



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO  
AUTOMATIZADO DE TELAR PLANO DE INSERCIÓN DE  
TRAMA CONTINUA PARA TEJIDO ARTESANAL**

**AUTORES: ARIAS ANDRADE, LUIS FERNANDO  
TAIPICAÑA GUANO, ALEX FABIÁN**

**DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO BYRON. MSC**

**SANGOLQUÍ**

**2016**

## CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto titulado, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO DE TELAR PLANO DE INSERCIÓN DE TRAMA CONTINUA PARA TEJIDO ARTESANAL**”, realizado por los señores **ARIAS ANDRADE LUIS FERNANDO** y **TAIPICANA GUANO ALEX FABIÁN**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **ARIAS ANDRADE LUIS FERNANDO** y **TAIPICANA GUANO ALEX FABIÁN** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de Agosto del 2016

Ing. Cortez Pazmiño Byron Hernán. MSC

**DIRECTOR**

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ARIAS ANDRADE LUIS FERNANDO** y **TAIPICAÑA GUANO ALEX FABIÁN**, con cédula de identidad N° **172405192-3** y **171987636-7** respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación El presente proyecto titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO DE TELAR PLANO DE INSERCIÓN DE TRAMA CONTINUA PARA TEJIDO ARTESANAL”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 10 de Agosto del 2016**

Arias Andrade Luis Fernando  
172405192-3

Taipicaña Guano Alex Fabián  
171987636-7

## AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Arias Andrade Luis Fernando** y **Taipicaña Guano Alex Fabián**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO DE TELAR PLANO DE INSERCIÓN DE TRAMA CONTINUA PARA TEJIDO ARTESANAL”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra total autoría y responsabilidad.

**Sangolquí, 10 de Agosto del 2016**

**Arias Andrade Luis Fernando**

172405192-3

**Taipicaña Guano Alex Fabián**

171987636-7

## DEDICATORIA

*“Dedico este trabajo a mis padres Luis Arias y Ana Andrade, quienes son mi inspiración y razón de ser, quienes siempre me han apoyado y han estado a mi lado en todas las etapas de mi vida y que con su ejemplo me han enseñado a nunca rendirme y han creído en mí, gracias a ellos termino una etapa más, espero llenarles de orgullo y muchas más alegrías. “*

*A mi hermana Carolina que siempre ha estado presente apoyándome, dándome sus consejos y confiando en mí.*

*A mis hermanos Paúl y Omar que me han brindado su confianza y apoyo siempre.*

*A mis amigos de aula con quienes he compartido grandes momentos en la etapa universitaria tanto dentro como fuera de ella.*

*A mis primos y amigos que me han brindado su amistad sincera y hemos compartido muchos momentos de gozo así como penas, bromas y hasta un buen vaso de vino.*

Luis Fernando Arias Andrade.

## DEDICATORIA

*Este trabajo va dedicado a mis padres Manuel y Blanca, que siempre han estado conmigo en todas las etapas complicadas de mi vida, apoyándome incondicionalmente y nunca dejando de creer en mí, espero conseguir más triunfos para que ustedes se sientan orgullosos.*

*A mi hijo Alejandro, que es mi todo, que ha esperado pacientemente toda esta etapa difícil, pero no imposible, este logro te lo dedico con todo mi corazón, quiero llenarte de muchas alegrías en un futuro venidero.*

*A mi novia Alexandra, que siempre me ha apoyado en las buenas y en las malas, ha confiado en mí y ahora está dando frutos esa confianza gracias por todo mi amor.*

*A mis hermanas, Vero y Esteffy, que han confiado en mí, no les defraude. Y que recuerden que siempre estaré ahí para ustedes hermanas queridas.*

*A mis amigos con quien he pasado de todo, buenos y malos ratos en nuestra etapa universitaria, estarán presentes en mi mente a lo largo de mi vida.*

Alex Fabián Taipicaña Guano

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a mis padres Luis Arias y Ana Andrade por ser el apoyo y sustento durante toda mi vida estudiantil y personal, por ser el ejemplo a seguir y mi inspiración para cumplir mis metas trazadas. Nunca tendré las suficientes palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí durante toda la vida, siempre han estado a mi lado llenándome de amor y cariño.*

*A mi hermana Carolina y hermanos Paúl y Omar que siempre me han apoyado con su cariño, palabras de aliento y confianza espero cumplir sus expectativas y estar para ellos cuando lo necesiten.*

*Agradezco a Dios por la salud tanto mía como de toda mi familia para poder compartir grandes momentos y poder terminar esta etapa de mi vida.*

*A mis profesores que han brindado todos sus conocimientos para llegar a cumplir una meta más. Al ingeniero Byron Cortez y Víctor Erazo quienes nos brindaron su apoyo y conocimientos durante toda la ejecución del presente proyecto.*

*A todos mis amigos y primos quienes han estado presentes a lo largo de mi vida y más aún en la etapa que hoy día estoy culminando.*

Luis Fernando Arias Andrade.

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por todo lo que me ha dado, A mis padres, mis hermanas, mi novia pero sobre todo a mi hijo que con su cariño y amor me ha dado fuerzas para seguir adelante, Alejandro eres lo más importante que tengo en la vida. A mi padre Manuel que con sus consejos me ha ayudado a crecer como personar y a creer que si puedo lograr todo lo que me propongo. A mi madre Blanca que me ha brindado todo su apoyo, ha sido un pilar fundamental en mi vida, madre lo logré gracias por todo.*

*A los ingenieros Byron Cortez y Víctor Erazo por el apoyo y conocimiento brindado para la realización del proyecto.*

*A mi compañero de tesis y a sus padres, que con su ayuda han hecho posible la elaboración del presente proyecto.*

Alex Fabián Taipicaña Guano

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Antecedentes .....	1
1.1.1    A nivel mundial.....	1
1.1.2    En América.....	4
1.1.3    En Ecuador .....	5
1.1.4    En Otavalo.....	6
1.2    Planteamiento del problema .....	9
1.3    Justificación e importancia .....	10
1.4    Objetivos .....	11
1.4.1    Objetivo General .....	11
1.4.2    Objetivos Específicos.....	11
1.5    Alcance .....	11
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1    Proceso de tejido .....	12
2.1.1    Tipos de fibras.....	13
2.1.2    Tipos de tejidos .....	14

2.1.3	Clasificación de los tejidos planos .....	15
2.2	Telares planos .....	16
2.2.1	Ideas básicas sobre telares planos .....	16
2.2.2	Partes principales .....	16
2.2.3	Funcionamiento.....	17
2.2.4	Tipos de inserción de trama. ....	18
2.3	Automatización. ....	20
2.3.1	Sensores .....	21
2.3.2	Pre actuadores .....	22
2.3.3	Variador de Frecuencia .....	23
2.3.4	Contactores y relés .....	23
2.3.5	Actuadores.....	24
2.3.6	Controlador lógico programable (PLC) .....	26
2.3.7	Interfaz humano-máquina (HMI).....	28
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>29</b>
<b>SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....</b>		<b>29</b>
3.1	Parámetros para la determinación de especificaciones del diseño. ....	29
3.2	La casa de la calidad (QFD). ....	29
3.3	Despliegue de la función de calidad (QFD) .....	30
3.3.1	La voz del cliente (Requerimientos del usuario).....	30
3.3.2	Características Técnicas (La voz del Ingeniero) .....	30
3.4	Resultados de la matriz QFD.....	31
3.5	Conclusiones de la casa de la calidad.....	32
3.6	Especificaciones técnicas .....	33
3.7	Análisis funcional.....	35
3.7.1	Determinación de las funciones primarias y secundarias .....	35
3.7.2	Determinación de módulos .....	36
3.7.3	Solución para cada módulo del telar automático .....	39
3.7.4	Módulo 1.- Colocación de hilos de urdimbre en la máquina. ....	39

3.7.5	Módulo 2.- Colocación de hilos de trama para el tejido. ....	46
3.7.6	Módulo 3.- Control del proceso. ....	46
3.7.7	Módulo 4.- Proceso de tejido. ....	55
3.7.8	Módulo 5.- Extracción de tejido.....	65
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>73</b>
<b>DISEÑO .....</b>		<b>73</b>
4.1	Diseño mecánico. ....	73
4.1.1	Diseño del sistema de levantamientos de marcos. ....	73
4.1.2	Diseño del sistema de inserción de trama. ....	88
4.1.3	Diseño del sistema de arrastre.....	97
4.2	Diseño electrónico. ....	103
4.2.1	Cálculo para el motor a pasos para el sistema de levantamientos de marcos.....	103
4.2.2	Cálculo del motor a pasos para el sistema de inserción de trama. ....	105
4.2.3	Cálculo para el motor a pasos para el sistema de arrastre.....	107
4.3	Diseño de control.....	110
4.3.1	Sensores de contacto. ....	110
4.3.2	Sensor magnético. ....	110
4.3.3	Controlador lógico programable PLC.....	111
4.3.4	Interface Humano - máquina HMI.....	112
4.4	Consumo de aire. ....	113
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>115</b>
<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>		<b>115</b>
5.1	Prueba de funcionamiento sin hilos.....	115
5.1.1	Objetivo.....	115
5.1.2	Actividades.....	116
5.1.3	Resultados. ....	117
5.2	Prueba de funcionamiento con dos mallas. ....	119
5.2.1	Objetivo.....	119

5.2.2	Actividades.....	119
5.2.3	Resultados.....	120
5.3	Prueba de funcionamiento con cuatro mallas.....	123
5.3.1	Objetivo.....	123
5.3.2	Actividades.....	123
5.3.3	Resultados.....	124
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>129</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>129</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	129
6.2	RECOMENDACIONES.....	130
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>131</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>134</b>
<b>A1: ENCUESTAS REALIZADAS.....</b>		<b>135</b>
<b>A2: CARACTERISTICAS DE BALL SCREW (HUSILLOS DE BOLAS) ...</b>		<b>136</b>
<b>A3: DATOS TECNICOS CILINDROS NEUMATICOS.....</b>		<b>137</b>
<b>A4: DATASHEET DRIVER MA860H.....</b>		<b>138</b>
<b>A5: DATASHEET MOTORES SERIE 86HS.....</b>		<b>139</b>
<b>A6: DATASHEETSENSOR SWITCH AIRTAC DS1 – E SEIRES.....</b>		<b>140</b>
<b>A7: PLANOS MECÁNICOS.....</b>		<b>141</b>
<b>A8: MANUAL DE USUARIO.....</b>		<b>142</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tejidos en la antigüedad. ....	2
Figura 3. Primeras máquinas de tejido. ....	3
Figura 4. Telar mecánico de Cartwringh. ....	3
Figura 5. Telar de Jacquar. ....	4
Figura 6. Telar industrial en la actualidad. ....	4
Figura 7. Tejidos de vestimenta en Conaculta México. ....	5
Figura 8. Tejidos en América del Sur post conquista española. ....	6
Figura 9. Tejidos realizados en Otavalo forma manual. ....	7
Figura 10. Otavaleño tejiendo en telar de pedales. ....	7
Figura 11. Prototipo de telar de pedales semiautomático. ....	9
Figura 12. Tejidos tradicionales y significado. ....	10
Figura 13. Urdimbre y trama. ....	12
Figura 14. Fibra animal - Lana. ....	13
Figura 15. Fibra artificial de origen natural. ....	13
Figura 16. Fibras de origen sintético - Nylon. ....	14
Figura 17. Tipos de tejido. ....	15
Figura 18. Clasificación de tejidos planos. ....	15
Figura 19. Telar plano de pedales. ....	16
Figura 20. Partes de telar plano. ....	17
Figura 21. Pasos de funcionamiento telar plano. ....	18
Figura 22. Inserción de trama por chorro de agua. ....	18
Figura 23. Inserción de trama por chorro de aire. ....	19
Figura 24. Inserción de trama por pinzas. ....	19
Figura 25. Inserción de trama por proyectil. ....	20
Figura 26. Elementos de la automatización. ....	20
Figura 27. Simbología de las electroválvulas. ....	22
Figura 28. Variador de frecuencia PowerFlex4. ....	23
Figura 29. Relés Schneider. ....	24
Figura 30. Contactores TeSys D. ....	24
Figura 31. Motores trifásico WEG. ....	25
Figura 32. Cilindro neumático normalizado DSBC. ....	25
Figura 33. Motor hidráulico de pistón radial. ....	26
Figura 34. Ciclo básico del CPU del PLC. ....	26
Figura 35. PLC S7-1200. ....	27
Figura 36. Diagrama de bloques simplificado de la estructura interna de un PLC estándar. ....	27
Figura 37. Programa en ladder. ....	28
Figura 38. Pantallas HMI. ....	28
Figura 39. Resultados de la matriz QFD. ....	32
Figura 40. Detalles de las características técnicas con mayor demanda del cliente. ....	33

Figura 41. “Caja negra” nivel 0.....	35
Figura 42. Nivel 1 .....	36
Figura 43. Nivel 2 – División de bloques del nivel 1.....	37
Figura 44. Análisis modular.....	38
Figura 45. Inserción de hilos en el peine. ....	39
Figura 46. Enhebrado de hilos en los lizos. ....	40
Figura 47. Anudado de hilos en enjullo de urdimbre.....	40
Figura 48. Sistema manual - manivela.....	41
Figura 49. Sistema pulsador - motor.....	42
Figura 50. Sistema pedal - motor.....	42
Figura 51. Anudado de hilos de urdimbre en enjullo de tela.....	43
Figura 52. Envoltura manual de urdimbre.....	46
Figura 53. Envoltura manual de urdimbre.....	47
Figura 54. Pantalla HMI.....	48
Figura 55. Pantalla TFT.....	48
Figura 56. Computador.....	49
Figura 57. PLC.....	50
Figura 58. Arduino Mega.....	51
Figura 59. Raspberry PI.....	51
Figura 60. Alternativa. Accionador – pantalla HMI - PLC.....	55
Figura 61. Sistema leva - motor.....	56
Figura 62. Sistema actuador lineal Ball screw.....	57
Figura 63. Sistema barra rígida-motor.....	58
Figura 64. Inserción por medio de lanzadera con cilindros.....	59
Figura 65. Inserción por medio de un brazo neumático y aguja.....	59
Figura 66. Inserción por medio de lanzadera por electromagnetismo.....	60
Figura 67. Batán con peine incorporado.....	61
Figura 68. Alternativa. Ball Screw – electroimanes – Batán abatible.....	65
Figura 69. Componentes de arrastre de tejido - motor trifásico.....	66
Figura 70. Componentes de arrastre de tejido – motor a pasos.....	67
Figura 71. Sistema de frenado – palanca.....	68
Figura 72. Sistema de frenado - cilindro neumático.....	68
Figura 73. Extracción de tejido mediante motor a pasos.....	69
Figura 74. Diseño CAD del prototipo de telar plano.....	73
Figura 75. Sistema vista frontal.....	74
Figura 76. Sistema vista lateral.....	74
Figura 77. Diagrama de cuerpo libre del marco.....	74
Figura 78. Mecanismo de Husillo de bolas para levantamiento de marcos.....	76
Figura 79. Disposición de bocines en la mesa vertical.....	79
Figura 80. Bocín para la mesa vertical.....	81
Figura 81. Disposición de los pasadores AC.....	81
Figura 82. Diagrama de cuerpo libre pasador AC.....	81
Figura 83. Diagrama de fuerza cortante V.....	82

Figura 84. Diagrama de momento flector M.....	82
Figura 85. Disposición de bocines para los pasadores AC. ....	84
Figura 86. Bocín para pasador AC.....	85
Figura 87. Cilindro neumático para sistema de levantamiento de marcos.....	86
Figura 88. Fuerzas que actúan sobre el bocín del pasador AC. ....	86
Figura 89. Sistema de inserción de trama. ....	89
Figura 90. Fuerzas que actúan sobre el bocín del pasador AC. ....	89
Figura 91. Diagrama de cuerpo libre.....	90
Figura 92. Diagrama de fuerza cortante V. ....	90
Figura 93. Diagrama de momento flector M.....	90
Figura 94. Batán y eje de soporte.....	93
Figura 95. Diagrama de cuerpo libre del eje de soporte del batán. ....	93
Figura 96. Diagrama de fuerza cortante V. ....	94
Figura 97. Diagrama de momento flector M.....	94
Figura 98. Movimiento a realizar el batán. ....	95
Figura 99. Enjulios para sistema de arrastre. ....	97
Figura 100. DCL del travesaño. ....	98
Figura 101. Diagrama de fuerza cortante.....	99
Figura 102. Diagrama de momento flector. ....	100
Figura 103. DCL del eje del enjullo.....	101
Figura 104. Diagrama de fuerza cortante V. ....	102
Figura 105. Diagrama de momento flector M.....	102
Figura 106 Motor Pasos 86HS45 .....	104
Figura 107. Driver MA860H.....	105
Figura 108 Motor a Pasos 86HS35 .....	106
Figura 109. Driver MA860H.....	107
Figura 110. CAD sistema de arrastre. ....	107
Figura 111. Motor Pasos 86BYGH 156.....	109
Figura 112. Driver MA860H.....	110
Figura 113. Sensor de contacto fin de carrera.....	110
Figura 114. Sensor magnético AIRTAC DS1-E.....	111
Figura 115. Pantalla principal HMI. ....	113
Figura 116. Distribución del sistema neumático.....	114
Figura 117. Cilindro neumático AIRTAC MI 16x25. ....	114
Figura 118. Pantalla de inicio del HMI.....	115
Figura 119. Pantalla de selección de tejido HMI.....	116
Figura 120. División por bloques de función en PLC.....	117
Figura 121. Prueba de funcionamiento sin hilos.....	118
Figura 122. Colocación de hilos de urdimbre en el prototipo.....	119
Figura 123. Rugosidades en la lanzadera. ....	120
Figura 124. Ubicacion del sensor.....	120
Figura 125. Corrección de la lanzadera.....	121

Figura 126. Ajuste de pasada en la programación. ....	121
Figura 127. configuración del driver. ....	122
Figura 128. Colocación de cilindro para ajuste de tela. ....	122
Figura 129. Tejido a dos mallas. ....	123
Figura 130. Peinado hilos de urdimbre. ....	124
Figura 131. Ajuste inadecuado de tejido. ....	124
Figura 132. Modelo de la lanzadera final. ....	125
Figura 133. Corrección soporte atrapa trama. ....	125
Figura 134. Ajuste del batán en la programación. ....	126
Figura 135. Modificación de tiempos de movimiento de los enjulios. ....	126
Figura 136. Tejido a cuatro mallas. ....	127
Figura 137. Tejido obtenido en una hora de funcionamiento. ....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de sensores de posición. ....	21
Tabla 2. Simbología de las vías de una electroválvula. ....	23
Tabla 3. Características de las necesidades del cliente. ....	30
Tabla 4. Características técnicas del prototipo.....	31
Tabla 5. Características técnicas con ponderaciones. ....	33
Tabla 6. Especificaciones técnicas.....	34
Tabla 7. Ponderación de criterios de evaluación para módulo 1.....	44
Tabla 8. Ponderación de Operabilidad para soluciones del módulo 1. ....	44
Tabla 9. Ponderación de implementación para soluciones del módulo 1. ....	45
Tabla 10. Ponderación de costo para soluciones del módulo 1.....	45
Tabla 11. Conclusión en la selección de la alternativa para el módulo 1. ....	45
Tabla 12. Combinación de alternativas para el módulo 3.....	52
Tabla 13. Ponderación de criterios de evaluación para módulo 3.....	53
Tabla 14. Ponderación de implementación para soluciones del módulo 3. ....	53
Tabla 15. Ponderación de costo para soluciones del módulo 3.....	54
Tabla 16. Ponderación de facilidad de uso para soluciones del módulo 3.....	54
Tabla 17. Ponderación de mantenimiento para soluciones del módulo 3.....	54
Tabla 18. Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 3.....	55
Tabla 19. Combinación de alternativas para el módulo 4.....	61
Tabla 20. Ponderación de criterios de evaluación para módulo 4.....	63
Tabla 21. Ponderación de implementación para soluciones del módulo 4. ....	63
Tabla 22. Ponderación de costos para soluciones del módulo 4.....	63
Tabla 23. Ponderación de consumo de energía neumática módulo 4. ....	63
Tabla 24. Ponderación de mantenimiento para soluciones del módulo 4.....	64
Tabla 25. Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 4.....	64
Tabla 26. Combinación de alternativas para el módulo 5.....	69
Tabla 27. Ponderación de criterios de evaluación para módulo 5.....	70
Tabla 28. Ponderación de control para soluciones del módulo 5.....	71
Tabla 29. Ponderación de costo para soluciones del módulo 5.....	71
Tabla 30. Ponderación de consumo de energía para soluciones del módulo 5.....	71
Tabla 31. Ponderación de facilidad de instalación para soluciones módulo 5.....	72
Tabla 32. Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 5.....	72
Tabla 33. Características del cilindro neumático para levantamiento de marcos. ....	88
Tabla 34. Características del cilindro neumático para la de inserción de trama. ....	96
Tabla 35. Características del bloque magnético de neodimio.....	97
Tabla 36 Características Motor Pasos LEADSHINE 86HS45 .....	104
Tabla 37 Características Driver MA860H .....	105
Tabla 38 Características Motor Pasos LEADSHINE 86HS35 .....	106
Tabla 39 Características Driver MA860H .....	106
Tabla 40 Parámetros ingresados al modelo CAD .....	108

Tabla 41 Características Motor Pasos LEADSHINE 86HS85 .....	109
Tabla 42 Características Driver MA860H .....	109
Tabla 43 Características PLC .....	111
Tabla 44 Características HMI .....	112
Tabla 45. Consumo de aire de los cilindros neumáticos.....	114
Tabla 46. Tejidos obtenidos en el prototipo.....	127
Tabla 47. Tejido entregado por el prototipo en función del tiempo.....	128

## RESUMEN

Considerando la importancia de la automatización de procesos en máquinas en la actualidad, la industria ha ganado interés por el desarrollo de nuevos conceptos de optimización de espacio, exactitud, tiempo y eliminación de errores en su producto final. El presente trabajo de titulación consiste en el diseño y construcción de un prototipo automatizado de telar plano, cuyo objetivo es el de optimizar recursos en el proceso de tejido artesanal lo que representa menor esfuerzo y mayor producción para los artesanos que se dedican a esta actividad. En el primera parte del documento se habla sobre las máquinas artesanales existentes para la realización de tejidos; también, se describe formas de solución a los problemas planteados con el tema, La segunda parte, se encuentran las alternativas y selección de diseño, para su posterior construcción. En síntesis la máquina utilizará un Controlador Lógico Programable (PLC) para recibir señales de los sensores e indicar la acción que debe realizar a los actuadores neumáticos y eléctricos que intervienen en el proceso de tejido. Mediante una Interface Humano Máquina (HMI) se podrá escoger entre tejidos previamente establecidos o programar diseños que el artesano desee probar o ingeniar. Una vez diseñado y construido se realizaran pruebas de funcionamiento y rendimiento del prototipo, los resultados serán analizados y documentados en el presente trabajo.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **AUTOMATIZADO**
- **TEJIDO**
- **ACTUADORES**
- **SENSORES**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC**
- **INTERFACE HUMANO MÁQUINA HMI**

## ABSTRACT

Today, the automation of process has a great importance in the industry, It has won interest for the development of new concepts of space optimization, accuracy, time and debug in the product. The present Project develop in the Design and construction about loom's up automated prototype, the principal objective is to optimize resources in tissue's craft process this represent less effort and major production for craftsmen who dedicate to this activity. The first part of this document talks about the craft machines existent for the realization of tissues, it also describe forms of solution to the problems with the topic. The second part bases in the alternatives and selection of design which are constructed later. In summary the machine use a Programmable Logical Controller (PLC) to receive signal of sensors and indicate the action that must make the pneumatic and electronic actuators that interview in tissue's process with a Human Interface Machine (HMI) choose present models or to programme designs that craftsmen wish to try and invent. Once built and designed, performance and working test of the prototype will be made, the results will be documented in this work.

### KEYWORDS:

- **AUTOMATED SYSTEM**
- **TISSUE**
- **ACTUATORS**
- **SENSORS**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER PLC**
- **HUMAN MACHINE INTERFACE HMI**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En el capítulo se redacta los antecedentes sobre la cultura textil en el mundo, en América, en Ecuador y en la ciudad de Otavalo haciendo un enfoque especial a la maquinaria que se utiliza para realizar tejidos desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad, cabe exaltar que gran cantidad de indígenas se dedican a este oficio como cultura. Por tales motivos se traza una investigación cronológica de los prototipos de telares creados. Se plantea el problema analizando los fallos y virtudes de los mismos, motivo por el cual se desarrolla el proyecto, Además de presentar la justificación del plan se definen los objetivos a cumplir junto al alcance a cubrir por el prototipo de telar automático.

#### **1.1 Antecedentes**

Las primeras referencias sobre la actividad textil en los pueblos de la serranía ecuatoriana son proporcionadas por historiadores coloniales que revelan varias técnicas y materias primas para realizar este tipo de oficio. A través del tiempo se utilizó varios tipos de fibras como los de algodón, lana, hilo, cabuya para la elaboración de tejidos, por los años setenta se empezó a usar fibras químicas (orlón) por su facilidad de adquisición, resistencia y variedad de colores, con el uso de fibras sintéticas se empezó utilizar telares netamente mecánicos los cuales fueron extraídos por artesanos de fábricas textiles reconocidas del país.

El telar artesanal es una de las máquinas más antiguas que se conocen y ha perdurado hasta nuestros días casi con el mismo formato.

##### **1.1.1 A nivel mundial**

Alrededor del mundo existen evidencias arqueológicas que el telar tiene 32000 años de edad alrededor de la era paleolítica, se tiene conocimiento que el ser humano en esta era dejó de matar animales para su vestimenta porque estas prendas resultaban pesadas y muy incómodas. Es así que empezaron a usar ropa a su medida y conforme a su necesidad, desde entonces el ser humano se ingenió tejidos aunque un poco

rústicos pero con el transcurso del tiempo empezó a mejorar técnicas y herramientas necesarias para el tejido como se muestra en la figura 1.



**Figura 1. Tejidos en la antigüedad.**

**Fuente: (RAIZ, 2012)**

En el siglo XIII aparece la primera máquina de hilar de un estilo artesanal, pero para la época llega a ser un ingenio muy importante para el desarrollo industrial para el telar.

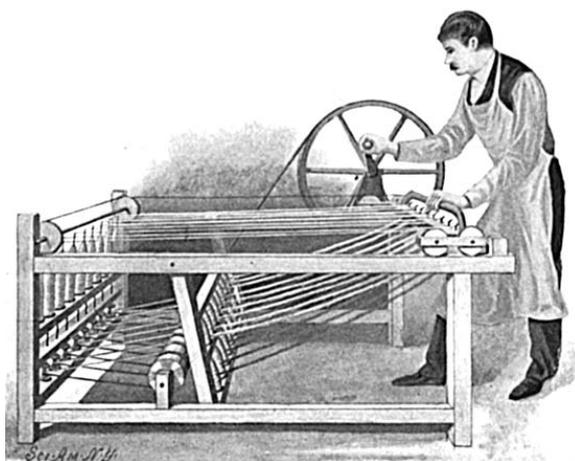
A partir del siglo XVII los telares empiezan a desarrollarse poco a poco, comienzan a aparecer nuevos mecanismos como la lanzadera que realiza la inserción de trama con más rapidez. Aun así con el avance de varios de estos inventos el telar siguió siendo una artesanía. En el lapso de este siglo los telares tienen una complejidad cada vez más alta y son equipados hasta con 12 pedales para realizar tejidos con varios diseños como cuadrados, rectángulos o rombos. La evolución del telar se daba con éxito, su tejido cada vez era más fino y con detalles más bellos y decorativos. En la figura 2 se observa un ejemplo de las primeras máquinas de tejido.



**Figura 2. Primeras máquinas de tejido.**

**Fuente: (Educativa, s.f.)**

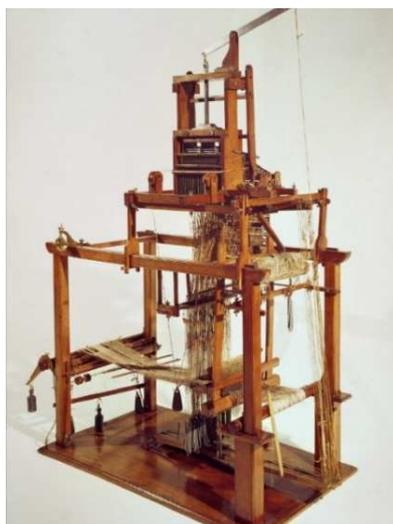
El telar mecánico es creado y patentado por Edmun Cartwringh en el 1786, esta máquina revolucionó la industria textil al simplificar las labores de los maestros tejedores al refinar y mejorar los tejidos. En la figura 3 se indica el telar mecánico de Cartwringh.



**Figura 3. Telar mecánico de Cartwringh.**

**Fuente: (Moreno, 2001)**

En el año 1804, el mecánico francés Joseph Jacquard construyó el primer telar automático. Era un sistema de agujas unidas con pesos y muelles, allí se encontraba un cartón lleno de agujeros por donde las agujas cruzaban y la lanzadera pasaba el hilo de trama, el principio del telar se sigue utilizado hasta el día de hoy en la industria textil. En la figura 4 se puede observar el talar de Jaccard.



**Figura 4. Telar de Jacquar.**

**Fuente: (Zazzle, 2015)**

En la actualidad los tejidos se realizan en telares con innovaciones tecnológicas muy importantes. Los adelantos más significativos son; diseño de tejidos más complejos, el uso de computadores y sistemas de control digitales, se ha optimizado varios subsistemas del telar como la velocidad de la lanzadera para evitar ruido y vibración hasta obtener métodos de inserción con mayor rapidez disminuyendo así las probabilidades de error. La figura 5 muestra un telar industrial usado en la actualidad.



**Figura 5. Telar industrial en la actualidad.**

**Fuente: (Dornier, 2015)**

### **1.1.2 En América**

La presencia de textiles en América está dada con un dato aproximado del año 80 a.C. (Ramirez Amalia, 2014). La evidencia más antigua de uso indumentario son faldellines junto a una colección de figurillas cerámicas recuperadas en sitios arqueológicos americanos en las culturas; mayas, aztecas e incas.

A la llegada de los españoles en el siglo XVI observaron hombres con prendas de vestir como lienzos que cubrían al nativo solo la cadera, entre otras creaciones textiles usadas se encontraron camisas cortas sin mangas y decoración.

Para ese entonces los nativos americanos usaban lana de alpacas, ovejas y flores de algodón en las zonas más cálidas de las montañas, en estas zonas se encontraron telares.

Esos diseños tenían rasgos muy parecidos a los que se utilizan hoy en día, los telares fueron expandiéndose por varios puntos geográficos y en cada zona dependiendo del estado climático se iban desarrollando nuevas ideas, por ejemplo en lugares fríos los tejedores comenzaron a ubicar más alto al urdimbre para evitar el frío del piso para que este puede trabajar sentado un banco como se puede apreciar en la figura 6.



**Figura 6. Tejidos de vestimenta en Conaculta México.**  
Fuente: (Ramirez Amalia, 2014)

### 1.1.3 En Ecuador

En la región andina específicamente en Ecuador la cultura textil ya existía antes de la conquista española, los indígenas de las tribus que se encontraban en tierras ecuatorianas tejían mantas y frazadas con algodón (Erazo & Tixi, TELAR PLANO SEMIAUTOMÁTICO, 2009). Los españoles explotaron la habilidad y la velocidad de los indígenas de ciertos lugares del país como se observa en la figura 7, sin perder más tiempo los españoles establecieron un taller textil en Otavalo y en las ciudades próximas, tales como Cotacachi y Peguche, el trabajo de los aborígenes y la tecnología

occidental resultó ser una combinación provechosa, dados aquellos hechos los dueños de los talleres rápidamente establecieron el telar a pedal así ellos lograban exportar múltiples tejidos de excelente calidad logrando cuantiosas ganancias por los productos producidos en los talleres. Con el tiempo, se implementó un sistema llamado huasipungo, el cual consistía que los nativos de la zona podían vivir en las grandes haciendas para continuar tejiendo y a la vez cuidando la propiedad donde están trabajando. Muchas de estas haciendas seguían funcionando como talleres de tejido. La figura 7 indica cómo se tejía en América del Sur en las grandes haciendas.



**Figura 7. Tejidos en América del Sur post conquista española.**  
Fuente: (Albó, 2015)

#### 1.1.4 En Otavalo

Los otavaleños destacan en la historia de la cultura textil en la región antes y después de la conquista española puesto que ellos fabricaban de una forma eficiente telas de algodón, tapetes, ponchos, cubrecamas todos estos productos con modelos y diseños novedosos como se indica en la figura 8. En el siglo XVIII la actividad realizada por los indígenas otavaleños se debía a la explotación y pago de impuestos a los hacendados españoles dueños de tierras ecuatorianas, al poco tiempo de ejercer esta actividad productiva esta cultura ya abastecía el mercado debido a su ubicación geográfica para realizar con éxito sus actividades manufactureras textiles. La figura 8 muestra algunos ejemplos de diseños de tejidos realizados en Otavalo.



**Figura 8. Tejidos realizados en Otavalo forma manual.**

**Fuente: (Jaramillo, 2013)**

La tendencia de este modelo seguía hasta el siglo XX donde las actividades comenzaron a ejecutarse independientemente debido a que a los indígenas de la ciudad de Otavalo se les otorgó derechos de propiedad sobre los talleres de tejido logrando así ser contratistas independientes como se puede observar en la figura 9, posteriormente en la presidencia de Galo Plaza decidió crear el Centro Textil Otavalo para mejorar la calidad de casimires indígena, mejorar el lavado de la lana y aumentar el número de hilos en el tejido, además en la década de los sesenta los cultura otavaleña comenzó a remplazar en la mayoría de sus tejidos la lana tradicional por fibras sintéticas acrílicas como el orlón (Jaramillo Hernán, 2010).



**Figura 9. Otavaleño tejiendo en telar de pedales.**

**Fuente: (Palomino, 2012)**

La ruptura de la tradición del tejido en la región otavaleña fue por el uso de fibras sintéticas dado que las familias ya no producían la materia prima (hilos de fibras de lana) sino que la compraban. Además las fibras sintéticas abrieron las puertas para el uso de telares mecánicos dentro de esta cultura, así lograron mayor productividad pero rezagando todos los procesos artesanales de fabricación de tejidos dejando así a un lado el concepto de artesanía.

Dada la problemática en existir muchas alternativas de telares industriales, los cuales no fabrican un tejido del tipo artesanal es decir solo siguen un mismo patrón de tejido imposibilitando hacer cambios para la realización de nuevos tejidos artesanales de la cultura otavaleña.

En 1975 se crea el primer prototipo de telar manual mecanizado por el Ingeniero Quindé Rubén, es un diseño mecánico que reemplaza cinco movimientos manuales en mecánicos y así evita esfuerzos físicos del operario.

En 1992 se continúa trabajando para crear un nuevo prototipo capaz de satisfacer todas las necesidades del artesano así se diseña y construye un telar semiautomático para lana de cabuya por el Ingeniero Heredia Alex.

En el 2009 se crea un nuevo prototipo de telar plano semiautomático como se puede observar en la figura 10, realizado por los Ingenieros Erazo Víctor y Tixi Cristian (Erazo & Tixi, TELAR PLANO SEMIAUTOMÁTICO, 2009), este diseño muestra mejores características en el tipo de tejido realizado por los ejemplares anteriores.

En el 2012 se crea un telar plano programable con interface HMI por los ingenieros Erazo Víctor y Cortez Byron (Erazo & Cortez, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TELAR PLANO AUTOMÁTICO PROGRAMABLE CON EL INTERFACE HMI, 2012), esta máquina desarrollo nuevos mecanismos para una producción ágil de tejido, con un aditamento importante el poder realizar diseños bajo programación en una interfaz gráfica. El prototipo se muestra en a figura 10.

Con los antecedentes dados, se propone diseñar y construir un nuevo prototipo con la finalidad, de que los artesanos tengan una apreciación de las ventajas y facilidades

que tendría la implementación de una máquina automatizada y puedan así ellos incrementar la producción en sus talleres artesanales.



**Figura 10. Prototipo de telar de pedales semiautomático.**

**Fuente: (Erazo & Tixi, TELAR PLANO SEMIAUTOMÁTICO, 2009)**

## **1.2 Planteamiento del problema**

El diseño del tejido depende esencialmente del número de mallas que el telar tiene, en las encuestas realizadas se logró conocer que en la actualidad usan hasta veinte y dos mallas para realizar tejidos de alfombras y cobijas, pero también son comúnmente usados de cuatro, seis y ocho mallas.

Los procesos que utilizan más de dos mallas necesitan mayor destreza, habilidad y concentración del tejedor por la dificultad que el tejido posee y la mayor cantidad de tiempo que se tarda al realizar un tejido, por tal motivo existe una baja productividad del proceso. En la cultura otavaleña con el uso de fibras sintéticas se comenzó a utilizar telares mecánicos con mucha disconformidad por las restricciones que el equipo ofrece, Estas máquinas mecánicas limitan los diseños tradicionales, ancestrales y culturales que las comunidades indígenas de esta zona han realizado por generaciones, en la figura 11 se puede notar varios tipos de tejidos con relación al número de mallas que posea el telar.



**Figura 11. Tejidos tradicionales y significado.**

**Fuente: (Erazo & Cortez, 2012)**

### **1.3 Justificación e importancia**

De acuerdo a los objetivos del plan del buen vivir, el actual gobierno de la República del Ecuador se enfoca en el cambio de la matriz productiva, y dentro de esto incentiva a entidades educativas, especialmente a alumnos, a investigar el desarrollo de nuevos prototipos en beneficio de la sociedad ecuatoriana. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013)

El proyecto propone implementar un prototipo de telar automático en la línea de producción de tejidos artesanales, el cual contribuirá a reducir los tiempos de producción y optimización del material para quienes hacen uso de sus conocimientos ancestrales sobre el tejido.

La intervención del operario será para la programación de los movimientos de la máquina y la verificación de su correcto funcionamiento.

Para mantener los secretos del tejido otavaleño, los artesanos serán capacitados para la operación adecuada del equipo sin ningún tipo de ayuda externa.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

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

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Para poder cubrir el objetivo general se plantea objetivos específicos:

- Diseñar la estructura y los sistemas mecánicos que agrupará los diferentes componentes del prototipo.
- Diseñar un sistema de control eficaz, mismo que permita un correcto funcionamiento del prototipo, garantice la seguridad del operador y calidad del producto.
- Realizar pruebas físicas para verificar el correcto funcionamiento de los elementos y sistema a utilizar.
- Diseñar un interfaz humano máquina (HMI) para el ingreso de las variables necesarias en la operación del prototipo.

## **1.5 Alcance**

El presente proyecto pretende mejorar los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que fueron creados con anterioridad para facilitar la operación de un telar artesanal y basándose en la implementación de una interfaz humano-máquina (HMI) ofrecer un producto de igual calidad, optimizando tiempo y recursos, logrando así el mejoramiento del proceso de tejido el cual será llevado a cabo por dicho prototipo.

## CAPÍTULO 2

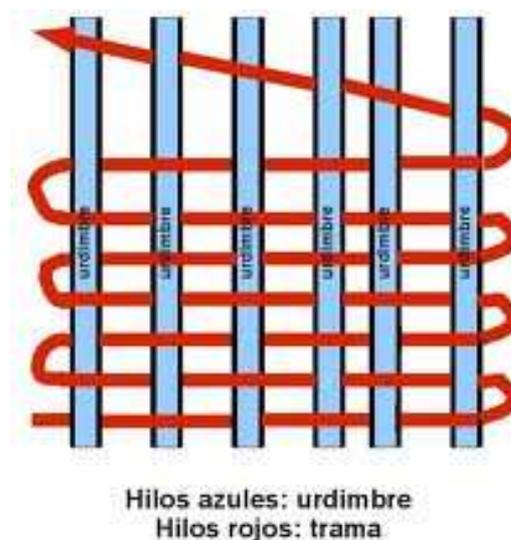
### MARCO TEÓRICO

En el capítulo se detalla de manera general los fundamentos más importantes acerca de la concepción sobre los telares artesanales existentes en el país, es decir enfocar la importancia de uso que estas máquinas tienen dentro de la cultura artesanal ecuatoriana. Además describir los elementos y componentes necesarios para la automatización del prototipo.

#### 2.1 Proceso de tejido

El tejido es una evolución del trenzado, es un proceso que pone fibras lo suficientemente tensas y paralelas entre sí, generalmente los hilos base sobre los cuales se teje son la urdimbre, colocados longitudinalmente. Los hilos con los cuales se teje, colocados transversalmente, son denominados trama. El tejido, es un proceso por el cual se va pasando la urdimbre por arriba y debajo de la trama, cruzándola. Con este cruzamiento entre trama y urdimbre se consigue la tela.

La figura 12 muestra de una forma más clara la composición de los hilos en un telar.



**Figura 12. Urdimbre y trama.**

**Fuente: (Ares, 2008)**

### 2.1.1 Tipos de fibras

Una fibra es la materia prima para realizar tejidos, es una hebra que tiene diámetros definidos pero una longitud no determinada. En función de su origen, las fibras se clasifican en:

- a) Fibras naturales.- Tiene su origen del reino animal y vegetal como:
- Animal como la lana (figura 13), pelo, seda, etc.
  - Vegetal como el algodón, lino, cáñamo, etc.



**Figura 13. Fibra animal - Lana.**  
Fuente: (COATS, 2015)

- b) Fibras artificiales de origen natural.- Se producen mediante reacciones químicas de sustancias poliméricas naturales, como se indica en figura 14.
- Celulosa.
  - Proteína.
  - Alginato.
  - Caucho.



**Figura 14. Fibra artificial de origen natural.**  
Fuente: (COATS, 2015)

- c) Fibras de origen químico o sintético.- Es creado mediante un polímero a través de la hilatura.

- Nylon (figura 15).
- Poliéster.
- Polietileno.
- Polipropileno.
- Poliuretano.



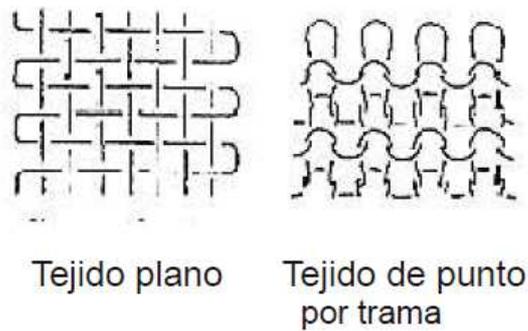
**Figura 15. Fibras de origen sintético - Nylon.**  
**Fuente: (Hanwentextile, 2011)**

### **2.1.2 Tipos de tejidos**

El tejido es el resultado de entrelazar hilos hechos con fibras de modo ordenado como se muestra en la figura 16 obteniendo una lámina con propiedades resistivas, elásticas y flexibles.

Los tejidos se clasifican en:

- Tejido de punto.- Son rejillas formadas por hilos entrelazados mediante agujas en una serie de ataduras unidas entre sí.
- Tejido plano.- Es un tejido formado por dos hilos principales uno de urdimbre y otro de trama, los hilos de urdimbre son colocados longitudinalmente y los hilos de trama son puestos transversalmente, el entrecruzar las dos hebras produce el tejido.

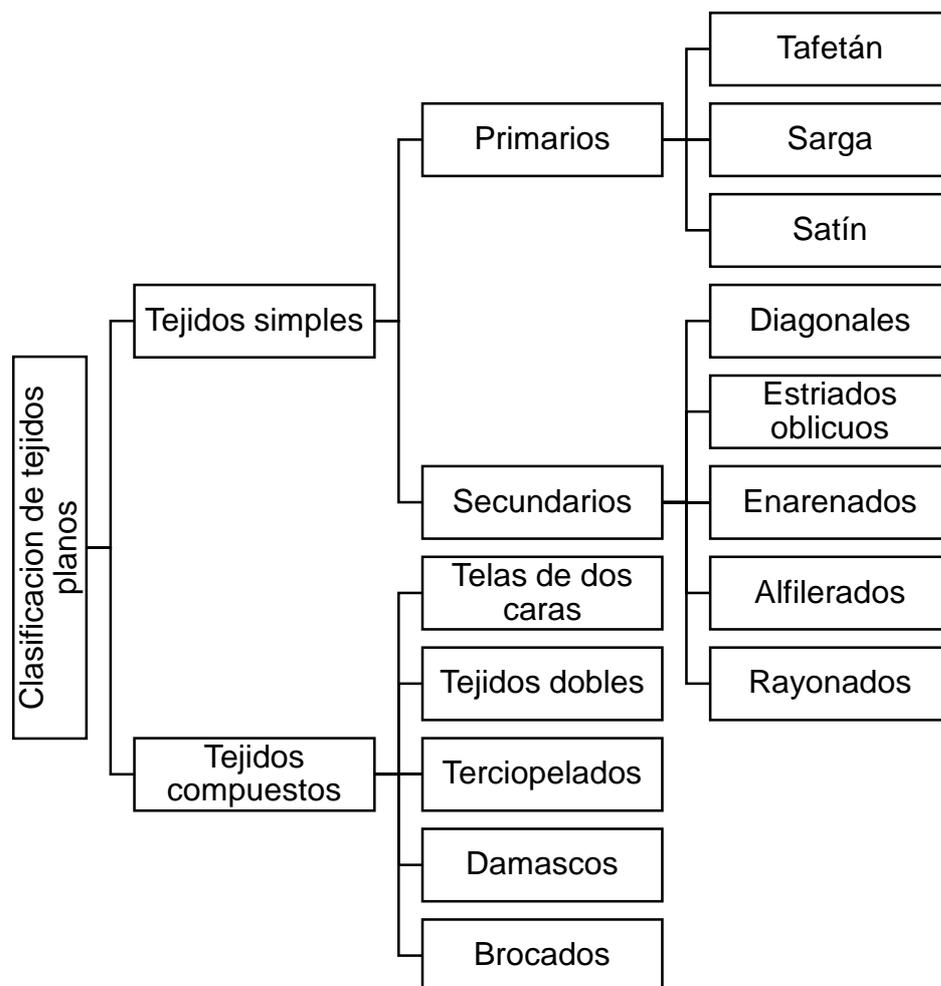


**Figura 16. Tipos de tejido.**

Fuente: (Cachicadán, s.f.)

### 2.1.3 Clasificación de los tejidos planos

Los ligamentos para realizar tejidos se califican de acuerdo como se muestra en siguiente gráfico.



**Figura 17. Clasificación de tejidos planos.**

Como se observa en la figura 17 existen 2 tipos de tejidos, simples y compuestos. Los tejidos simples son combinaciones de hilos entrelazados de urdimbre y de trama para realizar tejidos como la sarga o el tafetán.

## 2.2 Telares planos

### 2.2.1 Ideas básicas sobre telares planos

El tejer es el arte de entrelazar hilos de forma ordenada. El tejido es el nombre de la artesanía que utiliza una máquina llamada telar para producir un tejido a partir de hilos. Un telar sirve para colocar una cantidad de hilos y mantenerlos tensos; este grupo de hilos se llama urdimbre (Brahic M. , 1992). Las fibras de hilos del urdimbre están enrolladas en cilindros de gran diámetros llamados enjullo situado en la parte trasera del telar, esta serie de hilos son formados paralelamente. La trama abastece hilo por los costados del telar desde unas bobinas que ayuda a cruzar los hilos de la trama a través del telar, y así se entrelazan perpendicularmente con la urdimbre para realizar el tejido. La figura 18 muestra un telar plano a pedales.



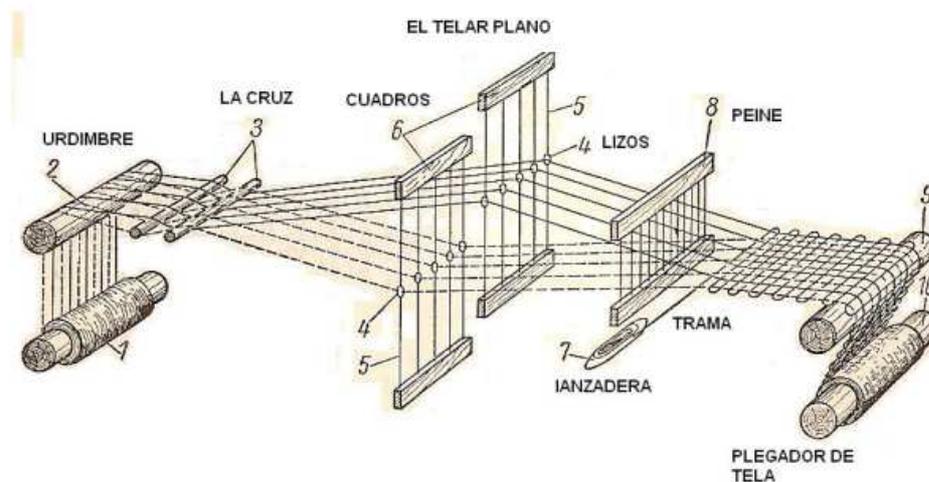
**Figura 18. Telar plano de pedales.**  
Fuente: (Telart, 2015)

### 2.2.2 Partes principales

La figura 19 muestra las partes más importantes de un telar plano:

- Enjullo de urdimbre: cilindro en el cual están recogidos los hilos de urdimbre.

- Urdimbre: son el conjunto de hilos que se mantienen en tensión ordenados de forma longitudinal o paralela al tejido.
- Cuadros: son marcos rectangulares de peso ligero donde se alojan los lizos o mallas.
- Lizos o mallas: componentes del telar que dividen los hilos de urdimbre formando la calada por donde pasara la trama.
- Lanzadera: componente en donde se aloja un rollo de hilo de trama.
- Peine: sistema que empuja cada pasada hacia el tejido ya fabricado para que este se mantenga tensionado y conserve su densidad.
- Trama: es la serie de hilos transversales al tejido que se entrelaza con la urdimbre para formar la tela, cada una de sus unidades se denomina pasada.
- Plegador de tela o enjullo de tela: cilindro en el cual se recoge el tejido una vez terminado.



**Figura 19. Partes de telar plano.**

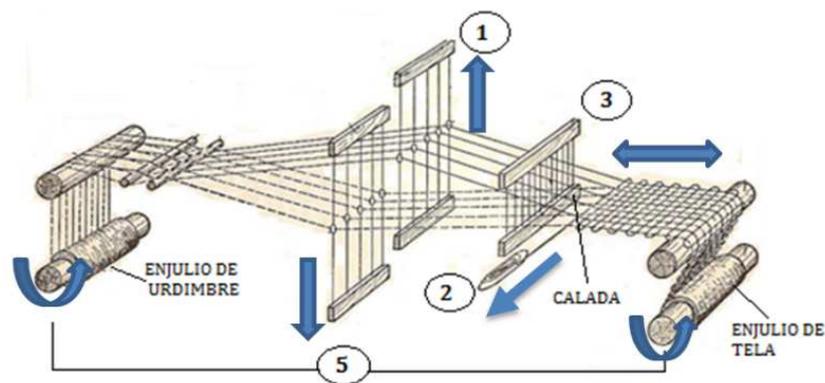
Fuente: (Balseca, 2011)

### 2.2.3 Funcionamiento

El principio de funcionamiento es simple, y será detallado con una máquina de dos mallas tal como se muestra en la figura 20.

- 1) Al presionar uno de los pedales la malla “A” se levantará mientras la malla “B” bajará formando así una abertura en los hilos de urdimbre llamada calada.
- 2) La lanzadera con el hilo de trama cruza la calada realizando así la pasada.

- 3) Con un desplazamiento en vaivén el peine ubicado en el batán ajusta la pasada.
- 4) Para iniciar de nuevo el proceso la malla “B” subirá mientras la malla “A” bajará para posteriormente realizar el paso 2 y 3 detallados anteriormente.
- 5) Cuando ya se ha realizado un retazo de tejido, el operario desenrolla el enjullo de urdimbre y enrolla el enjullo de tejido.



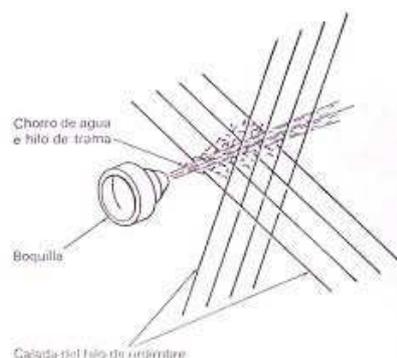
**Figura 20. Pasos de funcionamiento telar plano.**

**Fuente: (Balseca, 2011)**

## 2.2.4 Tipos de inserción de trama.

### 2.2.4.1 Por chorro de agua

Utiliza un chorro de agua de alta presión para acarrear el hilo de trama a través de la urdimbre, se basa en una alimentación continua de fibras artificiales y tensión mínima de trama, el agua se elimina del telar por un proceso de secado. Una de las ventajas importantes de este tipo de inserción es que su mantenimiento es muy económico (Duarte, 2014). La figura 21 muestra la inserción por chorro de agua.

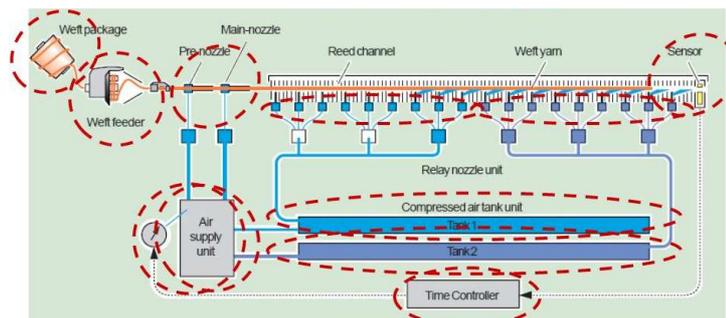


**Figura 21. Inserción de trama por chorro de agua**

**Fuente: (Galindo, 2008)**

### 2.2.4.2 Por chorro de aire

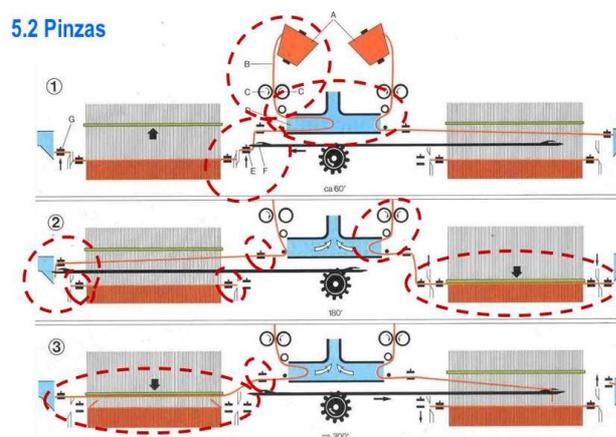
Es un sistema de alto rendimiento que puede llevar hilos de trama continuos y discontinuos durante el tejido, su funcionamiento se basa en atravesar el hilo de trama a través de la urdimbre mediante un chorro de aire. El sistema de inserción por chorro de aire se utiliza para especialidades elaboradas en lana, tejidos elásticos y técnicos (Duarte, 2014). La figura 22 muestra la inserción por chorro de aire.



**Figura 22. Inserción de trama por chorro de aire.**  
Fuente: (Ing. Marin, 2010)

### 2.2.4.3 Por pinzas

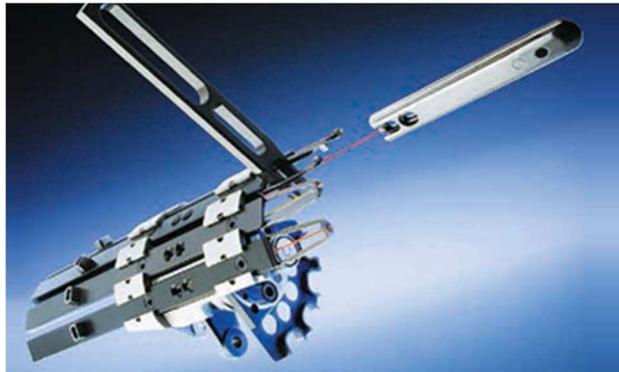
Es un sistema que tiene gran versatilidad puede ser muy veloz y alcanzar hasta 600 pasadas por minuto, puede realizar múltiples inserciones en el mismo tejido sin necesidad de un sistema de control complejo, el mecanismo puede tejer cualquier tipo de lana hasta cierto peso y densidad (Duarte, 2014). La figura 23 muestra la inserción por pinzas.



**Figura 23. Inserción de trama por pinzas.**  
Fuente: (Ing. Marin, 2010)

#### 2.2.4.4 Por proyectil

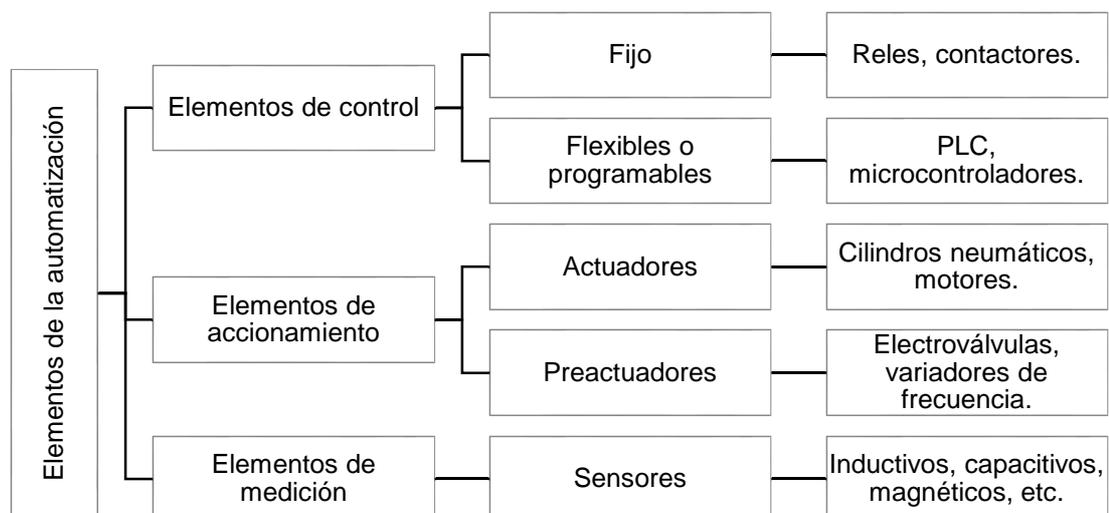
Ofrece alta productividad y perfección en la técnica del tejido, tiene alta capacidad de inserción a bajos consumo de energía, tiene un campo muy amplio de aplicación con selección de hasta seis colores en trama. (Duarte, 2014). La figura 24 muestra el sistema de inserción por proyectil.



**Figura 24. Inserción de trama por proyectil.**  
Fuente: (SYLTEXTIL, 2014)

### 2.3 Automatización.

Es un conjunto de secuencias de operaciones controladas, previamente programadas cuyo propósito es la sustitución parcial o total de las tareas físicas del operario. Para lograr la automatización la operación y el control de procesos se necesitan la relación de sistemas; electrónicos, mecánicos e informáticos. La figura 25 muestra los dispositivos y características de los elementos de la automatización.



**Figura 25. Elementos de la automatización.**

### 2.3.1 Sensores

Los sensores son instrumentos de medición empleados para magnitudes físicas, mecánicas, eléctricas, electroquímicas etc.

Existen sensores que emiten señales analógicas y otras digitales a la magnitud que se está realizando la medición, la señal analógica puede ser la variación eléctrica que puede producir el efecto físico que se está midiendo, la señal digital es emitida a manera de bits representados por 1 o 0, (0 – 5V) dependiendo el tipo del sensor será determinado el mayor tipo de voltaje de medición.

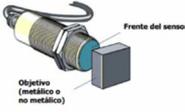
#### 2.3.1.1 Sensores de proximidad

Estos sensores sirven para detectar recorridos y posiciones, es decir detecta el objeto mientras se desplazan y así establecer donde se encuentran determinado punto mediante una señal, por ejemplo los sensores ultrasónicos.

#### 2.3.1.2 Sensores de posición

Existen varios tipos de sensores de posición los cuales se detallaran los más importantes en la tabla 1.

**Tabla 1.**  
**Tipo de sensores de posición.**

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	CONCEPTOS	PÁGINAS WEB DE REFERENCIA
Inductivos	 A cylindrical inductive sensor with a blue tip and a black cable.	Tiene alta precisión de detección, detectan sin tocarlos objetos metálicos.	<a href="http://zensotec.com/sensores-inductivos">http://zensotec.com/sensores-inductivos</a>
Capacitivos	 A diagram of a capacitive sensor with a blue tip. Labels include 'Objetivo (metálico o no metálico)' and 'Frente del sensor'.	Detectan elementos no metálicos como papel, caucho etc. Tiene gran estabilidad y repetibilidad.	<a href="http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Desafio_APR_09473">http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Desafio_APR_09473</a>

Continúa →

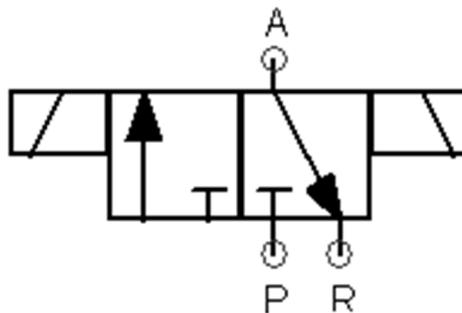
Magnéticos		Determinan distancias de gran conmutación, detectan objetos magnéticos.	<a href="http://www.varitel.com/html/sensores_magneticos.html">http://www.varitel.com/html/sensores_magneticos.html</a>
Fotoeléctricos		Tienen una gran precisión en la detección de posición sin importar el material del objeto a medir.	<a href="http://www.ataisa.com.mx/nuestras-soluciones.html">http://www.ataisa.com.mx/nuestras-soluciones.html</a>
Fin de carrera		Determinan su posición al final de un recorrido o de un elemento móvil.	<a href="http://www.larssy.com/detalle_interruptores_final_de_carrera.html">http://www.larssy.com/detalle_interruptores_final_de_carrera.html</a>

### 2.3.2 Pre actuadores

Los pre actuadores son elementos que reciben la señal de control para conectarse con el elemento final para realizar una acción determinada.

#### 2.3.2.1 Electroválvula

Las electroválvulas son válvulas accionadas por una señal eléctrica mediante el uso de un solenoide, además tienen un control de mando para retornar a su posición original, el retorno por mando electrónico son llamados válvulas eléctricas biestables.



**Figura 26. Simbología de las electroválvulas.**

**Fuente: (FAMIC, 2001)**

Existen varias normas DIN o ISO para representar las vías como se puede observar en la figura 26 con letras o con números. En la tabla 2 se observa la simbología de las vías.

**Tabla 2.**  
**Simbología de las vías de una electroválvula.**

<b>NORMA</b>		<b>ISO</b>	<b>DIN</b>
<b>Vías de la electroválvula</b>	Ingreso	P	1
	Trabajo	A, B	2, 4
	Desfogue	R, S	3, 5
	Retorno	T	7

Fuente: (Ing. Germán Huebla, 2014)

### 2.3.3 Variador de Frecuencia

Es un controlador electrónico que se encarga del control completo mediante la variación de la frecuencia de los motores eléctricos de inducción, el dispositivo reduce la demanda de corriente y las caídas de tensión provocadas en el arranque. En la figura 27 se puede observar un variador de frecuencia de la marca Rockwell modelo PowerFlex4.



**Figura 27. Variador de frecuencia PowerFlex4.**

**Fuente: (Rockwell Automation, 2015)**

### 2.3.4 Contactores y relés

Los relés son dispositivos electromecánicos, que en función de la variación de una magnitud física o eléctrica, actúa, determinando el funcionamiento de otro dispositivo y son utilizados para realizar circuitos de control eléctrico, tiene contactos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC). En la figura 28 se muestra algunos ejemplos de relés.



**Figura 28. Relés Schneider**

**Fuente: (CEYESA, 2013)**

Los contactores son dispositivos que se encargan de cerrar o interrumpir la corriente en uno o más circuitos eléctricos, normalmente funciona con mando a distancia, en lugar de ser operados manualmente. Los contactores son empleados especialmente para circuitos de potencias elevadas. La figura 29 muestra un contactor de la marca Scheider modelo TeSys D.



**Figura 29. Contactores TeSys D.**

**Fuente: (Scheider Electric, s.f.)**

### 2.3.5 Actuadores

Los actuadores son elementos que realizan la transformación de una entrada de magnitud eléctrica a una salida mecánica, neumática o hidráulica que genera la acción sobre un proceso automatizado.

#### 2.3.5.1 Actuadores eléctricos

Los accionamientos eléctricos son basados en la fuerza electromotriz productos de la interacción entre dos campos magnéticos los cuales provocan un movimiento mecánico. Los actuadores eléctricos tienen varios tipos de accionamientos como; motores AC, DC, servomotores y motores a pasos. La figura 30 muestra un motor AC trifásico marca WEG.



**Figura 30. Motores trifásico WEG**  
**Fuente: (WEG, 2015)**

### **2.3.5.2 Actuadores neumáticos**

Es un actuador que se utiliza en aplicaciones que tenga que ver con poca potencia y desplazamiento rápido lineal a una cierta distancia. Necesita de un pre actuador que son las electroválvulas, utiliza como fuente de energía el aire comprimido que varía entre 5 a 10 bares dependiendo a la aplicación a la cual se vaya a emplear. Dentro de este tipo de actuadores existen; pistones axiales, motores neumáticos, cilindros neumáticos de simple y doble efecto. La figura 31 muestra un cilindro neumático de la marca Festo serie DSBC.



**Figura 31. Cilindro neumático normalizado DSBC.**  
**Fuente: (FESTO, s.f.)**

### **2.3.5.3 Actuadores hidráulicos**

Emplean sistemas hidráulicos, su funcionamiento es muy parecido a los actuadores neumáticos con la diferencia que el movimiento lineal lo realiza con más lentitud pero con mucha más fuerza. Utiliza como fuente de energía aceites minerales a presión que esta alrededor de los 50 y 100 bares. La figura 32 muestra un motor Hidráulico marca Parker.

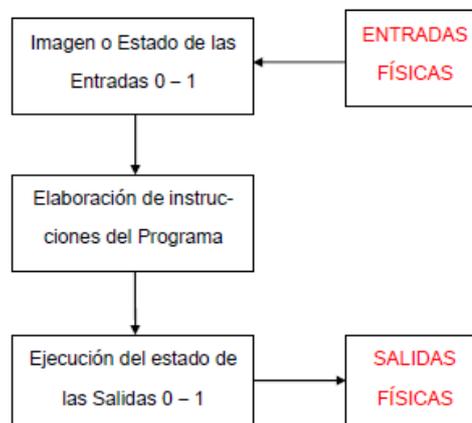


**Figura 32. Motor hidráulico de pistón radial.**

Fuente: (Parker, 2015)

### 2.3.6 Controlador lógico programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico muy comúnmente utilizado en la automatización industrial de máquinas y procesos secuenciales en tiempo real. Su funcionamiento se basa en procesar y gestionar entradas y salidas de corriente y voltaje de diferentes aplicaciones que se deseen realizar. La figura 33 muestra el ciclo básico de procesamiento del CPU de un PLC, se observa como las entradas físicas son procesadas digitalmente para luego transformarlas en salidas físicas una vez ejecutado el programa.



**Figura 33. Ciclo básico del CPU del PLC.**

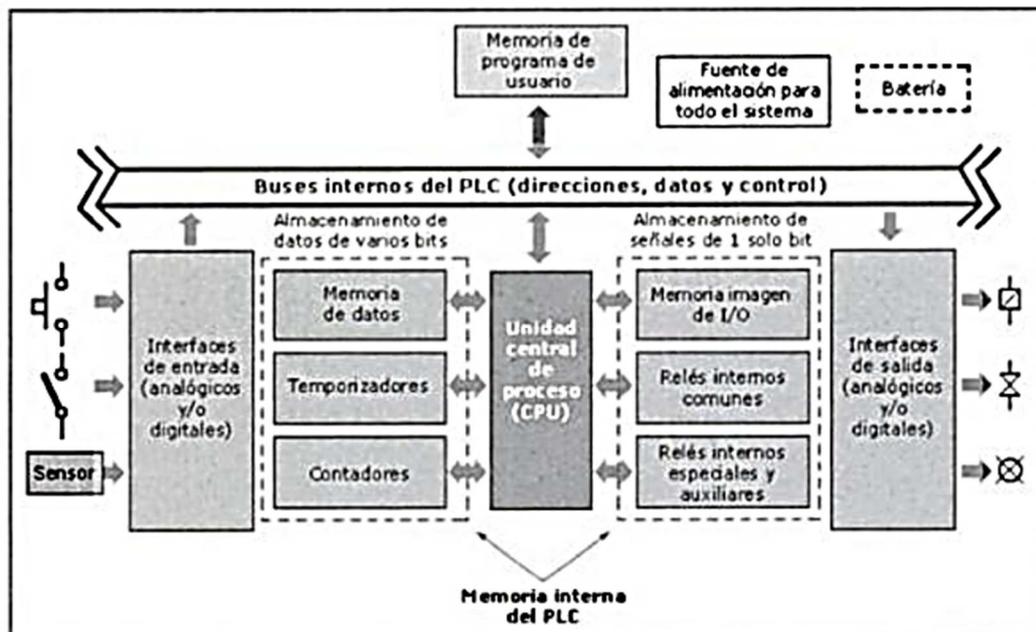
Desde su inicio los PLC's fueron diseñados para sustituir la cantidad de relés y temporizadores que se utilizaban en la industria para el control de procesos. Hoy en día los PLC's pueden realizar operaciones lógicas y aritméticas, manejar señales analógicas y digitales para realizar un óptimo control en los procesos. La figura 34 muestra un PLC Siemens S7-1200.



**Figura 34. PLC S7-1200**

**Fuente: (Aotewell, 2015)**

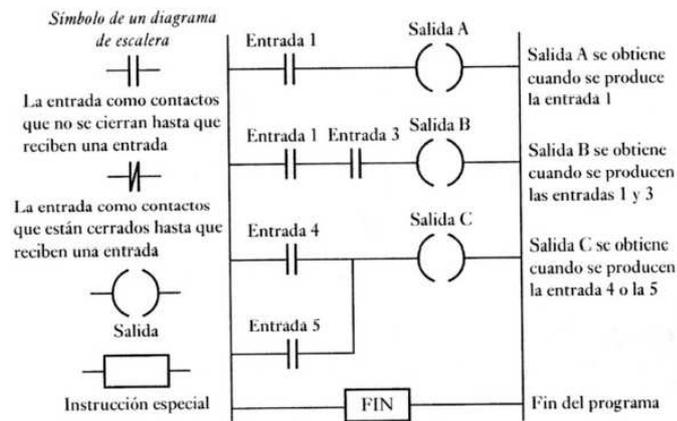
La estructura interna del PLC consta de varias partes como; el CPU, una memoria interna y circuitos electrónicos que controlan entradas y salidas del aparato. La arquitectura del PLC se puede observar en la figura 35.



**Figura 35. Diagrama de bloques simplificado de la estructura interna de un PLC estándar.**

**Fuente: (Peña, 2003, pág. 122)**

El lenguaje de programación más común en el PLC es el tipo escalera o ladder es decir las líneas de programación van en forma horizontal como se observa en la Figura 36. La programación de este tipo de lenguaje es muy sencillo porque es basado en la simbología de circuitos de contactos eléctricos.



**Figura 36. Programa en ladder.**

**Fuente: (Bolton, 2006, pág. 449)**

### 2.3.7 Interfaz humano-máquina (HMI)

El HMI es un dispositivo que permite la interacción entre el humano y la máquina, entrega la información y el control necesario para que el operario lleve la tarea de una manera fácil e interactiva con interfaces en pantallas animadas incluyendo nomas (GEDIS) bajo una programación previa. El sistema garantiza seguridad al sistema o proceso que se lleve a cabo en tiempo real. La figura 37 muestra una pantalla HMI siemens.



**Figura 37. Pantallas HMI.**

**Fuente: (SIEMENS, 2015)**

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El capítulo se centra en la selección de las alternativas para el diseño y construcción del prototipo automatizado de telar, obteniendo las especificaciones técnicas del equipo, las especificaciones se determinan mediante la Casa de Calidad QFD, para lograr con este propósito se empieza obteniendo las necesidades del cliente o usuario las cuales serán cubiertas con las especificaciones técnicas del prototipo que el ingeniero debe cumplir en el momento del diseño, mediante alternativas de solución se escoge la opción adecuada a la necesidad del diseño. Logrando así cumplir con los requerimientos solicitados para la realización del proyecto.

#### 3.1 Parámetros para la determinación de especificaciones del diseño.

Para empezar el diseño del prototipo de telar partiremos de la variedad de tejidos que se pueden realizar en cada uno de los telares de acuerdo al número de pedales o mallas que posean, sabiendo que mientras más pedales o mallas tengan más variado será su diseño, definiremos entonces los parámetros siguientes:

- Prototipo con 4 pedales ( igual número de mallas)
- Inserción de trama continúa.

Además se considera que se puede crear un prototipo de mayor número de pedales puesto que el principio de funcionamiento será el mismo.

#### 3.2 La casa de la calidad (QFD).

“Quality Function Deployment” o por sus siglas QFD es una metodología que permite identificar las características críticas para que el diseño o rediseño de un producto cumplan con las necesidades y expectativas del usuario o cliente.

La metodología pone énfasis en la voz del cliente, quienes manifestaran sus necesidades y expectativas del producto (requerimientos del usuario), los cuales serán necesarios para definir los aspectos técnicos del prototipo (requerimientos o especificaciones técnicas). De esta manera, podremos evaluar de forma matemática

qué requerimientos debemos añadir al diseñar el prototipo, cuáles serán los de mayor importancia y cuales nos son necesarias.

### 3.3 Despliegue de la función de calidad (QFD)

#### 3.3.1 La voz del cliente (Requerimientos del usuario)

Se aplicará como técnica la entrevista personal y las encuestas serán realizadas en la ciudad de Otavalo (ver Anexo A1), obteniendo así datos importantes y los requerimientos mínimos para poder cubrir las necesidades en el prototipo automatizado de telar plano. Las características principales y requerimientos del cliente se muestran en la tabla 3 que se encuentra a continuación.

**Tabla 3.**  
**Características de las necesidades del cliente.**

N°	REQUERIMIENTOS
1	Inserción de trama continua
2	Variedad de tejidos y colores
3	Económica
4	Mínimo trabajo físico
5	Compatibilidad de energía en la zona
6	Programación según la necesidad.
7	Facilidad de uso
8	Calidad de tejido igual o superior al obtenido en un telar manual
9	Fácil mantenimiento
10	Mínimo 4 pedales o mallas

#### 3.3.2 Características Técnicas (La voz del Ingeniero)

A partir de los requerimientos planteados por los usuarios para el prototipo de telar plano, se procede a definir los requisitos o especificaciones técnicas que el prototipo debe tener al momento del diseño. Estos requerimientos se puede observar en la tabla 4.

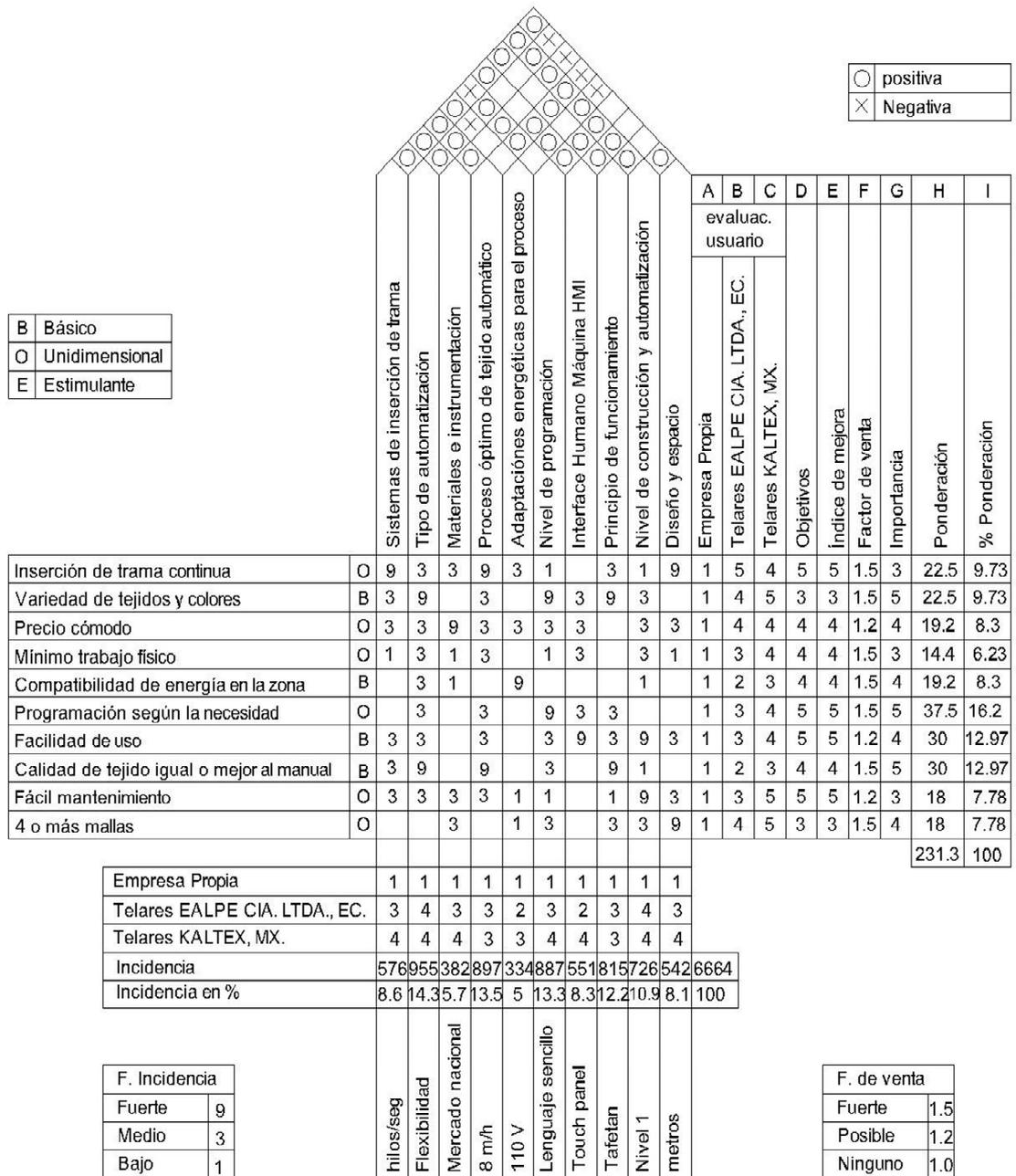
**Tabla 4.**  
**Características técnicas del prototipo.**

N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Sistemas de inserción de trama.
2	Tipo de automatización.
3	Materiales e instrumentación.
4	Proceso óptimo de tejido automático.
5	Adaptaciones energéticas para el proceso.
6	Nivel de programación.
7	Interface Humano Máquina HMI.
8	Principio de funcionamiento.
9	Nivel de construcción y automatización.
10	Espacio y presupuesto.

### 3.4 Resultados de la matriz QFD

Los resultados de la matriz QFD se muestran en la figura 38, se puede observar que la columna A tiene una calificación de 1's en todos los parámetros de la voz del usuario debido a que no se cuenta con un producto elaborado para ofrecer al mercado. En esta columna se evalúa el grado de cumplimiento del producto actual construido por la empresa.

Los valores de la evaluación del cumplimiento de los productos de la competencia se muestran en la columna B y C, En la columna B se encuentra una empresa ecuatoriana comercializadora de telares planos y en la columna C se ubica una empresa mexicana que realiza este tipo de maquinaria, evidentemente la calificación que se encuentran en los requerimientos del usuario van a subir notablemente porque son empresas ya constituidas en el mercado.



**Figura 38. Resultados de la matriz QFD.**

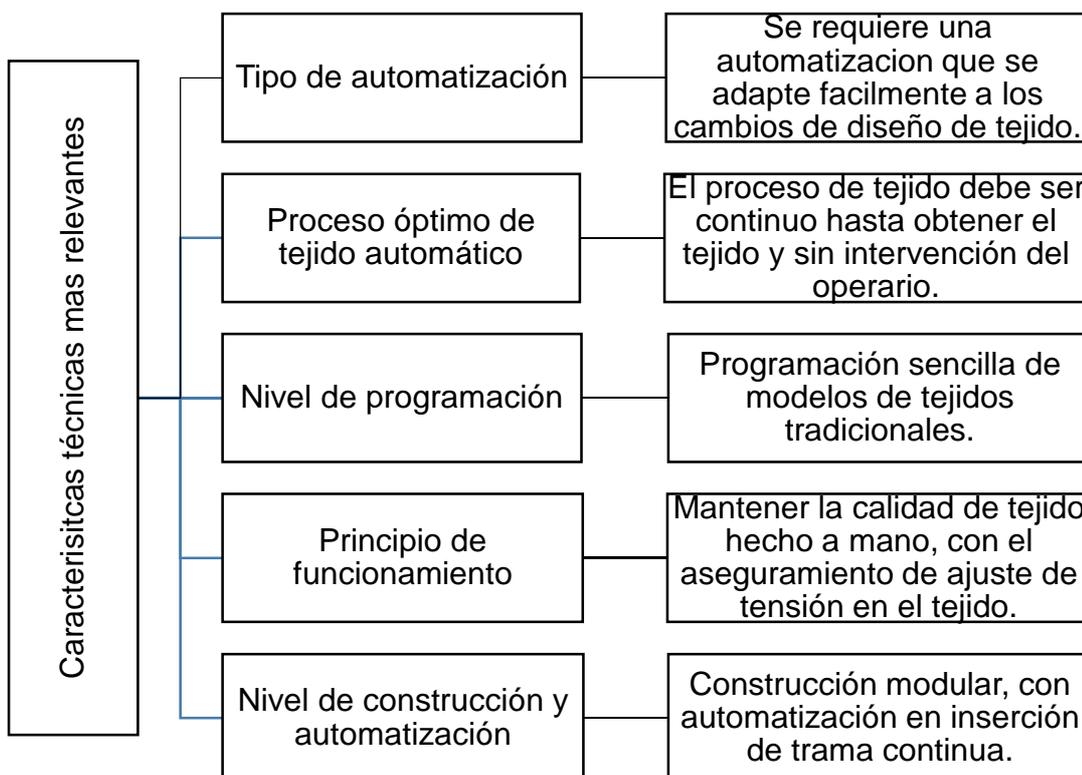
### 3.5 Conclusiones de la casa de la calidad

La casa de la calidad (QFD) nos brinda información muy importante acerca de las características técnicas que el cliente da más relevancia, los requerimientos técnicos se muestran en la tabla 5 a continuación:

**Tabla 5.**  
**Características técnicas con ponderaciones.**

N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	% incidencia
1	Tipo de automatización.	14.3
2	Proceso óptimo de tejido automático.	13.5
3	Nivel de programación.	13.3
4	Principio de funcionamiento.	12.2
5	Nivel de construcción y automatización.	10.9

La figura 40 muestra un detalle de los requerimientos técnicos de mayor relevancia para el cliente:



**Figura 39. Detalles de las características técnicas con mayor demanda del cliente.**

### 3.6 Especificaciones técnicas

Una vez encontrados los resultados del QFD, se establecen las siguientes especificaciones técnicas del prototipo de telar automático que se observa en la tabla 6.

**Tabla 6.**  
**Especificaciones técnicas**

Empresa Cliente: Artesanos de Otavalo		Producto: Telar automático para tejido artesanal		Fecha inicial: 05/11/2015 Última revisión: Página 1/1
Diseñadores: Arias Luis Taipicaña Alex				
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		C	R	Máquina automática para tejido plano
		C	R	Tejido mediante 4 mallas
		C	D	Inserción de trama continua 1hilo/seg.
		C+I	D	Almacenar un programa por cada proceso de tejido.
		I	NR	Debe poder ser programable desde el HMI
Dimensiones		C	R	Ancho de tejido mínimo 1 metro
Movimientos		I	D	Movimientos lineales
		I	D	Movimientos rotativos
Energía		I	R	Eléctrica
		I	D	Mecánica
Materiales		C+I	R	Fibras sintéticas
Control		I	D	Sensores magnéticos e inductivos
		I	D	Actuadores neumáticos y eléctricos
		I	D	PLC
		I	D	HMI
Tiempo de tejido		C+I	D	Velocidad de tejido 10m/día
Mantenimiento		C	R	Dos veces al año
Seguridad		I	R	Paro de emergencia
Propone: C = Cliente; I = Ingeniería R/D: R = Requerimientos; D = Deseo				

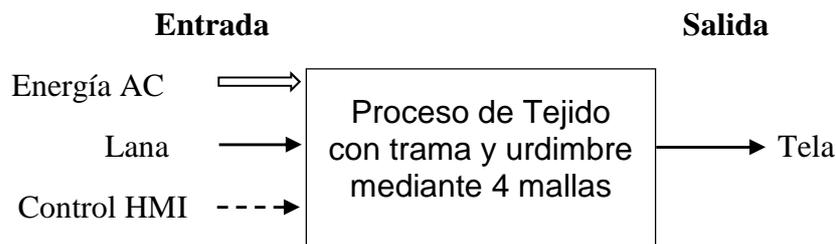
### 3.7 Análisis funcional

Una vez encontrados los resultados en el QFD aplicamos el análisis funcional que es una herramienta de diseño que establece un primer paso para encontrar una estructura modular para esto se debe hallar funciones primarias y secundarias. Las funciones primarias es en lo que se fija el cliente al momento de comprar el producto y las funciones secundarias son las que permite que la función primaria se ejecute.

Establecidas las funciones secundarias se plantea soluciones para cada una, para posteriormente seleccionar mediante una ponderación la alternativa más conveniente. Se formarán módulos al reunir varias soluciones con el fin de cumplir varias funciones secundarias, así obteniendo un diseño modular, Mediante diagramas de flujo se realiza la descomposición funcional del prototipo. Este es representado por diagramas de flujo mediante símbolos lo suficientemente flexibles adecuados a la norma VDI 2222 que determina las tres tipos de entradas que debe tener cada función contenido en un recuadro (Riba, 2002, págs. 128-129).

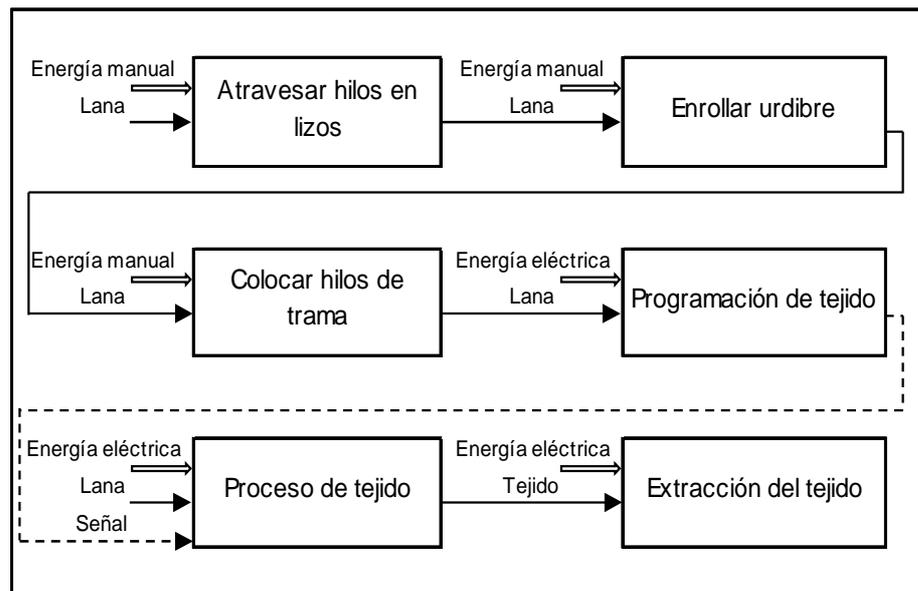
#### 3.7.1 Determinación de las funciones primarias y secundarias

Se determinará la función global del sistema llamada también “caja negra” figura 41, es decir se representará la tarea que debe realizar el prototipo que se va a diseñar relacionando los flujos de entrada y salida del sistema, la presentación es muy esquemática.



**Figura 40. “Caja negra” nivel 0**

Siguiendo con la descomposición funcional del desarrollo del diseño continuamos con la división del nivel 0 en subfunciones y así crear una descripción más específica de las funciones que deben realizarse para obtener el prototipo, a esto se le llama nivel 1 el cual se muestra en la figura 42.



**Figura 41. Nivel 1**

### 3.7.2 Determinación de módulos

Previo a la determinación de módulos se debe efectuar el desglose del nivel 1 en varias acciones no detalladas, a esto se lo denomina nivel 2, se procederá a especificar procesos importantes del funcionamiento del prototipo. Se establece entradas energéticas, materiales y señales de control para que haya relación entre las funciones que harán cada módulo.

La obtención de módulos consiste en agrupar varios bloques funcionales del nivel 2 para encontrar aspectos importantes tales como la posibilidad de introducir nuevas funciones, soluciones más económicas, facilidad de fabricación, mantenimiento, montaje, y producción de la máquina (Riba, 2002).

Durante el proceso de tejido se producen varias etapas por lo que resulta conveniente efectuar una división de todo el bloque de proceso que realiza la máquina, mediante el análisis de los diagramas funcionales de la figura 43, Una vez hecho el análisis se determinó que existen múltiples funciones que interactúan entre sí para la elaboración del tejido, por lo tanto se dividió al proceso en cinco módulos detallados en figura 44.

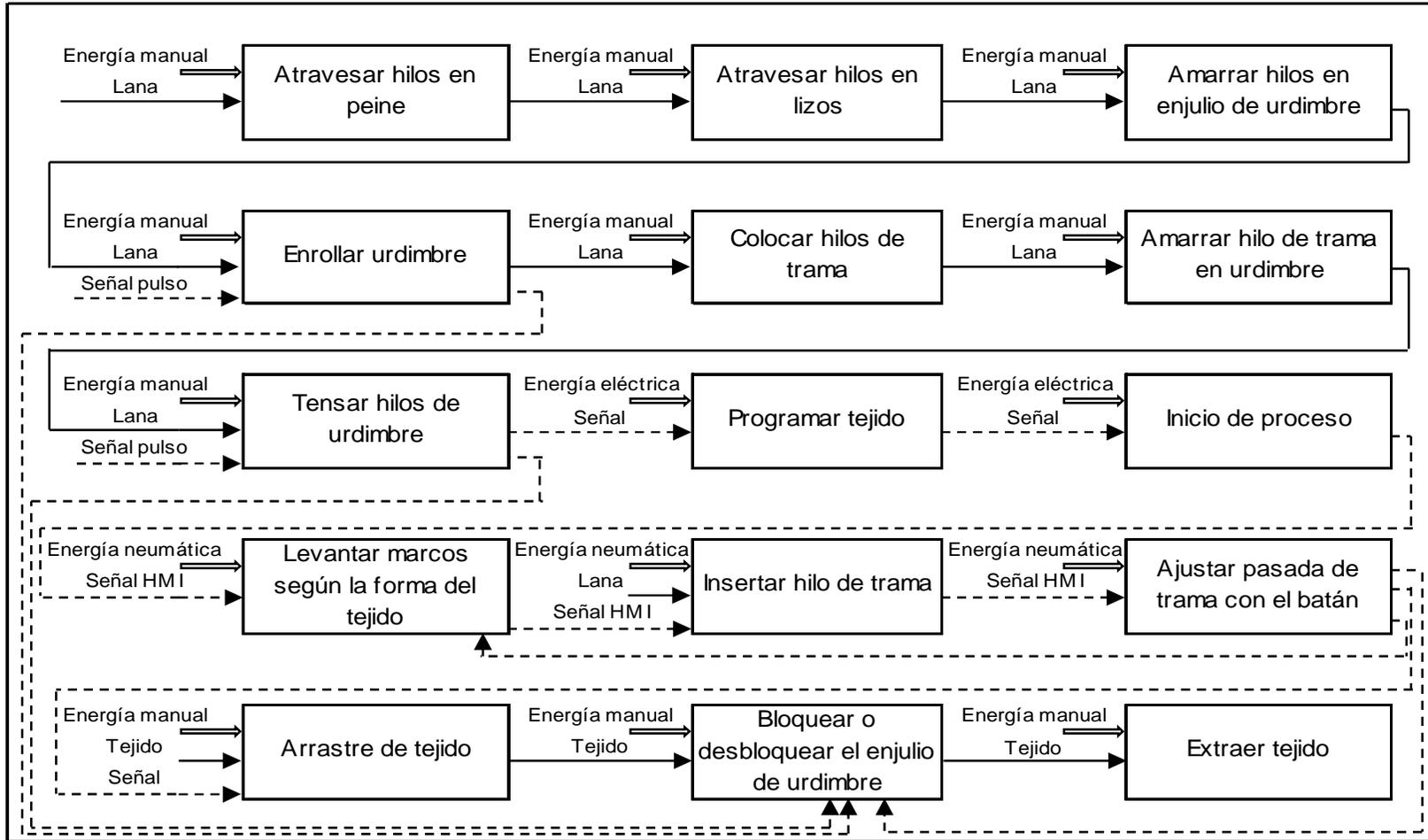


Figura 42. Nivel 2 – División de bloques del nivel 1

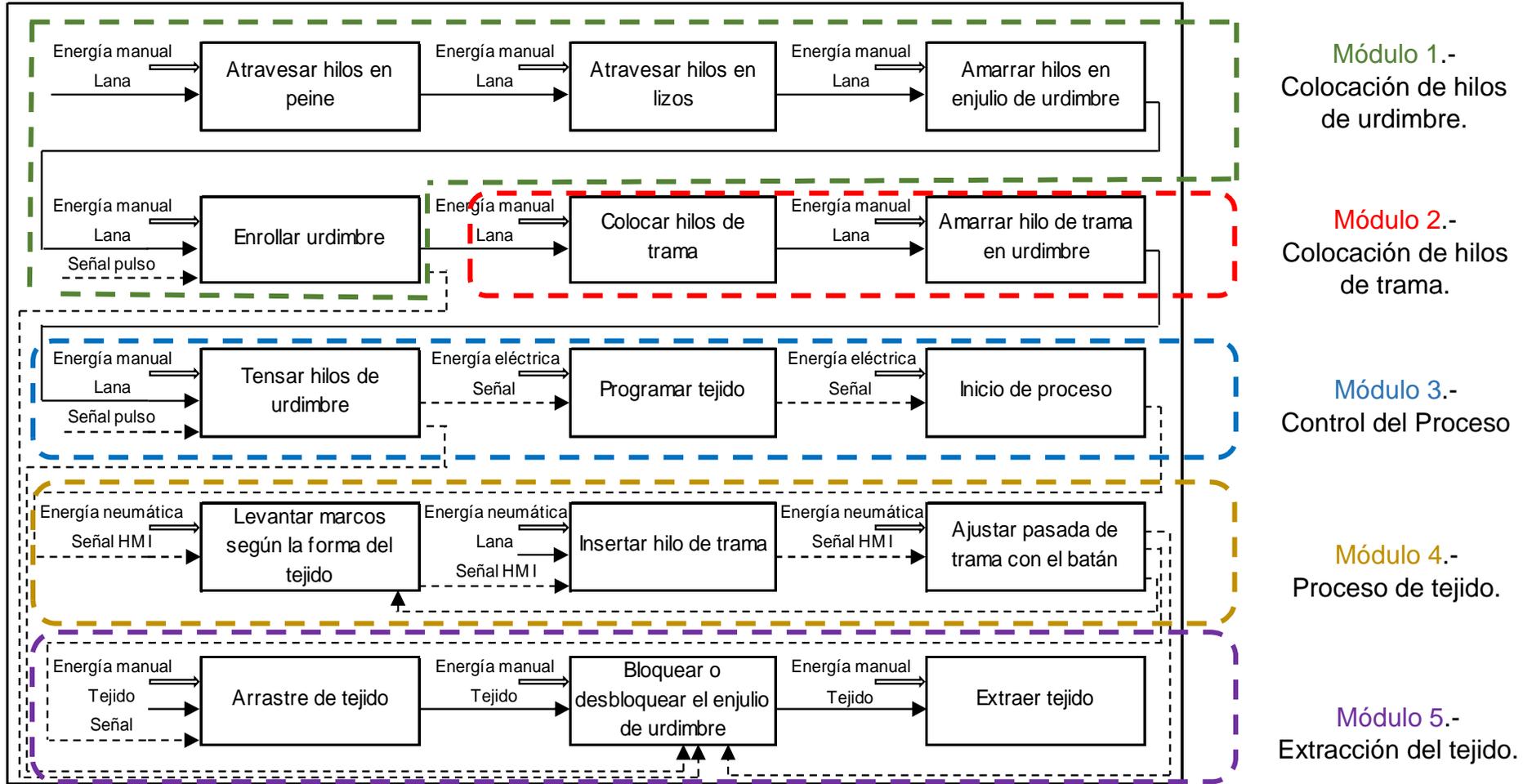


Figura 43. Análisis modular.

### 3.7.3 Solución para cada módulo del telar automático

Se presentan las posibles soluciones para cada una de las funciones para posteriormente combinarlas y establecer la mejor opción para el módulo.

### 3.7.4 Módulo 1.- Colocación de hilos de urdimbre en la máquina.

El proceso de colocación de hilos de urdimbre en la máquina se lo realiza de forma manual debido que antes de empezar el proceso de tejido se debe preparar el material necesario que son los hilos de urdimbre de forma que la máquina pueda funcionar correctamente una vez iniciado del proceso de tejido seleccionado, por ello en los módulos se deben cumplir las siguientes funciones:

- Atravesar los hilos en el peine.
- Atravesar los hilos en los lizos.
- Amarrar los hilos en el enjullo de urdimbre.
- Enrollar el enjullo de urdimbre
- Amarrar hilos de urdimbre en enjullo de tela

#### 3.7.4.1 Alternativas para el módulo 1

##### 3.7.4.1.1 Atravesar los hilos en el peine.

Se debe atravesar todos los hilos en los claros o dientes del peine dado que la función del peine es siempre mantener el espacio entre los hilos y apretar la trama permitiendo así un tejido uniforme, tal como muestra la figura 45.



**Figura 44. Inserción de hilos en el peine.**  
**Fuente: (Cachicadán, s.f.)**

### 3.7.4.1.2 Atravesar los hilos en los lizos.

Cada hilo de la urdimbre debe pasar por un orificio situado en la parte central del lizo. Los lizos están unidos a un arnés de metal o de madera cuyo conjunto se denomina malla o cuadro de forma que puedan levantarse o bajarse en un solo paso, junto con los hilos de urdimbre que los atraviesan tomando en cuenta que la malla más cercana al batán será la número uno la siguiente la número dos y así sucesivamente. En la figura 46 se puede observar el proceso de enhebrado de hilos en los lizos.



**Figura 45. Enhebrado de hilos en los lizos.**

**Fuente: (Tejedores, 2016)**

### 3.7.4.1.3 Amarrar los hilos en el enjulo de urdimbre.

El hilo de urdimbre una vez ha pasado por los lizos debe amarrarse en el enjulo donde posteriormente procederá a enrollarse. Para el amarre se utiliza nudos que son especialmente realizados por el tejedor ya que podrán zafarse con facilidad tal como se muestra en la figura 47.



**Figura 46. Anudado de hilos en enjulo de urdimbre.**

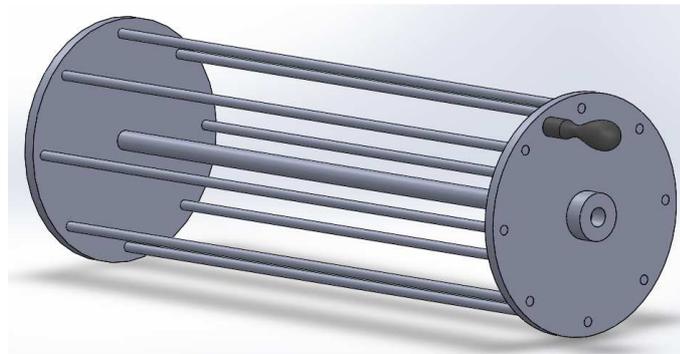
**Fuente: (Tejedores, 2016)**

#### 3.7.4.1.4 Enrollar el enjulo de urdimbre

El proceso realiza una envoltura de hilo de urdimbre en el enjulo, el proceso usualmente es manual pero con ayuda de un sistema de accionamiento se logrará hacerlo de una manera semiautomática, este sistema hará girar el enjulo permitiendo así enrollar la urdimbre. Para esto se tiene las siguientes alternativas.

##### a) Modo manual – manivela

El diseño consta de una manivela para que el operario de vueltas al enjulo manualmente para enrollar los hilos tal como muestra la figura 48.



**Figura 47. Sistema manual - manivela.**

##### Ventajas

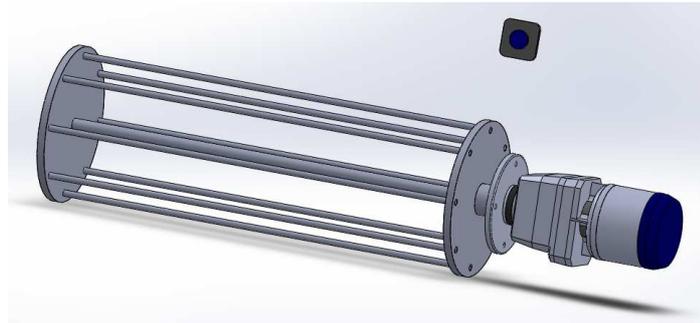
- Aplicación de técnicas de envoltura de hilo.
- Tiempo de construcción

##### Desventajas

- Necesita de varios artesanos
- Fatiga del operario
- Tiempo de enrollamiento de hilo

##### b) Pulsador – motor

El enjulo va enrollar el hilo mediante la acción de un pulsador que se encontrará en el tablero de control, el principio de funcionamiento es el siguiente, mientras el pulsador este presionado el motor girara hacia un sentido el cual enrollará los hilos de urdimbre rápidamente a una velocidad constante. En la figura 49 se puede observar el sistema pulsador-motor.



**Figura 48. Sistema pulsador - motor.**

#### **Ventajas**

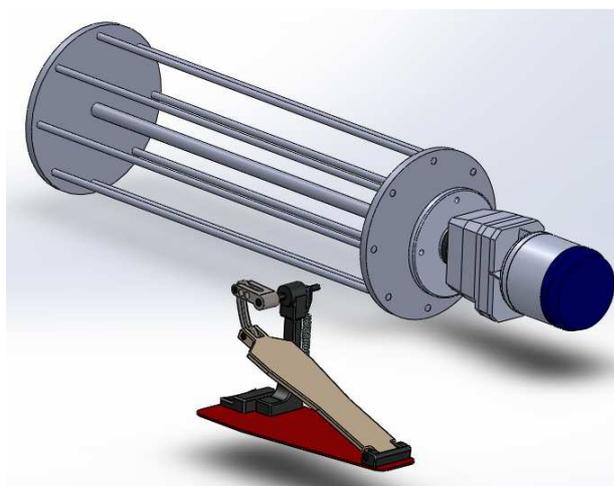
- Funcionamiento sencillo.
- Control de envoltura por el operario
- De fácil disponibilidad

#### **Desventajas**

- Consumo de energía eléctrica
- Aumenta el costo.

#### **c) Pedal – motor**

El diseño cuenta de un pedal que reemplazara al pulsador para poder realizar la acción de enrollar el hilo con el pie. Al presionar el pedal con el pie el motor girará en un sentido para que se produzca el proceso de enrollado. En la figura 50 se puede observar el sistema pedal-motor.



**Figura 49. Sistema pedal - motor.**

### Ventajas

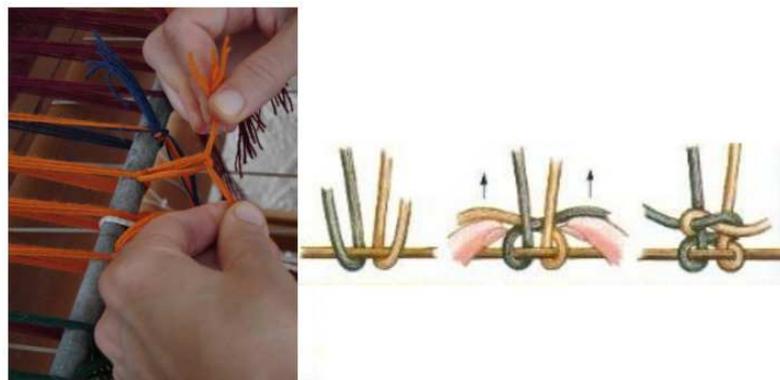
- Funcionamiento sencillo.
- Control de envoltura por el operario mediante el pie

### Desventajas

- Consumo de energía eléctrica
- Aumenta el costo
- No existe disponibilidad del pedal
- Aumente dificultad de construcción

#### 3.7.4.1.5 Amarrar hilos de urdimbre en enjullo de tela

En el proceso final en la preparación de los hilos de urdimbre, se debe anudar los hilos de trama en el enjullo de tela de la misma manera que en el enjullo de urdimbre, de igual modo se aconseja que los nudos sean realizados por el tejedor ya que los hilos podrían zafarse con facilidad. La figura 51 muestra cómo se debe anudar los hilos de urdimbre en el enjullo de tela.



**Figura 50. Anudado de hilos de urdimbre en enjullo de tela.**

**Fuente: (Tejedores, 2016)**

#### 3.7.4.2 Evaluación de criterios y selección de alternativas.

La selección de alternativa que más se ajuste a las necesidades se hará con la ayuda de la herramienta de “Matriz de comparación pareada”, la cual nos ayudara en la toma de decisiones mediante una técnica de ponderación de prioridades de los criterios.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Alternativa 1: Modo manual – manivela.

- Alternativa 2: Pulsador - motor.
- Alternativa 3: Pedal – motor.

Y teniendo en cuenta los principales criterios a ser evaluados en su respectivo orden de importancia de uno respecto a otro:

- Operabilidad.  
Solución 2 = Solución 3 > Solución 1.
- Facilidad de implementar.  
Solución 1 > Solución 2 = Solución 3.
- Costo.  
Solución 1 > Solución 2 = Solución 3.

Para obtener la solución que más ajuste a los requerimientos se realiza la evaluación de criterios. Para el módulo 1 se detallará desde la tabla 7 hasta la tabla 11 la ponderación de cada criterio, así como su respectiva evaluación de cada una de las alternativas planteadas para posteriormente seleccionar la mejor solución.

**Tabla 7.**  
**Ponderación de criterios de evaluación para módulo 1.**

	OPERABILIDAD	FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACION
OPERABILIDAD	---	1	1	2,5	0,5
FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	0	---	1	1,5	0,3
COSTO	0	0	---	1	0,2
			Total	5	1

**Tabla 8.**  
**Ponderación de Operabilidad para soluciones del módulo 1.**

	SOLUCION1	SOLUCION2	SOLUCION3	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION1	--	0	0	1	0,17
SOLUCION2	1	--	0,5	2,5	0,42
SOLUCION3	1	0,5	--	2,5	0,42
Total				6	1

**Tabla 9.**  
**Ponderación de facilidad de implementación para soluciones del módulo 1.**

	SOLUCION1	SOLUCION2	SOLUCION3	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION1	--	1	1	3	0,5
SOLUCION2	0	--	0,5	1,5	0,25
SOLUCION3	0	0,5	--	1,5	0,25
Total				6	1

**Tabla 10.**  
**Ponderación de costo para soluciones del módulo 1.**

	SOLUCION1	SOLUCION2	SOLUCION3	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION1	--	1	1	3	0,5
SOLUCION2	0	--	0,5	1,5	0,25
SOLUCION3	0	0,5	--	1,5	0,25
Total				6	1

**Tabla 11.**  
**Conclusión en la selección de la alternativa para el módulo 1.**

	OPERABILIDAD	FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	COSTO	$\Sigma$	PRIORIDAD
SOLUCION 1	0,083	0,167	0,083	0,306	3
SOLUCION2	0,208	0,111	0,042	0,361	1
SOLUCION3	0,208	0,056	0,042	0,333	2

De acuerdo al análisis anterior se determina que la solución 2 es la más adecuada para realizar, respecto a nuestros criterios determinados.

### 3.7.5 Módulo 2.- Colocación de hilos de trama para el tejido.

La colocación de hilos de trama también se lo realiza de forma manual ya que se debe preparar los hilos de trama antes de iniciar el proceso de tejido. Por ello los módulos de deben cumplir las siguientes funciones:

- Colocar los hilos de trama.
- Amarrar el hilo de trama en el urdimbre

#### 3.7.5.1 Colocar los hilos de trama.

El proceso consiste en pasar el hilo de trama en el sistema de inserción que será detallado en el módulo 4.

#### 3.7.5.2 Amarrar el hilo de trama en la urdimbre

Los hilos de trama se insertan desde los lados del telar en el momento en que se forma la calada es decir cuando la urdimbre está abierta, para este proceso se debe amarrar el extremo del hilo de trama a la urdimbre tal como muestra la figura 52.



**Figura 51. Envoltura manual de urdimbre.**  
Fuente: (Brahic M. , 1998)

### 3.7.6 Módulo 3.- Control del proceso.

Es aquí donde se procesara la información necesaria para el cumplimiento del proceso, el control debe cumplir las siguientes funciones.

- Tensar los hilos de urdimbre
- Programar diseño de tejido o seleccionar diseño preestablecido
- Iniciar el proceso de tejido

### 3.7.6.1 Alternativas para el módulo 3.

#### 3.7.6.1.1 Tensar los hilos de urdimbre.

Se debe tensar los hilos de urdimbre antes de iniciar con el proceso para asegurar la uniformidad del tejido, esta función se realizará desde un panel de control donde a su vez estará alojado el sistema de control del proceso y deberá ser realizado con la supervisión del usuario. La figura 53 muestra dos pulsadores que serán encargados de controlar la envoltura de los hilos de urdimbre.



**Figura 52. Envoltura manual de urdimbre.**

#### 3.7.6.1.2 Programar diseño de tejido o seleccionar diseño preestablecido.

El usuario podrá personalizar sus tejidos es decir podrá programar el tipo de diseño de tejido deseado o a su vez podrá elegir entre diseños previamente guardados en el controlador. Para esto se tiene las siguientes alternativas.

##### a) Pantalla HMI (Interface Humano Máquina).

Como su nombre indica es una pantalla que sirve de enlace entre el usuario y la máquina, esta puede ser táctil o con botones y es en donde se realizará la programación o selección del programa así como el control del proceso. La figura 54 muestra un ejemplo de pantalla HMI.



**Figura 53. Pantalla HMI.**  
Fuente: (SIEMENS, 2015)

### Ventajas

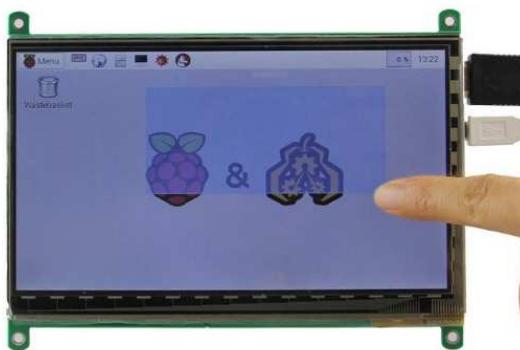
- Disponibilidad y variedad en el mercado.
- Amigable con el usuario.
- Fácil instalación y configuración.
- Permite supervisión del proceso.

### Desventajas

- Necesita controlador compatible.
- Costo

### b) Pantalla TFT.

Pantalla del tipo capacitiva y táctil que se la puede personalizar de acuerdo a las necesidades y es en donde se realizará la programación o selección del programa tal como se muestra en la figura 55.



**Figura 54. Pantalla TFT.**  
Fuente: (PROMETEC, 2016)

### Ventajas

- Costo
- Disponibilidad y variedad en el mercado.
- Amigable con el usuario.

- Compatibilidad con varios dispositivos de control

### **Desventajas**

- Necesita software para su configuración.
- Instalación

### **c) Computador.**

Dispositivo electrónico que recibe información, la procesa y cumple diversas funciones, en este caso donde se realizará la programación o selección del programa. La figura 56 muestra un computador para controlar el proceso.



**Figura 55. Computador.**  
Fuente: (ISOMAX, 2016)

### **Ventajas**

- Completamente amigable con el usuario.
- Personalizable según necesidades y gustos del usuario.

### **Desventajas**

- Necesita software para su configuración.
- Costo.

#### **3.7.6.1.3 Iniciar el proceso de tejido.**

Una vez realizada la programación o escogido el diseño preestablecido el proceso debe iniciar, el proceso puede ser controlado por las siguientes alternativas.

### a) Controlador lógico programable PLC.

Dispositivo electrónico de alto rendimiento capaz de controlar procesos secuenciales que se ejecutan en un ambiente industrial y que soporta múltiples lenguaje de programación. En la figura 57 se muestra un PLC con sus módulos de entradas y salidas.



**Figura 56. PLC.**  
Fuente: (BRADLEY, 2016)

#### Ventajas

- Disponibilidad y variedad en el mercado.
- Ideal para ambientes industriales.
- Acepta varios lenguajes de programación.
- Permite supervisión del proceso.
- Puede ampliar sus módulos de acuerdo a necesidades.

#### Desventajas

- Necesita software específico.
- Costo

### b) Arduino.

Es una plataforma electrónica “open – source” o de código abierto, basada en un microcontrolador que cuenta de un hardware y software con un entorno de desarrollo fácil de usar. En la figura 58 se puede observar una placa básica de arduino Mega.



**Figura 57. Arduino Mega.**  
Fuente: (ARDUINO, 2016)

### Ventajas

- Costo
- Código abierto.
- Amigable con el usuario.
- Gran número de E/S tanto digitales como analógicas.

### Desventajas

- Procesamiento de datos relativamente bajo
- Necesita etapa de potencia si se requiere uso industrial.
- No soporta un sistema operativo completo.

### c) Raspberry.

Es una computadora completamente funcional de placa reducida, aproximadamente del tamaño de una tarjeta de crédito. Puede realizar varias tareas, soportar puertos USB y conectarse de forma inalámbrica a Internet. En pocas palabras, es lo suficientemente potente como para funcionar como una computadora personal. En la figura 59 se puede observar una raspeberry.



**Figura 58. Raspberry PI.**  
Fuente: (FOUNDATION, 2016)

### Ventajas

- Procesamiento a velocidad moderada.
- Capacidad de memoria RAM
- Soporta sistemas operativos completos.
- Memoria de almacenamiento expandible

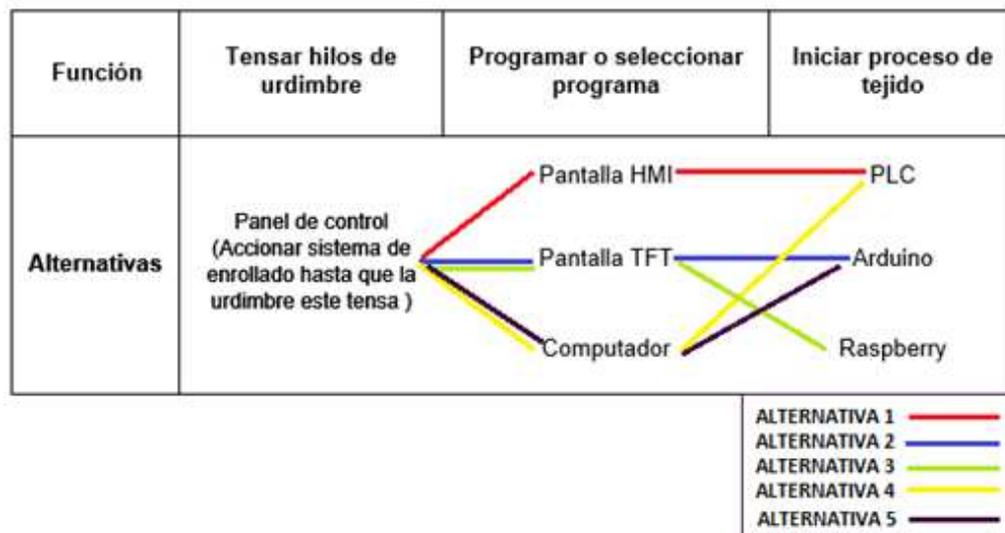
### Desventajas

- No tiene unidad de estado sólido.
- Costo moderado.
- Mediana dificultad de programación.

Finalmente se procede a la combinación de alternativas para la solución del módulo 3 que se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.**

**Combinación de alternativas para el módulo 3.**



#### 3.7.6.2 Evaluación de criterios y selección de alternativas.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Alternativa 1: accionador – pantalla HMI - PLC.
- Alternativa 2: accionador – pantalla TFT - arduino.
- Alternativa 3: accionador – pantalla TFT - raspberry.
- Alternativa 4: accionador – computador - PLC.
- Alternativa 5: accionador – computador - arduino.

Y teniendo en cuenta los siguientes criterios principales a ser evaluados con su respectivo orden de importancia, sabiendo además que los dos primeros y dos últimos criterios tienen una importancia igual:

- Facilidad de implementar  
Solución 1 > Solución 3 > Solución 2 = solución 4 > Solución 5.
- Costo  
Solución 1 > Solución 2 = Solución 3 > solución 5 > Solución 4.
- Facilidad de uso  
Solución 4 = Solución 5 > Solución 1 > Solución 2 = Solución 3.
- Facilidad de mantenimiento  
Solución 1 > Solución 4 > Solución 5 > solución 2 = Solución 3.

Se procede de la misma manera que en el módulo 1 es decir para obtener la solución que más ajuste a los requerimientos se realiza la evaluación de criterios. Para el módulo 3 se detallará desde la tabla 13 hasta la tabla 18 la ponderación de cada criterio, así como su respectiva evaluación de cada una de las alternativas planteadas para posteriormente seleccionar la mejor solución.

**Tabla 13.**  
**Ponderación de criterios de evaluación para módulo 3.**

	FACILIDAD DE IMPLEMENTAR		COSTO	FACILIDAD DE USO	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	$\Sigma+1$	PONDERACION
FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	---		0,5	1	1	3,5	0,35
COSTO	0,5	---		1	1	3,5	0,35
FACILIDAD DE USO	0	0	---	0,5	1,5		0,15
FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	0	0	0,5	---	1,5		0,15
				Total	10	1	

**Tabla 14.**  
**Ponderación de implementación para soluciones del módulo 3.**

	SOL.1	SOL.2	SOL.3	SOL.4	SOL.5	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION 1	--	1	1	1	1	5	0,33

Continua 

SOLUCION 2	0	--	0	0,5	1	2,5	0,17
SOLUCION 3	0	1	--	1	1	4	0,27
SOLUCION 4	0	0,5	0	--	1	2,5	0,17
SOLUCION 5	0	0	0	0	--	1	0,07
Total						15	1

**Tabla 15.**  
**Ponderación de costo para soluciones del módulo 3.**

	SOL.1	SOL.2	SOL.3	SOL.4	SOL.5	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION1	--	1	1	1	1	5	0,33
SOLUCION2	0	--	0,5	1	1	3,5	0,23
SOLUCION3	0	0,5	--	1	1	3,5	0,23
SOLUCION4	0	0	0	--	0	1	0,07
SOLUCION5	0	0	0	1	--	2	0,13
Total						15	1

**Tabla 16.**  
**Ponderación de facilidad de uso para soluciones del módulo 3.**

	SOL.1	SOL.2	SOL.3	SOL.4	SOL.5	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION1	--	1	1	0	0	3	0,20
SOLUCION2	0	--	0,5	0	0	1,5	0,10
SOLUCION3	0	0,5	--	0	0	1,5	0,10
SOLUCION4	1	1	1	--	0,5	4,5	0,30
SOLUCION5	1	1	1	0,5	--	4,5	0,30
Total						15	1

**Tabla 17.**  
**Ponderación de facilidad de mantenimiento para soluciones del módulo 3.**

	SOL.1	SOL.2	SOL.3	SOL.4	SOL.5	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION1	--	1	1	0	0	3	0,20
SOLUCION2	0	--	0,5	0	0	1,5	0,10
SOLUCION3	0	0,5	--	0	0	1,5	0,10
SOLUCION4	1	1	1	--	0,5	4,5	0,30
SOLUCION5	1	1	1	0,5	--	4,5	0,30
Total						15	1

**Tabla 18.**  
**Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 3.**

	FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	COSTO	FACILIDAD DE USO	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	$\Sigma$	PRIORIDAD
CONCEPTO1	0,117	0,117	0,030	0,050	0,313	1
CONCEPTO2	0,058	0,082	0,017	0,015	0,172	3
CONCEPTO3	0,093	0,082	0,017	0,015	0,207	2
CONCEPTO4	0,058	0,023	0,017	0,040	0,139	4
CONCEPTO5	0,023	0,047	0,017	0,040	0,127	5

De acuerdo al análisis anterior se determina que la solución 1 es la más adecuada para realizar, respecto a nuestros criterios predeterminados tal como muestra a figura 60.



**Figura 59. Alternativa. Accionador – pantalla HMI - PLC.**

Fuente: Editada por los autores.

### 3.7.7 Módulo 4.- Proceso de tejido.

En el proceso se entrelazan el hilo de urdimbre y el de trama formando el tejido para lo cual debe realizar las siguientes funciones:

- Levantamiento de mallas de acuerdo al diseño del tejido.
- Sistema de inserción de trama, Insertar el hilo de trama.
- Ajustar cada pasada para lograr un tejido uniforme.

### 3.7.7.1 Alternativas para el módulo 4.

#### 3.7.7.1.1 Levantamiento de mallas de acuerdo al diseño del tejido

El diseño dependerá del tipo de tejido escogido dado que la formación de la tela depende del el orden en que se levanten las mallas, las cuales deben levantarse de una manera sencilla y puedan ejecutar las secuencias establecidas en la programación. Para lo cual se tiene las siguientes alternativas.

##### a) Levantamiento de mallas individualmente mediante levas

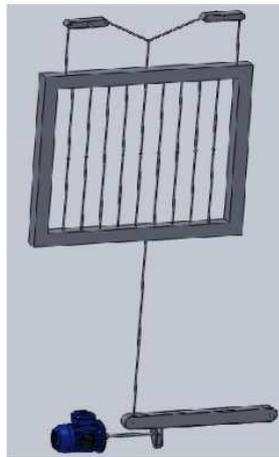
El diseño consta de un motor que transmite el movimiento a una leva, la que a su vez con ayuda de otras 2 levas mueve los marcos los cuales están suspendidos por cables.

##### Ventajas

- Funcionamiento sencillo
- Se puede controlar

##### Desventajas

- Tiempo de construcción
- Costoso
- Se debe maquinar las levas
- Más complejo a la hora del montaje
- Necesita un control para arranque y paro intermitente de motores.



**Figura 60. Sistema leva - motor.**

**b) Levantamiento de mallas mediante husillo de bolas (Ball Screw) y cilindros neumáticos.**

La alternativa cuenta de un husillo de bolas que mediante el accionamiento de cilindros neumáticos y un motor permitirá levantar los marcos a través de rieles guías.

**Ventajas**

- Facilidad de implementación
- Disponible en mercado
- Bajo costo
- Funcionamiento sencillo

**Desventajas**

- Necesita fuente de aire.
- Requiere motor



**Figura 61. Sistema actuador lineal Ball screw.**

**c) Levantamiento de mallas mediante sistema de barra rígida y cilindros neumáticos**

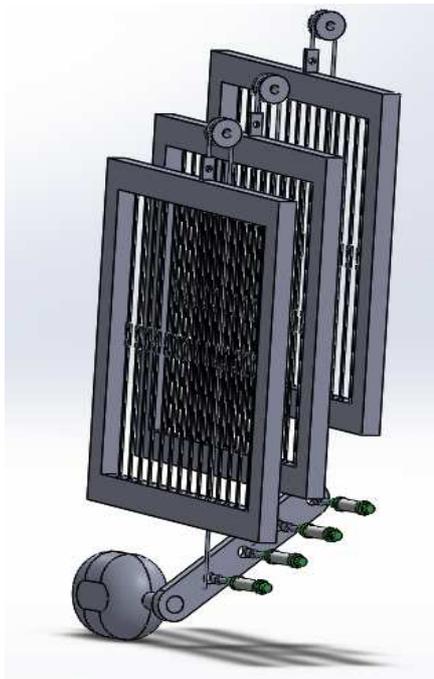
El diseño consta de una barra rígida en las cuales embonaran los respectivos cilindros neumáticos que serán los encargados de levantar los marcos a través de cables.

### Ventajas

- Necesita menor cantidad de energía que cilindros neumáticos
- Fácil de montar
- Disponibilidad en el mercado

### Desventajas

- Costo
- Requiere fuente de aire
- Requiere control del motor



**Figura 62. Sistema barra rígida-motor.**

#### 3.7.7.1.2 Sistema de inserción de trama, insertar el hilo de trama

El sistema requiere de una inserción de trama continua, a continuación se mostrarán varias opciones para la construcción.

##### a) Inserción mediante cilindros neumáticos

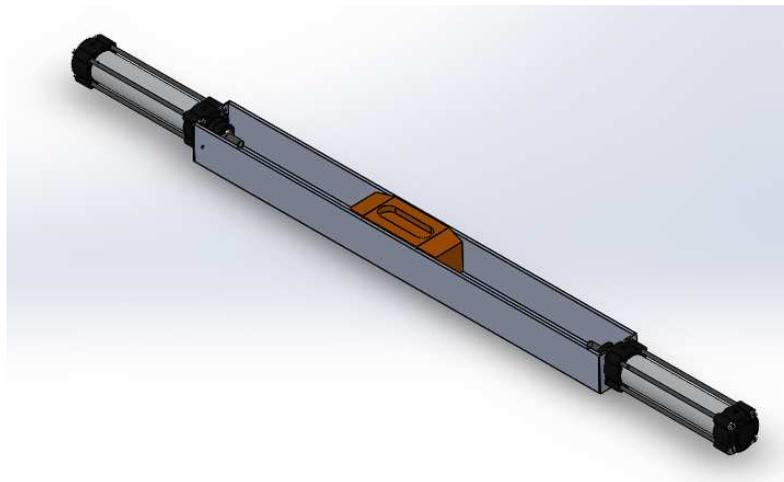
El sistema está compuesto por dos cilindros en los extremos del batán con una lanzadera con ruedas para que se desplace con facilidad a lo largo de la guía.

**Ventajas**

- Facilidad de instalación
- Funcionamiento ON/OFF
- Sencillos de controlar

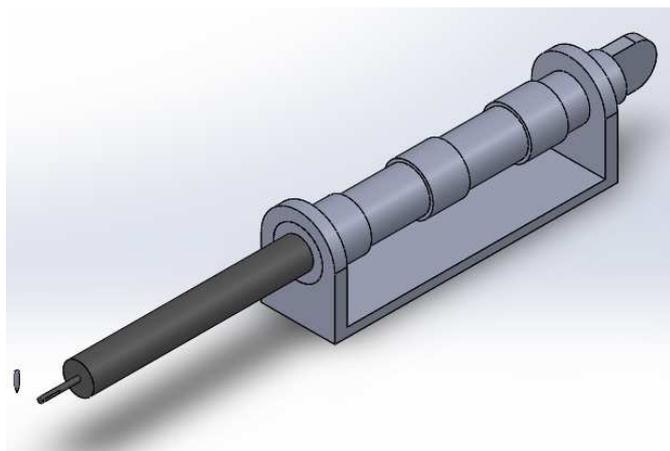
**Desventajas**

- Costo
- Consumo de energía neumática.



**Figura 63. Inserción por medio de lanzadera con cilindros.**  
**b) Inserción mediante un brazo neumático**

El sistema tiene un brazo neumático extenso que recorre la trayectoria de inserción de trama hasta que llegue a una aguja que retendrá el hilo mediante la acción de un cilindro neumático pequeño.



**Figura 64. Inserción por medio de un brazo neumático y aguja.**

### **Ventajas**

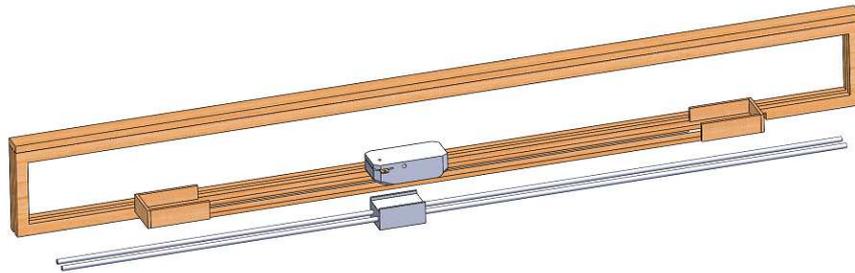
- Facilidad de instalación
- Funcionamiento ON/OFF
- Sistema sencillo de uso

### **Desventajas**

- Costo
- Disponibilidad en el mercado
- Consumo de energía

#### **c) Inserción mediante lanzadera con imanes**

Se basa en imanes instalados debajo de la lanzadera que por medio magnetismo y con ayuda de un riel ara que se produzca el desplazamiento de la lanzadera.



**Figura 65. Inserción por medio de lanzadera por electromagnetismo.**

### **Ventajas**

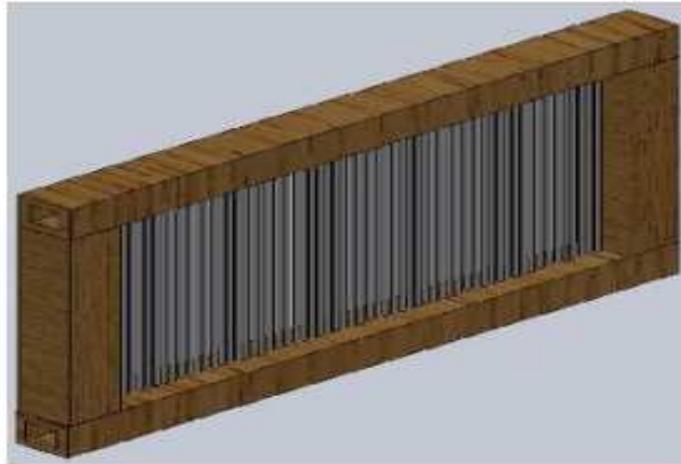
- Facilidad de instalación
- Funcionamiento ON/OFF
- Facilidad construcción

### **Desventajas**

- Disponibilidad en el mercado
- Consumo de energía eléctrica

#### **3.7.7.1.3 Ajuste del batán para lograr un tejido uniforme**

Después de cada pasada debe ser ajustada contra la anterior por un batan que posee alojado en el un peine el cual es intercambiable de acuerdo al tipo de hilo permitiendo así un tejido uniforme y de igual densidad.



**Figura 66. Batán con peine incorporado.**

Se debe mencionar que hay dos tipos de batán:

- Batán lineal
- Batán abatible

**a) Batán lineal**

Este realiza un movimiento lineal al momento de ajustar cada pasada con la anterior.

**b) Batán abatible**

Este realiza un movimiento abatible al momento de ajustar cada pasada.

Finalmente se procede a la combinación de alternativas para la solución del módulo 4 que se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19.**

**Combinación de alternativas para el módulo 4.**

Funcion	Levantamiento de mallas	Inserción de trama	Ajuste de batán
Alternativas	Levantamiento mediante levas	Inserción mediante 2 cilindros neumaticos	Batán lineal
	Levantamiento mediante Husillo de Bolas	Inserción mediante un brazo neumaticos	
	Levantamiento directo con cilindros	Inserción con electroimanes	Batán abatible
			ALTERNATIVA 1
			ALTERNATIVA 2
			ALTERNATIVA 3
			ALTERNATIVA 4
			ALTERNATIVA 5
			ALTERNATIVA 6
			ALTERNATIVA 7

### 3.7.7.2 Evaluación de criterios y selección de alternativas.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Alternativa 1: Barra – cilindros neumáticos – batán lineal
- Alternativa 2: Levas – brazo neumático – batán lineal.
- Alternativa 3: Levas – electroimanes – batán abatible.
- Alternativa 4: Barra – electroimanes – batán abatible.
- Alternativa 5: Cilindros – electroimanes – batán lineal.
- Alternativa 6: Cilindros – brazo neumático – batán abatible.
- Alternativa 7: Barra – brazo neumático – batán abatible.

Y teniendo en cuenta los siguientes criterios principales a ser evaluados en su respectivo orden de importancia de uno respecto a otro se analizará las soluciones para conocer cuál es la opción más óptima para este módulo:

- Facilidad de implementar  
Sol 5 > Sol 3 > Sol 4 > Sol 1 = Sol 2 > Sol 6 > Sol 7.
- Costo  
Sol 4 > Sol 5 > Sol 2 > Sol 6 > Sol 7 > Sol 3 > Sol 1
- Consumo de energía neumática  
Sol 6 > Sol 5 > Sol 7 > Sol 1 = Sol 2 > Sol 3 = Sol 4
- Facilidad de mantenimiento  
Sol 4 > Sol 7 > Sol 2 > Sol 3 > Sol 1 > Sol 5 = Sol 6

De igual forma se procede de la misma manera que en el módulo 1 y 3 es decir para obtener la solución que más ajuste a los requerimientos se realiza la evaluación de criterios. Para el módulo 4 se detallará desde la tabla 20 hasta la tabla 25 la ponderación de cada criterio, así como su respectiva evaluación de cada una de las alternativas planteadas para posteriormente seleccionar la mejor solución.

**Tabla 20.**  
**Ponderación de criterios de evaluación para módulo 4.**

	FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	COSTO	CONSUMO DE ENERGÍA NEUMÁTICA	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	$\Sigma+1$	PONDERACION
FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	--	0,5	0,5	1	3	0,30
COSTO	0,5	---	1	1	3,5	0,35
CONSUMO DE ENERGÍA NEUMÁTICA	0,5	0	---	0	1,5	0,15
FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	0	0	1	---	2	0,20
				Total	10	1

**Tabla 21.**  
**Ponderación de facilidad de implementación para soluciones del módulo 4.**

	SOL. 1	SOL. 2	SOL. 3	SOL. 4	SOL. 5	SOL. 6	SOL. 7	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOL. 1	--	0,5	0	0	0	1	1	3,5	0,14
SOL. 2	0,5	--	0	0	0	1	1	3,5	0,14
SOL. 3	1	1	--	1	0	1	1	6	0,24
SOL. 4	1	1	0	--	0	1	1	5	0,20
SOL. 5	1	1	1	1	--	1	1	7	0,28
SOL. 6	0	0	0	0	0	--	1	2	0,08
SOL. 7	0	0	0	0	0	0	--	1	0,04
					Total			25	1

**Tabla 22.**  
**Ponderación de costos para soluciones del módulo 4.**

	SOL. 1	SOL. 2	SOL. 3	SOL. 4	SOL. 5	SOL. 6	SOL. 7	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOL. 1	--	0	0	0	0	0	0	1	0,05
SOL. 2	1	--	1	0	0	1	1	5	0,24
SOL. 3	1	0	--	0	0	0	0	2	0,10
SOL. 4	1	1	1	--	1	1	1	7	0,33
SOL. 5	1	1	1	0	--	1	1	6	0,29
SOL. 6	1	0	1	0	0	--	1	4	0,19
SOL. 7	1	0	1	0	0	0	--	3	0,14
					Total			21	1

**Tabla 23.**  
**Ponderación de consumo de energía neumática para soluciones del módulo 4.**

	SOL. 1	SOL. 2	SOL. 3	SOL. 4	SOL. 5	SOL. 6	SOL. 7	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOL. 1	--	0,5	1	1	0	0	0	3,5	0,22

Continua 

SOL. 2	0,5	--	1	1	0	0	0	3,5	0,22
SOL. 3	0	0	--	0,5	0	0	0	1,5	0,09
SOL. 4	0	0	0,5	--	0	0	0	1,5	0,09
SOL. 5	1	1	1	1	--	0	1	6	0,38
SOL. 6	1	1	1	1	1	--	1	7	0,44
SOL. 7	1	1	1	1	0	0	--	5	0,31
Total								16	1

**Tabla 24.**  
**Ponderación de facilidad de mantenimiento para soluciones del módulo 4.**

	SOL. 1	SOL. 2	SOL. 3	SOL. 4	SOL. 5	SOL. 6	SOL. 7	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOL. 1	--	0	0	0	1	1	0	3	0,15
SOL. 2	1	--	1	0	1	1	0	5	0,24
SOL. 3	1	0	--	0	1	1	0	4	0,20
SOL. 4	1	1	1	--	1	1	1	7	0,34
SOL. 5	0	0	0	0	--	0,5	0	1,5	0,07
SOL. 6	0	0	0	0	0,5	--	0	1,5	0,07
SOL. 7	1	1	1	0	1	1	--	6	0,29
Total								20,5	1

**Tabla 25.**  
**Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 4.**

	FACILIDAD DE IMPLEMENTAR	COSTO	CONSUMO DE ENERGÍA NEUMÁTICA	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	$\Sigma$	PONDERACION
CONCEPTO1	0,042	0,017	0,033	0,029	0,121	7
CONCEPTO2	0,042	0,083	0,033	0,049	0,207	3
CONCEPTO3	0,072	0,033	0,014	0,039	0,158	6
CONCEPTO4	0,060	0,117	0,014	0,068	0,259	1
CONCEPTO5	0,084	0,100	0,056	0,015	0,255	2
CONCEPTO6	0,024	0,067	0,066	0,015	0,171	4
CONCEPTO7	0,012	0,050	0,047	0,059	0,167	5

De acuerdo al análisis anterior se determina que la solución 4 es la más adecuada para realizar, respecto a nuestros criterios predeterminados tal como muestra la figura 68.



**Figura 67. Alternativa. Ball Screw – electroimanes – Batán abatible**

### **3.7.8 Módulo 5.- Extracción de tejido.**

El módulo se enfoca en el arrastre adecuado que debe realizarse en el tejido y la correcta extracción del mismo, para ello se ha tomado en cuenta las siguientes funciones:

- Arrastrar del tejido terminado.
- Bloquear y desbloquear del enjullo de urdimbre.
- Extraer del tejido concluido.

#### **3.7.8.1 Alternativas para el módulo 5.**

##### **3.7.8.1.1 Arrastrar del tejido terminado.**

La función que debe realizar es un arrastre adecuado al tejido, una pasada y ajustar del batán. Este procedimiento debe repetirse durante todo el proceso de tejido.

##### **a) Arrastre mediante un motor reductor trifásico.**

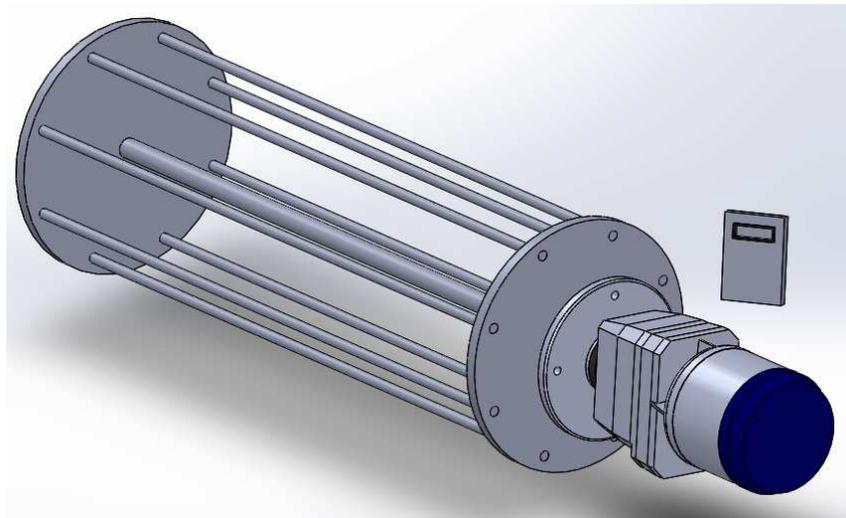
El diseño consta de un motor que tenga incorporado un mecanismo de velocidad reducida, que mediante un variador de frecuencia vaya regulando la velocidad y el arranque del motor a tiempos determinados en la programación del actuador.

### Ventajas

- Funcionamiento sencillo
- Facilidad de acople
- Economía accesible

### Desventajas

- Programación del variador de frecuencia.
- Fuente de energía



**Figura 68. Componentes de arrastre de tejido - motor trifásico.**  
**b) Arrastre mediante motor a pasos**

El diseño consta de un motor paso a paso y así transmite el movimiento al eje del enjulo de arrastre del tejido.

### Ventajas

- Funcionamiento sencillo
- Facilidad en el control del actuador

### Desventajas

- Costoso
- Programación
- Requieren driver para su control



**Figura 69. Componentes de arrastre de tejido – motor a pasos.**

### **3.7.8.1.2 Bloquear o desbloquear el enjulo de urdimbre**

Una vez se a enrollado los hilos de urdimbre en el enjulo se debe asegurar que siempre se mantengan tensos para los cual es necesario un sistema de frenado o bloqueo del enjulo de urdimbre, Para esto se tiene las siguientes alternativas.

#### **a) Sistema de freno manual por banda - tambor.**

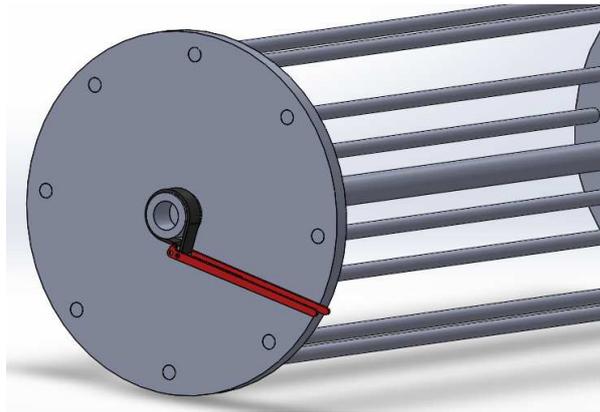
El diseño consta de una banda que será la encargada detener el movimiento del tambor alojado en el eje del enjulo. Cuando se ejerza fuerza sobre la palanca esta hará girar el pivote provocando así que la banda se apreté fuertemente sobre el tambor y detenga el movimiento.

#### **Ventajas**

- Funcionamiento sencillo.
- Facilidad de instalación.
- Costo relativamente bajo
- Fácil mantenimiento del sistema.

#### **Desventajas**

- Requiere calibración.
- Se vuelve ineficiente si alcanza temperaturas de operación excesivas.
- Rechinido por la fricción de los componentes.



**Figura 70. Sistema de frenado – palanca.**

**b) Sistema de freno con motor a pasos.**

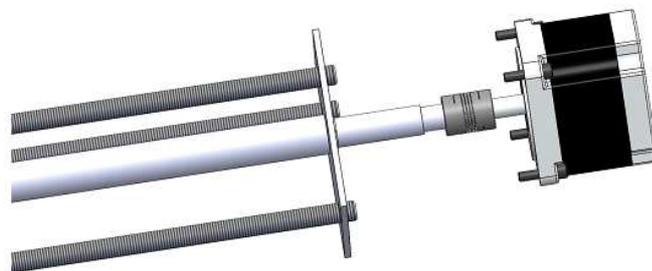
El diseño consta de un motor a pasos de alto torque que una vez energizado su eje permanecerá inmóvil a menos que se lo indique lo contrario, es decir el propio motor ara de freno para los enjulos de tela y urdimbre respectivamente en este sistema.

**Ventajas**

- Funcionamiento sencillo.
- Mantenimiento rápido y cómodo.
- Acción de frenado independiente del sentido de giro.
- Disipa el calor debido a la circulación de aire por ambos lados del

**Desventajas**

- Necesita alto torque.
- Aumenta el costo.



**Figura 71. Sistema de frenado - cilindro neumático**

### 3.7.8.1.3 Extraer del tejido concluido

La función es recolectar la tela de una forma adecuada una vez concluido todo el proceso de tejido.

#### a) Extracción mediante un motor a pasos.

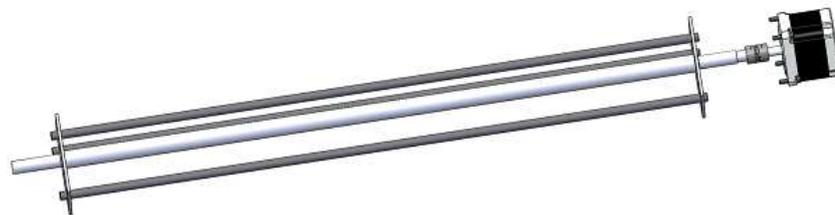
El diseño consta de un motor motor paso a paso, este mecanismo tiene un control ON/OFF mediante un pulsador que se ubica en el tablero de control, ayudará a desenvolver el tejido elaborado una vez terminado del proceso.

#### Ventajas

- Funcionamiento sencillo
- Facilidad de control.

#### Desventajas

- Programación.
- Requieren driver para su control



**Figura 72. Extracción de tejido mediante motor a pasos.**

Finalmente se procede con la combinación de alternativas para la solución del módulo 5 que se muestra en la tabla 26.

**Tabla 26.**

**Combinación de alternativas para el módulo 5.**

Funcion	Arrastrar del tejido terminado	Bloquear y desbloquear enjullo de urdimbre	Extraertejido concluido
Alternativas	Arrastre mediante motor a pasos Arrastre mediante un motor reductor trifásico.	Sistema de freno manual por banda - tambor. Sistema de freno con motor a pasos	Extracción mediante motor a pasos
	ALTERNATIVA 1 — naranja ALTERNATIVA 2 — azul ALTERNATIVA 3 — rojo ALTERNATIVA 4 — negro		

### 3.7.8.2 Evaluación de criterios y selección de alternativas.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Alternativa 1: Motor a pasos – freno manual – motor AC.
- Alternativa 2: Motor a pasos – freno neumático – motor AC.
- Alternativa 3: Motor reductor – freno manual – motor AC.
- Alternativa 4: Motor reductor – freno neumático – motor AC.

Y teniendo en cuenta los siguientes criterios principales a ser evaluados en su respectivo orden de importancia de uno respecto a otro se analizará las soluciones para conocer cuál es la opción más óptima para este módulo:

- Control  
Sol 2 > Sol 1 > Sol 4 > Sol 3
- Costo  
Sol 2 > Sol 1 > Sol 3 > Sol 4
- Consumo de energía  
Sol 3 > Sol 4 > Sol 1 > Sol 2
- Facilidad de instalación  
Sol 3 > Sol 4 > Sol 1 > Sol 2

De igual forma se procede de la misma manera que en el módulo 1, 3 y 4 es decir para obtener la solución que más ajuste a los requerimientos se realiza la evaluación de criterios. Para el módulo 5 se detallará desde la tabla 27 hasta la tabla 32 la ponderación de cada criterio, así como su respectiva evaluación de cada una de las alternativas planteadas para posteriormente seleccionar la mejor solución.

**Tabla 27.**  
**Ponderación de criterios de evaluación para módulo 5.**

	CONTROL	COSTO	CONSUMO DE ENERGÍA	FACILIDAD DE INSTALACION	$\Sigma+1$	PONDERACION
CONTROL	---	0	0,5	0,5	2	0,20
COSTO	1	---	1	1	4	0,40

Continua 

CONSUMO DE ENERGÍA	0,5	0	---	0,5	2	0,20
FACILIDAD DE INSTALACION	0,5	0	0,5	---	2	0,20
					Total	10
						1

**Tabla 28.**  
**Ponderación de control para soluciones del módulo 5.**

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	SOLUCION 4	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION 1	---	0	1	1	3	0,30
SOLUCION 2	1	---	1	1	4	0,40
SOLUCION 3	0	0	---	0	1	0,10
SOLUCION 4	0	0	1	---	2	0,20
					Total	10
						1

**Tabla 29.**  
**Ponderación de costo para soluciones del módulo 5.**

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	SOLUCION 4	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION 1	---	1	0	0	2	0,20
SOLUCION 2	0	---	0	0	1	0,10
SOLUCION 3	1	1	---	0	3	0,30
SOLUCION 4	1	1	1	---	4	0,40
					Total	10
						1

**Tabla 30.**  
**Ponderación de consumo de energía para soluciones del módulo 5.**

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	SOLUCION 4	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION 1	---	1	0	0	2	0,20
SOLUCION 2	0	---	0	0	1	0,10
SOLUCION 3	1	1	---	1	4	0,40
SOLUCION 4	1	1	0	---	3	0,30
					Total	10
						1

**Tabla 31.**  
**Ponderación de facilidad de instalación para soluciones módulo 5.**

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	SOLUCION 4	$\Sigma+1$	PONDERACION
SOLUCION 1	---	1	0	0	2	0,20
SOLUCION 2	0	---	0	0	1	0,10
SOLUCION 3	1	1	---	0	3	0,30
SOLUCION 4	1	1	1	---	4	0,40
				Total	10	1

**Tabla 32.**  
**Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 5.**

	CONTROL	COSTO	CONSUMO DE ENERGÍA	FACILIDAD DE INSTALACIÓN	$\Sigma$	PONDERACION
CONCEPTO1	0,060	0,080	0,040	0,040	0,220	3
CONCEPTO2	0,080	0,040	0,020	0,020	0,160	4
CONCEPTO3	0,020	0,120	0,080	0,060	0,280	2
CONCEPTO4	0,040	0,160	0,060	0,080	0,340	1

De acuerdo al análisis anterior se determina que la solución 4 es la más adecuada para realizar, respecto a nuestros criterios predeterminados.

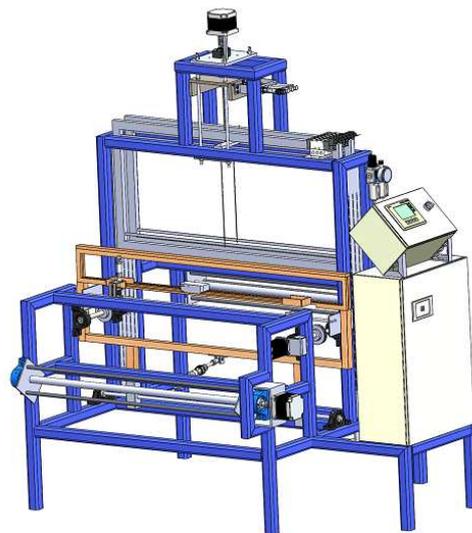
## CAPÍTULO 4

### DISEÑO

El capítulo detalla cómo se realiza el diseño y cálculos de las partes más importantes del prototipo, así como también la selección de los dispositivos de control y automatización para que el diseño cumpla con todos los requerimientos necesarios.

#### 4.1 Diseño mecánico.

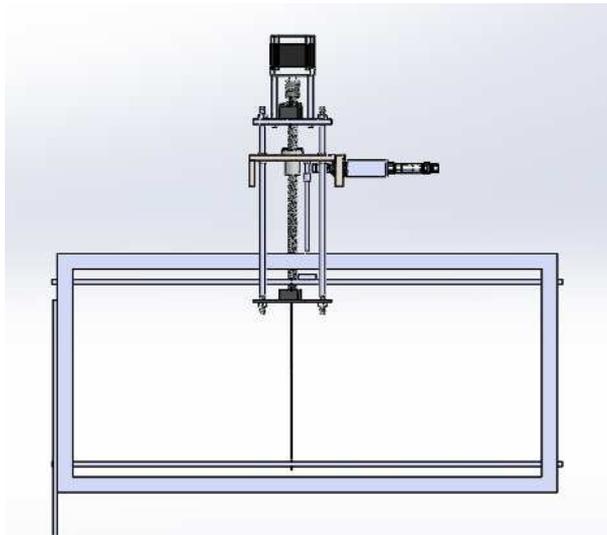
Teniendo la idea básica del prototipo se procede a realizar un diseño CAD, mostrando en detalle todos los sistemas que integrarán la máquina quedando así el modelo mostrado en la figura 74 para posteriormente proceder a su construcción.



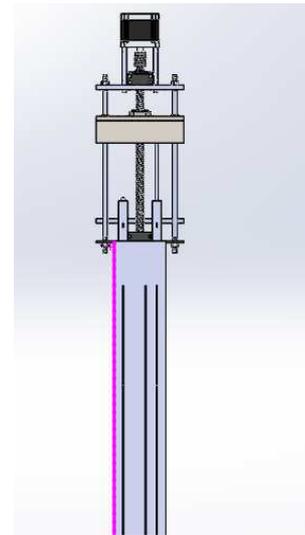
**Figura 73. Diseño CAD del prototipo de telar plano.**

##### 4.1.1 Diseño del sistema de levantamientos de marcos.

Como se muestra en las figura 75 y 76, el sistema cuenta de un motor a pasos y pretende utilizar un mecanismo de movimiento lineal de ball screw (Husillo de bolas) el cual ascenderá y descenderla una mesa vertical donde estarán alojados pistones neumáticos que empujaran pasadores y engancharan ejes. Los ejes estarán unidos a los marcos, halando de esta manera hasta la posición requerida.



**Figura 74. Sistema vista frontal.**



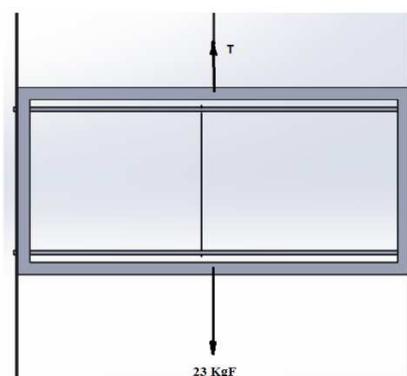
**Figura 75. Sistema vista lateral.**

Debido a que los marcos están suspendidos por ejes, la fuerza que deben levantar cada uno es la correspondiente al peso de los marcos.

En la mesa vertical se encuentra la carga de cuatro marcos, el peso propio del elemento y los cilindros neumáticos que se utilizan para el efecto de ascenso y descenso de los marcos del telar, por lo tanto se desglosará los pesos equivalentes de cada uno de los elementos que componen todo este sistema.

Cada marco con hilos es medido con un dinamómetro el cual indica un valor de 23kg.

Por lo tanto en la figura 77 se puede ver el diagrama de cuerpo libre del marco:



**Figura 76. Diagrama de cuerpo libre del marco.**

Entonces la fuerza necesaria para levantar un marco será igual a la tensión ejercida por el eje:

$$T_1 = 23 \text{ KgF}$$

$$\therefore T_1 = 225,4 \text{ N}$$

Sin embargo se debe tomar en cuenta que el sistema está compuesto de cuatro marcos cada uno levantado por un eje independiente por lo tanto el caso más crítico será cuando los 4 marcos se encuentren levantados es decir cuando la mesa vertical soporte una carga de 92 KgF.

Entonces la fuerza necesaria para levantar 4 marcos será:

$$T = 92 \text{ KgF}$$

$$\therefore T = 902,52 \text{ N}$$

El peso la mesa, cilindros neumáticos, bocines, y demás acoples es determinado mediante un software CAD el cual indica un valor de 8kgF.

$$W = 8 \text{ KgF}$$

$$\therefore W = 78,48 \text{ N}$$

Por lo tanto la carga total que soportara la mesa vertical será:

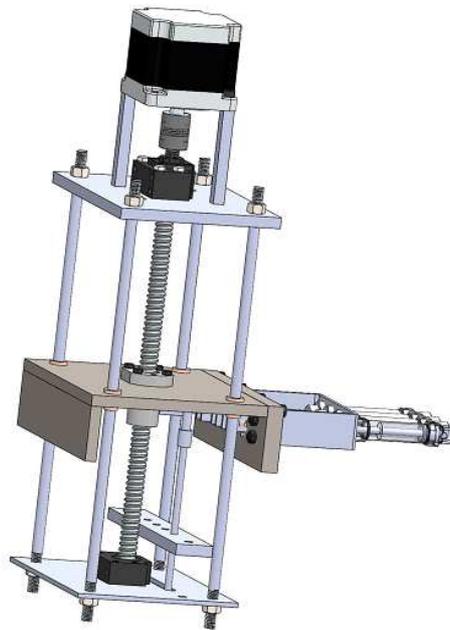
$$P = W + T$$

$$\therefore P = 901,6 + 78,4 = 981 \text{ N}$$

#### **4.1.1.1 Dimensionamiento del Ball Screw (Husillo de bolas).**

Como se determinó anteriormente la carga total que soporta la mesa y puesto que será el Husillo de Bolas el encargado de moverla, se procede a dimensionar un husillo adecuado.

Se deberá realizar cálculos previos, las fórmulas utilizadas en esta sección corresponden a las dadas el “Catálogo Husillos de bolas laminados de precisión SKF” (SKF, 2013). En la figura 78 se puede observar el mecanismo de Husillo de bolas para el sistema de levantamientos de marcos.



**Figura 77. Mecanismo de Husillo de bolas para levantamiento de marcos.**

Primero se realizara un análisis sobre el Husillo de Bolas PND 16X5 para saber si cumple con las especificaciones requeridas.

Se procede a calcular la vida útil del elemento mecánico escogido, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$L_{10} = \left( \frac{Ca}{F_m} \right)^3 \quad (4 - 1)$$

En donde:

$L_{10}$  = Vida util del husillo

$Ca$  = Capacidad de carga dinamica basica de husillo

$Ca$  = Carga cúbica media (peso que soportará el husillo)

$$L_{10} = \left( \frac{5500N}{981N} \right)^3$$

$L_{10} = 176,23$  Millones de revoluciones

El número de revoluciones de la tuerca está dada por la siguiente ecuación.

$$R_T = \frac{2 \times L}{P} \quad (4 - 2)$$

En donde:

L = Longitud del recorrido de la tuerca.

P = Paso de la tuerca preseleccionada

$$R_T = \frac{2 \times 300}{5}$$

$$R_T = 120 \text{ revoluciones}$$

Los ciclos completos de la tuerca en mención son.

$$N_c = \frac{L_{10} \times 10^6}{R_T} \quad (4 - 3)$$

$$N_c = \frac{176,23 \times 10^6}{120}$$

$$N_c = 1468587,41$$

La vida nominal del husillo es dada por la siguiente ecuación

$$V_n = \frac{N_c \times t}{8640000} \quad (4 - 4)$$

Siendo t un ciclo completo del husillo aproximadamente dura 6 segundos por lo tanto la vida nominal del husillo es:

$$V_n = 2 \text{ años al } 90 \% \text{ de confiabilidad}$$

$$n = \frac{V_l \times 60}{5} \quad (4 - 5)$$

En donde:

$V_l =$  Velocidad lineal requerida.

$$n = \frac{50 \frac{m}{s} \times 60}{5}$$

$$n = 600 \text{ rpm}$$

En el catálogo del husillo preseleccionado proporciona la longitud para realizar los cálculos necesarios del torque para la selección del motor.

$$l = 393mm$$

Se calcula primero la resistencia al pandeo del husillo y así comprobar si este es el adecuado para la aplicación.

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 f_3 d_2^4}{l^2} \quad (4 - 6)$$

En donde:

$F_c$  = resistencia al pandeo [N]

$d_2$  = diámetro de raíz [mm]

$l$  = longitud libre [mm]

$f_3$  = factor de corrección de montaje

0,25 fijo, libre

2 fijo, soporte radial

4 fijo, fijo

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 \times 2 \times 12,7mm^4}{393mm^2}$$

$$F_c = 11,453kN$$

Para obtener la eficiencia teórica y práctica del husillo se utilizan las siguientes fórmulas:

Eficiencia teórica:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\pi d_0}{P_h} \mu} \quad (4 - 7)$$

En donde:

$\mu$  = 0,006 para husillo PND

$d_0$  = Diametro nominal de husillo[mm]

$P_h$  = Paso del husillo[mm]

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{3,14 \times 12,7mm}{5mm} * 0,006}$$

$$\eta = 0,943$$

Eficiencia práctica:

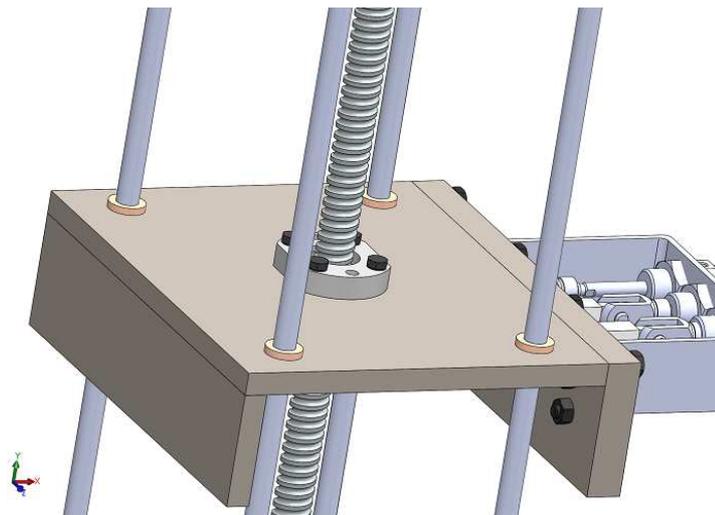
$$\eta_p = 0,9\eta$$

$$\eta_p = 0,848$$

Por lo tanto el husillo de bolas tipo PND 16 X 5 cumple con las condiciones planteadas para los esfuerzos que producen todas las piezas que constituyen este sistema.

#### 4.1.1.2 Diseño de los bocines para la mesa vertical.

Puesto que la mesa vertical se moverá de forma vertical en ejes guías tal como muestra la figura 79 es necesario acoplar bocines a la placa para minimizar el desgaste de los ejes.



**Figura 78. Disposición de bocines en la mesa vertical.**

Para calcular el bocín primero se procede a seleccionar el material del cual será fabricado para esto se ha seleccionado un material de bronce fosfórico SAE 40 con:

$$S_y = 1,4715 \times 10^8 \frac{N}{m^2}$$

El diseño de un bocín consiste en calcular el espesor mínimo para la aplicación requerida, las formulas corresponden a las dadas en el libro “Machinery’s Handbook” (Erik Oberg, 2008).

$$D_e = \left( \frac{4w}{\rho\pi K_g} + D_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4 - 8)$$

En donde:

$D_e$  = diametro exterior

$w$  = carga aplicada

$kg$  = constante igual a 0,8

$\rho$  = carga unitaria

$D_i$  = diametro interior

Entonces se necesita calcular primero la carga unitaria para lo cual se tiene:

$$\rho = \frac{w}{Kld} \quad (4 - 8)$$

En donde:

$\rho$  = carga unitaria

$w$  = carga aplicada

$k = 1$

$l$  = longitud del bocin

$d$  = diametro interno del bocin

En donde  $w=225,63$ ,  $l=18\text{mm}$  y  $d=10\text{mm}$ :

$$\rho = \frac{225,63}{1(0,01)(0,018)}$$

$$\therefore \rho = 1253500 \text{ Pa}$$

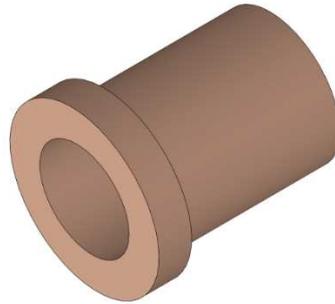
Con esto se procede a calcular el diámetro exterior mínimo que tendrá el bocín:

$$D_e = \left( \frac{4(225,63)}{(1253500)\pi(0,8)} + (0,01)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_e = 0,016 \text{ mm}$$

$$\therefore D_e = 16 \text{ mm}$$

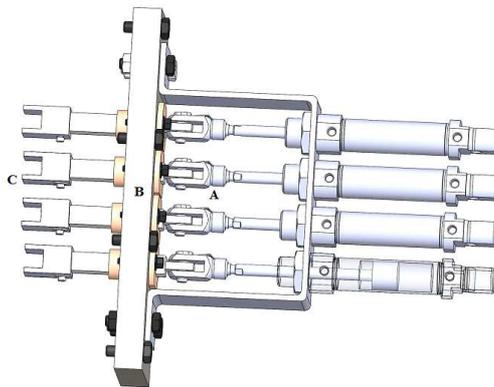
Por lo tanto el espesor del bocín será de 3mm puesto que el diámetro interior es para un eje de diámetro 10mm, quedando así el bocín mostrado en la figura 80.



**Figura 79. Bocín para la mesa vertical.**

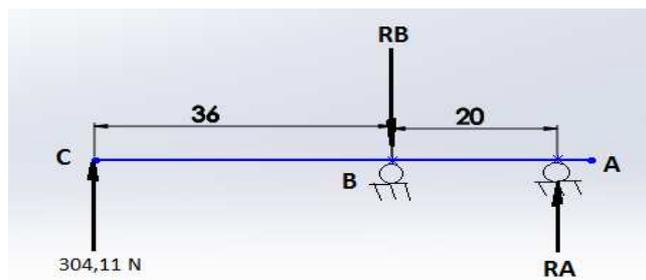
#### 4.1.1.3 Diseño del pasador sujeta marcos.

Los pasadores AC soportan el peso de los marcos y están apoyados como se observa en la figura 81, por lo tanto los pasadores no deben sufrir ninguna deformación para lo cual se procede a realizar un análisis de fuerzas que actúan sobre estos elementos. Las fórmulas utilizadas en el diseño corresponden a las dadas en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley” (Budnays & Keit, 2012).



**Figura 80. Disposición de los pasadores AC.**

Puesto que la carga a soportar del pasador viene siendo el peso del marco es decir las tensiones de los ejes calculadas previamente, se tiene el diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 82:



**Figura 81. Diagrama de cuerpo libre pasador AC.**

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow RB * 200 - 304,11 * 560 = 0 \Rightarrow RB = 851,5 \text{ N} \quad (4 - 9)$$

$$\sum Y = 0 \Rightarrow 304,11 - RB + RA = 0 \Rightarrow RA = 851,5 - 304,11 \quad (4 - 10)$$

$$\therefore RA = 547,34 \text{ N}$$

Para realizar los diagramas de fuerza cortante V y momento flector M se procede a calcular las respectivas fuerzas y momentos teniendo así:

Para el tramo  $0 < x < 36 \text{ mm}$ :

$$\sum Y = 0 \Rightarrow 304,11 = VC$$

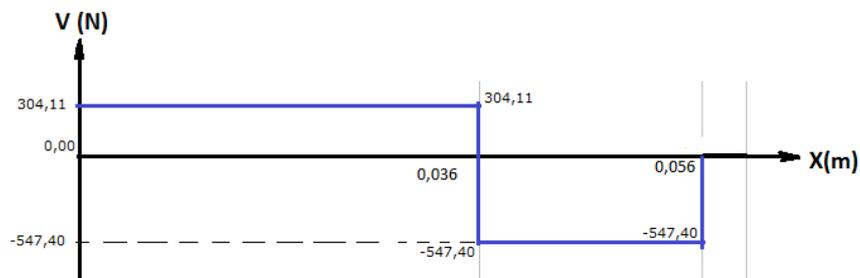
$$\sum M_{VC} = 0 \Rightarrow MC = 304,11 * (36) \Rightarrow MA = 10,94 \text{ N}$$

Para el tramo  $36 < x < 56 \text{ mm}$ :

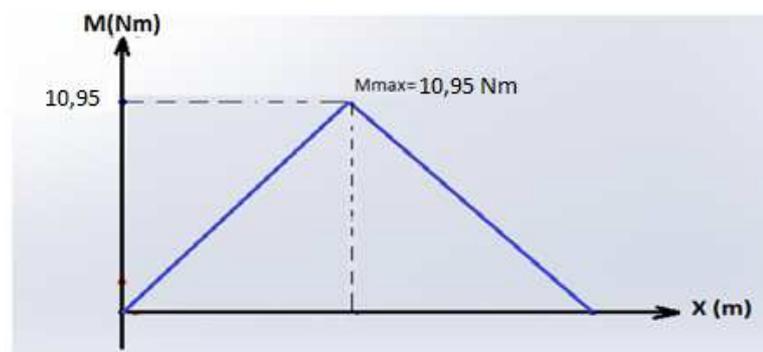
$$\sum Y = 0 \Rightarrow 304,11 - RB = VB \Rightarrow \therefore VB = -547,34 \text{ N}$$

$$\sum M_{VB} = 0 \Rightarrow MB = 304,11 * (56) - RB * (20) \Rightarrow MB = 0 \text{ N}$$

Obteniendo finalmente:



**Figura 82. Diagrama de fuerza cortante V.**



**Figura 83. Diagrama de momento flector M.**

Se calcula la inercia de la sección transversal del eje para ello se asume un diámetro para el eje de 10mm:

$$I_Y = \frac{\pi r^4}{4} \Rightarrow I_Y = \frac{\pi(0,005)^4}{4} \quad (4 - 11)$$

$$\therefore I_Y = 4,9 * 10^{-10} m^4$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \Rightarrow \sigma_{max} = \frac{10,94 \times 0,005}{4,9 \times 10^{-10}} \quad (4 - 12)$$

$$\therefore \sigma_{max} = 111,43 MPa$$

Por último se calcula el factor de seguridad para el pasador AC, para lo cual se tomará como material un Acero AISI 1020 con  $S_y=370$  MPa:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (4 - 13)$$

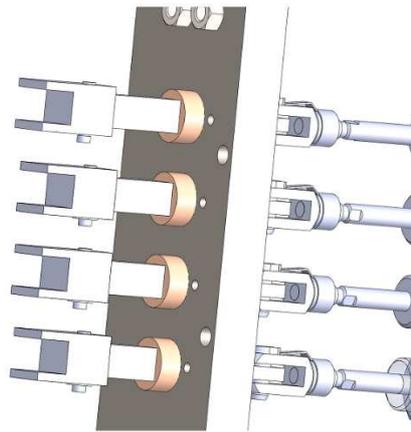
$$n = \frac{370 MPa}{111,43 MPa}$$

$$\therefore n = 3,32$$

Con lo cual se observa que el factor de seguridad es aceptable y cumple con los requerimientos para el diseño quedando así un diámetro del pasador de 10mm.

#### 4.1.1.4 Diseño de los bocines para los pasadores

Como se observó en la figura 81 los pasadores AC serán empujados por cilindros neumáticos y engancharan los marcos para subir en conjunto con la mesa, por lo tanto es necesario acoplar bocines para que los pasadores sufran el mínimo desgaste. La figura 85 muestra la disposición de los bocines para los pasadores AC.



**Figura 84. Disposición de bocines para los pasadores AC.**

Para calcular este bocín se procede de la misma manera que para el bocín de la mesa vertical es decir se procede a seleccionar el material del cual será fabricado para esto se ha seleccionado el material bronce fosfórico SAE 40 con:

$$S_y = 1,4715 \times 10^8 \frac{N}{m^2}$$

Entonces se calcula primero la carga unitaria, las formulas corresponden a las dadas en el libro “Machinery’s Handbook” (Erik Oberg, 2008), para lo cual se tiene:

$$\rho = \frac{w}{Kld}$$

En donde:

$\rho$  = carga unitaria

w = carga aplicada

k = 1

l = longitud del bocin

d = diametro interno del bocin

En donde w=225,63, l=25mm y d=10mm:

$$\rho = \frac{225,63}{1(0,01)(0,025)}$$

$$\therefore \rho = 1253500 \text{ Pa}$$

El diseño de un bocín consiste en calcular el espesor mínimo para la aplicación requerida para esto se utilizará la fórmula siguiente:

$$D_e = \left( \frac{4w}{\rho\pi K_g} + D_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

$D_e$  = diametro exterior

$w$  = carga aplicada

$K_g$  = constante igual a 0,8

$\rho$  = carga unitaria

$D_i$  = diametro interior

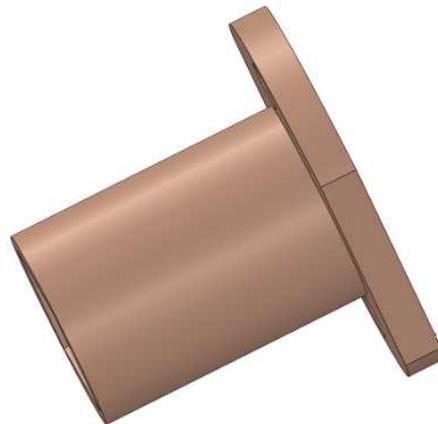
Con esto se procede a calcular el diámetro exterior mínimo que tendrá el bocín:

$$D_e = \left( \frac{4(225,63)}{(1253500)\pi(0,8)} + (0,025)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_e = 0,018 \text{ mm}$$

$$\therefore D_e = 18 \text{ mm}$$

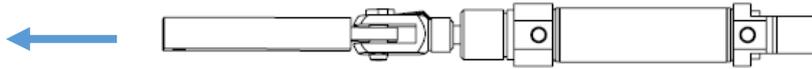
Por lo tanto el espesor del bocín será de 4mm puesto que el pasador AC diámetro 10mm, quedando así el bocín mostrado en a figura 86.



**Figura 85. Bocín para pasador AC.**

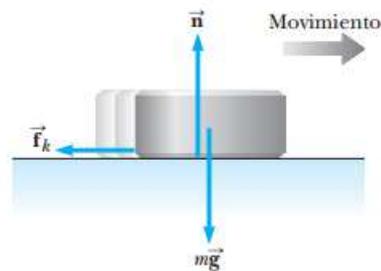
#### **4.1.1.5 Selección de cilindros neumáticos para el sistema de levantamientos de marcos.**

Como se muestra en la figura 87, se requiere de actuadores neumáticos para la selección de mallas según el tejido que se desee realizar, por lo tanto para escoger el cilindro neumático adecuado se debe realizar el siguiente procedimiento.



**Figura 86. Cilindro neumático para sistema de levantamiento de marcos.**

Cada cilindro de este sistema debe vencer el rozamiento del pasador AC con respecto al bocín, por consiguiente se debe calcular las fuerzas de rozamiento de los elementos que se van a deslizar.



**Figura 87. Fuerzas que actúan sobre el bocín del pasador AC.**

Para este análisis se debe realizar ecuaciones físicas de cinemática.

$$\sum F_x = -f_x = ma_x$$

$$\sum F_y = N - mg = 0$$

Donde:

$f_x$  = fuerza de rozamiento

$m$  = masa del pasador cuadrado [g]

$N$  = normal de la masa [g]

$g$  = gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Se despeja las ecuaciones y da como resultado,

$$a_x = \mu k \times g$$

Luego para encontrar el coeficiente de rozamiento se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$V_{xf}^2 = V_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i) \quad (4 - 14)$$

Donde:

$V_{xf}$  = Velocidad final del pasador cuadrado  $\left[\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right]$

$V_{xi}$  = Velocidad inicial del pasador cuadrado  $\left[\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right]$

$x_f$  = posición final del pasador cuadrado [mm]

$x_i$  = posición inicial del pasador cuadrado [mm]

Despejando se consigue la siguiente ecuación.

$$\mu k = \frac{V_{xi}^2}{2gx_f}$$

Dentro de las condiciones de funcionamiento se plantea.

$$V_{xi} = 50 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$x_f = 25\text{mm}$$

Con los datos adquiridos, se obtiene el coeficiente de rozamiento.

$$\mu k = \frac{\left(0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,025\text{m}}$$

$$\mu k = 0,102$$

Por lo tanto la fuerza que se requiere para desplazar el pasador AC se la calcula de la siguiente manera:

$$F_r = \mu k \times N \quad (4 - 15)$$

Donde:

$\mu k$  = Coeficiente de Rozamiento

$N$  = normal de la masa [g]

$F_r$  = Fuerza requerida para el desplazamiento [kg]

$$F_r = 0,5\text{kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,102 = 0,051\text{kg}$$

Por consiguiente la fuerza mínima requerida para el desplazamiento del cilindro es 0.5N,

Una vez hallada la fuerza de empuje requerida para el movimiento lineal del pasador AC, se calcula el diámetro necesario para el actuador teniendo en cuenta que este deberá recorrer una distancia de 25 mm, además se debe considerar también la presión P que será obtenida del compresor, con un valor de 3 bares.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times F_r}{\pi \times P}} \quad (4 - 16)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,5 N}{\pi \times 3 \text{ bar}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{2 N}{\pi \times \left(0,3 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)}}$$

$$D = 1,46 \text{ mm}$$

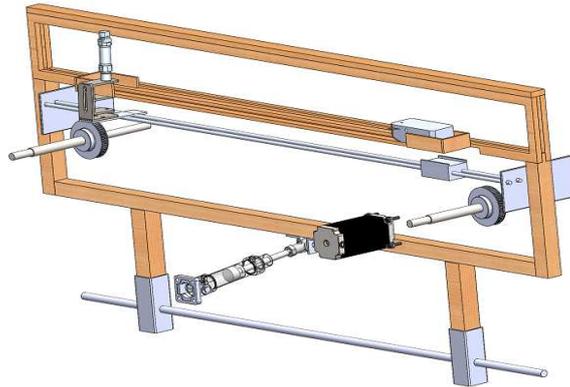
Se puede notar que el cálculo dio como resultado un diámetro de vástago muy pequeño, por cuestiones de diseño se elige uno comercial de menor diámetro existente con la carrera necesaria para la aplicación dada. La tabla 33 muestra las principales características del cilindro neumático escogido el cual es un cilindro marca AIRTAC Serie MI 16x25.

**Tabla 33.**  
**Características del cilindro neumático para el sistema de levantamiento de marcos.**

Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro del vástago (mm)	Fuerza de extensión (N)	Fuerza de retracción (N)	Presión de operación	Carrera del vástago (mm)
16	6	40	35	19,6 MPa	25

#### 4.1.2 Diseño del sistema de inserción de trama.

Este sistema tiene la función de llevar el hilo de trama y entrelazarlo con el hilo de urdimbre. Para ello cuenta con un motor que llevará la lanzadera por medio de magnetismo de imanes de neodimio de un lado a otro del prototipo depositando así el hilo de trama, además de apretarlo con ayuda de un peine ubicado en el batán que será accionado por un cilindro neumático para la correcta formación del tejido. La figura 89 muestra el sistema de inserción de trama.

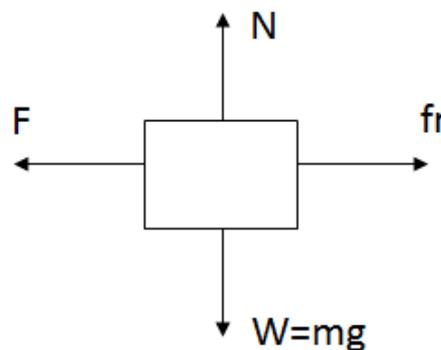


**Figura 88. Sistema de inserción de trama.**

#### 4.1.2.1 Diseño del eje de soporte de inserción de trama.

Por cuestiones de diseño se toma una longitud preestablecida y así también se impuso el largo de los apoyos donde se alojará el eje, teniendo en consideración que allí se apoyará una polea, la cual producirá esfuerzos al eje. Las fórmulas utilizadas en el diseño corresponden a las dadas en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley” (Budnays & Keit, 2012).

Primero se calcula la carga que va a soportar la polea sabiendo que la masa que va a transportar es equivalente a 1kg se obtiene sumando la fuerza del soporte del imán de neodimio inferior y la lanzadera. Por lo tanto se tiene el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 90:



**Figura 89. Fuerzas que actúan sobre el bocín del pasador AC.**  
Para este análisis se debe realizar ecuaciones físicas de cinemática.

$$\sum F_x = -F + fr = 0$$

$$\sum F_y = N - mg = 0$$

Donde:

$f_r$  = fuerza de rozamiento [N]

$m$  = masa del pasador cuadrado [g]

$N$  = normal de la masa [g]

$g$  = gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

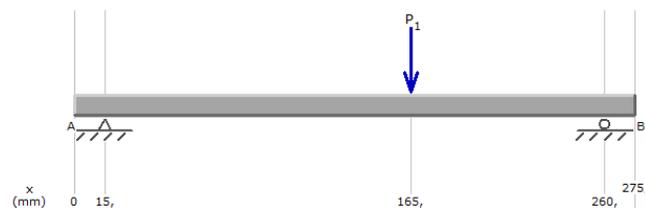
$F$  = fuerza de desplazamiento [N]

Se despeja las ecuaciones y me da como resultado,

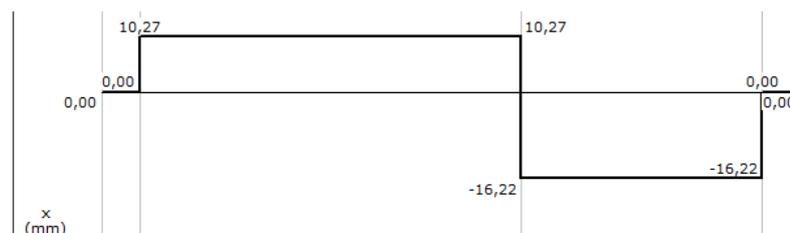
$$-F + \mu \times mg = 0$$

$$F = 0,9 \times 3kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 26,487 N$$

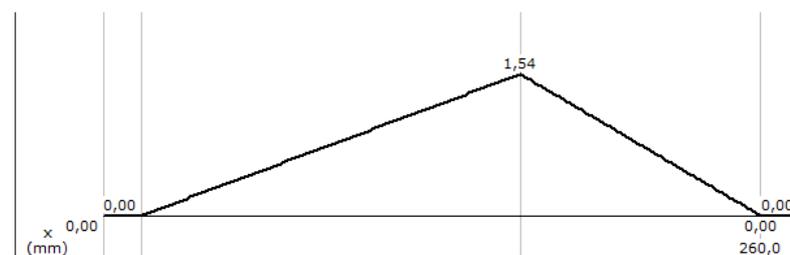
Para el análisis de eje se procederá a realizar un análisis de cuerpo libre para tener fuerzas de reacción en las chumaceras, tal como muestra la figura 91.



**Figura 90. Diagrama de cuerpo libre.**



**Figura 91. Diagrama de fuerza cortante V.**



**Figura 92. Diagrama de momento flector M.**

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - P_1 = 0$$

$$R_A + R_B = 8,82 \text{ N}$$

$$\sum M_{R_A} = 0$$

$$R_B \times 0,260 \text{ m} - P_1 \times 0,165 \text{ m} = 0$$

$$R_B = \frac{26,487 \text{ N} \times 0,165 \text{ m}}{0,260 \text{ m}}$$

$$R_B = 16,8 \text{ N} = R_A$$

Realizando los diagramas de fuerza cortante y momento flector se puede observar que hay un momento crítico de 1,54 Nm.

El material que se seleccionará para el eje es AISI 1018, un acero dúctil muy usado en aplicaciones similares a la que se le someterá al elemento, Para el cálculo partiremos de la teoría de esfuerzo cortante máximo aplicando la siguiente fórmula:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n} \quad (4 - 17)$$

Donde:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo cortante Máximo

$S_y$  = Límite de Fluencia del material

$n$  = Factor de seguridad

El límite de fluencia para el acero AISI 1018 es de 220 MPa, el factor de seguridad recomendable para un diseño es de 3, con lo que se tiene:

$$\tau_{max} = \frac{220 \text{ MPa}}{2(3)}$$

$$\tau_{max} = 36.67 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante máximo se lo calcula de la siguiente manera.

$$\tau_{max} = \left[ \left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4 - 18)$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal

$\tau_{xy}$  = Esfuerzo cortante

El esfuerzo normal sometido del eje es aproximado a cero debido a que el peso de la polea no es considerable por lo tanto se calculará el esfuerzo cortante de la siguiente manera.

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi D^3} \quad (4 - 19)$$

Donde:

T = Torque ejercido por el motor

D = Diámetro de apoyo

El torque ejercido del motor se ve relacionado con el momento crítico encontrado en el análisis de cuerpo libre.

Por lo que se obtiene:

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times 3Nm}{\pi D^3}$$

Luego se reemplaza el esfuerzo cortante en la fórmula del esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{max} = \left[ \left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4 - 20)$$

$$\tau_{max} = \frac{16 \times 3Nm}{\pi D^3} \quad (4 - 21)$$

$$55MPa = \frac{16 \times 3Nm}{\pi D^3}$$

$$D = \left( \frac{48000Nm}{\pi \times \left( 36.67 \frac{N}{mm^2} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

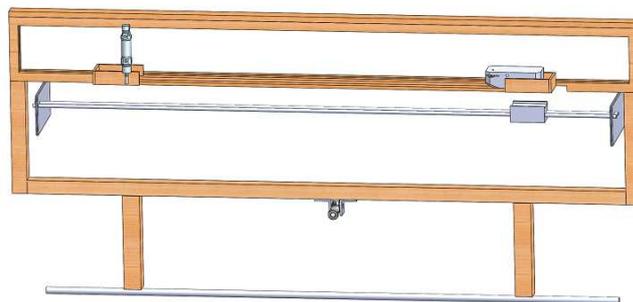
$$D = 5,97 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo para los apoyos de los rodillos son de 5,97 pero la chumacera mínima comercial es de ½ pulgada (12.7 mm) por lo tanto se usara este valor como diámetro para los apoyos.

#### 4.1.2.2 Diseño del eje de soporte del batán.

Para realizar el diseño de este eje se pesó el batán y este dio una medida de 3,21kg, además se debe considerar la tensión de los hilos que mediante un dinamómetro se pudo obtener un valor de 23kg y todo esto depende de cuantos hilos estén colocados en el telar, sumados los valores se procederá a dividirlos en dos y se tomará en cuenta para el cálculo del eje.

Por lo tanto se procede a realizar un análisis de carga con las fuerzas que actúan sobre el eje que en este caso son los soportes del batán tal como muestra la figura 94. Las fórmulas utilizadas en el diseño corresponden a las dadas en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley” (Budnays & Keit, 2012).



**Figura 93. Batán y eje de soporte.**

Se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre y a calcular las respectivas reacciones en los apoyos.



**Figura 94. Diagrama de cuerpo libre del eje de soporte del batán.**

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - P_1 - P_2 = 0$$

$$R_A + R_B = 128,56 \text{ N} + 128,56 \text{ N}$$

$$R_A + R_B = 257,12 \text{ N}$$

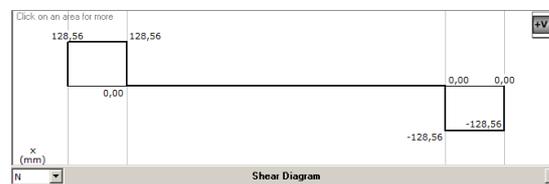
$$\sum M_{R_A} = 0$$

$$R_B \times 1,040 \text{ m} - P_1 \times 0,140 \text{ m} - P_2 \times 0,9 \text{ m} = 0$$

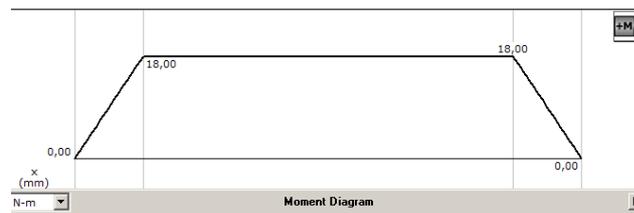
$$R_B = \frac{128,56 \text{ N} \times 0,140 \text{ m} + 128,56 \text{ N} \times 0,9 \text{ m}}{1040 \text{ m}}$$

$$R_B = 128,56 \text{ N} = R_A$$

Realizando los diagramas de fuerza cortante y momento flector se puede observar que hay un momento crítico de 18 Nm.



**Figura 95. Diagrama de fuerza cortante V.**



**Figura 96. Diagrama de momento flector M.**

Con el momento flector máximo se calcula el esfuerzo que tendrá un eje asumiendo un acero AISI 1020 y de diámetro 12,7mm.

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (4 - 22)$$

Donde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo maximo del eje [MPa]

M = Momento flector máximo [g]

c = Distancia del centro al punto mas alejado del eje [m]

I = Inercia del eje [m<sup>4</sup>]

$$\sigma_{max} = \frac{0,00635 \times 18 \text{ Nm}}{\frac{3,1416 \times 0,0127^4}{4}} = 89,508 \text{ MPa}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (4 - 23)$$

Donde:

$n_y$  = Factor de seguridad

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia del material [g]

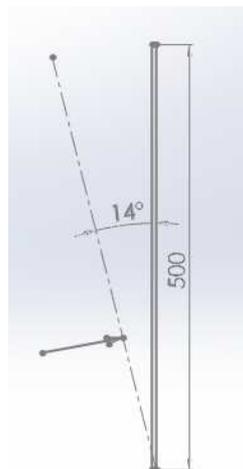
$$n_y = \frac{370MPa}{89,508MPa}$$

$$n_y = 4,134$$

Con lo cual se observa que el factor de seguridad es aceptable y cumple con los requerimientos para el diseño obteniendo así un diámetro del eje de 12,7mm.

#### 4.1.2.3 Selección del cilindro neumático para el batán.

Como se muestra en la figura 98, el cilindro deberá empujar el batán y volver a su estado inicial de la siguiente forma.



**Figura 97. Movimiento a realizar el batán.**

Para realizar el cálculo de cilindro neumático se debe conocer la carga que va a empujar y retraer por lo tanto se calculará un peso total de carga:

$$P_{Total} = P_{cilindro} + P_{soporte} + P_{batan} + P_{lanzadera} \quad (4 - 24)$$

$$P_{Total} = 1,5kg + 0,27kg + 3,21kg + 0,43kg$$

$$P_{Total} = 5,41kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 53,07 N$$

Al vector P se lo descompone en  $P_x$  para encontrar el valor de fuerza que tiene que desplazar el cilindro para el movimiento deseado del batan

$$\text{sen}(\beta) = \frac{P_x}{P} \quad (4 - 25)$$

Despejando la ecuación se obtiene.

$$P_x = 53,07 \text{ N} \times \text{sen}(14)$$

$$P_x = 12,84 \text{ N}$$

Una vez hallada la fuerza de empuje requerida para el movimiento del cilindro, se calcula el diámetro necesario para el actuador teniendo en cuenta que este deberá tener una carrera de 50 mm, se debe considerar también la presión P que será obtenido del compresor, con un valor de 3 bares.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times F_r}{\pi \times P}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 12,84 \text{ N}}{\pi \times 3 \text{ bar}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{51,36 \text{ N}}{\pi \times \left(0,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}}$$

$$D = 7,38 \text{ mm}$$

Por cuestiones de diseño se elige un cilindro comercial de mayor diámetro existente con la carrera necesaria para la aplicación dada.

La tabla 34 muestra las características del cilindro neumático, el cual es un cilindro marca AIRTAC Serie MI 25x50.

**Tabla 34.**

**Características del cilindro neumático para el sistema de inserción de trama.**

Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro del vástago (mm)	Fuerza de extensión (N)	Fuerza de retracción (N)	Presión de operación MPa	Carrera del vástago (mm)
25	10	98	83	19,6	50

#### 4.1.2.4 Dimensionamiento del imán para la lanzadera.

Los imanes de neodimio son una aleación de 3 elementos de NdFeB (neodimio, hierro y boro), que se unen para formar fuertes imanes.

En el mercado nacional se tiene con un grado de N32 hasta N52 que viene siendo la fuerza de atracción que el imán posee siendo las más fuerte N52.

Para la aplicación requerida se escoge un bloque magnético con grado N35 de dimensiones 60 x 20 x 4mm con una fuerza de atracción aproximada de 6Kg como muestra la tabla 35.

**Tabla 35.**  
**Características del bloque magnético de neodimio.**

	<b>CS-Q-60-20-04-N</b>	Precio en EUR	Longitud del lado S1: 60 mm
	Bloque magnético 60 x 20 x 4 mm	1 ud. 5,18/ud.	Longitud del lado S2: 20 mm
	con taladro avellanado N35, niquelado	desde 3 uds. 4,49/ud.	Alto H: 4 mm
	Peso: 34 g	desde 10 uds. 3,88/ud.	Taladro d1: 4,5 mm
	fza. sujec.: aprox. 6 kg	desde 20 uds. 3,59/ud.	Avellanado d2: 9,46 mm
	desde 40 uds. 3,32/ud.	Avellanado t: 2,48 mm	

#### 4.1.3 Diseño del sistema de arrastre.

El sistema de arrastre es el encargado de soltar el hilo de urdimbre y recoger el tejido en los respectivos enjulos, además de ir a una velocidad adecuada para lo cual cuenta de un motor a pasos para cada enjulo los cuales irán sincronizados para la correcta formación del tejido. Puesto que los dos enjulos tendrán la misma forma se analizará las partes principales del sistema. La figura 99 muestra los enjulos para el sistema de arrastre del prototipo.



**Figura 98. Enjulos para sistema de arrastre.**

##### 4.1.3.1 Diseño del enjulo.

El enjulo es el mecanismo donde se enrollan los hilos que intervienen en el proceso de tejido, como se ha mencionado anteriormente los enjulos deben ir

sincronizados al avance del tejido. Las fórmulas utilizadas en el diseño corresponden a las dadas en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley” (Budnays & Keit, 2012).

La carga máxima a la que estará sometido el enjullo será la masa de fibra hilo que se usará en el proceso textil la cual de 60 Kg. En base a esto se obtiene la carga total sobre el enjullo.

$$\text{Carga total en el enjullo} = 60 \text{ Kg}$$

$$\therefore \text{Carga total en el enjullo} = 588 \text{ N}$$

Se estima que el caso crítico será cuando la carga total se encuentre ubicada en la mitad de las divisiones del enjullo por lo tanto el travesaño se analiza en dos tramos iguales, entonces la carga en cada de los travesaños del enjullo será la división de la carga total en el enjullo entre los elementos que están actuando, teniendo así:

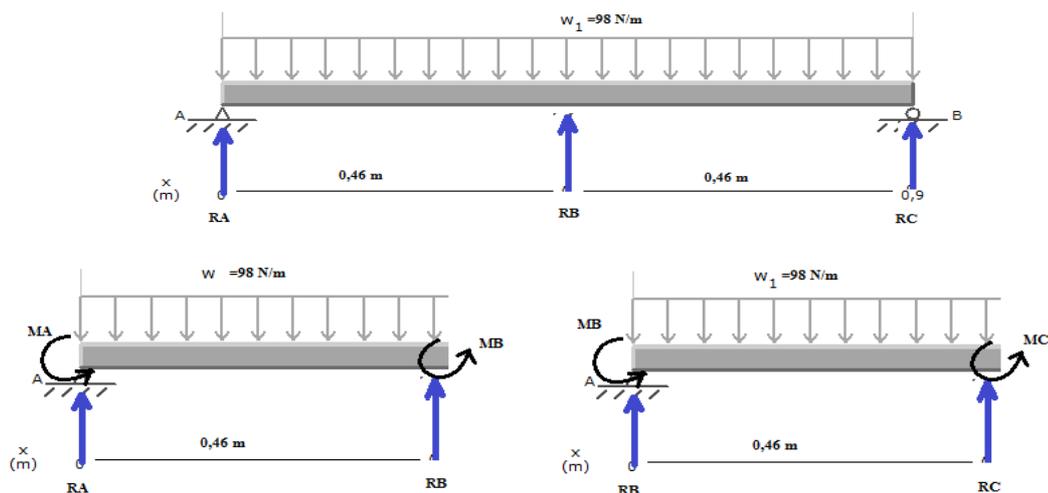
$$F = \frac{588}{3} \text{ N}$$

$$\therefore F = 196 \text{ N}$$

Entonces la fuerza que actuará en cada travesaño será:

$$\therefore F = 98 \text{ N/m}$$

La figura 100 muestra el diagrama de cuerpo libre del travesaño.



**Figura 99. DCL del travesaño.**

Puesto que se trata de un sistema hiperestático se aplica el método de las ecuaciones universales para obtener las reacciones para lo cual se tiene:

$$\text{Reacciones: } R_A = R_B = \frac{q L}{2} \quad (4 - 26)$$

$$\text{Cortante: } V_{AB} = q \left( \frac{L}{2} - x \right) ; V_A = -V_B = q \left( \frac{L}{2} \right) \quad (4 - 27)$$

$$\text{Flectores: } M_{AB} = \frac{q x}{2} (L - x) \quad (4 - 28)$$

$$M_{max} = \frac{q L^2}{8} \text{ para } x = \frac{L}{2} \quad (4 - 29)$$

Donde:

q = carga distribuida

L = longitud

Para x=0,46 se tiene:

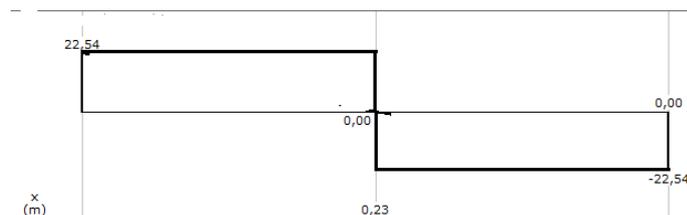
$$R_A = R_B = \frac{q L}{2}$$

$$R_A = R_B = \frac{98 * 0,46}{2}$$

$$R_A = R_B = 22,54 \text{ N}$$

$$V_{AB} = 98 \left( \frac{0,46}{2} - 0,46 \right)$$

$$V_A = -V_B = 25,54 \text{ N}$$



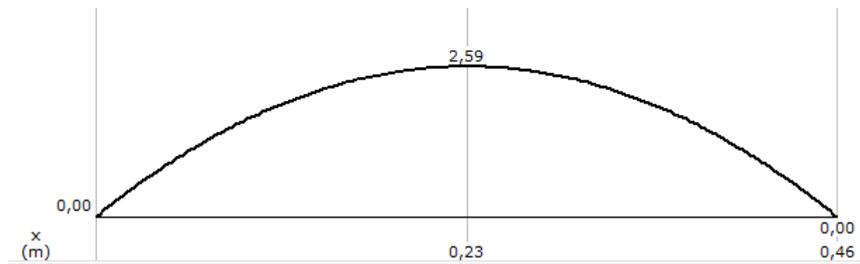
**Figura 100. Diagrama de fuerza cortante.**

$$M_{AB} = \frac{98 \times 0,46}{2} (0,46 - 0,46)$$

$$M_{AB} = 0$$

$$M_{max} = \frac{98 (0,46)^2}{8}$$

$$M_{max} = 2,59 \text{ N/m}$$



**Figura 101. Diagrama de momento flector.**

Para que el travesaño no sufra deformaciones se usa la teoría de energía de distorsión:

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma x^2 + 3\tau y^2} \quad (4 - 30)$$

Al no existir momento torsor la ecuación queda:

$$\frac{S_y}{n} = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (4 - 31)$$

Donde:

$S_y$  = límite de fluencia (Pa)

$M$  = Momento máximo (Nm)

$d$  = diámetro del travesaño (m)

Por último se calcula el factor de seguridad para el travesaño, para lo cual se tomará como material un Acero ASTM 36 con  $S_y=248,8$  MPa con un diámetro de 12,7mm:

$$\frac{248,8 \times 10^6}{n} = \frac{32 \times 2,59}{\pi (0,0127)^3}$$

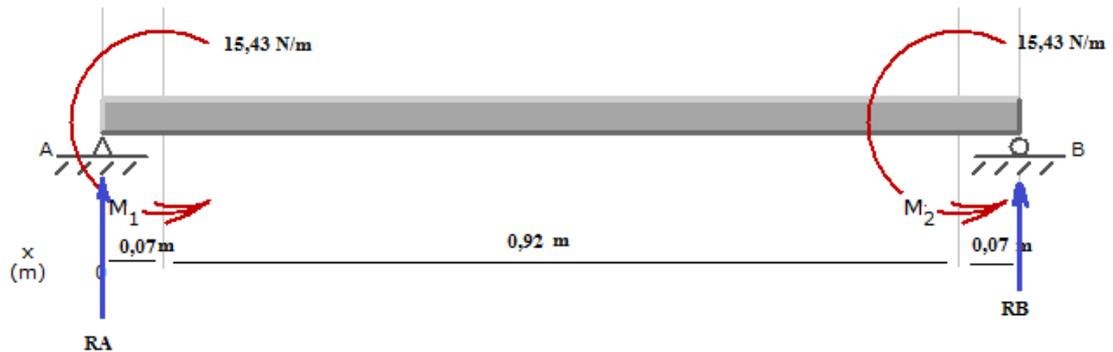
$$n = 19$$

Con lo cual se observa que el factor de seguridad cumple con los requerimientos para el diseño quedando así un diámetro del travesaño de 12,7 mm.

#### 4.1.3.2 Diseño del eje del enjulo.

Se procede al diseño del eje del enjulo tomando en cuenta las fuerzas ejercidas anteriormente. Las fórmulas utilizadas en el diseño corresponden a las dadas en el libro

“Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley” (Budnays & Keit, 2012). Por lo tanto se tendrá el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 103:



**Figura 102. DCL del eje del engranaje.**

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow RB * 1,060 - 2 * 15,43 = 0 \Rightarrow RB = 29,11 \text{ N}$$

$$\sum Y = 0 \Rightarrow RB + RA = 0 \Rightarrow RA = -29,11 \text{ N}$$

Para realizar los diagramas de fuerza cortante V y momento flector M se procede a calcular las respectivas fuerzas y momentos teniendo así:

Para el tramo  $0 < x < 0,07 \text{ m}$ :

$$\sum Y = 0 \Rightarrow RA = VD \Rightarrow VD = 29,11 \text{ N}$$

$$\sum M_{VD} = 0 \Rightarrow MA = RA * (0,07) \Rightarrow MA = 2,039 \text{ N}$$

Para el tramo  $0,07 < x < 0,99 \text{ m}$ :

$$\sum Y = 0 \Rightarrow RA + VE = 0 \Rightarrow \therefore VE = 29,11 \text{ N}$$

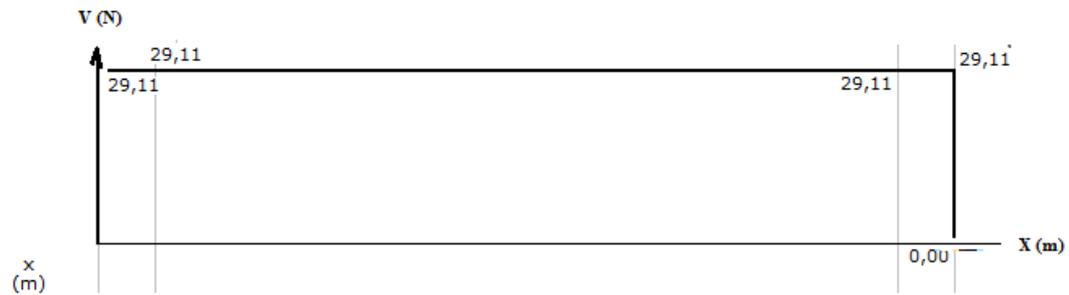
$$\sum M_{VE} = 0 \Rightarrow ME = -RA(0,99) + 15,43 \Rightarrow ME = -13,39 \text{ N}$$

Para el tramo  $0,99 < x < 1,060 \text{ m}$ :

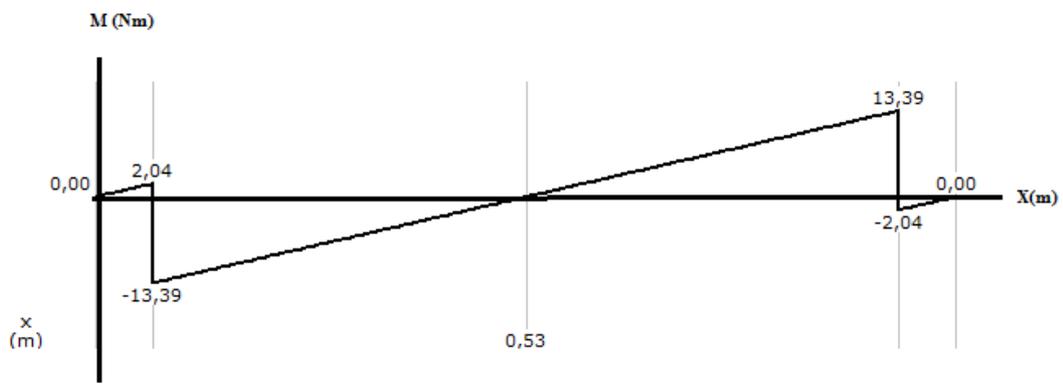
$$\sum Y = 0 \Rightarrow RA + VF = 0 \Rightarrow \therefore VF = 29,11 \text{ N}$$

$$\sum M_{VF} = 0 \Rightarrow ME = RA(0,99) - 15,43 \Rightarrow ME = 13,39 \text{ N}$$

Obteniendo finalmente:



**Figura 103. Diagrama de fuerza cortante V.**



**Figura 104. Diagrama de momento flector M.**

Se calcula la inercia de la sección transversal del eje para ello se asume un diámetro para el eje de 1 plg es decir 25,4 mm:

$$I_Y = \frac{\pi r^4}{4} \Rightarrow I_Y = \frac{\pi(0,0127)^4}{4} \Rightarrow I_Y = 0,2 * 10^{-7} m^4$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \Rightarrow \sigma_{max} = \frac{13,39 * 0,0127}{0,2 * 10^{-7}} \Rightarrow \sigma_{max} = 8,5 MPa$$

Por último se calcula el factor de seguridad para el eje, para lo cual se tomará como material un Acero AISI 1020 con  $S_y=370$  MPa:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \Rightarrow n = \frac{370 MPa}{8,5 MPa}$$

$$\therefore n = 43,52$$

Con lo cual se observa que el factor de seguridad cumple satisfactoriamente con los requerimientos para el diseño quedando así un diámetro del eje de 1 pulgada.

## 4.2 Diseño electrónico.

Determinará las características de sensores, actuadores y elementos electrónicos que compondrán el prototipo de acuerdo a los principales sistemas que conforman la máquina.

### 4.2.1 Cálculo para el motor a pasos para el sistema de levantamientos de marcos.

Como se mencionó anteriormente el sistema de levantamiento de marcos cuenta con un mecanismo de movimiento lineal de Husillo de bolas el cual será accionado por un motor a pasos.

Por lo tanto la potencia del motor requerido para el movimiento lineal de la mesa está dada por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{F P_h}{2000\pi\eta_p} \quad (4 - 32)$$

Donde:

T = Par de entrada [Nm]

F = Carga máxima del ciclo [N]

P<sub>h</sub> = Paso [mm]

η<sub>p</sub> = eficiencia práctica

$$T = \frac{981N \times 5mm}{2000 \times 0,848 \times 3,1416}$$

$$T = 1Nm$$

Este valor de torque esta dado en condiciones ideales un buen montaje mecánico de los extremos del Husillo de bola seleccionado y el uso de rodamientos propios del fabricante.

La potencia requerida del motor para este sistema es,

$$P = \frac{F \times n \times P_h}{60000 \times \eta_p} \quad (4 - 33)$$

Donde:

P = Potencia requerida [W]

n = velocidad requerida rpm

F = Carga máxima del ciclo [N]

$P_h$  = Paso [mm]  
 $\eta_p$  = eficiencia práctica

$$P = \frac{981Nm \times 600rpm \times 5mm}{60000 \times 0,848}$$

$$P = 58,78W$$

El motor se selecciona a partir de los cálculos del husillo de bolas es decir se requiere un motor con torque de 1Nm con una potencia de 58,78W, observando en el mercado nacional se escoge un motor a pasos de 4,5 Nm con 72W de potencia con su respectivo driver y fuente, puesto que para el acople con el husillo de bolas la recomendación del fabricante dice que este brinda el 90% de confiabilidad.

Además tomando en cuenta las pérdidas mecánicas que tiene el husillo, el elemento debe estar acoplado perfectamente con soportes de la misma marca del fabricante del husillo, se decide utilizar un motor a pasos marca LEADCHINE serie 86HS45 Nema 34 con su respectivo driver que permite una facilidad de control por PWM enviada desde el PLC, además que permite el control de micro pasos y manipular la corriente enviada al motor desde 2[A] a 7,2[A]. Las tablas 36 y 37 muestran las características del motor y Driver a utilizar.

**Tabla 36.**

**Características Motor Pasos LEADSHINE 86HS45**

Características	Magnitud (unidad)
<b>Voltaje de operación</b>	24 V
<b>Corriente Nominal</b>	5.5 A
<b>Torque</b>	4.5 Nm
<b>Ángulo de paso</b>	1.8°



**Figura 105 Motor Pasos 86HS45**  
**Fuente: (Leadshine Technology Co., Ltd, 2016)**

**Tabla 37.**  
**Características Driver MA860H**

Características	Mínima	Máxima
Corriente Salida [A]	2.6	7.2
Tensión Alimentación Entrada [V]	18	60
Corriente de Entrada Lógica [mA]	7	10
Frecuencia Pulsos [kHz]	0	300



**Figura 106. Driver MA860H.**

**Fuente: (Leadshine Technology Co., Ltd, 2016)**

#### 4.2.2 Cálculo del motor a pasos para el sistema de inserción de trama.

De los cálculos obtenidos previamente se observa en la figura 93 el diagrama de momento flector un momento máximo de 1.5 Nm, por lo que se decide utilizar un motor a pasos marca LEADCHINE serie 86HS35 Nema 23 que entrega un torque de 3Nm con su respectivo driver. Este driver permite una facilidad de control por PWM enviada desde el PLC, además que permite el control de micro pasos y manipular la corriente enviada al motor desde 2[A] a 7,2[A], este motor se encuentra disponible en el mercado nacional. Las tablas 38 y 39 muestran las características del motor y Driver a utilizar.

**Tabla 38.****Características Motor Pasos LEADSHINE 86HS35**

<b>Características</b>	<b>Magnitud (unidad)</b>
<b>Voltaje de operación</b>	24 V
<b>Corriente Nominal</b>	5.5 A
<b>Torque</b>	3.5 Nm
<b>Ángulo de paso</b>	1.8°

<b>Características</b>	<b>Magnitud (unidad)</b>
<b>Voltaje de operación</b>	24 V
<b>Corriente Nominal</b>	5.5 A
<b>Torque</b>	3.5 Nm
<b>Ángulo de paso</b>	1.8°



**Figura 107 Motor a Pasos 86HS35**  
**Fuente: (Leadshine Technology Co., Ltd, 2016)**

**Tabla 39.****Características Driver MA860H**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>MÍNIMA</b>	<b>MÁXIMA</b>
<b>CORRIENTE SALIDA [A]</b>	2.6	7.2
<b>TENSIÓN ALIMENTACIÓN ENTRADA [V]</b>	18	60
<b>CORRIENTE DE ENTRADA LÓGICA [MA]</b>	7	10
<b>FRECUENCIA PULSOS [KHZ]</b>	0	300



**Figura 108. Driver MA860H.**

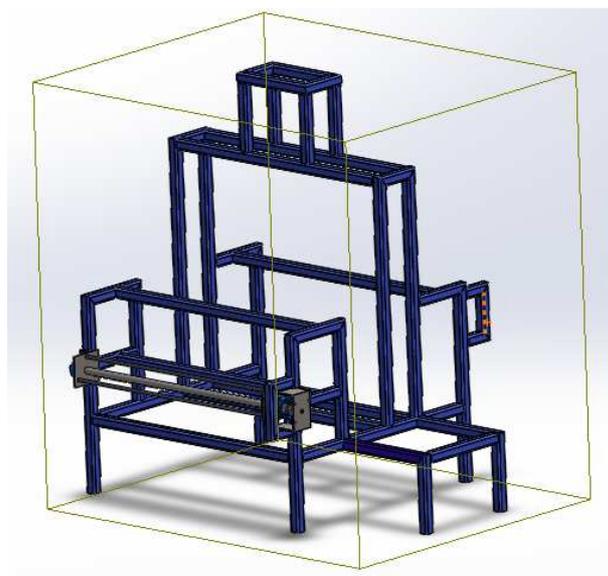
**Fuente: (Leadshine Technology Co., Ltd, 2016)**

**4.2.3 Cálculo para el motor a pasos para el sistema de arrastre.**

Para el elegir el motor del sistema de arrastre de los enjulios se calculará el torque necesario que necesita este elemento para el movimiento que debe realizar, como se mencionó anteriormente los dos enjulios deben ir sincronizados y ambos enjulios son iguales. Luego se seleccionará un motor y su respectivo driver disponibles en el mercado nacional.

$$T = I \times \alpha \tag{4 - 34}$$

Del modelo CAD tenemos la siguiente inercia.



**Figura 109. CAD sistema de arrastre.**

**Tabla 40.**  
**Parámetros ingresados al modelo CAD**

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
TRAVESAÑO	Acero AISI 1020
EJE CENTRAL	Acero AISI 1020
PLATO	Acero ASTM A36
SOPORTE DEL MOTOR	Acero ASTM A36
ESTRUCTURA	Acero ASTM A36

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados)  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 153525914858.18$	$I_{xy} = -2559391428.44$	$I_{xz} = 16362583107.37$
$I_{yx} = -2559391428.44$	$I_{yy} = 160197698930.45$	$I_{yz} = -2978109138.63$
$I_{zx} = -16362583107.37$	$I_{zy} = -2978109138.63$	$I_{zz} = 37832656084.09$

$$\therefore I = 16.3625 \text{ kg} \times \text{m}^2$$

Velocidad angular de trabajo:

$$\omega = 1,3 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \quad (4 - 35)$$

$$\omega = 0.0216 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Se determina la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t_f - t_0} \quad (4 - 36)$$

$$\alpha = \frac{0.0216 \frac{\text{rev}}{\text{s}}}{0.05 \text{ s}}$$

$$\alpha = 0.433 \frac{\text{rev}}{\text{s}^2}$$

Con los datos obtenidos el torque es:

$$T = 7.0904 \text{ Nm}$$

Por lo que se decide utilizar un motor a pasos marca LEADCHINE serie 86HS85 Nema 34 que entrega un torque de 8,5 Nm con su respectivo driver. Este driver permite una facilidad de control por PWM enviada desde el PLC, además que permite

el control de micro pasos y manipular la corriente enviada al motor desde 2[A] a 7,2[A], este motor se encuentra disponible en el mercado nacional. Las tablas 41 y 42 muestran las características del motor y Driver a utilizar.

**Tabla 41.**

**Características Motor Pasos LEADSHINE 86HS85**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>MAGNITUD (UNIDAD)</b>
<b>VOLTAJE DE OPERACIÓN</b>	60 V
<b>CORRIENTE NOMINAL</b>	5.5 A
<b>TORQUE</b>	8.5 Nm
<b>ÁNGULO DE PASO</b>	1.8°



**Figura 110. Motor Pasos 86BYGH 156**  
**Fuente: (Leadshine Technology Co., Ltd, 2016)**

**Tabla 42.**

**Características Driver MA860H**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>MÍNIMA</b>	<b>MÁXIMA</b>
<b>CORRIENTE SALIDA [A]</b>	2.6	7.2
<b>TENSIÓN ALIMENTACIÓN ENTRADA [V]</b>	18	60
<b>CORRIENTE DE ENTRADA LÓGICA [MA]</b>	7	10
<b>FRECUENCIA PULSOS [KHZ]</b>	0	300



**Figura 111. Driver MA860H.**

**Fuente: (Leadshine Technology Co., Ltd, 2016)**

### 4.3 Diseño de control

Determinará las características de sensores, dispositivos de control, e interfaz utilizada en el prototipo de acuerdo a los principales sistemas que lo conforman.

#### 4.3.1 Sensores de contacto.

El módulo 4 requiere sensores para verificar que tanto la mesa vertical como los marcos estén en la posición requerida es decir garantizar que los marcos estén levantados para el cruce de la lanzadera por los hilos de urdimbre.

Por lo tanto se determina usar sensores interruptores de final de carrera debido al contacto directo que tiene con los marcos y la mesa vertical del husillo de bolas. La figura 113 muestra un sensor final de carrera.



**Figura 112. Sensor de contacto fin de carrera.**

**Fuente: (CHINT ELECTRICS, 2011)**

#### 4.3.2 Sensor magnético.

El módulo 4 requiere un sensor para verificar la llegada de la lanzadera y del cilindro del batán, este elemento está compuesto de imanes de neodimio por tal motivo se elige este tipo de sensor para la detección inmediata del componente del sistema de inserción, Un modelo disponible en el país es sensor magnético AIRTAC DS1-E. La figura 114 muestra el sensor a utilizar.



**Figura 113. Sensor magnético AIRTAC DS1-E.**  
**Fuente: (AIRTAC, 2015)**

Características:

Modo de detección: NPN NO – NC

Distancia detección: 10mm

Sensibilidad: 25 – 700 gauss

### 4.3.3 Controlador lógico programable PLC.

Dentro del capítulo 3 luego de considerar las alternativas, “Tabla 18 Conclusión en la selección de alternativas para el módulo 3” por ponderación la mejor alternativa es un PLC, que presenta ventajas favorables para el desarrollo del prototipo, así como para satisfacer la cantidad de entradas y salidas de sensores y actuadores que compondrán la máquina. Además, su programación que es mediante lenguaje ladder (escalera) y la comunicación con el HMI mediante una comunicación serial RS 485 hacen de este una plataforma amigable.

Se decide utilizar un PLC del tipo modular puesto que se necesitara un módulo de extensión para el PLC con 8 salidas rápidas tipo transistor para el manejo adecuado de los motores a pasos y así cumplir con el funcionamiento apropiado del prototipo, a continuación se detallará las características de estos elementos. La tabla 43 muestra las características del PLC a utilizar.

**Tabla 43.**  
**Características PLC**

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de entrada	120 V – 230 V AC

Continua →

<b>Modo de programación</b>	Instrucciones – Escalera
<b>Velocidad de procesamiento</b>	0,085 $\mu$ s
<b>Puertos I/O</b>	14 Entradas – 10 salidas tipo relé 110 V – 24 V

#### 4.3.4 Interface Humano - máquina HMI.

Se decide utilizar una interfaz Hombre – Máquina previa especificación del QFD, por la facilidad de programación, manejo y comunicación con el PLC utilizado. Esta es una pantalla con un diseño intuitivo y amigable con el usuario, donde se podrá escoger el modo manual y automático, calibrar la tensión de los hilos mediante la rotación de los enjulos, desplazar las mallas que necesite el usuario o mover la lanzadera con el hilo de trama según la necesidad.

Hay que tomar en cuenta que en esta interfaz el usuario puede programar cualquier tipo de tejido para 4 mallas o seleccionar tejidos preestablecidos. A continuación en la tabla 44 se muestran las características de la pantalla.

**Tabla 44.**  
**Características HMI**

<b>Características</b>	<b>Magnitud (unidad)</b>
<b>Voltaje de entrada</b>	24 V
<b>Consumo de corriente</b>	0.1 A
<b>Interfaz</b>	RS 485 / 422
<b>Tamaño de la pantalla</b>	4 pulgadas
<b>Resolución</b>	320 x 240 pixeles
<b>Memoria</b>	512 Kb

La pantalla de menú como se mencionó anteriormente permite tres modos de ingreso, “PROGRAMAR TEJIDO, ESTADO DEL TELAR Y ESCOGER TEJIDO SELECCIONADO” tal como muestra la figura 115.



**Figura 114. Pantalla principal HMI.**

#### 4.4 Consumo de aire.

El consumo de aire total en el prototipo será:

$$Q_t = \sum Q_c$$

Donde:

$$Q_t = \text{caudal total de prototipo} \left[ \frac{m^3}{min} \right]$$

$$Q_c = \text{caudal del cilindro neumático} \left[ \frac{m^3}{min} \right]$$

El consumo de aire en un cilindro neumático se la calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_c = \left[ \frac{s \times \pi}{4} (2 \times D^2 - d^2) \right] \left[ \frac{101.3kPa + P}{101.3kPa} \right] * n$$

Donde:

s = carrera del cilindro [m]

D = diámetro del émbolo [m]

d = diámetro del vástago [m]

n = número de ciclos por minuto [ $min^{-1}$ ]

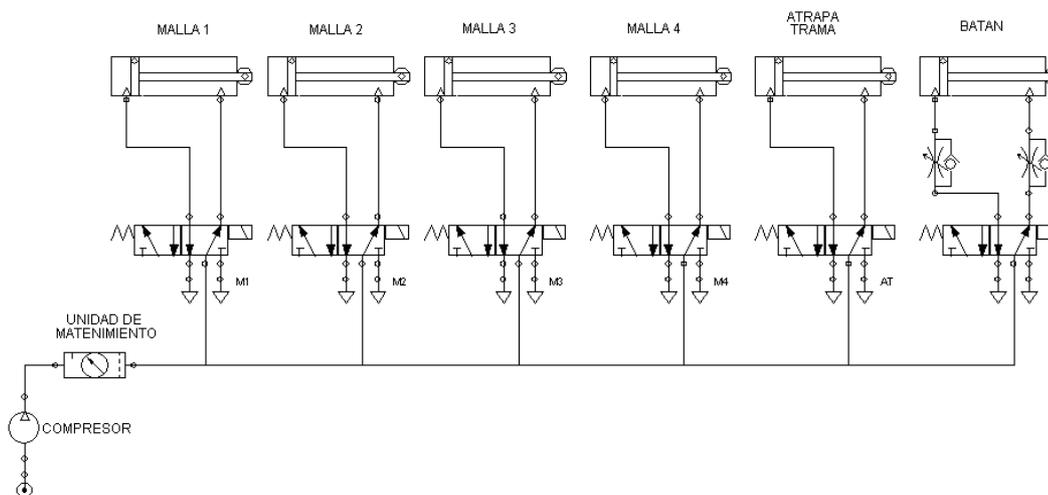
P = Presión de trabajo (kPa)

Se utilizará una presión de trabajo de 300kPa, los valores de cada cilindro se sustituirán en la ecuación y se colocaran los resultados en la tabla 45.

**Tabla 45.**  
**Consumo de aire de los cilindros neumáticos.**

Diámetro de Émbolo (mm)	Diámetro de Vástago (mm)	Carrera de cilindro (mm)	Ciclos por minuto (1/min)	Velocidad de avance (m/s)	Velocidad de retorno (m/s)	Fuerza de Extensión (N)	Fuerza de retorno (N)	Caudal cilindro (m <sup>3</sup> /min)
16	6	25	6	0,513	0,451	40	35	0,0002222
16	6	25	6	0,513	0,451	40	35	0,0002222
16	6	25	6	0,513	0,451	40	35	0,0002222
16	6	25	6	0,513	0,451	40	35	0,0002222
16	6	25	6	0,257	0,286	40	35	0,0002222
25	10	50	6	0,793	0,735	98	83	0,0010734
							Total caudal	0,0021842

En la imagen 116 se puede notar la siguiente distribución del sistema neumático utilizado para el uso del telar.



**Figura 115. Distribución del sistema neumático.**

Para el diseño en mención se seleccionó cilindros dentro del mercado nacional como son los cilindros AIRTAC MI SERIES con las especificaciones detalladas en la tabla 45. La figura 117 muestra un cilindro AIRTAC de la serie MI 16X25 a utilizar.



**Figura 116. Cilindro neumático AIRTAC MI 16x25.**  
**Fuente: (AIRTAC, 2015)**

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez concluida la construcción, en el presente capítulo se detallará las pruebas de funcionamiento realizadas en el prototipo de telar automatizado, determinando velocidades con las cuales los sistemas ensamblados puedan cumplir sus funciones en óptimas condiciones y sin producir excesivas vibraciones con el proceso de tejido eliminando malos ajustes en el tejido o en el peor de los casos rotura de los hilos.

Primero se procederá a realizar las pruebas sin hilo, una vez superada esta etapa se iniciará la elaboración del tejido con dos y cuatro mallas.

En la figura 118 se puede observar la pantalla de inicio del prototipo de telar plano automatizado para iniciar con las pruebas de funcionamiento del equipo.



Figura 117. Pantalla de inicio del HMI.

#### 5.1 Prueba de funcionamiento sin hilos.

##### 5.1.1 Objetivo.

Verificar la programación del PLC, comunicación con la interfaz usuario máquina HMI, elementos electro-neumáticos y motores a pasos, que cumplan con los requerimientos de funcionamiento necesarios para realizar el tejido.

### 5.1.2 Actividades.

Para comprobar el óptimo funcionamiento del prototipo se realizará los siguientes pasos:

1. Verificar de forma visual que cumpla con la dimensión, alineación y nivelado del ensamble total del telar, que cumpla con las condiciones establecidas en el diseño.
2. Revisar que todos los componentes electrónicos como son los actuadores, sensores y la HMI estén correctamente conectados a la unidad de control.
3. Suministrar de aire comprimido, energía eléctrica al sistema y pender la máquina.
4. Cargar el programa de control de la PC al PLC.
5. Seleccionar dentro del programa uno de los tres tejidos pre establecidos como se puede observar en la figura 119, e iniciar el proceso de tejido.
6. Comprobar el programa observando los movimientos del telar si son los correctos para la realización del tejido escogido.
7. Finalizar el proceso automático.



Figura 118. Pantalla de selección de tejido HMI.

### 5.1.3 Resultados.

En la prueba con las cuatro primeras actividades cumplen satisfactoriamente, pero posteriormente existen movimientos inadecuados de algunos de los componentes de la máquina no cumpliendo con la secuencia escogida previamente en el programa, los errores se detallan a continuación:

- Lectura incorrecta de los sensores de contacto en el sistema de levantamiento de marcos debido a la selección incorrecta de tags en la programación.
- Lectura incorrecta de los sensores magnéticos en el sistema de inserción de trama por la colocación incorrecta del imán de la lanzadera.
- El programa tiene demasiados segmentos para cada subprograma de tejido.
- Conteo inadecuado de pasos en la pantalla del HMI
- Velocidad inadecuada del movimiento de los enjulios de urdimbre y de tela.

Con los errores detectados se procede hacer las siguientes correcciones en la programación del PLC.

- Colocar correctamente los nombres de entradas que el PLC reconoce en la programación.
- Ubicar correctamente del imán para una lectura adecuada.
- Se procede a dividir por bloques de función a cada sistema que cumple el telar como se observa en la figura 120.



Figura 119. División por bloques de función en PLC.

- En la programación se agrega un contador en cada golpe que dé el batán e indique el paso actual en el HMI.
- Dentro de la programación se coloca un temporizador en pulso para que en determinado tiempo se pueda mover el motor a pasos, además se desplazó los dip switches de los drivers de los motores para controlar su velocidad. La configuración de los dip switches se puede observar en el datasheet que encuentra en anexos.

Con los arreglos pertinentes se obtuvo los siguientes resultados.

- Movimientos adecuados con la altura de llegada de marcos, inserción de trama y batán.
- Movimiento de motores a pasos con una velocidad satisfactoria para el movimiento de los enjulios.
- Se elimina de vibración del husillo de bolas del sistema de marcos.
- Conteo real del paso actual del tejido.

En la figura 121 se puede observar el estado del prototipo después de realizado las pruebas de funcionamiento.



**Figura 120. Prueba de funcionamiento sin hilos.**

## 5.2 Prueba de funcionamiento con dos mallas.

### 5.2.1 Objetivo.

Verificar la tensión que tiene los hilos cuando ascienden los marcos, así también observar si se forma el ángulo de calada necesario para que pueda atravesar la lanzadera y que exista una inserción de hilo adecuado para un ajuste correcto del batán.

### 5.2.2 Actividades.

Para comprobar el óptimo funcionamiento del prototipo con el funcionamiento de dos mallas se realizará los siguientes pasos:

1. Colocar los hilos de tipo crochet de urdimbre para el tejido con dos marcos como se observa en la figura 122.
2. Colocar hilo de trama en lanzadera para activar el sistema de inserción.
3. Suministrar de aire comprimido, energía eléctrica al sistema y pender la máquina.
4. Seleccionar el programa del tejido de 2 pasos
5. Iniciar el proceso de tejido.
6. Verificar el proceso de tejido de 2 pasos.
7. Finalizar el proceso automático.



Figura 121. Colocación de hilos de urdimbre en el prototipo.

### 5.2.3 Resultados.

En la prueba realizada se observa varios errores con la formación de los hilos que se detalla a continuación

- La lanzadera se enreda constantemente con los hilos de urdimbre, diseño del elemento erróneo, alta rugosidad observar figura 123
- Ángulo de calada inadecuado para el cruce de hilo de trama.
- Ajuste inadecuado del batán.
- Velocidad inadecuada del movimiento de los enjulos de urdimbre y de tela.
- Aflojamiento de los hilos en el proceso.



**Figura 122. Rugosidades en la lanzadera.**

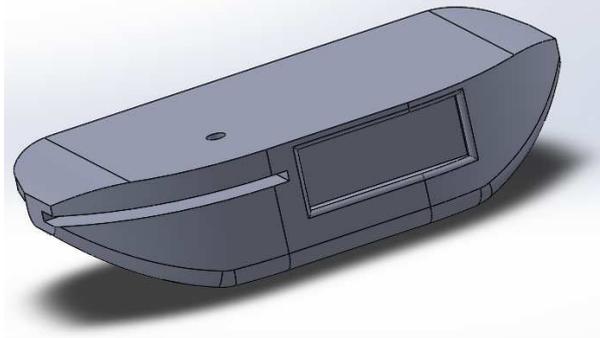
Con los errores detectados se procede hacer las siguientes correcciones para la formación adecuada del tejido.

- Se recorre la mesa encargada del levantamiento de marcos, es decir se ubicó más arriba al sensor de contacto para que los hilos pueda desplazarse aún más y formar un ángulo más pronunciado. La figura 124 muestra la mesa vertical con la ubicación de los sensores.



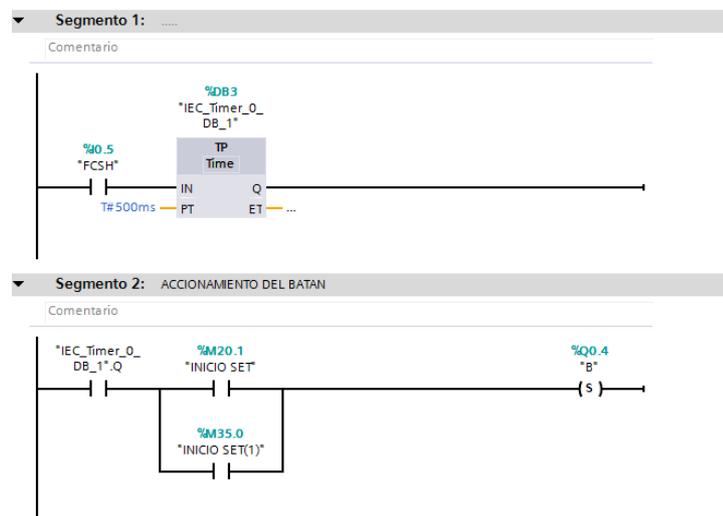
**Figura 123. Ubicación del sensor.**

- Se cambia el diseño de la lanzadera a un modelo más compacto para que cruce entre los hilos de urdimbre tal como se indica en la figura 125, además se agregó una placa en forma de aguja para colocar ahí el hilo de trama y así este pueda recorrer en una superficie con menos rozamiento.



**Figura 124. Corrección de la lanzadera.**

- Debido a la tensión de hilos, el batán no se desplazaba correctamente, observando otro estilo artesanal en el momento de ajuste, por lo que se procede a modificar la programación base como se indica en la figura 126, es decir, que antes de realizar cualquier tipo de tejido, éste tiene que dar una pasada de ajuste para continuar con el proceso.



**Figura 125. Ajuste de pasada en la programación.**

- En la programación se modifica el tiempo del temporizador en pulso a 1,4 segundos, además se desplazó los dip switches de los drivers de los motores para controlar su velocidad estableciendo un régimen de velocidad estándar para la realización del tejido ver en la figura 127 y así solo modificar el tiempo del

temporizador para el recorrido de los enjulos, además se estableció una relación de recorrido de 1:2 (3200:6400 pasos/revolución) entre los motores a pasos del enjulo de tela con la de urdimbre es decir que motor del enjulo de tela recorre dos veces más que el enjulo de tela.



**Figura 126. configuración del driver.**

- Se agrega un eje cilíndrico de  $\frac{3}{4}$  de pulgada delante del batán para que haya más presión en el tejido realizado, tal como se observa en a figura 128.



**Figura 127. Colocación de cilindro para ajuste de tela.**

Con los arreglos pertinentes se obtuvo los siguientes resultados.

- La lanzadera cruza adecuadamente a través de la calada formada por los hilos de urdimbre, aunque a momentos se quedaba de nuevo atrapado.
- Ángulo de calada con mayor apertura.
- El batán obtiene un desplazamiento con una fuerza óptima de ajuste del hilo de trama.
- Se elimina la soltura de los hilos, conforme va avanzando el tejido los filamentos de los hilos no se aflojan y se logr así un tejido adecuado durante el proceso como se observa en la figura 129.



**Figura 128. Tejido a dos mallas.**

### **5.3 Prueba de funcionamiento con cuatro mallas.**

#### **5.3.1 Objetivo.**

Comprobar que el prototipo funcione adecuadamente para un tejido de cuatro marcos en un periodo de funcionamiento prolongado para verificar tiempos de tejido y confiabilidad del equipo.

#### **5.3.2 Actividades.**

Para comprobar el óptimo funcionamiento del prototipo con el funcionamiento de cuatro marcos se realiza los siguientes pasos:

1. Colocar los hilos de urdimbre para el tejido con cuatro marcos.
2. Colocar hilo de trama en la lanzadera para activar el sistema de inserción.
3. Peinar los hilos una vez amarrados en los enjulios como se observa en la figura 130.
4. Suministrar de aire comprimido, energía eléctrica al sistema y pender la máquina.
5. Seleccionar el programa del tejido de cuatro pasos
6. Iniciar el proceso de tejido.
7. Verificar el proceso de tejido de cuatro pasos.
8. Finalizar el proceso automático.

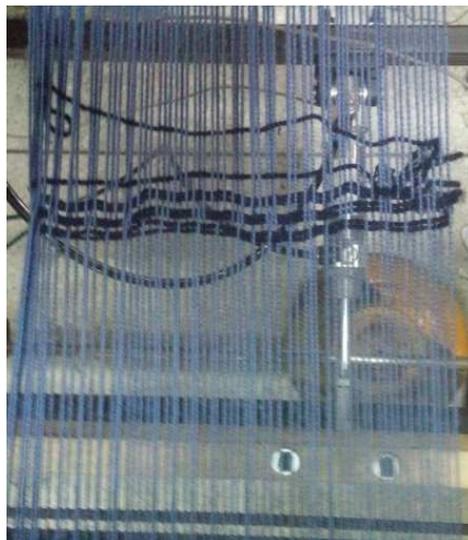


**Figura 129. Peinado hilos de urdimbre.**

### 5.3.3 Resultados.

En la prueba realizada se observa varios errores con la formación de los hilos que se detalla a continuación:

- La aguja de la lanzadera se enreda constantemente con los hilos de urdimbre.
- El cilindro atrapa trama no recepta la doble hebra de hilo.
- Ajuste inadecuado del batán como se puede observar en la figura 131.
- Velocidad inadecuada del movimiento de los enjulos de urdimbre y de tela para realizar el tejido.



**Figura 130. Ajuste inadecuado de tejido.**

Con los errores detectados se procede hacer las siguientes correcciones para la formación adecuada del tejido.

- Se procede al cambio y posición de la aguja con respecto a la lanzadera. La figura 132 se muestra la modificación realizada.



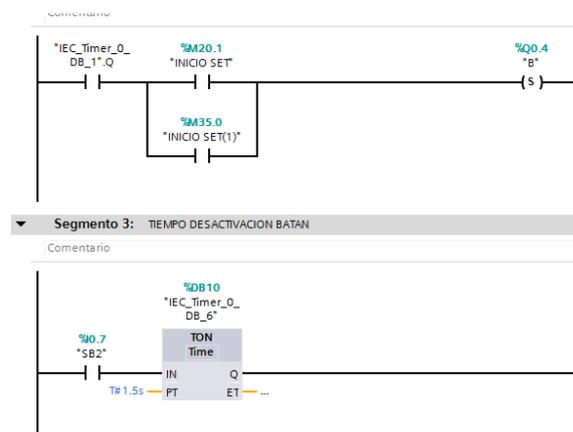
**Figura 131. Modelo de la lanzadera final.**

- Por el cambio de posición de la aguja, se modifica también la posición de los soportes del cilindro atrapa trama para que coincida el diámetro del vástago con la apertura que se da entre la primera y segunda hebra de hilo tal como muestra la figura 133.



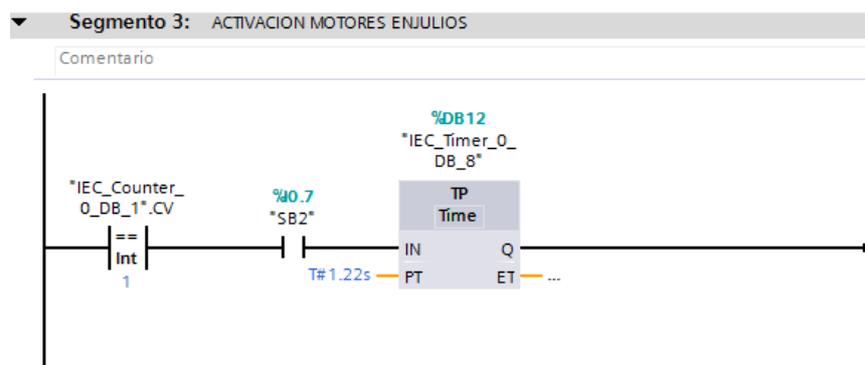
**Figura 132. Corrección soporte atrapa trama.**

- Se vuelve a cambiar la programación del segmento del batán, debido a la tensión de hilos producida por las cuatro mallas que no permitía que el batán ajuste adecuadamente el tejido, además se estableció un tiempo para que el batán permanezca ajustando durante 1.5 segundos. La figura 134 muestra el cambio hecho en la programación del plc.



**Figura 133. Ajuste del batán en la programación.**

- Manteniendo la relación de recorrido que se establece de 1:2 (3200:6400 pasos/revolución) entre los motores a pasos del enjullo de tela con la de urdimbre se procedió a la modificación del tiempo de temporizador en la programación.



**Figura 134. Modificación de tiempos de movimiento de los enjulos.**

Con los arreglos pertinentes se obtuvo los siguientes resultados.

- La lanzadera cruza adecuadamente a través de la calada formada por los hilos de urdimbre.
- Con la modificación realizada en la posición del cilindro el vástago logra atrapar el hilo, la lanzadera regresa a su posición inicial sin obstáculo alguno.
- El batán obtiene un desplazamiento con una fuerza óptima de ajuste del hilo de trama, el tejido se apretó mucho mejor.
- Con la modificación de los tiempos en la programación se corrige los errores obtenidos anteriormente quedando así un ajuste óptimo de tejido, en la figura

135 se puede observar la calidad del tejido realizado por el prototipo de telar plano automatizado.



**Figura 135. Tejido a cuatro mallas.**

En la tabla 46 se puede notar los resultados de varios tipos de tejidos realizados por el prototipo de telar plano automatizado.

**Tabla 46.**  
**Tejidos obtenidos en el prototipo.**

Código de urdido						
4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
Código de pisado			Tejido obtenido			
Pisado de 2 pasos						
13-24						
Pisado de 4 pasos						
12-23-34-41						

Una vez finalizadas todas las pruebas del prototipo, al telar se le impone varios tiempos de funcionamiento para conocer cuánto tejido entregaba en los tiempos propuestos, en la tabla 47 se indica la medida de tejido realizado en los intervalos de tiempo propuestos.

**Tabla 47.**  
**Tejido entregado por el prototipo en función del tiempo.**

Tiempo [horas]	Tejido medido [metros]	Novedades
<b>1</b>	1.2	S/N
<b>2</b>	2.45	Se detuvo en 1 ocasión la lanzadera
<b>3</b>	4.8	Se detuvo en 1 ocasión la lanzadera

En la figura 137 se muestra la cantidad de tejido realizado por el prototipo de telar plano en el intervalo de 1 hora de funcionamiento.



**Figura 136. Tejido obtenido en una hora de funcionamiento.**

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES.

- Se diseñó y construyó los componentes mecánicos y sistemas que conforman el prototipo de telar plano automatizado con inserción de trama continua de dimensiones 1900x1060x960 mm, con un peso de 70 kg, el prototipo optimiza tiempos y recursos en el proceso de tejido lo que representa menor esfuerzo físico por parte del usuario y mayor producción de tejido cumpliendo así con los requisitos del cliente.
- Se diseñó un sistema de automático eficaz que funciona sin fallas en cualquier ambiente de trabajo y que mediante una interface gráfica HMI permite al usuario programar según la necesidad que el cliente tenga, permitiendo al usuario manejar el prototipo de una manera sencilla y a la vez el operario supervisa el proceso de tejido hasta su finalización.
- Las pruebas de funcionamiento y rendimiento del prototipo son de suma importancia para determinar los parámetros óptimos que intervienen en el proceso de tejido para lograr un producto de calidad.
- El amarre del tejido tiene un tiempo muerto considerable debido a que esta actividad se lo realiza manualmente, este proceso tiene una técnica artesanal para realizarla con mayor rapidez y un correcto ajuste debido a que, si existe un error en el amarre al enjullo el proceso puede tener fallas al momento de realizar el tejido.

## 6.2 RECOMENDACIONES.

- Al diseñar los componentes mecánicos es importante encontrar los parámetros adecuados con apropiado dimensionamiento para a un ensamble correcto y un óptimo funcionamiento del prototipo.
- Para evitar enredos en los hilos de urdimbre, previamente se los debe peinar, esto ayudará a que pasen libremente por los lizos y el batán, y así se forme un apropiado ángulo de calada. En el momento del amarre de los hilos a los enjulios se debe verificar que las fibras estén ajustadas, y con una tensión adecuada para la formación de tejido.
- Para el mejoramiento de la velocidad del sistema del levantamiento de marcos se recomienda cambiar el motor a pasos utilizado por un motor de altas revoluciones con el torque indicado en el capítulo cuatro dimensionamiento de ball screw (husillo de bolas).
- En el sistema de inserción de trama se recomienda cambiar los imanes de neodimio con bloques de las mismas dimensiones, este elemento debería tener una mayor fuerza de atracción (sugerido 10 a 12 kg), o seleccionar componente con un grado superior puesto que esto representa la fuerza de atracción que tiene un imán con respecto al otro.
- El operario debe ser capacitado para operar el prototipo y así evitar cualquier tipo de contratiempo ya sea en la parte mecánica, eléctrica o de control y sobre todo evitar cualquier tipo de accidentes personales.
- Revisar periódicamente todos los sistemas mecánicos como el husillo, acoples mecánicos etc. Así como también la medición continua del aceite de la unidad de mantenimiento del sistema neumático.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIRTAC. (2015). *SENSOR SWITCH*. Obtenido de <http://en2.airtac.com/upload/201507281010175786.PDF>
- Albó, X. (2015). Obtenido de <http://www.katari.org/nuestra-historia>
- Aotewell. (2015). Obtenido de <http://www.aotewell.com/seimens/siemens-s7-1200-simatic-s7-1200-programmable-logic-controller.html>
- ARDUINO. (2016). *ARDUINO*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- Ares, F. (2008). Obtenido de [http://blogs.diariovasco.com/bigbang/2009/09/27/el\\_telar\\_de\\_fichas\\_perforadas/](http://blogs.diariovasco.com/bigbang/2009/09/27/el_telar_de_fichas_perforadas/)
- Balseca, M. (2011). Rediseño y análisis tribológico de las máquinas textiles telar plano y urdidora de la empresa TEXTILES TÉCNICOS. Riobamba.
- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México D.F.: Alfaomega.
- BRADLEY, A. (2016). *ROCKWELL AUTOMATION*. Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/>
- Brahic, M. (1992). *El Telar*. Barcelona: Parramón Ediciones.
- Brahic, M. (1998). *EL TELAR*. BARCELONA: PARRAMON.
- Budnays, R., & Keit, N. (2012). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. México, D.F.: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.
- Cachicadán, T. (s.f.). Obtenido de [http://textilescachicadan.blogspot.com/2011\\_10\\_01\\_archive.html](http://textilescachicadan.blogspot.com/2011_10_01_archive.html)
- Cenefas, F. d. (2009). Obtenido de <https://cerato.wordpress.com/2009/11/20/la-historia-del-hilo/>
- CEYESA. (2013). Obtenido de [http://www.ceyesa.com.pe/detalle\\_reles](http://www.ceyesa.com.pe/detalle_reles)
- CHINT ELECTRICS. (2011). *CHINT Electric Catálogos técnicos*. Obtenido de <http://www.chinteletrics.es/catalogos-tecnicos.html>
- COATS. (2015). Obtenido de <http://www.coatsindustrial.com/es/information-hub/apparel-expertise/know-about-textile-fibres>
- Desconocido. (s.f.). *Telares Cachicadan*. Obtenido de [http://textilescachicadan.blogspot.com/2011\\_04\\_01\\_archive.html](http://textilescachicadan.blogspot.com/2011_04_01_archive.html)
- Dornier. (2015). Obtenido de <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/telar-82498.html>
- Duarte, V. (2014). Obtenido de [https://prezi.com/lkxbcjofp\\_bi/tipos-de-insercion-de-trama/](https://prezi.com/lkxbcjofp_bi/tipos-de-insercion-de-trama/)
- Educativa, N. (s.f.). Obtenido de [http://www.natureduca.com/tecno\\_indust\\_text02.php](http://www.natureduca.com/tecno_indust_text02.php)

- Erazo, V., & Cortez, B. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TELAR PLANO AUTOMÁTICO PROGRAMABLE CON EL INTERFACE HMI*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Erazo, V., & Tixi, C. (Abril de 2009). TELAR PLANO SEMIAUTOMÁTICO. Quito.
- Erik Oberg, F. D. (2008). *Machinery's Handbook*. New York: Industrial Press Inc.
- FAMIC. (2001).
- FESTO. (s.f.). Obtenido de [https://www.festo.com/cat/es\\_es/products\\_PP\\_ISO6431VDMA](https://www.festo.com/cat/es_es/products_PP_ISO6431VDMA)
- Fontfilva. (s.f.). Obtenido de [http://www.fontfilva.com/es/hilos\\_al\\_100\\_\\_reciclados.aspx](http://www.fontfilva.com/es/hilos_al_100__reciclados.aspx)
- FOUNDATION, R. P. (2016). *RASPBERRY PI FOUNDATION*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/>
- Galindo, R. (2008). *Revista Digital Universitaria*. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.9/num11/art93/art93.pdf>
- Hanwentextile. (2011). Obtenido de [http://momotang.en.ec21.com/offer\\_detail/Sell\\_Nylon\\_Oxford\\_Fabric--10498988.html?gubun=S](http://momotang.en.ec21.com/offer_detail/Sell_Nylon_Oxford_Fabric--10498988.html?gubun=S)
- Ing. Germán Huebla. (2014).
- Ing. Marin, R. (2010). Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/1060891/>
- ISOMAX. (2016). *HED INTERNATIONAL*. Obtenido de <http://www.hed.com/site/products/data-controls/isomax/>
- Jaramillo Hernán. (2010). Visión panorámica de la artesanía textil de Otavalo. *Revista Sarance*, 36-37.
- Jaramillo, M. (2013). Obtenido de <https://www.flickr.com/photos/76073860@N06/8493463726/>
- Kepware. (2015). Obtenido de <https://www.kepware.com/products/kepserverex/documents/kepserverex-manual/>
- Leadshine Technology Co., Ltd. (2016). *Leadshine*. Obtenido de <http://www.leadshine.com/>
- Moreno, G. (2001). Obtenido de <https://sites.google.com/site/itttallerdeinvestigacion1/2---marco-historico/2-1-primera-fase>
- Palomino, M. (2012). Obtenido de <http://www.am-sur.com/am-sur/ecuador/Otavalo/Peguche-taller-tejidos-Jose-Cotacachi-ESP-01.html>
- Parker. (2015). Obtenido de <http://ph.parker.com/ar/es/hydraulic-motors>
- Peña, J. D. (2003). Introducción a los autómatas programables. Catalunya: UOC.
- PROMETEC. (2016). *PROMETEC*. Obtenido de <http://www.prometec.net/tft-spi18/>
- RAIZ, P. Y. (2012). Obtenido de <http://www.raizypatriacarajo.com.ar/mas.php?sec=1&cuerpo=54&pagina=1>

- Ramirez Amalia. (2014). *TEXTILES DE TELAR DE PEDALES EN LA REGIÓN PUREPECHA*. Obtenido de <http://www.mna.inah.gob.mx/documentos/GARAYZAR.pdf>
- Riba, C. (2002). Estructura Funcional. En C. Riba, *Diseño concurrente* (págs. 128-129).
- Rockwell Automation. (2015). Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/es/drives/powerflex-4>
- Scheider Electric. (s.f.). Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/products/es/es/1500-contactores-y-reles-de-proteccion/1510-contactores-y-contactores-inversores/664-tesys-d/>
- Secretaria Nacional de Planificacion y Desarrollo. (2013). *Buen vivir Plan Nacional 2013-2017*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- SIEMENS. (2015). Obtenido de <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/pages/pantallashmi.aspx>
- SKF. (2013). *Husillos de bolas laminadas de precision*. SKF.
- SYLTEXTIL. (2014). Obtenido de [http://www.syltextil.com.mx/maquinaria\\_p7300.html](http://www.syltextil.com.mx/maquinaria_p7300.html)
- Tejedores, A. (2016). *AyF tejedores, Creaciones en Telar*. Obtenido de <https://ayftejedores.wordpress.com/>
- Telares, B. (2009). Obtenido de <http://telaresybastidores.blogspot.com/2009/06/lanzaderas.html>
- Telart. (2015). Obtenido de <http://www.telart.es/telares-manuales>
- WEG. (2015). Obtenido de <http://www.weg.net/ec/Productos-y-Servicios/Motores-Electricos/Industriales-Trifasicos/W22-Carcasa-de-Hierro-Gris-Alta-Tension>
- XINJE ELECTRONIC CO. LTD. (2015). *XINJE*. Obtenido de <http://www.xinje.com/en/ProductView.asp?ID=119&SortID=145>
- Zazzle. (2015). Obtenido de [http://www.zazzle.com/telar\\_disenado\\_por\\_el\\_telar\\_jacquar\\_de\\_jose\\_marie\\_tarjeta\\_postal-239642655479634591?lang=es](http://www.zazzle.com/telar_disenado_por_el_telar_jacquar_de_jose_marie_tarjeta_postal-239642655479634591?lang=es)

**ANEXOS**

**A1: ENCUESTAS REALIZADAS**

**A2: CARACTERISTICAS DE BALL SCREW (HUSILLOS DE BOLAS)**

**A3: DATOS TECNICOS CILINDROS NEUMATICOS**

**A4: DATASHEET DRIVER MA860H**

**A5: DATASHEET MOTORES SERIE 86HS**

**A6: DATASHEETSENSOR SWITCH AIRTAC DS1 – E SEIRES**

**A7: PLANOS MECÁNICOS**

**A8: MANUAL DE USUARIO**