



# 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 EN MECATRÓNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
BOBINADORA SEMIAUTOMÁTICA PARA INDUCIDOS DE  
MOTORES ELÉCTRICOS DE DIÁMETROS ENTRE (30 – 70)  
MM, PARA LA EMPRESA “SERVICIOS ELÉCTRICOS  
INDUSTRIALES DELTA” (AMBATO – ECUADOR)”**

**AUTORES: MANZANO PUENTE RICARDO PATRICIO  
MOSQUERA ARAUJO DIEGO ESTEBAN**

**DIRECTOR: ING. TAPIA ZURITA MELTON EDMUNDO,  
Msc.**

**SANGOLQUÍ**

**2016**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “Diseño y construcción de una máquina bobinadora semiautomática para inducidos de motores eléctricos de diámetros entre (30 – 70) mm, para la empresa “Servicios Eléctricos Industriales Delta” (Ambato – Ecuador)” realizado por los señores RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE y DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO, 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 Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE y DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO, para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de mayo del 2015



Ing. Melton Tapia  
DIRECTOR



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE y DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO, con cédula de identidad N° 180385018-7 y N° 171741633-1 respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación “Diseño y construcción de una máquina bobinadora semiautomática para inducidos de motores eléctricos de diámetros entre (30 – 70) mm, para la empresa “Servicios Eléctricos Industriales Delta (Ambato – Ecuador)” 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 declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 04 de mayo del 2015



RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE.



DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO.



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO, y RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE, 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 una máquina bobinadora semiautomática para inducidos de motores eléctricos de diámetros entre (30 – 70) mm, para la empresa “Servicios Eléctricos Industriales Delta” (Ambato – Ecuador)”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 04 de mayo del 2015

RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE.

CI: 180385018-7

ID: L00298209

DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO.

CI: 171741633-1

ID: L00282330

## **DEDICATORIA 1**

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar a este punto de mi carrera universitaria, ayudándome a superar toda adversidad, brindándome salud, y fuerzas en cada día.

### **A mi padre.**

Por haberme apoyado desde muy pequeño, aún recuerdo mi primer multímetro a los 7 años de edad, por sus consejos, sus valores, su confianza, su motivación y paciencia. Pero sobre todo por el cariño y amor.

### **A mi madre.**

Por haberme apoyado de igual manera, por cada atardecer haber escuchado sus consejos, por su paciencia y dedicación, y sobre todo el cariño y amor

### **A mi hermano.**

Porque a pesar de las típicas peleas de hermanos hemos estado ahí para apoyarnos, en fin, a mi familia porque a ellos les debo lo que soy.

**“Da tu primer paso ahora. No importa que no veas el camino completo. Solo da tu primer paso y el resto del camino irá apareciendo a medida que camines”**

**(Martin Luther King Jr.)**

**RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE**

## **DEDICATORIA 2**

Mi trabajo de titulación lo dedico con mucho cariño y amor a quienes han estado conmigo incondicionalmente y han sido en quienes me he apoyado para seguir siempre adelante. A mi mamá, mi papá, mi novia, mis hermanos, mis amigos, mis profesores y todas las personas que formaron parte de mi vida en esta etapa.

Además, quiero dedicar este trabajo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a toda la gente que forma parte de ella por todos los conocimientos que obtuve tanto en sus aulas como fuera de ellas.

Haz de tu vida un sueño, y de tu sueño una realidad.

Antoine de Saint-Exupéry

**DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO**

## AGRADECIMIENTO 1

En el presente trabajo de titulación agradezco principalmente a Dios, por haberme guiado y otorgado la fuerza necesaria en cada adversidad a lo largo de la carrera universitaria.

A la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por haberme brindado los conocimientos tanto éticos como profesionales para poder haberme formado como ingeniero Mecatrónico.

A mis padres y hermano por haberme apoyado, entregado su confianza y esfuerzo para poder haber cursado la carrera universitaria.

*“Piensa en grande y tus hechos crecerán, piensa en pequeño y quedarás atrás, piensa que puedes y podrás; todo está en el estado mental.”*

*(Napoleon Hill)*

**RICARDO PATRICIO MANZANO PUENTE**

## **AGRADECIMIENTO 2.**

Pienso que cuando se alcanza a una meta es importante ver atrás y reconocer a quienes estuvieron ahí empujándonos en cada tramo del camino. Es por eso que agradezco a toda mi familia, que siempre me brindo apoyo y estuvieron conmigo desde un inicio aconsejándome, guiándome y buscando la manera de motivarme en cada etapa. A mi mamá, que siempre que ha sido pilar fundamental para cada logro de mi vida, y para quien este logro en particular será motivo de una inmensa alegría. A mi novia Karen que ha estado a mi lado apoyándome incondicionalmente en todo momento. A mis hermanos y amigos con quienes comparto mi felicidad. A mi papá en quien siempre puedo confiar cuando necesito ayuda.

Por esto y mucho más, mis más profundos agradecimientos a todos.

**DIEGO ESTEBAN MOSQUERA ARAUJO**

## INDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA 1</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA 2</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO 1</b> .....	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTO 2.</b> .....	<b>viii</b>

### **CAPÍTULO I**

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Marco Institucional .....	2
1.2.1. Institución auspiciante y/o beneficiaria.....	2
1.2.2. Misión. ....	3
1.2.3. Visión.....	3
1.2.4. Valores institucionales. ....	3
1.2.5. Localización geográfica. ....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Área de influencia.....	5
1.5. Descripción del proyecto .....	5
1.5.1. Sistema Mecánico. ....	5
1.5.2. Sistema Electrónico.....	6
1.5.3. Sistema de Control. ....	6
1.6. Objetivos.....	7
1.6.1. General. ....	7

1.6.2. Específicos.....	7
1.7. Metodología.....	8

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO ..... 10**

2.1. Teoría del bobinado de rotores.....	10
2.2. Teoría del funcionamiento de máquinas eléctricas.....	12
2.3. Teoría de funcionamiento de microcontroladores.....	14
2.4. Teoría del Funcionamiento de Elementos Neumáticos.....	19

## **CAPÍTULO III**

### **PROCESO DE DISEÑO..... 24**

3.1. Identificación de necesidades.....	24
3.2. Establecimiento de especificaciones.....	33
3.3. Generación de conceptos de la máquina.....	37
3.3.1. Aclarar el problema.....	37
3.3.2. Buscar externamente.....	40
3.3.3. Buscar internamente.....	40
3.3.4. Explorar Sistemáticamente.....	40
3.4. Selección de conceptos.....	42
3.5. Prueba de conceptos.....	47
3.6. Especificaciones finales.....	48

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE DETALLE..... 50**

4.1. Diseño del sistema mecánico.....	50
4.1.1. Arquitectura y diseño de la estructura de la máquina.....	50

4.1.1.1.	Modelado CAD. ....	50
4.1.1.1.1.	Eje principal. ....	50
4.1.1.1.2.	Estructura de los carros. ....	51
4.1.1.1.3.	Brazos para la distribución del cable.....	52
4.1.1.1.4.	Base de brazos. ....	52
4.1.1.1.5.	Soporte para mordazas. ....	53
4.1.1.1.6.	Matrimonio motor. ....	53
4.1.1.1.7.	Bocín para rodamientos.....	53
4.1.1.1.8.	Modelado de partes estándar de los carros. ....	54
4.1.1.1.9.	Placas base y móvil. ....	54
4.1.1.1.10.	Ejes y Tornillo sin fin. ....	54
4.1.1.1.11.	Ejes para las ruedas dentadas.....	55
4.1.1.1.12.	Modelado de partes estándar de la mesa elevadora. ....	55
4.1.1.1.13.	Estructura. ....	55
4.1.1.1.14.	Ejes de los carros. ....	56
4.1.1.1.15.	Soporte para alambre de cobre.....	56
4.1.1.2.	Ensamble de secciones. ....	57
4.1.1.2.1.	Ensamble del carro. ....	57
4.1.1.2.2.	Ensamble de la mesa elevadora. ....	58
4.1.1.2.3.	Ensamble de la estructura. ....	58
4.1.1.3.	Simulación y cálculo de esfuerzos. ....	59
4.1.1.3.1.	Calculo de torque necesario del motor. ....	59
4.1.1.3.2.	Esfuerzo y deformación en el eje ....	62
4.1.1.3.3.	Diagrama de esfuerzo cortante ....	63
4.1.1.3.4.	Diagrama de momento flector ....	63
4.1.1.3.5.	Esfuerzo y deformación en la estructura ....	65

4.1.1.3.6.	Calculo de bandas.....	68
4.1.1.4.	Selección del material .....	69
4.1.1.5.	Selección de partes estándar.....	71
4.1.1.5.1.	Para la estructura. ....	71
4.1.1.5.2.	Para la transmisión de potencia. ....	73
4.1.1.5.3.	Para el desplazamiento de los carros transportadores. ....	75
4.1.1.6.	Planos de conjunto y de detalle .....	76
4.1.1.7.	Diagramas de montaje mecánico.....	76
4.1.2.	Diseño del sistema neumático.....	76
4.1.2.1.	Selección de cilindros y válvulas. ....	77
4.1.2.2.	Selección de compresor.....	79
4.1.2.3.	Diagrama de conexión.....	80
4.2.	Diseño del sistema electrónico .....	81
4.2.1.	Selección de actuadores. ....	81
4.2.1.1.	Motores a pasos .....	81
4.2.2.	Selección de pre actuadores .....	82
4.2.2.1.	Módulo CNC motor a pasos.....	82
4.2.3.	Acondicionamiento de señal .....	83
4.2.4.	Diagramas electrónicos .....	84
4.3.	Diseño del sistema de control.....	85
4.3.1.	Esquema de funcionamiento.....	85
4.3.2.	Selección de controlador.....	86
4.3.3.	Selección de elementos para el panel de control.....	87
4.3.3.1.	Botones .....	87
4.3.3.2.	LCD .....	88
4.3.3.3.	Leds .....	88

4.3.3.4.	Panel de acrílico cortado por láser.....	88
4.3.3.5.	Botón de paro de emergencia .....	88
4.3.4.	Diagramas de conexión del sistema de control.....	89
4.3.5.	Diagrama de secuencias.....	91

## **CAPÍTULO V**

### **CONSTRUCCION PRUEBAS Y OPTIMIZACION ..... 92**

4.1.	Diagrama de flujo de procesos.....	92
4.2.	Prototipos .....	93
4.2.1.	Desarrollo de prototipos funcionales .....	93
4.2.2.	Fabricación de partes y componentes .....	94
4.3.	Montaje .....	97
4.3.1.	Montaje del sistema mecánico .....	97
4.3.2.	Montaje de sistema neumático .....	99
4.3.3.	Montaje de sistema eléctrico .....	100
4.3.4.	Montaje del sistema de control .....	101
4.4.	Pruebas de funcionamiento.....	102
4.4.1.	Pruebas del sistema mecánico.....	102
4.4.1.1.	Prueba del sistema del sistema de distribución de alambre de cobre 102	
4.4.1.2.	Prueba del sistema de transmisión de potencia .....	103
4.4.1.3.	Prueba del sistema de posicionamiento angular del rotor .....	103
4.4.1.4.	Prueba del sistema elevador del rotor.....	104
4.4.1.5.	Pruebas del sistema neumático.....	104
4.4.2.	Pruebas del sistema electrónico .....	105
4.4.3.	Pruebas del sistema de control de secuencia.....	106
4.5.	Funcionamiento de la maquina.....	107
4.5.1.	Metodología de Taguchi .....	107

4.5.2.	Toma de datos. ....	112
4.5.3.	Calibración de instrumentos y accesorios .....	113
4.5.4.	Análisis de los resultados .....	114
4.6.	Manual de operación para el usuario .....	114
<b>CAPÍTULO VI</b>		
<b>ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO .....</b>		<b>118</b>
6.1.	Análisis Económico .....	118
6.2.	Análisis Financiero .....	120
<b>CAPÍTULO VII</b>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>128</b>
7.1.	Conclusiones .....	128
7.2.	Recomendaciones .....	128
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>130</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Declaración de la misión .....	8
Figura 2 Proceso de requerimientos.....	8
Figura 3 Requerimientos finales. ....	9
Figura 4 Esquema de localización de conductores cortados Fuente: .....	11
Figura 5 Verificación de contactos a masa, en el inducido, con polímetro Fuente: .....	12
Figura 6. Inducción electromagnética. Fuente: .....	12
Figura 7 Motor Eléctrico, asíncrono Trifásico dibujado en sección Fuente:.....	14
Figura 8 Bosquejo de un microprocesador Fuente: .....	15
Figura 9 Periféricos de un microcontrolador. Fuente:.....	15
Figura 10 Bosquejo de un AVR comercial. Fuente:.....	18
Figura 11 Elementos de un sistema neumático. Fuente: .....	19
Figura 12 Ilustración de un cilindro simple efecto retorno por muelle Fuente: .....	20
Figura 13 Corte de una Válvula, vías y distribuciones Fuente:.....	21
Figura 14 Número de posiciones en Válvulas .....	21
Figura 15 Sentido de circulación de fluido de válvulas Fuente:.....	22
Figura 16 Posición de cierre de válvulas Fuente: .....	22
Figura 17 Válvula de retorno por muelle monoestables Fuente:.....	22
Figura 18 Válvula biestable Fuente:.....	23
Figura 19 Conocimiento de las necesidades Fuente:.....	24
Figura 20 Bobinadora comercial SKR – 8DQ – DG Fuente: .....	34
Figura 21 Bobinadora TECNO modelo VT04 Fuente: .....	35
Figura 22 Bobinadora Automática Fuente: .....	35
Figura 23 Requerimientos para conceptos .....	39

Figura 24 Requerimientos necesarios que debe cumplir la máquina bobinadora .....	40
Figura 25 Modelado CAD concepto 1 .....	43
Figura 26 Combinación de concepto 1 .....	43
Figura 27 Modelado CAD concepto 2 .....	44
Figura 28 Combinación de concepto 2. ....	44
Figura 29 Modelado CAD concepto 3 .....	44
Figura 30 Combinación de concepto 3. ....	45
Figura 31 Modelado CAD del concepto seleccionado.....	46
Figura 32. Diseño preliminar del eje principal. ....	50
Figura 33. Vista del diseño preliminar del eje principal. ....	51
Figura 34. Diseño optimizado del eje principal .....	51
Figura 35. Base del carro. ....	52
Figura 36. Brazos de distribución de cable .....	52
Figura 37. Soporte para brazos. ....	52
Figura 38. Soporte para mordazas.....	53
Figura 39. Matrimonio eje polea dentada para motores principales .....	53
Figura 40. Buje para rodamientos lineales 12mm.....	53
Figura 41. Modelado de partes standard. ....	54
Figura 42. Placas para la mesa elevadora. ....	54
Figura 43. Tornillo sin fin para mesa elevadora .....	55
Figura 44. Ejes para poleas dentadas .....	55
Figura 45. Modelado de mandril y polea dentada.....	55
Figura 46. Partes estructurales para máquina bobinadora.....	56
Figura 47. Eje de acero plata para carro móvil .....	56
Figura 48. Soporte para polea de nylon para tensor de alambre de cobre.....	57

Figura 49. Ensamble de carro móvil .....	57
Figura 50. Mesa elevadora de rotores. ....	58
Figura 51. Ensamble mesa estructural para carros móviles .....	58
Figura 52. Ensamble total de la máquina bobinadora de rotores .....	58
Figura 53. Calculo del torque necesario para el motor. ....	59
Figura 54. Ilustración del experimento para calcular el torque requerido del motor .....	60
Figura 55 Torque Vs. Diámetro .....	62
Figura 56 Masa total del carro .....	62
Figura 57 Diagrama de cargas sobre una viga simplemente apoyada.....	63
Figura 58 Diagrama de esfuerzos cortante.....	63
Figura 59 . Diagrama de momento flector. ....	63
Figura 60. Deformación máxima del eje a escala 8587. ....	64
Figura 61. Calculo del factor de seguridad .....	65
Figura 62. Criterio utilizado para el cálculo del FS .....	66
Figura 63. Deformación máxima de la estructura a escala 485. ....	67
Figura 64. Factor de seguridad en la estructura. ....	67
Figura 65. Relación de poleas Fuente: .....	68
Figura 66 Especificación técnica de acero ASTM A36 Fuente: .....	70
Figura 67 Especificación técnica de Acero plata Fuente:.....	71
Figura 68. Platina de acero.....	71
Figura 69. Electrodo 6011. ....	72
Figura 70. Pernos M5.....	72
Figura 71 Tuercas de seguridad M5.....	72
Figura 72. Chapa metálica. ....	73
Figura 73. Arandela. ....	73

Figura 74. Anillo de seguridad seeger. ....	73
Figura 75. Poleas y correas dentadas. ....	74
Figura 76. Correa dentada. ....	74
Figura 77. Matrimonio standard. ....	74
Figura 78. Chumacera standard. ....	74
Figura 79. Rodamiento 6001. ....	75
Figura 80. Prisioneros M5. ....	75
Figura 81 Ejes de acero plata 12mm. ....	75
Figura 82 Rodamiento lineal LM12UU. ....	76
Figura 83 Diagrama neumático. ....	77
Figura 84 Electroválvula 5/2. ....	78
Figura 85 Válvula reguladora de ingreso de aire. ....	78
Figura 86 Elementos neumáticos para mangueras 6mm. ....	79
Figura 87 Cilindro de doble efecto. ....	79
Figura 88 Compresor de aire marca ptk. ....	80
Figura 89 Simulación de sistema neumático. ....	81
Figura 90 Motor a pasos. ....	82
Figura 91 Diagramas de conexiones módulo controlador motor a pasos Fuente: ....	82
Figura 92 Módulo controlador para motores a pasos. ....	83
Figura 93 Diagrama de conexión relé. ....	83
Figura 94 Placas de relé. ....	84
Figura 95 Diagrama de conexiones eléctricas máquina bobinadora. ....	84
Figura 96 Funcionamiento del ingreso de datos. ....	85
Figura 97 Funcionamiento del ciclo de bobinado. ....	85
Figura 98 Placa Arduino UNO Fuente: ....	86

Figura 99 Pulsador .....	87
Figura 100 Display lcd 16X2 .....	88
Figura 101 Leds .....	88
Figura 102 Pulsador de emergencia Fuente: .....	89
Figura 103 Pulsador de emergencia máquina bobinadora .....	89
Figura 104 Secuencia de tiempos de funcionamiento .....	91
Figura 105 Prototipos de partes principales MB.....	94
Figura 106 Componentes mecánicos para MB .....	95
Figura 107 Sujeción mecánica para motores a pasos.....	95
Figura 108 Panel de control máquina bobinadora.....	96
Figura 109 Fabricación de carcasa para MB.....	96
Figura 110 Instalación de componentes electrónicos.....	96
Figura 111 Máquina bobinadora de Rotores.....	97
Figura 112 Chumacera 12mm.....	97
Figura 113 Montaje de poleas y banda dentada .....	98
Figura 114 Montaje de piezas y elementos mecánicos .....	98
Figura 115 Eje hueco .....	98
Figura 116 Prototipo de motor a pasos para mesa elevadora.....	99
Figura 117 Estructura de máquina bobinadora .....	99
Figura 118 Instalación de sistema neumático .....	99
Figura 119 Electroválvulas 24v .....	100
Figura 120 Fuente de poder .....	100
Figura 121 Diagrama de conexiones Arduino UNO.....	101
Figura 122 Conexiones de motores a pasos.....	101
Figura 123 Panel de control implementado .....	102

Figura 124 Prototipo de carcasa para motor a pasos de mesa elevadora .....	103
Figura 125 Mesa elevadora de rotores .....	104
Figura 126 Cierre de mordazas por sistema neumático .....	105
Figura 127 Apertura de mordazas por sistema neumático .....	105
Figura 128 Conexiones de motor a pasos .....	106
Figura 129 Pruebas de panel de control .....	106
Figura 130 Ingreso de datos en panel de control.....	106
Figura 131 Ingreso de número de vueltas .....	107
Figura 132 Ingreso número de vueltas .....	115
Figura 133 Ingreso sentido de giro .....	115
Figura 134 Ingreso número de delgas .....	116
Figura 135 Ingreso sentido de giro del rotor.....	116
Figura 136 Recopilación de datos ingresados.....	116
Figura 137 Ubicación de alambre para tensores .....	117
Figura 138 Proyección estimada de ganancia e Inversión .....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Encuesta de necesidades.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2 Declaración de la misión.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3 Plantilla de datos necesidades del cliente .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4 Necesidades del cliente.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5 Métricas de la máquina bobinadora de rotores .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 6 Comparación de máquinas bobinadoras comerciales .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 7 Especificaciones técnicas de maquina bobinadora.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 8 Soluciones a subsistemas .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 9 Conceptos para el subsistema mecánico .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10 Conceptos para el subsistema electrónico .....</i>	<i>42</i>

<i>Tabla 11 Conceptos para el subsistema de control</i> .....	42
<i>Tabla 12 Matriz de combinación de conceptos</i> .....	45
<i>Tabla 13 Especificaciones finales técnicas de máquina bobinadora</i> .....	48
<i>Tabla 14 Cálculo del torque generado según el calibre de alambre</i> .....	60
<i>Tabla 15 Datos técnicos de tarjeta controladora Arduino UNO</i> .....	86
<i>Tabla 16 Distribución de pines para control</i> .....	90
<i>Tabla 17 Distribución de pines para control de motores</i> .....	90
<i>Tabla 18 Niveles de prueba para el experimento.</i> .....	109
<i>Tabla 19 Peso de los parámetros para la evaluación de la calidad</i> .....	109
<i>Tabla 20 Arreglo ortogonal L8 para el experimento de la calidad en el bobinado</i>	110
<i>Tabla 21 Calculo de la suma de cuadrados para el Nivel I y II</i> .....	111
<i>Tabla 22 Análisis de la información por tabla Anova</i> .....	112
<i>Tabla 23 Recolección de datos en proceso automático</i> .....	113
<i>Tabla 24 Recolección de datos en procesos automático y manual</i> .....	114
<i>Tabla 25 Lista de precios en materiales.</i> .....	118
<i>Tabla 26 Lista de precios en servicio técnico y equipos</i> .....	119
<i>Tabla 27 Lista de precios suministros de oficina</i> .....	119
<i>Tabla 28 Costo total de Máquina Bobinadora de rotores</i> .....	119
<i>Tabla 29 Costos de manufactura manual a un mes.</i> .....	120
<i>Tabla 30 Costos de manufactura en proceso automático</i> .....	121
<i>Tabla 31 Costos de materia prima para manufactura de rotores.</i> .....	121
<i>Tabla 32 Costos de manufactura de proceso manual 2do. Mes.</i> .....	122
<i>Tabla 33 Costos de manufactura proceso automático</i> .....	123
<i>Tabla 34 Costo proyectado a un año en proceso manual</i> .....	124
<i>Tabla 35 Costo proyectado a 1 año proceso automático.</i> .....	125
<i>Tabla 36 Beneficio mensual en costos de manufactura en tipos de procesos.</i> .....	125
<i>Tabla 37 Retorno de capital de inversión.</i> .....	126

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en el diseño y construcción de una máquina semiautomática bobinadora de rotores de motores eléctricos para la empresa “Servicios Industriales Delta”, la misma que financio el proyecto. La máquina bobinadora trabaja con diámetros de rotores de entre 30 y 70 mm y con calibres de alambre 20 a 26. Cuenta con autonomía en el posicionamiento del rotor dependiendo de la cantidad de delgas que este tenga y dispone de un sistema de fijación neumático del rotor para el momento del bobinado. El equipo tiene un panel para el ingreso de la información de los parámetros del bobinado que son el número de vueltas de alambre, el número de delgas, el sentido del bobinado y el sentido de giro del rotor; una vez ingresado los datos despliega un resumen de la información y comienza el bobinado. Cada ciclo de bobinado, la máquina realiza una pausa para poder numerar y señalar los tabs y que el rotor se posicione para el siguiente ciclo de bobinado. El sistema de control y funcionamiento está basado en tecnología arduino, los motores son controlados tanto por programación como por módulos drivers de motores a pasos y el sistema neumático dispone de un acople rápido para poder adaptarse a cualquier sistema de aire comprimido.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **BOBINADORA**
- **BOBINADO**
- **ROTORES**
- **INDUCIDO ELÉCTRICO**
- **MOTOR ELECTRICO**

## **ABSTRACT**

This titling project consists of the design and construction of a semiautomatic winder machine for electric motor rotors for the company "Servicios Industriales Delta," this company funded the complete project. The coiling machine works with rotor diameters between 30 and 70 mm and wire sizes 20 to 26. It has autonomy in rotor positioning and this depends on the amount of tangs that the rotor has. Moreover, it has a pneumatic system to fix the rotor when winding. The machine has a panel for entering the winding parameters, those are the number of turns of wire, the number of laminations, the sense of winding and the direction of rotation of the rotor; once entered data displays a summary of the information and begins winding. For each winding cycles, the machine pauses to note the tabs and the rotor is positioned for the next winding cycle. The control and operation system is based on Arduino technology, the engines are controlled by programming both drivers as modules stepper motors and a pneumatic system has a quick coupler to suit any compressed air system.

### **KEYWORDS:**

- **WINDING MACHINE**
- **WINDING**
- **ARMATURE**
- **ELECTRICAL ARMATURE**
- **ELECTRIC MOTOR**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” muestra a través de su historia un liderazgo nato en el impulso tecnológico, lo que se ha demostrado en su fructífera historia. El presente proyecto busca gracias a los conocimientos impartidos en nuestra prestigiosa institución, solucionar un problema que se ha suscitado desde hace tiempo en la industria ecuatoriana, que es el mantenimiento, reparación y reutilización de inducidos para motores eléctricos en la industria nacional. Situación que no se ha solucionado por los costos exorbitantes que conlleva, pues estos procesos se realizan con equipos importados de países con mayor desarrollo tecnológico.

El problema se da por la falta de maquinaria en el país para el mantenimiento, reparación y reutilización de inducidos para motores eléctricos. Lo que se hace localmente en la actualidad, es importar repuestos nuevos o re-manufacturados del exterior, pero debido al aumento de aranceles en Ecuador para la importación de maquinaria y materia prima, el costo se ha elevado. En el caso de la reparación manual se requiere de un proceso que toma entre 6 a 8 horas de trabajo por parte de un técnico capacitado. Además, es importante recalcar que los rotores en mal estado no son biodegradables y no se los puede usar para otra aplicación a menos que se los repare.

Por los motivos antes mencionados, se propone la creación de una máquina bobinadora de rotores eléctricos semiautomática para la reparación de los mismos, capaz de bobinar inducidos de motores eléctricos con diámetros comprendidos entre 30 a 70 milímetros, disminuyendo así, el tiempo de reparación y garantizando un posicionamiento óptimo del alambre de cobre de acuerdo al esquema de bobinado previamente configurado en el equipo.

Esta máquina contará con motores a paso que permitan controlar tanto el posicionamiento del rotor, como las vueltas de alambre dadas en el bobinado, se usarán drivers para los motores que suministren la energía necesaria en el proceso, juegos de bandas dentadas y engranes como sistema de transmisión de potencia, un mandril auto

centrante para sujetar los rotores, un sistema automático de pistones que posicionarán las guías para el ingreso del cable al inducido, además de asegurar el rotor en cada paso de delga a delga.

Empresas de varios países comercializan máquinas de este tipo para el proceso de bobinado en rotores, traer un equipo de este tipo desde Japón, Argentina o Estados Unidos, tiene un costo alrededor de \$10.000, por lo que en el país no es rentable la importación de las mismas.

La empresa auspiciante del proyecto mostró interés en la propuesta ya que su principal línea de trabajo es el mantenimiento y reparación de maquinaria eléctrica, dando a sus clientes la posibilidad de arreglar sus equipos de manera rápida, eficiente y a bajo costo. La reparación de equipos reemplazando partes dañadas por partes nuevas (necesariamente importadas), tiene un costo muy alto, además significa tiempos muertos en la utilización de la máquina, situación que no es favorable. Es importante para la empresa contar con un equipo que brinde la funcionalidad adecuada para el proceso de bobinado, lo que será de gran ayuda para aumentar su oferta laboral.

## **1.2. Marco Institucional**

“Servicios eléctricos industriales Delta Ambato – Ecuador” es una empresa fundada en el año de 1988, orientada a brindar servicio de mantenimiento y reparación para equipos industriales con sistemas eléctricos en la ciudad de Ambato, además de venta de equipos y repuestos para bombas de agua, compresores, generadores, motores, taladros, pulidoras, sierras, etc. Adicional a esto, uno de sus servicios es el rebobinado de motores de inducción eléctrica trifásicos y monofásicos con voltajes de operación de 110V o 220V.

### **1.2.1. Institución auspiciante y/o beneficiaria.**

La institución beneficiaria del proyecto es la empresa “SERVICIOS ELECTRICOS INDUSTRIALES DELTA AMBATO - ECUADOR”, la empresa requiere este tipo de

máquina para la reparación del bobinado de rotores (inducidos eléctricos) para máquinas eléctricas industriales y de uso doméstico.

#### **1.2.2. Misión.**

“Servicios Eléctricos Industriales Delta”, es una empresa de mantenimiento industrial eléctrico, que tiene por objetivo dar al cliente una amplia gama de servicios para equipos eléctricos, orientándose a ser una de las mejores opciones en la zona centro del Ecuador en mantenimiento y venta de maquinaria eléctrica.

#### **1.2.3. Visión.**

“Servicios Eléctricos Industriales Delta”, tiene previsto aumentar cada año su influencia en el sector industrial, creciendo como empresa de mantenimiento para equipos eléctricos. Buscando dar al cliente la mejor opción en calidad de trabajo, de una manera eficiente y responsable.

#### **1.2.4. Valores institucionales.**

La conducta de todos en la empresa, se mantendrá siempre bajo la práctica de los valores empresariales puntualizados a continuación:

- Honestidad a toda prueba.
- Respeto a la libertad de pensamiento.
- Orden, puntualidad y disciplina conscientes.
- Búsqueda permanente de la calidad y excelencia.
- Respeto a las personas y los derechos humanos.
- Alta conciencia ciudadana
- Asesoramiento y cordialidad.

#### **1.2.5. Localización geográfica.**

La empresa “SERVICIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES DELTA” se encuentra localizada en:

- País: Ecuador.

- Región: Sierra.
- Provincia: Tungurahua.
- Cantón: Ambato.
- Barrio: Ciudadela Oriente.
- Dirección: Avenida los Chasquis.

### **1.3. Justificación**

En la actualidad, las industrias ecuatorianas dedicadas a la reparación de maquinaria con motores de inducido eléctrico, en los que el bobinado está dañado son escasas, se podría decir que hasta nulas, pues no existen empresas dedicadas a esta labor que posean un mercado suficientemente grande para que la adquisición de una máquina bobinadora automática sea rentable. Esta actividad, es realizada en el país por pequeños artesanos que reparan los inducidos eléctricos de manera manual, lo que toma un tiempo excesivo en la reparación, aproximadamente 6 horas de trabajo; adicional a esto, cabe mencionar que, si el proceso es realizado manualmente, los devanados no son distribuidos de manera uniforme, lo que crea abultamientos de cobre en diferentes zonas del bobinado, situación que al trabajar a altas velocidades genera el descentramiento del rotor.

El presente proyecto de grado, busca reducir el tiempo de reparación de inducidos eléctricos, con un bajo costo, alta calidad y confiabilidad en el funcionamiento del motor. Una máquina bobinadora de rotores como la propuesta, va a dinamizar el desarrollo de empresas de producción, por lo tanto, al reducir el tiempo de mantenimiento se tendrán menos tiempos muertos de producción; además, a largo plazo, se pueden generar empresas dedicadas a la fabricación de motores eléctricos, lo que abre una amplia gama de producción de equipos básicos para consumo nacional, ya que cada hogar ecuatoriano posee una licuadora, una aspiradora, un refrigerador, un taladro, etc. Y estos productos van a poder ser fabricados en nuestro país, mediante diseños propios y con mano de obra ecuatoriana, reduciendo enormemente los costos, acercando la tecnología a las industrias nacionales, situación que en algún momento

podría generar un sinnúmero de empresas dedicadas a la fabricación de equipos eléctricos para su venta local y exportación a países cercanos.

#### **1.4. Área de influencia**

El área de influencia para el presente proyecto será la empresa “SERVICIOS ELECTRICOS INDUSTRIALES DELTA” la cual se dedica al mantenimiento y venta de maquinaria eléctrica, por lo que utilizará la máquina bobinadora de rotores como una herramienta para reparar inducidos eléctricos.

Esta empresa tiene sus oficinas y taller ubicado en la ciudad de Ambato – Ecuador, sus principales clientes son empresas ubicadas en la zona centro del país, que comprende ciudades como, Latacunga, Guaranda, Riobamba, Puyo, y cantones como Huambaló que son productores de muebles, Pelileo dedicados a la manufactura de jeans, y otros que están dedicados principalmente a la producción.

Ambato se considera una ciudad altamente industrial, que posee empresas como carrocías, industrias de calzado, floricultoras, constructoras, industrias de vidrio y metal, las mismas que ocupan a diario maquinaria eléctrica, por lo que tienen una gran necesidad de mantenimiento industrial rápido y oportuno.

#### **1.5. Descripción del proyecto**

La máquina bobinadora de rotores semiautomática constará de tres sistemas que son:

##### **1.5.1. Sistema Mecánico.**

Es el encargado de la parte estructural de la máquina bobinadora semiautomática de rotores, esto incluye la mesa, el sistema de transmisión de potencia, los brazos, el sistema neumático, el mandril, las guías para el alambre, la estructura en general, etc. Constará de motores que son los encargados de brindar la potencia a la máquina para

el bobinado de los devanados frontales, y para el avance de paso del rotor respetando el diagrama de construcción del mismo.

Se debe tomar en cuenta que los alambres de cobre de la mayoría de rotores a ser reparados son muy delgados, aproximadamente de 0.5 a 1 mm de espesor, por tal motivo, constará de tensores y brazos mecánicos, además con un soporte para carretes de alambre de cobre. La máquina puede variar de tamaño, aproximadamente de 0.75 a 1.20 metros cuadrados de área, en base a los requerimientos de diseño que se obtengan.

### **1.5.2. Sistema Electrónico.**

Constará de elementos como placas electrónicas, control electrónico, potencia, sensores, actuadores; elementos básicos de electrónica como resistencias, capacitores, inductancias, transistores y demás elementos necesarios para el correcto funcionamiento del mismo.

Una parte fundamental en la máquina bobinadora semiautomática de rotores, es el control sobre el número de vueltas que da el alambre de cobre sobre los devanados, por tal razón, constará de motores a pasos en los que se puede realizar un control sin realimentación. El motor se ubicará de tal manera que pueda transmitir la potencia necesaria a los brazos con el alambre.

Los motores serán accionados y controlados por señales enviadas desde el controlador a los drivers, proceso que estará sincronizado de acuerdo a la configuración ingresada por el operador.

### **1.5.3. Sistema de Control.**

El sistema será controlado mediante programación en el microprocesador arduino, mismo que estará configurado para contar el número de vueltas en los devanados del rotor y a su vez el número de paso del diagrama eléctrico de cada rotor, reconociendo así el inicio y fin del bobinado del inducido eléctrico; esta parte es una de las más

importantes y críticas de la máquina bobinadora ya que tendrá que ser precisa en el conteo del número de vueltas y giro del rotor, deberá detenerse y esperar un tiempo específico donde el operario realiza los taps e identificación de los mismos para que estos puedan ir en el colector del inducido después de bobinarlo si es que este no presenta argollas para sujeción.

Al iniciar el proceso se deben ingresar parámetros a la máquina, que son el número de vueltas de alambre y el avance angular del mandril. Al presionar el botón inicio, el mandril rota un ángulo que dependerá del paso angular ingresado del rotor, se activa y desactiva las electroválvulas, para mover los cilindros simple efecto usados en la sujeción del rotor y el posicionamiento de las guías por las que se orienta el alambre, se encienden los brazos que dan el número de vueltas programadas, al terminar este ciclo, el sistema enciende una luz verde para que el operador de la orden de continuar con el siguiente ciclo. Cabe mencionar que el sistema contará con un botón de paro de emergencia, ya que puede haber fallas, como rupturas de alambre por tensiones elevadas, etc.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. General.**

- Diseñar y construir una máquina semiautomática para el bobinado de inducidos de motores eléctricos, para la empresa “Servicios Eléctricos Industriales Delta” (Ambato – Ecuador).

### **1.6.2. Específicos.**

- Diseñar específicamente los componentes mecánicos y electrónicos de la máquina para que sea posible su operación en inducidos de motores eléctricos de un diámetro comprendido entre (30 -70) mm.
- Dar autonomía de funcionamiento a la máquina para realizar el bobinado completo de un inducido eléctrico, basado en especificaciones solicitadas por la empresa auspiciante.

- Realizar el algoritmo de secuencia de funcionamiento de la máquina, para que cumpla con el proceso de manera cíclica.
- Diseñar la interfaz de la máquina, para el ingreso de los parámetros requeridos por el usuario para el proceso.

### 1.7. Metodología

Para el diseño del proyecto en curso existen múltiples metodologías, pero se eligió la norma alemana VDI 2221, ya que esta presenta características de desarrollo de proyectos mecatrónicos, versatilidad y conceptos puntuales para ser aplicados. Fue publicada por la sociedad de ingenieros profesionales VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, y genera un enfoque sistemático del problema. El proceso para el diseño completo del proyecto en curso se basa en las recomendaciones de esta norma en diferentes etapas. La primera etapa es requisitos de diseño.

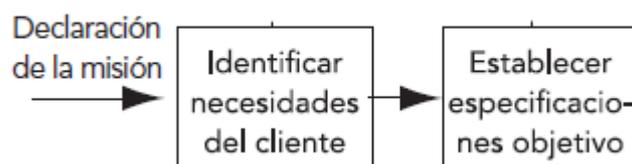


Figura 1 Declaración de la misión

Una vez planteado los requerimientos y necesidades del cliente la siguiente etapa es generar conceptos, seleccionarlos para luego ser probados, generando una matriz de combinación con las posibles soluciones al problema para poder elegir los mejores, cabe mencionar que este paso se recomienda no generar más de 4 conceptos viables ya que puede dificultar el procedimiento de diseño.

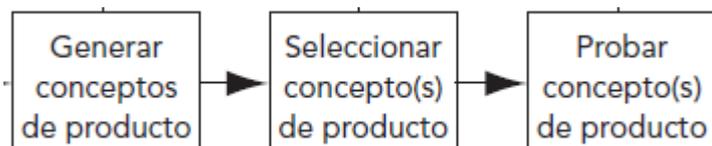


Figura 2 Proceso de requerimientos

En el camino de diseño se recomienda subdividir en subprocesos los mismos al ser una máquina mecatrónica, se divide en tres estructuras fundamentales: mecánica, electrónica, control. Estableciendo así especificaciones finales en cada una de las estructuras ya mencionadas.



Figura 3 Requerimientos finales.

La siguiente etapa recomienda realizar diagramas, bosquejos CAD, para conseguir la documentación del producto, construcción de prototipos, pruebas y correcciones posibles.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Teoría del bobinado de rotores**

Para poder comprender lo que es bobinar rotores primero se debe definir la palabra bobinar, la misma significa enrollar alambre de cobre en cierto lugar en este caso en un núcleo de material ferroso para que al momento de alimentar dicha bobina o devanando de alambre de cobre este produzca magnetismo y así generar campo magnético, el principio de funcionamiento de los rotores se basa en transformar energía eléctrica en energía mecánica rotacional.

Los motores eléctricos se encuentran en cualquier lugar, moviendo fluidos, aire etc. Para poder entender el principio de funcionamiento electromagnético se puede generar un experimento realizado hace siglos, se conoce sobre la existencia de sustancias capaces de atraer pequeños trozos de hierro o de limaduras. Estas sustancias son óxidos, en particular óxido magnético o magnetita ( $\text{FeO}_4$ ), son los imanes naturales.

Si se frota, siempre en el mismo sentido, un trozo de acero de forma alargada con un imán natural se obtiene un nuevo imán, en este caso será un imán artificial. El mismo resultado puede obtener con una corriente eléctrica.

#### **2.1.1. Reparación y Bobinado de motores Eléctricos.**

Para poder determinar si un motor eléctrico se encuentra con daños o fallas en sus devanados se deben seguir varios procesos de mantenimiento correctivo, siendo el siguiente:

- Con un multímetro se debe revisar continuidad del cable de alimentación de corriente eléctrica al siguiente punto siendo el interruptor.
- Revisar continuidad en el interruptor, carbones o escobillas, estator, si uno de ellos reporta una falla se corrige y se continua con el proceso de seguir existiendo más fallas posibles.

- Si lo anterior mencionado se encuentra en perfectas condiciones se procede a desmontar el rotor de la máquina eléctrica, para poder medir continuidad en cada uno de los devanados del rotor haciendo contacto en cada delga del colector, como se muestra en la figura siguiente.

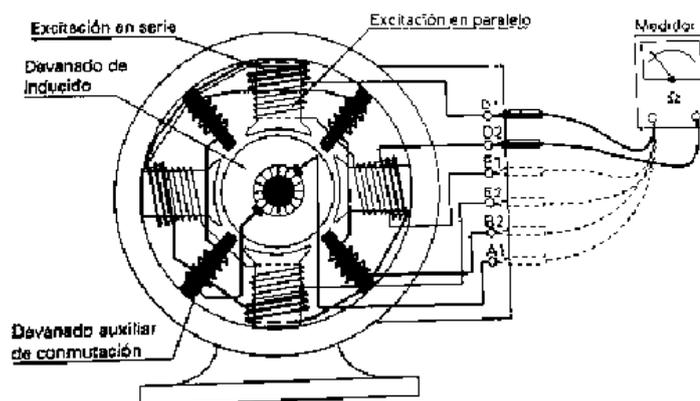


Figura 4 Esquema de localización de conductores cortados

Fuente: Martínez 2016

### 2.1.2. Localización de contactos a masa en el inducido.

Contacto a masa se refiere si algún cable o alambre de cobre está topando o rozando con la carcasa o estator de la máquina eléctrica, para poder revisar este posible problema se debe comprobar con un multímetro en modo continuidad la salida de los alambres de alimentación eléctrica, e ir topando con una de las puntas a cada parte metálica de la máquina eléctrica, puede ser el estator, carcasa metálica, porta carbones metálicos, tornillos y partes, etc. También se recomienda comprobar que no exista contactos a masa en los devanados con la parte metálica del mismo rotor como se muestra en la figura número 5.

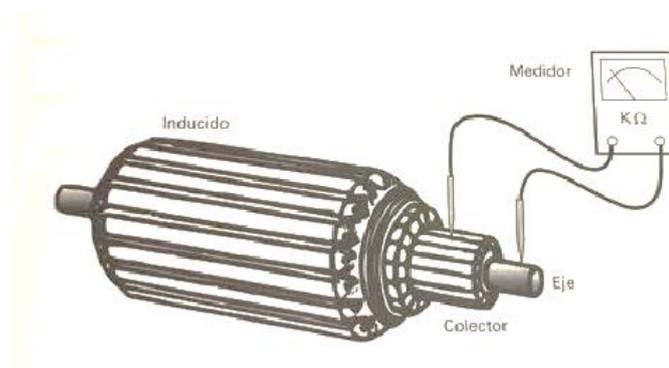


Figura 5 Verificación de contactos a masa, en el inducido, con polímetro

Fuente: Martínez 2016

## 2.2. Teoría del funcionamiento de máquinas eléctricas

Para poder definir la teoría del funcionamiento de máquinas eléctricas de inducción se debe aclarar el concepto de máquina y viene siendo un objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado, generalmente transformando una forma de energía en movimiento o trabajo.

### 2.2.1. Inducción electromagnética

Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en medio móvil respecto a un campo magnético estático no uniforme

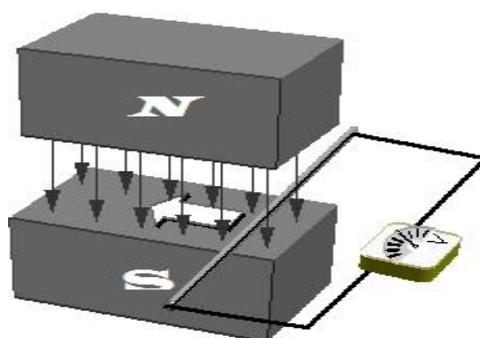


Figura 6. Inducción electromagnética.

Fuente: Fitzgerald 2016

Las maquinas tradicionales de corriente alterna se clasifican en una de dos categorías:

- Síncronas
- De inducción

### **2.2.2. Máquinas síncronas**

Las corrientes de devanado del rotor se abastecen directamente de la estructura estacionaria a través del contacto de rotación, mientras que en las de inducción, las corrientes del rotor se inducen en los devanados del mismo por una combinación de la variación temporal de las corrientes del estator y mediante el movimiento del rotor relativo al estator.

### **2.2.3. Máquinas de inducción**

También se utiliza como un transformador de frecuencias, se clasifican en función de la movilidad de sus componentes en máquinas estáticas y máquinas rotativas. Máquinas estáticas son aquellas que, en funcionamiento, tienen todas sus partes fijas. La máquina estática fundamental es el transformador.

Maquinas rotativas son todos los motores de inducción eléctrica.

Generalidades y tipos de motores Eléctricos.

Se denomina motor eléctrico a toda máquina capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo general, todo motor eléctrico está formado por tres partes principales, tal como se ve en la figura.

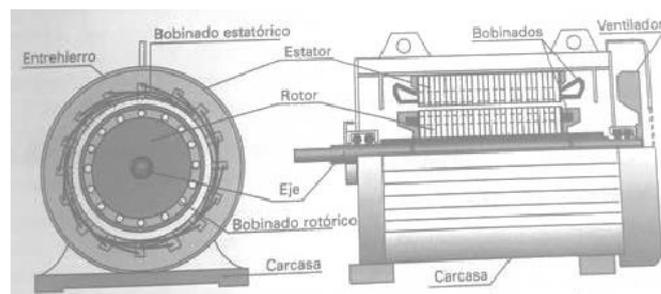


Figura 7 Motor Eléctrico, asíncrono Trifásico dibujado en sección

Fuente: Martínez 2016

La carcasa o envolvente es la parte externa de los motores y puede estar construida en acero, hierro fundido o cualquier otra aleación metálica, como puede ser de aluminio y silicio.

Las máquinas eléctricas cuentan con devanados los mismos se encuentran repartidos de tal manera para generar polos electromagnéticos y estos inducen al rotor ya sea que tenga devanado interno o no, haciéndolo girar transformando energía eléctrica en energía mecánica.

### 2.3. Teoría de funcionamiento de microcontroladores

El microcontrolador es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, por lo que se trata de una computadora completa en un solo circuito integrado programable y tiene como objetivo realizar las operaciones indicadas en el programa que reside en su memoria. Sus entradas y salidas soportan la conexión de sensores y actuadores del dispositivo que va a ser controlado.

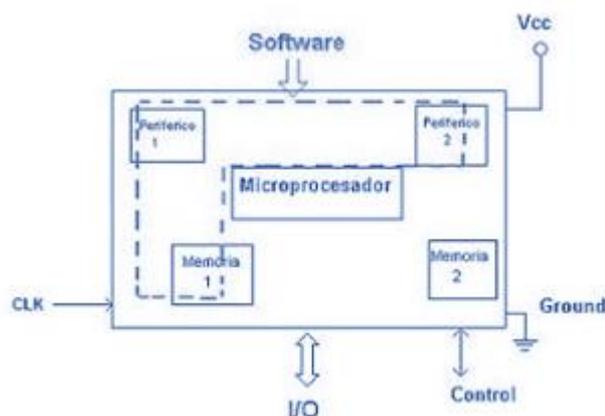


Figura 8 Bosquejo de un microprocesador

Fuente: Google images 2016

Un microcontrolador se diferencia de una CPU normal pues es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo.

El microcontrolador es un sistema cerrado. Todas las partes del computador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos. En la práctica cada fabricante de microcontroladores oferta un elevado número de modelos diferentes, desde los más sencillos hasta los más poderosos. Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc. Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar.

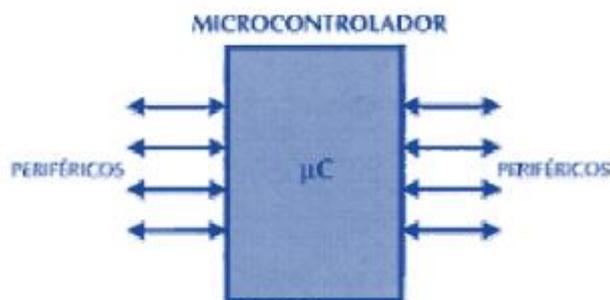


Figura 9 Periféricos de un microcontrolador.

Fuente: Google images 2016

### **2.3.1. Puertas de Entrada y Salida**

La principal utilidad de las líneas de E/S es comunicar al computador interno con los periféricos exteriores. Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
- Puerta paralela esclava, para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.
- USB (Universal Serial Bus), bus moderno serie para los PC.
- Bus I2C, interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.
- CAN (Controller Area Network), para permitir la adaptación con redes de conexión multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles.

### **2.3.2. El microcontrolador pic**

Los 'PIC' son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instruments. El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (Controlador de Interfaz Periférico).

El PIC original se diseñó para ser usado con la nueva UCP de 16 bits CP16000. Siendo en general una buena UCP, ésta tenía malas prestaciones de E/S, y el PIC de 8 bits se desarrolló en 1975 para mejorar el rendimiento del sistema quitando peso de E/S a la UCP. El PIC utilizaba microcódigo simple almacenado en ROM para realizar estas tareas; y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador.

### 2.3.3. Características PIC

- Núcleos de UCP de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada
- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes
- Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios)
- Temporizadores de 8/16 bits
- Tecnología Nanowatt para modos de control de energía
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART, EUSART
- Conversores analógicos/digital de 8-10-12 bits
- Comparadores de tensión
- Módulos de captura y comparación PWM
- Controladores LCD
- Periférico MSSP para comunicaciones I<sup>2</sup>C, SPI, y I<sup>2</sup>S
- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura
- Periféricos de control de motores
- Soporte de interfaz USB
- Soporte de controlador Ethernet
- Soporte de controlador CAN
- Soporte de controlador LIN
- Soporte de controlador Irda
- Variaciones del PIC

### 2.3.4. AVR

La arquitectura básica de AVR fue diseñado por dos estudiantes del Instituto Noruego de Tecnología (CLN), Alf- Egil Bogen y Vegard Wollan , y luego fue adquirido y desarrollado por Atmel en 1996. AVR según Atmel es nada más que el nombre del producto, pero puede referirse a Advanced Virtual RISC o Alf y Vegard RISC (los nombres de los diseñadores AVR). Hay muchos tipos de microcontrolador

AVR con diferentes propiedades. Excepto por AT32, que es un 32 - bit de microcontrolador, RAV son todos los microprocesadores de 8 bits, lo que significa que la CPU puede trabajar en sólo 8 bits de datos a la vez. Datos con un tamaño de 8 bits tiene que ser roto en pedazos de 8 bits para ser procesados por la CPU. Uno de los problemas con los microcontroladores AVR es que no son todo lo que 100 % compatibles en términos de software cuando se pasa de una familia a otra familia. Para ejecutar los programas escritos para los ATtiny25 en un ATMEGA64, tenemos que volver a compilar el programa y posiblemente cambiar algunas ubicaciones del registro antes de cargarlo en la ATMEGA64.

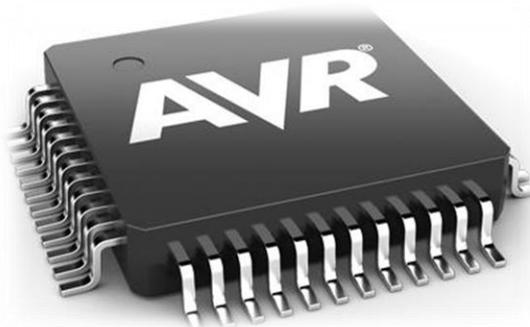


Figura 10 Bosquejo de un AVR comercial.

Fuente: wordpress.com 2016

### **2.3.5. Características AVR**

El AVR es un 8-bit RISC microcontrolador de chip único con arquitectura Harvard que viene con algunas características estándar como el programa en el chip (código) ROM, RAM de datos, los datos EEPROM, temporizadores y puertos I / O. Consulte la Figura 1-2. La mayoría de los AVR tienen algunas características adicionales como ADC, PWM, y diferentes tipos de interfaz en serie como USART, SPI, I2C (TWI), CAN, USB, etc. Consulte las Figuras 1-3 y 1-4. Debido a la importancia de estos periféricos, hemos dedicado un capítulo entero a muchos de ellos. Los detalles de la memoria RAM / ROM y E / S de las características de los Mega se dan en los próximos capítulos.

## 2.4. Teoría del Funcionamiento de Elementos Neumáticos

La neumática es emplea aire comprimido para transmitir la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y, por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según los gases ideales. (Sistemas hidráulicos y neumáticos, 2012)

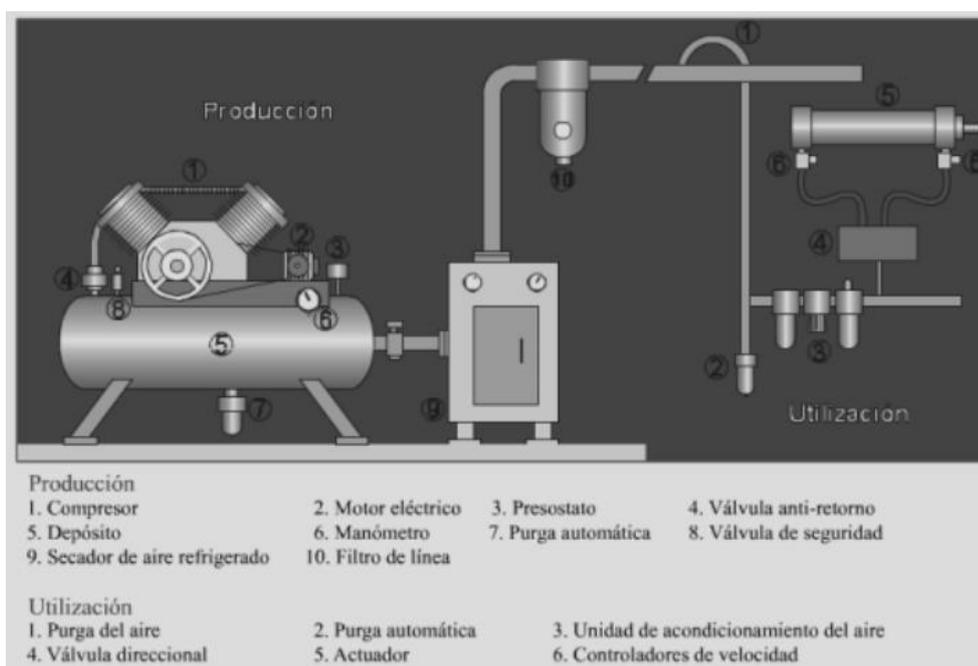


Figura 11 Elementos de un sistema neumático.

Fuente: aiu.com Sistemas neumáticos e hidráulicos PDF 2016

### 2.4.1. Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos son dispositivos mecánicos que producen una fuerza de empuje, a menudo conjuntamente con movimiento, y se accionan por la energía almacenada de un gas comprimido generalmente aire.

Para realizar su funcionamiento, los cilindros neumáticos imparten fuerza que se genera al convertir la energía potencial del gas comprimido en energía cinética. Esto es debido al gas comprimido que puede ampliarse, sin entrada de energía externa, fenómeno que ocurre debido al gradiente de presión que se genera por el gas

comprimido que estaba a una mayor presión que la presión atmosférica. Esta expansión del aire fuerza al pistón a moverse en la dirección deseada. El cilindro es una pieza hecha con metal fuerte porque debe soportar a lo largo de su vida útil un trabajo a alta temperatura con explosiones constantes de combustible y ciclos de trabajo de carga, lo que lo somete a un trabajo excesivo bajo condiciones extremas.

Se utilizan ampliamente en el campo de la automatización para el desplazamiento, alimentación o elevación de materiales o elementos de las mismas máquinas.

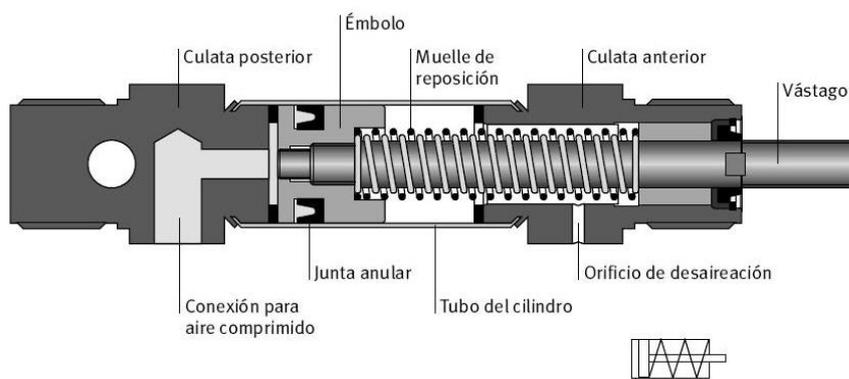


Figura 12 Ilustración de un cilindro simple efecto retorno por muelle

Fuente: aiu.com Sistemas neumáticos e hidráulicos PDF 2016

#### 2.4.2. Válvulas neumáticas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión del aire. Según norma DIN 24300 y recomendaciones CETOP (Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques), se subdividen en cinco grupos:

- Válvulas de vías o distribuidores.
- Válvulas de bloqueo.
- Válvulas de presión.
- Válvulas de caudal.
- Válvulas de cierre

### 2.4.3. Válvulas de vías o distribuidores.

Se denomina vía a cada uno de los orificios a través de los cuales puede circular el aire en su proceso de trabajo o evacuación. En válvulas dotadas de pilotaje neumático, la conexión que permite la entrada de aire para el control de la válvula no se considera vía, ya que se trata de un sistema de accionamiento. (<http://isa.uniovi.es/> 2016)

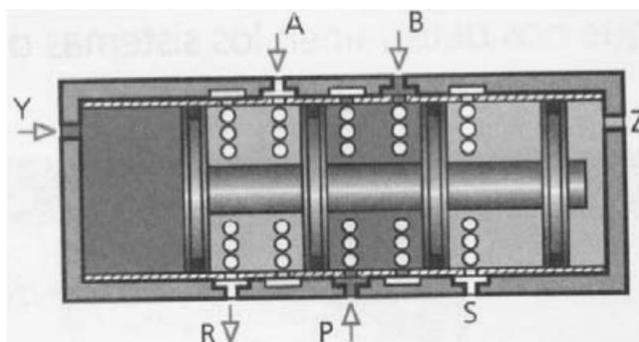


Figura 13 Corte de una Válvula, vías y distribuciones

Fuente: aiu.com Sistemas neumáticos e hidráulicos PDF 2016

El número de posibilidades diferentes de comunicar las vías entre sí es determinado por el número de posiciones que maneja una válvula

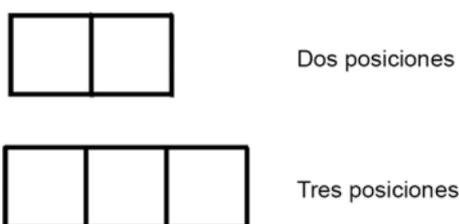


Figura 14 Número de posiciones en Válvulas

Las tuberías o conductos se representan por líneas. El sentido de circulación es representado por flechas. La posición de paso abierto de una válvula se representa por medio de una flecha de un extremo a otro del cuadrado.



Figura 15 Sentido de circulación de fluido de válvulas

Las posiciones de cierre dentro de las casillas se representan mediante una línea cortada, esto simboliza la interrupción de flujo

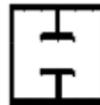


Figura 16 Posición de cierre de válvulas

Las válvulas de retorno por muelle son monoestables. Tienen una posición preferencial definida, a la cual vuelven automáticamente cuando desaparece la señal en sentido contrario

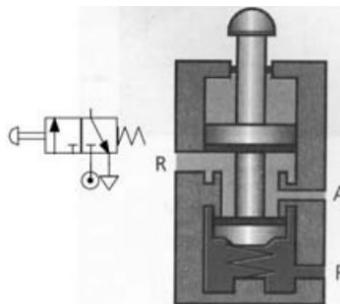


Figura 17 Válvula de retorno por muelle monoestables

Fuente: aiu.com Sistemas neumáticos e hidráulicos PDF 2016

Una válvula biestable no tiene una posición referencial y permanece en cualquier posición hasta que se activa una de las dos señales de impulso.

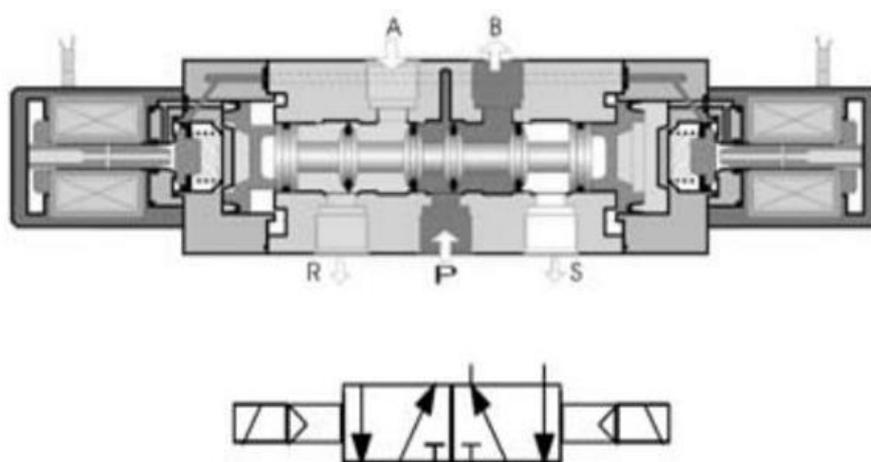


Figura 18 Válvula biestable

Fuente:

## CAPÍTULO III

### PROCESO DE DISEÑO

#### 3.1. Identificación de necesidades

La empresa Servicios Eléctricos Delta, que reside en la ciudad de Ambato, y está orientada al mantenimiento de maquinaria eléctrica, busca una oportunidad de emprendimiento al desarrollar una maquina bobinadora para rotores de motores eléctricos y así poder brindar el servicio de reparación de este tipo de equipos. Existen varios métodos de clasificación para identificar el tipo de necesidad, pero en especial dos dimensiones son útiles:

- El grado al que el equipo conoce la probable solución
- Hasta qué punto percibe la necesidad que la solución aborda.

Si el producto está basado en tecnología, podemos considerar las anteriores dimensiones como:

- Conocimiento de la tecnología
- Conocimiento del mercado

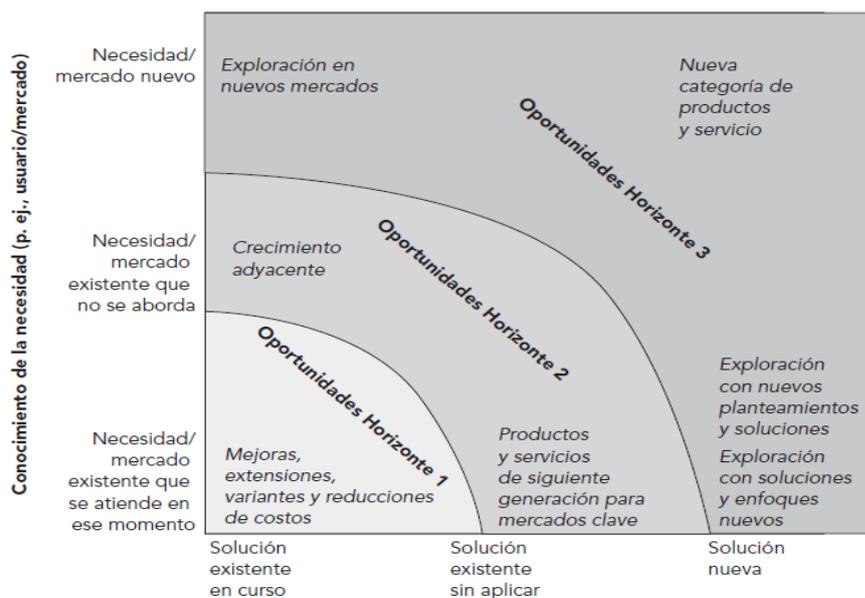


Figura 19 Conocimiento de las necesidades

Fuente:

Dado que la empresa busca financiar el proyecto con el objetivo de reducir costos de producción, y poder realizar mejoras en el proceso de bobinado de rotores, el desarrollo del presente proyecto se centra en las oportunidades de tipo horizonte 1, pues es una solución existente que busca atender una necesidad del mercado actual. El desarrollo del equipo va a ser enfocado en mejoras en los sistemas de control y reducciones de costos en comparación a equipos existentes del mismo tipo.

Sistemas que deben ser mejorados:

- Implementación de controles para verificación del proceso.
- Programación para la secuencia de activación de las etapas.
- Diseño del sistema de potencia para la activación de los motores.
- Conteo de vueltas del alambre de cobre
- Sistema de sujeción del rotor a ser bobinado.

### **3.1.1. Creación del estatuto de la empresa**

“Con el objetivo de aumentar las ganancias y mejorar la competitividad en el área de mantenimiento eléctrico, se va a financiar un proyecto para el desarrollo de una máquina, que de manera semiautomática bobine varios tipos de rotores eléctricos según parámetros preestablecidos.”

### **3.1.2. Evaluación de oportunidades**

Para evaluar la oportunidad y evidenciar si es viable, se utilizará el criterio de “marco real – ganar – vale la pena” tabulada en la siguiente tabla:

Tabla 1

Encuesta de necesidades

<b>¿Existe un mercado real y un producto real?</b>	
¿Hay necesidad? (¿cuál es la necesidad?, ¿cómo se satisface en la actualidad la necesidad?)	Si
¿El cliente compra? (tamaño del mercado, proceso de toma de decisión del cliente)	Si
¿El cliente comprará? (riesgos y beneficios percibidos, expectativas sobre precio y disponibilidad)	No
¿Ya hay un concepto viable para un producto? ¿Qué probabilidad tenemos de ser capaces de desarrollar un concepto viable?	Si
¿El producto es aceptable conforme a normas sociales, legales y ambientales?	Si
¿El producto es factible? ¿Puede fabricarse? ¿Se dispone de la tecnología?	Si
¿Satisface las necesidades?	
¿Nuestro producto satisfará el mercado? ¿Hay una ventaja en relación con otros productos?	Si
¿Se produce con costos bajos?	Si
¿Son aceptables los riesgos que perciba el cliente? ¿Cuáles son los obstáculos para su adopción?	Si
RESPUESTA	Si
¿Ganamos? ¿Nuestro producto o servicio es competitivo? ¿Tenemos éxito como empresa?	
¿Tenemos una ventaja competitiva? ¿Es sustentable? (desempeño, patentes, barreras para entrar, sustitución, precio)	Si
¿El momento es el correcto?	Si
¿Se ajusta a nuestra marca?	Si
¿Vencerá a nuestra competencia? (¿Cuánto mejorarán?, trayectorias de precios, nuevos participantes)	Si
¿Tenemos mejores recursos? (ingeniería, finanzas, mercadotecnia, producción; ajuste con competencias básicas)	Si

Continúa 

¿Tenemos la administración que puede ganar? (¿experiencia?, No ¿correspondencia con la cultura?, ¿compromiso con esta oportunidad?)	
¿Conocemos el mercado tan bien o mejor que los competidores? No (¿comportamiento del cliente?, ¿canales?)	
<b>RESPUESTA</b>	<b>Si</b>
¿Vale la pena hacerlo? ¿El rendimiento es adecuado y aceptable el riesgo?	
¿Ganaremos dinero?	<b>Si</b>
¿Tenemos los recursos y el efectivo para hacer esto?	<b>Si</b>
¿Los riesgos son aceptables para nosotros? (¿Qué puede salir mal?, riesgos técnicos contra riesgos de mercado)	<b>Si</b>
¿Se ajusta a nuestra estrategia? (corresponde a nuestra expectativa de crecimiento, impacto sobre la marca, opciones inherentes)	<b>Si</b>
<b>RESPUESTA</b>	<b>Si</b>

En base a la tabla, se evidencia una clara oportunidad de desarrollo del producto pues para el mismo existe un mercado real y un producto real, que pueden generar ganancias debido a que se cuenta con un producto competitivo y vale la pena el desarrollo pues presenta un riesgo aceptable en cuanto a sus ganancias potenciales.

### 3.1.3. Declaración de la misión del proyecto

*Tabla 2*

*Declaración de la misión*

<b>Declaración de la misión: Máquina bobinadora de rotores</b>	
<b>Descripción del producto</b>	Herramienta eléctrica para bobinar rotores eléctricos
<b>Propuesta de valor</b>	Realiza el bobinado de manera automática a mayor velocidad y precisión que de manera manual
<b>Metas clave de negocio</b>	Prestación del servicio de bobinado automático en las provincias de Tungurahua y zona centro del país

Continua 

<b>Mercado primario</b>	Reparación y mantenimiento de maquinaria eléctrica a nivel industrial
<b>Mercados secundarios</b>	Reparación de equipos caseros que funcionan en base a motores eléctricos
<b>Suposiciones</b>	Manual, eléctrico, neumático, con control del sistema
<b>Involucrados</b>	Auspiciante y el equipo de desarrollo del proyecto

### 3.1.4. Recopilación de datos sin procesar de los clientes

Dado que el cliente es una empresa que brinda servicio de mantenimiento eléctrico, la maquina no está destinada a ser comercializada sino a brindar el servicio. Por lo tanto, se tomó la decisión de realizar una entrevista al dueño de la empresa para entender mejor lo que busca obtener del producto. Posterior a esto se realizó una lluvia de ideas tanto entre el representante de la empresa, y los desarrolladores del equipo.

#### 3.1.4.1. Entrevista:

A. ¿Por qué busca desarrollar un equipo bobinador de rotores eléctricos?

El mercado de mantenimiento eléctrico se encuentra en continuo crecimiento, por esto es importante brindar siempre un servicio rápido y con acabado profesional. En la mayoría de equipos eléctricos el principal daño se da en los motores eléctricos, por problemas en el bobinado. Los equipos de bobinado automático son muy costosos, por lo que normalmente este proceso se lo realiza a mano, pero esto hace que tome mucho tiempo y no se obtenga un acabado excelente, además es difícil el contabilizar las vueltas del bobinado.

B. ¿Qué piensa usted que una maquina bobinadora necesita para su funcionamiento?

La parte principal que se necesita en la maquina es el sistema que da vueltas al alambre de cobre en el rotor eléctrico y que las contabiliza. Aparte de esto se necesita sujetar los rotores, guiar el alambre a las delgas.

C. ¿Qué tipo de energía piensa usted debe alimentar la maquina?

Definitivamente debe ser energía eléctrica, pues es el tipo de alimentación del que se dispone. Adicional a esto la empresa cuenta con una toma de aire comprimido que también puede ser utilizada para el funcionamiento del equipo.

D. ¿Qué le disgusta de equipos existentes?

El principal problema es el elevado costo y que son equipos importados. Generalmente estos no tienen una interfaz con al usuario fácil de utilizar. No tienen el control de rotación del rotor para la ubicación de la próxima delga, y se requiere un adaptador específico para cada diámetro y tipo de rotor. Otro inconveniente es que son equipos muy grandes y pesados.

E. ¿Qué le gusta de equipos existentes?

La facilidad para el proceso de bobinado, pues este proceso es muy tedioso de manera manual. Además, controlan la tensión del alambre de cobre para evitar que este se rompa y dañe todo el bobinado.

#### **3.1.4.2. Resumen de lluvia de ideas realizada**

Motor:

- Motor neumático
- Motor eléctrico AC
- Motor eléctrico DC
- Motor a pasos
- Motor a gasolina

Sistema de transmisión de potencia:

- Sistema de bandas
- Sistema de engranajes
- Motores acoplados a los ejes

Sistema de sujeción para movimiento circular del rotor:

- Pernos
- Mandril de taladro
- Mandril para cnc

- Sujeción magnética

Sistema de sujeción total del rotor para el momento del bobinado

- Cilindros neumáticos simple efecto
- Cilindros neumáticos doble efecto
- Fijación por pernos
- Fijación por sistema de resortes

Sistema de control de vueltas y funcionamiento del equipo

- Controlado por computadora
- Controlado por pic o avr
- Controlado por circuitos digitales (contadores, compuertas lógicas)
- Controlado por plc

Sistema de posicionamiento del rotor

- Servomotor
- Motor a pasos
- Motor DC con control de posición
- Manual

### 3.1.5. Interpretar necesidades del cliente

Las necesidades de los clientes se expresan como enunciados escritos y son el resultado de interpretar la necesidad que hay bajo los datos reunidos de los usuarios sin procesar. Cada frase dicha por el cliente debe interpretarse.

*Tabla 3*

*Plantilla de datos necesidades del cliente*

<b>Plantilla de datos del cliente</b>	
<b>Enunciado del cliente</b>	<b>Necesidad interpretada</b>
• Necesito bobinar rotores de forma rápida	• La MB bobina rotores de manera rápida
• La máquina debe dejar un acabado profesional en el bobinado	• La MB da un buen acabado al bobinado

Continua 

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debo contar las vueltas de alambre de cobre que se dan en cada delga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB cuenta las vueltas de alambre de cobre</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debo controlar la tensión del alambre para que no se rompa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB controla la tensión en el cable de cobre para que no se ropa</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tengo que girar el rotor para el próximo paso del bobinado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB realiza el posicionamiento angular del rotor de manera semiautomática</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debo usar energía eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB utiliza energía eléctrica para su funcionamiento</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quiero que la maquina no sea tan grande y pesada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB es pequeña y portátil</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesito bobinar rotores de diámetros específicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB es adaptable a diferentes diámetros</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La máquina debe tener un sistema que sujete el rotor con bastante fuerza mientras de bobina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB debe sujetar firmemente el rotor mientras se bobina</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe ser fácil de usar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB tiene una interfaz de usuario amigable</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Me gustaría que pueda pararlo si se da un malfuncionamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB dispone de un paro de emergencia</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debería tener aditamentos para que funcione con varios tipos de rotores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB dispone de piezas que se adaptan a varios tipos de rotores</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El costo debe ser significativamente menor a los equipos que hay en el mercado actualmente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB debe costar menos que las maquinas existentes en el mercado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preferiría que funcione con motores eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La MB debe ser activada por medio de motores eléctricos</li> </ul>

Continua 

- Se dispone de una toma de aire para que la maquina pueda funcionar también de manera neumática
- La MB puede usar partes neumáticas en su funcionamiento

*MB: Maquina bobinadora*

### 3.1.6. Organizar las necesidades en una jerarquía

Se debe organizar las necesidades por orden jerárquico, para identificar las más importantes y las que no son tan relevantes. Este proceso se detalla a continuación.

*Tabla 4*

*Necesidades del cliente*

	<b>Necesidad del cliente</b>	<b>Importancia</b>
<b>1</b>	La MB da un buen acabado al bobinado	5
<b>2</b>	La MB cuenta las vueltas de alambre de cobre	5
<b>3</b>	La MB tiene una interfaz de usuario amigable	5
<b>4</b>	La MB dispone de piezas que se adaptan a varios tipos de rotores	5
<b>5</b>	La MB realiza el posicionamiento angular del rotor de manera automática	4
<b>6</b>	La MB es adaptable a diferentes diámetros	4
<b>7</b>	La MB dispone de un paro de emergencia	4
<b>8</b>	La MB debe ser activada por medio de motores eléctricos	4
<b>9</b>	La MB controla la tensión en el cable de cobre para que no se ropa	3
<b>10</b>	La MB debe sujetar firmemente el rotor mientras se bobina	3
<b>11</b>	La MB debe costar menos que las maquinas existentes en el mercado	3
<b>12</b>	La MB bobina rotores de manera rápida	2
<b>13</b>	La MB es pequeña y portátil	2
<b>14</b>	La MB puede usar partes neumáticas en su funcionamiento	2

Continua 

<b>15</b>	La MB utiliza energía eléctrica para su funcionamiento	1
-----------	--	---

De la tabla, se observa que las necesidades más importantes a ser consideradas al momento del diseño de la maquina bobinadora son:

- Garantizar un buen acabado en el bobinado
- El control de vueltas del bobinado
- El disponer de una interfaz intuitiva y fácil
- Que sea adaptable a diferentes diámetros de rotores

### 3.2. Establecimiento de especificaciones

Las necesidades del cliente deben expresarse en lenguaje comprensible. Estas expresiones son útiles para crear un sentido claro de los problemas que son de interés para los clientes, sirven de muy poco respecto a cómo diseñar y construir el producto. Es necesario establecer un conjunto de especificaciones que explican, con detalles precisos y medibles, lo que el producto tiene que hacer.

#### 3.2.1. Lista de métricas

A continuación, se enlistan las métricas que van a ser consideradas para el diseño de la maquina bobinadora

*Tabla 5*

*Métricas de la máquina bobinadora de rotores*

#	Métrica
1	Longitud máxima del rotor
2	Longitud mínima del rotor
3	Diámetro máximo del rotor
4	Diámetro mínimo del rotor
5	Velocidad de rotación
6	Torque

Continua 

7	Potencia
8	Voltaje de alimentación
9	Material de estructura
10	Pasos por revolución motor secundario
11	Calibre del cable
12	Alimentación neumática
13	Tiempo máximo de bobinado

### 3.2.2. Benchmarking

Se encontró tres máquinas bobinadoras con procesos similares a los que se requiere desarrollar en el presente proyecto, el resumen de especificaciones se detalla a continuación.

1. SKR-8DQ-60-DG winding machine (\$12000)



Figura 20 Bobinadora comercial SKR – 8DQ – DG

Fuente:

2. Tecno modelo VT04 (\$8000)



Figura 21 Bobinadora TECNO modelo VT04

Fuente:

3. Automatic armature coil winding machine (\$50000)



Figura 22 Bobinadora Automática

Fuente:

### 3.2.3. Especificaciones objetivo

Tabla 6

Comparación de máquinas bobinadoras comerciales

#	Métrica	SKR-8DQ-60-DG winding machine	Tecno modelo VT04	Automatic armature coil winding machine	Unidad
1	Longitud máxima del rotor	70	80	300	mm

Continua 

2	Longitud mínima del rotor	0	10	20	mm
3	Diámetro máximo del rotor	60	60	60	mm
4	Diámetro mínimo del rotor	30	10	20	mm
5	Velocidad de rotación	600	1400	3000	RPM
6	Torque	-----	-----	-----	N.m
7	Potencia	1	0.37	1.5	KW
8	Voltaje de alimentación	AC 220	AC 110	AC 220	V
9	Material de estructura	Acero / Tol	Tol	Aluminio	
10	Paso motor secundario	0	-----	-----	Paso/RP M
11	Calibre del cable	0.02 - 0.45	0.15	0.8	mm
12	Air source	0.49 - 0.59	----- -	0.39 - 0.58	Mpa
13	T máx bobinado	-----	----- -	-----	Min

*Tabla 7*

*Especificaciones técnicas de maquina bobinadora*

#	Métrica	Valor ideal	Unidad
1	Longitud máxima del rotor	100	mm
2	Longitud mínima del rotor	40	mm
3	Diámetro máximo del rotor	70	mm
4	Diámetro mínimo del rotor	30	mm
5	Velocidad de rotación	200	RPM
6	Torque	2.1	N.m
7	Potencia	0.72	KW
8	Voltaje de alimentación	AC 110	V

Continua 

<b>9</b>	Material de estructura	ASTM36 / Tol	
<b>10</b>	Pasos por revolución motor secundario	800	Pasos/RPM
<b>11</b>	Calibre del cable	0.405 - 0.812	mm
<b>12</b>	Alimentación neumática	0.49 - 0.59	Mpa
<b>13</b>	Tiempo máximo de bobinado	10	Min

### 3.3. Generación de conceptos de la máquina

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Es una descripción concisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente. La generación de conceptos comienza con las necesidades del cliente y especificaciones objetivo, lo cual da como resultado un conjunto de conceptos del producto de los que el equipo hará una selección final.

#### 3.3.1. Aclarar el problema.

Los principales sistemas involucrados en diseño son los siguientes:

- Sistema mecánico
- Sistema electrónico
- Sistema de control

Para cada una se requiere identificar los posibles componentes que van a conformar el diseño del proyecto, por lo que se procede a detallarlos.

##### 3.3.1.1. *Sistema mecánico*

Este sistema está encargado de realizar el movimiento de la máquina para cumplir la función de bobinar un rotor. Consta de partes como un motor, un sistema de transmisión de potencia y un sistema de distribución de alambre de cobre sobre el rotor. A continuación, se indica los posibles componentes que pueden conformar el sistema mecánico.

Motor

- Motor AC/DC con encoder

Tanto los motores AC o DC requieren de un sensor para poder contar las revoluciones o vueltas que ha dado, en este caso el sensor es un encoder. Un motor AC puede trabajar a 110V, pero para un motor DC se requiere un transformador o una fuente de voltaje continuo. Se requiere un acondicionamiento de señal para leer la información enviada por el encoder.

- Servo motor

Los servomotores trabajan con control PWM (pulse width modulation), por lo que para ubicarlos en una posición específica solo se requiere enviar un tren de pulsos adecuados a la señal. El problema de un servomotor es que generalmente no trabajan a rangos mayores a 0 – 180 grados.

- Motor a pasos

Los motores a pasos son de alto torque a bajas revoluciones, además se controlan con trenes de pulsos o PWM. Se puede controlar tanto la velocidad angular como su posición angular sin necesidad de retroalimentación.

### **3.3.1.2. Sistema de transmisión de potencia.**

El sistema de transmisión de potencia incluye los componentes que van desde el motor hasta el sistema de distribución de alambre de cobre, esto incluye ejes, bandas, correas, rodamientos, chumaceras, cadenas.

- Banda de transmisión

Son elementos de transmisión mecánicas que funciona con una cinta que transmite potencia entre dos o más ruedas. Se pueden usar para unir el movimiento del motor al de los ejes.

- Cadena de transmisión

Son cadenas de eslabones metálicos que sirven para transmitir movimiento entre ruedas dentadas

- Rodamientos

Elementos que sirven para disminuir el rozamiento entre dos partes mecánicas que tienen movimiento relativo entre ellos.

- Chumaceras

Elemento mecánico utilizado generalmente para fijar ejes, consta de rodamientos en su interior y además su diseño permite fijarlos por medio de pernos.

### 3.3.1.3. Sistema neumático

Es necesario sujetar el rotor mientras se realiza el bobinado. El sistema neumático es el encargado de la sujeción del rotor. Se requiere una fuerza de sujeción alta, razón por la cual se usan sistemas neumáticos para esta tarea.

- Cilindro neumático doble efecto.
- Electroválvulas 5/3 con muelle

### 3.3.1.4. Sistema de control

Se requiere contar el número de vueltas del alambre de cobre en el bobinado del rotor, además de distribuir uniformemente para obtener un rotor balanceado. Aparte es necesaria una interfaz gráfica para el control del proceso, donde se deben ingresar los parámetros del bobinado.

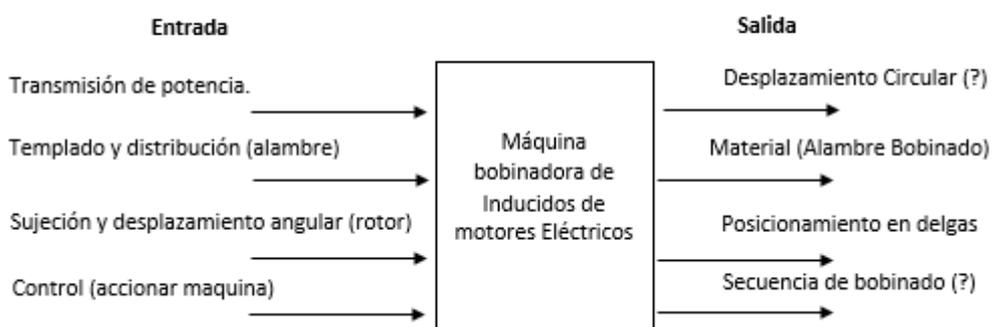
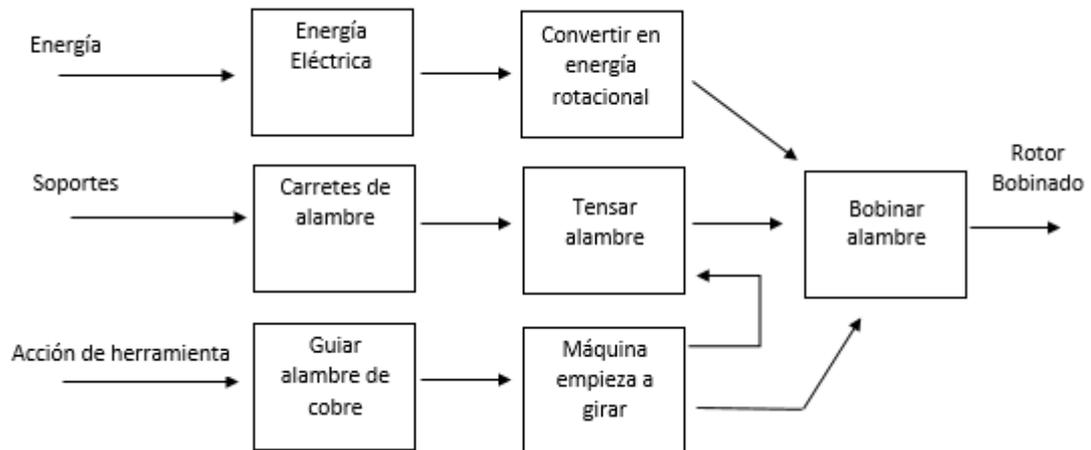


Figura 23 Requerimientos para conceptos



*Figura 24 Requerimientos necesarios que debe cumplir la máquina bobinadora*

### 3.3.2. Buscar externamente.

Se realizó un proceso de benchmarking con tres equipos de diferentes gamas en el mercado, en base a esto se ha identificado las especificaciones generales de máquinas bobinadoras. Adicionalmente se identificó el tipo de elementos que compone cada uno de los sistemas. Para mayor detalle referirse a la sección 3.2.2.

### 3.3.3. Buscar internamente.

Se realizó una lluvia de ideas, además de la recopilación proveniente de una entrevista para obtener ideas sobre el funcionamiento de una maquina bobinadora, y se obtuvo una lista de partes que se pueden incluir en el diseño como parte de los conceptos. Para mayor detalle referirse a las secciones 3.1.4 y 3.1.5.

### 3.3.4. Explorar Sistemáticamente.

Como consecuencia de las actividades de búsqueda externa e interna se ha recopilado fragmentos de conceptos los cuales se explorarán sistemáticamente para

revisar las posibles soluciones que se pueden utilizar en el diseño de la maquina bobinadora.

*Tabla 8*  
*Soluciones a subsistemas*

<b>Soluciones al subsistema mecánico</b>	<b>Soluciones al subsistema electrónico</b>	<b>Soluciones al subsistema de control</b>
Sujeción de rotor por medio neumático con pistones	Motores a pasos	Controlado por plc
Sujeción de rotor por motores y desplazamiento lineal	Motores DC	Controlado por arduino
Transmisión de potencia por bandas	Energía eléctrica	Controlado por microcontrolador
Transmisión de potencia por cadenas	Energía neumática	Controlado por computadora
Transmisión de potencia por matrimonio acoplado al eje	Circuito puente H	Control industrial (relés, timers, etc.)
Distribución alambre de cobre por poleas	Driver controlador de motores a pasos	HMI por computador
Distribución de alambre de cobre cañerías	Controlado por PWM	HMI panel de control
Distribución de alambre de cobre directa		

*Tabla 9*  
*Conceptos para el subsistema mecánico*

<b>Sistema mecánico</b>	Sujeción de rotor	Por medio neumático
		Por motor eléctrico y desplazamiento lineal
	Transmisión de potencia	Por bandas
		Por cadenas

Continua 

Distribución del alambre de cobre	Por matrimonio acoplado al eje
	Por poleas
	Por cañerías
	Por

*Tabla 10*

*Conceptos para el subsistema electrónico*

<b>Sistema electrónico</b>	Tipo de motores	Motores a pasos
		Motores DC
	Tipo de energía de alimentación	Energía eléctrica
		Energía neumática
	Tipo de circuitos de control	Circuito puente H
		Driver controlador de motores a pasos
Por control PWM		

*Tabla 11*

*Conceptos para el subsistema de control*

<b>Sistema de control</b>	Tipo de control	PLCs
		Arduino
		Microcontrolador
		Por computador
		Control Industrial
	Tipo de interfaz	HMI por computador
		HMI panel de control

### 3.4. Selección de conceptos

El proceso de generación de conceptos dio como resultado tres conceptos, los cuales deben ser analizados para determinar cuál de ellos va a ser seleccionado para su desarrollo. El proceso de selección de conceptos ayuda a determinar que conceptos son los más viables para seguir en el proceso de desarrollo y diseño.

### 3.4.1. Concepto 1.

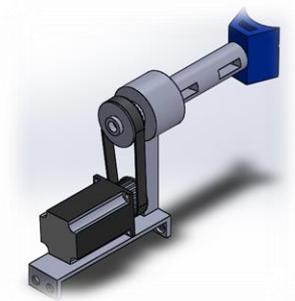


Figura 25 Modelado CAD concepto 1

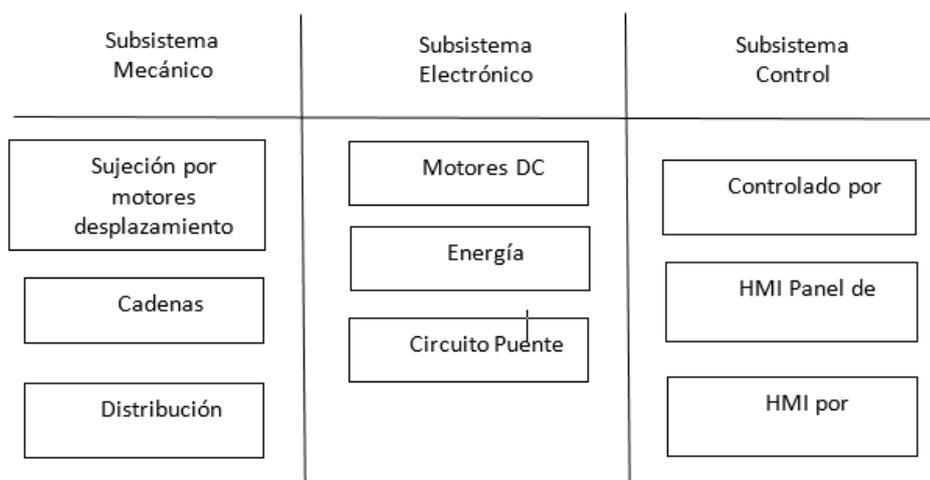


Figura 26 Combinación de concepto 1

### 3.4.2. Concepto 2.

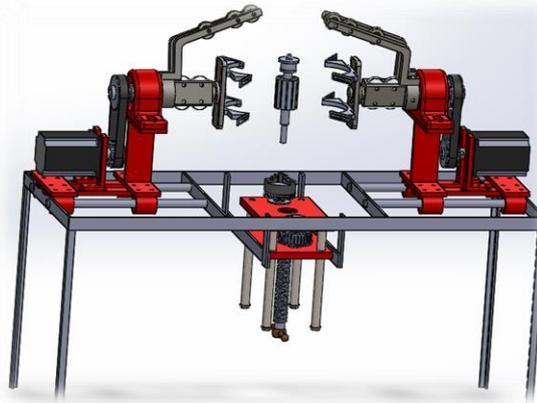


Figura 27 Modelado CAD concepto 2

Subsistema Mecánico	Subsistema Electrónico	Subsistema Control
Sujeción Pistones	Motor a pasos	PLC
Bandas	Energía	Control
Poleas Nylon	Driver CNC	HMI por computador

Figura 28 Combinación de concepto 2.

### 3.4.3. Concepto 3.

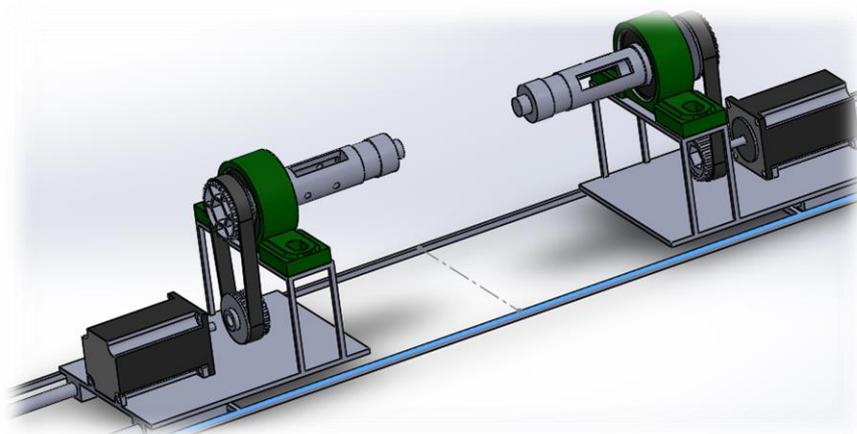


Figura 29 Modelado CAD concepto 3

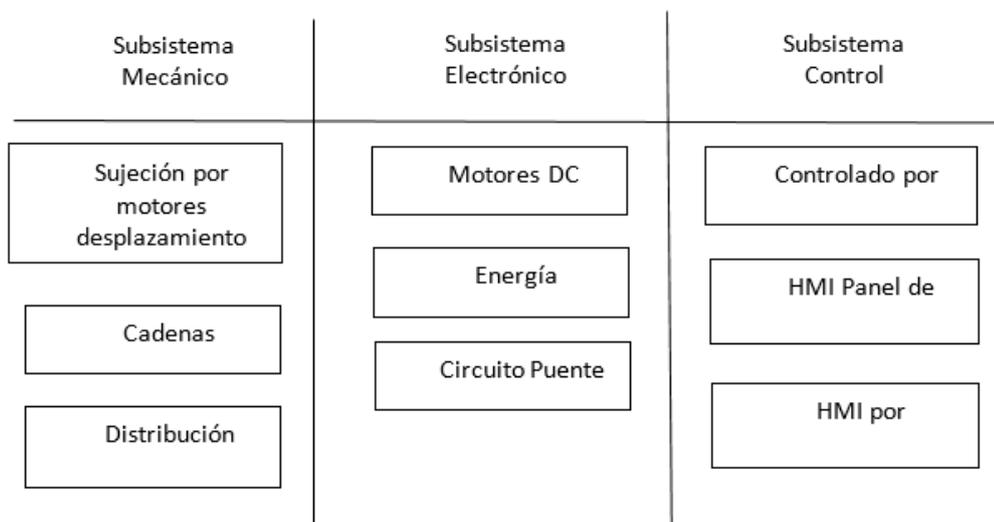


Figura 30 Combinación de concepto 3.

#### 3.4.4. Selección del concepto

Se realiza el análisis en una matriz de selección de conceptos

Tabla 12

Matriz de combinación de conceptos

Criterios de selección	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Facilidad de Manejo	0	+	-
Facilidad de uso	0	+	0
Facilidad de Adquisición	0	0	0
Precisión de bobinado	-	+	-
Durabilidad	0	0	0
Facilidad de manufactura	0	0	0
Portabilidad	0	0	0
Suma +	0	3	0
Suma 0	6	4	5
Suma -	1	0	2
Evaluación neta	-1	3	-2
Lugar	2	1	3

Continúa 

¿Continuar?	NO	SI	NO
-------------	----	----	----

Como resultado de la matriz de selección de conceptos se obtiene que el concepto 2 es válido para continuar con el diseño, por lo que el presente proyecto va a basarse en este.

Sistema mecánico:

- Transmisión de potencia por medio de bandas dentadas
- Sujeción del rotor por medio de un sistema neumático
- Distribución de alambre de cobre por medio

Sistema electrónico:

- Motores a paso
- Energía eléctrica y neumática
- Driver para motor a pasos

Sistema de control:

- Controlado por arduino
- HMI en panel de control

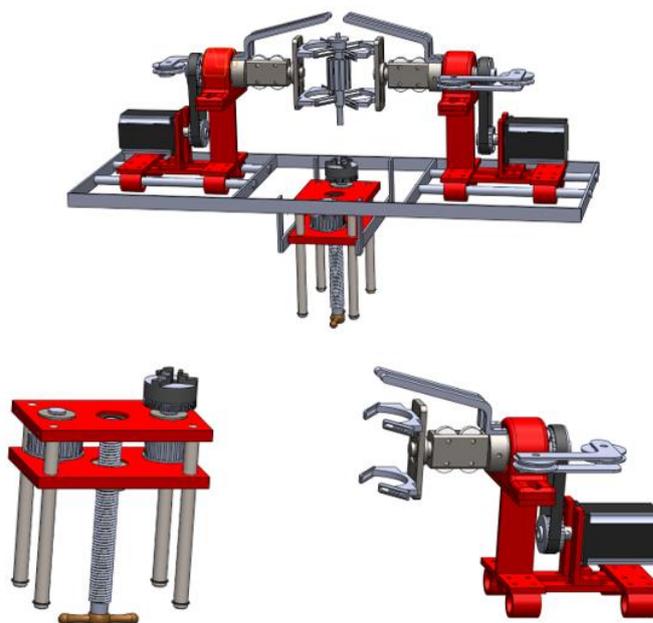


Figura 31 Modelado CAD del concepto seleccionado

### **3.5. Prueba de conceptos**

Las pruebas de conceptos son útiles para determinar la viabilidad de cada una de las ideas generadas, por lo que es vital para obtener un producto exitoso el dedicar tiempo a esta etapa del diseño. Se realizarán dos tipos de pruebas de conceptos, las simulaciones realizadas en software especializado y los prototipos funcionales de ciertas partes de la máquina.

#### **3.5.1. Propósito de la prueba de conceptos**

Se desea verificar el correcto funcionamiento del concepto seleccionado para el desarrollo de la máquina bobinadora, además se quiere ver si los parámetros establecidos están acorde a las necesidades de la empresa que financia el proyecto.

#### **3.5.2. Población a encuestar**

La población establecida para encuestar sobre el funcionamiento y parámetros de trabajo de la máquina es la empresa auspiciante, y los encargados del desarrollo del proyecto.

#### **3.5.3. Formato de encuesta**

Se seleccionó como formato la entrevista personal para exponer las ideas y presentar los primeros bosquejos y especificaciones de la máquina de manera que se puedan generar mejoras en el diseño establecido.

#### **3.5.4. Comunicar el concepto**

La selección del formato de encuesta está estrechamente unida a la forma en la que el concepto se ha de comunicar. Los conceptos pueden ser comunicados de forma óptima para su total entendimiento. Se ha seleccionado los bosquejos, ilustraciones y

simulaciones para transmitir una idea optima del funcionamiento que la maquina bobinadora de rotores va a tener.

### 3.5.5. Medición de la respuesta

La empresa servicios eléctricos delta, en conjunto con los desarrolladores del presente proyecto han analizado todos los fragmentos de conceptos obtenidos y han terminado que son adecuados para continuar en las siguientes etapas de diseño.

### 3.5.6. Interpretar la respuesta

De los resultados obtenidos en la entrevista se determinó que los conceptos previamente desarrollados eran los adecuados para el diseño de la maquina bobinadora, por lo que se ha decidido continuar con el proceso de diseño y sus posteriores etapas. Se han realizado ajustes que se determinaran en las especificaciones finales.

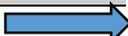
## 3.6. Especificaciones finales

Las especificaciones finales obtenidas están basadas en las métricas recopiladas en el proceso de generación de conceptos, además de prototipos y simulaciones realizadas en la etapa de prueba de conceptos.

*Tabla 13*

*Especificaciones finales técnicas de máquina bobinadora*

#	Métrica	Valor	Unidad
1	Longitud máxima del rotor	100	mm
2	Longitud mínima del rotor	40	mm
3	Diámetro máximo del rotor	70	mm
4	Diámetro mínimo del rotor	30	mm
5	Velocidad de rotación	200	RPM

Continua 

6	Torque	2.1	N.m
7	Potencia	0.72	KW
8	Voltaje de alimentación	AC 110	V
9	Material de estructura	ASTM36 / Tol	
10	Pasos por revolución motor secundario	800	Pasos/RPM
11	Calibre del cable	0.405 - 0.812	mm
12	Alimentación neumática	0.49 - 0.59	Mpa
13	Tiempo máximo de bobinado	10	Min

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE DETALLE

#### 4.1. Diseño del sistema mecánico

##### 4.1.1. Arquitectura y diseño de la estructura de la máquina.

###### 4.1.1.1. Modelado CAD.

El modelado CAD se realiza para determinar la geometría de la máquina, así como todas las relaciones dimensionales que están implícitas. Este proceso va a ser realizado en software CAD. A continuación, se procede a modelar cada una de las partes que van a formar parte de la máquina y determinar su geometría.

###### 4.1.1.1.1. Eje principal.

Además de alojar parte del sistema de distribución de alambre de cobre, es el encargado de transmitir la potencia desde el motor hasta el final de este. Para su funcionamiento es necesario ubicar dos rodamientos, uno que es el que soportara su propia carga y el segundo donde se ubicaran las mordazas que sostienen los rotores el mismo que no debe moverse solidario a la rotación del eje, sino permanecer estático. A continuación, se detalla el diseño previo del eje

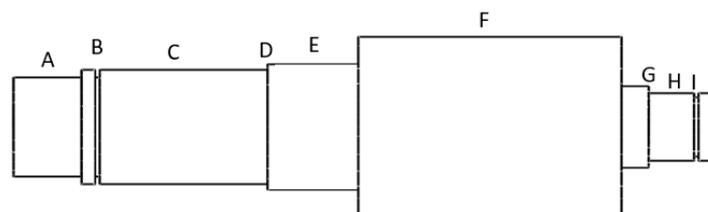


Figura 32. Diseño preliminar del eje principal.

- A** Banda de transmisión
- B** Anillo de seguridad para rodamiento 1

- C Rodamiento 1
- D Hombro para rodamiento 1
- E Soporte de brazos
- F Hombro para el soporte de brazos
- G Hombro para rodamiento 2
- H Rodamiento 2
- I Anillo de seguridad para rodamiento 1

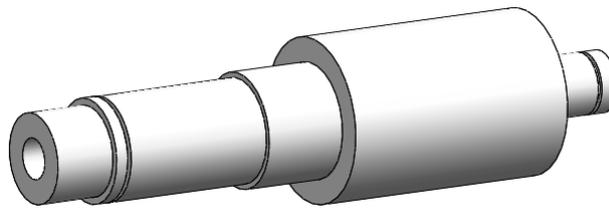


Figura 33. Vista del diseño preliminar del eje principal.

Se debe optimizar el diseño para que soporte el torque que debe transmitir y sea lo más liviano posible, además ya que el eje alberga el sistema de transmisión de cable se debe incluir el lugar donde este estará ubicado.

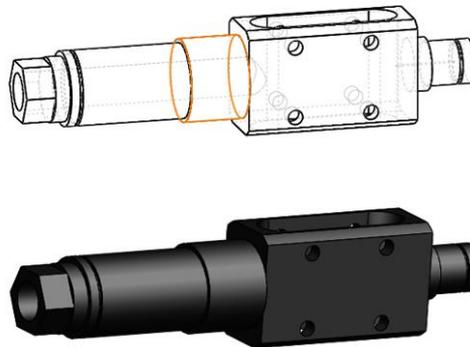


Figura 34. Diseño optimizado del eje principal

#### 4.1.1.1.2. Estructura de los carros.

En esta estructura está ubicado todo el peso de los elementos que van en el carro, además en la parte inferior se deben colocar cuatro bujes los mismos que tendrán dentro rodamientos lineales para así generar movimiento lineal de traslación.

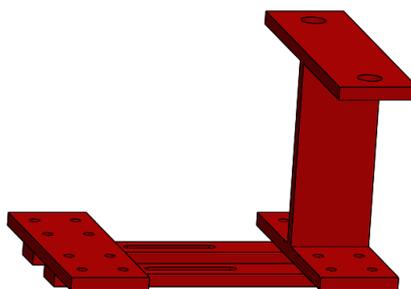


Figura 35. Base del carro.

#### 4.1.1.1.3. Brazos para la distribución del cable.

Estos son los encargados de dirigir el alambre de cobre desde el eje principal hasta el rotor que se está bobinando. Es necesario que tenga una distancia apropiada para evitar interferencia con el resto de componentes de la máquina.

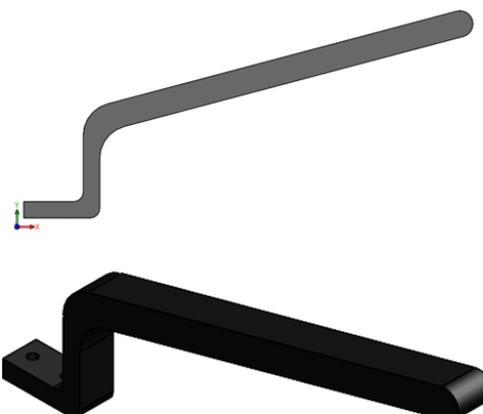


Figura 36. Brazos de distribución de cable

#### 4.1.1.1.4. Base de brazos.

Han sido diseñados como bocines, en estos se soportan los brazos de distribución y sirven de unión con el eje principal.

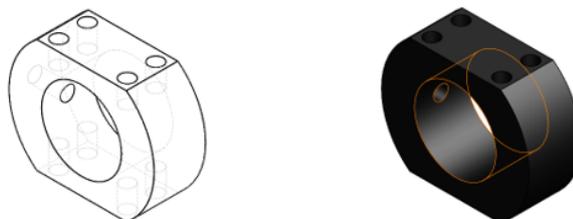


Figura 37. Soporte para brazos.

#### 4.1.1.1.5. Soporte para mordazas.

Esta se ubica al final del eje principal y es utilizado para soportar las mordazas.

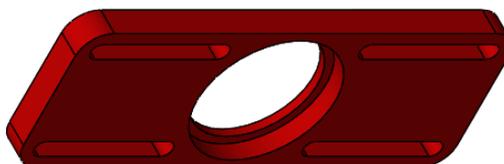


Figura 38. Soporte para mordazas

#### 4.1.1.1.6. Matrimonio motor.

Esta pieza sirve para unir el eje del motor a la rueda dentada y así transmitir la potencia.

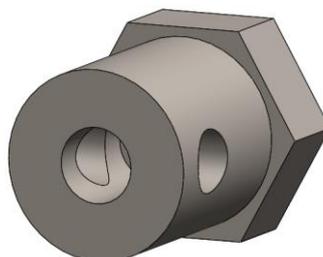


Figura 39. Matrimonio eje polea dentada para motores principales

#### 4.1.1.1.7. Bocín para rodamientos.

Estos se usan para soportar los rodamientos lineales y fijarlos a la estructura principal de los carros.

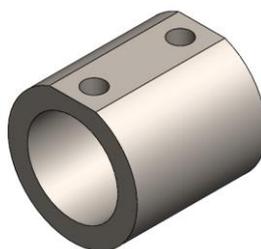


Figura 40. Buje para rodamientos lineales 12mm.

#### 4.1.1.1.8. Modelado de partes estándar de los carros.

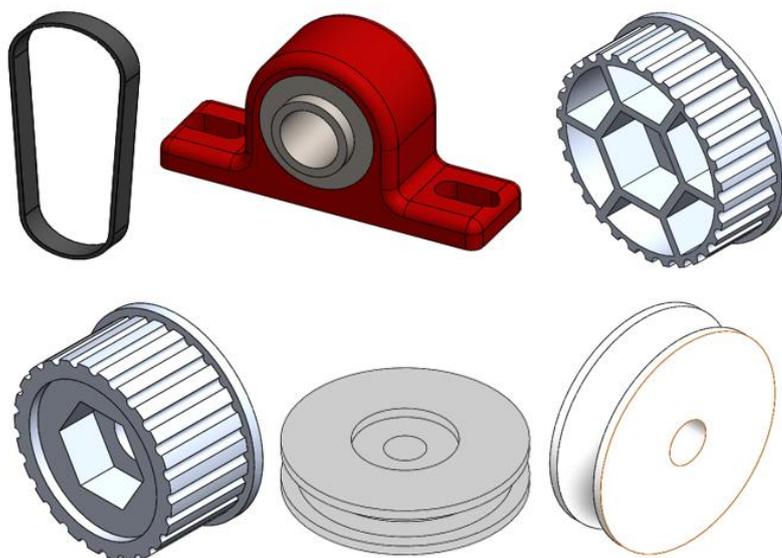


Figura 41. Modelado de partes standard.

#### 4.1.1.1.9. Placas base y móvil.

Las placas base y móvil del sistema elevador sirven para apoyar el rotor y poder regular la altura del mismo con el objetivo de centrar todas las partes antes del bobinado.

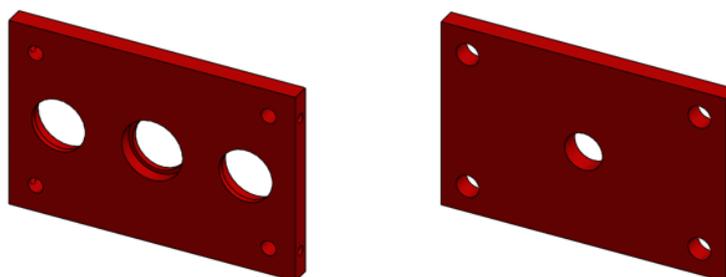


Figura 42. Placas para la mesa elevadora.

#### 4.1.1.1.10. Ejes y Tornillo sin fin.

Los ejes sirven como guía para que la placa móvil se desplace y así se regule la altura de la mesa. El tornillo sin fin es el elemento con el que se regula la altura de la mesa.

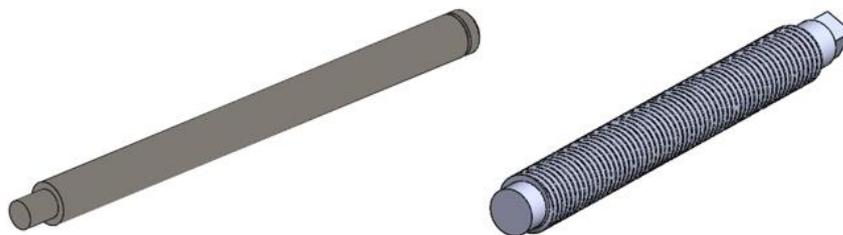


Figura 43. Tornillo sin fin para mesa elevadora

#### 4.1.1.1.11. Ejes para las ruedas dentadas.

Estos ejes sirven para transmitir la potencia desde un motor hasta el mandril que soporta el rotor a ser bobinado. Estos serán ubicados con rodamientos para disminuir la fricción.

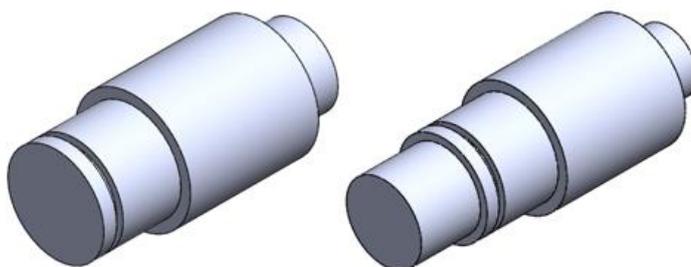


Figura 44. Ejes para poleas dentadas

#### 4.1.1.1.12. Modelado de partes estándar de la mesa elevadora.

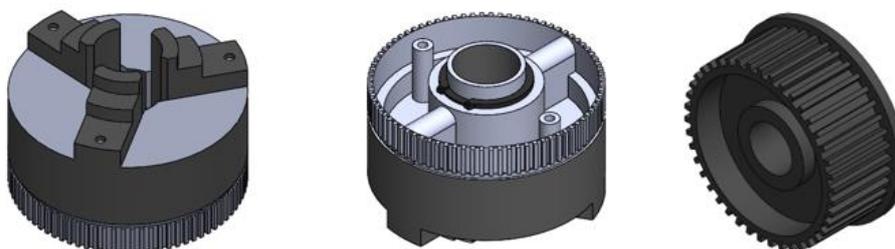


Figura 45. Modelado de mandril y polea dentada

#### 4.1.1.1.13. Estructura.

Las partes de la estructura van a ser hechas de platina de acero, estas tienen como objetivo formar la estructura de la máquina y soportar todo el peso y esfuerzos que la misma genere.

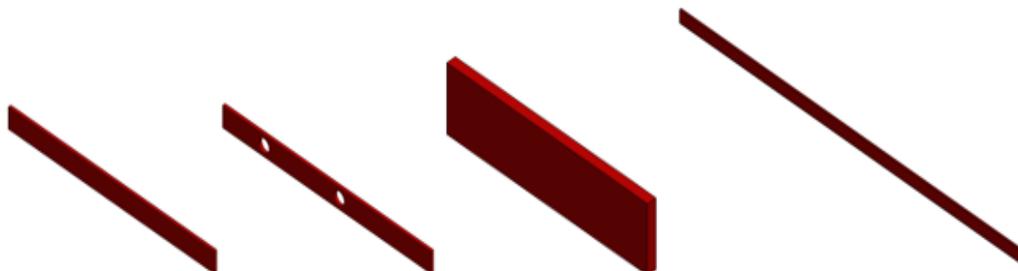


Figura 46. Partes estructurales para máquina bobinadora

#### *4.1.1.1.14. Ejes de los carros.*

La función de estos ejes es soportar los carros con los rodamientos lineales. Comercialmente se consiguen estos ejes manufacturados en acero plata, el mismo que es un material óptimo para este trabajo por sus propiedades.

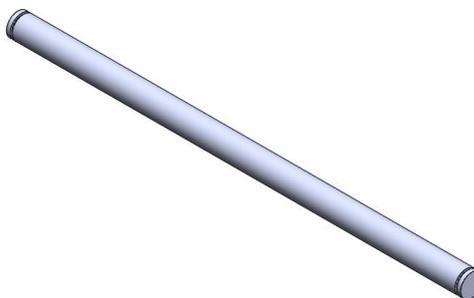


Figura 47. Eje de acero plata para carro móvil

#### *4.1.1.1.15. Soporte para alambre de cobre.*

Estos ayudan a guiar el alambre de cobre hasta el eje principal de la máquina

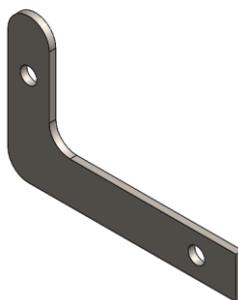


Figura 48. Soporte para polea de nylon para tensor de alambre de cobre

#### 4.1.1.2. *Ensamble de secciones.*

Se realiza el ensamble de secciones para verificar que cada una de las partes que constituyen la maquina van a embonar de manera adecuada, y que el diseño es correcto una vez ensambladas todas las partes. Además, es importante verificar el funcionamiento mecánico de la maquina antes de proceder a la construcción de la maquina

##### 4.1.1.2.1. *Ensamble del carro.*

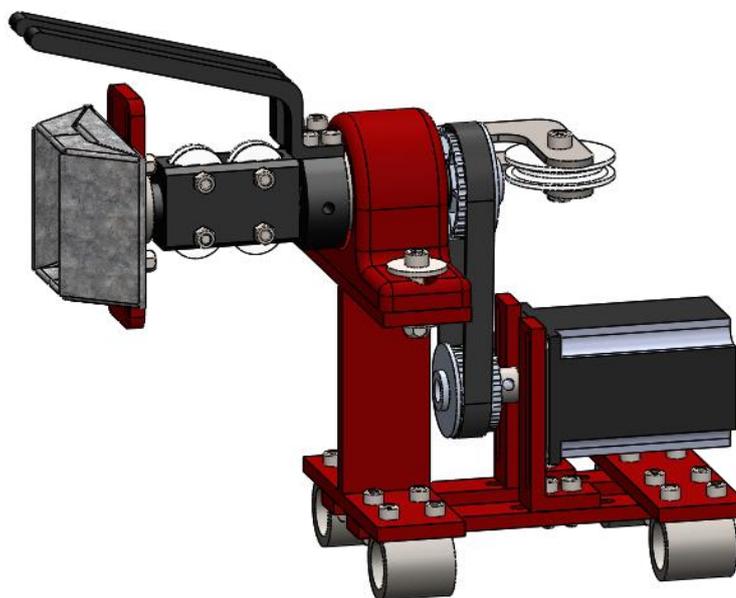


Figura 49. Ensamble de carro móvil

4.1.1.2.2. *Ensamble de la mesa elevadora.*

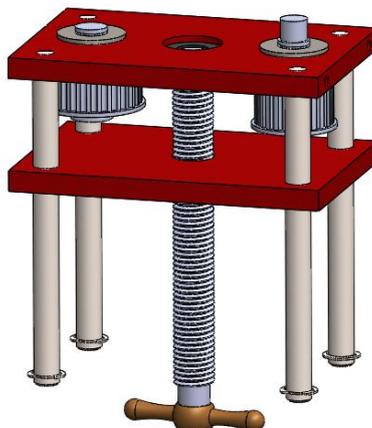


Figura 50. Mesa elevadora de rotores.

4.1.1.2.3. *Ensamble de la estructura.*

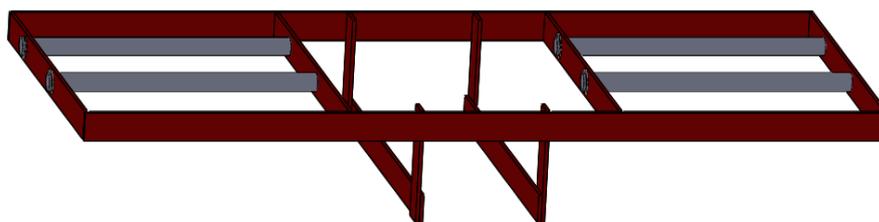


Figura 51. Ensamble mesa estructural para carros móviles

Ensamble total.

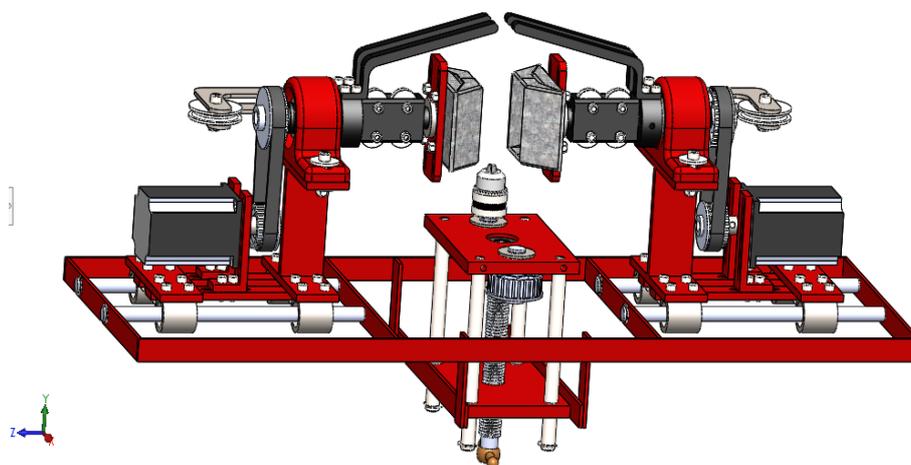


Figura 52. Ensamble total de la máquina bobinadora de rotores

#### 4.1.1.3. Simulación y cálculo de esfuerzos.

Se realiza el cálculo de esfuerzos tanto en la estructura como en los ejes, para poder determinar puntos críticos en el diseño, y así verificar si la geometría propuesta es la ideal para implementarse o si debe generar correcciones en zonas críticas de la arquitectura. Este proceso es de gran importancia tanto para optimizar el diseño y evitar sobredimensionamiento como para realizar la óptima selección de material con el cual va a ser manufacturada la máquina.

##### 4.1.1.3.1. Cálculo de torque necesario del motor.

Es necesario establecer el torque necesario para poner en movimiento la máquina, ya que en base a este cálculo se procederá a la selección del motor apropiado. Este cálculo va a ser determinado de manera experimental debido a la complejidad del sistema y a la imposibilidad de determinar la tensión del alambre de cobre mientras el equipo está en funcionamiento ya que depende tanto de la velocidad de trabajo como del calibre del alambre. A continuación, se muestra un esquema que muestra cómo va a estar distribuida la carga en el sistema.

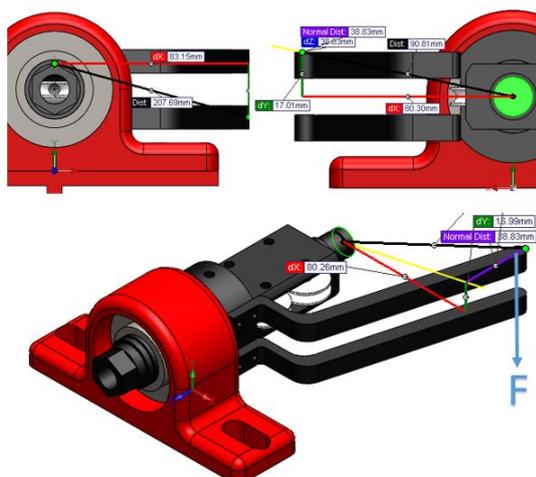


Figura 53. Cálculo del torque necesario para el motor.

La fuerza  $F$ , será determinada de manera experimental. El proceso que va a realizarse es someter el punto extremo de los brazos a diferentes cargas hasta encontrar

el peso necesario para poner en movimiento el sistema de distribución de alambre de cobre.

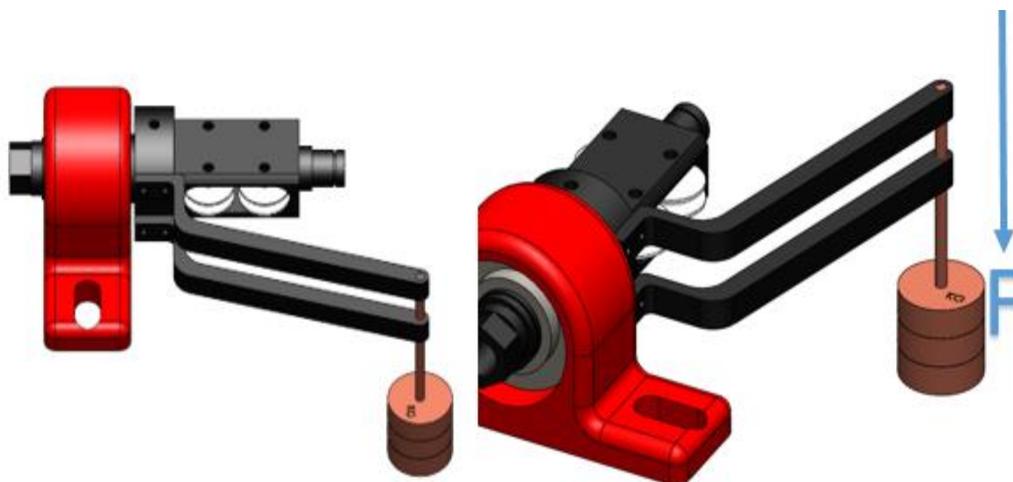


Figura 54. Ilustración del experimento para calcular el torque requerido del motor

Se realizó una toma de datos consecutivos para determinar la carga a la cual se rompe la inercia estática de los brazos con diferentes tipos de calibre de alambre de cobre, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Formulas

$$A = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \quad [\text{Area del alambre de cobre}]$$

$$M_{media} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6}{6} \quad [\text{Promedio de las medidas tomadas}]$$

$$P_{medio} = M_{media} * g \quad [\text{Calculo de el peso medio}]$$

$$T_{medio} = P_{medio} * l \quad [\text{Calculo de el torque medio}]$$

Tabla 14

Cálculo del torque generado según el calibre de alambre.

Calibre	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Masa (gr)			Peso medio(N)	Torque medio (N.m)
16	1.2910	1.3090	2750	2750	2700	27.141	2.17128
			2700	2850	2850		
18	1.0240	0.8235	2650	2600	2700	25.833	2.06664
			2600	2600	2650		
20	0.8130	0.5191	2450	2550	2600	24.44325	1.95546
			2500	2350	2500		
22	0.6430	0.3247	2350	2300	2400	22.89	1.8312
			2300	2300	2350		
24	0.5110	0.2051	2250	2350	2300	22.236	1.77888
			2200	2250	2250		
26	0.4040	0.1282	2100	2200	2150	21.255	1.7004
			2150	2200	2200		

Como resultado de la toma de datos se puede concluir de la tabla que el torque máximo necesitado se da con un calibre de alambre 16, el mismo que tiene un diámetro de 1.2910 mm. Este diámetro excede el límite establecido del calibre de alambre para la maquina bobinadora determinado en las especificaciones finales, pero aun así se ha considerado para el diseño ese valor de torque como un factor de seguridad. En el siguiente grafico se muestra la relación torque vs diámetro del cable, y como esta varia al aumentar o disminuir los calibres de alambre. Además, se puede visualizar el mayor torque necesitado para empezar a mover los brazos, valor que va a ser utilizado para determinar el motor que va a usar.

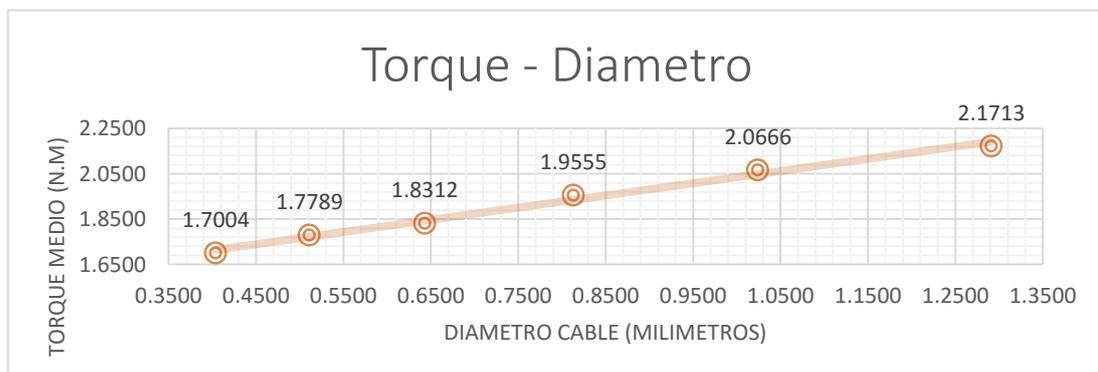


Figura 55 Torque Vs. Diámetro

#### 4.1.1.3.2. Esfuerzo y deformación en el eje

##### Diagramas de esfuerzo cortante y momento flector

Como primera instancia para realizar los diagramas, se realiza un diagrama de cuerpo libre de la viga para así determinar las reacciones. Para esto se calcula la masa total en cada carro. Este proceso se lo realiza por medio de software.

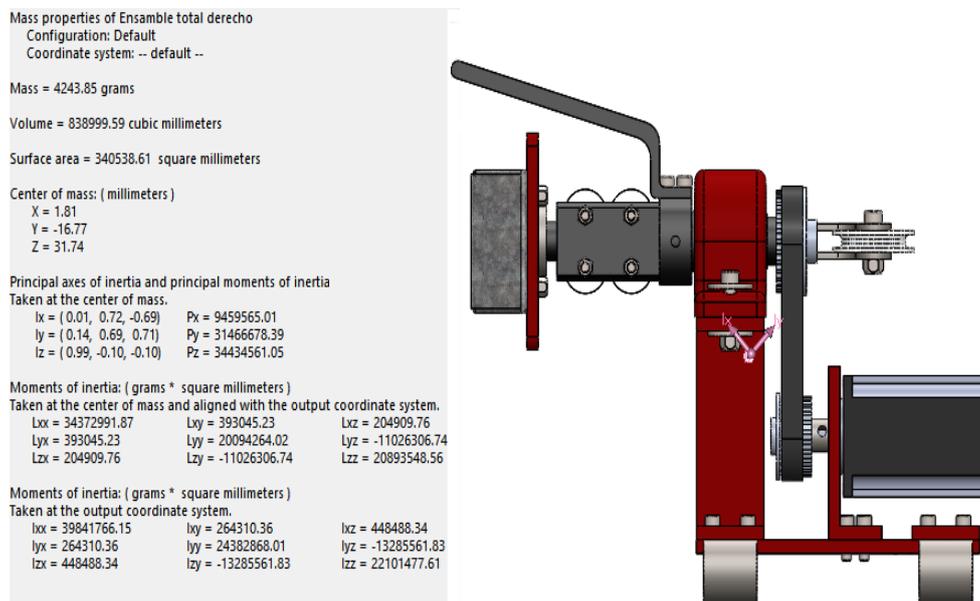


Figura 56 Masa total del carro

Se verifica que la masa total es de 4243 gramos, este valor se ocupa para los calculos.

Se calcula la carga:

$$W = m * g$$

$$W = 4.243 (Kg) * 9.8 \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$W = 41.5814 (N)$$

La carga total del carro se distribuye en 4 rodamientos lineales

$$P_1 = P_2 = \frac{W}{4} = 10.3954 N$$



Figura 57 Diagrama de cargas sobre una viga simplemente apoyada

$$\sum F_x = 0$$

$$P_1 + P_2 - A_y - B_y = 0$$

$$A_y + B_y = 20.8 \text{ N}$$

$$A_y = B_y = 10.4 \text{ N}$$

#### 4.1.1.3.3. Diagrama de esfuerzo cortante

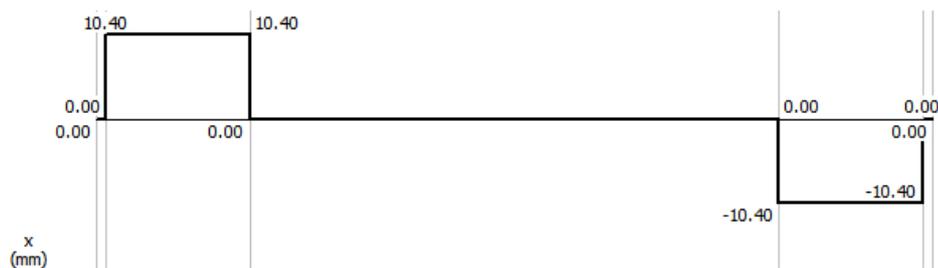


Figura 58 Diagrama de esfuerzos cortante

#### 4.1.1.3.4. Diagrama de momento flector

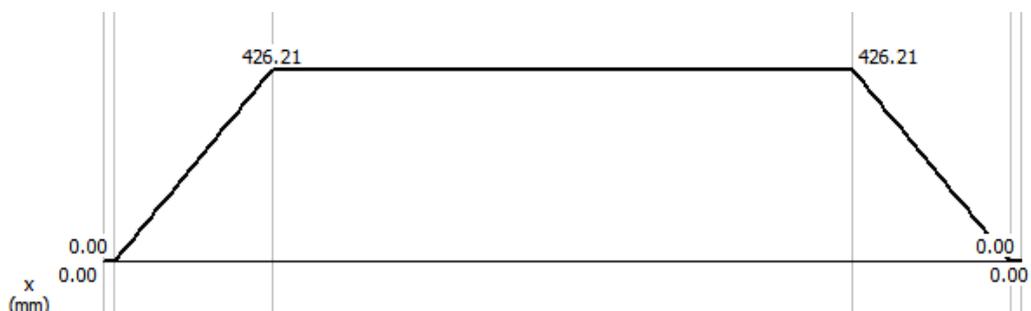


Figura 59 . Diagrama de momento flector.

Los esfuerzos cortantes máximos se presentan en las zonas donde están localizadas las cargas puntuales (44 y 196 mm) con valores de 10.4N en cada una, además en estos puntos existe un momento flector de 426.21 N.mm.

El eje donde se asientan los carros es el elemento que soporta la carga más alta en la máquina, por lo que es necesario determinar el factor de seguridad y además es necesario que no se genere una deflexión excesiva. Este elemento debe ser manufacturado en un metal frágil pues debe soportar desgaste.

Para materiales frágiles existen tres teorías de falla, que son criterios de fractura de estos elementos.

- Esfuerzo normal máximo
- Mohr Coulomb frágil
- Mohr modificada

De los tres criterios se decidió realizar el estudio con la teoría del esfuerzo normal máximo para materiales frágiles, esta estipula que la falla ocurre cuando uno de los tres esfuerzos principales es igual o excede la resistencia. Este cálculo será realizado por medio de software especializado, el mismo que nos da los siguientes resultados.

Primero se determina la deformación máxima

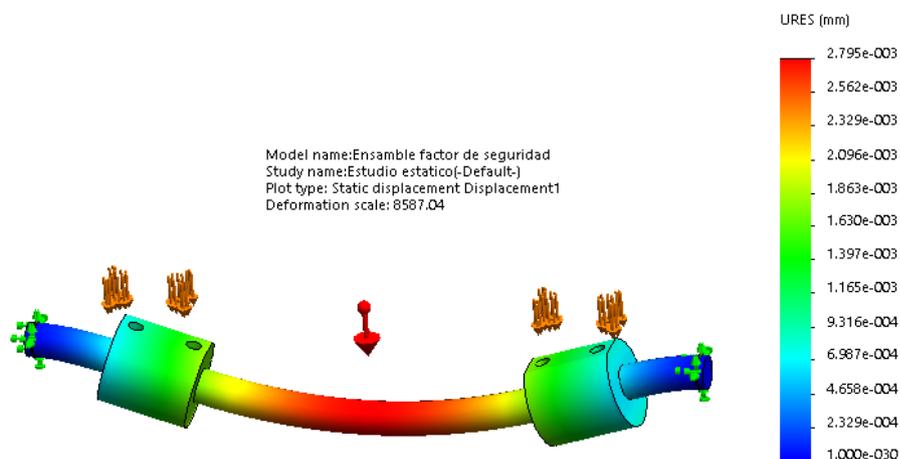


Figura 60. Deformación máxima del eje a escala 8587.

$$\delta_{max} = 2.795 \mu mm$$

En la gráfica se puede verificar que la deformación máxima se presenta en el punto medio de los ejes de acero plata, y el mismo está en el rango de 2.795  $\mu mm$ . Este valor es aceptable para el funcionamiento de este elemento, pues es despreciable en comparación al movimiento que se presenta en este.

El principal esfuerzo que va a soportar la estructura es el peso mismo de la máquina, pero en este caso no se debe considerar un diseño por esfuerzos sino un diseño por deflexiones pues son estas las que determinaran el correcto funcionamiento de la máquina.

Ya que el diseño del eje es a la deformación máxima, el factor de seguridad que se encuentre será de un valor alto. En máquinas donde las vibraciones y la precisión es lo más importante en el diseño generalmente se hacen este tipo de consideraciones.

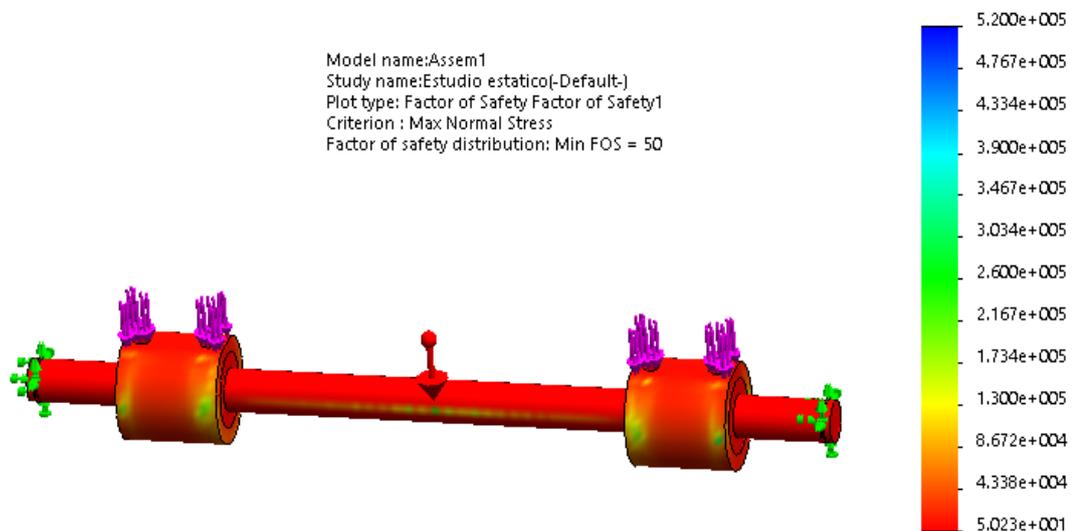


Figura 61. Calculo del factor de seguridad

Se puede observar en la gráfica que el mínimo factor de seguridad presente en el diseño es de 50, lo cual más que considerarse un factor de seguridad será tomado como un factor de diseño.

$$F_{diseño} = 50$$

#### 4.1.1.3.5. Esfuerzo y deformación en la estructura

La estructura está diseñada para soportar las cargas de toda la máquina, además debe soportar las vibraciones y todo el peso. Es por esto que se ha seleccionado un material dúctil y de uso común debido a su bajo costo. Se va a manufacturar con platina de acero ASTM A36, el mismo que es un material dúctil por lo que los cálculos deben realizarse con criterios de materiales dúctiles los mismos que se detallan adelante.

- Esfuerzo cortante máximo

- Energía de distorsión
- Mohr Coulomb dúctil

De estas tres teorías se escogió la del esfuerzo cortante máximo, que es un criterio de falla a la fluencia, la misma que estipula que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala al esfuerzo cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir.

Este cálculo se lo realiza por medio de software especializado.

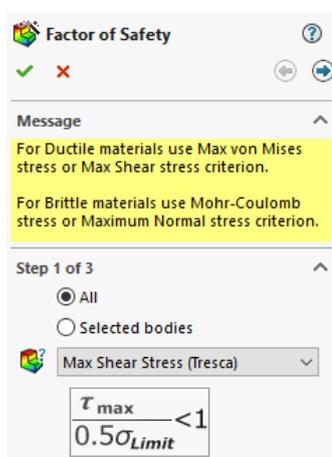


Figura 62. Criterio utilizado para el cálculo del FS

Una vez introducidas las cargas en el diseño de la estructura modelada, y seleccionado el criterio con el cual se estipula el factor de seguridad se obtiene lo siguiente. Primero se determina la deformación máxima a la cual la estructura va a estar sometida.

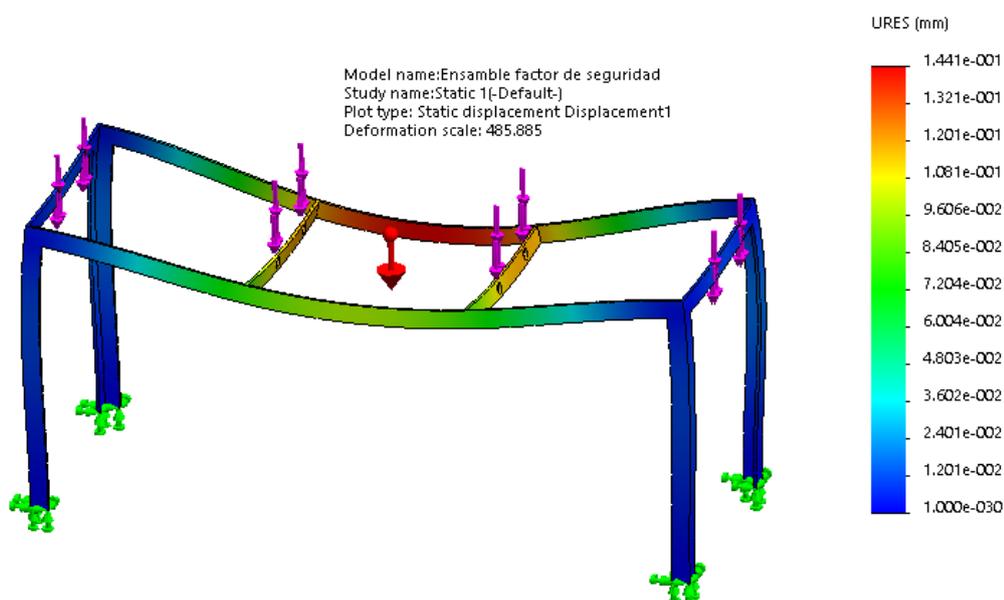


Figura 63. Deformación máxima de la estructura a escala 485.

La mayor deformación a la cual está sometida la estructura se presenta en la parte posterior de la máquina, en el centro de las dos cargas generadas por los carros.

$$\delta_{max} = 0.1441 \text{ mm}$$

Esta deformación es aceptable en la estructura pues esta no está diseñada a deformación mínima sino a esfuerzo máximo por lo que este valor no afecta el diseño. El valor del factor de seguridad de la estructura se determinó de la siguiente gráfica.

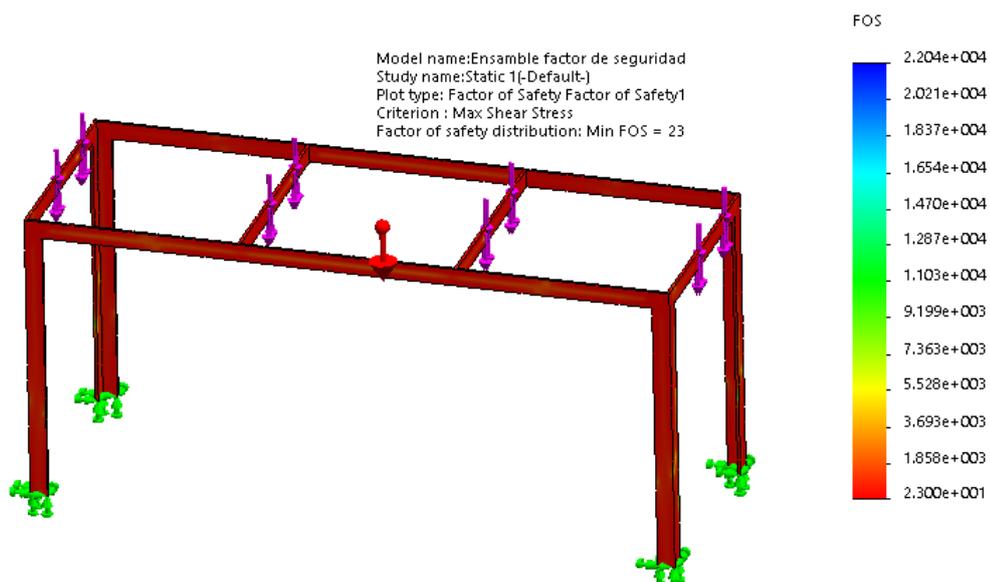


Figura 64. Factor de seguridad en la estructura.

Como se puede verificar, el factor de seguridad en la estructura es:

$$F_{diseño} = 23$$

Esto indica un factor de seguridad y diseño elevado, pero la selección de este diseño se justifica ya que la estructura es realizada con platinas estándar de acero lo que reduce el proceso de manufactura y el costo.

#### 4.1.1.3.6. *Calculo de bandas*

Para aumentar el torque del motor como factor de seguridad, además de por una imposibilidad geométrica en el diseño se decidió seleccionar bandas como medio de transmisión de potencia entre el motor y los brazos. Las ruedas dentadas que se encontró en el mercado son de 50 y 40 dientes, por lo que el sistema de transmisión reduce la velocidad del motor, pero aumenta el torque.

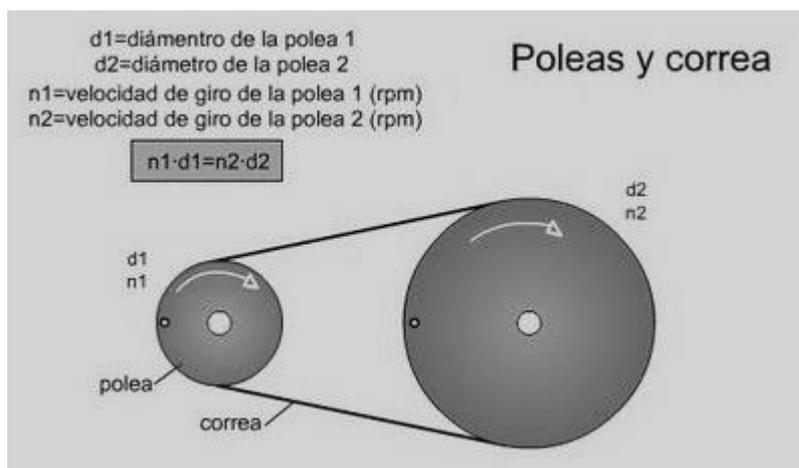


Figura 65. Relación de poleas

Fuente: Google images 2016

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

$$i = \frac{d_1}{d_2} = \frac{50}{40} = 1.25$$

Esta relación indica que, si en el motor se requieren dar 200 pasos para dar una vuelta a la rueda de 40 dientes, ahora van a ser necesarios:

$$\# \text{ pasos} = 200 * 1.25$$

# *pasos* = 250

Adicional a esto, el motor tiene un torque de:

$$\tau = 2.5 \text{ N.m}$$

Por lo que el torque final en el eje será de

$$\tau_{eje} = 2.5 \text{ N.m} * 1.25$$

$$\tau_{eje} = 3.125 \text{ N.m}$$

Con esto se realiza el cálculo final del factor de seguridad para la transmisión de potencia

$$F_{seguridad} = \frac{3.1250}{2.1713}$$

$$F_{seguridad} = 1.44$$

Con lo que obtenemos que, para el calibre de alambre más grueso, trabajando a una corriente de tres amperios en el motor se tiene 1.44 veces la potencia requerida según experimentación.

#### **4.1.1.4. Selección del material**

En la selección del material se tiene que considerar el resultado de cada uno de los elementos sometidos a esfuerzos de flexión y deflexión, tomando en cuenta los concentradores de esfuerzos de cada eje y a su vez los puntos críticos de los ya mencionados siendo como máximo del eje principal. Se va a diseñar la maquina con dos tipos de materiales:

#### **Acero dúctil**

Este se utilizará para la estructura de la máquina, se realizará de platinas de acero ASTM-A36 las mismas que se encuentran con facilidad comercialmente y son de bajo costo.

ASTM A36				
		<b>Estado de Suministro</b>		
		Laminado.		
		<b>Tolerancia</b>		
		ASTM A6.		
		<b>Características</b>		
		Acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atomilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.		
		<b>Aplicaciones</b>		
		Construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.		
Composición Química (Valores Típicos)				
%C	%Mn	%Si	%P	%S
≤ 0,26	0,80 -1,20	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05
Propiedades Mecánicas				
Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción (Kg/mm <sup>2</sup> )		Elongación
(Kg/mm <sup>2</sup> )	MPa	(Kg/mm <sup>2</sup> )	MPa	%
25,5 (mín)	250 (mín.)	40,8 (mín)	400 (mín.)	20 (mín.)

Figura 66 Especificación técnica de acero ASTM A36

Fuente: Mott 2016

### Acero frágil

Este material será usado para los ejes donde correrán los carros ya que es una aplicación especial existen en el mercado ejes de una aleación llamada Acero-Plata que sirven para este propósito y poseen una dureza superficial adecuada.

ACERO PLATA						
		<b>Estado de Suministro</b> Bajo tratamiento térmico de recocido.				
		<b>Características</b> La designación "Acero Plata" se debe a la superficie brillante y plateada que estos aceros rectificadas adquieren después de un acabado de pulido. Combinan alta dureza con gran capacidad de corte. Constituyen una clase especial de acero para trabajos en frío.				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Forma</th> <th>Color</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">sin color</td> </tr> </tbody> </table>		Forma	Color	○	sin color	<b>Aplicaciones</b> Se utilizan en la fabricación de herramientas y piezas de precisión, como brocas, machos, terrajas, punzones, guías, vástagos e instrumentos de medición.
		Forma	Color			
○	sin color					
<b>Composición Química (Valores Típicos)</b>						
%C	%Mn	%Si	%Cr	%P (máx.)	%S (máx.)	
1,10 - 1,20	0,30 - 0,40	0,10 - 0,25	0,40 - 0,50	0,035	0,035	
<b>Propiedades Mecánicas</b>						
Dureza Estado Recocido		Dureza Obtenible Tratamiento de Temple				
180 - 285 HB		Hasta 65 Rockwell C				

Figura 67 Especificación técnica de Acero plata

Fuente: Mott 2016

#### 4.1.1.5. Selección de partes estándar

Es importante dentro del diseño utilizar partes estándar pues de esta manera se disminuye costos y tiempos de manufactura, además esto facilita el mantenimiento y reparaciones posteriores que la maquina requiera.

##### 4.1.1.5.1. Para la estructura.

- Platina de acero ASTM3

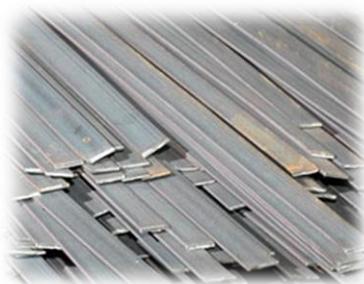


Figura 68 Platina de acero

Fuente: Google Images 2016

- Soldadura por electrodo 6011



Figura 69 Electrodo 6011

Fuente: Google Images 2016

- Pernos M5



Figura 70 Pernos M5

Fuente: Google Images 2016

- Tuercas de seguridad M5



Figura 71 Tuercas de seguridad M5

Fuente: Google Images 2016

- Chapa metálica 1mm

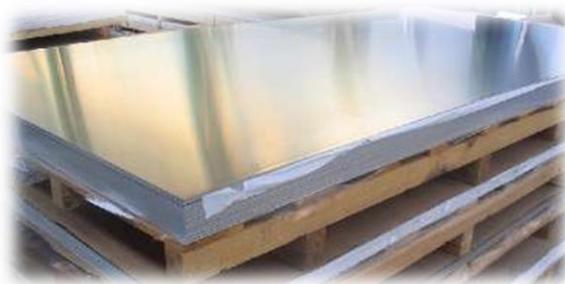


Figura 72 Chapa metálica

Fuente: Google Images 2016

- Arandelas



Figura 73 Arandela

Fuente: Google Images 2016

- Anillos de seguridad seeger 10mm



Figura 74 Anillo de seguridad seeger

Fuente: Google Images 2016

*4.1.1.5.2. Para la transmisión de potencia.*

- Poleas dentadas de 40 y 50 dientes

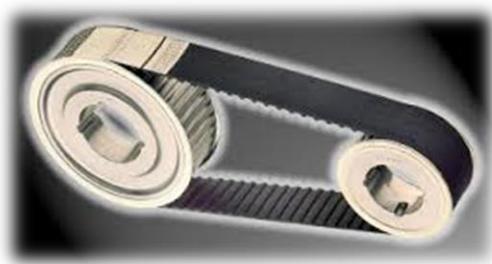


Figura 75 Poleas y correas dentadas

Fuente: Google Images 2016

- Banda dentada



Figura 76 Correa dentada

Fuente: Google Images 2016

- Matrimonio



Figura 77 Matrimonio standard

Fuente: Google Images 2016

- Chumaceras con rodamiento



Figura 78 Chumacera standard

Fuente: Google Images 2016

- Rodamientos 6001



Figura 79 Rodamiento 6001

Fuente: Google Images 2016

- Prisioneros M5



Figura 80 Prisioneros M5

Fuente: Google Images 2016

*4.1.1.5.3. Para el desplazamiento de los carros transportadores.*

- Ejes de acero plata de 12mm

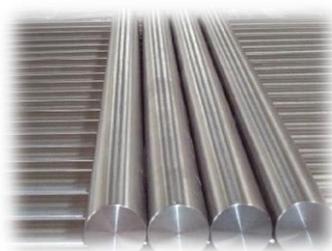


Figura 81 Ejes de acero plata 12mm

Fuente: Google Images 2016

- Rodamientos lineales lm12uu



Figura 82 Rodamiento lineal LM12UU

Fuente: Google Images 2016

#### **4.1.1.6. Planos de conjunto y de detalle**

Esta sección contiene los planos de detalle de cada una de las partes que componen la maquina bobinadora de rotores, así como tolerancias y tipo de manufactura con las cuales fueron desarrolladas. Adicional a esto se muestran planos de conjunto de los sistemas que intervienen en el funcionamiento mecánico. Los planos de detalle y conjunto se encuentran incluidos en la sección de anexos.

Planos de detalles: Anexo A

Planos de conjunto: Anexo B

#### **4.1.1.7. Diagramas de montaje mecánico.**

Para el ensamblaje de la maquina es necesario disponer de planos que indiquen el proceso que debe realizarse para el montaje de las partes de la máquina, con lo que se facilita el mantenimiento y el remplazo de alguna parte que este dañada. Los diagramas de montaje mecánico se encuentran incluidos en la sección de anexos.

Diagramas de montaje mecánico: Anexo C

#### **4.1.2. Diseño del sistema neumático.**

El sistema neumático está diseñado para realizar el trabajo de desplazamiento de los carros transportadores sobre los ejes. Se utiliza un sistema neumático porque en la empresa donde el equipo va a funcionar existe una toma neumática y la potencia necesaria para realizar el mismo trabajo con motores eléctricos obligaría a usar

motores muy grandes. Se ha realizado el siguiente esquema de conexión de las partes neumáticas con el propósito de mover los carros transportadores sobre ejes y así generar el movimiento deseado para el funcionamiento.

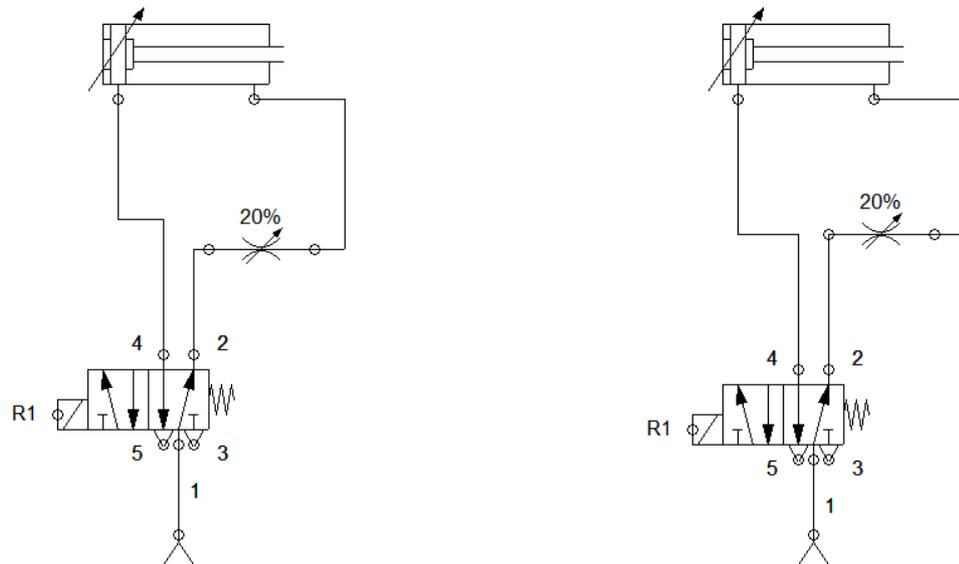


Figura 83 Diagrama neumático

Las electroválvulas serán activadas por una señal del controlador el momento que deban cerrarse y por una segunda señal el momento que deban abrirse por lo que es necesario un cilindro neumático de doble acción. Para el control del cilindro se requiere una electroválvula neumática 5/2 con muelle. Adicional a esto se quiere controlar la velocidad con la que los cilindros salen y regresan por lo que se colocara una válvula de control de flujo en el escape de aire de las válvulas 5/2.

#### 4.1.2.1. Selección de cilindros y válvulas.

Los cilindros y válvulas que se van a utilizar en el diseño, deben satisfacer las necesidades de fuerza requeridas por la máquina. Por lo que los datos técnicos se han obtenido de las hojas de información de cada fabricante.

##### 4.1.2.1.1. Electro Válvula.

Nombre: Válvula Solenoide.

Modelo: 4V210-08

Thread: BSPT

Presión de Trabajo : 0.15~0.8Mpa

Máxima Resistencia a presión: 1.2Mpa

Temperatura de trabajo : -5~50°C

Voltaje de Alimentación: 12v DC.

Amperaje: 29mA

Protección : Clase F. IP65

Tiempo de Excitación: 0.05 Segundos.

Número de posiciones: 2.

Número de Vías: 5.

Medidas de Cañería: Entrada 1/4", Salida=1/8"

Medidas: 11.8 x 6.6 x 2.1cm/4.6" x 2.6" x 0.8"(L\*W\*H).

Material : Metal y Plástico.



Figura 84 Electroválvula 5/2

4.1.2.1.2. *Válvula de control de ingreso de aire.*

Medida: 6mm.

Diámetro de salida: 6 mm

Presión: 1.32Mpa (13.5kgf/m<sup>2</sup>) max.

Temperatura: 0-60°C.



Figura 85 Válvula reguladora de ingreso de aire.

#### 4.1.2.1.3. Elementos Neumáticos para manguera de 6mm

Derivación de aire tipo T, Uniones, Manguera



Figura 86 Elementos neumáticos para mangueras 6mm

#### 4.1.2.1.4. Cilindro Doble Efecto

Tipo de Activación: Doble Efecto Neumático.

Fluido: Aire (filtrado 40um).

Presión de Operación: 0.1 – 1.0 MPa (14 – 145Psi)

Presión de prueba: 1.5 MPa. (215Psi.)

Temperatura de trabajo: -20 – 70°C

Rango de Velocidad: 30 – 500 mm/s.

Carrera: 30mm.

Orificios para sujeción: M5X8



Figura 87 Cilindro de doble efecto.

#### 4.1.2.2. Selección de compresor

La selección del compresor se basa en los requerimientos tanto de los cilindros neumáticos como de las electroválvulas para su correcto funcionamiento. En este caso

el compresor ya está instalado en la empresa donde el equipo va a funcionar por lo que el diseño se va a adaptar a este.

Compresor de aire 2hp

Capacidad del tanque de 100 litros

60hz

Voltaje 110v

Marca ptk

Modelo pro2100

Código 101631



Figura 88 Compresor de aire marca ptk

Fuente: Google Images 2016

#### **4.1.2.3. Diagrama de conexión**

Tomando en cuenta todas las condiciones necesarias para el funcionamiento del sistema neumático, además de las especificaciones de las partes seleccionadas y los requerimientos de fuerza necesarios se muestra el esquema de conexión final del sistema neumático

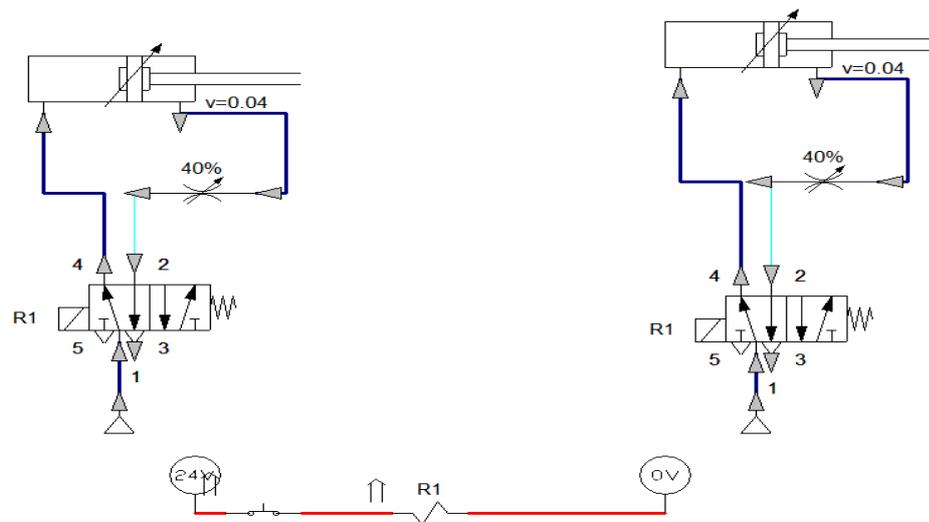


Figura 89 Simulación de sistema neumático.

## 4.2. Diseño del sistema electrónico

### 4.2.1. Selección de actuadores.

Los actuadores eléctricos que se van a utilizar en el desarrollo de la máquina bobinadora son los motores a pasos, los mismos que deben cumplir con las especificaciones de potencia y torque necesarios para lograr poner en movimiento la máquina.

#### 4.2.1.1. Motores a pasos

Tensión nominal: 24V.

Corriente de consumo: 3A.

Par nominal: 2.1N.M.

Paso Ángulo: 1.8 grados.

Peso: 1,3 kg.



Figura 90 Motor a pasos.

#### 4.2.2. Selección de pre actuadores

En una segunda etapa también se especifica los pre actuadores que va a ser necesarios para activar a los actuadores y que además sirven como una etapa de acondicionamiento de señal entre el controlador y el actuador final.

##### 4.2.2.1. Módulo CNC motor a pasos.

Modelo: HY-DIV268N-5A.

Amperaje: 0.2A – 5A.

Pasos: 1 - 1/16

Voltaje: 12v - 48v DC.

Temperatura de Trabajo: -10°C a 45°C.

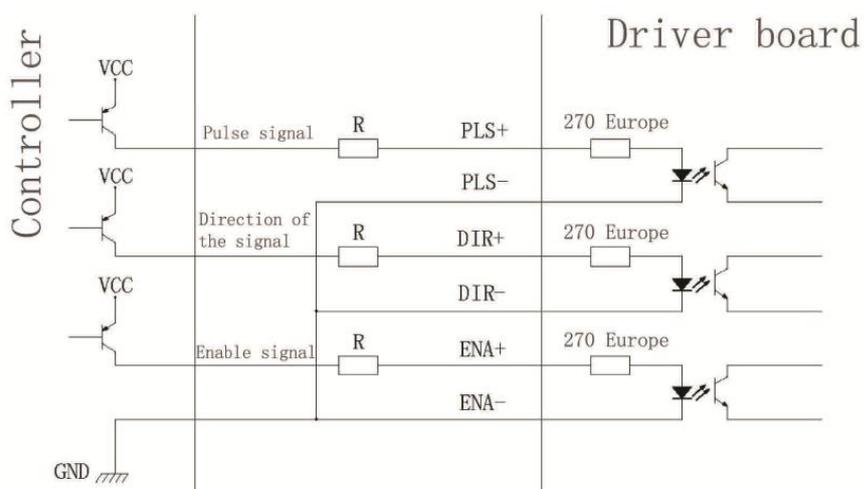


Figura 91 Diagramas de conexiones módulo controlador motor a pasos

Fuente:



Figura 92 Módulo controlador para motores a pasos

#### 4.2.3. Acondicionamiento de señal

El módulo Arduino relé permite una amplia gama de microcontroladores como Arduino, AVR, PIC, ARM con salidas digitales para el control de cargas más grandes y dispositivos como motores AC o DC, electroimanes, solenoides, o a su vez bombillas incandescentes. Este módulo está diseñado para integrarse con 2 relés y ser controlados con señales digitales de 5 voltios el mismo consta con jumpers para poder elegir el pin común de conmutación, y así elegir entre 5 voltios de alimentación del microcontrolador o a su vez dentro del rango de cada relé.

Voltaje de conmutación 240VAC, 125VAC

Salida 7A carga nominal / 10A / 10A / 28VDC.

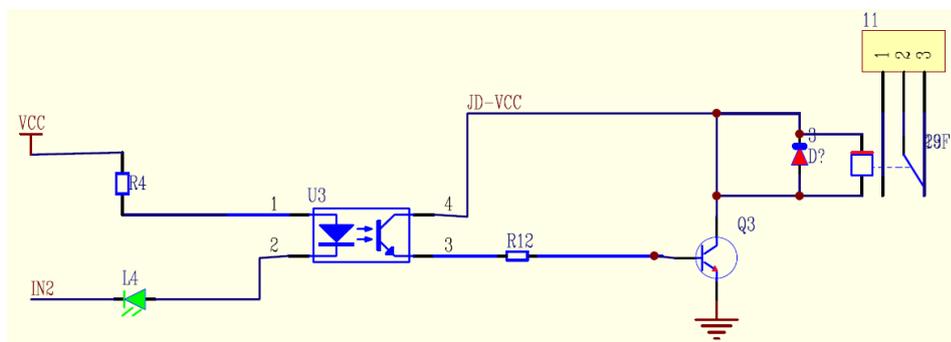


Figura 93 Diagrama de conexión relé



Figura 94 Placas de relé

#### 4.2.4. Diagramas electrónicos

Todos los diagramas tanto del funcionamiento, como para la conexión y mantenimiento eléctrico de la maquina se detallan adelante.

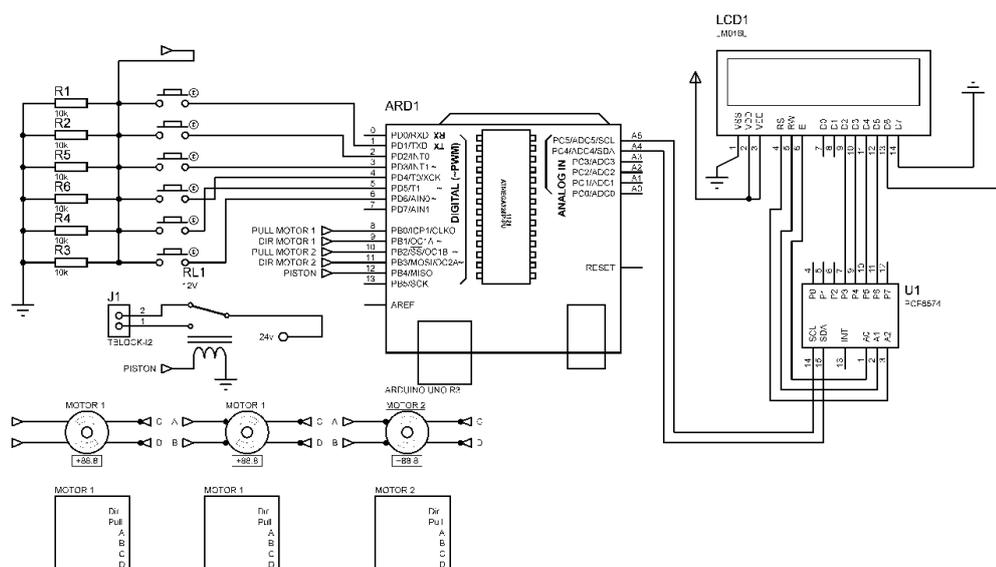


Figura 95 Diagrama de conexiones eléctricas máquina bobinadora

En la figura se muestra las conexiones eléctricas y de control completas de la máquina bobinadora de rotore, consta de dos tomas de alimentación, una de 5 voltios y una de 24 Voltios, las dos alimentadas por corriente alterna 110 voltios. Cada botonera para el ingreso de datos consta de una resistancia asegurando el estado en bajo, (cero lógicos), para que no exista alguna lectura errónea o falsos positivos. En cada botón se ha implementado un led como luz piloto para comprobar que el botón se esté activando con 5 voltios y este envié la señal adecuada a la tarjeta controladora.

Como se puede observar cada motor cuenta con un módulo controlador de potencia y a su vez de pasos, estos se conectan a cada bobina A o B. Cuenta también con un relé de activación para electroválvulas en el pin número 12 de la tarjeta controladora, se recomienda el uso de relés en la activación de elementos de potencia ya que utiliza otro voltaje y corriente de alimentación, caso contrario se podría dañar o saturar el arduino Uno.

### 4.3. Diseño del sistema de control

#### 4.3.1. Esquema de funcionamiento.

Ingreso de datos



Figura 96 Funcionamiento del ingreso de datos

Ciclo de bobinado

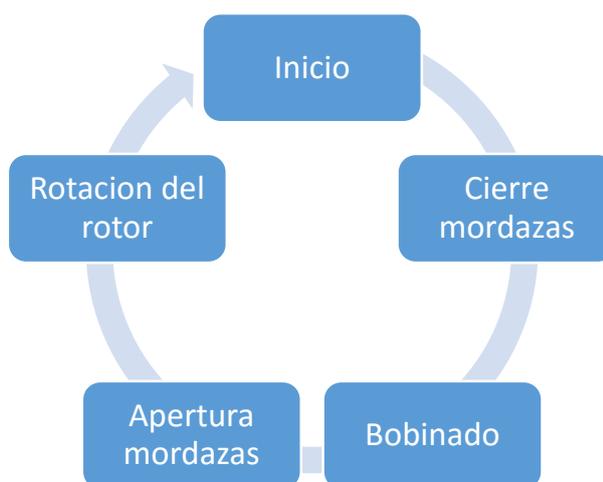


Figura 97 Funcionamiento del ciclo de bobinado

### 4.3.2. Selección de controlador.

En el proceso de diseño se verificó la necesidad de 11 puertos de entradas y salidas digitales para controlar todo el proceso involucrado en la máquina bobinadora. Se requiere alimentación de energía a 5V. El controlador debe tener un circuito que disminuya la interferencia en las señales y un circuito que evite sobrecarga. Se seleccionó inicialmente un AVR como controlador para el sistema, pero para evitar mal funcionamiento debido a conexiones además de impedancias parásitas en los circuitos se decidió realizar todo el control del equipo en arduino.



Figura 98 Placa Arduino UNO  
Fuente: arduino.com 2016

Detalles técnicos

Tabla 15

Datos técnicos de tarjeta controladora Arduino UNO.

<b>Datos Técnicos Arduino Uno</b>	
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de Operación	5V
Entrada de voltaje (recomendado)	7-12V
Entrada de Voltaje (limite)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P)

Continua

	of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

### 4.3.3. Selección de elementos para el panel de control.

La interface como elemento básico en el funcionamiento de un equipo automatizado debe tener las siguientes características:

- Amigable al usuario
- A prueba de fallos
- Fácil de entender el funcionamiento
- Hardware robusto

Se utilizará los siguientes elementos para crear un panel de funcionamiento.

#### 4.3.3.1. Botones

Van a ser utilizados para ingresar la información necesaria para el bobinado en la máquina, además sirven para desplazarse por los menús.



Figura 99 Pulsador

Fuente: Google Images 2016

#### 4.3.3.2. *LCD*

Muestra la información que se debe ingresar al sistema, además en esta se puede visualizar las etapas del proceso de bobinado.



Figura 100 Display lcd 16X2

Fuente: Google Images 2016

#### 4.3.3.3. *Leds*

Se encenderán cada vez que un botón es presionado para mostrar que el mismo ha sido activado.



Figura 101 Leds

Fuente: Google Images 2016

#### 4.3.3.4. *Panel de acrílico cortado por láser*

En esta se montarán todos los elementos del panel.

#### 4.3.3.5. *Botón de paro de emergencia*

Este es de vital importancia pues en caso de algún fallo tanto en la parte mecánica como electrónica se puede detener el funcionamiento de la maquina inmediatamente.

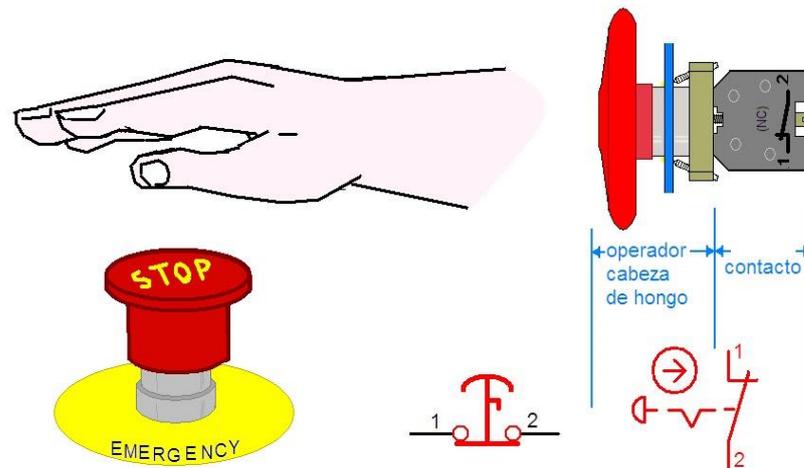


Figura 102 Pulsador de emergencia

Fuente: Google Images 2016

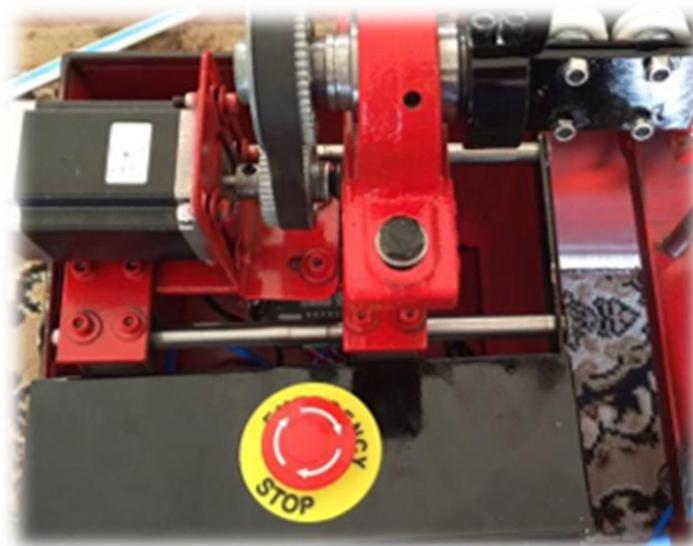


Figura 103 Pulsador de emergencia máquina bobinadora

#### 4.3.4. Diagramas de conexión del sistema de control.

Disposición de Botones de control:

Tabla 16

Distribución de pines para control

Pin Arduino	Función
0	--
1	Izquierda
2	Derecha
3	Arriba
4	Abajo
5	Stop
6	Start

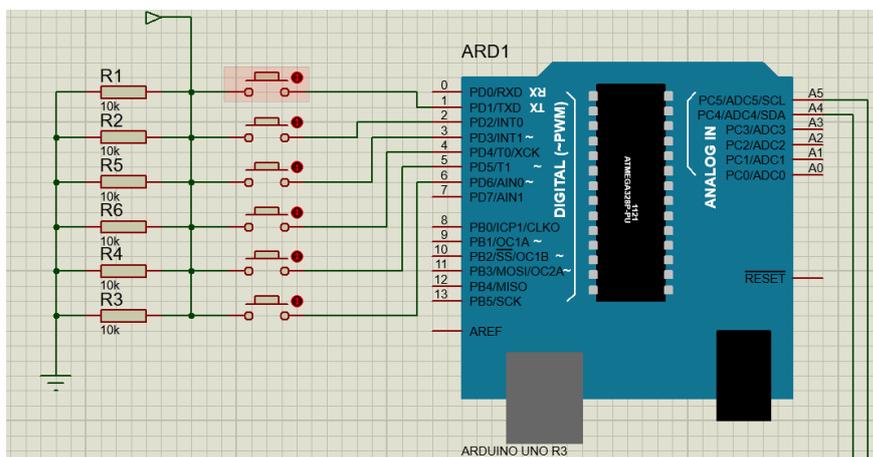


Figura 104 Diagrama de conexiones pines de salida pulsadores

Tabla 17

Distribución de pines para control de motores

PIN Arduino	Función
8	Pull Motor 1
9	Dir Motor 1
10	Pull Motor 2
11	Dir Motor 2
12	Pistón
13	--
14	--

Continua 

A4	SCL Display I2C
A5	SDA Display I2C

#### 4.3.5. Diagrama de secuencias.

En el diagrama de secuencias para el funcionamiento de la máquina bobinadora de rotores se toma en cuenta los tiempos de encendido de cada etapa o cada elemento de potencia, por lo tanto, el bobinado viene dado directamente del encendido de los motores denominados 1, seguido por la apertura y cierre de las mordazas liberando el rotor esto viene controlado por el actuador de potencia siendo dos electroválvulas en estados ON y OFF, para consiguiente funcionar el motor denominado 2, siendo este el que controla el movimiento del rotor para el ciclo de bobinado.

DIAGRAMA DE SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO VS. TIEMPO										
MOTORES 1										
ELECTROVÁLVULAS ON										
ELECTROVÁLVULAS OFF										
MOTOR 2										

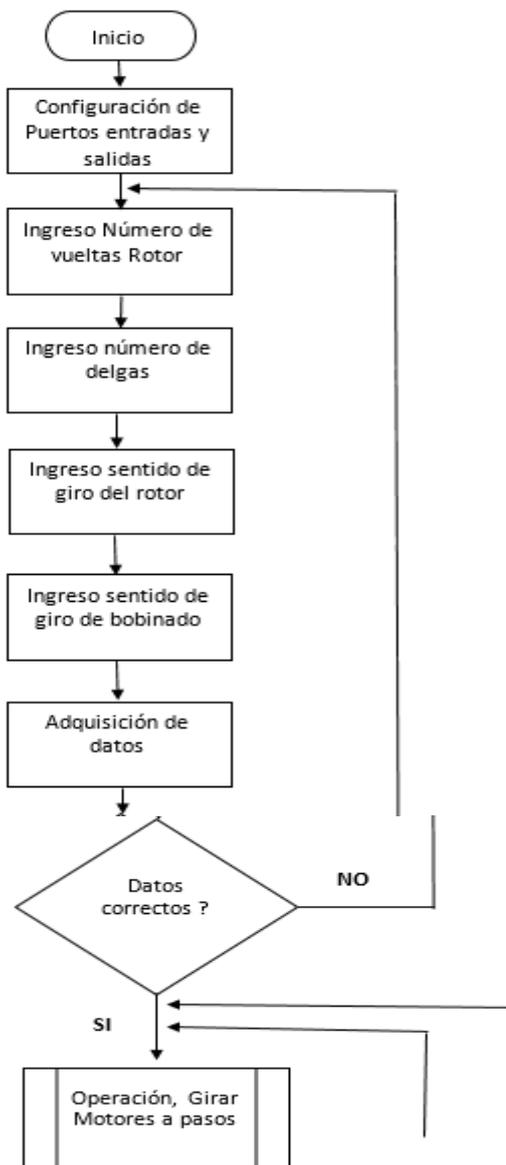
Figura 104 Secuencia de tiempos de funcionamiento

Se puede observar que la secuencia está compuesta por 4 actuadores de potencia y estos entran en funcionamiento en diferentes tiempos para que el proceso se cumpla de tal manera sacar un producto, que es el bobinado de rotores.

## CAPÍTULO V

### CONSTRUCCION PRUEBAS Y OPTIMIZACION

#### 4.1. Diagrama de flujo de procesos



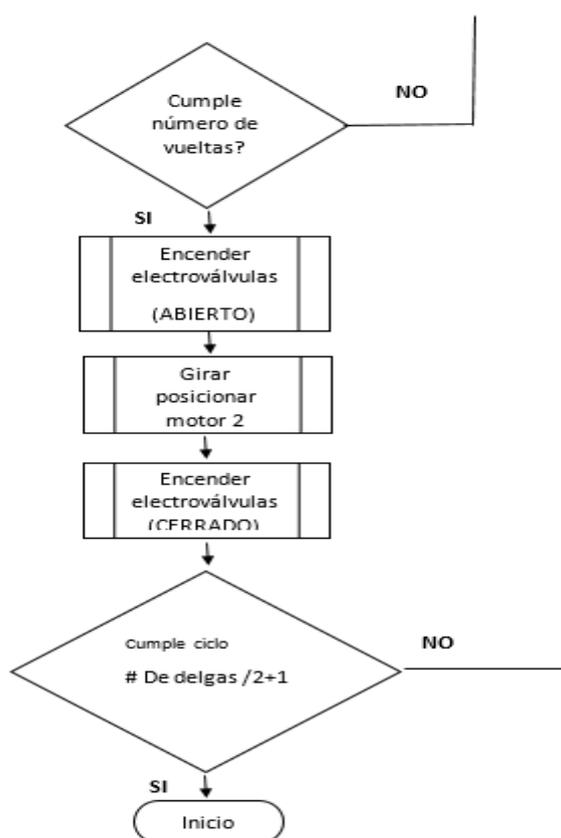


Figura 106 Diagrama de Flujo secuencia de funcionamiento MB

## 4.2. Prototipos

### 4.2.1. Desarrollo de prototipos funcionales

Para las pruebas respectivas del sistema se realizó prueba de prototipos, verificando así el funcionamiento de cada una de las partes mecánicas, eléctricas, electrónicas, neumáticas. Por lo tanto, se puede observar el funcionamiento de uno de los motores conectado a su driver CNC para el control de pasos.

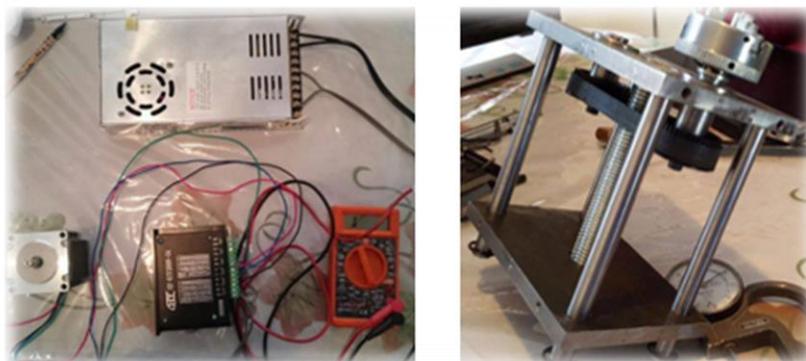


Figura 105 Prototipos de partes principales MB

#### 4.2.2. Fabricación de partes y componentes

Se puede observar el proceso de fabricación desde cero siendo la materia prima acero de transmisión A36, junto con ensambles de partes standard.

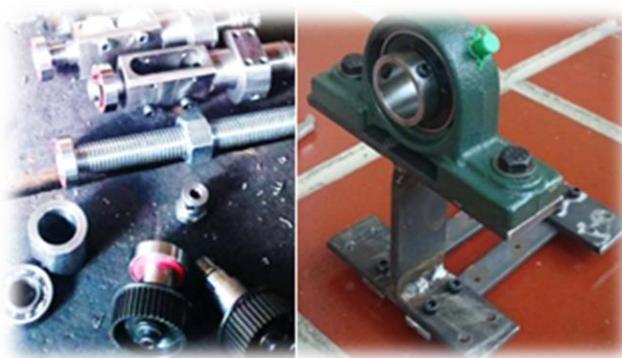


Figura 108 Fabricación de partes y componentes

Para la manufactura de los componentes se procedió a maquinarse en torno en el caso de los ejes de acero plata y acero A36 para los principales movimientos de la máquina bobinadora de rotores.

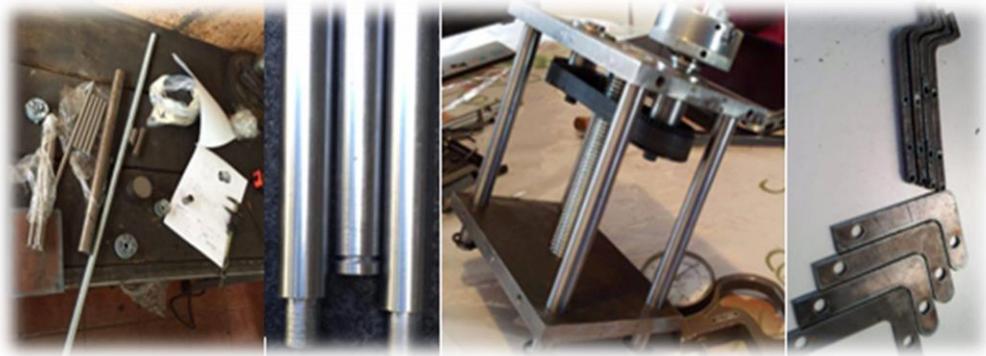


Figura 106 Componentes mecánicos para MB

Para componentes como brazos de sujeción y movimientos se ha maquinado en torno y fresa, dando un acabado eficaz, robusto, y exacto.

Para los elementos que son soportes de carretes de nylon, etc se ha utilizado el corte por plasma dando como resultado formas exactas de su respectivo diseño.

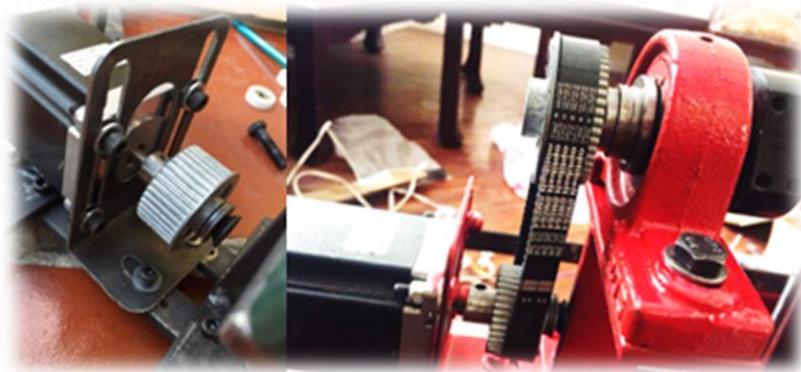


Figura 107 Sujeción mecánica para motores a pasos

En la figura anterior se puede observar los soportes de los motores cortados en plasma canales para que permita al motor ubicar de tal manera que permita ajustar su ubicación para apretar o demontar la banda de transmisión, este soporte está doblado a  $90^\circ$  y cuenta con ranuras en su parte inferior que permite acercar o alejar el motor de su base.

En la siguiente figura se puede observar el panel de botones para el ingreso de datos de la MB, el mismo consta de material acrílico transparente, así mismo este fue cortado a laser para asegurar de esa manera la exactitud de orificios para los componentes.



Figura 108 Panel de control máquina bobinadora

Así también se muestra el panel de botones con la lamina de auspicio instalada siendo una imagen sobria y repetando los colores de interfaz humano máquina. Para complementar la construcción de la máquina bobinadora de rotores se diseñó una estructura hecha de chapa metálica, esta fue doblada y soldada de tal manera para poder formar un estilo de mesa con cancelas para poder fijar y guardar los elementos electrónicos de control y potencia.



Figura 109 Fabricación de carcasa para MB

Se puede observar cada elemento interno y externo de la máquina en cuestión, fueron instalados correctamente, y esta carcasa es robusta permitiendo mantener contra golpes o posibles deterioros por su uso.



Figura 110 Instalación de componentes electrónicos

En la siguiente figura se puede observar la maquina bobinadora de rotores instalado la mayoría de sus componentes mecánicos y electrónicos llegando a obtener una máquina funcional.



Figura 111 Máquina bobinadora de Rotores

### 4.3. Montaje

#### 4.3.1. Montaje del sistema mecánico

En el montaje del sistema mecánico se fabricaron partes y piezas según la medida requerida por el diseñador, así también partes mecánicas standard como chumaceras, rodamientos, ejes de acero plata, seeger.



Figura 112 Chumacera 12mm

Montaje de poleas dentadas, pernos, sujeciones mecánicas.



Figura 113 Montaje de poleas y banda dentada

En la siguiente figura se puede observar el proceso de montaje mecánico, se decidió usar rodamientos lineales de 12mm de diametro interior para poder tener un movimiento suave y fijo.



Figura 114 Montaje de piezas y elementos mecánicos

Como se puede observar en la siguiente figura se requiere utilizar una polea dentada con un hueco interno anexo al eje principal de la máquina y así permitir el ingreso de alambre para cumplir su función. Se cuenta a su vez con 12 poleas de nylon ubicadas de tal manera que pueden tensar al alambre de cobre y alimentar a la máquina para los debanados de cada rotor a ser bobinado.



Figura 115 Eje hueco

Montaje del motor a pasos para el movimiento de rotor ubicado en la mesa de sujeción del mismo, este motor controla el número de paso respetando así el diagrama de bobinado de cada rotor.

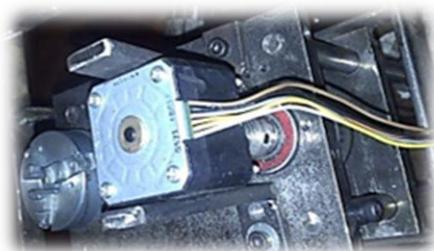


Figura 116 Prototipo de motor a pasos para mesa elevadora

Por último, se puede observar la ubicación de cada una de las partes y piezas mecánicas, dando como resultado una estructura robusta y funcional concluyendo así que está acorde con lo estipulado en el diseño de cada parte y pieza instalada.



Figura 117 Estructura de máquina bobinadora

#### 4.3.2. Montaje de sistema neumático

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de dos electroválvulas ubicadas en el interior de la maquina bobinadora de rotores con sus respectivas mangueras neumáticas de alimentación.

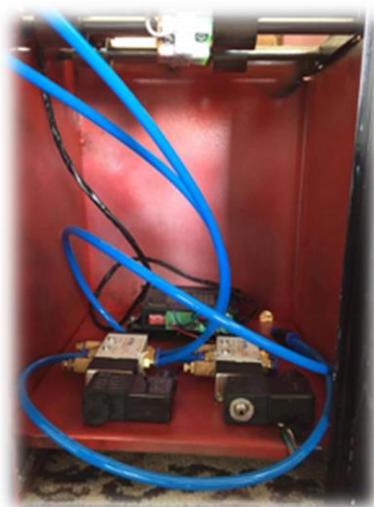


Figura 118 Instalación de sistema neumático

En la instalación de cada manguera neumática se recomienda usar la distancia adecuada para así asegurar que no exista dobleces u obstrucciones que no permitan el paso de aire en el interior de la misma.



Figura 119 Electroválvulas 24v

#### 4.3.3. Montaje de sistema eléctrico

Se puede observar la ubicación de la fuente y los módulos controladores CNC para los motores a pasos, instalación de los cables en canaletas



Figura 120 Fuente de poder

Diagramas electrónicos y distribución de pines en micro controlador ARDUINO, conexiones de Display comunicación I2C

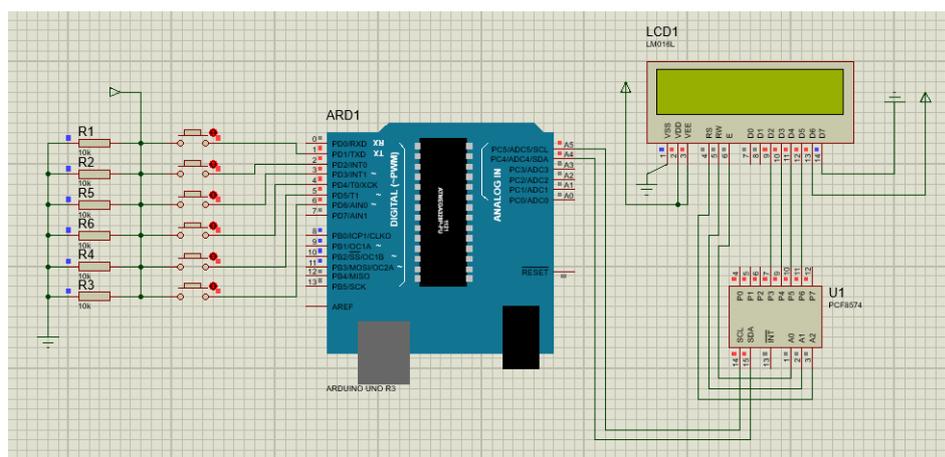


Figura 121 Diagrama de conexiones Arduino UNO

Conexiones y distribución de pines en cada uno de los módulos controladores CNC para motores a pasos, cabe recalcar que dos motores funcionan con la misma señal de dirección y pulso. También se puede observar la conexión de un relé para el encendido de las electroválvulas conectado al pin número 12 del micro controlador.

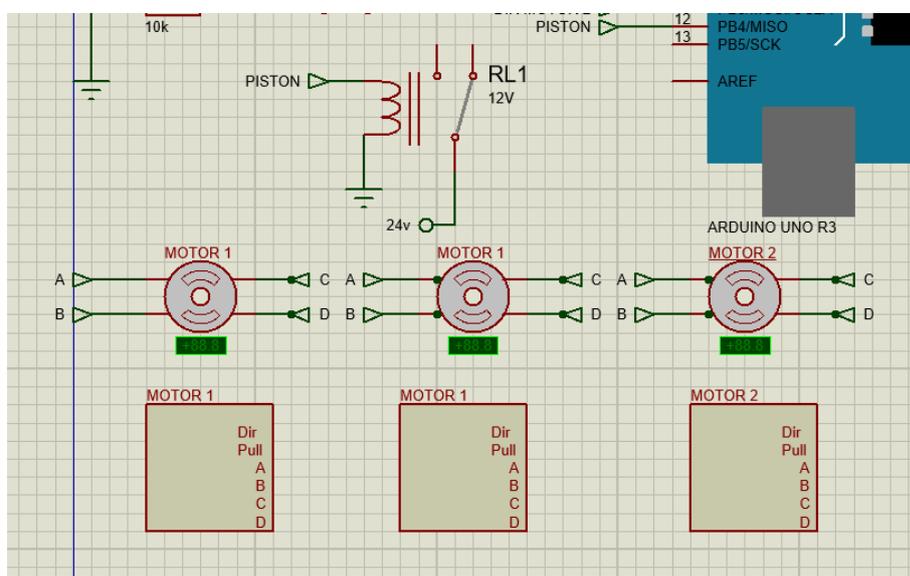


Figura 122 Conexiones de motores a pasos

#### 4.3.4. Montaje del sistema de control

En la figura se puede observar el interfaz humano máquina con la que cuenta la máquina bobinadora de rotores, la misma forma parte del control e ingreso de datos por teclado para poder setear los parámetros requeridos para el bobinado del rotor.



Figura 123 Panel de control implementado

#### 4.4. Pruebas de funcionamiento

##### 4.4.1. Pruebas del sistema mecánico

Se realizaron cuatro pruebas de funcionamiento en el sistema mecánico para verificar el correcto funcionamiento de la maquina bobinadora de rotores.

##### 4.4.1.1. *Prueba del sistema del sistema de distribución de alambre de cobre*

En este ensayo se probó si el sistema generaba suficiente tensión en el cable para que el bobinado tenga una buena calidad, se realizaron pruebas sucesivas con los diferentes tipos de alambres necesarios y se determinó que el sistema de poleas utilizado para generar tensión es el indicado. Fue necesario verificar el ajuste de las poleas pues en un inicio las mismas no giraban en su totalidad, razón por la cual el sistema no funcionan de manera adecuada.

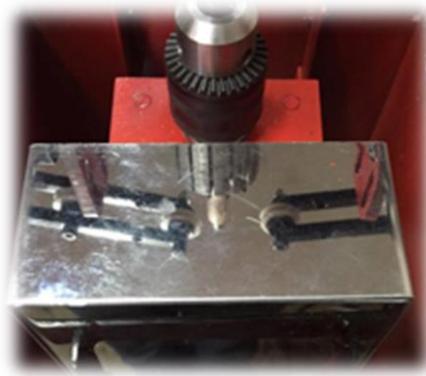


Figura 124 Prototipo de carcasa para motor a pasos de mesa elevadora

#### ***4.4.1.2. Prueba del sistema de transmisión de potencia***

En esta etapa se verifico si el motor realmente genera el suficiente torque para mover todos los componentes del equipo como los matrimonios, la banda, las ruedas y el eje principal con todos los elementos de sujeción. Este ensayo se lo realizo con pruebas sucesivas de ciclos de trabajo, donde se realizó 10 bobinados de 30 vueltas cada una intercambiando el sentido de giro.

En esta prueba se determinó que el torque generado por el motor era el apropiado para lograr mover todo el sistema sin ninguna sobrecarga en el mismo. En los primeros ensayos se vio la necesidad de engrasar la maquina pues los rodamientos estaban generando resistencia al movimiento, pero posterior a esto el desplazamiento del sistema de transmisión fue continuo y sin resistencia.

#### ***4.4.1.3. Prueba del sistema de posicionamiento angular del rotor***

El propósito de esta prueba fue determinar si por medio del motor a pasos seleccionado se podía posicionar de una manera adecuada el rotor para que este encaje exactamente en las mordazas. Esto es indispensable en el proceso de bobinado, pues al no encajar estas partes de manera adecuada el alambre de cobre no se depositaria en la delga.

En los primeros ensayos no se logró posicionar el rotor, pues el número de pasos del motor no lo permitía, por lo que se usó las subdivisiones de pasos que posee el driver

del mismo. Se usó el paso 1/4 con lo que el motor da 800 pasos por revolución, esto nos dio una resolución para cada paso de 0.4553 grados con lo que se logró posicionar el rotor en cada ciclo.

#### **4.4.1.4. Prueba del sistema elevador del rotor**

El sistema elevador tiene como objetivo centrar el rotor para que este a la altura en la cual encaja en las mordazas, las pruebas que se realizaron tenían como objetivo verificar la alineación del rotor con respecto al resto de la máquina. Se verifico inicialmente que el mandril de torno utilizado no se podía alinear, por lo que se vio la necesidad de cambiar este por un mandril de taladro y realinear la estructura. Con este cambio se logró un posicionamiento adecuado del rotor.

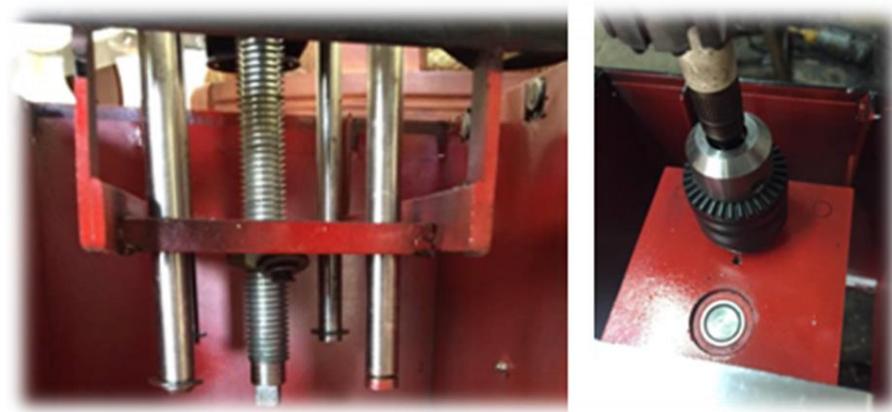


Figura 125 Mesa elevadora de rotores

#### **4.4.1.5. Pruebas del sistema neumático**

En las pruebas en el sistema neumático se pudo observar el comportamiento del sistema como tal en apertura y cierre de las mordazas, siendo un movimiento robusto, suave y confiable.



Figura 126 Cierre de mordazas por sistema neumático

En la figura siguiente se puede observar la apertura de las mordazas en la máquina bobinadora de rotores, la misma tiene un movimiento suave, robusto y confiable que permite manipular el movimiento del rotor y el alambre de cobre después de cada ciclo



Figura 127 Apertura de mordazas por sistema neumático

#### 4.4.2. Pruebas del sistema electrónico

Para poder comprobar el correcto funcionamiento de cada motor se realizaron pruebas en vacío generando procesos de velocidad, cuenta vueltas, control de giro etc.



Figura 128 Conexiones de motor a pasos

En las pruebas del interfaz humano máquina se comprobó el funcionamiento de cada uno de los botones, siendo satisfactorio, cabe recalcar que se ubicó luces led piloto para cada botón los mismos que se encienden cuando uno de estos es presionado.



Figura 129 Pruebas de panel de control

#### 4.4.3. Pruebas del sistema de control de secuencia

En la figura siguiente se puede observar las pruebas de funcionamiento ingresando los valores para el bobinado.



Figura 130 Ingreso de datos en panel de control

Se comprobó que la toma de datos es la correcta, los tiempos de lectura y escritura son los necesarios para cumplir con este proceso.



Figura 131 Ingreso de número de vueltas

## 4.5. Funcionamiento de la maquina

### 4.5.1. Metodología de Taguchi

Para desarrollar los experimentos necesarios en el proceso de optimización de la maquina bobinadora semiautomática de rotores, se utilizará la metodología de diseño de experimentos de Taguchi; la misma que consta de tres etapas:

- a) Diseño del sistema
- b) Diseño de parámetros
- c) Diseño de tolerancias

De estas tres la más importante es la etapa de diseño de parámetros, pues esta nos permite Identificar qué factores afectan la característica de calidad en cuanto a su magnitud y en cuanto a su variabilidad, definir los niveles “óptimos” en que debe fijarse cada parámetro o factor, e identificar factores que no afectan substancialmente la calidad a fin de liberar el control de estos factores y ahorrar costos de pruebas.

La metodología de Taguchi plantea una serie de arreglos ortogonales que denominó

**La (b)C**

Donde:

**a** = Representa el número de pruebas o condiciones experimentales que se tomarán. Esto es el número de renglones o líneas en el arreglo.

**b** = Representa los diferentes niveles a los que se tomará cada factor.

**c** = Es el número de efectos independientes que se pueden analizar, esto es el número de columnas.

En el proceso de bobinado de rotores se desea obtener la mejor calidad posible en el tejido del alambre de cobre, para lo cual se van a cuantificar tres factores los que afectan la calidad final del bobinado. El experimento fue desarrollado con dos niveles en cada uno de los parámetros, los mismos que fueron determinados de la siguiente manera.

- La velocidad de los brazos se determinó en 100 RPM para un nivel alto, y en 25 RPM para un nivel bajo. La velocidad del nivel bajo es la utilizada para el posicionamiento de los brazos de manera automática.
- Dos tipos de mordazas fueron usadas, la Tipo 1 es una mordaza genérica que se regula para adaptarse a cualquier tipo de rotor; la mordaza Tipo 2 por el otro lado es específica para cada modelo de rotor lo que la hace más precisa pero menos adaptable.
- El posicionamiento del rotor se realizó para 25 RPM como un nivel alto, y 10 RPM como un nivel bajo. La importancia de la velocidad de posicionamiento es debido al torque que genera el motor, pues los motores a paso tienen un torque mayor a menores revoluciones.
- La copa es un elemento que cubre el colector del rotor para que, al momento de realizar el bobinado, el alambre no quede atascado en el mismo.
- La tensión del cable ha sido determinada de manera cualitativa, pues esta depende del tejido que se genere en el sistema de poleas para la distribución del alambre. El valor alto corresponde al paso por cada una de las poleas en el sistema y el valor bajo corresponde a una alimentación directa del alambre hacia el rotor.

Tabla 18

*Niveles de prueba para el experimento.*

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>
<b>A</b>	Velocidad de los brazos al bobinar	100 RPM	25 RPM
<b>B</b>	Tipo de mordazas	Tipo 1	Tipo 2
<b>C</b>	Velocidad de posicionamiento del rotor	25 RPM	10 RPM
<b>D</b>	Copa para el colector del rotor	Si	No
<b>E</b>	Tensión del cable	Alta	Baja

El resultado final que se busca en el bobinado es la calidad, por lo que esta será cuantificada en base a tres variables, el número de vueltas que no se ubican en el lugar correcto, la tensión en el bobinado del cable, y la apariencia visual del acabado.

Cada parámetro tiene diferente porcentaje de importancia. Los pesos han sido determinados de manera equitativa pues cada uno refleja calidad en el trabajo, sin embargo, el estado visual generaliza a todas por lo que se le ha dado el peso de 40%.

Tabla 19

*Peso de los parámetros para la evaluación de la calidad.*

<b>#</b>	<b>Peso</b>	<b>Parámetro</b>
<b>1</b>	40%	Estado visual del Bobinado final
<b>2</b>	30%	Tensión final del bobinado
<b>3</b>	30%	Cantidad de vueltas fuera de lugar

En base a estos porcentajes se evaluó el experimento para cada una de las variantes presentes en el arreglo ortogonal L8. Los valores conseguidos durante el experimento se encuentran en la siguiente tabla. Para cada parámetro se determinó un valor sobre el 100%. Por último, se consiguió un valor final de la calidad del bobinado basado en el puntaje obtenido por cada parámetro y su peso.

Tabla 20

*Evaluación de la calidad para cada variación del experimento*

	Puntaje para cada parámetro			TOTAL
	1	2	3	
<b>1</b>	40%	80%	25%	<b>48%</b>
<b>2</b>	30%	30%	15%	<b>26%</b>
<b>3</b>	90%	90%	100%	<b>93%</b>
<b>4</b>	75%	30%	80%	<b>63%</b>
<b>5</b>	45%	30%	50%	<b>42%</b>
<b>6</b>	55%	70%	60%	<b>61%</b>
<b>7</b>	70%	30%	80%	<b>61%</b>
<b>8</b>	65%	60%	40%	<b>56%</b>

En los experimentos 2 y 3 se encuentran los valores extremos obtenidos en el experimento, siendo el 3 el que presentó la mejor calidad de bobinado y el 2 la peor calidad. Por ejemplo, para el cálculo de la calidad en el caso 3

$$Y_i = (\text{Parametro 1} * \text{peso 1}) + (\text{Parametro 2} * \text{peso 2}) \\ + (\text{Parametro 3} * \text{peso 3})$$

$$Y_3 = 90\% * 0.4 + 90\% * 0.3 + 100\% * 0.3$$

$$Y_3 = 93\%$$

En la tabla del arreglo ortogonal se puede verificar las combinaciones presentes en cada experimento y el resultado obtenido.

Tabla 20

Arreglo ortogonal L8 para el experimento de la calidad en el bobinado

N o.	A	B	C	D	E	e 1	e 2	V. Brazos	T. Morda za	V. Rotor	Cop a Rot or	T. cabl e	Yi
<b>1</b>	1	1	1	1	1	1	1	100 RPM	Tipo 1	25 RPM	Si	Alta	47.50 %
<b>2</b>	1	1	1	2	2	2	2	100 RPM	Tipo 1	25 RPM	No	Baj a	25.50 %

Continúa 

<b>3</b>	1	2	2	1	1	2	2	100 RPM	Tipo 2	10 RPM	Si	Alta	93.00 %
<b>4</b>	1	2	2	2	2	1	1	100 RPM	Tipo 2	10 RPM	No	Baja	63.00 %
<b>5</b>	2	1	2	1	2	1	2	25 RPM	Tipo 1	10 RPM	Si	Baja	42.00 %
<b>6</b>	2	1	2	2	1	2	1	25 RPM	Tipo 1	10 RPM	No	Alta	61.00 %
<b>7</b>	2	2	1	1	2	2	1	25 RPM	Tipo 2	25 RPM	Si	Baja	61.00 %
<b>8</b>	2	2	1	2	1	1	2	25 RPM	Tipo 2	25 RPM	No	Alta	56.00 %

*Tabla 21*

*Calculo de la suma de cuadrados para el Nivel I y II*

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>Nivel 1</b>	2.29	1.76	1.90	2.44	2.58	2.09	2.33
<b>Nivel 2</b>	2.20	2.73	2.59	2.06	1.92	2.41	2.17
	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49
<b>SS</b>	0.00101	0.11761	0.05951	0.01805	0.05445	0.01280	0.00320
	3	3	3	0	0	0	0
	<b>Sse = 0.128+0.0032</b>				<b>Sse = 0.01600</b>		
					<b>0</b>		

Se realiza el análisis de los datos en la tabla Anova.

Tabla 22

*Análisis de la información recolectada del experimento por tabla Anova*

<b>Efecto</b>	<b>S.S.</b>	<b>G.L.</b>	<b>V</b>	<b>Fexp</b>
<b>A</b>	0.001013	1	0.001013	0.126562
<b>B</b>	0.117613	1	0.117613	14.701563
<b>C</b>	0.059513	1	0.059513	7.439062
<b>D</b>	0.018050	1	0.018050	2.256250
<b>E</b>	0.054450	1	0.054450	6.806250
<b>Error</b>	0.016000	2	0.008000	
<b>Total</b>	0.266638	7		

Del análisis en la tabla Anova se puede determinar que los parámetros B, C, D y E son significantes, y afectan la calidad final del bobinado, por lo que se debe fijar cada factor significativo en este punto para optimizar el funcionamiento de la máquina.

Los parámetros óptimos de funcionamiento son:

- Mordazas tipo II
- Velocidad de posicionamiento del rotor a 10 RPM
- Con copa para el rotor
- Con tensión alta en el alambre de cobre

#### **4.5.2. Toma de datos.**

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento de la maquina bobinadora se pudo comprobar los tiempos de manufactura automática, por lo tanto, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 23

*Recolección de datos en proceso automático*

<b>DATOS DE PROCESO AUTOMATICO</b>		
<b>Tiempo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Calidad</b>
<b>minutos</b>		
<b>10</b>	Tensar alambre	100%
<b>5</b>	Setear mordazas	100%
<b>5</b>	Setear control	100%
<b>45</b>	Bobinar	99%
<b>10</b>	Identificar salidas de alambre en devanado	80%

#### **4.5.3. Calibración de instrumentos y accesorios**

Para la calibración de cada elemento que consta de la maquina bobinadora de rotores se debe ingresar valores por teclado como ya se mencionó anteriormente como son el número de vueltas, número de delgas, sentidos de giro de bobinado y rotor.

También a su vez se debe tomar en cuenta antes de poner en marcha la máquina, la altura de la mesa donde se soporta el rotor ya que debe estar en el centro de las mordazas ya que así se asegura que el alambre entre de mejor manera, correctamente y sin producir esfuerzos cortantes o abolladuras en el alambre por cuestión de descentramiento de la máquina

Se recomienda una vez fijada la altura de la mesa del rotor ajustar un prisionero interno en uno de sus ejes móviles para así asegurar que todo esté en posición y de manera robusta para comenzar con el trabajo.

Se recomienda también tomar en cuenta que el alambre de cobre se encuentre por encima de los mini carretes de nylon bien sujetos y templado para que pueda fluir el alambre sin producirse enredos, ataduras o problemas en general.

Verificar en cada ciclo de trabajo que el número de paso coincida con la ubicación de cada una de las mordazas ya que si existiera algún bobinado en una delga que no

corresponde al ciclo puede existir un problema de corto circuito o a su vez que todo el bobinado sea erróneo.

El sistema cuenta con un botón de emergencia, el mismo al accionar apagará el sistema por completo en el caso que exista alguna emergencia como puede ser la ruptura de alambre de cobre o bobinado erróneo en alguna delga del rotor.

#### 4.5.4. Análisis de los resultados

Una vez concluido las pruebas observando los rotores bobinados por la maquina en cuestión se pudo observar que la calidad de manufactura automática, efectivamente mejoró en un 45% en comparación a la manual, el tiempo de bobinado es mucho menor.

*Tabla 24*

*Recolección de datos en procesos automático y manual*

<b>TABLA DE COMPARACIÓN DE DATOS</b>				
	TIEMPO Horas	CALIDAD	COSTO	CANTIDAD
<b>AUTOMATICO</b>	1	100%	25	1
<b>MANUAL</b>	3	55%	35	1

Cabe recalcar que, de la tabla de comparación de datos el tiempo de bobinado de rotor en el proceso automático y manual es por el ciclo completo a seguir para dejarlo completamente listo para su uso, siendo: bobinado, remachado, puesto aislamientos, barnizado, balanceo dinámico.

Y a su vez el costo por el mismo se aprecia que reduce porque el trabajador que se dedicaba a esa función se convierte en operario de la máquina, aumentando la producción al triple en el mismo tiempo anterior.

#### 4.6. Manual de operación para el usuario

El manejo de la maquina está dividido en dos etapas:

A. Configurar mecánicamente la máquina para el rotor específico a ser bobinado

- B. Ingresar la información del diagrama del rotor y realizar el bobinado
- Se selecciona el tipo de cable que va a usarse en el bobinado
  - Se pasa el cable por las poleas con el esquema indicado para este procedimiento
  - Como primer paso se debe configurar las mordazas adecuadas para el tipo de rotor seleccionado
  - Se coloca las distancias adecuadas para que las mordazas entren en contacto con el rotor sin que se dé impacto con el rotor
  - Se ubica el rotor a una altura de manera que el rotor este centrado con las mordazas
  - Se suelda las puntas del cable de cobre a los respectivos puntos en el colector del rotor
  - Se inicia el ingreso de datos en la consola
  - Con los botones arriba, abajo, derecha, izquierda, y se realiza la navegación por los diferentes menús que presenta la interface. Cuando es un ingreso de números, los mismo aumentarán o disminuirán en unidades con los botones derecha e izquierda respectivamente. Con los botones arriba y abajo aumentarán o disminuirán en decenas estos mismos valores. Si se debe ingresar el sentido de giro, este se seleccionará por medio de los botones derecha e izquierda. Siendo derecha el sentido horario e izquierda el sentido anti horario.
  - Se presiona Start para iniciar el proceso
  - Ingresar el número de vueltas que debe dar el bobinado



Figura 132 Ingreso número de vueltas

- Presionar start para confirmar
- Ingresar el sentido del bobinado



Figura 133 Ingreso sentido de giro

- Presionar start para confirmar

- Ingresar el número de delgas que tiene el rotor



Figura 134 Ingreso número de delgas

- Presionar start para confirmar
- Se ingresa el sentido de giro del rotor



Figura 135 Ingreso sentido de giro del rotor

- Presionar start para confirmar
- Una vez ingresados los valores del bobinado, se presenta una pantalla mostrando los valores ingresados y el sistema espera que el botón start sea presionado para iniciar el proceso de bobinado. Se cierran las mordazas activadas por cilindros neumáticos



Figura 136 Recopilación de datos ingresados

- Presionar start para continuar
- Empiezan a girar los brazos depositando el alambre de cobre, una vez completadas las vueltas paran y se abren las mordazas
- Se debe soldar de nuevo la punta del alambre de cobre a la siguiente delga
- Presionar start para continuar
- Gira el rotor el ángulo indicado para que las mordazas encajen en la siguiente delga
- Presionar start para continuar
- Este proceso se repite el número de veces que se haya ingresado al equipo

Ubicación de alambre de cobre en poleas de nylon

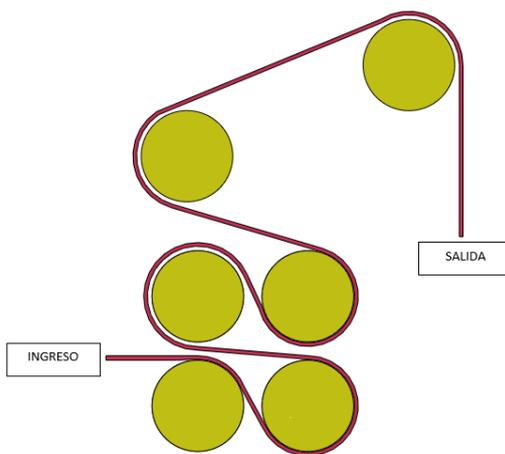


Figura 137 Ubicación de alambre para tensores

## CAPÍTULO VI

### ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 6.1. Análisis Económico

La inversión realizada está a cargo de la empresa, SERVICIOS ELECTRICOS INDUSTRIALES DELTA, la misma que tiene como objetivo automatizar el proceso de manufactura de bobinado de rotores. La siguiente tabla detalla el costo y descripción de cada uno de los elementos standard y manufacturados.

*Tabla 25*

*Lista de precios en materiales.*

<b>Materiales</b>		
Ítem	Detalle	Valor Total
1	Motores a pasos 24V x 3	180
2	Driver motor a pasos 5A x 3	120
3	Fuente de alimentación 20A	100
4	Arduino Uno	45
5	Cilindro Neumático x 2	90
6	Mandril Torno	75
7	Válvulas neumáticas x 2	120
8	Compresor	180
9	Tornillo sin fin	10
10	Piñones y engranes	130
11	Cables	40
12	Ejes	490
13	Pernos y tornillos	50
14	Display LCD	16
15	Pulsadores x 6	10
16	Circuitos y chips	100
17	Material para estructura de máquina	280
18	Poleas de nylon x16	60
19	Planchas de tol	90
20	Plancha de acrílico	30

Continua 

Total:	2216
--------	------

Tabla 26

Lista de precios en servicio técnico y equipos.

**SERVICIO TÉCNICO, EQUIPOS Y SOFTWARE**

Ítem	Detalle	Valor Total
1	Mano de obra	200
2	Estudios de Ingeniería	100
3	Asesoría Técnica	100
Total:		400

Tabla 27

Lista de precios suministros de oficina.

**SUMINISTROS DE OFICINA**

Ítem	Detalle	Valor Total
1	Hojas	10
2	Anillados	30
3	Material Bibliográfico	20
4	Impresiones	20
Total:		80

Tabla 28

Costo total de Máquina Bobinadora de rotores

**COSTOS TOTALES DE MANUFACTURA DE LA MAQUINA**

Descripción	Precio
Materiales	2216
Suministros	80
Manufactura	400
Total:	2696

Se puede observar que la máquina bobinadora tiene un costo total de \$2696 USD. Los mismo que fueron solventados en su totalidad por la empresa auspiciante

## 6.2. Análisis Financiero

Para el análisis financiero en el presente proyecto se ha tomado la decisión de realizar un análisis costo beneficio, ya que este proceso se ha venido realizando manualmente por un empleado se considerará el costo de manufactura, materia prima y costo unitario por cada modelo a ser bobinado.

Para la siguiente tabla se toma valores reales de costo de manufactura junto con la demanda que tiene cada modelo mensualmente.

*Tabla 29*

*Costos de manufactura manual a un mes.*

<b>MANUFACTURA A MANUAL MES 1</b>						
<b>CANTID</b>	<b>MODE</b>	<b>MATERI</b>	<b>\$. COSTO</b>	<b>COST</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COST</b>
<b>AD</b>	<b>LO</b>	<b>A</b>		<b>O</b>		<b>O</b>
<b>AL MES</b>	<b>ROTOR</b>	<b>PRIMA</b>	<b>MANUFACT</b>	<b>UNIT</b>	<b>HORAS</b>	<b>TOT</b>
		<b>USD</b>	<b>URA</b>		<b>C/U</b>	<b>AL</b>
<b>3</b>	4188	51	60	20	3	111
<b>2</b>	6208	34	40	20	3	74
<b>2</b>	TP7	26	32	16	2:30	58
<b>2</b>	TP6	26	32	16	2:30	58
<b>2</b>	DW 232	34	40	20	3	74
<b>2</b>	R 330	36	40	20	3	76
<b>13</b>	<b>: Total</b>				<b>Total:</b>	<b>451</b>

Cabe recalcar que una de las principales necesidades de la empresa es reducir el tiempo de manufactura y así poder aumentar la producción si es posible al doble con parámetros de calidad en el acabado del bobinado.

Para la siguiente tabla se han podido obtener los valores reales tomados de la misma empresa auspiciante siendo la cantidad de demanda y los que se pueden tener en stock para cada modelo y a su vez los precios de manufactura reduciendo los parámetros, tiempo y costo de producción por empleado

*Tabla 30*

*Costos de manufactura en proceso automático.*

<b>MANUFACTURA MÁQUINA BOBINADORA DE ROTORES MES 1</b>						
<b>CANTIDAD</b>	<b>MODELO</b>	<b>MATERIA</b>	<b>\$. COSTO</b>	<b>COSTO</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COSTO</b>
<b>AL MES</b>	<b>ROTOR</b>	<b>PRIMA</b>	<b>MANUFACTURA</b>	<b>UNITARIO</b>	<b>HORAS</b>	<b>TOTAL</b>
		<b>USD</b>	<b>URA</b>		<b>C/U</b>	<b>AL</b>
<b>6</b>	4188	102	60	10	1:30	162
<b>5</b>	6208	85	50	10	1:30	135
<b>3</b>	TP7	39	24	8	1:30	63
<b>5</b>	TP6	65	40	8	1:30	105
<b>4</b>	DW 232	68	40	10	1:30	108
<b>3</b>	R 330	54	30	10	1:30	84
<b>26</b>	: Total				Total:	657

Se puede comprobar que el tiempo en la manufactura se ha reducido en la mitad, por lo tanto, el costo de manufactura por cada uno disminuye de igual manera aumentando la producción en el mismo tiempo, cabe mencionar que la calidad con la que la maquina bobinadora de rotores entrega el producto final es mejor en un 60% reduciendo el chispeo en las escobillas, balanceo dinámico reducido.

*Tabla 31*

*Costos de materia prima para manufactura de rotores.*

<b>COSTO DE MATERIA PRIMA PARA MANUFACTURA DE ROTORES</b>				
<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>1</b>	0,5	1 lb alambre de cobre	9	4,5
<b>1</b>	0,2	Cartulina dieléctrica	6	1,2

Continua 

1	1	Barniz	2,5	2,5
1	1	Balanceo dinámico	3	3
1	1	Colector	9	9
			Total:	20,2

Para el análisis financiero se plantea los siguientes supuestos:

- El costo promedio de cobre no varía
- El costo de aislamiento no varía.
- El costo de barniz especial de rotores no varía
- Costo unitario mano de obra por cada rotor varía dependiendo el tamaño.
- Costo unitario manufactura del rotor varía dependiendo el tamaño ya que los más pequeños se los realizan en menos tiempo.
- De la tabla se concluye el costo total de manufactura manual siendo: 451 costo por cada mes.
- Costo unitario de manufactura por cada rotor varía dependiendo el tamaño.
- El tiempo unitario de manufactura por cada rotor disminuye a la mitad.

De la tabla MANUFACTURA MÁQUINA BOBINADORA DE ROTORES MES 1 se puede observar que el costo por manufactura con la maquina bobinadora de rotores reduce el costo y el tiempo unitario aumentando la producción al doble en el mismo tiempo siendo el tiempo en análisis un mes.

Tabla 32

Costos de manufactura de proceso manual 2do. Mes.

MANUFACTURA A MANUAL MES 2						
CANTIDA D AL MES	MODEL O ROTOR	MATERIA PRIMA USD	\$. COSTO MANUFACTUR A	COST O UNIT	TIEMPO HORAS C/U	COST O TOTA L
3	4188	51	60	20	3	111
3	6208	51	60	20	3	111
1	TP7	13	16	16	2:30	29

Continúa 

<b>4</b>	TP6	52	64	16	2:30	116
<b>2</b>	DW 232	34	40	20	3	74
<b>1</b>	R 330	18	20	20	3	38
<b>14</b>	: Total				Total:	479

*Tabla 33*

*Costos de manufactura proceso automático.*

<b>MANUFACTURA MÁQUINA BOBINADORA DE ROTORES MES 2</b>						
<b>CANTID</b>	<b>MODE</b>	<b>MATERI</b>	<b>\$. COSTO</b>	<b>COST</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COST</b>
<b>AD</b>	<b>LO</b>	<b>A</b>		<b>O</b>		<b>O</b>
<b>AL MES</b>	<b>ROTOR</b>	<b>PRIMA</b>	<b>MANUFACT</b>	<b>UNIT</b>	<b>HORAS</b>	<b>TOT</b>
		<b>USD</b>	<b>URA</b>		<b>C/U</b>	<b>AL</b>
<b>5</b>	4188	85	50	10	1	135
<b>6</b>	6208	102	60	10	1	162
<b>5</b>	TP7	65	40	8	1	105
<b>3</b>	TP6	39	24	8	1	63
<b>4</b>	DW 232	68	40	10	1	108
<b>4</b>	R 330	72	40	10	1	112
<b>27</b>	: Total				Total:	685

Se puede observar que para los dos casos proceso manual y automático se considera la manufactura de varios tipos de rotores los mismos que varían su costo y tiempo de bobinado, por lo tanto, se resume en las siguientes tablas el costo mensual total por cantidad total de rotores manufacturados.

En el supuesto caso que se presente una variación de valores en demanda, entre cada modelo de rotor se tomará que el valor de 671 USD. sea un promedio a ser utilizado para proyecciones de estudio económico a un año para poder realizar una estimación de costos de manufactura y retorno de capital.

Se tiene un promedio de ventas mensuales en el proceso manual de 13 rotores y un precio de 447,50 USD, en diferentes modelos por lo cual se detalla en la siguiente tabla.

*Tabla 34*

*Costo proyectado a un año en proceso manual.*

<b>PROCESO MANUAL</b>		
<b>MES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
<b>1</b>	13	451
<b>2</b>	12	377
<b>3</b>	10	350
<b>4</b>	15	502
<b>5</b>	14	490
<b>6</b>	13	451
<b>7</b>	12	377
<b>8</b>	15	502
<b>9</b>	16	520
<b>10</b>	14	490
<b>11</b>	11	370
<b>12</b>	14	490
<b>Total:</b>		<b>5370</b>
<b>Promedio</b>	<b>13,25</b>	<b>447,5</b>

Para el mismo caso en el proceso automático se puede observar un promedio de ventas cada mes de 25 rotores con un costo promedio de 617,75 USD. Los mismos que serán utilizados para una proyección de costos a un año para el estudio de rentabilidad del equipo.

Tabla 35

*Costo proyectado a 1 año proceso automático.*

<b>PROCESO AUTOMATICO</b>		
<b>MES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
<b>1</b>	26	657
<b>2</b>	27	685
<b>3</b>	23	591
<b>4</b>	25	610
<b>5</b>	20	490
<b>6</b>	24	451
<b>7</b>	23	591
<b>8</b>	28	703
<b>9</b>	27	685
<b>10</b>	25	610
<b>11</b>	25	610
<b>12</b>	29	730
<b>Total:</b>		<b>7413</b>
<b>Promedio</b>	<b>25,17</b>	<b>617,75</b>

Tabla 36

*Beneficio mensual en costos de manufactura en tipos de procesos.*

<b>TIPO DE PROCESO</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Costo Proceso Manual</b>	377
<b>Costo Proceso Automático</b>	657
<b>Beneficio Total Mensual:</b>	<b>280</b>

El beneficio de la máquina bobinadora de rotores se puede observar que es de 280 USD. en un promedio tomando de valores reales proporcionados por la empresa auspiciante

Tabla 37

Retorno de capital de inversión.

Mes	Costo Total	Venta Total	Utilidad	Cuota de	Deuda de
	Mensual	Mensual	Bruta	Inversión	Inversión
	Mensual				
1	657	788,4	295,65	280	2696
2	685	822	308,25	280	2416
3	591	709,2	265,95	280	2107,75
4	610	732	274,5	280	1841,8
5	490	588	220,5	280	1567,3
6	451	541,2	202,95	280	1346,8
7	591	709,2	265,95	280	1143,85
8	703	843,6	316,35	280	877,9
9	685	822	308,25	280	561,55
10	610	732	274,5	280	253,3
11	610	732	274,5	280	28
12	730	876	328,5	280	-252
13	657	788,4	295,65	280	0
14	685	822	308,25	280	0
15	591	709,2	265,95	280	0
16	610	732	274,5	280	0
17	490	588	220,5	280	0
18	451	541,2	202,95	280	0
19	591	709,2	265,95	280	0
20	703	843,6	316,35	280	0

Se ha podido estimar el porcentaje de ganancia considerada como utilidad bruta en base a los valores proporcionados por la empresa auspiciante siendo un 45% del valor costo venta total, pero para la proyección de presupuesto y en manera de cuota de inversión un promedio mensual de 280 USD. Por lo tanto.

Tr= tiempo retorno de la inversión.

Gm= Ganancia mensual generada a partir del décimo segundo mes.

Tr = 12 meses

Gm= 280

De la tabla de proyección estimada de Ganancia Vs. Inversión se puede observar que existe una tasa de retorno de capital al décimo segundo mes recuperando la inversión y habiendo una ganancia desde aquel mes considerable siendo un promedio entre los 280 USD. Mensuales.

El Costo total de la máquina bobinadora de rotores desarrollada para la empresa auspiciante tiene un costo total de \$2.696 y a su vez la máquina (SKR-8DQ-60-DG winding machine) que posee las mismas características, tiene un costo de 12.000 USD. Por lo tanto, la máquina bobinadora desarrollada cuesta el 22,46% de un importada, concluyendo así que el proyecto de maquina bobinadora de rotores para la empresa **SERVICIOS ELESCTRICOS INDUSTRIALES DELTA**, es viable y posee una alta rentabilidad

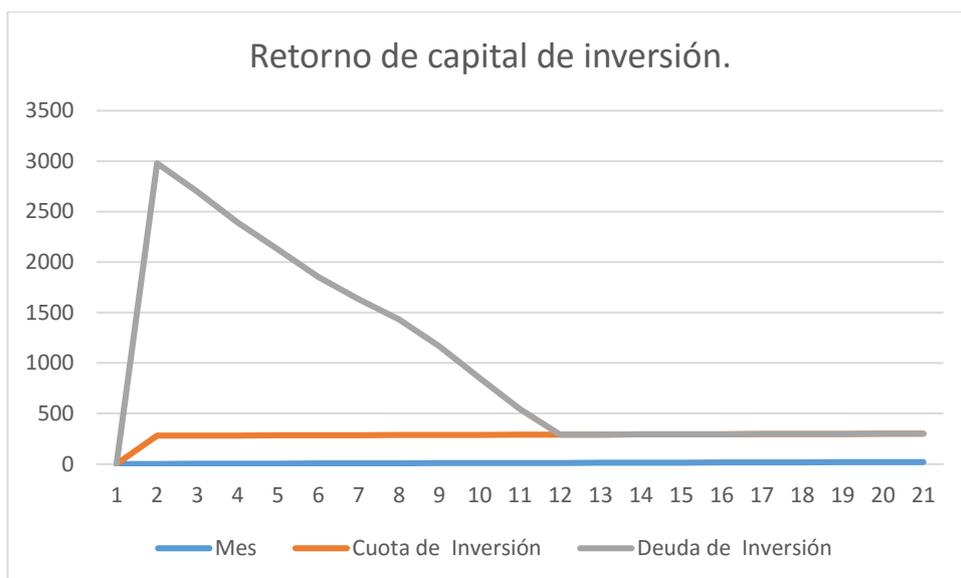


Figura 138 Proyección estimada de ganancia e Inversión

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- El equipo desarrollado para el presente proyecto de titulación cumple con los requerimientos solicitados por la empresa auspiciante.
- El costo final de la maquina es de \$2696 lo que representa el 22.47% del valor de un equipo con prestaciones similares de procedencia china, por lo que su fabricación y venta es rentable.
- El estudio económico determina que el equipo será rentable para la empresa auspiciante a partir del doceavo mes y además aumentará la capacidad de producción al doble.
- La máquina se diseñó de forma modular, por lo que permite al equipo adaptarse a diferentes tipos de rotores, los que generalmente tienen diámetros entre 30 a 70 mm; esto garantiza la adaptabilidad de la máquina para el proceso semiautomático de bobinado de rotores.
- Las mordazas aumentan la calidad en el proceso de bobinado, por lo que su manufactura requiere de un proceso de alta precisión. Dado que cada tipo de rotor requiere una mordaza específica es necesario un proceso de fabricación estándar lo que facilitara su posterior adaptación a cada uno de los modelos de rotores presentes en el mercado.
- Basado en la metodología de diseño robusto de Taguchi se obtuvo los parámetros ideales del funcionamiento de la máquina, lo que optimizo el proceso para obtener la mejor calidad de bobinado.

#### 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar métodos de manufactura avanzados en la fabricación de las mordazas ya que estas necesitan un acabado de precisión para que el bobinado tenga una calidad aceptable.

- Aun cuando la velocidad de rotación de los brazos es un factor no significativo en el proceso de bobinado, se recomienda esta sea de 100 RPM pues esto favorece a la colocación del alambre de cobre en el rotor, y disminuye las vibraciones en la máquina.
- Se recomienda implementar una mordaza específica para cada uno de los modelos que se requiera bobinar ya que el bobinado es de precisión.
- Se recomienda implementar rodamientos lineales sobre los ejes del sistema elevador para el posicionamiento del rotor ya que esto mejorará el sistema obteniendo un movimiento continuo y sin esfuerzo; esto finalmente contribuirá a un posicionamiento preciso del rotor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

México:McGRAW-HILL

Catálogo AirTac Pneumatic Equipment (2012).

Fitzgerald A. E. Kingsley, C, Stephen D. (2011) Máquinas Eléctricas. (6ta. ED. ed)

Mexico: Mc Graw Hill.

Gutierrez H. De la Vara R. Análisis y diseño de experimentos (2da. ED) Mexico:

McGraw-Hill

Martínez Domínguez, F. (2001) Reparación y bobinado de Motores Eléctricos.

Mexico: Paraninfo

Mott, R. (2010). Diseño de elementos de máquinas (4ta. ED. ed.). Mexico: McGraw-

Hill

Ulrich K. T (2013) Diseño y desarrollo de productos. México: McGraw-Hill