscuro (aislamiento de iluminación externa, para evitar falsos positivos en la detección de orificios) se implementó una carcasa posterior que cubre la parte posterior de la máquina, en la zona donde se ubican las cámaras, así como la transmisión del carro, como se visualiza en la Figura 93. En su construcción se utilizó 2 planchas de acero negro de 0,7 mm de espesor.



Figura 93 Carcasa posterior de la máquina.

4.3. Diseño, programación de HMI y módulo de control de calidad en Raspberry Pi (Master).

El diseño del HMI se basa en ciertos parámetros que establece la guía GEDIS, como la distribución, navegación, uso del color y fuentes e información textual. (Pere Ponsa, 2013)

Posee una pantalla principal y tres pantallas secundarias, la pantalla principal es la que mayor parte del tiempo se visualiza, debido a que es donde se encuentran controles e indicadores de alarmas, producción y monitoreo de la secuencia; en las pantallas secundarias se establecen parámetros, tanto del tejido que se desea establecer, como de las velocidades del movimiento en vaivén del carro, además, de los filtros del control de calidad por visión artificial.

La programación de toda interfaz gráfica y el módulo de control de calidad se realizó mediante el IDE de QT Creator (C++). Se creó la interfaz a partir de una aplicación GUI, Qt Widget. Por defecto se crea una sola pantalla.

En la aplicación creada se envían y reciben datos entre la Raspberry Pi y los dos Arduinos, para el manejo de toda la máquina además del control de calidad del tejido, se utiliza diferentes librerías, como librerías de OpenCV para la utilización de herramientas de visión artificial, QSerialPort para establecer comunicación serial con los Arduinos, como se observa en la Figura 94.

```
#include <QTimer>

#include <opencv2/highgui/highgui.hpp>
#include <opencv2/imgproc/imgproc.hpp>
#include <opencv2/objdetect/objdetect.hpp>
#include <opencv2/videoio.hpp>
#include <iostream>
#include <cstdio>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <opencv/cvaux.h>
#include <opencv/highgui.h>
#include <opencv/cxcore.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

Figura 94 Declaración de librerías.

El establecimiento de la comunicación serial para los dos Arduinos, en la aplicación se realizó como se detalla en la Tabla 25.

Tabla 25

Establecimiento de la comunicación serial en la aplicación.

Tipo	Sintaxis
Creación de Objetos QSerialPort	Serial =new QSerialPort(this); Serial2=new QSerialPort(this);
Nombre del puerto	Serial->setPortName("/dev/ttyACM0"); Serial2->setPortName("/dev/ttyACM1");
Baudios	Serial->setBaudRate(QSerialPort::Baud115200); Serial2->setBaudRate(QSerialPort::Baud115200);
Tipos de datos a enviar	Serial->setDataBits(QSerialPort::Data8); Serial2->setDataBits(QSerialPort::Data8);
Paridad	Serial->setParity(QSerialPort::NoParity); Serial2->setParity(QSerialPort::NoParity);
Control de Flujo	Serial->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl); Serial2->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
Apertura	Serial->open(QIODevice::ReadWrite); Serial2->open(QIODevice::ReadWrite);
SIGNAL- SLOT	Connect(serial,SIGNAL(readyRead()),this,SLOT(serialreceived())); Connect(serial2,SIGNAL(readyRead()),this,SLOT(serialreceived()));

4.3.1. Pantalla principal

La distribución de la pantalla principal se presenta en la Figura 95, donde se establecen los ítems: 1) título de la pantalla, 2) alarmas, 3) indicadores de producción (sinóptico), 4) entrada de comandos y datos, 5) sub-menú asociado a la pantalla, 6) logotipo, finalmente 7) fecha y hora.

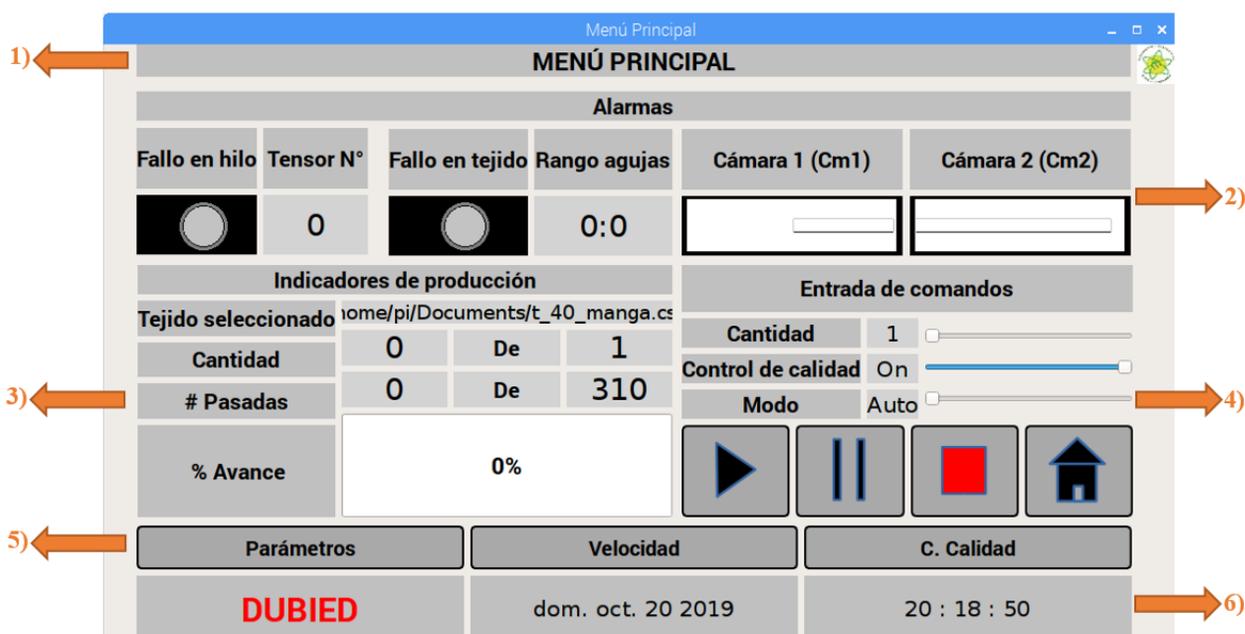


Figura 95 Distribución de pantalla principal.

- 1) **Título de la pantalla**, se estableció el nombre de menú principal, a la derecha del mismo se ubica el escudo de ingeniería mecatrónica.
- 2) **Alarmas**, existen 2 tipos de alarmas:
 - Primera: producida por los sensores de guía hilo que tienen la función de detectar nudos, motas o usencia del hilo, además establecerá cuál de los sensores detectó la falla en el hilo.

- Segunda: el módulo de visión artificial, detecta mediante un par de cámaras orificios en el tejido y delimita un rango tentativo de agujas (+/- 10 agujas) que muestran algún daño en el tejido, cada una de las cámaras posee un indicador donde se presentan las imágenes captadas con sus respectivos filtros en vivo.

3) **Sinóptico**, presenta 3 indicadores textuales y uno gráfico

- Nombre de secuencia: indicador textual se puede observar el nombre de la secuencia que se vaya a ejecutar, ya sea abierta o guardada.
- Cantidad: indicador numérico en el que se muestra cuantas veces ha sido ejecutada la secuencia seleccionada, de entre un total de veces que el usuario a requerido.
- # Pasadas: es un indicador numérico en el que se visualiza cuantas pasadas ha dado el carro.
- Porcentaje de avance: el indicador gráfico provee el porcentaje de la secuencia ejecutada, tomando en cuenta las pasadas de la secuencia y el número de veces que se ejecute.

Todos los indicadores para que se actualicen al instante por programación son conectados a un *Timer* propio de QT, para lo cual se debe declarar la librería `#include "QTimer"`; los Timers de Qt permiten una ejecución continua del algoritmo contenido en una función, como se muestra en la Figura 96, donde la función `re()`, se ejecuta cada 500 milisegundos.

```

//Timer para parpadeo de indicadores gráficos de fallos
QTimer *timer3=new QTimer(this);
connect(timer3,SIGNAL(timeout()),this,SLOT(re()));
timer3->start(500);

//Función para parpadeo de indicadores gráficos de fallo
void MainWindow::re()
{
    if(tens>0){
        if(!ui->grisvt->isVisible()==true){
            ui->grisvt->setVisible(!ui->grisvt->isVisible());
        }
        ui->grisrt->setVisible(!ui->grisrt->isVisible());
    }else{
        if(!ui->grisrt->isVisible()==true){
            ui->grisrt->setVisible(!ui->grisrt->isVisible());
        }
        ui->grisvt->setVisible(!ui->grisvt->isVisible());
    }
}
}

```

Figura 96 Creación de Timer para indicadores de fallo.

4) Entrada de comandos y datos, está compuesto por 3 sliders y 3 botones:

- Slider de cantidad, establece el número de veces que se ejecuta la secuencia.
- Slider de control de calidad, establece si se desea trabajar con el módulo de control de calidad o apagarlo durante la ejecución de la secuencia.
- Slider de modo, establece dos modos para el control y ejecución de secuencia como: Modo auto, presenta cuatro botones para la ejecución automática de secuencias
- Botón de inicio, la máquina puede comenzar con el trabajo una vez establecidos los parámetros de secuencia.
- Botón de pausa: la máquina puede detener la ejecución del trabajo, parando el carro al final de la pasada.
- Botón de finalizar: La máquina termina el trabajo que se esté ejecutando sin importar que la secuencia no haya finalizado, solo se debe pulsar el botón de pausar previamente.

- Botón de home: La máquina retorna a su posición de home, donde puede iniciar la secuencia.

Modo Manual, se establece un listado de opciones para mover manualmente todos los motores para el control de la máquina (Figura 97), para ello se cuenta con cuatro indicadores, con sus respectivos motores, que dependiendo del tipo de motor tiene opciones distintas

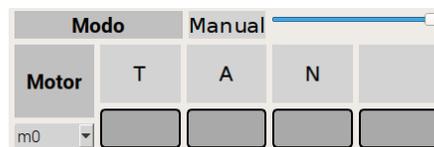


Figura 97 Modo manual.

5) **Sub-Menú asociado a la pantalla**, conformado por 3 botones:

- Parámetros, abre una ventana secundaria donde se puede crear, abrir y guardar una secuencia para luego ser ejecutada.
- Velocidades, abre una ventana secundaria donde se puede establecer las velocidades en vaivén del carro.
- Control de calidad, abre la ventana secundaria de control de calidad por visión artificial para la detección de orificios en el tejido

Cada ventana secundaria se crea añadiendo una nueva clase con un nombre en específico de tipo QDialog.

Las ventanas secundarias fueron llamadas desde la ventana principal mediante la acción de botón pulsado, donde se establece un objeto del mismo tipo de la ventana a la que se desea ingresar.

Se debe declarar también en el listado de librerías, una librería por cada ventana secundaria creada y a la que se desee acceder desde la ventana principal, por ejemplo, para Parámetros: #include “Parametros”.

- 6) **Fecha, hora y marca**, muestra la fecha y hora actual. En la fecha y hora se utilizó un *Timer* de Qt para una actualización continua del reloj, así como también *QDate* para obtener la fecha actual y *QTime* que permite obtener los valores de horas, minutos y segundos en tiempo real del sistema para imprimirlos en un indicador numérico. En un *label* se puede observar la marca de la máquina: Dubied.

4.3.2. Pantalla de establecimiento de parámetros

Al ser una pantalla secundaria presenta una distribución diferente a la pantalla de menú principal, como se presenta en la Figura 98 con los siguientes ítems: 1) título de pantalla, 2) sección de información, 3) tabla de secuencia, 4) barra de selección de órdenes, 5) comandos de edición de tabla 6) comandos de edición de fila, y por último, 6) botones de Regresar y Aceptar.

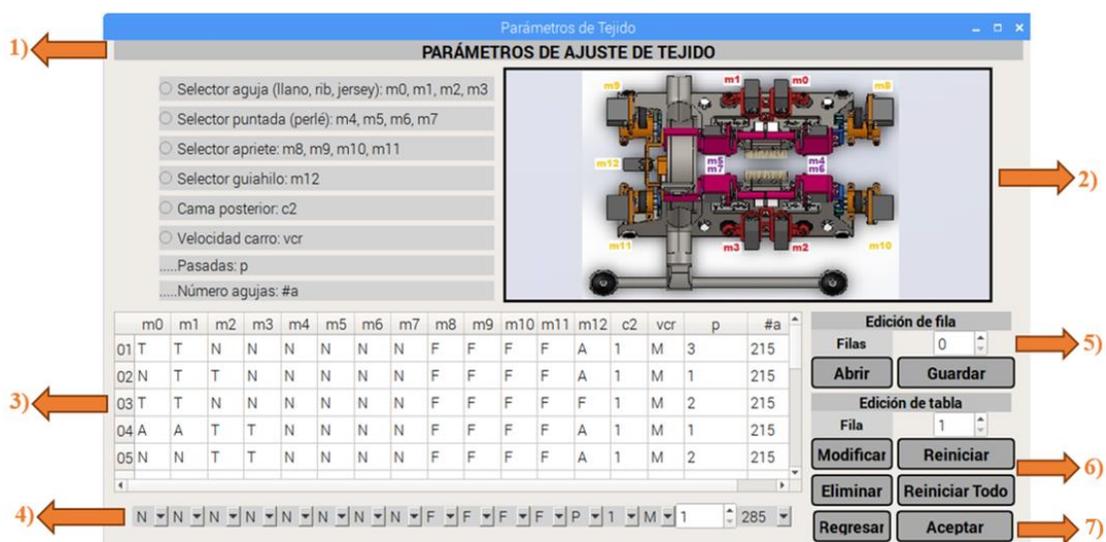


Figura 98 Distribución de pantalla secundaria de parámetros.

Para el establecimiento de secuencias se hace uso de códigos generados específicamente para este proyecto, se puede crear secuencias, abrirlas, guardarlas o modificarlas, usando archivos .csv, como una base de datos.

- 1) **Título de pantalla**, la pantalla lleva el nombre de establecimiento de parámetros de ajuste de tejido.
- 2) **Sección de información**, se divide en 2 secciones: la primera establece las opciones de que se puede dar a cada mecanismo, la segunda sección la descripción gráfica (animación).
Entre las órdenes que se le pueden dar a la máquina se pueden clasificar como órdenes para mecanismos instalados en el carro, mecanismos instalados fuera del carro y establecimiento de dimensiones del tejido a continuación se explica a detalle en el manual del usuario en el Anexo B.
- 3) **Tabla de secuencia**, entorno visual donde se puede observar línea a línea los parámetros que se desea establecer o se ha establecido previamente; puede contener n filas y cada columna representa los parámetros de los mecanismos descritos con anterioridad; esta tabla puede ser modificada con la sección de entrada de comandos de datos.
- 4) **Barra de selección de opciones**, se puede establecer en este apartado las opciones para cada mecanismo detalladas con anterioridad.
- 5) **Comandos de edición de tabla**, presenta opciones de apertura, creación y guardado de secuencias, a continuación, se detalla los siguientes comandos:
 - Filas, *spin box* para la creación de n líneas de secuencia vacías, siempre n mayor a cero.

- Abrir, botón para ingresar en una pantalla de búsqueda de archivos del directorio de la tarjeta SD de almacenamiento de la Raspberry Pi, para añadir una secuencia almacenada en un archivo .csv, en la Figura 99 se presenta el algoritmo.

```
//Abre una ventana de exploración de la memoria del sistema para la lectura de archivos .csv
auto filename =QFileDialog::getOpenFileName(this,"Abrir",QDir::rootPath(),"CSV File (*.csv)");
setnombre(filename);
if(filename.isEmpty()){
    return;
}
QFile file (filename);
if (!file.open(QIODevice::ReadOnly|QIODevice::Text)){
    return;
}
}
```

Figura 99 Apertura de ventana de búsqueda para abrir archivos .csv

- Guardar, botón para almacenar cualquier secuencia creada o modificada en el directorio de la tarjeta SD de almacenamiento de Raspberry Pi, solo se debe establecer un nombre, en la Figura 100 se detalla el código.

```
//Abre una ventana de exploración de la memoria del sistema para guardar la secuencia de la tabl:
auto filename=QFileDialog::getSaveFileName(this, "Guardar", QDir::rootPath(),"CSV File (*.csv)");
setnombre(filename);
if (filename.isEmpty()){
    return;
}
QFile file(filename);
if (!file.open(QIODevice::WriteOnly |QIODevice::Text)){
    return;
}
}
```

Figura 100 Apertura de ventana de búsqueda para guardar archivos .csv

6) Comandos de edición de fila, presenta las opciones modificación de secuencias, a continuación, se detalla los siguientes comandos:

- Fila, *spin box* para establecer el número de fila a modificar, eliminar o reiniciar (sus parámetros).

- Modificar, botón para ingresar todos los parámetros establecidos en la barra de selección de órdenes a la fila que se ha establecido en el elemento *spin box* de Fila, el código se presenta en la Figura 101.

```
//Asignación de valores de pestañas de opciones a cada columna de la línea de secuencia
mModel->setItem(uf,0,new QStandardItem(ui->vm0->currentText()));
```

Figura 101 Modificación de un parámetro de la barra de selección de opciones en la tabla de secuencia.

- Reiniciar, botón para establecer los parámetros de secuencia de cualquier fila que se ha seleccionado en el *spin box* de Fila a valores predeterminados.
- Reiniciar todo, botón para establecer los parámetros de secuencia de todas las filas a valores predeterminados.
- Eliminar, botón que borra por completo la fila que se seleccione con el *spin box* de Fila, mediante el algoritmo presentado en la Figura 102.

```
QString ul=ui->E_fila->text();
int fil=ul.toInt()-1;
if(fil<fla){
    mModel->removeRow(fil);
    fla--;
}
```

Figura 102 Eliminación de una fila

- 7) **Botones de Aceptar y Regresar**, estos 2 botones permiten salir de la pantalla de establecimiento de parámetros de secuencia a la pantalla de menú principal, con el botón regresar no quedan guardados los cambios que se realice, mientras que el botón aceptar si queda guardado todo, en la Figura 103 se detalla el algoritmo.

```

-
//Acción de boton pulsado para aceptar cambios establecidos
void Parametros::on_buttonBox_accepted()
{
    accept();
}
//Acción de boton pulsado para rechazar cambios establecidos
void Parametros::on_buttonBox_rejected()
{
    reject();
}

```

Figura 103 Acción de botón pulsado (Aceptar y Regresar)

4.3.3. Pantalla de establecimiento de velocidad del movimiento en vaivén del carro.

Pantalla secundaria que se muestra en la Figura 104, posee la siguiente configuración de ítems:

1) título de pantalla, 2) entrada de datos, 3) botones de Regresar y Aceptar.



Figura 104 Distribución de pantalla secundaria de velocidad.

- 1) **Título de pantalla**, lleva como nombre velocidades en el carro y rodillo
- 2) **Entrada de datos**, se presentan un parámetro, el de la velocidad del movimiento en vaivén del carro. Para este parámetro de velocidad se formulan 3 opciones:
 - Alta se puede formar el tejido llano (también jersey, tubular y perlé).
 - Media se puede formar el borde del tejido (faja o rib)

- Baja se puede formar la separación de tejido

Para cada opción de velocidad se establecen pestañas con QComboBox, se crea un listado de 3 opciones cada una, los cambios se producen cuando el valor de la pestaña se selecciona, como se puede observar en la Figura 105.

```
//Acción de selección de pestaña de velocidad alta
void velocidad::on_valor_a_currentTextChanged(const QString &arg1)
{
    if(arg1=="1,2"){
        va="1";
    }
    if(arg1=="1,1"){
        va="2";
    }
    if(arg1=="1,0"){
        va="3";
    }
}
```

Figura 105 Código para establecimiento de un valor seleccionado en QComboBox.

- 3) **Botones de Aceptar y Regresar**, estos 2 botones permiten salir de la pantalla de establecimiento de velocidad a la pantalla de menú principal.

4.3.4. Pantalla de control de calidad por visión artificial

Por el dimensionamiento de la máquina, se dificulta la visualización del tejido producido directamente para su análisis, por lo que se utilizó 2 cámaras para captar por secciones las imágenes, además se aplicó varias operaciones a las imágenes para poder establecer el rango de posición de las agujas que causen fallos en el tejido.

La pantalla secundaria de control de calidad se muestra en la Figura 106, su configuración está compuesta por: 1) título de pantalla, 2) entrada de datos, 3) cuadros de monitoreo, 4) botones de Regresar y Aceptar.

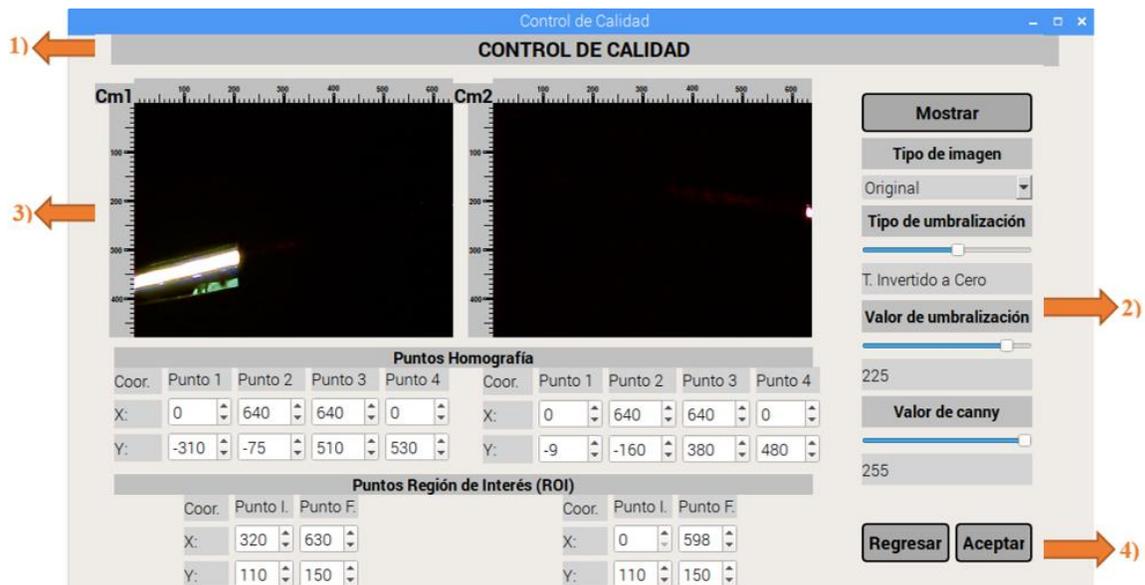


Figura 106 Distribución de pantalla secundaria de control de calidad.

- 1) **Título de pantalla**, lleva el nombre de control de calidad
- 2) **Entrada de datos**, cuenta con un botón, un *combo box* de opciones, 3 *slider bar*, y 24 *spin box*.
 - El botón mostrar, cuando es pulsado despliega las imágenes captadas por las cámaras en los cuadros de monitoreo, su código se detalla en la Figura 107.

```
//Acción de boton pulsado para mostrar las iamegenes captadas por ambas cámaras
void control::on_pushButton_clicked()
{
    //Captura de imagenes de cada cámara
    captureVideoInLabel1.open(1);
    captureVideoInLabel.open(0);
    if (captureVideoInLabel1.isOpened() == false || captureVideoInLabel.isOpened() == false)
    {
        return;
    }
}
```

Figura 107 Captura de imágenes de cada cámara

- El *combo box* de opciones, ofrece los tipos de imagen que se desea visualizar, entre las opciones se tiene: original, escala de grises, umbralización, homografía, ROI y contornos.
- En los 3 *slider bar* se establecen el tipo de filtro de umbralización, el valor de umbralización y el valor de detección de borde (*canny*).
- En los *spin box* se ingresa las coordenadas para los puntos de homografía y de ROI, en pixeles en el eje x, por pixeles en el eje y. Los puntos de homografía se establecen en sentido horario partiendo del punto 1 ubicado en la esquina superior izquierda de la imagen (también es el origen de las coordenadas de todos los puntos). Para la máscara se necesita solo de 2 puntos diagonales entre sí, que limitan en forma rectangular el área a analizar.

3) **Cuadros de monitoreo**, indicadores gráficos de imágenes captadas en tiempo real de las cámaras, en el lado izquierdo y superior presenta numeración por pixeles de cada cuadro.

Se utiliza `QLabel` para representarlos en pantalla, como se observa en la Figura 108.

```
//Impresion de imagenes en la ventana (QImage)
if(imagen=="Original"){
    QImage qOriginalImage((uchar*)originalImage.data, originalImage.cols,originalImage.rows, originalImage.step, QImage::Format_RGB888);
    qOriginalImage=qOriginalImage.scaled(QSize(320,240));
    ui->label->setPixmap(QPixmap::fromImage(qOriginalImage));

    QImage qOriginalImage1((uchar*)originalImage1.data, originalImage1.cols,originalImage1.rows, originalImage1.step, QImage::Format_RGB888);
    qOriginalImage1=qOriginalImage1.scaled(QSize(320,240));
    ui->label_1->setPixmap(QPixmap::fromImage(qOriginalImage1));
}
```

Figura 108 Impresión en los cuadros de monitoreo de una imagen.

4) **Botones de Aceptar y Regresar**, estos 2 botones permiten salir de la pantalla de establecimiento de control de calidad a la pantalla de menú principal.

Operaciones aplicadas por programación para el análisis de las imágenes

- Transformación a escala de grises de las imágenes originales captadas por cada cámara, como se muestra en la Figura 109.

```

//Asignación de las capturas de cada cámara a matrices
Mat originalImage1,originalImage;
captureVideoInLabel.read(originalImage);
captureVideoInLabel1.read(originalImage1);

if (originalImage.empty() == true||originalImage1.empty() == true)
{
    return;
}

captureVideoInLabel>>src;
captureVideoInLabel1>>src1;

//Transformación de imagenes a escala de grises
cvtColor( src, src_gray, COLOR_BGR2GRAY );
cvtColor( src1, src_gray1, COLOR_BGR2GRAY );|

```

Figura 109 Transformación a escala de grises

- Umbralización (*threshold*): en la imagen se establece uno de los tipos de umbralización, para que con una variable numérica 0 a 255 (valor de umbralización establecido en la ventana), se pueda separar las áreas de una imagen correspondientes a las regiones que se desean analizar. En la Figura 110 se observa cómo se aplica la umbralización de tipo binario.

```

//Obtención de valores de tipo de threshold, valor de threshold y valor de canny
int t=ui->tipo_threshold->value();
int threshold_value=ui->valor_threshold->value();
int can=ui->valor_canny->value();

QString imagen=ui->t_imagen->currentText();
QString tipo;
QString valor=QString::number(threshold_value);
QString cann=QString::number(can);

//Aplicación de threshold
if(t==0)
{
    threshold( src_gray, dst, threshold_value, 255,THRESH_BINARY);
    threshold( src_gray1, dst1, threshold_value, 255,THRESH_BINARY);
    tipo="Binario";
}

```

Figura 110 Aplicación de threshold (Binario)

- Homografía: permite la relación en la transformación entre dos planos en una imagen, con lo que se puede cambiar su perspectiva, tomando como base 4 puntos de entrada (pedidos en la ventana) y 4 de salida (esquinas de la imagen de salida), todos ellos aplicados en la operación para la obtención de una matriz de homografía (λ), la cual finalmente se aplicó en la imagen original. A continuación, en la Figura 111 se establecen las líneas de código necesarias para cambiar la perspectiva en las imágenes captadas por las cámaras.

```

//Creación de puntos de entrada para homografía
Point2f inputQuad[4];
Point2f inputQuad1[4];

//Creación de puntos de salida para homografía
Point2f outputQuad[4];
Point2f outputQuad1[4];

//Creación de matriz para homografía
Mat homolo,homolo1;

//Creación de matriz lambda
Mat lambda( 2, 4, CV_32FC1 );
Mat lambda1( 2, 4, CV_32FC1 );

//Establecimiento de las mismas dimensiones y el tipo de la imagen de entrada (dst
lambda = Mat::zeros( dst.rows, dst.cols, dst.type() );
lambda1 = Mat::zeros( dst1.rows, dst1.cols, dst1.type() );

//Obtención de la matriz lambda de transformacion de perspectiva
lambda = getPerspectiveTransform( inputQuad, outputQuad );
lambda1 = getPerspectiveTransform( inputQuad1, outputQuad1 );

//Aplicación de la transformacion de perspectiva a la imagen de entrada (dst y dst1)
warpPerspective(dst,homolo,lambda,homolo.size() );
warpPerspective(dst1,homolo1,lambda1,homolo1.size() );

```

Figura 111 Aplicación de homografía

- ROI: en la imagen corregida para tener un mejor análisis de la zona de interés se aplica una máscara, para separar la región de interés del tejido que se desea supervisar, omitiendo elementos que no formen parte del mismo, para ello se establece un área rectangular tomando como base 2 puntos diagonales para formarlo, se crea una imagen

con las mismas dimensiones que la imagen de entrada, en el interior del rectángulo se dejan todos los píxeles de color blanco, mientras que por fuera del rectángulo todos los píxeles son negros, y finalmente se aplica una operación AND con la imagen de entrada, como se puede observar en la Figura 112.

```
Mat mascara (dst.rows, dst.cols, CV_8UC1, Scalar( 0,0,0));
Mat mascaral (dst1.rows, dst1.cols, CV_8UC1, Scalar( 0,0,0));
rectangle(mascara, corner01, corner02, Scalar(255, 255, 255),CV_FILLED,8,0);
rectangle(mascaral, corner11, corner12, Scalar(255, 255, 255),CV_FILLED,8,0);
Mat s_corte=mascara&homolo;
Mat s_corte1=mascaral&homolo1;
```

Figura 112 Establecimiento de ROI

- Momentos: el primer proceso fue la aplicación de *canny* que permite detectar bodes en una imagen, posteriormente se aplicó momentos para buscar los contornos dentro de los bordes detectados, después se dibujó los contornos en una imagen completamente negra con sus respectivos centros de masa. Esta es la última operación del sistema de control de calidad, con la que finalmente se detectan los orificios en el tejido. En la Figura 113 se detalla el algoritmo de la operación.

```

//Aplicación de canny
Canny(s_corte,salida_canny,can,can*2,3);
Canny(s_corte1,salida_canny1,can,can*2,3);

//Busqueda de contornos
findContours(salida_canny,contours,hierarchy,CV_RETR_TREE,CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE,Point(0
findContours(salida_canny1,contours1,hierarchy1,CV_RETR_TREE,CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE,Point(0

//Obtención de momentos
vector<Moments>mu(contours.size());
for(int i=0;i<contours.size();i++){
    mu[i]=moments(contours[i],false);
}
vector<Moments>mu1(contours1.size());
for(int i=0;i<contours1.size();i++){
    mu1[i]=moments(contours1[i],false);
}

//Obtención de centros de masa
vector<Point2f> mc(contours.size());
for(int i=0;i<contours.size();i++){
    mc[i]=Point2f(mu[i].m10/mu[i].m00,mu[i].m01/mu[i].m00);
}
vector<Point2f> mc1(contours1.size());
for(int i=0;i<contours1.size();i++){
    mc1[i]=Point2f(mu1[i].m10/mu1[i].m00,mu1[i].m01/mu1[i].m00);
}

//Trazado de contornos
Mat drawing=Mat::zeros(salida_canny.size(),CV_8UC3);
for(int i=0;i<contours.size();i++){
    Scalar color=Scalar(rng.uniform(0,255),rng.uniform(0,255),rng.uniform(0,255));
    drawContours(drawing,contours,i,color,2,8,hierarchy,0,Point());
    circle(drawing,mc[i],4,color,-1,8,0);
}
Mat drawing1=Mat::zeros(salida_canny1.size(),CV_8UC3);
for(int i=0;i<contours1.size();i++){
    Scalar color1=Scalar(rng1.uniform(0,255),rng1.uniform(0,255),rng1.uniform(0,255));
    drawContours(drawing1,contours1,i,color1,2,8,hierarchy1,0,Point());
    circle(drawing1,mc1[i],4,color1,-1,8,0);
}

```

Figura 113 Aplicación de momentos.

- Acondicionamiento: Después de obtener los centroides de los contornos, se realizó el acondicionamiento para establecer el rango de aguja que se encuentra causando fallos en el tejido, estableciendo la cantidad de mallas formadas por las agujas que se pueden presentar por cantidad de pixeles, como se muestra en la Figura 115. Para ello se analizó un área específica del tejido tenso ubicado sobre el rodillo como se observa en la Figura 114.

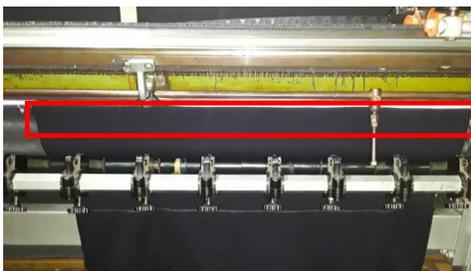


Figura 114 Ubicación del área de tejido analizada por el control de calidad

```

if(contours0.size()<4&&contours10.size()<4){
  for(int i=0;i<contours0.size()+contours10.size();i++){
    float xg;
    float fi_x2=px2;
    float in_x2=px2;
    float fi_x1=px1;
    float in_x1=px1;
    float t_pxd=fi_x2-in_x2;
    float t_px1=fi_x1-in_x1;
    float gujas_d=286.0;
    float resto1_d=20.0;
    float resto2_d=64.0;
    float resto3_d=gujas_d-resto1_d-resto2_d;
    float per_1d=resto1_d/gujas_d;
    float per_2d=resto2_d/gujas_d;
    float per_3d=resto3_d/gujas_d;
    float gujas_i=ancho;
    float resto1_i=46.0;
    float resto2_i=gujas_i-resto1_i;
    float per_1i=resto1_i/gujas_i;
    float per_2i=resto2_i/gujas_i;
    float px_1d=t_pxd*per_1d;
    float px_2d=t_pxd*per_2d;
    float px_3d=t_pxd*per_3d;
    float px_1i=t_px1*per_1i;
    float px_2i=t_px1*per_2i;

    if(i<contours0.size()){
      if(mc0[i].x-in_x1>=0.0&&mc0[i].x-in_x1<=px_1i){
        xg=(mc0[i].x-in_x1)*(resto1_i/(px_1i))-gujas_i;
      }
      if(mc0[i].x-in_x1>px_1i&&mc0[i].x-in_x1<=fi_x1){
        xg=(mc0[i].x-in_x1)*(resto2_i/(px_2i))-gujas_i;
      }
    }else{
      if(mc10[i-contours0.size()].x-in_x2>=0.0&&mc10[i-contours0.size()].x-in_x2<=px_3d){
        xg=(mc10[i-contours0.size()].x-in_x2)*(resto3_d/(px_3d));
      }
      if(mc10[i-contours0.size()].x-in_x2>px_3d&&mc10[i-contours0.size()].x-in_x2<=(px_2d+px_3d)){
        xg=resto3_d+(mc10[i-contours0.size()].x-px_3d)*(resto2_d/(px_2d));
      }
      if(mc10[i-contours0.size()].x-in_x2>(px_2d+px_3d)&&mc10[i-contours0.size()].x-in_x2<=fi_x2){
        xg=resto3_d+resto2_d+(mc10[i-contours0.size()].x-(px_2d+px_3d))*(resto1_d/(px_1d));
      }
    }
  }
  if(xg>=-286.0&&xg<=286.0){
    int jm=xg;
    if(jm<=-(gujas_i-10)){
      jm=-gujas_i-10;
    }
    if(jm>=276){
      jm=276;
    }
    QString lsu=QString::number(jm-10);
    QString lin=QString::number(jm+10);
    if(yu>=150|yu<=50){
      rango=lsu+" "+lin;
      gujas=false;
    }else{
      rango="0:0";
      gujas=true;
    }
  }
}

```

Figura 115 Algoritmo para el acondicionamiento del rango de aguja.

4.4. Programación de Arduinos Mega (Esclavos).

4.4.1. Primer Arduino Mega

Se declararon las librerías `Separador.h` para dividir la trama de opciones proveniente de la Raspberry Pi, `PCA9685.h` para el envío de órdenes del número de servomotor y valor de ángulo al driver del mismo nombre, `Wire.h` para el establecimiento de comunicación I2C (Comunicación que requiere el driver `PCA9685`), como se observa en la Figura 116.

```
//Librerías
#include <Separador.h>
#include <PCA9685.h>
#include <Wire.h>
```

Figura 116 Declaración de librerías

Se creó objetos de las librerías `Separador` y `PCA9685`, además se establece los rangos de pwm máximos y mínimos para que los servos alcancen -90° y 90° de movimiento respectivamente, como se presenta en la Figura 117.

```
PCA9685 driver;
Separador sep;
PCA9685_ServoEvaluator pwmServo(102, 470);
```

Figura 117 Creación de objetos `Separador` y `PCA9685`.

Se establece comunicación serial a 115200 baudios (los mismos que en la aplicación de Qt), así como también la comunicación por I2C, detalladas en la Figura 118.

```
void setup(){
  //Establecimiento de comunicación serial
  Serial.begin(115200);
  //Establecimiento de comunicación I2C
  Wire.begin();
  Wire.setClock(400000);
  driver.resetDevices();
  driver.init(B000000);
  driver.setPWMPFrequency(50);
}
```

Figura 118 Parámetros de establecimiento de comunicación serial e I2C

Los datos recibidos desde la Raspberry Pi son almacenados en una cadena donde se concatenan cada una de las letras y símbolos, como se observa en la Figura 119.

```
//Recepcion de cadena de ordenes para motores desde Raspberry
if(Serial.available()>0){
  char car=Serial.read();
  cadena+=car;
  if(car=='\n'){
    estado=estado+1;
    delay(50);
  }
}
```

Figura 119 Recepción de cadena de ordenes

En el primer Arduino se recibe las órdenes de los 13 servomotores montados sobre el carro y de los dos motoredutores que activan los mecanismos que permiten el movimiento en las camas.

Cada servomotor obtiene una orden enviada desde la Raspberry Pi; cada una de las órdenes es representada por una letra, entre cada letra se presentan asteriscos, para una correcta asignación una vez recibida cada línea de secuencia en el Arduino. Cada letra se asigna a una variable de tipo carácter, son separadas de los asteriscos gracias a la utilización de `Separa.h`; todos estos caracteres se concatenan y se asignan a una variable String que permitirá guardar cada carácter en un vector de caracteres (terminar), como se detalla en la Figura 120, el primer dato es omitido porque siempre se recibe un carácter que no corresponde a las órdenes.

```
dato_1=sep.separa(cadena, '*', 0);

suma_datos=dato0+dato1+dato2+dato3+dato4+dato5+dato6+dato7+dato8+dato9+dato10+dato11+dato12+dato13+dato14;
suma_datos.toCharArray(terminar, 20);
cadena="";
```

Figura 120 Asignación de órdenes a una cadena de caracteres.

Para el movimiento angular de cada servomotor entre una posición inicial y una posición final, se realiza mediante un barrido de ángulo, por lo que se requiere calcular la variación que se debe

dar entre posiciones mediante funciones. No todos los servomotores tienen una misma variación de movimiento entre posición y posición, pero sí comparten el tiempo en el que realizará el movimiento (debido a que todos los valores de ángulo se encuentran dentro de un mismo lazo *For*), por lo que se requiere compensar los valores de variación de ángulo indistintamente, llevando el valor de variación a una variable tipo int como se muestra a continuación en la Figura 121, donde se envía al primer canal del driver (número 0), el valor de ángulo calculado en la variable m0.

```
//Posicionamiento motores 0-7 y 12
for (i = 0; i < it; i += 1) {
  //Llamada a funciones

  //Determinacion de posicion del motor 0
  set_ini_fin_07(i, n_motor0, iniciar0, terminar[0]);
  m0=m0+get_z()+get_s();
  driver.setChannelPWM(n_motor0, pwmServo.pwmForAngle(m0));
}
```

Figura 121 Determinación y envío de posición angular por uno de los canales del driver.

Con los motoredutores se procedió de igual manera que con los servomotores, pero, cada posición está limitada por finales de carrera.

Para poder establecer las variaciones de ángulo entre orden y orden, se almacena las posiciones actuales en variables para ser comparadas con las posiciones que a futuro sean enviadas desde la Raspberry Pi.

4.4.2. Segundo Arduino Mega

Al igual que en el primer Arduino se utiliza la librería *Separ.h*, para dividir las órdenes recibidas desde la Raspberry Pi. Ya que en este controlador se conecta el motor para el movimiento del carro, se necesita 3 pines digitales configurados como se muestra en la Figura 122.

```

const int STEP_PIN = 50;
const int Enable_PIN = 42;
const int DIR_PIN = 46;

pinMode(vvr, OUTPUT);
pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
pinMode(Enable_PIN, OUTPUT);
pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);

digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
digitalWrite(Enable_PIN, HIGH);
digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);

```

Figura 122 Declaración y configuración de los pines para el controlador del motor Nema 34.

Se reciben 3 órdenes por parte de la Raspberry Pi, entre las que se encuentran, la velocidad de avance del carro, rango de agujas y número de pasadas.

Para el control del motor Nema 34, se envía trenes de pulsos, mediante retardos en microsegundos (*delayMicroseconds()*), mientras más alto sea el valor más baja será la velocidad y viceversa. Para alcanzar un valor de velocidad a partir del reposo, se debe enviar un valor decremental de los pulsos; en este caso se consigue una aceleración inmediata por lo que se utilizó una función exponencial de los pulsos, con un valor inicial alto (para velocidad cercana a cero) y se va restando el valor de 2 elevado al contador, llegando hasta el valor final y manteniéndose en el mismo durante por el resto del contador (velocidad constante), como se observa en la Figura 123. Posteriormente, para frenar el motor se debe enviar valores de pulso incrementales partiendo del valor de pulso final (velocidad constante), sumándole el valor de 2 elevado al contador, hasta llegar al valor inicial con la que partió el movimiento.

```

for (int i=0; i < rango; i++){
  if(v_min<=v_max){
    v_min=v_max;
  }else{
    v_min=v_min-(cons_a^i);
  }
  digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(v_min);
  digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
}

```

Figura 123 Tren de pulsos para aceleración del motor Nema 34

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan las pruebas realizadas en el sistema, partiendo de un análisis de productividad en el estado inicial de la máquina (control manual) y en el estado final de la máquina (control autónomo); obtención y análisis de imágenes; y finalmente la validación de la hipótesis planteada.

5.1. Prueba de producción

El objetivo de esta prueba fue comparar el aumento en los niveles de producción que ha permitido la automatización de la máquina, partiendo desde el estado inicial en el que se encontraba, todo ello mediante el índice de producción, el cual se obtiene del cociente entre el área del tejido en cm² y el tiempo en minutos requerido para ser elaborado, como se muestra en la Ecuación 58. (Ruiz, 2013)

$$\text{Índice de producción} = \frac{\text{Área del tejido (cm}^2\text{)}}{\text{Tiempo de elaboración (min)}} \quad \text{Ec 58.}$$

En la Tabla 26 se encuentran tabulados los valores de cada una de las áreas tejido por talla de suéter para uniforme, además de los tiempos requeridos para la elaboración de cada uno de ellos tejidos a mano, así como el índice de producción, cabe mencionar que estos valores de índice de producción van decayendo con el tiempo, por el cansancio que sufre el operario. Además, se debe tomar en cuenta tiempos como el de levantamiento de pesas para el descenso del tejido, por cada alto se realiza una vez y cambio de cono de hilo vacío por uno lleno.

Tabla 26*Valores de área de tejidos en operación manual.*

Talla	Tipo de alto	Parte del alto	Ancho		Altura		Área cm ²	Tiempo min	Tiempo total min	Índice producción cm ² /min
			# agujas	Total cm	pasadas	Total cm				
60	Manga	Separación			12			1,5	34,17	166,81
		Faja (Rib 1x1)	550	100	36	57	5700	1,67		
		Llano			540			29		
		Peso			0			1		
		Cambio cono			0			1		
	Cuerpo	Separación			12			1,5	33,17	182,33
		Faja (Rib 1x1)	520	96	36	63	6048	1,67		
		Llano			590			28		
		Peso			0			1		
		Cambio cono			0			1		
55	Manga	Separación			12			1,5	30,67	162,76
		Faja (Rib 1x1)	520	96	36	52	4992	1,67		
		Llano			480			25,5		
		Peso			0			1		
		Cambio cono			0			1		
	Cuerpo	Separación			12			1,5	29,17	182,93
		Faja (Rib 1x1)	490	92	36	58	5336	1,67		
		Llano			540			24		
		Peso			0			1		
		Cambio cono			0			1		
50	Manga	Separación			12			1,5	26,67	162,13
		Faja (Rib 1x1)	490	92	34	47	4324	1,67		
		Llano			430			21,5		
		Peso			0			1		

CONTINÚA



45	Cuerpo	Cambio cono			0		1			
		Separación			12		1,5			
		Faja (Rib 1x1)	470	89	34	53	4717	1,67	23,27	203,58
		Llano			490			18,1		
		Peso			0			1		
	Manga	Cambio cono			0		1			
		Separación			12		1,5			
		Faja (Rib 1x1)	460	88	32	42	3696	1,67	20,93	176,59
		Llano			380			15,67		
		Peso			0			1		
Cuerpo	Cambio cono			0		1				
	Separación			12		1,5				
	Faja (Rib 1x1)	430	84	32	48	4032	1,67	22,43	179,76	
	Llano			440			17,26			
	Peso			0			1			
Manga	Cambio cono			0		1				
	Separación			12		1,5				
	Faja (Rib 1x1)	430	84	32	37	3108	1,67	19,05	163,15	
	Llano			330			13,84			
	Peso			0			1			
Cuerpo	Cambio cono			0		1				
	Separación			12		1,5				
	Faja (Rib 1x1)	410	81	32	43	3483	1,67	20,17	172,68	
	Llano			390			15			
	Peso			0			1			
Cuerpo	Cambio cono			0		1				
	Separación			12		1,5				
	Faja (Rib 1x1)	410	81	32	43	3483	1,67	20,17	172,68	
	Llano			390			15			
	Peso			0			1			

En el muestreo se analizó 40 altos, de los cuales 20 son para mangas y 20 son para cuerpos talla 40. Inicialmente se tomaron los valores de tiempo tejidos a mano, posteriormente se adquirió los

valores de tiempo tejidos con control autónomo, para cada muestra se calculó los índices de producción como se puede observar en la Tabla 27.

Tabla 27

Tiempos e índices de producción de altos de manga y cuerpos talla 40 (Control manual y automático).

N°	Control Manual				Control Automático			
	Tiempo		Índice		Tiempo		Índice	
	[min]	[cm ² /min]	[min]	[cm ² /min]	[min]	[cm ² /min]	[min]	[cm ² /min]
	Manga 40	Cuerpo 40	Manga 40	Cuerpo 40	Manga 40	Cuerpo 40	Manga 40	Cuerpo 40
1	19,05	20,17	163,15	172,68	21,5	22,33	144,56	155,98
2	19,5	20,7	159,38	168,26	22,08	24,67	140,76	141,18
3	19,9	20,9	156,18	166,65	21,58	22,5	144,02	154,80
4	20,1	21,4	154,63	162,76	21,58	22,33	144,02	155,98
5	20,5	21,5	151,61	162,00	20,61	23,42	150,80	148,72
6	20,95	21,6	148,35	161,25	21,87	22,5	142,11	154,80
7	21,5	21,9	144,56	159,04	21,33	22,33	145,71	155,98
8	21,9	22,7	141,92	153,44	22,67	23,55	137,10	147,90
9	22,33	22,9	139,18	152,10	21,3	22,5	145,92	154,80
10	22,5	23,5	138,13	148,21	22,23	22,17	139,81	157,10
11	23,1	23,77	134,55	146,53	23	22,42	135,13	155,35
12	23,7	24,33	131,14	143,16	22,33	23,25	139,18	149,81
13	23,8	24,5	130,59	142,16	21,33	22,33	145,71	155,98
14	24,22	24,8	128,32	140,44	21,5	22,25	144,56	156,54
15	24,33	24,85	127,74	140,16	22,25	22,5	139,69	154,80
16	24,75	25	125,58	139,32	23,25	22,5	133,68	154,80
17	24,88	25,15	124,92	138,49	22	22,33	141,27	155,98
18	25	25,25	124,32	137,94	22,25	22,33	139,69	155,98
19	25,5	25,33	121,88	137,50	23,17	22,75	134,14	153,10
20	25,7	25,5	120,93	136,59	21,5	22,25	144,56	156,54
Media	22,66	23,29	138,35	150,43	21,97	22,66	141,62	153,81

El aumento en la productividad de la máquina comparando la media obtenida del índice de productividad antes de la automatización a la media obtenida después de la automatización es de:

Altos de manga talla 40

$$\% \text{ Aumento Productividad} = \frac{150,43 * 100}{138,35} - 100$$

$$\% \text{ Aumento Productividad} = 8,73\%$$

Altos de cuerpo talla 40

$$\% \text{ Aumento Productividad} = \frac{153,81 * 100}{141,62} - 100$$

$$\% \text{ Aumento Productividad} = 8,61\%$$

Con lo que se puede establecer que el aumento en la producción es de entre 8,61% a 8,73%.

5.2.Pruebas de obtención de imágenes

Se realizaron pruebas de obtención de imágenes con diferentes tipos de umbralización con los valores de constante que mejores resultados (Tabla 28) para la determinación de cuál de ellos es más efectivo para la detección de orificios analizando una zona de interés para la detección de los orificios por parte de cada cámara, a partir de una imagen original (RGB) como se observa en la Figura 124.

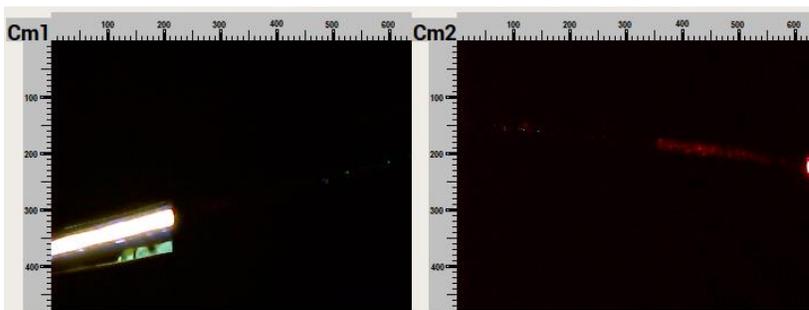


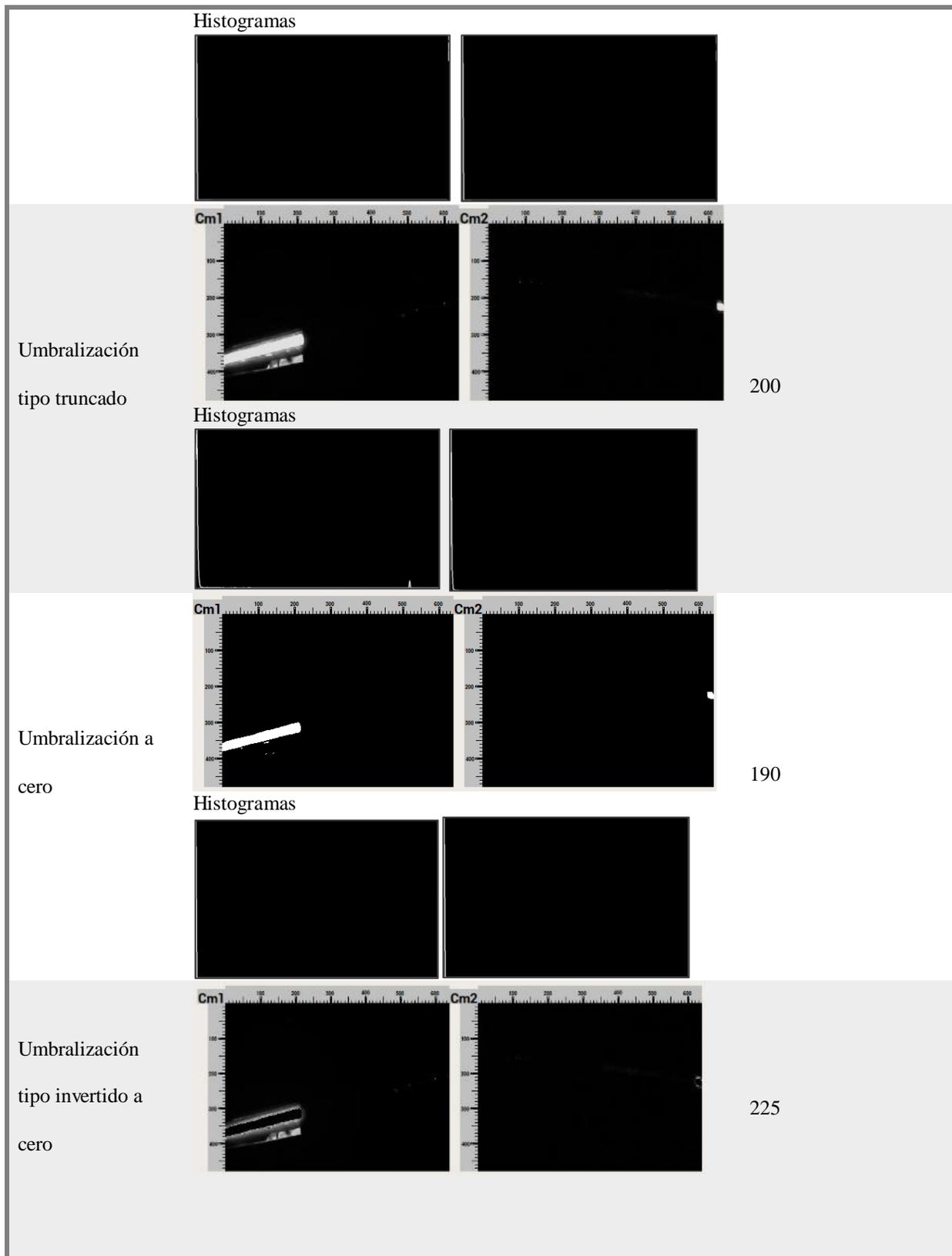
Figura 124 Imagen original captada por ambas cámaras.

Tabla 28
Tipos de umbralización.

Tipo de umbralización	Imagen	Valores de umbralización
Umbralización tipo binario		180
Umbralización tipo binario invertido		180

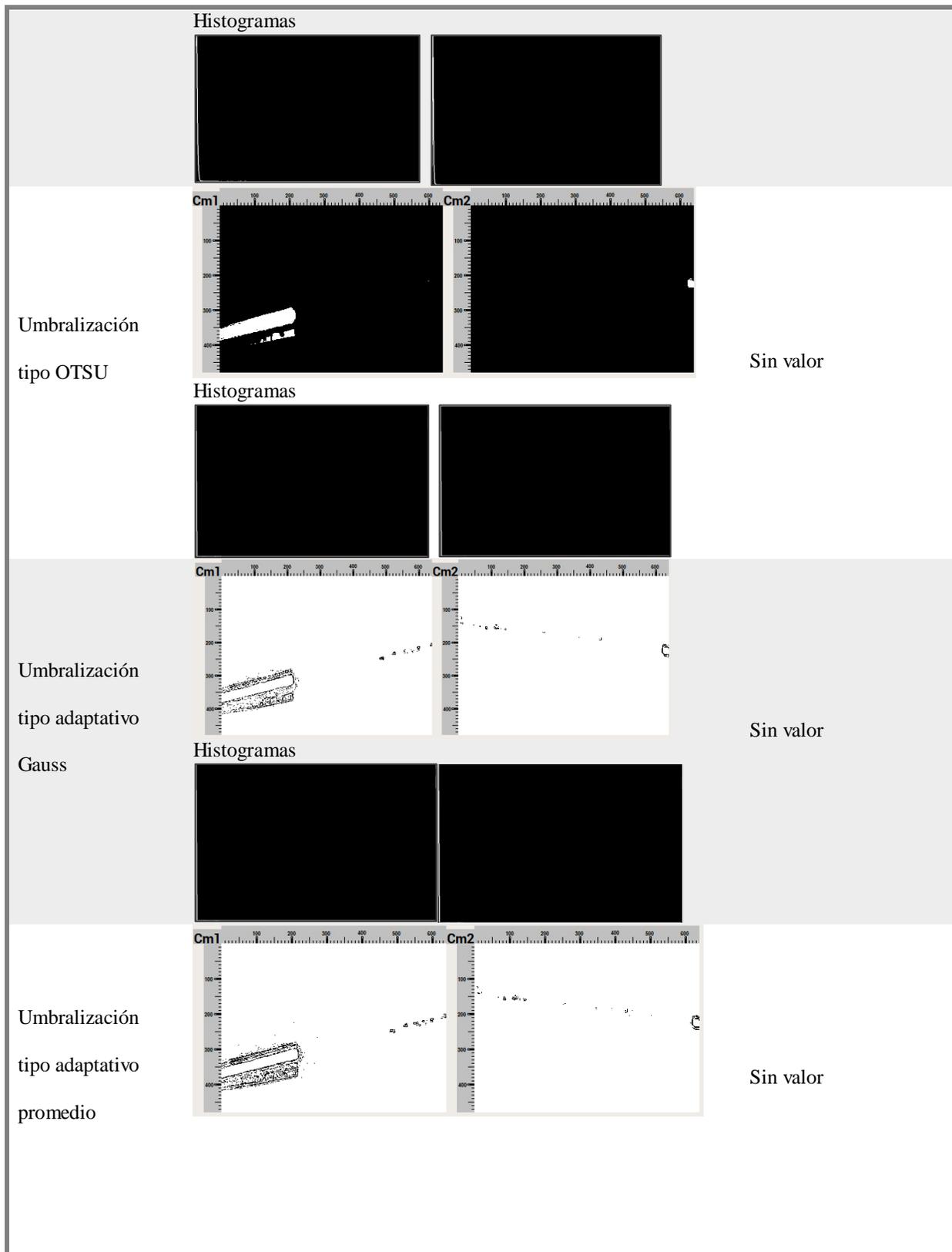
CONTINÚA





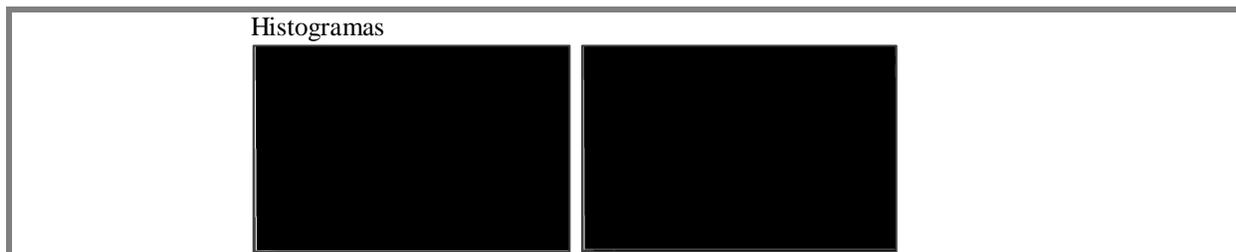
CONTINÚA





CONTINÚA





Cada zona de interés se determina desde la mitad de la máquina a cada extremo de la misma 286 agujas para el lado derecho, mientras que el número de agujas del lado izquierdo depende de la talla del alto que se va a realizar y 3 cm de alto. La configuración de corrección de perspectiva se indica en la Figura 125, cuyos valores de puntos de corrección desde el punto superior izquierdo en sentido anti horario son para la primera cámara P1(0,-310), P2(640,-75), P3(640,510), P4(0,530), para la segunda cámara P1(0,-9), P2(640,-160), P3(640,380), P4(0,480); las regiones de interés para el análisis se forma por rectángulos, como se muestra en la Figura 126, para la primera cámara el punto superior izquierdo es P1(320,110), punto inferior derecho P2(630,150), para el caso de un alto de cuerpo talla 40, para la segunda cámara el punto superior izquierdo es P1(0,110), punto inferior derecho P2(598,150).

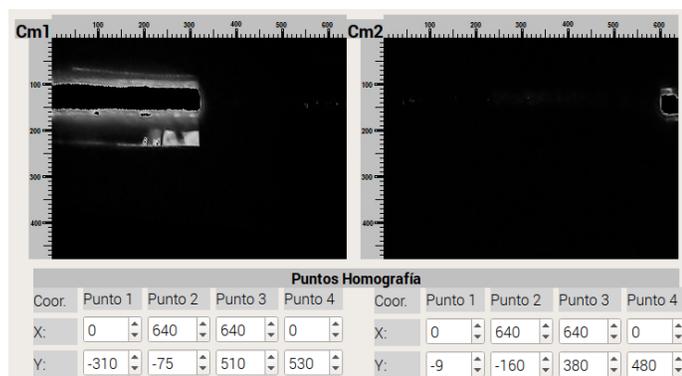


Figura 125 Corrección de perspectiva utilizando Homografía.

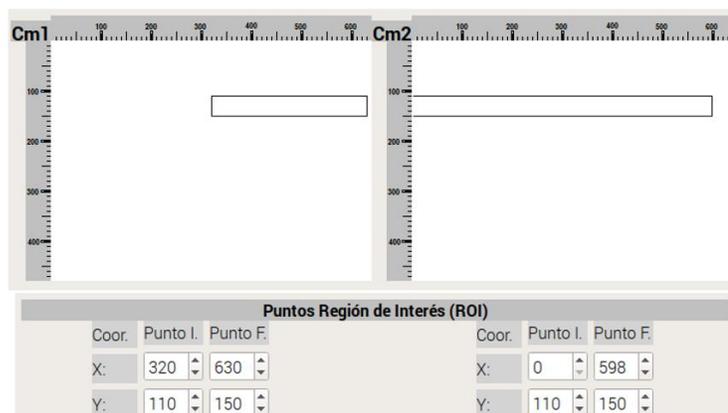


Figura 126 Región de interés y aplicación de momentos para la detección de bordes (orificios en el tejido).

Para probar la correcta detección de los rangos de aguja se realizó pruebas frente a la cámara con tramos de tejido con orificios, los cuales se pueden observar en los indicadores de cada una de las cámaras de la pantalla principal, así como el rango de posición en la que se ubican, cómo se presenta en la Figura 127.

Fallo en tejido	Rango agujas	Cámara 1 (Cm1)	Cámara 2 (Cm2)
	-145:-125		
	-52:-32		
	136:156		
	266:286		

Figura 127 Detección de orificios en los indicadores de la pantalla principal

5.3.Detección de fallos en el tejido

Se realizaron las pruebas de detección de fallos en el tejido al mismo tiempo que las pruebas de productividad, por lo que las muestras analizadas son los 40 altos talla 40, el objetivo principal del módulo de control de calidad es establecer la detección y rango de agujas dañada (± 10 agujas lo que representa el 3,5% del total de las agujas de la máquina), o que se encuentra causando el fallo.

5.4.Prueba de detección de orificios

Mediante esta prueba se establece el porcentaje de precisión que el módulo de control de calidad tiene al momento de detectar orificios en el tejido, además se comprueba si los orificios detectados se encuentran dentro del rango (exactitud), como se indica en la Tabla 29. En la Figura 128 se puede observar un alto que presenta orificios.

Tabla 29

Pruebas de detección de orificios en el tejido.

No Prueba	Número de orificios		Rango de detección	
	Detectados	Real	Detectado	Real
1	1	0	-145:-125	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0

CONTINÚA



13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	1	0	-145:-125	0
19	1	1	-142:-122	-133
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	1	0	-125:-105	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	1	0	-125:-105	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0



Figura 128 Orificio en el tejido

Las 20 primeras pruebas fueron realizadas en altos de manga talla 40, mientras que las 20 segundas en altos de cuerpo talla 40. De las pruebas de detección de orificios se puede concluir que detectó erróneamente tres veces, en el borde derecho.

Por cada alto mal detectado la aceptabilidad del sistema disminuye un 2,5%, por lo que el sistema actualmente posee 92,5% de aceptabilidad.

5.5. Validación de la hipótesis

Se determina si el sistema implementado contribuyó con el mejoramiento de la máquina, mediante métodos como *t-student* para verificar si la autonomía conseguida en la máquina y el control de calidad en el tejido fue más eficaz para la fabricación de altos de tela.

La hipótesis que originalmente se planteó para el proyecto fue: ¿La automatización de la máquina tejedora por trama rectilínea Dubied galga 12 e implementación de un módulo de control de calidad por visión artificial, permitirá mejorar la producción y la calidad del tejido de punto?

5.5.1. Validación de la hipótesis para el índice de producción por el método de T-student

En la validación de la hipótesis para el índice de producción se lo realizo por el método *T-student* para dos variables dependientes, ya que permite la aceptación o negación de determinados cambios que han sucedido partiendo desde un antes (el estado inicial de la máquina con control manual) a un después (el estado final de la máquina con control autónomo).

Para lo cual se plantean dos hipótesis, una nula y otra alternativa como establece León (2013):

- H_0 : El índice de producción de la máquina automatizada no aumenta comparado a la máquina manual. ($D=0$)
- H_a : El índice de producción de la máquina automatizada aumenta comparado al de la máquina manual. ($D>0$)

En la Tabla 30 se puede observar las condiciones para la validación de la hipótesis nula o alternativa.

Tabla 30
Condiciones para la validación de la hipótesis nula H_0 .

Condición		Decisión
$-t_c < t_{n-1} < t_c$	Ec. 59	No se rechaza H_0
$t_{n-1} < -t_c$ ó $t_{n-1} > t_c$	Ec. 60	Se rechaza H_0

Fuente: (León, 2013)

Donde:

t_c : Estadístico t calculado

t_{n-1} : Estadístico t para el número de grados de libertad (GL) y nivel de significancia o desviación estándar ($\sigma = 0,05$)

Para los 20 altos (muestra n) de manga, así como para los 20 altos de cuerpo talla 40 se establece el valor de los grados de libertad (GL) con la Ecuación 61

$$GL = n - 1 \quad \text{Ec. 61}$$

$$GL = 20 - 1 = 19$$

Entonces de la tabla *t-student* Anexo D, se puede encontrar:

$$t_{n-1} = 1,729$$

El estadístico t calculado se establece mediante la Ecuación 62:

$$t_c = \frac{\bar{d} - \bar{D}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. 62}$$

Donde:

\bar{d} : Media de la diferencia de los datos de las dos variables dependientes (Valores de índice de producción con control manual y control autónomo).

\bar{D} : Media del valor cualitativo de la hipótesis nula.

S_d : Desviación estándar de la muestra se establece con la Ecuación 63.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

Donde:

d_i : Es la diferencia entre los valores de índice de productividad de altos de suéter talla 40 entre los realizados por control manual y los realizados con control autónomo.

Para los altos de manga los resultados obtenidos de la Tabla 27 y despejando las Ecuaciones 63 y 62 respectivamente fueron:

$$\bar{d} = -3,27$$

$$\sum (d_i - \bar{d})^2 = 2829,52$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2829,52}{19}}$$

$$S_d = 12,2$$

$$t_c = \frac{-3,27 - 0}{\frac{12,2}{\sqrt{20}}}$$

$$t_c = -1,19$$

Para los altos de cuerpo los resultados obtenidos de la Tabla 27 y despejando las Ecuaciones 63 y 62 respectivamente fueron:

$$\bar{d} = -3,37$$

$$\sum (d_i - \bar{d})^2 = 3614,41$$

$$S_d = \sqrt{\frac{3614,41}{19}}$$

$$S_d = 13,79$$

$$t_c = \frac{-3,37 - 0}{\frac{13,79}{\sqrt{20}}}$$

$$t_c = -1,09$$

Para ambos casos cumple la segunda condición de la Ecuación 60

$$t_{n-1} > t_c$$

$$1,729 > -1,19 \text{ (Altos de manga)}$$

$$1,729 > -1,09 \text{ (Altos de cuerpo)}$$

Por lo que se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis alternativa, con un nivel de significancia del 5%, el índice de producción de la máquina automatizada aumenta comparado al de la máquina manual.

5.5.2. Validación de la hipótesis para el módulo de control de calidad por el método T-student

La validación de la hipótesis para la aceptabilidad del módulo de control de calidad se realiza mediante el método *T-student* de una sola variable basándose en el método de Montgomery (1996), para lo cual se plantean las siguientes hipótesis nula y alternativa:

Ho: El porcentaje de aceptabilidad del módulo de control de calidad en la detección de fallos en el tejido es igual al 90%. ($\mu_0 = 90\%$)

Ha: El porcentaje de aceptabilidad del módulo de control de calidad en la detección de fallos en el tejido es mayor al 90%. ($\mu_0 > 90\%$)

En la Tabla 31 se puede observar las condiciones para la validación de la hipótesis nula o alternativa.

Tabla 31

Condiciones para la validación de la hipótesis alternativa Ha.

Condición		Decisión
$t > -t_\alpha$	Ec. 64	$\bar{X} > \mu_0$
$t < t_\alpha$	Ec. 65	$\bar{X} < \mu_0$

Fuente: (Montgomery, 1996)

Donde:

t : Es el valor de la estimación t calculado

t_α : Es el valor de la distribución obtenida del Anexo D.

\bar{X} : Es el porcentaje de aceptabilidad medio.

μ_0 : Es el porcentaje de aceptabilidad esperado.

Para la estimación de t se utilizó la Ecuación 67.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. 67}$$

Donde:

S : Es la desviación estándar de la muestra (Ecuación 68)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 67}$$

Con 40 muestras para altos talla 40, $\bar{X} = 92,5\%$, y despejando la Ecuación 67

$$S = 26,67$$

Entonces la estimación de t despejando la Ecuación 67 fue de:

$$t = 0,593$$

Con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y una muestra de 40, en el Anexo A 12; $t_\alpha = 1,684$.

Cumple con la condición de la Ecuación 64:

$$t > -t_\alpha$$

$$0,593 > -1,648$$

Por ende, se acepta la hipótesis alternativa donde se establece que el porcentaje de aceptabilidad del módulo de control de calidad en la detección de fallos en el tejido es mayor al 90%.

5.6.Costos

A continuación, en la Tabla 32, se presenta los costos de todo el proyecto.

Tabla 32
Costos

Cantidad	Detalle	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Materiales Estructurales y Mecánicos			
1	Perfil cuadrado 40mm x 2mm	16.00	16.00
1	Perfil cuadrado 20mm x 2mm	13.00	13.00
12	Platina 1/2 pulg. x 1/8 pulg.	0.6	7.20
1	Platina 3/4 pulg. x 1/8 pulg.	0.7	0.7
1	Platina 2 pulg. x 1/8 pulg.	0.9	0.9
1	Platina 2 1/2 pulg. x 1/4 pulg.	1.5	1.5
5	Platina 1 1/4 pulg. x 1/8 pulg.	0.8	4.0
1	Eje de acero (D=1 pulg.)	2.00	2.00
1	Eje de nailon (D=3pulg.)	5.00	5.00
96	Juego de tornillo, tuerca y arandela 5/32 pulg.	0.12	11.52
54	Juego de tornillo, tuerca y arandela de 1/8 pulg.	0.10	5.40
2	Pernos M8	0.25	0.50
2	Pernos M10	0.30	0.60
2	Polea de acero ASTM A36 (D=120 mm)	50.00	100.00
2	Rodamiento (Do= 3/4 in y Di=2in)	3.00	6.00
1	Acople para mecanismo de cama posterior	30.00	30.00
1	Acople para mecanismo de cama frontal	40.00	40.00
	Piezas impresas en plástico ABS	145.00	145.00
1	Caja reductora 5:1 servomotor híbrido nema 34	350.00	350.00
1	Carcasa (Protección transmisión y aislamiento iluminación)	60.00	60.00
Subtotal			886.00
Materiales eléctricos y electrónicos			
1	Raspberry Pi Modelo B+	65.00	65.00
2	Arduino Mega	20.00	40.00

CONTINÚA



1	Driver PCA9685	10.00	10.00
2	Driver L298N	4.00	8.00
1	Fuente de computador (200W)	15.00	15.00
1	Fuente conmutada de 60V-6A	100.00	100.00
1	Fuente conmutada de 5V-6A	20.00	20.00
1	Servomotor híbrido Nema 34	550.00	500.00
13	Servomotor MG996R	13.00	169.00
3	Motoreductor Pololu 131:1	35.00	105.00
2	Sensor capacitivo	9.00	18.00
3	Final de carrera	1.50	4.50
10	Resistencia 10K Ω	0.05	0.50
1	Módulo Waveshare 7 pulg.	105.00	105.00
1	Módulo relé 4 canales	5.00	5.00
1	Switch de un estado	3.50	3.50
2	Pulsador	3.00	6.00
1	USB hub	5.00	5.00
1	Armario 40cm x 40cm x 20cm	45.00	45.00
20	Alambre flexible calibre 18	0.20	4.00
40	Alambre flexible calibre 20	0.25	10.00
1	Cadena porta cables	19.50	19.50
5	Manguera corrugada ½ pulg.	0.30	1.50
5	Manguera corrugada 1 pulg.	0.50	2.50
1	Breaker 5A	5.00	5.00
1	Canaleta ranurada	6.00	6.00
1	Tarjeta micro SD 32 GB	8.00	8.00
Subtotal			1281.00
Módulo de control de calidad por visión artificial			
2	Cámara anera	8.00	16.00
1	Tira de leds	5.00	5.00
Subtotal			21.00
Implementación y Máquina			
Eléctrico y electrónico			300.00
Mecánico			200.00

CONTINÚA



Máquina Dubied galga 12	500.00
Subtotal	1000.00
Total	3188.00

El costo total de la máquina automatizada fue de \$3188.00, se puede comparar con el precio de máquinas que se encuentran a la venta en el mercado local las cuales pueden tejer puntadas de forma autónoma con precios sobre los \$9000.00 (Tecmatej, s.f.), con lo cual se verifica que el proyecto es factible, contando con un extra que es el módulo de control de calidad por visión artificial para la detección de orificios en el tejido. Tomando como base el tiempo que tarda la máquina en la creación de los altos de las pruebas de producción (21.97 y 22.66 minutos para altos de manga y cuerpo talla 40); se forma 3 suéteres de uniforme con 2 altos de manga (43.94 minutos) y 3 altos de cuerpo (67.98 minutos), por cada suéter tejido (37.31 minutos) se paga al operario \$1. Para cubrir toda la inversión se requiere una producción de 118944.28 minutos, es decir en aproximadamente 13 meses, tomando en cuenta 8 horas diarias de trabajo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Mediante la investigación bibliográfica de las diferentes alternativas de mecanismos se estableció cuáles pudieron ser utilizadas en el proyecto, dando como resultado la selección de los más relevantes para cada sistema y subsistema, en base a características como eficiencia, potencia, velocidad, costes, etc (Sección 3.2). Para los mecanismos acoplados dentro y fuera del carro de la máquina se usó acoples directos, ruedas de fricción y mecanismos compuestos por eslabones, en la transmisión del carro con un juego de poleas y banda en v que es el mecanismo de mayor relevancia en la elaboración del sistema, por su bajo coste, mayor amplitud de movimiento, eficiencia y velocidad constante.
- En el diseño de los elementos mecánicos se estableció el estado inicial de la máquina, como se presenta en la Sección 3.1, también los requerimientos para la generación de movimientos como fuerzas, torques, variación de posición lineal, y, en algunos casos angular, permitiendo obtener de forma real estos datos con la utilización de instrumentos de medición (Sección 3.3). Además, se determinó que el sistema de mayor relevancia en la automatización de la máquina fue la transmisión del carro, cuyo cálculo se realizó en base a la fuerza necesaria para mover el carro (12.65 Kgf) y la velocidad estándar de las máquinas rectilíneas que se oferta en el mercado local (1.2 m/s); su importancia radica en la creación del tejido, llevando el hilo a cada una de las agujas, para lo cual fue necesario,

la creación de la mayoría de los elementos, a partir de una base montada sobre los soportes de la fileta, un juego de poleas, acoples para cada polea.

- Los elementos mecánicos fueron diseñados y validados utilizando la nomenclatura y teoría de Nisbett (2012) y Mott (2006), así como también utilizando un software CAD - CAE para el dimensionamiento y análisis en ciertos casos, con los que se estableció factores de seguridad mayores a los requerimientos mínimos de cada una de las aplicaciones para los cuales fueron fabricados como en el eje de la polea conducida (n=4 y n=3), acople de subsistema de selección de puntada adicional (n=5,4), acople de subsistema de selección de guiahilo (n=2,48), acople de mecanismo para la fontura frontal (n=8,7), acople de mecanismo para la fontura posterior (n=1,86). Los elementos fueron de tipo modular para no alterar la estructura física y en caso de avería de algún actuador pasar nuevamente a un control 100% manual lo que permite un mejor mantenimiento en la máquina, evitando daños en el resto de actuadores.
- Se seleccionó una Raspberry Pi como el controlador principal porque al ser una computadora embebida posee un gran procesamiento, compatibilidad con un entorno de programación que permite la creación de interfaces gráficas, conexión con periféricos externos como cámaras usb, así como el manejo de librerías para adquisición y tratamiento de imágenes, para una detección oportuna de fallos en el tejido, comunicación serial con los Arduinos, los cuales actuaron de esclavos conectados directamente con los drivers de actuadores y sensores, que para este sistema y por el diseño electrónico se estableció el uso de dos, ya que se requiere una gran cantidad de pines.

- El módulo de control de calidad se diseñó utilizando el IDE de programación de Qt Creator con las librerías de OpenCV creadas específicamente para el análisis y procesamiento de imágenes. Se realizaron diferentes operaciones para un correcto análisis y detección de fallos en el tejido, como el establecimiento en escala de grises de la imagen, rotación, tipo y nivel de umbralización, siendo el más idóneo para la aplicación el tipo invertido a cero y con un valor de 225 (constante de umbralización), corrección de perspectiva con el uso de homografía, ya que las cámaras se ubican cerca del tejido impidiendo captar las imágenes de manera frontal, establecimiento de una región de interés de 3cm de alto por el ancho total del tejido a elaborar, esto acondicionado a la cantidad de pixeles que representa, y detección de contornos. La iluminación consta de una tira de leds incorporada detrás del tejido, se construyó también un escenario que permitió el aislamiento de la zona de análisis de iluminación externa.
- Al igual que el módulo de control de calidad para el diseño del HMI fue necesario la utilización del IDE de Qt Creator, permitiendo en esta el establecimiento de secuencias, variación de parámetros del tejido y del módulo de control de calidad; así como indicadores en tiempo real de secuencia, obtención de imagen y alarmas. Además, se determinó la necesidad de almacenar los datos de las secuencias establecidas, para evitar pérdidas de tiempo en la creación de una nueva secuencia de parámetros cada vez que se desee elaborar un tejido en particular.
- Se pudo validar la hipótesis del aumento en la producción de la máquina rectilínea debido a la automatización en el manejo y control de la misma, mediante el estadístico t-student para dos variables dependientes (Sección 5.5.1), dato respaldado mediante pruebas. Con la

automatización de varias máquinas, un solo operario podría controlar y producir una mayor cantidad del tejido al mismo tiempo. Además, se estableció que el cansancio del operario influye en la producción (control manual), por lo que con la automatización de la máquina no sufre una alteración en su producción con el paso del tiempo y se puede producir constantemente todo el día, en diferentes turnos.

- Se determinó que el módulo de control de calidad por visión artificial para la detección de orificios obtuvo un nivel de aceptación mayor al 90%, tomando como referencia las 40 muestras de alto analizadas (Sección 5.5.2), los falsos positivos se deben a la mala calibración de la región de interés, que en ocasiones puede variar por la tensión existente en los bordes del tejido por parte del mecanismo del rodillo.
- Desde un punto de vista económico, la automatización de la máquina rectilínea, es factible ya que los tiempos de producción para altos de manga talla 40 se redujeron de 22.66 a 21.97 minutos, al igual que para los altos de cuerpo talla 40 se redujeron de 23.29 a 22.66 minutos, es decir que para tejer un suéter completo se redujo de 38,4 a 37.31 minutos, representando esto en una ganancia de \$0.085 por cada suéter tejido, por lo que el aumento en la producción del tejido de punto fue de 8.5% como se detalla en la Sección 5.1. El módulo de control de calidad posee un 92,5% de confiabilidad en la detección oportuna de orificios a lo largo de la tela elaborada (Sección 5.4), lo cual le da mayor relevancia al sistema implementado, ya que se asegura un mayor margen de calidad del tejido elaborado por parte de la máquina.

6.2.Recomendaciones

- Verificar que el hilo se encuentre parafinado antes de empezar el proceso del tejido, con lo cual se re-encona o re embobina el hilo (Se pasa el hilo de un cono a otro), mientras el hilo se va re-enconando se unta parafina en el hilo, además se puede detectar nudos y motas en el mismo, pero en este proceso no es muy efectiva la detección, por lo que se requiere posteriormente la utilización de los tensores de guiahilo, todo este proceso se lo realiza para que el hilo tenga un diámetro uniforme y la máquina pueda tejerlo sin causar fallos.
- Revisar que la banda del sistema de transmisión para el carro se encuentre correctamente templada, además para darle mantenimiento al sistema se debe untar parafina en la banda, ya que con ello se evita que la banda patine.
- Regular bien los tensores de guiahilo, porque evita fallos a los lados de la tela (ruptura del tejido).
- Chequear que el nivel de apriete del tejido sea el correcto para evitar crear orificios.
- Se recomienda utilizar cámaras con un mayor ángulo de enfoque, para que el campo visual sea mayor en las imágenes captadas.
- Supervisar constantemente la ejecución de secuencias de la máquina, para evitar choques, tejido dañado y elementos averiados en la máquina.
- Controlar constantemente la cantidad de hilo que se encuentre en cada cono, para evitar parar la producción.

- Darle mantenimiento constante al carrito y fonturas, lubricando con aceite y cebo, para evitar ruptura de los talones de las agujas, y con ello a su vez evitando fallos en el tejido.
- Calibrar bien a los carritos de guiahilo, para evitar ruptura de las lengüetas y cabezas de las agujas, lo que causa que el tejido se acumule en las fonturas, impidiendo el paso del carro.
- Mientras se ejecute una secuencia evitar que la cama frontal se abra, ya que impediría que el carro avance.
- Chequear que el rodillo aplique correctamente tensión en el tejido para su descenso, con ello también se evita que el tejido se acumule en las fonturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Secretaría de Estado de Educación y Formación Profesional. (2011). *Visión Artificial. Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales*. España.
- Acosta, M. (6 de Julio de 2009). *Tejidoideas*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://tejiendoideas.wordpress.com/2009/07/06/7/>
- Adafruit Industries. (16 de Abril de 2015). *PCA9685*. Recuperado el 18 de Mayo de 2019, de <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>
- Alibaba Group. (s.f.). *AliExpress*. Recuperado el 2 de Junio de 2019, de https://es.aliexpress.com/item/32883561803.html?storeId=2945114&spm=a219c.search0104.3.21.5d6325c6f2qlS5&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_6_10065_10068_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_10301_1082
- Andrango, M. J. (2018). Trabajo De Grado Previo La Obtencion Del Título De Ingeniero Textil. *Analisis Comparativo De Arrugado Entre Un Tejido De Punto 100% Algodón Con Y Sin Un Acabado Siliconado*. Ibarra, Ecuador.
- Arias Andrade L, T. G. (2016). Diseño y construcción de un prototipo de telar plano de inserción de trama continua para tejido artesanal. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Azuara, N. (16 de Enero de 2017). *momita's blog*. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de <http://momitablog.com/como-comprar-tela/>
- Besalú, J. (16 de Junio de 2017). *Briconsola*. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de <https://www.briconsola.com/arcade/neo-geo-mvs/adaptar-fuente-atx-pc/>
- Búa, M. T. (s.f.). *edu.xunta*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41_ruedas_de_friccin.html
- C, S. M. (2017). Recuperación y transformación de la máquina de tejer Trigamo galga 10 de manual a automática para la microempresa tejidos Martínez. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Construcción, C. E. (2013). Norma Ecuatoriana de Construcción. *Instalaciones Electromecánicas*. Ecuador.
- Correa, E. A. (2010). *Monografías.com*. Recuperado el 14 de Agosto de 2019
- DRB. (2018). Classical V-Belt. *Industrial Belt*, 34.

- eduMedia. (s.f.). *edumedia.sciences*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/831-sistemas-de-transmision-de-movimiento>
- Eléctrica Aplicada. (s.f.). *electricaplicada*. Recuperado el 1 de Agosto de 2019, de <https://www.electricaplicada.com/porque-se-calculan-los-breakers-al-125-de-corriente/>
- Expotextil News. (s.f.). *expotextilnews*. Recuperado el 7 de Junio de 2019, de <http://www.expotextilnews.com.pe/news/maquinaria-y-equipos/stoll-presentara-la-nueva-generacion-de-maquinas-de-tejido-de-punto-en-itma/>
- Gail, B. (2011). *Manual de tejidos para diseñadores de moda*. España: Parramón.
- Galbarro, H. R. (s.f.). *ingemecánica*. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>
- Gavilán, B. (2015). *Slideshare*. Recuperado el 23 de Julio de 2019, de <https://es.slideshare.net/bladimirgavilan/tejido-punto>
- Gonzales, A. G. (23 de Enero de 2013). *PanamaHITEK*. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de Arduino Mega: Características, Capacidades: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>
- Integrales, S. (15 de Enero de 2019). *Pc. Networks*. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de http://pcnetworksec.com/index.php?rt=product/product&manufacturer_id=39&product_id=224
- J, G. P. (s.f.). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para una máquina textil rectilínea para la microempresa textil TECMATEJ*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- LAYRET TRADING, S.L. (s.f.). *Layret*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://www.layret.com/index.php?md=articles&id=720&lg=1>
- Leadshine. (17 de Enero de 2018). *Leadshine Leading Technology, Shining Value*. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de <http://www.leadshine.com/productdetail.aspx?type=products&category=stepper-products&producttype=stepper-motors&series=CM&model=86CM120>
- León, W. (2 de Septiembre de 2013). *Slideshare*. Recuperado el 03 de Mayo de 2019, de <https://es.slideshare.net/williamleon20/prueba-de-hipotesis-para-muestras-pequeas-est-ind-clase03>
- Lozano, R. (2017). *U-cursos*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de https://www.u-cursos.cl/ingenieria/material_docente

- marketingbcnvision. (12 de Septiembre de 2017). *bcnvision visión artificial*. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de <http://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/componentes-vision-artificial/>
- Molina, N. (Diciembre de 2015). *ResearchGate*. Recuperado el 17 de Junio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/317162163_Que_es_el_estado_del_arte
- Montgomery, D. (1996). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. México, D.F.: Continental S.A. de C.V. México.
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). *naylampmechatronics.com*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <https://naylampmechatronics.com/drivers/142-modulo-controlador-de-servos-pca9685.html>
- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- parabarbas. (4 de Noviembre de 2018). *Online Store*. Recuperado el 09 de Junio de 2019, de <https://www.parabarbas.es/bazar-francés-de-manga-larga-en-la-parte-superior-del-hombro-azul-claro-l-ikb07504-p-567.html>
- Pastor, J. (25 de Abril de 2018). *Xalaka Raspberry Pi 3 Model B+*. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>
- PC.Networks Soluciones Integrales. (27 de Julio de 2017). *pcnetworksec*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de http://pcnetworksec.com/index.php?rt=product/product&manufacturer_id=39&product_id=224
- Pere Ponsa, M. D. (12 de Septiembre de 2013). *Aipo*. Recuperado el 03 de Julio de 2019, de <https://aipo.es/articulos/4/4.pdf>
- Pololu Corporation. (s.f.). *Pololu Robotic & Electronics*. Recuperado el 05 de Junio de 2019, de <https://www.pololu.com/product/1107>
- Prometec. (23 de Noviembre de 2018). *prometec.net*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://www.prometec.net/l298n/>
- Riera, S. (16 de Noviembre de 2015). *modaesLatinoamérica*. Recuperado el 27 de Junio de 2019, de <https://www.modaes.com/equipamiento/shima-seiki-como-un-ingeniero-de-san-sebastian-revoluciono-la-manera-de-hacer-jerseis.html>
- Ruiz, C. P. (2013). Trabajo De Grado Previo La Obtencion Del Título De Ingeniero Textil. *Guía Técnica sobre la Elaboración de Tejidos de Punto en Máquinas Rectilíneas*. Ibarra, Ecuador.

- Salta, U. C. (2016). *Studocu*. Recuperado el 02 de Julio de 2019, de <https://www.studocu.com/en/document/universidad-catolica-de-salta/estadistica/lecture-notes/tabla-t-de-student/3079569/view>
- SHIMA SEIKI MFG., LTD. (s.f.). *Shima Seiki*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://www.shimaseiki.com/wholegarment/>
- Smart Prototyping. (s.f.). *smart-prototyping*. Recuperado el 05 de Junio de 2019, de <https://www.smart-prototyping.com/L298N-Dual-H-bridge-Motor-Driver-Board>
- Sotic. (2015). *Máquinas e insumos textiles*. Recuperado el 26 de Junio de 2019, de <http://www.sotic.ec/tejedoras/>
- Tecmatej. (s.f.). *Olx*. Recuperado el 02 de Octubre de 2019, de <https://quito.olx.com.ec/maquina-tejedora-universal-720-galga-7-iid-1065718904>
- Tower Pro. (s.f.). *Electronicoscaldas*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf
- Ultimaker. (16 de mayo de 2017). *ultimaker.com*. Obtenido de <https://ultimaker.com/download/67619/TDS%20ABS%20v3.011-spa-ES.pdf>
- Vanessa Alvear, P. R. (2017). Artículo Científico. *Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones*.
- Waveshare. (14 de Febrero de 2019). *Manual de Usuario 7 inch HDMI LCD*. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de https://www.waveshare.com/w/upload/a/a8/7inch_HDMI_LCD_User_Manual_EN.pdf

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **TORRES GALLO, DAVID ALEXANDER.**

En la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de noviembre del 2019.



Ing. Nathaly Rea
DIRECTORA DEL PROYECTO



Ing. Dario Mendoza
DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO