

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA REBOBINADORA  
AUTOMÁTICA PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC

CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2016

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA REBOBINADORA  
AUTOMÁTICA PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC

CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico

ASESOR:  
ALVARO ANDRÉS JIMÉNEZ OCAÑA  
INGENIERO ELECTRÓNICO.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2016

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo Primero del Acuerdo 324 de Octubre 11 de 1966, Emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Alvaro Andrés Jiménez Ocaña.  
Asesor**

San Juan de Pasto, Noviembre del 2016

## RESUMEN

En las industrias, el uso racional de la energía eléctrica es importante y necesario para el ahorro en costos de energía, como también de los recursos naturales involucrados. Existen varios sistemas eléctricos y electrónicos de uso eficiente de energía eléctrica, que están siendo adoptados por las industrias para este fin, beneficiándose así económicamente, como también contribuyendo al medio ambiente.

En este proyecto, se automatiza un proceso en la reparación de motores eléctricos trifásicos de inducción, los que contribuyen a gran parte del consumo mundial de energía eléctrica. Este procedimiento, se refiere a la construcción de las bobinas estáticas del motor, proceso que al ser realizado inadecuadamente, afecta en gran medida la eficiencia del motor eléctrico reparado, generando un aumento en el consumo normal de la energía eléctrica.

Para este fin se realizó, el diseño y construcción de una máquina bobinadora automática, para la construcción de las bobinas estáticas en motores trifásicos.

La máquina automática recibe por medio de un teclado, parámetros eléctricos del motor como son: número de ranuras del estator, revoluciones por minuto, número de fases (trifásico), dimensiones del estator y número de espiras de la bobina. Con estos parámetros, el control electrónico de la máquina realiza los cálculos necesarios para la automatización del sistema electromecánico y de los moldes de bobina automáticos.

Además, se investigaron normas nacionales e internacionales de regulación energética, en motores eléctricos de inducción, normas que aplican a motores eléctricos reparados. Finalmente, se realizó una evaluación de la máquina bobinadora automática frente a una máquina bobinadora manual, y se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones.

## **ABSTRACT**

In industries, the rational use of electricity is important and necessary for energy cost savings, as well as the natural resources involved. There are several electrical and electronic systems for the efficient use of electric energy, that are being adopted by the industry for this purpose, thus benefiting economically, as well as contributing to the environment.

In this project, a process is automated in repair of electric motors three-phase of induction, those contributing to much of world electricity consumption. This procedure refers to the construction of the statoric coils of the engine, process to be performed inappropriately, greatly affects the efficiency of the electric motor repaired, generating an increase in the normal consumption of electric energy.

For this end it was realized, the design and construction of an automatic winding machine, for the construction of statoric coils in three-phase motors.

The automatic machine receives by means of a keyboard, electrical parameters of the engine since they are: number of grooves of the stator, revolutions per minute, (three-phase) number of phases, dimensions of the stator and number of turn of the bobbin. With these parameters, the electronic control of the machine realizes the calculations necessary for the automation of the electromechanical system and of the automatic molds of bobbin.

In addition, national and international standards of energetic regulation were investigated, in electrical engines of induction. Finally, was made an assessment of the automatic winding machine opposite to a manual winding machine, and the respective conclusions and recommendations are presented.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>1. IDENTIFICACIÓN</b> .....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	18
2.1 MARCO CONTEXTUAL .....	18
2.1.1 Misión.....	18
2.1.2 Visión .....	18
2.2 MARCO TEÓRICO .....	18
2.2.1 Motores Eléctricos en la industria .....	18
2.2.2 Motores de corriente alterna de inducción .....	18
2.2.3 Motores Trifásicos de inducción.....	20
2.2.4 Fórmulas y Cálculos .....	25
2.2.5 Materiales y herramientas utilizados en la reparación de motores .....	27
2.2.6 Reparación de un motor eléctrico Siemens de 2.4 hp a 3600 rpm .....	31
2.3 MARCO LEGAL .....	37
2.3.1 Normas Nacionales e Internacionales de regulación energética .....	37
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	41
3.1 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	41
3.1.1 Diseño de la máquina bobinadora automática .....	41
3.1.2 Materiales estructurales de la máquina .....	42
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS .....	42
3.2.1 Actuadores.....	42

3.2.2	Sistemas de transmisión de movimiento.....	42
3.3	CONSTRUCCIÓN.....	43
3.3.1	Máquina bobinadora automática.....	43
3.3.2	Control electrónico .....	44
4.	<b>DESARROLLO</b> .....	45
4.1	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA BOBINADORA AUTOMÁTICA..	45
4.1.1	Diseño de la base .....	45
4.1.2	Eje central .....	46
4.1.3	Sistema de traslación del alambre .....	47
4.1.4	Máquina automática completa .....	48
4.1.5	Materiales varios.....	49
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO .....	49
4.2.1	Desarrollo del software de control.....	50
4.2.2	Simulación virtual.....	52
4.2.3	Desarrollo del hardware de control electrónico .....	52
4.3	CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA BOBINADORA AUTOMÁTICA .....	56
4.3.1	Construcción de la base de la máquina bobinadora .....	56
4.3.2	Construcción del sistema electromecánico de traslación del alambre .....	57
4.4	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES DE BOBINA AUTOMÁTICOS....	58
4.4.1	Diseño de los moldes de bobina automáticos.....	58
4.4.2	Construcción de los moldes de bobina automáticos .....	66
5.	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	73
5.1	EFICIENCIA DE UN MOTOR REPARADO POR MÉTODOS ARTESANALES .....	73

<b>5.1.1</b>	Reparación de un motor eléctrico de 2.4 HP .....	73
<b>5.2</b>	<b>EFICIENCIA DE UN MOTOR REPARADO POR MÉTODOS AUTOMATIZADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>5.3</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA MÁQUINA BOBINADORA CONSTRUIDA FRENTE A UNA MÁQUINA BOBINADORA COMERCIAL .....</b>	<b>81</b>
<b>5.3.1</b>	Características de la máquina bobinadora construida en el proyecto.....	82
<b>5.3.2</b>	Características de la máquina bobinadora comercial .....	83
<b>5.4</b>	<b>ANÁLISIS.....</b>	<b>85</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. SISTEMA DE TRASLACIÓN Y BASE DE LA MÁQUINA.	48
ANEXO 2. SOFTWARE PIC N° 1.	51
ANEXO 3. SOFTWARE PIC N° 2.	51
ANEXO 4. EJE DE ROTACIÓN Y SOPORTE CENTRAL.	63
ANEXO 5. UNION CENTRAL Y TRANSMISIÓN LINEAL HORIZONTAL.	63
ANEXO 6. UNION CENTRAL Y ACTUADOR.	63
ANEXO 7. SOPORTE CENTRAL Y ESTRUCTURA HORIZONTAL	65
ANEXO 8. ESTRUCTURA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y BORDES DE MOLDES	66

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 PARTES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.	19
FIG. 2 A) ROTOR JAULA DE ARDILLA. B) ROTOR BOBINADO.	20
FIG. 3 DESFASE DE LA CORRIENTE TRIFÁSICA.	21
FIG. 4 A) DISPOSICIÓN DE LAS BOBINAS EN EL ESTATOR. B) DESFASE DE LAS CORRIENTES U, V, W. C) INSTANTE 0. D) INSTANTE 1. E) INSTANTE 2.	21
FIG. 5 BOBINA DE UN MOTOR ELÉCTRICO.	22
FIG. 6 GRUPOS DE BOBINAS DE UN MOTOR TRIFÁSICO.	23
FIG. 7 PASO DE BOBINA.	23
FIG. 8 A) BOBINADO CONCÉNTRICO. B) BOBINADO IMBRICADO.	24
FIG. 9 RANURA DE ESTATOR. A) UNA CAPA. B) DOS CAPAS.	24
FIG. 10 ALAMBRE DE COBRE USADO EN BOBINAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.	27
FIG. 11 AISLAMIENTO DEL ESTATOR.	28
FIG. 12 CUÑAS PREFORMADAS.	29
FIG. 13 BARNIZADO DEL BOBINADO.	30
FIG. 14 BOBINADORA MANUAL.	30
FIG. 15 BOBINADORA ELÉCTRICA.	31
FIG. 16 MOLDES DE BOBINAS. A) PREFORMADOS. B) AUTOFABRICADOS DE MADERA.	31
FIG. 17 BOBINADORA MANUAL.	32
FIG. 18 MOLDES DE MADERA AUTOFABRICADOS.	32
FIG. 19 CORTE DE LAS CABEZAS DE BOBINA.	33
FIG. 20 MEDIDA DE RANURA. A) ANCHO. B) LARGO.	33
FIG. 21 A) CORTE DEL MATERIAL AISLANTE. B) ESTATOR AISLADO.	34
FIG. 22 MEDICIÓN DE LA BOBINA.	34
FIG. 23 MOLDES DE MADERA DEL TAMAÑO DE BOBINA.	35
FIG. 24 FABRICACIÓN DE LAS BOBINA DE FORMA MANUAL.	35
FIG. 25 INTRODUCCIÓN DE LAS BOBINAS EN EL ESTATOR.	36
FIG. 26 AMARRE DEL BOBINADO ESTATÓRICO.	36
FIG. 27 CONEXIÓN DEL MOTOR TRIFÁSICO.	37
FIG. 28 BARNIZADO DEL BOBINADO DEL ESTATOR.	37
FIG. 29 BASE DE LA MÁQUINA BOBINADORA.	46
FIG. 30 DIÁMETRO DE LAS POLEAS. A) ENTRADA. B) SALIDA.	47
FIG. 31 SOPORTES, TORNILLO FIJO Y VARILLA GUÍA.	48
FIG. 32 PASO DEL TORNILLO FIJO.	48
FIG. 33 MÁQUINA BÁSICA COMPLETA.	49

FIG. 34 DIAGRAMA BÁSICO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO.	50
FIG. 35 DIAGRAMA GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE.	51
FIG. 36 DISEÑO EN EL SOFTWARE PROTEUS.	52
FIG. 37 A) DISEÑO DE LA TARJETA RECEPTORA DE PARÁMETROS.B) DISEÑO DE LA TARJETA LECTORA DE SENSORES.	54
FIG. 38 DISEÑO DE LA TARJETA DE ACOPLE DE SENSORES.	54
FIG. 39 PERTINAX IMPREGNADO CON LAS PISTAS DE CONEXIÓN.	55
FIG. 40 A) EXPOSICIÓN DE PLACAS AL PERCLORURO FÉRRICO. B) PROCESO FINAL.	55
FIG. 41 MONTAJE DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS.	56
FIG. 42 A) BASE DE LA MÁQUINA BOBINADORA. B) SOPORTES INTERNOS	56
FIG. 43 A) RODAMIENTOS, EJE CENTRAL Y BASE. B) ENSAMBLE FINAL DE LA BASE DE LA MÁQUINA BOBINADORA.	57
FIG. 44 A) SISTEMA DE TRASLACIÓN DE ALAMBRE. B) SISTEMA ELECTROMECAÁNICO ENSAMBLADO.	58
FIG. 45 DIMENSIONES DEL MICROMOTOR.	59
FIG. 46 TORNILLO SINFÍN Y PIÑÓN.	60
FIG. 47 TORNILLO FIJO DE ROSCA IZQUIERDA Y DERECHA.	62
FIG. 48 ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL SOPORTE CENTRAL.	63
FIG. 49 UNIONES DE LAS ESTRUCTURAS LATERALES.	64
FIG. 50 ESTRUCTURA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL, PARTE IZQUIERDA.	64
FIG. 51 ESTRUCTURA PARA EL DESPLAZAMIENTO VERTICAL SUPERIOR.	65
FIG. 52 BORDES SEMICIRCULARES DE LOS MOLDES DE MADERA.	65
FIG. 53 A) BORDES SUPERIORES DE LOS MOLDES DE BOBINA. B) MONTAJE DEL BORDE SOBRE LA ESTRUCTURA.	66
FIG. 54 PLATINAS LATERALES DEL SOPORTE CENTRAL.	67
FIG. 55 A) UNIONES DEL SOPORTE CENTRAL. B) SOPORTE CENTRAL TERMINADO.	67
FIG. 56 A) ESTRUCTURAS DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL. B) MONTAJE DE LA ESTRUCTURAS HORIZONTAL SOBRE EL SOPORTE CENTRAL.	68
FIG. 57 A) TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO LINEAL HORIZONTAL. B) MONTAJE DE LA TRANSMISIÓN SOBRE EL SOPORTE CENTRAL.	68
FIG. 58 ESTRUCTURA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL.	69
FIG. 59 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO Y ESTRUCTURA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL.	70
FIG. 60 BORDES DE MOLDES DE BOBINA PRELIMINARES.	70

FIG. 61 A) BORDES DE MOLDES TERMINADOS. B) UBICACIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA HORIZONTAL.	71
FIG. 62 A) MOLDE DE BOBINA COMPLETO. B) MÁQUINA BOBINADORA COMPLETA.	72
FIG. 63 AISLAMIENTO DEL ESTATOR.	73
FIG. 64 INTRODUCCIÓN DE LAS BOBINAS EN EL ESTATOR.	74
FIG. 65 A) AMARRE DE BOBINAS. B) BARNIZADO.	74
FIG. 66 CORRIENTE DE LÍNEA DEL MOTOR REPARADO.	76
FIG. 67 VOLTAJES Y CONEXIONES EN DELTA ( $\Delta$ ) Y ESTRELLA (Y).	77
FIG. 68 VOLTAJE DE LÍNEA EN CONEXIÓN DOBLE ESTRELLA (YY).	78
FIG. 69 MÁQUINA BOBINADORA AUTOMÁTICA.	79
FIG. 70 BOBINADORA MANUAL COMERCIAL.	84

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CALIBRES DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS (AWG)	28
TABLA 2. TABLA REGULADORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA NORMA IEC 60034-30	39
TABLA 3. CORRIENTE EN VACIO COMO % DE LA CORRIENTE DE CARGA PLENA	77
TABLA 4. RELACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES DEL CONTROL ELECTRÓNICO Y ELECTROMECAÁNICO	82
TABLA 5. RELACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES ESTRUCTURALES DE LA MÁQUINA	83
TABLA 6. BOBINADORA MANUAL COMERCIAL VS BOBINADORA AUTOMÁTICA	85

## INTRODUCCIÓN

En la industria, la mayor parte de las máquinas son impulsadas por motores eléctricos, siendo el corazón de la industria. Debido a esto, existe demasiado consumo eléctrico. Según estudios realizados, aproximadamente el 40% del consumo de energía eléctrica es realizado por los motores eléctricos industriales, sistemas de motores y el sector terciario<sup>1</sup>.

Se entiende, que la pérdida en la eficiencia energética en operaciones con motores, son normales e inevitables, pero se sabe que las pérdidas pueden disminuir o aumentar, según las condiciones de operación o eficiencia la máquina.

Cuando una maquina eléctrica falla, normalmente se hace reparar en algún taller de rebobinado. Con técnicas apropiadas de reparación, un motor eléctrico disminuye en 2% la eficiencia energética<sup>2</sup>, con técnicas inapropiadas disminuirá mucho más.

En muchos talleres de rebobinado de motores, existen técnicas artesanales en la fabricación de bobinas, donde además interviene un operario, dando lugar al error humano, que por descuido o mala práctica altera algún parámetro del motor, ocasionando así el aumento en la disminución de eficiencia energética del motor reparado.

Es por eso, que el presente proyecto se desarrolló, pensando en la automatización del proceso de fabricación de bobinas estáticas en la reparación de motores eléctricos, mediante la observación visual y presencial, de las herramientas y materiales utilizados en su reparación, y la técnica utilizada en la fabricación de bobinas. Además, con una automatización a bajo costos, y aprovechando materiales de fácil adquisición en el mercado, se da lugar, a pequeños talleres o microempresas, que por economía, optan por técnicas artesanales e ineficientes, aumentando así, el problema mundial del consumo energético. Con esto, se da la oportunidad a estas industrias, para presentar un resultado óptimo de su trabajo, buena calidad en el motor reparado y dar el primer paso hacia las normales nacionales e internacionales de eficiencia energética en motores eléctricos.

---

<sup>1</sup> GUARDIOLA DE CABO, Luis. Aplicación en la Determinación de las Pérdidas y el Rendimiento de Motores de Inducción trifásicos. [en línea].

<<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5455/resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [Citado el 15 de Enero de 2016].

<sup>2</sup> QUIJANO, Manuel, RIVAS, Nelson. Evaluación del Impacto Sobre el Parámetro Eficiencia Eléctrica en Motores Eléctricos Rebobinados de Bajo Voltaje. [en línea].<<http://ri.ues.edu.sv/3821/1/%E2%80%9CEvaluaci%C3%B3n%20del%20impacto%20sobre%20el%20par%C3%A1metro%20eficiencia%20el%C3%A9ctrica%20en%20motores%20el%C3%A9ctricos%20rebobinados.pdf>> [citado el 3 de febrero de 2016]

El trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma: en el capítulo 1 se realiza una identificación sobre los objetivos generales y específicos hacia los cuales se pretende llegar. Posteriormente en el capítulo 2, se efectúa la contextualización de la industria electrotécnica INELTEC, para la cual se desarrolla el proyecto. A continuación, se hace una breve revisión bibliográfica sobre los temas referentes a motores eléctricos, sus clases, características técnicas, cálculos y formulas. Es importante conocer los materiales y herramientas necesarias en la reparación de motores eléctricos, estos también son expuestos en este capítulo. Posteriormente, se realiza la inspección visual y presencia de la reparación de un motor eléctrico por parte de la industria electrotécnica INELTEC y se da a conocer las herramientas que utiliza la industria para esta labor, como también los pasos necesarios para este proceso. En seguida, como marco legal dan a conocer las normas nacionales e internacionales sobre las regulaciones de motores de baja eficiencia, para los motores trifásicos de corriente alterna, regulaciones que entraron en vigor desde el año 2011, para los niveles de rendimiento más bajos de motores eléctricos, y otras que entrarán en vigor en los próximos años. En el capítulo 3, se presenta la metodología realizada para el desarrollo del proyecto, posteriormente en el capítulo 4, se muestra el diseño y construcción estructural de la máquina bobinadora automática, como también la construcción del control electrónico y el sistema electromecánico (movimiento rotacional del eje y movimiento de traslación de alambre). Posteriormente, se diseña y construye el sistema de moldes automáticos utilizados, para la fabricación de las bobinas estáticas de los motores eléctricos. En el capítulo 5, se realiza una evaluación teórica, sobre la eficiencia energética de un motor reparado artesanalmente, frente a la eficiencia del mismo motor, pero reparado con las bobinas fabricadas en la máquina bobinadora automática. Después se compara las características técnicas más significativas de la máquina bobinadora automática construida, frente a una máquina bobinadora manual convencional. Se utiliza esta máquina manual, debido a que el material de consulta de las características técnicas de una máquina automática comercial, resulta escaso e inapropiado. Finalmente, se exponen los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

## **1. IDENTIFICACIÓN**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una máquina rebobinadora automática para la elaboración de bobinas en la reparación de motores eléctricos trifásicos de potencias variables desde 1 hp hasta 10 hp.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una máquina rebobinadora para la realización de bobinas en la reparación de motores eléctricos trifásicos.
- Construir tanto un sistema de control electrónico como un sistema electromecánico para el procesamiento de datos y el control automático.
- Diseñar y construir un sistema de moldes de tamaño variable y automático para motores eléctricos de potencias y marcas variables.
- Evaluar un motor reparado con la máquina rebobinadora automática y un motor reparado de forma artesanal, frente a los parámetros de las normas Colombianas e internacionales NTC 2805 e IEC 60034-30.
- Evaluar la máquina rebobinadora automática construida frente a una máquina automática comercial.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO CONTEXTUAL

La industria electrotécnica INELTEC, está ubicada en el municipio de Pasto – Nariño, legalmente constituida en el año de 1993 con registro de cámara de comercio y NIT 12953787-0. La industria INELTEC, está dedicada a la parte de electricidad industrial, realizando trabajos en el municipio de Pasto, como también en municipios aledaños.

Entre los trabajos que realiza la industria podemos encontrar: reparación de motores eléctricos monofásicos y trifásicos, servicio de torno, soldadura eléctrica, instalación y mantenimiento preventivo y correctivo de tableros de control electromecánico, entre otros.

**2.1.1 Misión:** prestar un servicio óptimo en el sector industrial, en el municipio de Pasto y sus alrededores, mediante un trabajo honesto, eficiente y de calidad, acorde a las necesidades del cliente.

**2.1.2 Visión:** ser una empresa competitiva en la prestación de servicios electrotécnicos, contando con trabajo humano responsable, calidad en la prestación de servicios y recursos materiales adecuados.

### 2.2 MARCO TEÓRICO

#### 2.2.1 Motores eléctricos en la industria.

Los motores eléctricos, son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica o movimiento, a través de medios electromagnéticos.

Debido a que son muy variados los tipos de motores, existen diversas formas de catalogarlos. Para efectos prácticos del proyecto, se analizaron los motores de corriente alterna.

#### 2.2.2 Motores eléctricos de corriente alterna.

Son los más utilizados en la industria, debido a que la distribución eléctrica en las ciudades es realizada en corriente alterna.

Los principales motores de corriente alterna son: motor síncrono y motor de inducción.

- **Motor síncrono**

Son llamados así, por que la velocidad del rotor es igual a la velocidad del campo magnético giratorio generado en el estator.

En este motor, el rotor tiene bobinas que son alimentadas por corriente continua para generar el campo magnético, a su vez el estator genera su campo magnético por la alimentación de corriente alterna. Estos dos campos magnéticos interactúan entre sí generando el movimiento del rotor.

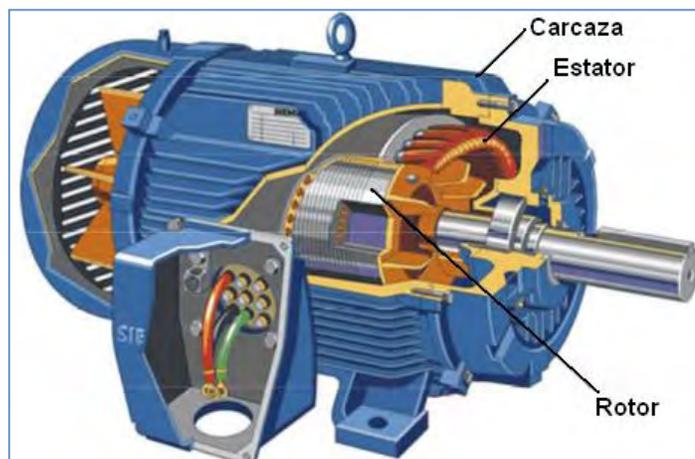
Estos motores por su complejidad en instalación, arranque y mantenimiento son limitados a usos de generación de energía eléctrica como alternadores y solo se utiliza como motor, en algunas situaciones en las que el uso de motores asíncronos es complicado.

- **Motor de inducción**

Su velocidad de rotación varía ligeramente en su eje, llamado comúnmente deslizamiento. Es el motor más utilizado de todos, por su robustez y bajo costo, siendo empleado en casi todos los tipos de máquinas encontradas en las industrias.

El motor eléctrico está constituido por varios elementos, sin embargo existen tres partes principales, que son: la carcasa, el estator y el rotor. En la figura 1, se observan las diferentes partes del motor de inducción.

Figura 1. Partes principales del motor de inducción.



Fuente: Tomado de [3]

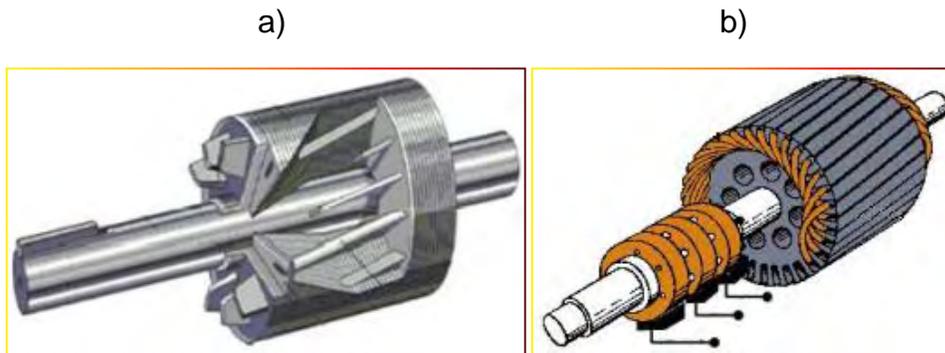
---

<sup>3</sup>UTN, Universidad Tecnológica Nacional. Máquinas e instalaciones eléctricas. Unidad 3. [en línea].  
<[http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES\\_MAQUINAS\\_ELECTRICAS-\\_U\\_3\\_v1.1.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS-_U_3_v1.1.pdf)>[Citado el 3 de Septiembre de 2016]

**Carcaza:** Es la parte externa de motor, su estructura tiene unas aletas que sirven de refrigeración, también cubre y protege las partes eléctricas. Esta estructura brinda soporte y sujeción para su instalación en otras máquinas. También, se encuentra adherida en ella la placa con las características del motor, donde se localizan algunos parámetros importantes como son: potencia del motor, revoluciones por minuto, voltaje nominal, corriente nominal, factor de potencia, entre otros.

**Rotor:** Como su nombre lo indica, es la parte que rota o gira dentro del motor, de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. En los motores de corriente alterna, el rotor puede ser rotor bobinado o jaula de ardilla, como se observa en la figura 2.

Figura 2. a) Rotor jaula de ardilla. b) Rotor bobinado.



Fuente: Tomado de [4]

**Estator:** Compone la parte estática del motor. Está compuesto de láminas apiladas llamadas paquetes, que junto con el bobinado y la corriente que los atraviesa, forman el campo magnético giratorio que interactúa con el campo magnético del rotor, haciéndolo girar. Estas láminas poseen unas ranuras donde se alojan las bobinas.

### 2.2.3 Motores trifásicos de inducción.

Los motores trifásicos de inducción, son el objeto de nuestro estudio, ya que la máquina rebobinadora se la realizó, pensando en la reparación de bobinas estáticas trifásicas.

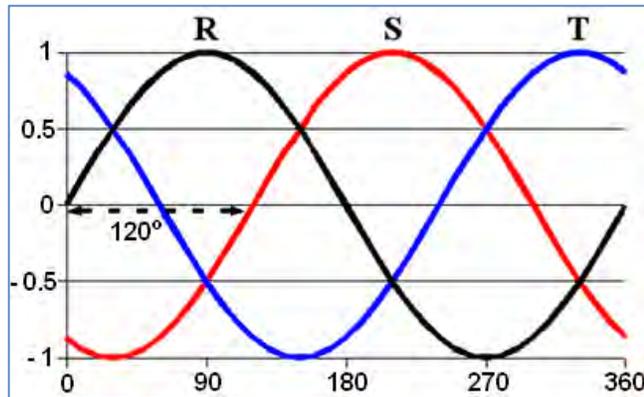
Es necesario conocer tanto el funcionamiento de estos motores como sus características físicas.

---

<sup>4</sup> Ibid., p.3,4

Estos motores utilizan un sistema de corrientes trifásicas que se encuentran desfasadas  $120^\circ$  una fase de la otra, como se observa en la figura 3. Las bobinas del motor trifásico en el estator, se encuentran desfasadas  $120^\circ$  geométricos.

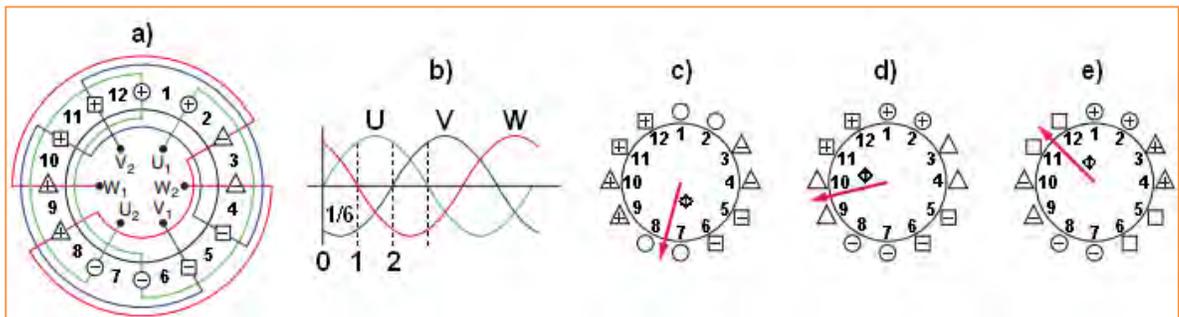
Figura 3. Desfase de la corriente trifásica.



Fuente: Tomado de [5]

Este desfase de corrientes, junto con las características del bobinado trifásico, crea un campo magnético giratorio. Este campo magnético se lo puede apreciar, con el estudio de la posiciones de la resultante del flujo y al sentido de las corrientes en el bobinado estatórico, mostrado a continuación, en la figura 4.

Figura 4. a) Disposición de las bobinas en el estator. b) Desfase de las corrientes U, V, W. c) Instante 0. d) Instante 1. e) Instante 2.



Fuente: Tomado de [6]

El principio de las bobinas, está representado por las letras U1, V1, W1, con un desfase de  $120^\circ$  geométricos, y el fin de las bobinas, se encuentra representado por las letras U2, V2, W2.

<sup>5</sup>VAELLO José. Corriente continua, alterna y trifásica. [en línea]. <<https://automatismoindustrial.com/0-1-14-corriente-continua-alterna-y-trifasica/>> [Citado el 4 de Septiembre de 2016]

<sup>6</sup>MOTORES ELÉCTRICOS. Unidad 11. Campo magnético giratorio. [en línea].

<<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>> [Citado el 5 de Febrero de 2016]

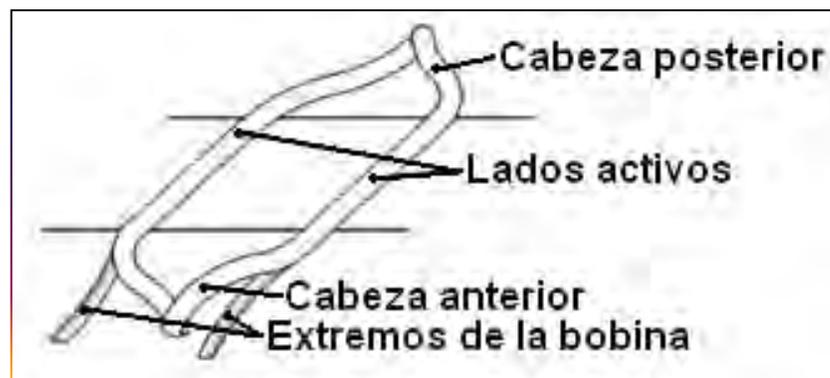
En el instante 0, la fase U tiene un valor 0, no hay corriente, la fase V tiene una corriente negativa, la corriente entra por V2 y sale por V1, por la regla de la mano derecha forma un campo situado entre las ranuras 8 y 9, la fase W tiene una corriente positiva, la corriente entra por W1 y sale por W2, obteniendo un campo magnético situado entre las ranuras 6 y 7, la resultante entre estos dos flujos se sitúa entre las ranuras 7 y 8. La corriente se divide en 6 partes iguales, pasando al instante 1, donde la fase U tiene un valor positivo, la fase V tiene un valor negativo y la fase W tiene un valor de 0, obteniendo una resultante entre las ranuras 9 y 10 como la mostrada en la figura. Así mismo para el instante 2, la resultante se sitúa entre las ranuras 11 y 12. Continuando así en un ciclo repetitivo<sup>7</sup>.

A continuación, se presentan tanto las partes del bobinado trifásico, como las características, y la disposición de las bobinas en el estator.

- **Bobina**

Una bobina, es un arrollamiento de alambre formado por varias espiras. Cada bobina tiene 4 partes, 2 cabezas y 2 lados activos. En la figura 5 se observan las partes de la bobina.

Figura 5. Bobina de un motor eléctrico.



Fuente: Tomado de [8]

Los bobinados de motores trifásicos, generalmente están formados por grupos de bobinas, como se observa en la figura 6, y según su forma pueden ser concéntricos o imbricados. Esto depende de la distribución del paso de bobina sobre las ranuras del estator.

---

<sup>7</sup> Ibid., p.290

<sup>8</sup>REBOBINADO DE MOTORES. Bobina. [en línea]. <<http://intecap-rebobinadodemotores.blogspot.com.co/2014/05/rebobinado-de-motores-esta-es-una.html>> [Citado el 7 de Febrero de 2016]

Figura 6. Grupos de bobinas de un motor trifásico.

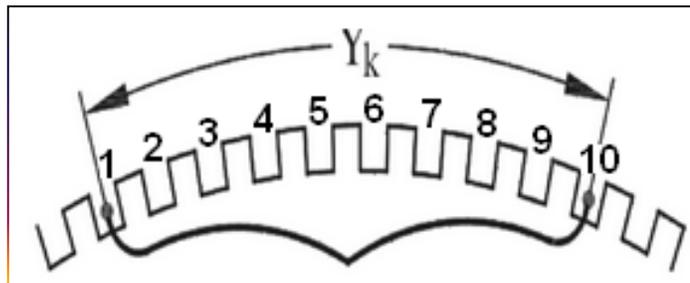


Fuente: Tomado de [9]

- **Paso de bobina**

Es la distancia que hay entre los dos lados activos de la bobina. Generalmente se mide contando el número de ranuras que hay entre estos lados activos. En la figura 7, se presenta como se mide la distancia del paso de bobina. En este caso el paso de bobina es 1 - 10.

Figura 7. Paso de bobina.



Fuente: Tomado de [10]

- **Bobinado Concéntrico e imbricado**

En el grupo de bobinas concéntrico, las bobinas son de diferente tamaño, y se sitúan sucesivamente una dentro de otra. En este tipo de bobinado, los pasos de bobina son diferentes de una bobina a otra. En el bobinado imbricado, todas sus bobinas son de igual tamaño y forma, por ende, el paso de bobina de sus bobinas

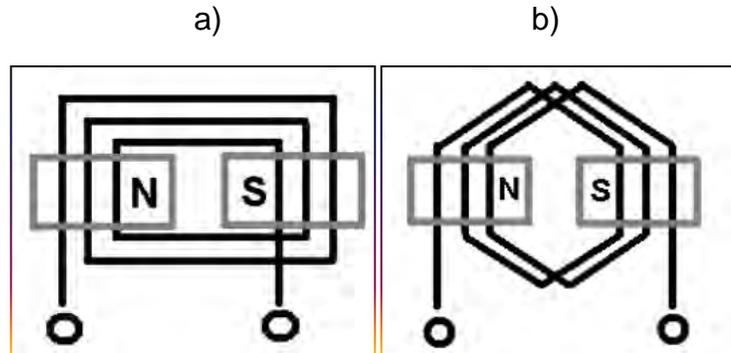
---

<sup>9</sup>[en línea]. <<https://www.taringa.net/post/noticias/18526636/Soy-bobinador-y-te-muestro-un-bobinado-paso-a-paso.html>> [Citado el 4 de Septiembre de 2016]

<sup>10</sup>REBOBINADO DE MOTORES. Paso de bobina. [en línea]. <<http://intecap-rebobinadodemotores.blogspot.com.co/2014/05/rebobinado-de-motores-esta-es-una.html>>[Citado el 4 de Septiembre de 2016]

es igual, como se observa en la figura 8. Este bobinado puede ser de una o dos capas.

Figura 8. a) Bobinado concéntrico. b) Bobinado imbricado.

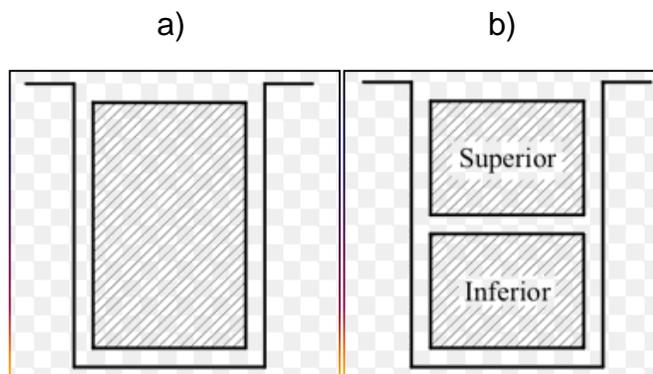


Fuente: Tomado de [11]

- **Bobinado imbricado de una capa y dos capas**

En el bobinado imbricado de una capa, el número de bobinas, es igual a la mitad del número de ranuras del estator. En este bobinado, cada ranura posee solo un lado activo de una bobina. Por otro lado en el bobinado imbricado de dos capas, el número de bobinas es igual al número de ranuras del estator. En estos bobinados, en una ranura existen dos lados activos de bobinas distintas. En la figura 9, se observan estas disposiciones.

Figura 9. Ranura de estator. a) una capa. b) dos capas.



Fuente: Tomado de [12]

<sup>11</sup>MURILLO, Jorge. SERNA, Alejandro. Manual para el rebobinador de motores eléctricos de inducción: bobinado concéntrico e imbricado. [en línea].  
<<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2074/62146M977.pdf;jsessionid=CF9C596BDE5F55DA4956669BEA000C25?sequence=1>> [Citado el 4 de septiembre de 2016]

#### 2.2.4 Fórmulas y cálculos.

Para el desarrollo del proyecto, se utilizaron específicamente, las fórmulas de los bobinados imbricados enteros, descritos en el alcance del proyecto. Fórmulas necesarias para los cálculos del control electrónico, como también de algunos parámetros técnicos del motor.

- **Velocidad**

La velocidad de sincronismo de un motor eléctrico está dada por la fórmula1:

$$n = \frac{60f}{p} \quad (1)$$

Dónde:  $n$  = revoluciones por minuto [Rpm]

$f$  = frecuencia de la red eléctrica [Hz]

$p$  = número de pares de polos

Como el número mínimo de polos, que puede tener un motor son 2 polos, significa que para la anterior fórmula  $p = 1$  (1 par de polos), entonces:

$$n = \frac{60 \cdot 60}{1}; \quad n = 3600 \text{ Rpm}$$

La velocidad máxima que puede alcanzar un motor es 3600 Rpm.

- **Número de grupos de bobinas**

En los bobinados imbricados, cada fase tiene tantos grupos de bobinas como número de polos tiene el motor. Teniendo esto presente, la fórmula para el número de grupos esta expresada por la fórmula 2.

$$G = 2pq \quad (2)$$

Dónde:  $G$  = número de grupos

$2p$  = número de polos

$q$  = número de fases

Entonces, un motor de 2 polos trifásico, requiere 6 grupos de bobinas para bobinar el estator.

---

<sup>12</sup>I.E.S. ARROYO HONDO. Bobinados de máquinas de corriente continua: bobinas. [en línea]. <<http://endrino.pntic.mec.es/rpel0016/Bobinados.htm>> [Citado el 4 de Septiembre de 2016]

- **Número de bobinas por grupo**

Un grupo está formado por varias bobinas. Con esta fórmula, se establece cuantas bobinas tendrá cada grupo. Fórmula 3.

$$U = \frac{B}{2pq} \quad (3)$$

Dónde:  $U$  = Número de bobinas por grupo

$B = K/2$  (1 capa),  $K$  (2 capas)

$K$  = número de ranuras

$2p$  = número de polos

$q$  = número de fases

Como ejemplo, para un motor trifásico de 24 ranuras y 2 polos, de una capa ( $B = K/2$ ).

$$2p \times q = (2 \times 3) = 6; \quad K/2 = (24/2) = 12; \quad U = \frac{12}{6}; \quad U = 2$$

Entonces, cada grupo está formado por 2 bobinas.

- **Eficiencia de un motor eléctrico**

Como se había mencionado antes, los motores eléctricos convierten la energía eléctrica en energía mecánica o movimiento, en este proceso, no toda la energía eléctrica que un motor toma de la línea de distribución, se convierte en energía mecánica. Esta capacidad de transformación del motor se la conoce como eficiencia. Se expresa usualmente en porcentaje de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica, esta relación se la expresa en la fórmula (4). Esta fórmula, es la más común y económica de evaluar la eficiencia en motores eléctricos.

$$n = \frac{P_m}{P_e} \times 100\% \quad (4)$$

Dónde:  $n$  = Eficiencia [%]

$P_m$  = Potencia mecánica [KW]

$P_e$  = Potencia eléctrica [KW]

Como la potencia eléctrica, se expresa en KiloWatts (KW) y la potencia mecánica en caballos de potencia (HP), hay que tener en cuenta las siguientes equivalencias:

1 HP equivale a 0.746 KW

1 KW equivale a 1.34 HP

Entonces, si un motor de 50 HP toma de la red eléctrica 43.5 KW, aplicando la fórmula (4) se obtiene:

$$P_m = \frac{50 \text{ HP} * 0.746 \text{ KW}}{1 \text{ HP}} ; P_m = 37.3 \text{ KW}$$

$$P_e = 43.5 \text{ KW}$$

$$n = \frac{P_m}{P_e} \times 100\% ; n = \frac{37.3 \text{ KW}}{43.5 \text{ KW}} \times 100\% ; n = 85.7\%$$

Esto significa, que el motor solo transforma el 85.7% de la energía eléctrica en mecánica, perdiendo el 14.3% de energía eléctrica en el proceso de conversión.

### **2.2.5 Materiales y herramientas utilizadas en la reparación de motores eléctricos.**

En la reparación de motores eléctricos, existen diversos materiales necesarios para esta labor. A continuación se mencionan algunos materiales y herramientas utilizadas por los técnicos bobinadores.

- **Alambre esmaltado.**

Es la parte fundamental, en la fabricación de circuitos electromagnéticos de cualquier máquina eléctrica. En la figura 10, se observa el alambre esmaltado.

Figura 10. Alambre de cobre usado en bobinas de máquinas eléctricas.



Fuente: propia de este trabajo.

El material más utilizado para la construcción de este alambre es el cobre, aunque puede ser de aluminio, para algunos circuitos donde importa la ligereza.

Para su distribución, generalmente se utiliza el número del calibre en la escala AWG (American Wire Gauges), esta escala es inversamente proporcional al diámetro del alambre, entonces para un calibre AWG 12, su diámetro será de 2.053 mm, y para un calibre AWG 20, su diámetro será de 0.8118 mm. En la tabla 1 se observa esta escala.

**Tabla 1.** Calibres de conductores eléctricos (AWG).

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
2	6,544	33,63	1,50	96
4	5,189	21,15	0,80	60
6	4,115	13,30	1,27	38
8	3,264	8,36	2,03	24
10	2,588	5,26	3,23	15
12	2,053	3,31	5,13	9,5
14	1,628	2,08	8,17	6,0
16	1,291	1,31	12,9	3,7
18	1,024	0,82	20,83	2,5
20	0,8118	0,52	32,69	1,6

Fuente: Tomado de [13]

- **Materiales aislantes (empapelado)**

Estos materiales, tienen como objetivo, aislar las bobinas con cualquier parte del estator o de la carcasa del motor. El empapelado, se realiza en todas las ranuras del estator, como se observa en la figura 11.

Figura 11. Aislamiento del estator.



Fuente: propia de este trabajo.

---

<sup>13</sup>MARYI. Tabla de conductores. [en línea].

<<http://maryitelecomunicaciones2009.blogspot.com.co/2009/08/tabla-de-conductores.html>>[Citado el 7 de Septiembre de 2016]

Estos materiales tienen unas características técnicas que se deben conocer, las más importantes son:

**Espesor:** viene expresado en milímetros (mm), Los materiales de lámina flexible suelen ser de 0.1 mm hasta 3.0 mm.

**Rigidez dieléctrica:** Expresada en Kilovoltios/milímetro (Kv/mm). Este parámetro, permite conocer, dónde el material pierde su propiedad aislante.

- **Cuñas**

Las cuñas se utilizan para cubrir las ranuras y evitar que las bobinas o espiras se salgan de ellas. Son de material preformado, no se deforman con facilidad. Las cuñas vienen comercialmente en tamaños de 1 metro de largo y en grosor por números (Nº 10, Nº 12, etc.). Se cortan al tamaño de las ranuras del estator, como se observa en la figura 12.

Figura 12. Cuñas preformadas.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Barniz dieléctrico**

La aplicación del barniz sobre las bobinas del motor, junto con el amarre, aumenta la rigidez mecánica del conjunto, evitando el desgaste por vibraciones normales de funcionamiento. Este barniz penetra por todos los lugares asequibles del bobinado, aportando mayor aislamiento, aislando conductores entre sí, y todo el conjunto con cualquier parte del núcleo o carcasa. Existen diversas maneras de aplicar el barniz, en la figura 13, se muestra una forma artesanal de hacerlo.

Figura 13. Barnizado del bobinado.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Bobinadoras**

Es la herramienta fundamental en la reparación de motores eléctricos. Esta herramienta fabrica las bobinas de los motores a reparar, pueden ser manuales o automáticas.

**Bobinadoras manuales:** En este tipo de bobinadora, un operario genera el movimiento rotativo para realizar la bobina, si la bobinadora dispone de un contador de vueltas automático, el operario no lleva esta cuenta, de lo contrario, el operario deberá llevar la cuenta del número de espiras de la bobina. En la figura 14, se observa una bobinadora manual.

Figura 14. Bobinadora manual.



Fuente: Tomado de [14]

**Bobinadoras eléctricas:** En la figura 15, se muestra una bobinadora automática. Son utilizadas para realizar trabajos con mayor rapidez y precisión. En estas máquinas, el trabajo motriz lo realiza un motor eléctrico, además dispone de un contador automático de vueltas.

---

<sup>14</sup>EDITEX, Materiales y herramientas del bobinador: herramientas y utillaje del bobinador. [en línea].  
<<http://saa83c2ac0ffd857a.jimcontent.com/download/version/1460264610/module/6719438270/name/LI-BRO%20DE%20BOBINADOS.pdf>> [Citado el 15 de Septiembre de 2016]

Figura 15. Bobinadora eléctrica.

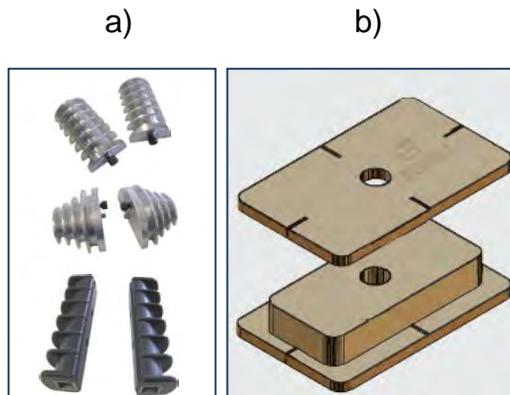


Fuente: Tomado de [15]

- **Moldes de bobina.**

Estos elementos, permiten la fabricación de las bobinas mediante su forma y tamaño, de una manera sencilla. Con ellos se pueden fabricar tanto bobinas concéntricas como imbricadas. Estos moldes pueden ser preformados o auto fabricados en madera. En la figura 16, se observan los dos tipos de moldes de bobina.

Figura 16. Moldes de bobina. a) Preformados. b) Auto fabricados de madera.



Fuente: Tomado de [16]

### 2.2.6 Reparación de un motor eléctrico Siemens de 2.4 HP a 3600 RPM.

La industria electrotécnica INELTEC, se dedica a la reparación de motores eléctricos, entre otras labores.

A continuación se muestra las herramientas y métodos utilizados en la reparación de motores eléctricos en la industria electrotécnica INELTEC.

<sup>15</sup>[en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=tpKAjpY6f8c>> [Citado el 10 de Septiembre de 2016]

<sup>16</sup>EDITEX, Materiales y herramientas del bobinador: herramientas y utillaje del bobinador. [en línea].

<<http://saa83c2ac0ffd857a.jimcontent.com/download/version/1460264610/module/6719438270/name/LI-BRO%20DE%20BOBINADOS.pdf>> [Citado el 15 de Septiembre de 2016]

- **Herramientas utilizadas.**

**Bobinadora:** La industria electrotécnica INELTEC, para la fabricación de bobinas, dispone de una bobinadora manual auto fabricada, esto conlleva para su funcionamiento, la intervención de un operario, que debe realizar el movimiento rotatorio y guía del alambre, como también la cuenta del número de espiras de la bobina. En la figura 17, se observa la bobinadora manual utilizada por la industria INELTEC.

Figura 17. Bobinadora manual.



Fuente: propia de este trabajo.

**Moldes de bobina:** Los moldes que se observan en la figura 18, son del tipo auto fabricados de madera. Estos moldes deberán coincidir con el tamaño de la bobina a realizar, de lo contrario, su tamaño será reformado a las dimensiones que se requieran.

Figura 18. Moldes de madera auto fabricados.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Preparación del estator.**

**Limpieza del estator:** En primer lugar, para la reparación de un motor eléctrico, se necesita retirar el alambre anterior, que por lo general se encuentra quemado. Para retirar las cabezas de bobina se utilizó un cincel de corte, y se retiró el material sobrante de las ranuras del estator. En la figura 19, se observa este proceso.

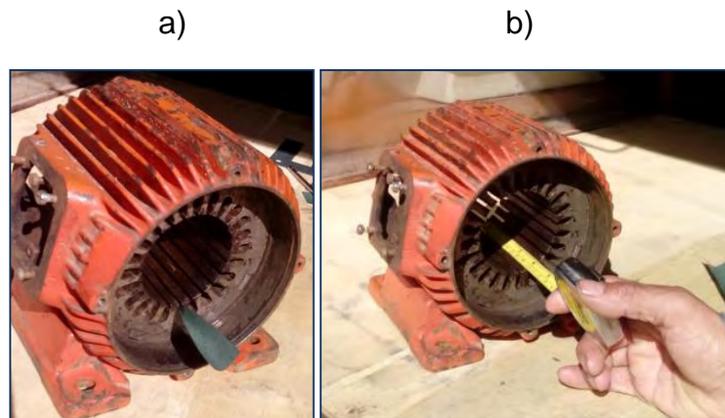
Figura 19. Corte de las cabezas de bobina.



Fuente: Tomado de [17]

**Aislamiento del estator:** Para este procedimiento, como se muestra en la figura 20, se tomaron las medidas de la ranura, tanto de ancho como de largo. el largo de la ranura debe tener unos centímetros más, debido a que existe un doble en los bordes de las ranuras, que sirve para mantener fijo el material aislante dentro de la ranura y brindar mayor soporte a las cabezas de bobina.

Figura 20. Medida de ranura. a) Ancho. b) Largo.



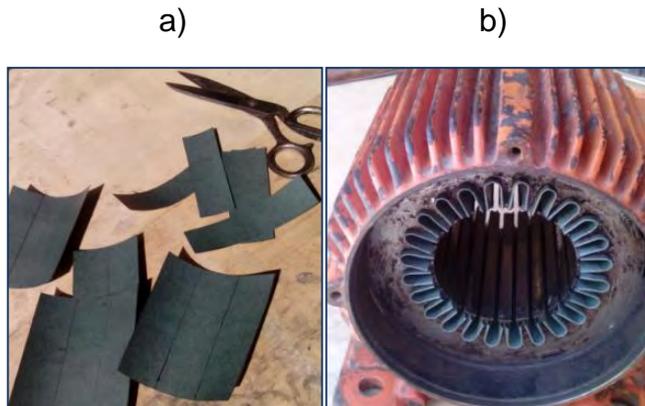
Fuente: propia de este trabajo.

Con estas medidas se cortó el material aislante en la cantidad de ranuras del estator y se ubicaron en cada una de ellas. Obteniendo así el aislamiento de todo el estator. Este proceso se muestra en la figura 21.

---

<sup>17</sup>MURILLO, Jorge. SERNA, Alejandro. Manual para el rebobinador de motores eléctricos de inducción: extracción de bobinas. [en línea].  
<<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2074/62146M977.pdf;jsessionid=CF9C596BDE5F55DA4956669BEA000C25?sequence=1>> [Citado el 4 de septiembre de 2016]

Figura 21. a) Corte del material aislante. b) Estator aislado



Fuente: propia de este trabajo.

- **Fabricación de bobinas**

Para la fabricación de bobinas en la reparación de motores eléctricos, como primera estancia, se tomó la medida de la bobina de forma manual, utilizando un trozo de alambre, que se envuelve directamente sobre las ranuras del estator, teniendo en cuenta el paso de bobina para los lados activos y una longitud calculada casi intuitiva para las cabezas de bobina, como se observa en la figura 22.

Figura 22. Medición de la bobina.



Fuente: propia de este trabajo.

Con la forma y tamaño del alambre, se determinó el molde correspondiente a esta medida. En la figura 23, se muestra la forma de buscar los moldes para la fabricación de las bobinas.

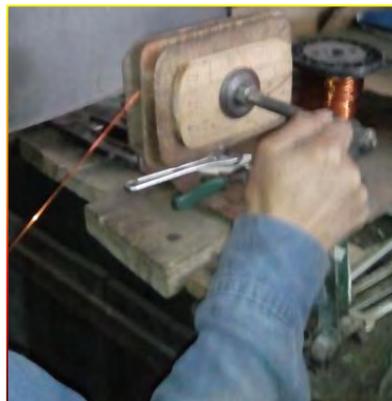
Figura 23. Moldes de madera del tamaño de bobina.



Fuente: propia de este trabajo.

Estos moldes se atornillaron en la bobinadora manual, que fue operada por un técnico. El técnico debe realizar el grupo de bobinas, teniendo en cuenta el número de espiras de las bobinas. En la figura 24, se observa el técnico bobinador. Este proceso se realiza tantas veces como grupos de bobinas tenga el bobinado del motor.

Figura 24. Fabricación de las bobina de forma manual.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Introducción de las bobinas en el estator**

Este proceso se realizó de forma manual, como se muestra en la figura 25. Se debe tener en cuenta, el paso de bobina y la disposición de los grupos de bobinas en el estator.

Figura 25. Introducción de las bobinas en el estator.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Amarre de las bobinas**

Como se había mencionado antes, el amarre de las bobinas, proporciona una rigidez mecánica de todo el bobinado, con el objetivo de evitar que las vibraciones de la máquina en condiciones normales de funcionamiento, no deteriore el esmalte dieléctrico que recubre el alambre, provocando fallas y ocasionando el dañando la máquina. Este proceso se realizó de forma manual. El amarre se observa en la figura 26.

Figura 26. Amarre del bobinado estático.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Conexiones**

Las conexiones de un motor eléctrico, dependen de su función y del fabricante del motor. Un motor trifásico tiene 2 conexiones básicas, estrella y triangulo, la combinación de estas conexiones generan muchas más. La figura 27 muestra los empalmes realizados a las bobinas.

Figura 27. Conexión del motor trifásico.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Barnizado**

El barniz dieléctrico, es el último paso de la reparación de un motor eléctrico, este barniz penetra los peños lugares entre las espiras y bobinas, aislándolas mucho mejor entre sí, también ofrece una mayor rigidez mecánica contra las vibraciones de la máquina. El barniz se aplicó por la industria INELTEC, como se observa en la figura 28.

Figura 28. Barnizado del bobinado del estator.



Fuente: propia de este trabajo.

## 2.3 MARCO LEGAL

### 2.3.1 Normas Nacionales e Internacionales de regulación energética.

Las normas técnicas Colombianas (NTC), en general, tienen como propósito la de establecer reglas, directrices o características de un producto o proceso, brindando protección al productor y consumidor. La comisión electrotécnica internacional (IEC), por su parte, es una organización mundial para la normalización, que comprende todos los comités electrotécnicos nacionales

(Comités nacionales de IEC). El objetivo de IEC, es promover la cooperación internacional sobre todas las cuestiones relativas a la normalización en los campos eléctricos y electrónicos.

En este apartado, se investigaron las normas nacionales e internacionales que rigen y regirán en un futuro, las especificaciones nominales y características de funcionamiento, de máquinas eléctricas rotativas, en el caso particular del proyecto, es indispensable revisar las normas sobre eficiencia de motores trifásicos de inducción.

El reglamento de instalaciones eléctricas RETIE, habla, que los motores y generadores eléctricos (máquinas eléctricas rotativas), nuevos, reparados o reconstruidos, de potencia mayor a 375 W, deben cumplir con los requisitos, adaptados de la norma NTC 2805. Esta norma presenta las especificaciones nominales y características de funcionamiento para el correcto desempeño de las máquinas eléctricas rotativas<sup>18</sup>.

La norma NTC 2805 en particular, para su aplicabilidad, recurre a la referencia de otras normas, entre las que se encuentra la NTC 5105, máquinas eléctricas rotatorias. Esta norma tiene como estudio, las clases de eficiencia de motores de inducción trifásicos de una sola velocidad, la cual es importante para el proyecto, ya que uno de los resultados esperados con la automatización del proceso de construcción de bobinas, es el de disminuir la pérdida de eficiencia en motores reparados. Esta regla tiene como base la norma internacional IEC 60034-30, la cual tiene regulaciones energéticas según el código IE, (IE1-Standard Efficiency, IE2-High Efficiency, IE3-Premium Efficiency), que se observan en la tabla 2.

---

<sup>18</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Máquinas eléctricas rotatorias: características nominales y características de funcionamiento. ICONTEC. (NTC 2805).

**Tabla 2.** Tabla reguladora de eficiencia para la IEC 60034-30

European efficiency levels									
Output	IE1 - Standard Efficiency			IE2 - High Efficiency			IE3 - Premium Efficiency		
	Poles			Poles			Poles		
kW	2	4	6	2	4	6	2	4	6
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
4	83.1	83.1	81.4	85.6	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
5.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
7.5	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
11	87.0	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
15	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	91.1	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
22	89.9	89.9	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
30	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
37	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
45	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
55	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
75	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
90	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
110	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
132	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
160	93.8	93.8	93.8	94.8	94.9	94.8	95.6	95.8	95.6
200-375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.6

Fuente: Tomado de [19]

La tabla tiene como propósito, dar a conocer la eficiencia según el código IE, de los motores trifásicos de 2, 4 y 6 polos, de potencias comprendidas entre 750 W hasta 375 KW. La norma entrará en regulación de la siguiente forma:

A partir del 16 de junio de 2011, el nivel de rendimiento de los motores con una potencia nominal 0,75 – 375 KW no podrá ser inferior al nivel de rendimiento de IE2.

A partir del 1 de enero de 2015, los motores con una potencia nominal 7,5 – 375 KW no podrán tener un nivel de rendimiento inferior al nivel de clasificación IE3 o al nivel IE2 y estar equipados de un mando de regulación de velocidad.

<sup>19</sup>DE LA MORENA, Javier. Eficiencia Energética en motores Eléctricos Normativa IEC 60034-30. [en línea]. <<http://www.fenercom.com/pdf/formacion/e3plus2012/15-eficiencia-energetica-en-motores-electricos.pdf>> [Citado el 20 de Marzo de 2016]

A partir del 1 de enero de 2017, todos los motores con una potencia nominal de 0,75 – 375 KW no podrán tener un nivel de rendimiento inferior al nivel de clasificación IE3 o al nivel IE2 y estar equipados de un mando de regulación de velocidad<sup>20</sup>.

Teniendo en cuenta las normas y parámetros anteriores, es necesario pensar seriamente, en el mejoramiento de procesos industriales en la reparación de motores eléctricos, para disminuir la pérdida de eficiencia de los motores trifásicos reparados, que es el campo de acción de la industria electrotécnica INELTEC.

---

<sup>20</sup> Ibid., p.15

### **3. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de los objetivos del proyecto, el trabajo se abordó en tres partes fundamentales, de la siguiente forma: diseño estructural, caracterización de sistemas electromecánicos y construcción. Se efectuó como primera medida una inspección visual de las herramientas utilizadas en la reparación de motores eléctricos, específicamente de la máquina bobinadora manual utilizada por la industria electrotécnica INELTEC. Con este punto de partida, se realizó un diseño básico de la máquina bobinadora automática, teniendo en cuenta dimensiones de las estructuras de la misma, sus partes principales y su función. Posteriormente, se eligieron los actuadores y sistemas de transmisión de movimiento para la automatización, paso importante, ya que las dimensiones de estos componentes son indispensables en el diseño final de la máquina bobinadora automática. A continuación se procedió a la construcción del mecanismo electromecánico y de moldes automáticos. Con los sistemas construidos se realizaron los respectivos, resultados, análisis y recomendaciones, finalizando con las conclusiones del proyecto.

#### **3.1 DISEÑO ESTRUCTURAL**

##### **3.1.1 Diseño de la máquina bobinadora automática.**

De la inspección visual, de las herramientas de la industria electrotécnica INELTEC, se observó que la máquina bobinadora manual tiene dos movimientos primordiales, la rotación del eje central y la traslación del alambre sobre los moldes de bobina, además cuenta con tres partes principales que son: la base de la bobinadora, el sistema de traslación de alambre y los moldes de bobinas. Con estas observaciones, se procedió al diseño básico de la máquina bobinadora automática con dimensiones similares a los de la máquina bobinadora manual, como también la altura del banco de trabajo donde se sitúa máquina.

Las medidas y diseños finales de la máquina bobinadora automática se los observa en el desarrollo y los anexos del proyecto.

### **3.1.2 Materiales estructurales de la máquina.**

Existen diversos materiales para la construcción de estructuras de medianos proyectos, como por ejemplo: plásticos, plásticos reforzados con fibras, metales, etc.

En el desarrollo del proyecto y construcción de la máquina, se utilizaron tres materiales principales. El material elegido en el sistema de traslación de alambre y moldes automáticos fue el aluminio, debido a su resistencia, y peso. Por otro lado, en la estructura de la base se utilizó lámina de hierro y para el eje central acero inoxidable, dada su función en la máquina.

La especificación de las dimensiones de cada elemento, se observa en el desarrollo y anexos del proyecto.

## **3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS**

### **3.2.1 Actuadores.**

Los actuadores son la parte fundamental de toda automatización, transforman energía en movimiento. Existen diversos tipos de actuadores como son: electrónicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Los actuadores hidráulicos y neumáticos son utilizados para tareas específicas de potencia o donde se requiera un sitio de trabajo libre de humedad, por otro lado los actuadores eléctricos son muy utilizados en pequeñas o medianas automatizaciones, como por ejemplo la máquina automática del presente trabajo.

Las características de los motores y micromotores se especifican más afondo en el desarrollo del proyecto.

### **3.2.2 Sistema de transmisión de movimiento.**

Es otra parte fundamental, de la automatización.

Los sistemas de transmisión de movimiento son muy variados, pero se los puede dividir en dos grupos:

**Transmisión de movimiento:** donde el elemento de entrada tiene el mismo movimiento del elemento de salida (circular – circular) como por ejemplo: poleas, piñones, sinfín – piñón. Ó (lineal – lineal). Entre los que se encuentran: poleas fijas, palancas, entre otros.

**Transformación de movimiento:** donde el movimiento del elemento de entrada es diferente del elemento de salida (circular – lineal), como por ejemplo, la leva, piñón – cremallera, tornillo fijo – tuerca, entre otros.

De los sistemas anteriores presentados, para la automatización de los sistemas electromecánicos, se eligieron dos mecanismos. Para el movimiento del eje central de la máquina se optó por el sistema de poleas y banda (transmisión circular - circular), por su sencillez. Además, el movimiento de rotación del eje central no presenta mayor precisión en su procedimiento.

Por otro lado, el sistema de traslación de alambre, presenta en su automatización un mecanismo de transformación de movimiento (circular – lineal) de tornillo fijo y tuerca, teniendo en cuenta el desplazamiento lineal – horizontal del alambre sobre el molde de bobina.

La automatización de los moldes de bobina presentan un mecanismo de transmisión de movimiento (circular – circular) en la configuración piñón – sinfín. Posteriormente, un mecanismo de transformación de movimiento (circular – lineal) en la configuración tornillo fijo – tuerca.

Los mecanismos anteriormente descritos se explican ampliamente en el desarrollo del proyecto.

### **3.3 CONSTRUCCIÓN**

#### **3.3.1 Máquina bobinadora automática.**

La construcción de la máquina, se realizó tomando los materiales anteriormente seleccionados para la automatización y las dimensiones de diseño dispuestos para el proyecto.

En el desarrollo del proyecto, se observa paso a paso tanto el diseño y construcción de la máquina bobinadora como del control electrónico, además el diseño y construcción de los moldes automáticos de las bobinas estáticas.

Para el diseño de los moldes automáticos, se tuvo en cuenta las dimensiones de los actuadores elegidos para la automatización, de igual forma que el sistema de transmisión de movimiento seleccionado. Además, de la forma y el rango de tamaño de los moldes de bobina para los motores de potencias de 1 HP hasta 10 HP utilizados por la industria INELTEC.

### **3.3.2 Control electrónico.**

- **Software.**

Para desarrollo del software de control electrónico, se utilizó el compilador pic C Compiler, en la programación de los dos microcontroladores pic utilizados en la automatización de la máquina. El compilador pic C Compiler posee librerías y funciones incorporadas en bibliotecas específicas de los registros del pic facilitando la programación.

La simulación del software se realizó mediante el simulador virtual Proteus, para la verificación del funcionamiento del software en su etapa inicial.

- **Hardware.**

La automatización de la máquina utilizó 3 tarjetas electrónicas, dispuestas de la siguiente forma: tarjeta de ingreso de datos, tarjeta de control de sistema de transmisión y tarjeta de acople con sensores. Estas tarjetas se diseñaron con la herramienta Ares del software de simulación Proteus.

En la fabricación de las tarjetas, se utilizaron medios calóricos para la realización del circuito impreso, como también la utilización de percloruro férrico para el proceso final.

Para la elección de los elementos electrónicos utilizados, se tuvo como referencia el costo económico de los mismos, y su asequibilidad en el mercado regional.

Los materiales electrónicos principales, utilizados en la fabricación de las tarjetas se los observa con detalle en el desarrollo del proyecto.

## 4. DESARROLLO

### 4.1 DISEÑO DE LA MÁQUINA BOBINADORA AUTOMÁTICA

La máquina bobinadora automática, se diseñó pensando en la automatización del proceso manual, en la fabricación de bobinas para los motores eléctricos, en los que podría existir un error humano, ocasionando la disminución de la eficiencia de un motor reparado, como puede ser, la cuenta errónea del número de espiras en una bobina por descuido del operario, o también, la toma de una medida exagerada en las dimensiones de la bobina, ocasionando una ampliación considerable de alambre, generando así una aumento en la resistencia eléctrica. Esto ocurre debido a que la resistencia eléctrica aumenta con la longitud del alambre, según se observa en la fórmula 5.

$$R = \frac{pL}{A} \quad (5)$$

Dónde:  $R$  = Resistencia eléctrica [ $\Omega$ ]

$p$  = Resistividad eléctrica [ $\Omega\text{mm}^2/\text{mts}$ ]

$L$  = Longitud del alambre [mts]

$A$  = Sección transversal [ $\text{mm}^2$ ]

El diseño presenta, tanto la automatización de la parte rotacional, como la de traslación del alambre sobre cada molde. Estas automatizaciones se logran gracias a un sistema de control electrónico, que lleva el registro del número de espiras de la bobina, como el número de bobinas por grupo y el número de grupos que lleva el motor a reparar. El diseño de la automatización de los moldes de bobina, se presenta más adelante.

De la experiencia obtenida en la inspección visual, de la fabricación de bobinas en la reparación de motores eléctricos y del material bibliográfico, se pudo observar que, generalmente las máquinas bobinadoras manuales tienen tres partes fundamentales, una base o soporte, un eje y una manivela. Como punto de partida se realizó el diseño de la base.

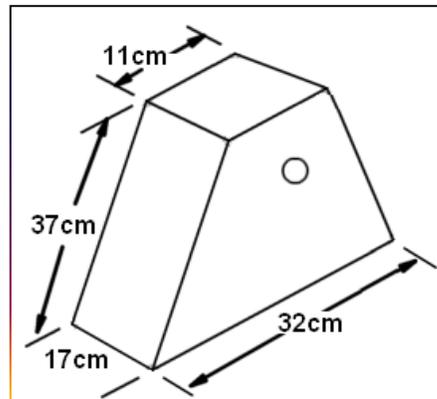
#### 4.1.1 Diseño de la Base.

Partiendo de la idea central se realizó el diseño de la base, la cual es el soporte de toda la estructura y protege el circuito electrónico.

La máquina se dispuso de forma trapezoidal con medidas en su base de 32 cm, altura 37cm y ancho de 17cm, como se observa en la figura 29.

Para adoptar estas medidas, se tomó como referencia, la medida de altura del banco de trabajo de la industria INELTEC, que tiene una distancia de 90 Cm.

Figura 29. Base de la máquina bobinadora.



Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.1.2 Eje Central.

El eje, es la parte de la máquina que recibe la mayor tensión, se tomó como referencia el diámetro del eje de la bobinadora manual de la industria INELTEC, un diámetro de 1/2". El movimiento de rotación del eje, es efectuado por un motorreductor DC, a través de un sistema de transmisión de movimiento por banda y poleas. El eje atraviesa la base y gira sobre la misma dos cojinetes. En este caso particular se utilizaron balineras, ubicadas en la parte posterior y anterior de la base. El eje rota junto con los moldes de bobina.

La relación de transmisión de las poleas, para el movimiento de rotación del eje, viene dado por la fórmula 6.

$$i = \frac{d1}{d2} \quad (6)$$

Dónde:  $i$  = relación de transmisión

$d1$  = diámetro de la polea motriz [Cm]; (polea de entrada, ubicada en el motor)

$d2$  = diámetro de la polea conducida [Cm]; (polea de salida, ubicada en el eje)

Por otro lado, se relaciona la velocidad de las poleas, con el tamaño de las mismas, en la fórmula 7.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (7)$$

Dónde:  $n_1$  = velocidad de la polea de entrada [Rpm]

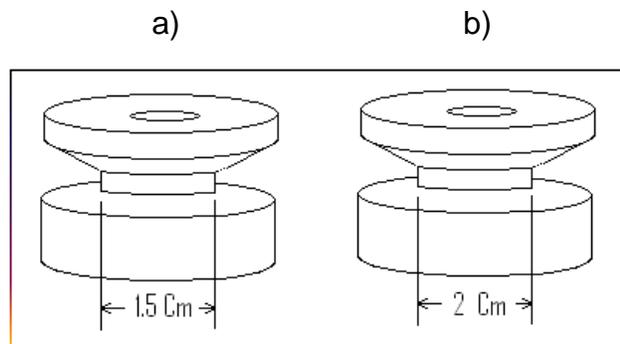
$n_2$  = velocidad de la polea de salida [Rpm]

$d_1$  = diámetro de la polea motriz de entrada [Cm]

$d_2$  = diámetro de la polea conducida de salida [Cm]

En la figura 30, se observa las dimensiones del diámetro de la polea de entrada (1.5 Cm), como la polea de salida (2 Cm).

Figura 30. Diámetro de poleas. a) Entrada. b) Salida.



Fuente: propia de este trabajo.

Aplicando las dimensiones de las poleas y las revoluciones por minuto del motorreductor (60 Rpm), a la fórmula 7, se obtiene:

$$d_1 = 1.5 \text{ Cm}; d_2 = 2 \text{ Cm}; n_1 = 60 \text{ Rpm}$$

$$n_2 = \frac{n_1 d_1}{d_2}; n_2 = \frac{60 \text{ Rpm} \times 1.5 \text{ Cm}}{2 \text{ Cm}}; n_2 = 45 \text{ Rpm}$$

Entonces, el eje de la máquina bobinadora automática gira a 45 Rpm.

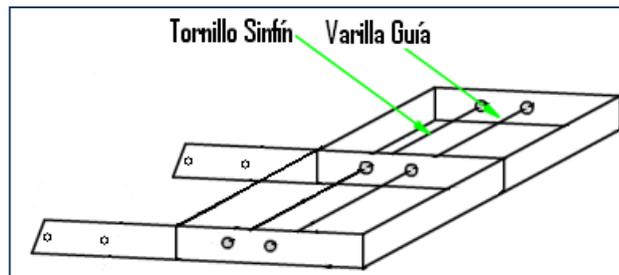
#### 4.1.3 Sistema de Traslación del alambre.

La máquina, cuenta con un sistema automático, para la traslación de derecha a izquierda del alambre sobre los moldes. Dispone, de un motorreductor DC de 12V a 60 Rpm como actuador, un sistema de transmisión de movimiento por medio de tornillo fijo y tuerca o rosca de desplazamiento como también de una varilla guía.

Este sistema reposa en un conjunto de soportes unidos a la base de la máquina, como se observa en la figura 31. Para la automatización del sistema de traslación, se incorporaron sensores infrarrojos reflectivos, ubicados frente al brazo de traslación, que indican los bordes de los molde de bobina. Estos sensores guían la traslación del alambre de derecha a izquierda y viceversa, dentro del molde de bobina, evitando que el alambre salga de cada molde de bobina.

En el anexo 1, se muestran las dimensiones de los soportes del sistema de traslación y su ubicación en la base de la máquina.

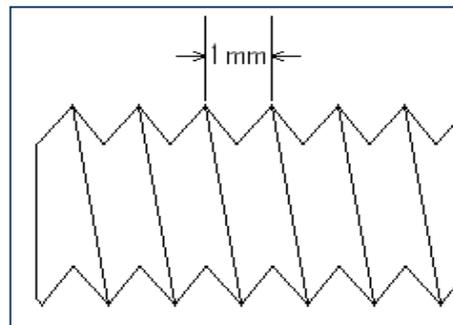
Figura 31. Soportes, tornillo fijo y varilla guía.



Fuente: propia de este trabajo.

En la figura 32, se observa el paso del tornillo fijo (1mm). Siendo el motorreductor de 60 Rpm, el sistema recorre una distancia de 60 mm por minuto.

Figura 32. Paso del tornillo fijo.

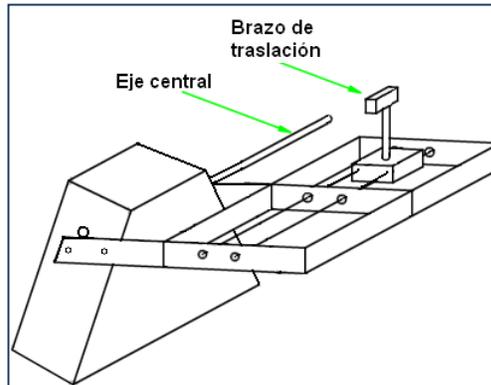


Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.1.4 Máquina automática completa.

La máquina bobinadora automática, en su conjunto, realiza el movimiento de rotación y traslación del alambre sobre los moldes. La intervención de un operario, solo se realiza, en el momento del montaje del alambre, y el desmontaje del grupo de bobinas ya fabricadas. En la figura 33, se muestra el diseño básico de la máquina automática completa.

Figura 33. Máquina básica completa.



Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.1.5 Materiales Varios.

- **Motor de rotación y traslación DC.**

El motor utilizado para el giro, tanto rotacional como de traslación es un motoreductor DC de 60 RPM, de 12 V, marca HSIANG NENG.

- **Balnera.**

Las balneras usadas como cojinetes del eje, son de dimensiones 32x12mm, marca Koyo.

- **Poleas.**

La transmisión del movimiento rotacional del eje central, es efectuado por la acción de poleas y banda, como se había mencionado anteriormente. El diámetro de la polea de entrada es de 1.5 Cm, y el diámetro de la polea de salida es de 2 Cm.

#### 4.2 CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO

El diseño del control electrónico se realizó en dos etapas. En la primera etapa se desarrollaron dos software, para dos pic's. El primer software, recibe parámetros del motor trifásico por medio de un teclado, realiza cálculos matemáticos y entrega una señal de salida, para los actuadores del mecanismo de automatización de los moldes de bobina y el movimiento rotacional. El segundo software, obtiene información de los sensores de posición del sistema de traslación del alambre y controla el motor de ese sistema. En la segunda etapa se desarrolló el hardware que permite la interacción del usuario con la máquina, por medio de un teclado y su visualización por pantalla. Como también el hardware del sistema de sensores y del motor de traslación. En la figura 34, se representa básicamente el sistema de control electrónico.

Figura 34. Diagrama básico del sistema de control electrónico.



Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.2.1 Desarrollo del software de control.

Para la automatización de la máquina bobinadora, fueron necesarios dos software. El primero para la interpretación de los parámetros de entrada. Mediante este software, el control electrónico genera las señales asía los actuadores, que responden a los parámetros indicados.

El segundo software, interpreta las señales de los sensores de posición del sistema de traslación del alambre y controla el motor de este sistema.

Para el desarrollo del software, se utilizó el programa Pic C Compiler, que es un compilador C. Contiene operadores estándar del lenguaje y funciones incorporadas en bibliotecas que son específicas a los registros de PIC.

A continuación se explica, cómo funciona a grandes rasgos el software y su interacción con el usuario.

La primera parte del código del software, requiere la entrada de parámetros a través de un teclado, posteriormente solicita, el número de ranuras del estator, las revoluciones por minuto del motor, número de fases y el número de capas del bobinado (1 o 2 capas), con este último parámetro, el software se dirige a una base de datos, donde se encuentran las operaciones de cálculo, ahí se calcula el número de grupos y el número de bobinas por grupo a realizar. Esto se hace, debido a que un número determinado de ranuras y polos, puede ser de capa doble o sencilla, con diferente paso de bobina. En muchos casos, las fórmulas de cálculo no varían, pero en casos particulares, las formulas no corresponden a las estudiadas anteriormente. Fórmulas (2) y (3) del capítulo 2.

A continuación, el software solicita el diámetro interno y la longitud del estator. Estos parámetros son necesarios, para el cálculo de las distancias que hay entre los dos lados activos de las bobinas y de las cabezas de bobina, que generan la automatización de los moldes de bobina.

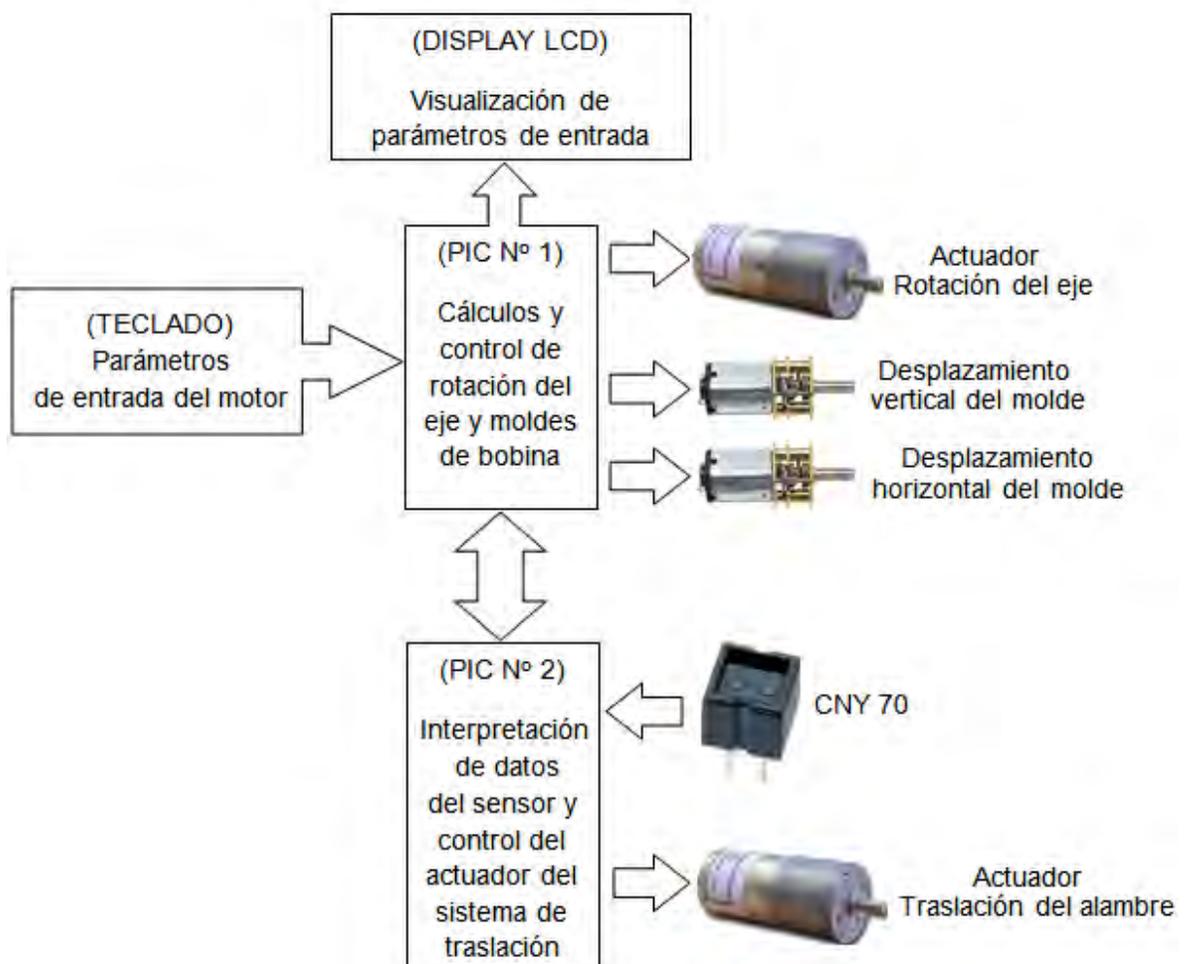
Finalmente, se solicita el número de espiras de las bobinas, terminando así la introducción de parámetros por parte del usuario, dando paso al funcionamiento de la máquina bobinadora.

El software número dos, interactúa con el software número uno funcionando en conjunto. También se encarga de controlar el actuador del sistema de traslación, dependiendo de la información de los sensores infrarrojos del sistema.

En la figura 35, se observa el diagrama general del funcionamiento del software de la máquina bobinadora.

Los software de control electrónico, se los puede observar en los anexos 2 y 3 del proyecto.

Figura 35. Diagrama general del funcionamiento del software.



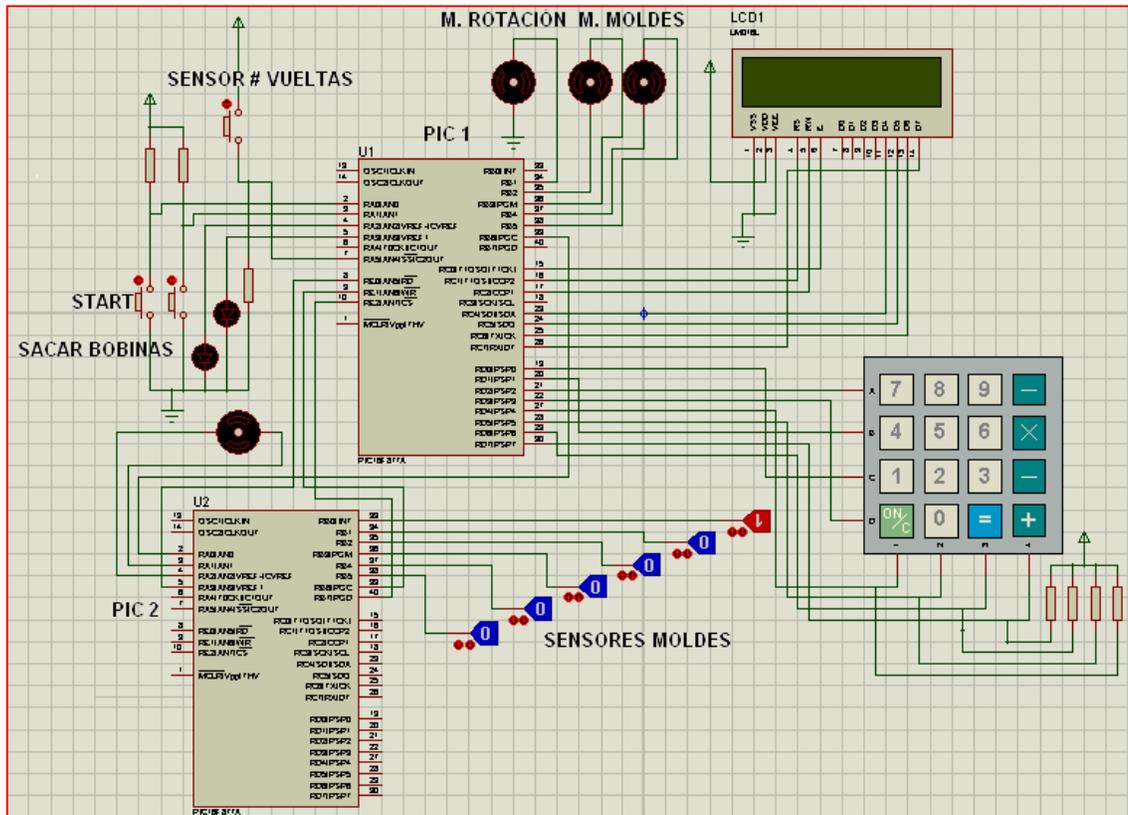
Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.2.2 Simulación virtual.

Para obtener una idea previa del funcionamiento del software, es necesaria la simulación virtual. Para este caso en particular se realizó en el programa Proteus, que es un entorno integrado para la realización de diseños electrónicos.

En la figura 36, se observa un pantallazo de la representación del desarrollo del proyecto, con la sencillez que brinda el programa Proteus, para simplificar procesos, como la cantidad de motores, sensores y otros dispositivos que se pueden obviar. Por ejemplo los motores de los moldes están representados por un solo motor, entonces solo hay dos motores, el motor de desplazamiento vertical (longitud de cabezas de bobina) y el de desplazamiento horizontal (longitud entre lados activos). El motor de rotación está representado por un diodo led y el motor de traslación por un motor DC.

Figura 36. Diseño en el software Proteus.



Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.2.3 Desarrollo del Hardware de control.

El hardware, se desarrolló pensando en costos de materiales y su fácil adquisición en el mercado regional.

- **Materiales principales.**

**pic 16f877a:** Como mando central tenemos el PIC 16f877a, fabricado por Microchip, posee varias características que lo hacen muy versátil, eficiente, practico y económico para ser empleado en este proyecto.

**L293B:** El circuito integrado L293b, es de gran utilidad para controlar pequeños motores de corriente directa. Mediante su puente H, la capacidad de corriente y variedad de voltajes.

Por medio del primer pic 16f877a, el circuito integrado L293b, controla el sentido de giro de los motores en los moldes de bobina.

El segundo circuito integrado L293b, controla el sentido de giro del motor de traslación de alambre sobre los moldes.

**Sensor infrarrojo CNY 70:** El sensor CNY70 es un sensor de infrarrojos de corto alcance basado en un emisor y receptor de luz, ambos apuntando en una misma dirección. Su funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto, y la detección del rayo reflectado por el objeto.

Estos sensores, se encuentran frente al brazo de traslación, en cada borde de los moldes, y tienen la función de enviar señales al segundo pic 16f877a, para cambiar el giro de rotación del motor de traslación del alambre, en el momento que se encuentre en el borde del molde, manteniendo así el alambre dentro del molde de bobina.

**Teclado matricial 4x4:** El teclado 4x4 posee 4 filas y 4 columnas, para un total de 16 teclas, esto quiere decir que ocupa un puerto del pic 16f877a. Fácil de utilizar mediante la librería `#include <KBD4x4.c>`, del compilador pic C Compiler.

Por medio del teclado, se introducen los parámetros del motor eléctrico, para su lectura.

**Pantalla LCD 16x2:** La pantalla LCD 16x2 presenta 2 filas y 16 caracteres, es un visualizador económico y muy útil para los requerimientos del proyecto. También posee una librería para su fácil manejo, `#include <LCDC.c>`.

Permite la visualización de los parámetro a ingresar, también permite observar si los parámetros introducidos son válidos o no.

- **Construcción del control electrónico.**

Con el software puesto a prueba en el simulador virtual Proteus, se continuó con la construcción del sistema de control electrónico.

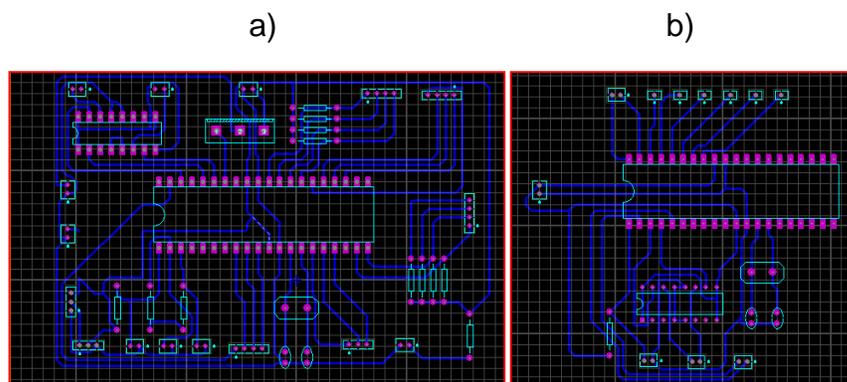
Como primer paso se realizó la construcción del circuito en Ares, que es una herramienta de Proteus para la fabricación de la tarjeta PCB.

Por medio de esta herramienta, se fabricaron las tres tarjetas necesarias para la automatización de la máquina bobinadora. La primera tarjeta, mediante el primer pic 16f877a controla la recepción de parámetros del motor por medio del teclado, como también la visualización por medio de la pantalla LCD, el control del motor de rotación del eje central y la automatización de los moldes de bobina.

La segunda tarjeta, también controlada por un pic 16f877a, controla el motor de desplazamiento del alambre y recibe la lectura de los sensores infrarrojos.

En la figura 37, se observan las tarjetas uno y dos.

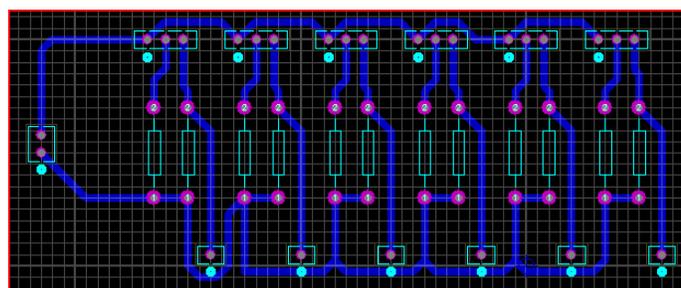
Figura 37. a) Tarjeta receptora de parámetros. b) Tarjeta lectora de sensores.



Fuente: propia de este trabajo.

La tercera tarjeta, acopla los sensores infrarrojos, con el puerto B del pic 16f877a. Se observa en figura 38.

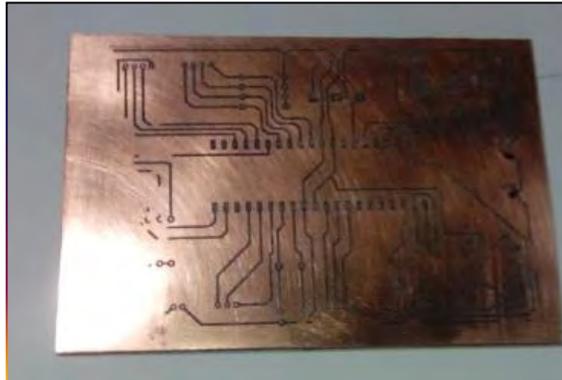
Figura 38. Diseño de la tarjeta de acople de sensores.



Fuente: propia de este trabajo.

Estos diseños, se imprimieron con una impresora láser en papel transfer y por medios calóricos, fueron transferidos a la placa de pertinax, dando como resultado el diagrama de pistas a conectar. En la figura 39, se observa el resultado de este proceso.

Figura 39. Pertinax impregnado con las pistas de conexión.

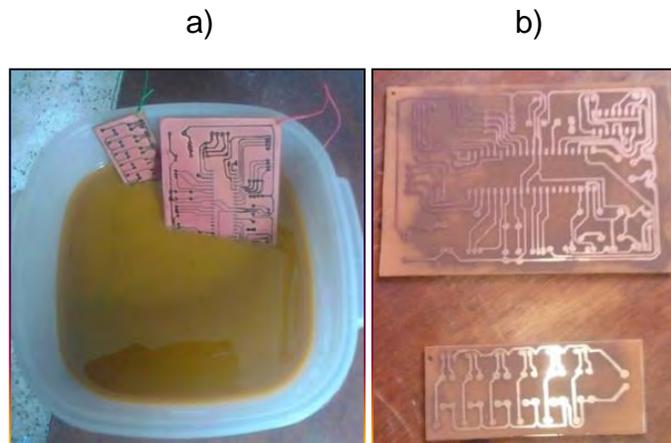


Fuente: propia de este trabajo.

Posteriormente, se retiró el cobre sobrante sumergiendo las placas en percloruro férrico y limpiando la placa.

El resultado del ataque químico son las pistas de cobre del circuito de conexión. En la figura 40, se observa la introducción de las placas al percloruro férrico y la culminación del proceso.

Figura 40. a) Exposición de las placas al percloruro férrico. b) Proceso finalizado.



Fuente: propia de este trabajo.

Para finalizar, se realizó la soldadura de los componentes electrónicos y se efectuaron las pruebas de funcionamiento. En la figura 41, se observan los elementos electrónicos incorporados en las tarjetas.

Figura 41. Montaje de los componentes electrónicos.



Fuente: propia de este trabajo.

### 4.3 CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA BOBINADORA AUTOMÁTICA

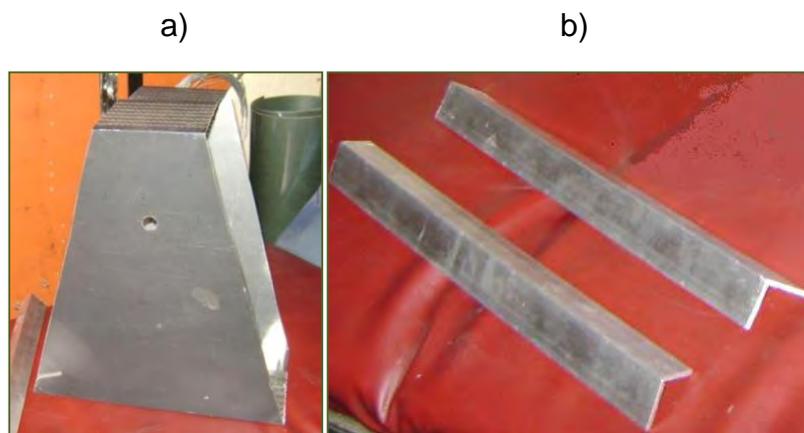
#### 4.3.1 Construcción de la base de la máquina bobinadora.

La base de la máquina, recubre tanto el sistema electromecánico que lleva la automatización de la rotación del eje central, como el control electrónico. Además, soporta el sistema de traslación del alambre de cobre.

La base se construyó con lámina de hierro de 1mm de espesor, la cual se dispuso de forma y medidas sobre los planos de diseño.

Internamente la base tiene soportes, que brindan firmeza a la estructura. Están dispuestos en forma de ángulo y fabricados de aluminio, en platina de 3mm. En la figura 42, se muestra la base de la máquina junto con los soportes internos para su refuerzo.

Figura 42. a) Base de la máquina bobinadora. b) Soportes internos.

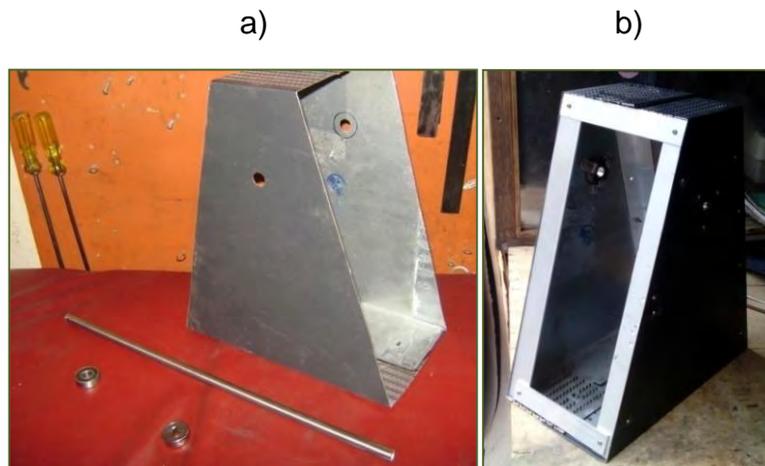


Fuente: propia de este trabajo.

Sobre la base gira el eje central, donde se ubican los moldes de bobina. El eje se soporta en la base por medio de cojinetes para mejor rotación, por medio de balineras.

Para finalizar la construcción, se aseguraron por medio de tornillos, los soportes y las balineras a la base de la máquina. Se observa el despiece y el montaje final de la base en la figura 43.

Figura 43. a) Rodamientos, eje central y base. b) Ensamble final de la base de la máquina bobinadora.



Fuente: propia de este trabajo.

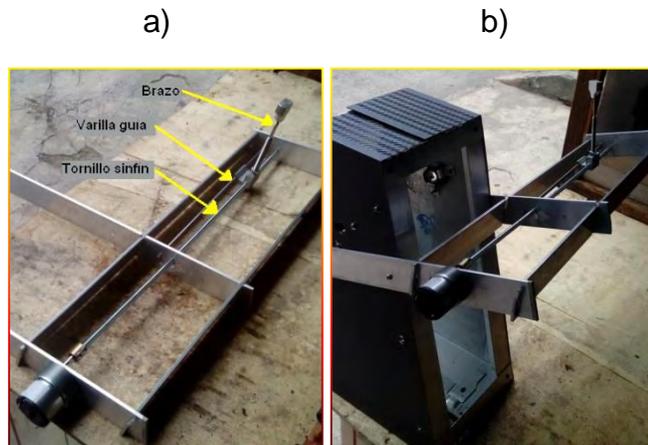
#### **4.3.2 Construcción del sistema electromecánico de traslación del alambre.**

La estructura se realizó según las especificaciones de diseño, en platina de aluminio de 3.7 Cm x 3mm, material utilizado por ser ligero, resistente y de fácil manejo. El sistema de traslación de alambre, se ubica frente al eje de rotación, donde giran los moldes de bobina.

Los soportes del sistema de traslación se aseguraron a la base en la parte posterior y anterior. Sobre estos soportes, se ubica la varilla guía y el tornillo que desplaza el brazo guía del alambre.

En la figura 44, se observa cómo se ubican los soportes, para formar tres puntos de apoyo para el tornillo fijo de desplazamiento y dos puntos de apoyo para la varilla guía. Como también la ubicación de todo el sistema de traslación sobre la base.

Figura 44. a) Sistema de traslación de alambre. b) sistema electromecánico ensamblado.



Fuente: propia de este trabajo.

#### **4.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES DE BOBINA AUTOMÁTICOS DE TAMAÑO VARIABLE**

Los moldes de bobina son la pieza fundamental en la fabricación de bobinas, ya que de estos depende el tamaño y la forma de la bobina.

Como primera medida, se realizó el diseño de los moldes. Para este diseño se recurrió a la revisión bibliográfica y la inspección visual de las herramientas utilizadas en la fabricación de bobinas. Con los sistema de transmisión y actuadores escogidos para el diseño, se diseñaron las estructuras para estos sistemas, teniendo en cuenta los tamaños mínimos y máximos de las bobinas, de las potencias propuestas de motores eléctricos.

##### **4.4.1 Diseño de los moldes de bobina.**

De las bobinas de motores eléctricos se entiende, que dependiendo de las dimensiones del estator y el paso de bobina, estas varían en tamaño tanto de ancho como de alto, entonces, un molde automatizado debe lograr estas dimensiones a partir de actuadores y sistemas de transmisión de movimiento, controlados por un control electrónico. Para el diseño, primero se eligieron el actuador y el sistema de transmisión de movimiento, que varíe el tamaño del molde de bobina. Posteriormente, se diseñaron las estructuras acordes con las dimensiones de los sistemas elegidos.

Para un desplazamiento equitativo tanto de ancho como de alto, se comenzó por el diseño de una estructura central, seguido por los diseños de las estructuras de desplazamientos, en este caso el desplazamiento horizontal, y por último el vertical.

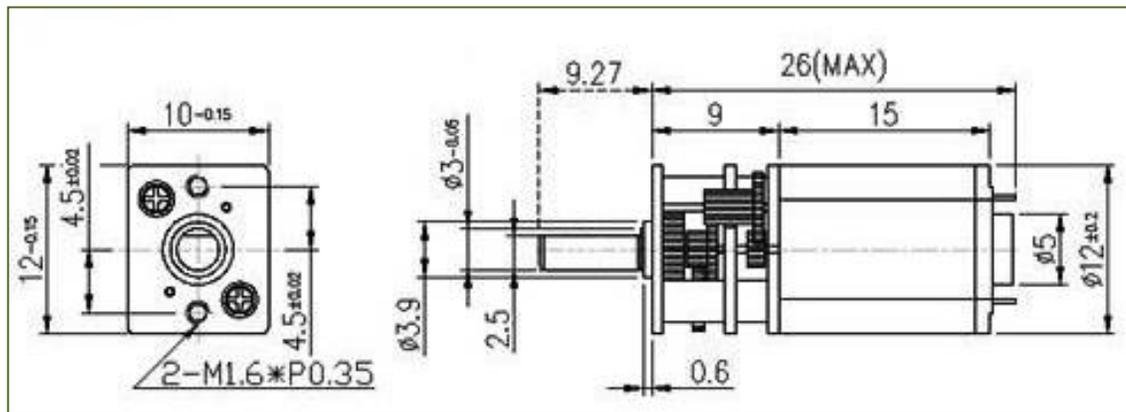
Se tuvieron en cuenta las medidas aproximadas de ancho (distancia entre lados activos de bobina) y alto (distancia entre cabezas de bobina), que para motores de 1 HP pueden llegar a ser como mínimo: ancho 10 Cm y alto 12 Cm.

El material elegido para fabricar estas estructuras fue el aluminio, dispuesto en platina de 2.5 x 0.3 Cm.

- **Actuador y Sistema de transmisión.**

**Actuador:** Un actuador muy común en automatización, es el motor eléctrico. Para este caso particular, se utilizaron las dimensiones de un micro motorreductor DC, de 120 Rpm y 1 Kg.Cm de torque. Las dimensiones se observan en la figura 45.

Figura 45. Dimensiones del micromotor.



Fuente: Tomado de [21]

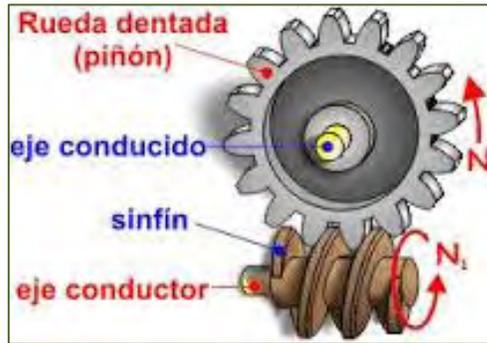
En el eje del motor se ubica un tornillo sinfín junto con un piñón, esta configuración transforma el movimiento rotacional del motor, en un movimiento rotacional perpendicular a su eje, ocupando un espacio reducido, razón por la cual se utilizó en el diseño.

Además es un excelente reductor de velocidad, otorgando así una elevada ganancia mecánica. En la figura 46, se observa el conjunto del tornillo sinfín y el piñón.

<sup>21</sup>DYNAMO ELECTRONICS. Micromotor. [en línea].

<[http://www.dynamoelectronics.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=dynamo.tpl&product\\_id=215&category\\_id=99&option=com\\_virtuemart&Itemid=58](http://www.dynamoelectronics.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=dynamo.tpl&product_id=215&category_id=99&option=com_virtuemart&Itemid=58)> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

Figura 46. Tornillo sinfín y piñón.



Fuente: Tomado de [22]

Se tuvieron en cuenta, las dimensiones de los dos elementos del sistema mecánico, para el diseño de la estructura que sirve de soporte a estos elementos. Las dimensiones tanto del tornillo sinfín como el piñón son:

Diámetro del tornillo sinfín: 1.3 Cm

Diámetro del piñón y número de dientes: 1.3 Cm y 12 dientes

Debido, a que los dos elementos conforman una transmisión de movimiento, se debe considerar la relación de transmisión, para este caso, el tornillo sinfín debe dar tantas vueltas como número de dientes tenga el piñón, para que el piñón de una vuelta. A partir de esta idea, la relación de transmisión de movimiento, está expresada por la fórmula 8.

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (8)$$

Dónde:  $i$  = Relación de transmisión

$Z_1$  = Número de dientes activos del tornillo sinfín (1)

$Z_2$  = Número de dientes del piñón

Esta relación de transmisión también puede ser expresada en función de la velocidad, según la fórmula 9.

$$\frac{n_1}{Z_1} = \frac{n_2}{Z_2} \quad (9)$$

<sup>22</sup>CEJAROSU. Mecanismos: sinfín-piñón. [en línea].

<[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_ruedentada.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_ruedentada.htm)> [Citado el 26 de Septiembre de 2016]

Dónde:  $n_1$  = Velocidad de entrada [Rpm]  
 $n_2$  = Velocidad de salida [Rpm]  
 $Z_1$  = Número de dientes activos del tornillo sinfín (1)  
 $Z_2$  = Número de dientes del piñón

Aplicando los datos de los elementos del sistema de transmisión, a la fórmula 9, se obtuvo la velocidad de salida del piñón:

$$n_1 = 120 \text{ Rpm (Velocidad del micro motorreductor)}$$

$$Z_1 = 1$$

$$Z_2 = 12$$

$$n_2 = \frac{120 \text{ Rpm} \times 1}{12}$$

$$n_2 = 10 \text{ Rpm}$$

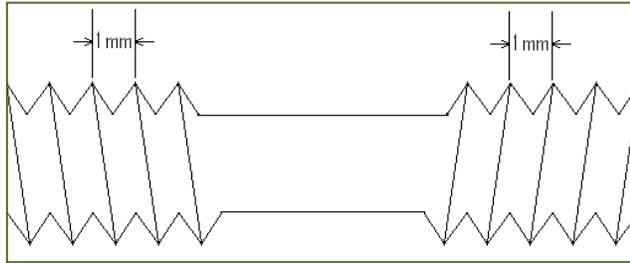
La velocidad de salida del piñón es de 10 Rpm. Para calcular la velocidad de desplazamiento total de la estructura de desplazamiento horizontal, haría falta el diseño de la relación de transmisión que se une al eje del piñón.

- **Sistema de transmisión de movimiento.**

Para un desplazamiento longitudinal, se utilizó en el diseño un tornillo de posición fija (no puede desplazarse), pero que al girar provoca el desplazamiento de la tuerca.

Para el desplazamiento tanto horizontal como vertical, se utilizó un tornillo de posición fija como eje del piñón anteriormente mencionado. Para un desplazamiento equidistante, se debe tener un sistema de transmisión de movimiento lineal, tanto a la derecha como izquierda, para esto se empleó un tornillo de posición fija de rosca izquierda y derecha de igual paso. El tornillo cuenta con las siguientes dimensiones para el diseño: 6 mm de diámetro, 17 cm de largo y paso 1 mm. En la figura 47, se observa el tornillo para el sistema de transmisión de movimiento horizontal.

Figura 47. Tornillo fijo de rosca izquierda y derecha.



Fuente: propia de este trabajo.

El sistema de transmisión se completó, con las tuercas de rosca izquierda y derecha que giran sobre el tornillo, las cuales están unidas a las estructuras de desplazamiento horizontal y vertical, y son las que se desplazan linealmente tanto a la derecha como izquierda, hacia arriba y abajo, abriendo y cerrando el molde.

El avance del tornillo como definición, es el desplazamiento del elemento roscado móvil, sobre el fijo, para una vuelta completa. En este caso el elemento roscado móvil es la tuerca y el elemento fijo es el tornillo. La fórmula para el avance del mecanismo se obtiene de la fórmula 10:

$$A = P \times N^{\circ}F \quad (10)$$

Dónde:

A = Avance del tornillo

P = Paso del tornillo

N<sup>°</sup>F = Número de Filetes del tornillo (Rosca sencilla = 1)

Teniendo en cuenta, que el tornillo gira a la misma velocidad del piñón (10 Rpm), el paso del tornillo es de 1 mm y el tornillo es de rosca sencilla (N<sup>°</sup>F = 1), aplicando la fórmula (10) se obtiene que:

$$A = 1\text{mm} \times 1$$

$$A = 1\text{mm}$$

Esto quiere decir, que una vuelta del tornillo tiene un desplazamiento de 1 mm. Como el tornillo es el eje del piñón y el piñón tiene una velocidad de 10 Rpm, entonces la estructura en un minuto, tiene un desplazamiento de 10 mm tanto a la derecha como a la izquierda.

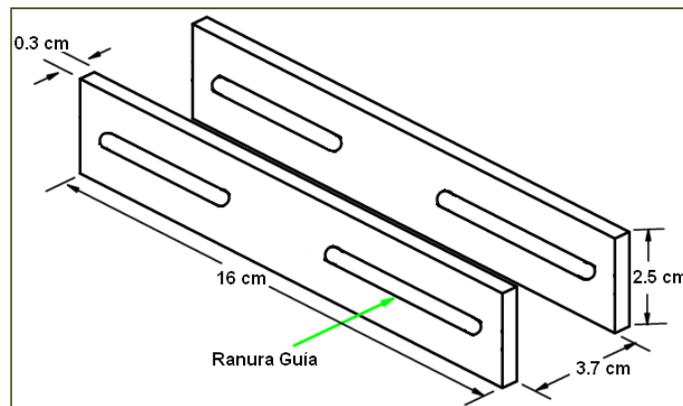
- **Diseño del soporte central.**

El diseño del molde de bobina automático, depende del tamaño de las bobinas estáticas que construirá, como también del tamaño del sistema de transmisión y del actuador, ya que estos se encuentran ahí ubicados.

Como se había mencionado, los moldes de bobina utilizados por la industria electrotécnica INELTEC, son auto fabricados de madera, en varios tamaños, el tamaño del grosor de la bobina, es aproximadamente 1 Cm. Tomando como referencia este grosor, se diseñó un soporte central que ocupe el menor tamaño posible, teniendo en cuenta el espacio que ocupa el actuador y el sistema de transmisión elegidos. Además el soporte central gira con el eje central de rotación de la máquina y es atravesado por él. En el anexo 4, se observa la ubicación el eje de rotación sobre el soporte central.

El soporte central está conformado por dos estructuras laterales paralelas de 16 x 2.5 Cm y 3 mm de grosor, separadas entre sí 3.7 Cm. Estas estructuras disponen de una ranura en su parte central de 5 mm de ancho por 8 Cm de largo, que es utilizada como guía para la estructura de desplazamiento horizontal. En la figura 48 se observa, el diseño de las estructuras principales del soporte central.

Figura 48. Estructuras principales del soporte central.



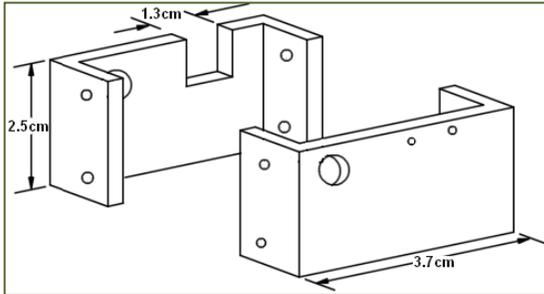
Fuente: propia de este trabajo.

Para mantener unidas estas estructuras, se diseñaron dos uniones en platina de aluminio de 1.5 mm de espesor.

Las uniones de las estructuras, además de separar las estructuras principales del soporte central, tiene la función de brindar soporte, asiento y protección a los actuadores y sistemas de transmisión de movimiento tanto vertical como horizontal. En la figura 49, se observa el diseño de las uniones de las estructuras laterales.

En los anexos 5 y 6 se observa, la ubicación del actuador y la transmisión de movimiento. Como también la configuración mencionada anteriormente de tornillo sinfín – piñón.

Figura 49. Uniones de las estructuras laterales.

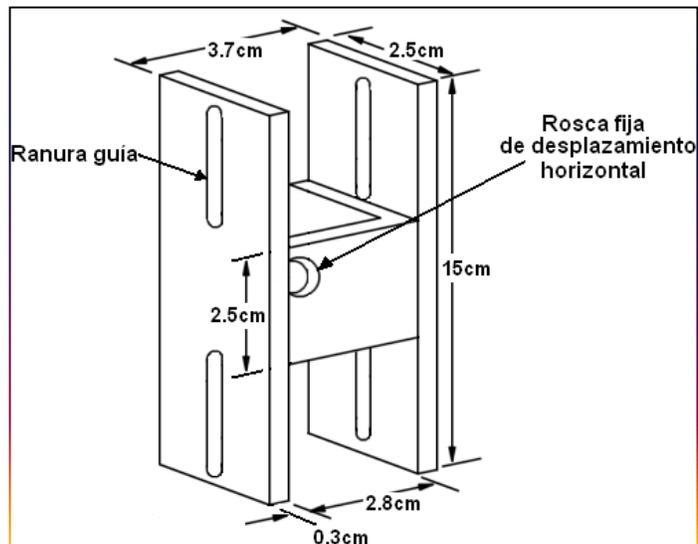


Fuente: propia de este trabajo.

- **Diseño de las estructuras de desplazamiento horizontal.**

La estructura de desplazamiento horizontal, cumple la función de dar el tamaño del paso de bobina. Está formada por dos estructuras laterales y paralelas de dimensiones, 15 x 2.5 Cm y 3mm de grosor. Se acoplan en su parte central por una unión de 2.5 x 2.8 Cm, en esta unión se ubicó la rosca que se desliza sobre el tornillo y es la que hace deslizar la estructura lineal y horizontalmente, con el movimiento rotacional del motor. En la figura 50, se observa el diseño de la estructura de desplazamiento horizontal.

Figura 50. Estructura de desplazamiento horizontal, parte izquierda.



Fuente: propia de este trabajo.

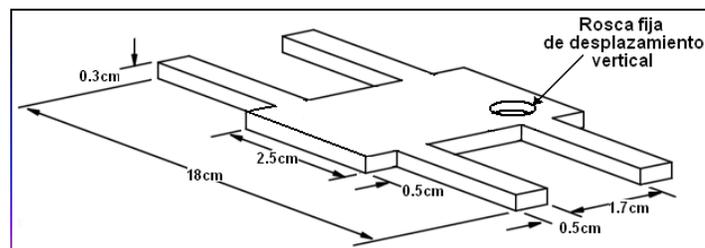
De igual manera, sobre la parte lateral de la estructura, se realizó una ranura vertical, que sirve de guía para los bordes del molde de bobina, para el desplazamiento vertical.

Esta estructura debe desplazarse tanto a la derecha como a la izquierda, por consiguiente se debe construir dos estructuras. En el anexo 7, se observa la parte derecha de la estructura y su ubicación sobre el soporte central.

- **Diseño de la estructura de desplazamiento vertical.**

Esta estructura tiene forma de H, debido a que estas zonas centrales sin material son atravesadas por el alambre de la bobina a fabricar. Por la parte central, se ubicó la tuerca fija, que es la que se desliza sobre el tornillo fijo vertical. De igual forma que la estructura de desplazamiento horizontal, esta estructura debe desplazarse tanto hacia arriba como abajo, por consiguiente se deben construir dos estructuras. En la figura 51, se observa el diseño de la estructura para el desplazamiento vertical superior.

Figura 51. Estructura para el desplazamiento vertical superior.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Diseño de los bordes de los moldes.**

El molde de bobina diseñado, cuenta con cuatro bordes en las esquinas y son las únicas partes del molde que entra en contacto con el alambre de la bobina. Los bordes se diseñaron de igual forma a un prisma rectangular. Por su centro existe una cavidad la cual recibe el alambre de la bobina. Tienen una dimensión de 2.5 x 2.7 x 4 Cm. Los bordes, como los moldes de madera, dan forma semicircular a las esquinas de las bobinas, como se observa en la figura 52.

Figura 52. Bordes semicirculares de los moldes de madera.

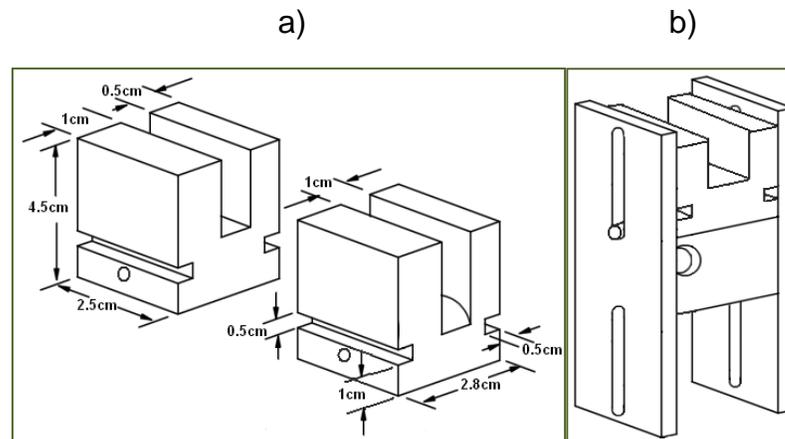


Fuente: propia de este trabajo.

Los bordes, se desplazan verticalmente a lo largo de la estructura de desplazamiento horizontal a través de una varilla por la ranura guía, como también por medio de la estructura de desplazamiento vertical. Su función principal es la degenerar el tamaño de cabeza a cabeza de la bobina, además de la distancia entre los lados activos de la bobina. El diseño de los bordes y La disposición de estos sobre las estructuras de desplazamiento horizontal se observan en la figura 53.

En el anexo 8, se muestra la ubicación de la estructura de desplazamiento vertical sobre los bordes de los moldes.

Figura 53. a) Bordes superiores de los moldes de bobina. b) Montaje del borde en la estructura.



Fuente: propia de este trabajo.

#### 4.4.2 Construcción de los moldes de bobina automáticos.

Como material para la construcción de los moldes de bobina se utilizó el aluminio, en platina de dimensiones: 2.5 Cm de ancho y 3 mm de grosor. Para la fabricación de los moldes, en primer lugar se construyó el soporte central, según sus características de diseño, donde se ubican los sistemas de transmisión de movimiento lineal, tanto horizontal como vertical. Posteriormente se construyeron las estructuras de desplazamiento horizontal, vertical y los bordes de los moldes. Finalmente se ensamblaron los sistemas, terminando así la construcción del molde de bobina automático.

- **Construcción del soporte central.**

Para la construcción de la estructura, como primer paso se seccionaron las platinas de aluminio teniendo en cuenta las dimensiones de diseño, 16 Cm de longitud, y se realizaron las ranuras que sirven de guía para la estructura de desplazamiento horizontal. En la figura 54, se observan las platinas y las ranuras guías seccionadas.

Figura 54. Platinas laterales del soporte central.



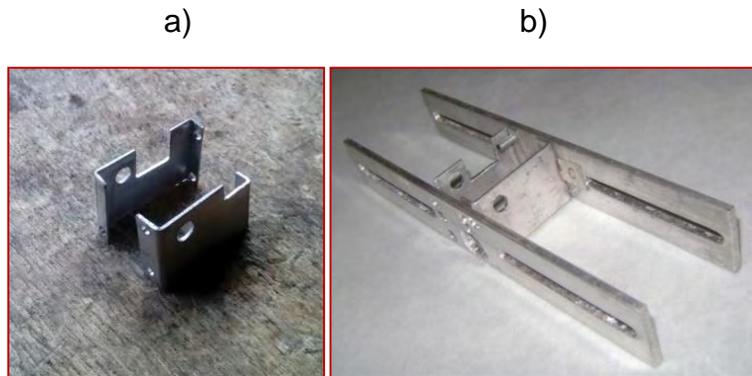
Fuente: propia de este trabajo.

Como paso siguiente, se fabricaron las uniones de las estructuras centrales, que también sirven de asiento para las transmisiones de movimiento y los actuadores. La platina de aluminio utilizada para estas uniones tiene dimensiones de 2.5 x 3.7 Cm y 1.5 mm de grosor. En las uniones se realizaron dos perforaciones y dos cortes en el material. Las perforaciones circulares tienen objetivo servir de asiento al tornillo fijo de transmisión de movimiento horizontal, los cortes sirven para dar espacio a piñones y tornillos sinfín de los actuadores.

Se incorporaron paralelamente las dos estructuras centrales con las uniones, para formar la estructura que sirve de soporte central del molde de bobina.

En la figura 55, se pueden observar las dos uniones del soporte central con las perforaciones y cortes en el material. Como también el soporte central terminado.

Figura 55. a) Uniones del soporte central. b) Soporte central terminado.



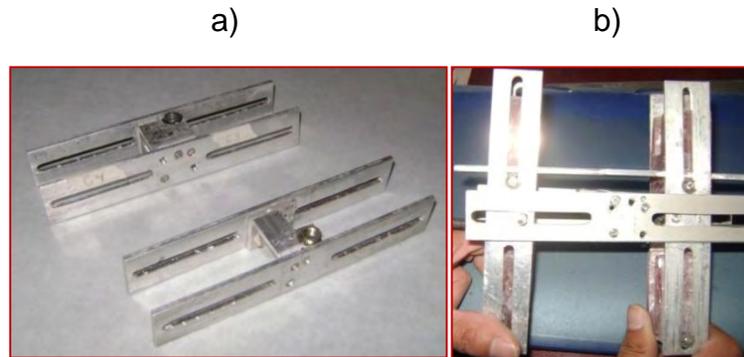
Fuente: propia de este trabajo.

- **Construcción de las estructuras de desplazamiento horizontal.**

De igual forma, se utilizó platina en aluminio de 2.5 Cm y 3 mm de grosor. Se seccionaron las platinas según las dimensiones de diseño, 15 Cm de longitud. Las platinas se unen por su parte central paralelamente a una distancia de 2.8 Cm.

En las uniones, se ubicaron las tuercas de rosca izquierda y derecha que se desplazan sobre el tornillo fijo, haciendo trasladar la estructura linealmente a lo largo del soporte central. Las estructuras de desplazamiento horizontal terminadas y su disposición sobre el soporte central, se pueden observar en la figura 56.

Figura 56. a) Estructuras de desplazamiento horizontal. b) Montaje de la estructura de horizontal sobre el soporte central.

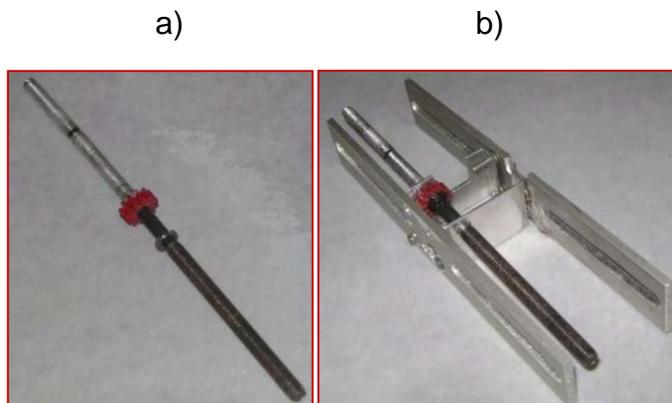


Fuente: propia de este trabajo.

- **Transmisión de movimiento horizontal.**

En el diseño del molde, para la transmisión de movimiento rotacional del actuador, en movimiento lineal horizontal tanto a la derecha como a la izquierda, se eligió el tornillo fijo de rosca izquierda y derecha. Las roscas fijas en las estructuras de desplazamiento horizontal, son las que se desplazan linealmente sobre él. Este tornillo se ubicó como eje del piñón, que engrana con el tornillo sinfín del actuador. En la figura 57, se observa la ubicación del tornillo de transmisión de movimiento como eje del piñón y su montaje sobre el soporte central del molde de bobina.

Figura 57. a) Transmisión de movimiento lineal horizontal. b) Montaje de la transmisión sobre el soporte central.

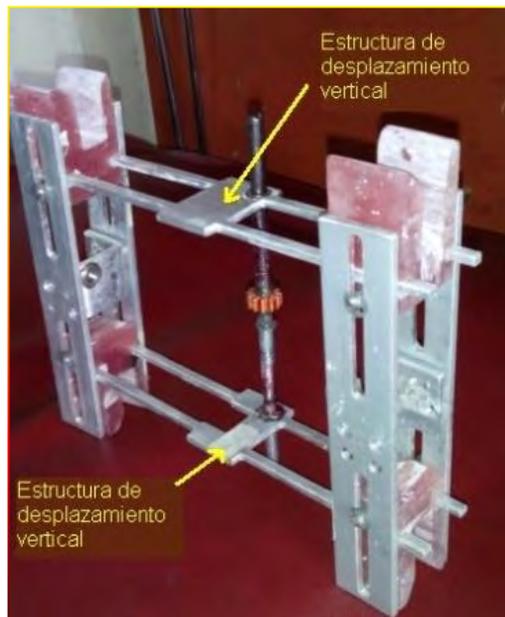


Fuente: propia de este trabajo.

- **Construcción de las estructuras de desplazamiento vertical.**

Igualmente, se parte de platina en aluminio. Se seccionó la estructura con las dimensiones de diseño, 18 x 3.7 Cm. Esta estructura, se desplaza linealmente a lo largo de la estructura de desplazamiento horizontal, por medio del tornillo fijo de transmisión de movimiento vertical y la tuerca o rosca que se ubica la parte central de la estructura. En la figura 58, se puede observar la forma de (H) de la estructura.

Figura 58. Estructura de desplazamiento vertical.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Transmisión de movimiento vertical.**

De la misma manera, que la transmisión de movimiento horizontal, para la transmisión de movimiento vertical se utilizó un tornillo fijo de rosca izquierda y derecha como elemento estático, y la tuerca como elemento móvil, generando así el desplazamiento lineal vertical a lo largo de la estructura de desplazamiento horizontal. El tornillo traspasa el eje central de rotación de la máquina bobinadora, que sirve a su vez de asiento. En la figura 59, se observa la transmisión de movimiento vertical, en unión de las estructuras de desplazamiento vertical.

Figura 59. Transmisión de movimiento y estructura de desplazamiento vertical.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Construcción de los bordes del molde de bobina.**

Los bordes de los moldes cumplen la función de dar las dimensiones de las bobinas, junto con las estructuras de desplazamiento, tanto horizontal como vertical, como también servir de guía para las bobinas. Los bordes del molde, son la única parte que entra en contacto con el alambre de la bobina, por lo tanto, el material que se utilizó fue la resina de poliéster. Se fabricaron en moldes con las dimensiones de diseño, en la figura 60, se observa los bordes en su fabricación inicial.

Figura 60. Bordes de moldes de bobina preliminares.

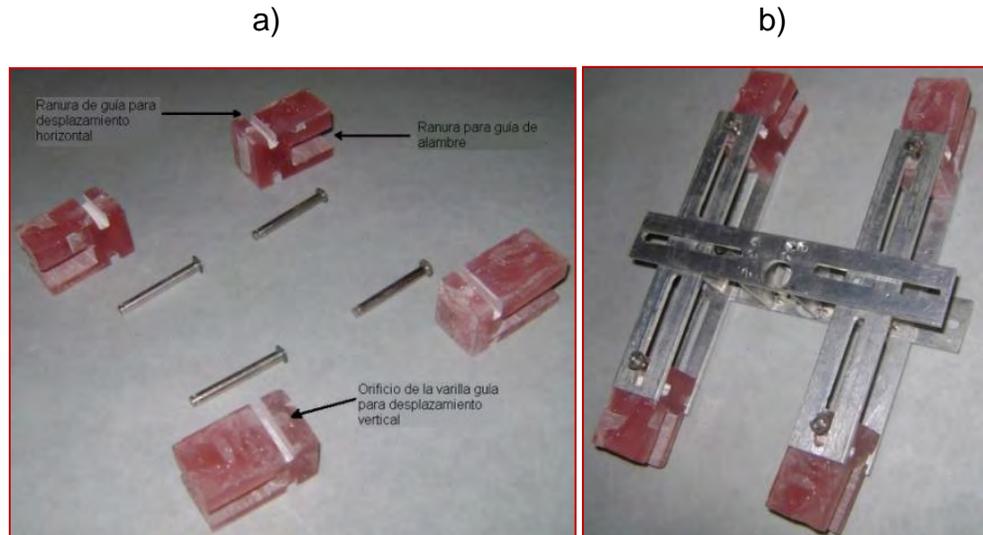


Fuente: propia de este trabajo.

Se realizaron sobre los bordes, ranuras y orificios que sirven para el alambre de la bobina y la varilla guía, para su respectivo desplazamiento sobre las estructuras, tanto horizontal como vertical.

En la figura 61, se observan los bordes terminados con sus respectivos orificios y ranuras, junto con su ubicación en la estructura de desplazamiento horizontal.

Figura 61. a) Bordes de moldes terminados. b) Ubicación sobre la estructura horizontal.



Fuente: propia de este trabajo.

Los bordes de bobina, junto con la estructura de desplazamiento tanto vertical como horizontal tiene una distancia de:

- Mínimo horizontal 9 Cm y se desplaza a una distancia de 15.5 Cm.
- Mínimo vertical 7 Cm y se desplaza a una distancia de 15.5 Cm.

Las bobinas realizadas por los moldes de bobina fabricados, pueden variar entre estas distancias. Se debe tener en cuenta que las distancias mínima y máxima de una bobina a fabricar no puede superar las distancias anteriormente establecidas.

Para finalizar, en la figura 62, se presenta un molde de bobina totalmente terminado junto con, actuadores, sistemas de transmisión de movimiento, estructuras y bordes del molde, como también la máquina bobinadora automática.

Figura 62. a) Molde de bobina completo. b) Máquina bobinadora completa.

a)



b)



Fuente: propia de este trabajo.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 EFICIENCIA DE UN MOTOR REPARADO POR MÉTODOS ARTESANALES

#### 5.1.1 Reparación de un motor eléctrico de 2.4 HP.

Debido a que el procedimiento de reparación de un motor trifásico ya se encuentra documentado en el marco teórico, se realizó un resumen del proceso.

- **Aislamiento del estator.**

Como se había mencionado anteriormente, este material mantiene las bobinas estáticas aisladas del estator. El aislamiento del estator se presenta en la figura 63.

Figura 63. Aislamiento del estator.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Introducción de las bobinas en el estator.**

En este paso, se tuvo en cuenta la disposición de las bobinas en el estator y el paso de las bobinas, según diagramas esquemáticos propios de la industria eléctrica. La ubicación de las bobinas se observa en la figura 64.

Figura 64. Introducción de las bobinas en el estator.

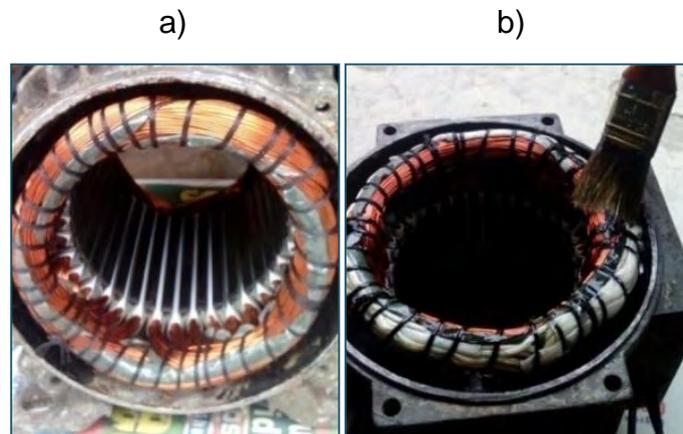


Fuente: propia de este trabajo.

- **Amarre de las bobinas estáticas y barnizado.**

Estos dos procedimientos proporcionan mayor rigidez mecánica a las bobinas estáticas brindando mayor durabilidad al motor reparado. En la figura 65, se observan los dos procedimientos realizados en las bobinas.

Figura 65. a) Amarre de las bobinas. b) Barnizado.



Fuente: propia de este trabajo.

- **Eficiencia del motor reparado.**

Una manera sencilla de obtener la eficiencia aproximada de un motor eléctrico, es mediante los parámetros eléctricos propios del motor, como son: potencia de salida nominal, voltajes de línea, corriente de línea y factor de potencia. Estos parámetros se los encuentra en la placa de características del motor.

Para este motor en particular, sus parámetros eléctricos son:

- Potencia de salida: 2.4 Hp
- Revoluciones por minuto: 3600 Rpm
- Voltaje de línea: 220/440 V
- Corriente de línea: 7.8/3.9 A
- Frecuencia de red: 60 Hz
- Tipo de conexión: YY
- Factor de potencia: 0.82

Con los parámetros anteriores se toma como referencia la fórmula (4), de eficiencia en un motor eléctrico, vista en el capítulo 2.

$$n = \frac{P_m}{P_e} \times 100\%$$

Dónde:  $n$  = Eficiencia [%]

$P_m$  = Potencia mecánica [KW]

$P_e$  = Potencia eléctrica [KW]

Para completar los parámetros se necesita calcular la potencia de entrada. Para un sistema trifásico, la potencia de entrada se expresa según la fórmula 11:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} I_L V_L F_p \quad (11)$$

Dónde:  $P_{3\phi}$  = Potencia de entrada [W]

$I_L$  = Corriente de línea [Amp]

$V_L$  = Voltaje de línea [V]

$F_p$  = Factor de potencia

Estos parámetros son conocidos, pero se necesita el parámetro de corriente de línea real del motor reparado.

Este parámetro se lo obtuvo del motor en funcionamiento en vacío, es decir, sin carga mecánica, como se observa en la figura 66.

Figura 66. Corriente de línea del motor reparado.



Fuente: propia de este trabajo.

La corriente de línea observada en la figura 66, es de 2.5 Amp. Con los parámetros en su totalidad, se realizó el cálculo de la eficiencia del motor reparado.

### **Potencia de salida o potencia mecánica ( $P_m$ ).**

Primero, se calculó de la potencia de salida. Debido a que esta potencia se encuentra en unidades de caballos de fuerza (HP), se realizó la conversión de HP a Watts. Para esto se tiene en cuenta la siguiente equivalencia:

1 HP es equivalente a 746 W

Entonces: 2.4 HP equivale a 1790 W;

La potencia mecánica del motor es:  $P_m = 1790$  W

### **Potencia de entrada o potencia eléctrica ( $P_e$ ).**

Se realizó el cálculo de la potencia de salida, según la fórmula (11).

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} I_L V_L F_p$$

Se debe tener en cuenta, que la corriente de línea de la fórmula, es aproximadamente 3 veces más, de la obtenida del motor reparado en funcionamiento, ya que, esta corriente se obtuvo con el funcionamiento del motor sin carga mecánica, con un motor de 3600 Rpm (2 polos). En la tabla 3 se observa la corriente en vacío como porcentaje de la corriente a plena carga.

Entonces:  $I_L = 2.5 \text{ Amp} \times 3$

$I_L = 7.5 \text{ Amp}$

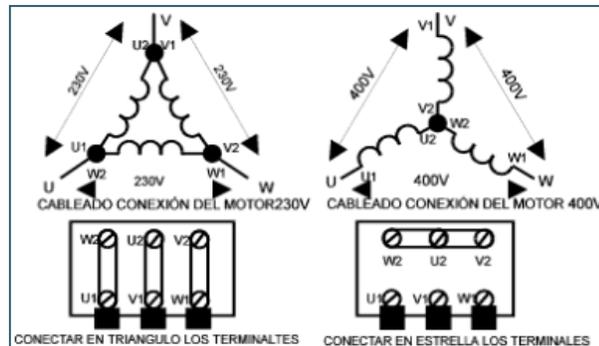
**Tabla 3.** Corriente de vacío como % de la corriente de carga plena.

Cantidad de Polos	Corriente Vacío como % de la corriente plena carga
2	25-33%
4	33-40%
6	50-60%
8	70-80%
10	80-100%
12 ó más	100-110%

Fuente: Tomado de [23]

El voltaje de línea (VL) requerido, depende de la conexión del motor, si está conectado en estrella o en delta, que son las dos conexiones elementales de un sistema trifásico. Los voltajes y conexiones se observan en la figura 67.

Figura 67. Voltajes y conexiones en delta ( $\Delta$ ) y estrella (Y).



Fuente: Tomado de [24]

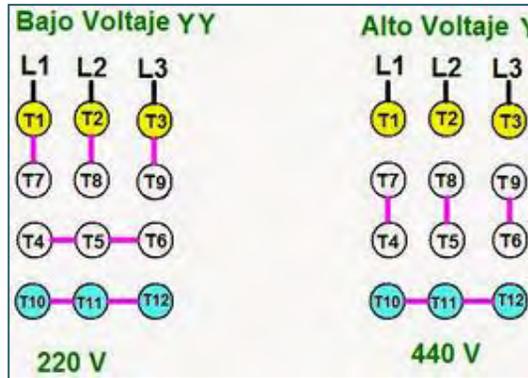
El voltaje de línea para la conexión estrella (Y) es 400 V y para la conexión delta ( $\Delta$ ) es de 230. Debido a que la conexión del motor reparado es doble estrella (YY), el voltaje de línea del motor es de:  $V_L = 220 \text{ V}$ .

<sup>23</sup>NUÑES, Oscar. Motortico. Consumo de corriente en vacío para motores trifásicos de corriente alterna. [en línea]. <<http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2009%20MAR%20-%20Corriente%20en%20Vacío%20motores%20AC%203%20fases.pdf>> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

<sup>24</sup>LOBO. Conexión de un motor en estrella o triángulo. [en línea]. <<http://manitas-bricolaje.foroactivo.com/t53-conexion-de-un-motor-en-estrella-o-triangulo>> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

En la figura 68, Se observa el voltaje en conexión doble estrella (YY)

Figura 68. Voltaje de línea en conexión doble estrella (YY).



Fuente: Tomado de [25]

Con los parámetros completos, se realizaron los cálculos de la potencia de entrada según la fórmula (11).

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} I_L V_L F_p$$

Siendo:

$$I_L = 7.5 \text{ Amp}$$

$$V_L = 220 \text{ V}$$

$$F_p = 0.82$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} (7.5)(220)(0.82)$$

$$P_{3\phi} = 2343 \text{ W}$$

Sustituyendo,  $P_m$  y  $P_{3\phi}$  de la fórmula (4) de eficiencia en un motor, se obtiene:

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1790 \text{ W}}{2343 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 76\%$$

Esto quiere decir, que el motor reparado transforma el 76% de la energía eléctrica en mecánica, perdiendo el 24% en el proceso.

<sup>25</sup>COPAROMAN. Motores eléctricos trifásicos de 12 terminales. [en línea].

<<http://coparoman.blogspot.com.co/2014/09/motores-electricos-trifasicos-de-9-y-12.html>> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

## 5.2 EFICIENCIA DEL MOTOR REPARADO POR MÉTODOS AUTOMATIZADOS

En este apartado se presenta la eficiencia del motor reparado con la máquina bobinadora automática.

Aunque la construcción de la máquina se realizó, el software del control electrónico funcionó en el simulador Proteus, se diseñó y construyó el sistema de control electrónico y electromecánico, se realizaron 3 sistemas de moldes automáticos de bobina y se integraron todos los sistemas en uno solo (máquina bobinadora automática), como se observa en la figura 69. La máquina presenta algunos problemas de diseño mecánico, como también en algunos sensores infrarrojos reflectivos CNY 70, en el sistema de traslación del alambre. Problemas que, por cuestiones de tiempo no se pudieron solucionar.

Figura 69. Máquina bobinadora automática.



Fuente: propia de este trabajo.

No obstante, se presenta una eventual situación, en que la máquina bobinadora automática modifica la corriente de línea (IL) del motor reparado, mejorando en un pequeño porcentaje la eficiencia del motor, como también un ejercicio de la potencia ahorrada al trabajar con un motor de mayor eficiencia.

Este cambio del parámetro (IL) se puede dar, al modificar la resistencia del alambre, ya que la resistencia del alambre de cobre varía con la longitud, como se observa en la fórmula (5) del capítulo 4.

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Dónde:  $R =$  Resistencia eléctrica [ $\Omega$ ]  
 $\rho =$  Resistividad eléctrica [ $\Omega\text{mm}^2/\text{mts}$ ]  
 $L =$  Longitud del alambre [mts]  
 $A =$  Sección transversal [ $\text{mm}^2$ ]

Esto puede ocurrir, en el momento que el operario, toma una medida exagerada del molde de bobina, generando un diámetro mucho mayor del real. Como también, por error en la cuenta del número de espiras en las bobinas.

Entonces:

$\eta_1 =$  Eficiencia del motor reparado con bobinas realizadas artesanalmente

$\eta_2 =$  Eficiencia del motor reparado con bobinas realizadas con la máquina bobinadora automática

Para el ejemplo,  $\eta_2 = 80\%$

$\eta_1 =$  La misma eficiencia del motor reparado 76%

Para conocer la potencia ahorrada entre las dos eficiencias se aplicó la fórmula 12.

$$P_A[\text{KW}] = 0.746 * \text{HP} \left[ \left( \frac{100}{E_1} \right) - \left( \frac{100}{E_2} \right) \right] \quad (12)$$

Dónde:  $P_A[\text{KW}] =$  Potencia ahorrada en [KW]  
 $\text{HP} =$  Caballos de fuerza del motor  
 $0.746 =$  Conversión de HP a KW  
 $E_1 =$  Eficiencia del motor de rendimiento menor  
 $E_2 =$  Eficiencia del motor de rendimiento mayor

Reemplazando:  $P_A[\text{KW}] = 0.746 * 2.4\text{HP} \left[ \left( \frac{100}{76\%} \right) - \left( \frac{100}{80\%} \right) \right]$   
 $P_A[\text{KW}] = 1.7904 \text{ KW} [(1.3158) - (1.25)]$   
 $P_A[\text{KW}] = 1.7904 \text{ KW} [0.0658]$   
 $P_A[\text{KW}] = 0.1178 \text{ KW}$

La potencia ahorrada ( $P_A$ ) al utilizar un motor de mayor eficiencia (80%), es de 0.1178 KW

Para el ejemplo, si el motor funciona 8 horas al día la energía ahorrada por día sería de 0.94 KWh/día

En un año, la energía ahorrada sería de 343 KWh/año

Para el tiempo de un año, la diferencia entre el motor de mayor eficiencia y la del motor de menor eficiencia ya es representativa, con un solo motor.

¿Si la microempresa tuviera 4 motores?

La energía ahorrada en 4 motores de mayor eficiencia sería de 1376 KWh/año

Ahora bien, expresando la anterior cifra en costo económico, se tiene que:

1 KWh cuesta \$ 541.8

El costo de la energía eléctrica ( $CE_E$ ) sería de:

$$CE_E = (1376 \text{ KWh}) \times (\$541.8)$$

$$CE_E = \$745.462$$

La microempresa tiene un ahorro de \$745.462, anuales, si utiliza los motores de mayor eficiencia (80%).

Lo anterior, en ahorro tanto económico como energético para una pequeña industria.

¿Hay que imaginar, todas las medianas y grandes industrias existentes en Colombia, con horarios más extensos de trabajo y decenas de motores?

### **5.3 EVALUACIÓN DE LA MÁQUINA BOBINADORA CONSTRUIDA FRENTE A UNA MÁQUINA BOBINADORA COMERCIAL**

Una de las contribuciones del proyecto, es la de fomentar el interés de pequeñas y medianas industrias por la automatización industrial, por medio de la disminución de los costos de la automatización, mediante materiales de fácil adquisición en el mercado regional, disminución en costos de repuestos, mano de obra, y mantenimiento preventivo.

La evaluación presentada a continuación, se refiere principalmente, a una evaluación de carácter técnico-económico de la automatización realizada en el proyecto, frente a una máquina bobinadora comercial.

### 5.3.1 Características de la máquina bobinadora construida en el proyecto.

En primer lugar, en la tabla 4, se presenta la relación de los materiales utilizados, en la construcción del sistema de control electrónico y electromecánico de la máquina automática, con su precio de compra. Se puede apreciar que el costo más significativo lo asumen los actuadores.

**Tabla 4.** Relación de costos de materiales del control electrónico y sistema electromecánico.

MATERIALES ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS			
Ítem	Cantidad	Precio Unidad	Total
Pic 16f877a	2	15000	30000
Cristal 4Mhz	2	700	1400
Im 293B	2	6000	12000
Teclado 4x4	1	12000	12000
Display 2x16	1	15000	15000
Sensor CNY70	7	1500	10500
Motor 12V/60Rpm	2	32000	64000
piñón	6	500	3000
Piñón Sinfín	6	1000	6000
Micro motor 5V/120Rpm	6	25000	150000
Varios			30000
Total			\$333.900

Fuente: propia de este trabajo.

A continuación, en la tabla 5, se presenta la relación de costos de los materiales de construcción de la estructura, tanto de la máquina como de los moldes de bobina y materiales varios.

**Tabla 5.** Relación de costos de los materiales estructurales de la máquina.

MATERIALES ESTRUCTURALES DE LA MÁQUINA			
Ítem	Cantidad	Precio Unidad	Total
Lamina hierro 1mm	2	10000	20000
Tubo de acero 1/2"	1 Mt	15000	15000
varilla de acero 3/16"	2 Mts	7000	14000
Platina de aluminio 3.7 cm y 3mm	3 Mts	5000	15000
balineras 32 x 10mm	2	4000	8000
varilla roscada	1 Mt	2000	2000
Polea 1.5 cm	1	6000	6000
Polea 2 Cm	1	6000	6000
Platina de aluminio 2.5 Cm y 3mm	3 Mts	4000	12000
Tornillos rosca izquierda	12	1000	12000
Tornillos rosca derecha	6	1000	6000
Tuercas rosca izquierda	6	1500	9000
Resina y catalizador	1	15000	15000
Varios			30000
Total			\$170.000

Fuente: propia de este trabajo.

De la relación de costos anterior, se observa que la construcción de la máquina, presenta un costo total aproximado de \$503.900, en materiales. Que es la suma del costo de los materiales estructurales, electrónicos y eléctricos.

### **5.3.2 Características de la máquina bobinadora comercial.**

Teniendo en cuenta, que la documentación, de la máquina bobinadora automática comercial es escasa, además, los costos de máquinas bobinadoras automáticas encontradas, son demasiado elevados y las características de funcionamiento no son muy claras en su contenido. La automatización realizada en el proyecto se evaluó, frente a una máquina manual convencional. En la figura 70, se observa la bobinadora manual evaluada.

Figura 70. Bobinadora Manual Comercial.



Fuente: Tomado de [26]

A continuación, se muestran algunas de las características técnicas de la máquina bobinadora evaluada.

Es una bobinadora manual de motores eléctricos monofásicos y trifásicos, con molde piramidal para bobinas escalonadas de 7 pasos, con posibilidad de adaptar un cuenta vueltas eléctrico o mecánico, un peso aproximado de 10 Kilos y una altura de 60 Cm. El precio de venta es de \$4650 pesos argentinos, con un costo en pesos Colombianos de \$904.669.

En la tabla 6, se observa la evaluación de las características técnicas más representativas de las dos máquinas bobinadoras.

---

<sup>26</sup>[en línea]. <[http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-631505759-bobinadora-manual-de-motores-electricos-monofasicotrifasico-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-631505759-bobinadora-manual-de-motores-electricos-monofasicotrifasico-_JM)> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

**Tabla 6.** Bobinadora Manual comercial Vs Bobinadora automática.

EVALUACIÓN DE LA MÁQUINA BOBINADORA AUTOMÁTICA VS MÁQUINA BOBINADORA MANUAL COMERCIAL		
Características	Bobinadora Manual	Bobinadora Automática
Bobinadora autónoma y programable	No	Si
Moldes de bobina tamaño variable	Si	Si
Moldes de bobina auto variables	No	Si
Bobinas de motores que realiza	Monofásicos- Trifásicos	Trifásicos
Número de moldes de bobina	7	3
Precio	\$ 904.669	\$ 503.900

Fuente: propia de este proyecto.

Del razonamiento anterior, se observa, que el costo de la máquina bobinadora automática del proyecto (\$503.900), es mucho menor que el costo de la bobinadora manual (\$904.669).

#### **5.4 ANÁLISIS**

En la automatización de los moldes de bobina, se pudo obtener un rango de medidas considerable, para la construcción de las bobinas. Medidas que pueden variar desde los 9 Cm hasta 15 Cm aproximadamente, tanto horizontal (paso de bobina) como vertical (distancia entre cabezas de bobina). Permitiendo construir bobinas para diferentes potencias de motores.

La consecución de los materiales electrónicos, no tuvo ningún problema. La dificultad se produjo en los elementos mecánicos, como piñones, tornillos sinfín, tornillos de rosca izquierda y elementos varios (chavetas, tornillos pequeños, etc.), elementos que no son muy comerciales. Por consiguiente se trabajó con material inadecuado, lo que ocasionó retrasos en el desarrollo del proyecto.

Es importante destacar, que la máquina bobinadora automática construida, se encuentra en disponibilidad de recibir actualizaciones o repotenciaciones, por medio de fáciles y económicos cambios en el software y hardware, ampliando sus características técnicas.

Mediante el análisis de las normas nacionales e internacionales investigadas, se demuestra la importancia de la eficiencia en motores eléctricos nuevos y reparados. Normas que se deberán tener en cuenta y adoptar un pensamiento global del consumo racional y eficiente de energía eléctrica.

La automatización del proceso de construcción de bobinas mostrado en el proyecto, minimiza la intervención del factor error humano, manteniendo la eficiencia de los motores reparados, durante el proceso de rebobinado del estator. Contribuyendo tanto al uso racional de la energía eléctrica, como la disminución del costo energético.

Por último, en la evaluación tanto económica como técnica de la máquina automática sobre la máquina manual comercial. Cabe destacar la ventaja económica de la máquina automática construida frente a la máquina manual comercial, que sin importar la automatización de la máquina, el resultado económico es menor. Además sobre las características técnicas, se presentan más ventajas que desventajas, de la máquina bobinadora construida frente a la máquina bobinadora comercial evaluada.

## 6. CONCLUSIONES

Los rangos de medida obtenidos para las bobinas estáticas, con la automatización de los moldes, permiten realizar bobinas para motores de diferentes potencias, como los propuestos en el proyecto de 1 HP hasta 10 HP.

Mediante repotenciones, se puede ampliar las características técnicas de la máquina bobinadora automática y diversificar su trabajo, como por ejemplo: fabricación de bobinas para motores de mayores potencias, fabricación de bobinas concéntricas, fabricación de bobinas para motores monofásicos, entre otros. Aumentando su rango de acción, obtenemos una máquina variante en el tiempo, para el desarrollo de trabajos futuros.

Automatizaciones de bajo costo para pequeñas y medianas empresas, se pueden realizar, como se demostró con la automatización de la máquina bobinadora en el desarrollo del proyecto. Fomentando así la automatización industrial en este sector. Además, automatizando procesos artesanales ineficientes en procesos automáticos eficientes, se colabora de este modo al uso racional de la energía eléctrica.

En el desarrollo del proyecto, se demostró teóricamente, que al tener mejoras en las técnicas de reparación de los motores eléctricos, se puede disminuir la pérdida de la eficiencia, que generalmente sucede en la reparación de un motor averiado. Además se demostró que, con un pequeño aumento en la eficiencia, de un motor en una industria, se puede lograr un gran ahorro tanto energético como económico. Un gran aporte para el medio ambiente.

Pensando en la economía energética demostrada en el proyecto, se puede concluir que para pequeñas y medianas empresas, en un futuro, es posible pensar en el cambio de motores de menor eficiencia, con motores de alta eficiencia, pensando en la rentabilidad económica a futuro, como también en cumplir las normas que entrarán en vigencia.

Para finalizar, deberá ser un compromiso de todos el tener un pensamiento de uso racional y eficiente de energía eléctrica.

## 7. RECOMENDACIONES

Si la situación económica de la empresa lo permite, reemplazar los motores antiguos de baja eficiencia por motores nuevos de alta eficiencia.

Aumentar las revoluciones por minuto de los actuadores, tanto de los moldes automáticos como del sistema de traslación de alambre. En el desarrollo del proyecto se observó, que el desplazamiento lineal de estos sistemas es lento y que se podría aumentar su velocidad.

En lo que respecta a la potencia del motor del eje central, se recomienda aumentarla, debido a que este motor ejerce la fuerza sobre el eje central, los moldes de bobina y la tensión del alambre, en la fabricación de las bobinas.

Se aconseja reemplazar el material de la configuración piñón--sinfín, de la transmisión de movimiento de los moldes automáticos, por otro material de mayor resistencia, ya que el material utilizado no posee la resistencia apropiada para este trabajo.

Se recomienda investigar, otro tipo de sensor para el sistema de traslación de alambre, ya que los sensores óptico infrarrojos tuvieron problemas, causando inestabilidad en el sistema.

Para una automatización más completa, se sugiere diseñar un sistema giratorio de contactos, que efectúen la transmisión de la señal eléctrica a los actuadores de los moldes de bobina, sin necesidad de conectar y desconectar su alimentación eléctrica.

Para el desarrollo del proyecto, se realizaron tres moldes, suficientes para algunas configuraciones de número de polos y número de ranuras del motor. Para futuras repotenciaciones de la máquina, sería necesario el aumento del número de moldes de bobina, esto se debe a que variaciones del número de polos y ranuras darían como resultado el aumento del número de bobinas del motor.

## BIBLIOGRAFÍA

CEJAROSU. Mecanismos: sinfín-piñón. [en línea].  
<[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope\\_ruedentada.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_ruedentada.htm)> [Citado el 26 de Septiembre de 2016]

COPAROMAN. Motores eléctricos trifásicos de 12 terminales. [en línea].  
<<http://coparoman.blogspot.com.co/2014/09/motores-electricos-trifasicos-de-9-y-12.html>> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

CURADO ESCOZ, José Antonio. Cálculo de Bobinado de Motores de Corriente Alterna. DocSlide. 2015.[en línea]<<http://documents.tips/documents/calculo-de-bobinado-de-motores-de-corriente-alterna.html>>[Citado el 20 de Noviembre de 2016]

DE LA MORENA CANCELA, Javier. Eficiencia Energética en motores Eléctricos Normativa IEC 60034-30. II Congreso de Eficiencia Energética Eléctrica. Madrid. 2012.[en línea]<<http://www.fenercom.com/pdf/formacion/e3plus2012/15-eficiencia-energetica-en-motores-electricos.pdf>>[Citado el 15 de Enero de 2016]

DYNAMO ELECTRONICS. Micromotor. [en línea].  
<[http://www.dynamoelectronics.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=dynamo.tpl&product\\_id=215&category\\_id=99&option=com\\_virtuemart&Itemid=58](http://www.dynamoelectronics.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=dynamo.tpl&product_id=215&category_id=99&option=com_virtuemart&Itemid=58)> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

EDITEX. Materiales y herramientas del bobinador (Máquinas Eléctricas). 2012.[en línea]<<http://saa83c2ac0ffd857a.jimcontent.com/download/version/1460264610/module/6719438270/name/LIBRO%20DE%20BOBINADOS.pdf>>[Citado el 5 de Octubre de 2015]

GUARDIOLA DE CABO, Luis Antonio. Análisis de la Norma 60034-2-1. Aplicación en la Determinación de las Pérdidas y el Rendimiento de Motores de Inducción trifásicos. Universidad Politécnica de Cataluña.[en línea]  
<<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5455/resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>[Citado el 17 de Febrero de 2016]

I.E.S. ARROYO HONDO. Bobinados de máquinas de corriente continua: bobinas. [en línea]. <<http://endrino.pntic.mec.es/rpel0016/Bobinados.htm>> [Citado el 4 de Septiembre de 2016]

LOBO. Conexión de un motor en estrella o triangulo. [en línea]. <<http://manitas-bricolaje.foroactivo.com/t53-conexion-de-un-motor-en-estrella-o-triangulo>> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

MARYI. Tabla de conductores. [en línea]. <<http://maryitelecomunicaciones2009.blogspot.com.co/2009/08/tabla-de-conductores.html>>[Citado el 7 de Septiembre de 2016]

MOTORES ELÉCTRICOS. Unidad 11.[en línea] <<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>>[Citado el 28 de Septiembre de 2015]

MURILLO HURTADO, Jorge Enrique. SERNA GRISALES, Alejandro, Manual para el Rebobinado de Motores Eléctricos de Inducción. Universidad Tecnológica de Pereira. 2010. [en línea] <<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2074/1/62146M977.pdf>> [Citado el 13 de Diciembre de 2015]

NTC. Norma Técnica Colombiana. NTC 2805.Máquinas Eléctricas Rotatorias, Especificaciones Nominales y Características de Funcionamiento. 2011.[en línea] <<https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC2805.pdf>>[Citado el 7 de Febrero de 2016]

NUÑES, Oscar. Motortico. Consumo de corriente en vacio para motores trifásicos de corriente alterna. [en línea] <<http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2009%20MAR%20-%20Corriente%20en%20Vacio%20motores%20AC%203%20fases.pdf>>[Citado el 25 de Septiembre de 2016]

PALMER, Claude. BIBB, Samuel. JARVIS, John. MRACHEK, Leonard. MATEMÁTICAS PRACTICAS: Aritmética, Álgebra, Geometría, Trigonometría y Regla de Cálculo. Segunda Edición. Reveté S.A. 2003. pp. 336.[en línea] <<https://books.google.com.co/books?id=svzuB4pZKjkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>>[Citado el 2 de Septiembre de 2016]

PULIDO, A. (19 de marzo de 2009). El tornillo sinfín y la rueda dentada. [Mensaje en un blog]. Aprendemos Tecnología. [en línea] <<https://aprendemostecnologia.org/2009/03/19/el-tornillo-sinfin-y-la-rueda-dentada/>>[Citado el 5 de Septiembre de 2016]

\_\_\_\_\_ Sistemas simples de poleas con correa. [Mensaje en un blog].  
Aprendemos Tecnología. [en línea]

<<https://aprendemostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/>>[Citado el 5 de Septiembre de 2016]

QUIJANO HERNÁNDEZ, Manuel de Jesús. RIVAS NIÑO, Nelson Alberto. Evaluación del Impacto Sobre el Parámetro Eficiencia Eléctrica en Motores Eléctricos Rebobinados de Bajo Voltaje. Universidad de el Salvador. 2009.[en línea]<<http://ri.ues.edu.sv/3821/1/%E2%80%9CEvaluaci%C3%B3n%20del%20impacto%20sobre%20el%20par%C3%A1metro%20eficiencia%20el%C3%A9ctrica%20en%20motores%20el%C3%A9ctricos%20rebobinados.pdf>>[Citado el 10 de Febrero de 2016]

REBOBINADO DE MOTORES. [en línea].  
<<http://intecap-rebobinadodemotores.blogspot.com.co/2014/05/rebobinado-de-motores-esta-es-una.html>>[Citado el 4 de Septiembre de 2016]

RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Motores y Generadores Eléctricos. 2013. pp. 125-127.[en línea]  
<<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>>[Citado el 14 de Febrero de 2016]

UTN, Universidad Tecnológica Nacional. Máquinas e instalaciones eléctricas. Unidad 3. [en línea].  
<[http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES\\_MAQUINAS\\_ELECTRICAS-\\_U\\_3\\_v1.1.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS-_U_3_v1.1.pdf)>[Citado el 3 de Septiembre de 2016]

VAELLO José. Corriente continua, alterna y trifásica. [en línea].  
<<https://automatismoindustrial.com/0-1-14-corriente-continua-alterna-y-trifasica/>>  
[Citado el 4 de Septiembre de 2016]

VERTIGO. 2040. Motor Eléctrico – Tipos y Fundamentos. febrero de 2012.[en línea]<<https://vertigo2040.wordpress.com/2012/02/28/motor-electrico-tipos-y-fundamentos/>>[Citado el 20 de Noviembre de 2016]

WEG. Motores Eléctricos – Guía de Especificación. septiembre de 2014.[en línea]<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>>[Citado el 4 de Diciembre de 2016]

[en línea]. <<https://www.taringa.net/post/noticias/18526636/Soy-bobinador-y-te-muestro-un-bobinado-paso-a-paso.html>> [Citado el 4 de Septiembre de 2016]

[en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=tpKAjpY6f8c>> [Citado el 10 de Septiembre de 2016]

[en línea]. <[http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-631505759-bobinadora-manual-de-motores-electricos-monofasicotrifasico-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-631505759-bobinadora-manual-de-motores-electricos-monofasicotrifasico-_JM)> [Citado el 25 de Septiembre de 2016]

# **ANEXOS**

## ANEXO 2. Software Pic N° 1.

```
////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDAD DE NARIÑO
//      FACULTAD DE INGENIERÍA
//      INGENIERÍA ELECTRÓNICA
//      SAN JUAN DE PASTO
//      2016
//
//EGRESADO: CARLOS ENRIQUE CORTES PORTILLA
////////////////////////////////////
#include <16f877a.h>
#fuses NOWDT,XT,PUT,PROTECT,BROWNOUT,NOLVP,CPD,NODEBUG,NOWRT
#use delay (clock=4000000)
#use standard_io(C)
#use standard_io(B)
#use standard_io(A)
#use standard_io(D)
#use standard_io(E)
#include <LCDC.c>
#include <KBD4x4.c>
#include <stdlib.h>
#define use_portc_lcd TRUE
//#define use_portd_KBD TRUE
//#define use_portd_kbd TRUE

////////////////////////////////////

#define LCD_ENABLE_PIN PIN_C0      ////
#define LCD_RS_PIN     PIN_C1      ////
#define LCD_RW_PIN     PIN_C2      ////
#define LCD_DATA4      PIN_C4      ////
#define LCD_DATA5      PIN_C5      ////
#define LCD_DATA6      PIN_C6      ////
#define LCD_DATA7      PIN_C7

char cadena_1[16];
char cadena_2[16];
char cadena_3[16];
char cadena_4[16];
char cadena_5[16];
char cadena_6[16];
int No_Ranuras;
long int rpm_motor;
int No_fases;
int No_polos;
//int una_capa;
int No_capas;
```

```

int No_grupos;
int No_bobinas;
long int No_espiras_M;
int paso_bobina;
int Dia_estator;
int Long_estator;
float Long_arco;
int sum;

```

```

////////////////////////////////////

```

```

void saludo(){
    delay_ms(100);
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"Ingresar");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"Parámetros");
    delay_ms(1000);
    printf(lcd_putc,"\f");
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

void numero_ranuras(){

char c;
int total,i;
int a = 0;
int n = 1;
ciclo:
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"No. de Ranuras?");

while(true){

    c=kbd_getc();

    if(c!=0){

        total = c-48;
        if((total>=0)&&(total<=9)){
delay_ms(100);
            cadena_1[a]=c;
            No_Ranuras = atol(cadena_1);
            lcd_gotoxy(n,2);
            printf(lcd_putc,"%d",total);
            a++;
            n++;
        }
    }
}

```

```

        if(c==42){
            for(i=0;i<=a;i++){
                cadena_1[i]=0;
            }
            printf(lcd_putc,"\f");
            lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"No. de Ranuras?");
n=1;
            a=0;
        }
        if(c==35){
            if(a==0){
                printf(lcd_putc,"\f");
                printf(lcd_putc,"NO DATA");
                delay_ms(1500);
                goto ciclo;
            }
            printf(lcd_putc,"\f");
            break;
        }
    }
}
printf(lcd_putc,"\f");
// if(No_Ranuras == 24||No_Ranuras == 36||No_Ranuras == 48){
    if(No_Ranuras == 24||No_Ranuras == 36){
printf(lcd_putc,"Parámetro");
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc,"ACEPTADO");
delay_ms(1000);
        printf(lcd_putc,"\f");
        return;
    }
// if(No_Ranuras != 24||No_Ranuras != 36||No_Ranuras != 48){
    if(No_Ranuras != 24||No_Ranuras != 36){
        printf(lcd_putc,"\f");
        printf(lcd_putc,"Parámetro");
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(1500);
        printf(lcd_putc,"\f");
        for(i=0;i<=a;i++){
            cadena_1[i]=0;
        }
        n=1;
        a=0;
        goto ciclo;
    }
}

```

```
////////////////////////////////////
```

```
void revoluciones_motor(){  
  
char c;  
int total,i;  
int a = 0;  
int n = 1;  
  
ciclo1:  
    lcd_gotoxy(1,1);  
    printf(lcd_putc,"Rpm del motor?");  
  
while(true){  
  
    c=kbd_getc();  
  
    if(c!=0){  
        total = c-48;  
        if((total>=0)&&(total<=9)){  
delay_ms(200);  
            cadena_2[a]=c;  
rpm_motor = atol(cadena_2);  
            lcd_gotoxy(n,2);  
            printf(lcd_putc,"%d",total);  
            a++;  
            n++;  
        }  
        if(c==42){  
            for(i=0;i<=a;i++){  
                cadena_2[i]=0;  
            }  
            printf(lcd_putc,"\f");  
            lcd_gotoxy(1,1);  
printf(lcd_putc,"Rpm del motor?");  
n=1;  
            a=0;  
        }  
        if(c==35){  
            if(a==0){  
                printf(lcd_putc,"\f");  
                printf(lcd_putc,"NO DATA");  
                delay_ms(1000);  
                printf(lcd_putc,"\f");  
                goto ciclo1;  
            }  
            printf(lcd_putc,"\f");  
            break;  
        }  
    }  
}
```

```

    }
}
if(rpm_motor > 3600){
    printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"Parámetro");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(2000);
    printf(lcd_putc,"\f");
    for(i=0;i<=a;i++){
        cadena_2[i]=0;
    }
    n=1;
    a=0;
goto ciclo1;
}
if((rpm_motor > 1800)&&(rpm_motor <= 3600)){
    No_polos = 2;
}
if((rpm_motor > 1200)&&(rpm_motor <= 1800)){
    No_polos = 4;
}
// if((rpm_motor > 900)&&(rpm_motor <= 1200)){
//     No_polos = 6;
// }
// if((rpm_motor > 700)&&(rpm_motor <= 900)){
//     No_polos = 8;
// }
if((No_ranuras==24)&&(No_polos==6)){
    printf(lcd_putc,"No hay diseño");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"para esa Rpm");
delay_ms(1500);
    printf(lcd_putc,"\f");
    for(i=0;i<=a;i++){
        cadena_2[i]=0;
    }
    n=1;
    a=0;
goto ciclo1;
}
// if(rpm_motor <= 700){
// if(rpm_motor <= 900){
    if(rpm_motor <= 1200){
        printf(lcd_putc,"\f");
        printf(lcd_putc,"Parámetro");
        lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(2000);

```

```

printf(lcd_putc,"\f");
for(i=0;i<=a;i++){
    cadena_2[i]=0;
}
    n=1;
    a=0;
goto ciclo1;
}
}

////////////////////////////////////
void numero_fases(){

char c;
int total;
int a = 0;
int n = 1;

ciclo2:
    delay_ms(500);
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"# de Fases?");

while(true){

    c=kbd_getc();

    if(c!=0){
        total = c-48;
        if((total>=0)&&(total<=9)){
            if(total==3){
                delay_ms(200);
                No_fases = total;
                lcd_gotoxy(n,2);
                printf(lcd_putc,"%d",total);
                a++;
                n++;
            }
            if(total!=3){
                printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"# de fases");
                lcd_gotoxy(1,2);
                printf(lcd_putc,"Incorrecto");
                delay_ms(1000);
                printf(lcd_putc,"\f");
                n=1;
                a=0;
                goto ciclo2;
            }
}
}
}

```



```

        lcd_gotoxy(n,2);
        printf(lcd_putc,"%d",total);
        a++;
        n++;
    }
    if(total==2){
        delay_ms(200);
No_capas = total;
        lcd_gotoxy(n,2);
printf(lcd_putc,"%d",total);
        a++;
        n++;
    }
}
if(c==42){
    No_capas = 0;
    printf(lcd_putc,"\f");
    lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"1 o 2 Capas?");
n=1;
    a=0;
}
if(c==35){
    if(a==0){
        printf(lcd_putc,"\f");
        printf(lcd_putc,"NO DATA");
        delay_ms(1000);
        printf(lcd_putc,"\f");
        goto ciclo3;
    }
    printf(lcd_putc,"\f");
    break;
}
}
}
}

////////////////////////////////////
void validacion_ranuras_polos(){

    printf(lcd_putc,"\f");

    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)){
        printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc,"1:9 o 1:10");
    }
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==2)&&(No_capas==1)){
        printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
    }
}

```

```

lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:11");
}
  if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==4)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:6");
}
  if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==4)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:7");
}
  if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==8)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:4");
}
  if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==8)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"! Solo Capa");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"sencilla i");
  delay_ms(1500);
  printf(lcd_putc,"f");
No_capas = 0;
  capas();
}
  if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:14");
}
  if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==2)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:16");
}
  if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==4)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:8");
}
  if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==4)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"1:10");
}
  if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==6)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");

```

```

    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"1:6 o 1:7");
}
if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==6)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"1:6 o 1:7");
}
/*
if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==8)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"1:6");
}

if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==8)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"! Solo Capa");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"doble i");
    delay_ms(1500);
    printf(lcd_putc,"\f");
    No_capas = 0;
    capas();
}
if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"1:18 o 1:21");
}
if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==2)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"! Solo Capa");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"doble i");
    delay_ms(1500);
    printf(lcd_putc,"\f");
    No_capas = 0;
    capas();
}
if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==4)&&(No_capas==1)){
    printf(lcd_putc,"Paso de Bobina?");
lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"1:13");
}
if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==4)&&(No_capas==2)){
    printf(lcd_putc,"! Solo Capa");
lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"sencilla i");
    delay_ms(1500);
    printf(lcd_putc,"\f");
}

```

```

No_capas = 0;
    capas();
}
*/
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
int _24_2_polos(){
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==9)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==10)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==2)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==11)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras/2)/(No_polos*No_fases));
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
int _24_4_polos(){
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==4)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==6)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==4)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==7)){
        No_grupos = ((No_polos/2)*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras)/(No_polos*No_fases));
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
/*
int _24_8_polos(){
    if((No_Ranuras==24)&&(No_polos==8)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==4)){
        No_grupos = ((No_polos/2)*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras)/(No_polos*No_fases));
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}
*/
/////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

int _36_2_polos(){
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==14)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras)/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==2)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==16)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras/2)/(No_polos*No_fases));
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}

```

```

////////////////////////////////////
int _36_4_polos(){
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==4)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==8)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras)/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==4)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==10)){
        No_grupos = ((No_polos/2)*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}

```

```

////////////////////////////////////
/*
int _36_6_polos(){
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==6)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==6)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras)/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==6)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==7)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==6)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==6)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras/2)/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==6)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==7)){
        No_grupos = ((No_polos/2)*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras/2)/No_grupos);
    }

    return (No_grupos,No_bobinas);
}

```

```

}
*/
////////////////////////////////////
/*
int _36_8_polos(){
    if((No_Ranuras==36)&&(No_polos==8)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==6)){
        No_grupos = ((No_polos/2)*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/No_grupos);
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}

```

```

////////////////////////////////////
int _48_2_polos(){
    if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==21)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==2)&&(No_capas==2)&&(paso_bobina==18)){
        No_grupos = (No_polos*No_fases);
        No_bobinas = (No_ranuras/(No_polos*No_fases));
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}

```

```

////////////////////////////////////
int _48_4_polos(){
    if((No_Ranuras==48)&&(No_polos==4)&&(No_capas==1)&&(paso_bobina==13)){
        No_grupos = ((No_polos/2)*No_fases);
        No_bobinas = ((No_ranuras/2)/No_grupos);
    }
    return (No_grupos,No_bobinas);
}
*/

```

```

////////////////////////////////////
void paso_de_bobina(){
    char c;
    int total,i;
    int a = 0;
    int n = 14;

    ciclo1:
        delay_ms(200);
        validacion_ranuras_polos();

```

```

while(true){

    c=kbd_getc();

    if(c!=0){
        total = c-48;
        if((total>=0)&&(total<=9)){
delay_ms(200);
            cadena_3[a]=c;
            paso_bobina = atol(cadena_3);
            lcd_gotoxy(n,2);
printf(lcd_putc,"%d",total);
            a++;
            n++;
        }
        if(c==42){
            for(i=0;i<=a;i++){
cadena_3[i]=0;
            }
            printf(lcd_putc,"\f");
            validacion_ranuras_polos();
n=14;
            a=0;
        }
        if(c==35){
            if(a==0){
                printf(lcd_putc,"\f");
                printf(lcd_putc,"NO DATA");
                delay_ms(1000);
                printf(lcd_putc,"\f");
                goto ciclo1;
            }
            printf(lcd_putc,"\f");
            break;
        }
    }
}
if(a>=3){
    printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"Parámetro");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(1000);
    printf(lcd_putc,"\f");
    for(i=0;i<=a;i++){
        cadena_3[i]=0;
    }
    n=14;
    a=0;
}

```

```

    goto ciclo1;
}
_24_2_polos();
_24_4_polos();
// _24_8_polos();
_36_2_polos();
_36_4_polos();
// _36_6_polos();
// _36_8_polos();
// _48_2_polos();
// _48_4_polos();

if((No_grupos==0)||((No_bobinas==0)){
    printf(lcd_putc, "\f");
    printf(lcd_putc, "Parámetro");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "NO VALIDO");
delay_ms(1000);
    printf(lcd_putc, "\f");
    for(i=0; i<=a; i++){
        cadena_3[i]=0;
    }
    n=14;
    a=0;
    goto ciclo1;
}

printf(lcd_putc, "#pol");
lcd_gotoxy(6,1);
printf(lcd_putc, "%d", No_polos);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc, "#grup");
lcd_gotoxy(7,2);
printf(lcd_putc, "%d", No_grupos);
lcd_gotoxy(9,1);
printf(lcd_putc, "#bob");
lcd_gotoxy(15,1);
printf(lcd_putc, "%d", No_bobinas);
delay_ms(2000);

}

////////////////////////////////////
void diametro_interno_estator(){

char c;
int total,i;
int a = 0;
int n = 14;

```

```

ciclo:
    printf(lcd_putc, "\f");
    lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc, "Diametro interno");
lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "estator (Cm)");

    while(true){

        c=kbd_getc();

        if(c!=0){
            total = c-48;
            if((total>=0)&&(total<=9)){
delay_ms(100);
                cadena_4[a]=c;
                Dia_estator = atol(cadena_4);
                lcd_gotoxy(n,2);
printf(lcd_putc, "%d", total);
                a++;
                n++;
            }
            if(c==42){
                for(i=0;i<=a;i++){
                    cadena_4[i]=0;
                }
                printf(lcd_putc, "\f");
                lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc, "Diametro interno");
                lcd_gotoxy(1,2);
                printf(lcd_putc, "estator (Cm)");
                n=14;
                a=0;
            }
            if(c==35){
                if(a==0){
                    printf(lcd_putc, "\f");
                    printf(lcd_putc, "NO DATA");
                    delay_ms(1500);
                    goto ciclo;
                }
                printf(lcd_putc, "\f");
                break;
            }
        }
    }
}
if(a>=3){
    printf(lcd_putc, "\f");
}

```

```

printf(lcd_putc,"Parámetro");
  lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(1000);
  printf(lcd_putc,"\f");
  for(i=0;i<=a;i++){
    cadena_4[i]=0;
  }
  n=14;
  a=0;
  goto ciclo;
}
}
////////////////////////////////////
void longitud_estator(){

char c;
int total,i;
int a = 0;
int n = 14;

ciclo:
  printf(lcd_putc,"\f");
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc,"Longitud");
  lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"estator (Cm)");

  while(true){

    c=kbd_getc();

    if(c!=0){
      total = c-48;
      if((total>=0)&&(total<=9)){
delay_ms(100);
        cadena_5[a]=c;
Long_estator = atol(cadena_5);
        lcd_gotoxy(n,2);
        printf(lcd_putc,"%d",total);
        a++;
        n++;
      }
    }
    if(c==42){
      for(i=0;i<=a;i++){
        cadena_5[i]=0;
      }
      printf(lcd_putc,"\f");
      lcd_gotoxy(1,1);
    }
  }
}

```

```

printf(lcd_putc,"Longitud");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"estator (Cm)");
n=14;
a=0;
}
if(c==35){
if(a==0){
printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"NO DATA");
delay_ms(1500);
goto ciclo;
}
printf(lcd_putc,"\f");
break;
}
}
}
if(a>=3){
printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"Parámetro");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc,"\f");
for(i=0;i<=a;i++){
cadena_5[i]=0;
}
n=14;
a=0;
goto ciclo;
}
}
}

////////////////////////////////////
void calculo_arco(){
float angulo;
float angulo2;
float pi2 = 6.28;

angulo = (360/No_Ranuras);
// printf(lcd_putc,"%f",angulo);
// delay_ms(1500);
printf(lcd_putc,"\f");
angulo2 = (paso_bobina-1)*angulo;
// printf(lcd_putc,"%f",angulo2);
// delay_ms(1500);
printf(lcd_putc,"\f");
Long_arco = (angulo2/360)*(pi2*(Dia_estator/2));

```

```

// printf(lcd_putc,"%f",Long_arco);
// delay_ms(1500);
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void espiras(){
    delay_ms(100);
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"Datos para");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"# de espiras");
    delay_ms(1000);
    printf(lcd_putc,"\f");
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
int espiras_manual(){

char c;
int total,i;
int a = 0;
int n = 1;

ciclo:
    printf(lcd_putc,"\f");
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"# de Espiras?");

while(true){

    c=kbd_getc();

    if(c!=0){
        total = c-48;
        if((total>=0)&&(total<=9)){
            delay_ms(100);
            cadena_6[a]=c;
            No_espiras_M = atol(cadena_6);
            lcd_gotoxy(n,2);
            printf(lcd_putc,"%d",total);
            a++;
            n++;
        }
        if(c==42){
            for(i=0;i<=a;i++){
                cadena_6[i]=0;
            }
            printf(lcd_putc,"\f");
            lcd_gotoxy(1,1);
            printf(lcd_putc,"# de Espiras?");
        }
    }
}

```

```

n=1;
    a=0;
    }
    if(c==35){
        if(a==0){
            printf(lcd_putc,"\f");
            printf(lcd_putc,"NO DATA");
            delay_ms(1500);
            goto ciclo;
        }
        printf(lcd_putc,"\f");
        break;
    }
}
}
if(a>=4){
    printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"Parámetro");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"NO VALIDO");
delay_ms(1000);
    printf(lcd_putc,"\f");
    for(i=0;i<=a;i++){
        cadena_6[i]=0;
    }
    n=1;
    a=0;
    goto ciclo;
}
return (No_espiras_M);
}
////////////////////////////////////

```

```

void manual_automatico(){

```

```

char c;
int total;
int a = 0;
int n = 15;
int Espiras_M_A;
ciclo3:
    delay_ms(500);
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"Manual = 2");
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"Automatico = 1");
while(true){

    c=kbd_getc();

```

```

if(c!=0){
total = c-48;
if((total>=1)&&(total<=2)){
if(total==1){
delay_ms(200);
printf(lcd_putc,"\f");
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"Opcion");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"deshabilitada");
delay_ms(2000);
printf(lcd_putc,"\f");
goto ciclo3;

}
if(total==2){
delay_ms(200);
espiras_M_A = total;
lcd_gotoxy(n,2);
printf(lcd_putc,"%d",total);
a++;
printf(lcd_putc,"\f");
delay_ms(1000);
break;
}
}
if(c==42){
espiras_M_A = 0;
printf(lcd_putc,"\f");
delay_ms(1000);
a=0;
n=15;
goto ciclo3;

}
if(c==35){
if(a==0){
printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"NO DATA");
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc,"\f");
goto ciclo3;
}
printf(lcd_putc,"\f");
break;
}
}
}
}

```

```

if(espiras_M_A==2){
    espiras_manual();
    printf(lcd_putc,"%f");
    printf(lcd_putc,"INICIANDO");
    delay_ms(2000);
    printf(lcd_putc,"%f");
}
}
////////////////////////////////////
void calculo_longitud(){
int i;
output_low(pin_B2);
output_low(pin_B3);
output_high(pin_B6); //para manejar el pic #2, armado de motor desplazamiento.
delay_ms(200);
output_low(pin_B6); //para manejar el pic #2, motor desplazamiento.
for(i=0;i<long_estator;i++){
    output_low(pin_B2);
    output_high(pin_B3);
//    output_high(pin_B6); //para manejar el pic #2, armado de motor desplazamiento.
    delay_ms(200);
//    output_low(pin_B6); //para manejar el pic #2, motor desplazamiento.
}
    output_low(pin_B2);
    output_low(pin_B3);
}

////////////////////////////////////
void sacar_espiras(){
int i, reducir, reducir_2;
output_low(pin_B2);
output_low(pin_B3);
reducir = long_estator/3;
reducir_2 = long_arco/3;
while(true){
    if(input(pin_A1)==0){
        for(i=0;i<reducir;i++){
            output_low(pin_B3);
            output_high(pin_B2);
            delay_ms(200);
        }
        output_low(pin_B2);
        for(i=0;i<reducir_2;i++){
            output_low(pin_B5);
            output_high(pin_B4);
            delay_ms(200);
        }
        output_low(pin_B4);
    }
}

```

```

while(input(pin_A1)==1){
}
for(i=0;i<reducir;i++){
    output_low(pin_B2);
    output_high(pin_B3);
    delay_ms(200);
}
output_low(pin_B3);
for(i=0;i<reducir_2;i++){
    output_low(pin_B4);
    output_high(pin_B5);
    delay_ms(200);
}
output_low(pin_B5);

return;
}
//break;
}
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void calculo_longitud_arco(){
int i;
output_low(pin_B4);
output_low(pin_B5);
for(i=0;i<long_arco;i++){
    output_low(pin_B4);
    output_high(pin_B5);
    delay_ms(200);
}
output_low(pin_B4);
output_low(pin_B5);
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
void iniciar(){
    printf(lcd_putc,"press start");
    while(true){
//    printf(lcd_putc,"press start");
        if(input(pin_A0)==0){// interruptor mecanico (STAR)
output_high(pin_E0); //para manejar el pic #2, motor desplazamiento.
delay_ms(200);
        output_low(pin_E0);
        printf(lcd_putc,"%f");
        return;
        }
    }
}
}
}

```

```
////////////////////////////////////
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void led_1(){  
  int i;  
  while(true){  
    if(input(pin_A0)==0){  
      delay_ms(300);  
      for(i=0;i<No_bobinas;i++){  
        output_low(pin_A2);  
        output_high(pin_A2);  
        delay_ms(200);  
        output_low(pin_A2);  
        delay_ms(200);  
      }  
      break;  
    }  
  }  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void led_2(){  
  int i;  
  while(true){  
    if(input(pin_A1)==0){  
      delay_ms(300);  
      for(i=0;i<No_grupos;i++){  
        output_low(pin_A3);  
        output_high(pin_A3);  
        delay_ms(200);  
        output_low(pin_A3);  
        delay_ms(200);  
      }  
      break;  
    }  
  }  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void suma(){  
  lcd_gotoxy(1,1);  
  printf(lcd_putc,"carlos");  
  delay_ms(1000);  
  sum = No_bobinas + No_espiras_M;
```

```
}  
  
////////////////////////////////////
```

```
void led_3(){  
int i;  
while(true){  
    lcd_gotoxy(1,1);  
    printf(lcd_putc,"cortes");  
    delay_ms(300);  
    for(i=0;i<sum;i++){  
        printf(lcd_putc,"\f");  
        output_low(pin_B0);  
        output_high(pin_B0);  
        delay_ms(200);  
        output_low(pin_B0);  
        delay_ms(200);  
    }  
    break;  
}  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void motor(){  
int cont = 0;  
int cont_2 = 0;  
int cont_3 = 0;  
  
while(No_grupos!=cont_3){  
    while(No_bobinas!=cont_2){  
  
        //////////////////////////////////  
        printf(lcd_putc,"\f");  
        lcd_gotoxy(1,1);  
        printf(lcd_putc,"Espiras:");  
        lcd_gotoxy(9,1);  
        printf(lcd_putc,"%d",cont);  
  
        //////////////////////////////////  
        lcd_gotoxy(1,2);  
        printf(lcd_putc,"Bobina:");  
        lcd_gotoxy(9,2);  
        printf(lcd_putc,"%d",cont_2+1);  
        while(cont!=No_espiras_M){  
            output_high(pin_B1); //motor arranca  
            if(input(pin_A5)==0){  
                lcd_gotoxy(1,1);
```

```

//   printf(lcd_putc,"Espiras:");
//   printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"Espiras:");
  while(input(pin_A5)==0){
    delay_ms(50);
  }
  delay_ms(100);
  cont++;
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc,"Espiras:");
  lcd_gotoxy(9,1);
  printf(lcd_putc,"%d",cont);
}
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

//   printf(lcd_putc,"\f");
//   lcd_gotoxy(1,1);
//   printf(lcd_putc,"Espiras:");
//   lcd_gotoxy(9,1);
//   printf(lcd_putc,"%d",cont);
////////////////////////////////////

```

```

output_low(pin_B1);
cont = 0;
cont_2++;
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"Bobina:");
lcd_gotoxy(9,2);
printf(lcd_putc,"%d",cont_2);

```

```

//   output_low(pin_B1);

```

```

//   printf(lcd_putc,"\f");

```

```

if(No_bobinas==cont_2){

```

```

//   cont_2 = 0;
//   lcd_gotoxy(1,1);
//   printf(lcd_putc,"\f"); //
//   printf(lcd_putc,"Espiras:");
//   lcd_gotoxy(9,1);
//   printf(lcd_putc,"%d",cont);
////////////////////////////////////
//   lcd_gotoxy(1,2);
//   printf(lcd_putc,"Bobina:");
//   lcd_gotoxy(9,2);
//   printf(lcd_putc,"%d",cont_2);

```

```

////////////////////////////////////

```

```

output_high(pin_E0);//aviso al pic #2, apagar motor y saltar al inicio

```

```

delay_ms(100);
    output_low(pin_E0);
delay_ms(50);
    output_high(pin_B6);//aviso al pic #2, apagar motor y saltar al inicio
delay_ms(100);
    output_low(pin_B6);
    /*
        while(input(pin_A1)==1){
        }
    */
    sacar_espiras();

    while(input(pin_A0)==1){
}

    output_high(pin_E0);//aviso al pic #2, apagar motor y saltar al inicio
delay_ms(100);
    output_low(pin_E0);
}
    if(No_bobinas!=cont_2){
        output_high(pin_E1);//aviso al pic #2, para apagar motor y saltar de molde
delay_ms(100);
        output_low(pin_E1);
while(input(pin_E2)==0){ //espero respuesta del pic #2, para iniciar bobina siguiente
}
}

}

    cont_3++;
    cont_2 = 0;

}
}
////////////////////////////////////

void main(){
    kbd_init();
    delay_ms(100);
    lcd_init();
    delay_ms(100);
    //////////////////////////////////
    saludo();
    numero_ranuras();
    revoluciones_motor();
    numero_fases();
    capas();
    paso_de_bobina();
}

```

```

diametro_interno_estator();
longitud_estator();
calculo_arco();
espiras();
manual_automatico();
calculo_longitud();
calculo_longitud_arco();
iniciar();
motor();
printf(lcd_putc, "fin");
}

```

### ANEXO 3. Software Pic N° 2.

```

////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDAD DE NARIÑO
//      FACULTAD DE INGENIERÍA
//      INGENIERÍA ELECTRÓNICA
//      SAN JUAN DE PASTO
//      2016
//
//EGRESADO: CARLOS ENRIQUE CORTES PORTILLA
////////////////////////////////////
#include <16f877a.h>
#fuses NOWDT,XT,PUT,PROTECT,BROWNOUT,NOLVP,CPD,NODEBUG,NOWRT
#use delay (clock=4000000)

#use standard_io(B)
#use standard_io(A)
#use standard_io(C)
#use standard_io(D)
#use standard_io(E)

//#use standard_io(D)

int bandera_1 = 0;

////////////////////////////////////

```

```

void inicio(){
bandera_1=0;
output_low(pin_A0);

while(true){
if(input(pin_A0)==1){
while(input(pin_B0)==0){//sensor 1 abierto
output_high(pin_A1);//giro derecha
output_low(pin_A2);
}
output_low(pin_A1);//motor apagado
output_low(pin_A2);
}
if(input(pin_B0)==1){
return;
}
}
}
////////////////////////////////////
void bobina_1(){

while(true){
if(input(pin_A3)==1){
while(true){
while(input(pin_B1)==0){//sensor izquierdo de la bobina 1
output_low(pin_A1);//giro izquierda
output_high(pin_A2);
if(input(pin_B6)==1){
output_low(pin_A1);//Apago motor
output_low(pin_A2);
delay_ms(2000);
return;
}
}
delay_ms(100);
while(input(pin_B0)==0){//sensor derecho de la bobina 1
output_high(pin_A1);//giro derecha
output_low(pin_A2);
if(input(pin_B6)==1){
output_low(pin_A1);//Apago motor
output_low(pin_A2);
delay_ms(2000);
return;
}
}
}
delay_ms(100);
}
}
}
}

```

```

}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void salto_molde_2(){
output_low(pin_B7);

    while(input(pin_B3)==0){//sensor izquierdo de la bobina 2
output_low(pin_A1);//giro izquierda
    output_high(pin_A2);
    }
output_low(pin_A1);//motor apagado
output_low(pin_A2);
delay_ms(2000);
output_high(pin_B7);//señal para pic 16f877, iniciar bobina 2
delay_ms(50);
output_low(pin_B7);
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void bobina_2(){

    while(true){
        while(input(pin_B2)==0){//sensor derecho de la bobina 2
            output_high(pin_A1);//giro derecha
            output_low(pin_A2);
            if(input(pin_B6)==1){
                output_low(pin_A1);//Apago motor
                output_low(pin_A2);
                delay_ms(2000);
                return;
            }
        }
        //
        if(input(pin_A3)==1){
            bandera_1 = 1;
            output_low(pin_A1);//Apago motor
            output_low(pin_A2);
            return;
        }
        //
    }
    //
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
}

    while(input(pin_B3)==0){//sensor izquierdo de la bobina 2
output_low(pin_A1);//giro izquierda
output_high(pin_A2);
if(input(pin_B6)==1){
    output_low(pin_A1);//Apago motor
    output_low(pin_A2);
    delay_ms(2000);
    return;
}
}

```

```

    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    //
    if(input(pin_A3)==1){ //
        bandera_1 = 1; //
        output_low(pin_A1); //Apago motor //
        output_low(pin_A2); //
//
        return; //
    } //
    //
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

}
}
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```
void salto_molde_3(){
```

```

/////////////////////////////////////////////////////////////////
//
if (bandera_1==1) //
{
    return; //
} //
//
/////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

while(input(pin_B5)==0){ //sensor izquierdo de la bobina 3
output_low(pin_A1); //giro izquierda
output_high(pin_A2);
}
output_low(pin_A1); //motor apagado
output_low(pin_A2);
delay_ms(2000);
output_high(pin_B7); //señal para pic 16f877, iniciar bobina 3
delay_ms(50);
output_low(pin_B7);
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```
void bobina_3(){
```

```

////////////////////////////////////
//
if(bandera_1==1){           //
//
//
return;                    //
}                          //
////////////////////////////////////

while(true){
while(input(pin_B4)==0){//sensor derecho de la bobina 3
output_high(pin_A1);//giro derecha
output_low(pin_A2);
if(input(pin_B6)==1){
output_low(pin_A1);//Apago motor
output_low(pin_A2);
delay_ms(2000);
return;
}

if(input(pin_A3)==1){
output_low(pin_A1);//Apago motor
output_low(pin_A2);
delay_ms(100);
return;
}

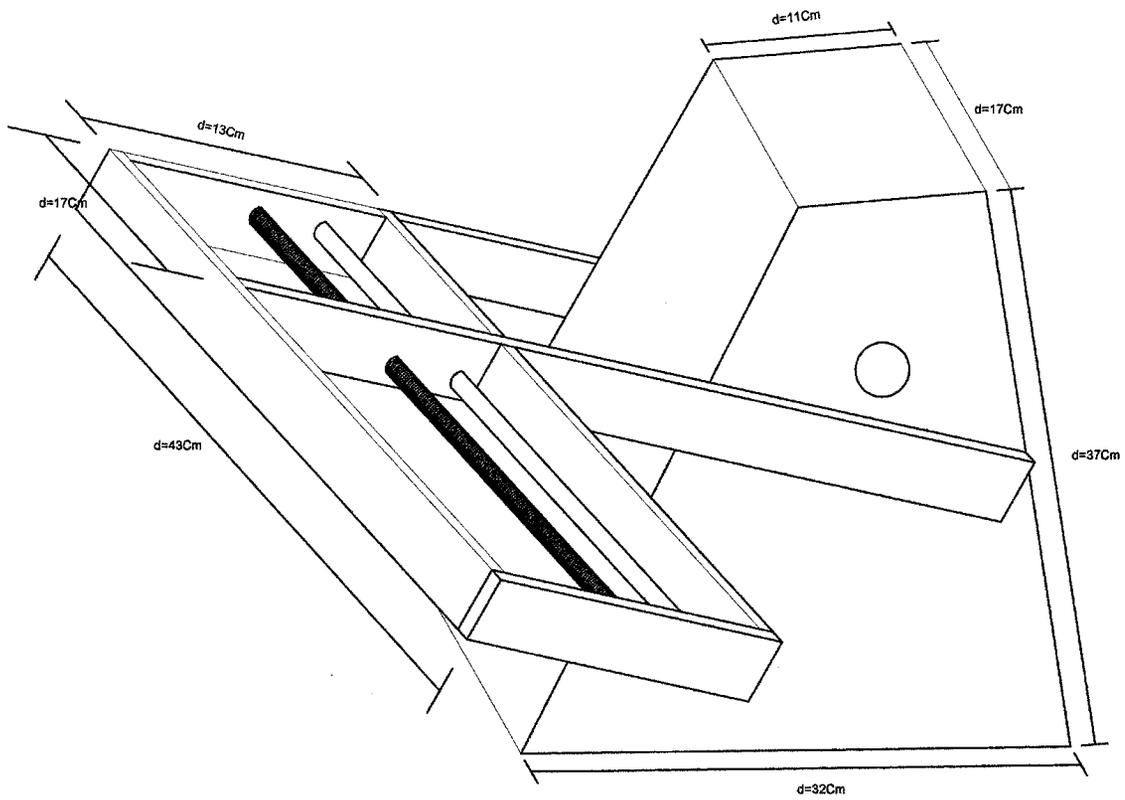
}
delay_ms(100);
while(input(pin_B5)==0){//sensor izquierdo de la bobina 2
output_low(pin_A1);//giro izquierda
output_high(pin_A2);
if(input(pin_B6)==1){
output_low(pin_A1);//Apago motor
output_low(pin_A2);
delay_ms(2000);
return;
}

if(input(pin_A3)==1){
output_low(pin_A1);//Apago motor
output_low(pin_A2);
delay_ms(100);
return;
}
}
}

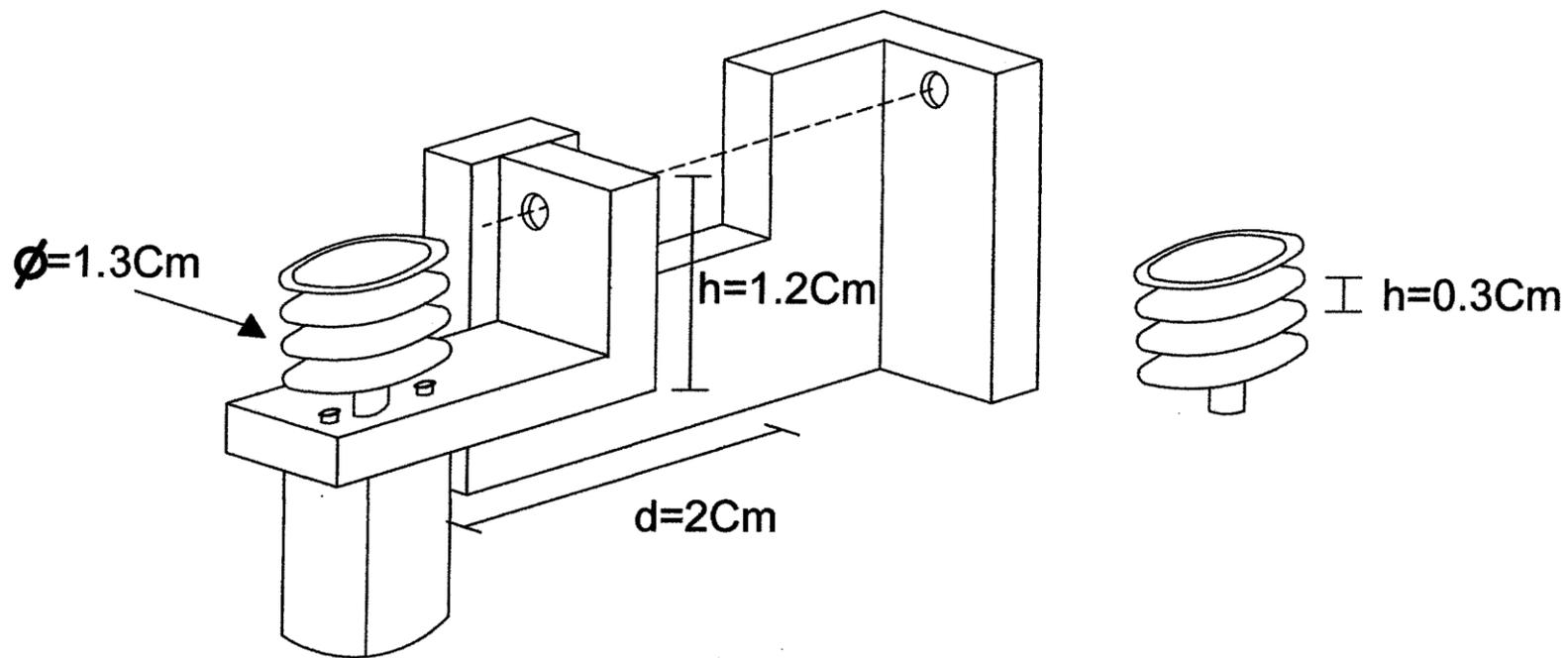
```

```
        }
        delay_ms(100);
    }
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void main(){
Output_A(0);
Output_B(0);
Output_C(0);
Output_D(0);
Output_E(0);
    while(true){

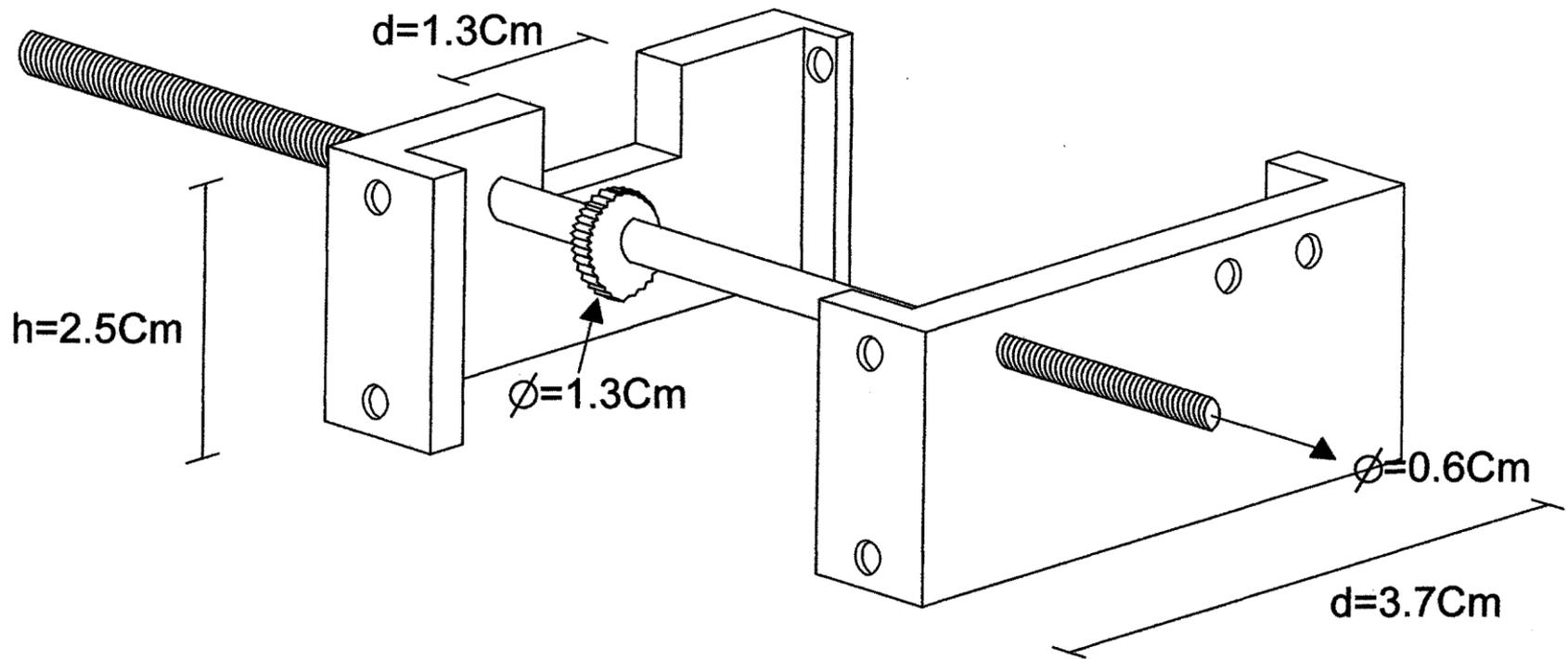
inicio();
    bobina_1();
    salto_molde_2();
    bobina_2();
    salto_molde_3();
    bobina_3();
    }
}
```



	UNIVERSIDAD DE NARIÑO - FACULTAD DE INGENIERÍA		 Ingeniería ELECTRÓNICA
	INGENIERÍA ELECTRÓNICA		
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA BOBINADORA		
	PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC		
	Nombre: CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA		
Fecha: SEPTIEMBRE DE 2016	ANEXO 1		



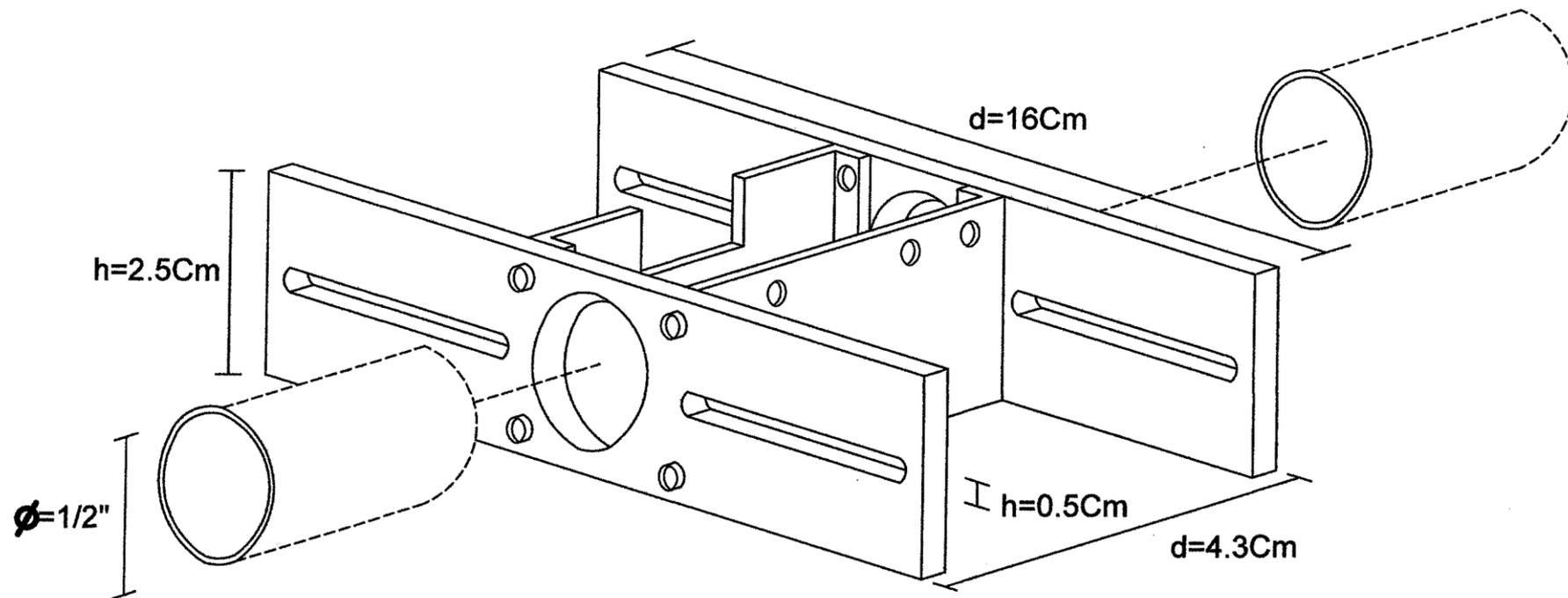
	UNIVERSIDAD DE NARIÑO - FACULTAD DE INGENIERÍA		 <b>Ingeniería ELECTRÓNICA</b>
	INGENIERÍA ELECTRÓNICA		
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA BOBINADORA PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC		
	Nombre: CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA		
	Fecha: SEPTIEMBRE DE 2016	ANEXO 4	



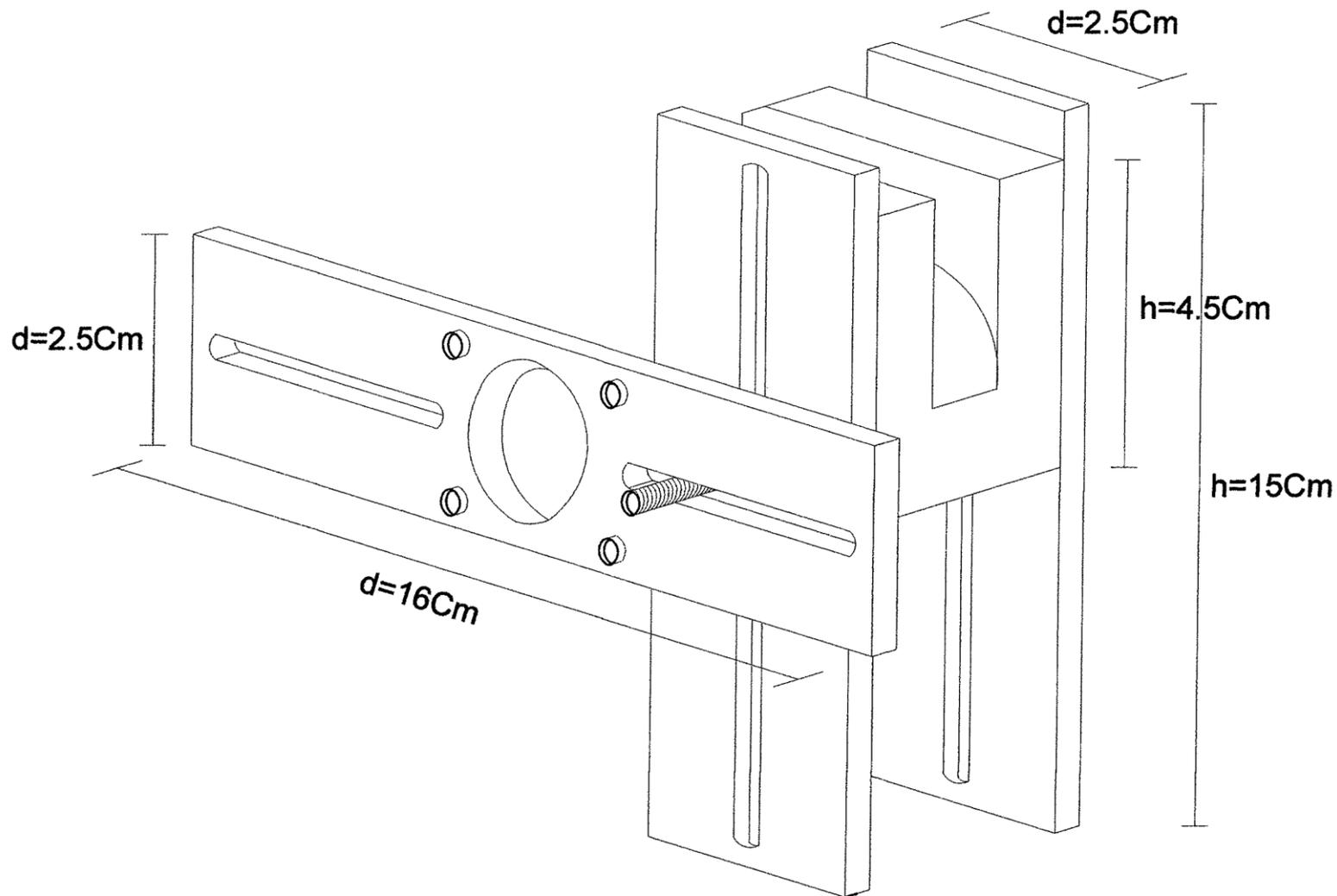
UNIVERSIDAD DE NARIÑO - FACULTAD DE INGENIERÍA  
 INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
 PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA BOBINADORA  
 PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC  
 Nombre: CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA  
 Fecha: SEPTIEMBRE DE 2016



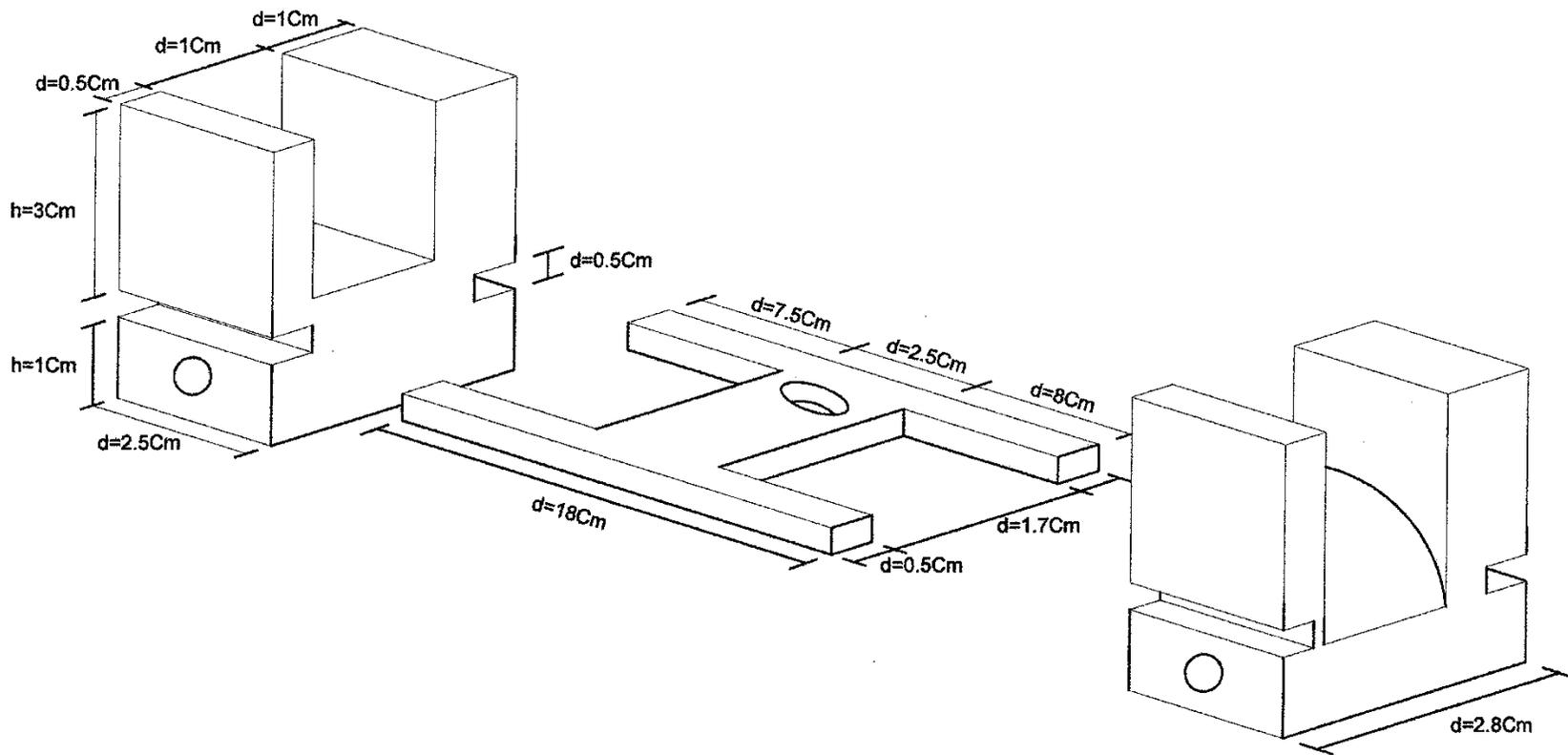
ANEXO 5



	UNIVERSIDAD DE NARIÑO - FACULTAD DE INGENIERÍA		
	INGENIERÍA ELECTRÓNICA		
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA BOBINADORA		
	PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC		
	Nombre: CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA		
Fecha: SEPTIEMBRE DE 2016		ANEXO 6	



	UNIVERSIDAD DE NARIÑO - FACULTAD DE INGENIERÍA	 Ingeniería ELECTRÓNICA
	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA BOBINADORA PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC	
	Nombre: CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA	
	Fecha: SEPTIEMBRE DE 2016	
	ANEXO 7	



	UNIVERSIDAD DE NARIÑO - FACULTAD DE INGENIERÍA	
	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA BOBINADORA PARA LA INDUSTRIA ELECTROTÉCNICA INELTEC	
	Nombre: CARLOS ENRIQUE CORTÉS PORTILLA Fecha: SEPTIEMBRE DE 2016	
	ANEXO 8	