



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA
PARA ELABORAR REACTANCIAS ESTATÓRICAS PARA MOTORES
ELÉCTRICOS**

AUTOR:

MEJÍA VALENCIA NAÚN ALEJANDRO

DIRECTOR:

ING. TERÁN DIEGO

IBARRA – ECUADOR

Enero 2016

CERTIFICACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Certifico, que el proyecto de titulación denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA ELABORAR REACTANCIAS ESTATÓRICAS PARA MOTORES ELÉCTRICOS” fue desarrollado por Naun Alejandro Mejía Valencia, bajo mi supervisión para la obtención del título de Ingeniería Mecatrónica.

por lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CEDELA DE IDENTIDAD:	190785189-1
APELLIDOS Y NOMBRES:	MEJIA VALENCIA NAUN ALEJANDRO
DIRECCIÓN:	SAN ANTONIO DE IBARRA, 27 DE NOVIEMBRE POMPILLO MUDROS
EMAIL:	alejor.valencia@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	067551112 TELÉFONO

Ing. Diego Francisco Terán

DIRECTOR DE PROYECTO

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA MAQUINA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100285389-1		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MEJÍA VALENCIA NAÚN ALEJANDRO		
DIRECCIÓN:	SAN ANTONIO DE IBARRA, 27 DE NOVIEMBRE Y POMPILLO MIDEROS		
EMAIL:	alejomvalencia@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062551312	TELÉFONO	0996188958

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA ELABORAR REACTANCIAS ESTATÓRICAS PARA MOTORES ELÉCTRICOS.
AUTOR:	MEJÍA VALENCIA NAÚN ALEJANDRO
FECHA:	09-01-2016
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE	INGENIERÍA MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. DIEGO TERÁN

Firma:

Nombre: Naún Alejandro Mejía Valencia

Cedula: 1002853891-3

Ibarra a, 09-01-2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Naún Alejandro Mejía Valencia, con cédula de identidad Nro. 100285389-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: “Diseño e implementación de una máquina semiautomática para elaborar reactancias estáticas para motores eléctricos”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 9 días del mes de enero de 2016

Firma: 

Nombre: Naún Alejandro Mejía Valencia

Cedula: 100285389-1



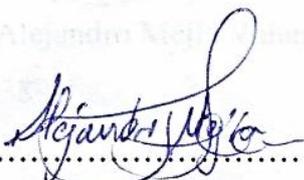
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Naún Alejandro Mejía Valencia, con cédula de identidad Nro. 100285389-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "Diseño e implementación de una máquina semiautomática para elaborar reactancias estatóricas para motores eléctricos", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 4 días del mes de enero de 2016

Firma: 

Nombre: Naún Alejandro Mejía Valencia

Cedula: 100285389-1

Cedula: 100285389-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CONSTANCIAS

Yo, Naún Alejandro Mejía Valencia, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo el derecho de propiedad intelectual correspondiente

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

Ibarra, a los ⁴..... días del mes de *enero*..... de 2016

EL AUTOR:


Naún Alejandro Mejía Valencia
C.I. 100285389-1

Firma: 

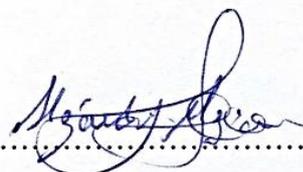
Nombre: Naún Alejandro Mejía Valencia

Cedula: 100285389-1

DECLARACIÓN

Yo, Naún Alejandro Mejía Valencia, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo el derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.



Naún Alejandro Mejía Valencia

C.I.100285389-1

AGRADECIMIENTO

La ejecución de esta tesis se llevó a cabo gracias a la colaboración del director de tesis y aquellas personas que con sus conocimientos y experiencia hicieron posible el desarrollo del presente trabajo.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, a cada uno de sus profesores y personal administrativo, por habernos impartido sin egoísmo sus enseñanzas y conocimientos para nuestra formación profesional.

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi familia especialmente a mi madre Lidia Valencia, que con su amor y ejemplo de trabajo, me ha sabido forjar en el camino de la superación.

También quiero dedicarle este trabajo al Ing. Javier Días quien ha sido mi mentor y mi apoyo en aquellos momentos difíciles.

A mis hermanos: Andrés y Fernanda.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CERTIFICACIÓN	ii
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	iii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	iv
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	v
CONSTANCIAS.....	vi
DECLARACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
ÍNDICE GENERAL	x
FIGURAS	xv
TABLAS.....	xviii
DIAGRAMAS	xix
ECUACIONES	xx
ANEXOS	xxi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
PRESENTACIÓN.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PROCESO DE BOBINADO.....	2
1.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DEL PROCESO DE BOBINADO	2
1.2.1.1 Número de polos de un motor	2
1.2.1.2 Paso de bobina (Y_k).....	2
1.2.1.3 Bobinado Concéntrico.....	3
1.2.1.4 Bobinado Excéntrico o Imbrincado.....	3
1.2.1.5 Recolección De Datos.....	4
1.2.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL DEVANADO.....	5
1.2.2.1 Elaboración del molde	5
1.2.2.2 Elaboración de bobinas concéntricas	5
1.2.2.3 Elaboración de bobinas excéntricas.....	6
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	7

1.3.1.1	Objetivos específicos	7
1.3.2	JUSTIFICACIÓN.	8
1.3.3	METODOLOGÍA.	8
1.3.4	ALCANCE.....	9
CAPÍTULO II		12
2.1	INTRODUCCIÓN.....	12
2.2	MOTORES ASÍNCRONOS O DE INDUCCIÓN	12
2.2.1	OPERACIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....	13
2.2.2	POTENCIA EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN	14
2.3	SISTEMAS DE CONTROL.....	16
2.3.1	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.	16
2.3.2	CONTROLADOR PI	17
2.3.3	REGLAS DE SINTONIZACIÓN PARA CONTROLADORES.	18
2.3.3.1	Método de la respuesta en escalón de Ziegler y Nichols.	18
2.4	TIPOS DE MÁQUINAS BOBINADORAS.....	20
2.4.1	MÁQUINAS BOBINADORAS MANUALES.	21
2.4.2	BOBINADORAS SEMIAUTOMÁTICAS.....	21
2.4.3	BOBINADORAS AUTOMÁTICAS.....	22
2.5	ELEMENTOS DE ACCIONAMIENTO.....	24
2.5.1	SECCIONADOR.....	24
2.5.2	CONTACTOR.	25
2.5.3	RELÉ TÉRMICO.....	26
2.6	ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.....	27
2.6.1	ELECTRÓNICA ANALÓGICA.....	27
2.6.2	ELECTRÓNICA DIGITAL	28
2.6.3	MICROCONTROLADOR.....	28
2.6.3.1	Gama enana	29
2.6.3.2	Gama media.....	29
2.6.3.3	Gama alta.....	30
2.6.4	SENSORES.....	30
2.6.4.1	Tipos de sensores.....	31

2.6.5	INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	31
2.6.6	TIPOS DE HMI.....	32
2.6.7	PROPULSORES DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.....	32
2.6.7.1	Control de voltaje del estator.....	32
2.6.7.2	Control de voltaje del rotor.....	33
2.6.7.3	Control de frecuencia.....	33
2.6.7.4	Control de voltaje y frecuencia del estator.....	33
CAPÍTULO III.....		35
3.1	INTRODUCCIÓN.....	35
3.2	CONDICIONES ERGONÓMICAS DEL PUESTO DE TRABAJO.....	36
3.2.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	36
3.3	SELECCIÓN DEL MOTOR AC.....	38
3.3.1	CÁLCULO DE LA INERCIA Y DEL MOMENTO TOTAL.....	38
3.3.2	CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR AC.....	40
3.4	CÁLCULO DE TRANSMISIÓN POR BANDA Y POLEAS.....	42
3.4.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE BANDA.....	42
3.4.2	SELECCIÓN TENTATIVA DE LA POLEA DE ENTRADA.....	43
3.4.3	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA NOMINAL DE LA TRANSMISIÓN POR BANDA Y POLEAS.....	44
3.4.4	ESPECIFICACIÓN DE UNA DISTANCIA ENTRE CENTROS TENTATIVA.....	44
3.4.5	CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA BANDA NECESARIA.....	44
3.5	DISEÑO DEL EJE.....	47
3.5.1	VALOR DE LA FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE.....	47
3.5.2	ANÁLISIS ESTÁTICO DEL EJE.....	48
3.5.3	SELECCIÓN DE LAS CHUMACERAS.....	52
3.6	DISEÑO DE LOS ESLABONES DE LA ESTRUCTURA.....	53
3.6.1	CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LA ESTRUCTURA.....	54
3.6.2	CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO.....	56
3.7	MECANISMO PORTAMOLDES.....	58
3.7.1	MOTORES DE IMÁN PERMANENTE.....	59
3.7.1.1	Relación de velocidad del mecanismo tornillo tuerca.....	61
3.7.2	MECANISMO PARA TRASLADAR EL PORTAMOLDES.....	62
CAPÍTULO IV.....		62

4.1	INTRODUCCIÓN.....	62
4.2	SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	63
4.2.1	SECCIONADOR PRINCIPAL.....	64
4.2.2	CONTACTOR.....	64
4.2.3	RELÉ TÉRMICO.....	65
4.2.4	INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	66
4.2.4.1	Microcontrolador.....	66
4.2.4.2	Glcd (Display de cristal Líquido Gráfico).....	67
4.2.4.3	Panel táctil.....	69
4.2.5	SENSORES.....	71
4.2.5.1	Sensor de revoluciones.....	72
4.2.5.2	Sensor de rotura de cable.....	72
4.2.5.3	Sensor de posición de los moldes.....	73
4.2.6	PLACA DE RELÉS.....	75
4.2.7	FLUJO GRAMAS DEL CÓDIGO PARA EL MICROCONTROLADOR.....	76
4.2.8	FLUJO GRAMA PARA INTERFAZ DE ALMACENAMIENTO DE DATOS.....	81
4.2.9	INTERFAZ DE ALMACENAMIENTO DE DATOS.....	82
4.2.9.1	Proceso de funcionamiento del VI.....	83
4.3	SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.....	85
4.3.1	ESTADO DE LA PLANTA.....	86
4.3.2	MODELAMIENTO DE LA PLANTA.....	86
4.3.3	MODELAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA PLANTA.....	89
4.3.4	ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA.....	90
4.3.5	PROCESO DE MODELAMIENTO.....	95
4.3.6	CONTROLADOR PI.....	97
4.3.7	IMPLEMENTACIÓN.....	101
4.3.8	DIMENSIONAMIENTO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	102
4.3.9	PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	104
4.3.10	CONFIGURACIÓN DE LAS CONSTANTES DEL CONTROLADOR PI.....	106
	CAPÍTULO V.....	107
5.1	INTRODUCCIÓN.....	107

5.2	PRUEBAS REALIZADAS DEL POSICIONAMIENTO DE LOS MOLDES.....	107
5.2.1	SENSOR GP2D120.....	107
5.2.2	PRUEBAS REALIZADAS CON EL TRIMMER MULTIVUELTA.....	109
5.3	PRUEBAS REALIZADAS DEL TIEMPO DEL PROCESO DE BOBINADO.....	110
5.4	PRUEBAS DEL CONTROLADOR de velocidad PI IMPLEMENTADO.....	110
5.5	PRUEBAS DE LA POSICIÓN DEL MECANISMO QUE GENERA EL BOBINADO.....	111
	CAPÍTULO VI.....	113
6.1	CONCLUSIONES.....	113
6.2	RECOMENDACIONES.....	114
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
	ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE ANEXOS, FIGURAS, TABLAS, DIAGRAMAS Y ECUACIONES

FIGURAS

Figura 1.1 Paso de bobina	3
Figura 1.2 Bobinado concéntrico.....	3
Figura 1.3 Bobinado excéntrico.....	4
Figura 1.4 Molde para elaborar bobinas.....	5
Figura 1.5 Modelos una bobina concéntrica.....	6
Figura 1.6 Modelos de una bobina excéntrica.....	6
Figura 2.1 Motor de inducción.....	13
Figura 2.2 Interacción de los campos del estator y del rotor.....	14
Figura 2.3 Flujo de potencia de un motor de inducción.....	15
Figura 2.4 Respuesta escalón unitario de una planta.....	18
Figura 2.5 Curva de respuesta con forma de S.....	19
Figura 2.6 Bobinadora manual de campos.....	21
Figura 2.7 Bobinadora semiautomática de campos modelo BMM79.....	22
Figura 2.8 Bobinadora automática.....	23
Figura 2.9 Seccionador.....	24
Figura 2.10 Contactor.....	25
Figura 2.11 Relé térmico.....	26
Figura 2.12 Grafica de una señal analógica.....	27
Figura 2.13 Grafica de una señal digital.....	28
Figura 2.14 Microcontrolador de gama baja PIC12F629.....	29
Figura 2.15 Microcontrolador de gama media PIC 18F4550.....	29
Figura 2.16 Microcontrolador de gama alta DSP.....	30
Figura 2.17 Interfaz hombre maquina.....	32
Figura 3.1 Altura de trabajo en posición de pie.....	37
Figura 3.2 Alcances verticales en posición de pie.....	37
Figura 3.3 Mecanismo de bobinado.....	39
Figura 3.4 Sección de la banda.....	43
Figura 3.5 Poleas y banda acotadas.....	46
Figura 3.6 Diagrama de cuerpo libre del eje y diagrama de fuerza cortante.....	48
Figura 3.7 Diagrama del momento flector del eje x.....	48
Figura 3.8 Análisis de tensión; Primer esfuerzo principal σ_1	51

Figura 3.9 Factor de seguridad mínimo del eje.....	52
Figura 3.10 Chumacera.....	53
Figura 3.11 Modelo de la estructura.	53
Figura 3.12 Análisis estructural	55
Figura 3.13 Diagrama de fuerza cortante de eslabón.....	55
Figura 3.14 Diagrama de momento flexionante de eslabón.....	56
Figura 3.15 Mecanismo portamoldes.....	59
Figura 3.16 Motor DC.....	60
Figura 3.17 Acople Lovejoy.	61
Figura 3.18 Mecanismo para trasladar el portamoldes.	62
Figura 4.1 Seccionador principal	64
Figura 4.2 Contactor	65
Figura 4.3 Relé térmico.....	65
Figura 4.4 Estructura interna del panel táctil.	69
Figura 4.5 Determinación de la coordenada Y.....	70
Figura 4.6 Controlador de panel táctil	70
Figura 4.7 Placa electrónica de la interfaz.	71
Figura 4.8 Interfaz HMI.	71
Figura 4.9 Sensor inductivo de revoluciones LM18-3005NA.....	72
Figura 4.10 Sensor inductivo del cable LM6-3001NA.....	73
Figura 4.11 Trimmer 534-10k	74
Figura 4.12 Placa de relés	75
Figura 4.13 Panel frontal del VI.....	82
Figura 4.14 Diagrama de flujo del VI.....	83
Figura 4.15 Inicialización de puerto COM	83
Figura 4.16 While Loop.....	83
Figura 4.17 Event Structure	84
Figura 4.18 Property Node.....	84
Figura 4.19 VISA Read.....	84
Figura 4.20 String Subset.....	85
Figura 4.21 Conversión de decimal a Entero.....	85
Figura 4.22 Creación de la matriz de datos.....	85
Figura 4.23 Diagrama de bloques del lazo de control PI.	86
Figura 4.24 Modelo transformador de un motor de inducción	87
Figura 4.25 Método de la caja negra.....	89
Figura 4.26 Sensor CKP y Reluctor.....	90
Figura 4.27 Señal obtenida del sensor CKP.....	91

Figura 4.28 Conversor de Frecuencia a Voltaje.....	91
Figura 4.29 Curva de la Frecuencia vs Voltaje.	93
Figura 4.30 Placa del circuito conversor de frecuencia a voltaje.....	94
Figura 4.31 Señal obtenida.	95
Figura 4.32 System Identification Tool	95
Figura 4.33 Modelos simulados.....	96
Figura 4.34 Respuesta escalón de $G(s)$	97
Figura 4.35 Diagrama de bloques del lazo de control PI.	98
Figura 4.36 Esquema Sinóptico del Regulador PI.	99
Figura 4.37 Determinación de las constantes L y T.....	100
Figura 4.38 Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad.	101
Figura 4.39 Respuesta del sistema de control PI	102
Figura 4.40 Altivar 312.....	102
Figura 4.41 Configuración de parámetros de fábrica.....	104
Figura 4.42 Configuración de los parámetros del motor en el variador.....	104
Figura 4.43 Configuración de parámetros básicos del variador.....	105
Figura 4.44 Control por 2 hilos.....	106
Figura 4.45 Configuración de parámetros de control PI.	106
Figura 4.46 Configuración de ganancia k_p y k_i en el variador.	106
Figura 5.1 Sensor acoplado al mecanismo de los moldes.....	107
Figura 5.2. Gráfica del Voltaje vs la distancia.	108
Figura 5.3 Reactancias elaboradas con cable #28.....	110
Figura 5.4Tabla de graficas de respuesta del controlador PI implementado.	111
Figura 5.5 Estimación del error de posición del mecanismo.	112

TABLAS

Tabla 1.1 Características del bobinado.	4
Tabla 2.1 Regla de sintonización basada en la respuesta escalón de la planta.	20
Tabla 2.2 Características de los sensores	30
Tabla 3.1 Dimensiones verticales en posición de pie	37
Tabla 3.2 Dimensiones ergonómicas de la máquina.	38
Tabla 3.3 Factores de servicio para bandas en V	41
Tabla 3.4 Características del motor.....	42
Tabla 3.5. Secciones de bandas en V estándar.....	42
Tabla 3.6 Longitudes de bandas estándar.	45
Tabla 3.7. Resumen de diseño.	46
Tabla 3.8. Características de tubo estructural redondo.	49
Tabla 3.9 Masas de elementos a considerar para diseño de eslabones.	54
Tabla 3.10 Tubo estructural cuadrado.....	54
Tabla 3.11. Características de la varilla roscada Stanley de 1/4".....	59
Tabla 3.12. Características del motor DC	60
Tabla 4.1 Característica del contactor	65
Tabla 4.2 Características eléctricas del relé térmico	66
Tabla 4.3 Características PIC18f452	67
Tabla 4.4. Nomenclatura de pines de GLCD T6963.....	68
Tabla 4.5 Características del sensor LM18-3005NA.....	72
Tabla 4.6 Características del trimmer 534	74
Tabla 4.7 Valores obtenidos del conversor F/V.....	93
Tabla 4.8. Criterios de selección del modelo	96
Tabla 4.9 Constantes del controlar.....	100
Tabla 4.10. Características eléctricas del Variador de Frecuencia.....	103
Tabla 4.11. Calibres de conductores	103
Tabla 5.1. Valores obtenidos del sensor SHARP GP2D120.....	108
Tabla 5.2 Distancias encontradas en el mecanismo de posicionamiento de moldes.....	109
Tabla 5.3 Resultados obtenidos	110
Tabla 5.4 Pruebas del control de velocidad PI implementado.	110
Tabla 5.5 Pruebas de la posición del mecanismo que genera el bobinado.....	112

DIAGRAMAS

Diagrama 1.1 Fases del proceso de diseño.	9
Diagrama 2.1 Tipos de sensores.	31
Diagrama 3.1 Diagrama de flujo del proceso de diseño.	35
Diagrama 4.1 Sistema electrónico.	63
Diagrama 4.2. Diagrama general del proceso de bobinado	76
Diagrama 4.3. Verificación de condiciones iniciales.....	77
Diagrama 4.4. Proceso del panel táctil.....	78
Diagrama 4.5. Posicionamiento de los moldes	79
Diagrama 4.6. Ejecución del proceso de bobinado.....	80
Diagrama 4.7 Flujo grama de la interfaz de almacenamiento de datos.....	81

ECUACIONES

Ecuación 1.1 Número de polos	2
Ecuación 2.1 F.E.M. inducida en un conductor.	13
Ecuación 2.2 Ley de Laplace.	14
Ecuación 2.3 Potencia de eléctrica en un motor de inducción.	15
Ecuación 2.4 Potencia mecánica en un motor de inducción.	16
Ecuación 2.5 Función de transferencia	16
Ecuación 2.6. Controlador PI.	18
Ecuación 2.7. Función de transferencia de primer orden.....	19
Ecuación 2.8 Controlador PI.....	20
Ecuación 3.1 Par torsional para acelerar una carga de inercia	39
Ecuación 3.2 Potencia de motor para mecanismo giratorio.....	40
Ecuación 3.3 Relación entre el diámetro de la polea y la velocidad.....	43
Ecuación 3.4 Distancia entre centros tentativa.	44
Ecuación 3.5 Longitud de la banda.	44
Ecuación 3.6. Distancia entre centros.	45
Ecuación 3.7 Fuerza flexionante en el eje.....	47
Ecuación 3.8 Esfuerzo normal en flexión	49
Ecuación 3.9 Esfuerzo cortante en flexión:	49
Ecuación 3.10 Esfuerzos principales	50
Ecuación 3.11 Esfuerzo de von Mises	51
Ecuación 3.12 Factor de seguridad de un material dúctil.	51
Ecuación 3.13 Esfuerzo normal en flexión.	56
Ecuación 3.14 Esfuerzo cortante en flexión:	57
Ecuación 3.15. Teoría de la energía de distorsión de Von Mises.	57
Ecuación 3.16. Factor de seguridad	58
Ecuación 3.17 Velocidad de desplazamiento del mecanismo.....	61
Ecuación 4.1 Interpolación lineal.....	74
Ecuación 4.2 Sumatoria de corrientes en nodo A	87
Ecuación 4.3 Voltaje en lado del estator.....	88
Ecuación 4.4 Voltaje en lado del rotor.....	88
Ecuación 4.5 Ecuación de salida del convertidor de frecuencia a voltaje.	92
Ecuación 4.6 Función de transferencia de la Plata.....	96
Ecuación 4.7 Función de transferencia del controlador PI.	98

ANEXOS

Anexo 1 Características de motores trifásicos de inducción.....	117
Anexo 2 Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta.....	118
Anexo 3 Catálogo de poleas	119
Anexo 4 Capacidades de bandas 3V	120
Anexo 5 Catálogo de bandas en V	121
Anexo 6 Propiedades de los aceros estructurales.....	122
Anexo 7. Catálogo de chumaceras.....	123
Anexo 8. Catalogo tubo estructural cuadrado.....	124
Anexo 9 Motor de imán permanente.....	125
Anexo 10 Acople de elastómero Lovejoy.....	126
Anexo 11 Trimmer multivuelta.....	127
Anexo 12 Catalogo de sensores inductivos.....	128
Anexo 13 Programa principal del micro controlador.....	129
Anexo 14 Programa complemento de microcontrolador	130
Anexo 15 Librería del panel táctil.....	133
Anexo 16. Archivo “.m” de Matlab para realizar adquisición de datos.....	138
Anexo 17. Esquema PCB de la placa electrónica de la HMI.....	139
Anexo 18 Costo de materiales	140
Anexo 19 Manual de operación y mantenimiento	141

RESUMEN

En el presente proyecto se presenta el desarrollo del diseño e implementación de una máquina bobinadora de reactancias estáticas, semiautomática, para motores eléctricos en general.

La realización de este proyecto viene motivada por la necesidad de implementar una herramienta rápida y efectiva para realizar el mantenimiento correctivo de motores eléctricos en general, disminuyendo el tiempo de trabajo y haciendo que el proceso sea más rentable.

Para proceder a diseñar tanto la estructura mecánica como la de control, se presenta un análisis minucioso del proceso de bobinado, determinando así cada una de las variables que influyen en la etapa de fabricación de las reactancias.

Para la construcción de la máquina se realizó la recolección de información respectiva de algunos elementos necesarios para así poder seleccionar el más apropiado para el diseño y construcción de la máquina.

En el proceso de diseño se presenta el cálculo y análisis de esfuerzos y fatiga en los elementos más importantes de la estructura mecánica de la máquina. Así como también el diseño de la estructura eléctrica y electrónica de control de la máquina.

Y por último se realiza un análisis de resultados obtenidos en las pruebas realizadas con sus respectivas recomendaciones.

ABSTRACT

In this project we present the development of the design of a semi-automatic winding machine electric motor stator reactance in general.

The realization of this project is motivated by the need for rapid and effective tool for performing corrective maintenance of electric motors in general, reducing labor time and making the process more cost effective.

To proceed to design both the mechanical structure as the control, presents a thorough analysis of the rewinding process, thereby determining each of the variables which influence the manufacturing stage of the reactances.

For the construction of the machine was performed respective data collection necessary elements in order to select the most appropriate for the design and construction of the winding machine.

In the design process and shows the stress analysis calculation and fatigue in the most important elements of the mechanical structure of the machine. As well as the design of electrical and electronic structure of the machine control.

And finally, an analysis of results obtained in tests with their recommendations.

PRESENTACIÓN

Donde quiera que haya progreso, la presencia del motor eléctrico es imprescindible. Desempeñando un importante papel en la sociedad, los motores son el corazón de las máquinas modernas, por esa razón es necesario conocer sus principios fundamentales de funcionamiento, desde la construcción hasta las aplicaciones (Grupo WEG, 2006).

Debido a su tiempo de operación, el tipo de carga acoplada y la calidad de sus protecciones, los motores tienen una vida útil delimitada, requiriendo así procesos de mantenimiento correctivos y preventivos.

El presente trabajo describe el diseño y la construcción de una máquina bobinadora de reactancias estáticas para máquinas eléctricas de inducción, con el objetivo de facilitar e innovar el proceso de rebobinado tradicional.

La construcción del sistema automático de la máquina toma como punto de referencia el proceso de bobinado tradicional, recopilando el proceso para realizarlo de forma automática.

Por esta razón, la finalidad de este proyecto es facilitar y mejorar el trabajo de rebobinado, aumentando la eficiencia en el proceso, generando un impacto económico en la empresa donde se lo implementará.

1 CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Los motores de inducción forman parte indispensable en un proceso de automatización, y han ganado una considerable aceptación en el mercado debido a su versatilidad, ya que su operación consiste en la interacción de los campos magnéticos del estator y del rotor, además su bajo costo, eficiencia, y porque en la actualidad cuentan con una gama de dispositivos electrónicos de potencia para control de velocidad y torque.

Frente a esto, las máquinas eléctricas se encuentran expuestas a fallas en la red de alimentación o, en los dispositivos de protección, causando daños en las reactancias estáticas de los motores o bobinas del estator.

El mantenimiento correctivo de un motor de inducción, requiere de un cambio parcial o total del devanado estático del motor, esto quiere decir el remplazo de las bobinas que forman el campo magnético para que el rotor gire y de esta manera la máquina cumpla su función.

A continuación se detalla el proceso artesanal en la elaboración del bobinado de un motor de inducción, que se utiliza en el lugar donde será implementada la máquina.

Se describen los términos técnicos de los componentes de un devanado estático de acuerdo a la información y datos obtenidos después de una larga investigación del proceso.

El análisis se ha basado principalmente en datos empíricos obtenidos del proceso artesanal dentro de las instalaciones donde se implementara la máquina.

1.2 PROCESO DE BOBINADO

Este proceso es aplicado a la elaboración de bobinas de motores de inducción de clase monofásica y trifásica de bobinado tipo imbricado y concéntrico.

En la mayoría de ocasiones el proceso se trata de rehacer una parte o todas las bobinas de acuerdo al bobinado original con su número de vueltas y calibre de conductor.

1.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DEL PROCESO DE BOBINADO

La investigación a presentarse es la elaboración de bobinas con características similares a las originales a reemplazarse. A continuación se detallara los conceptos generales que faciliten la comprensión del proceso de elaboración del bobinado o de reactancias estatóricas.

1.2.1.1 *Número de polos de un motor*

Todo motor tiene siempre un número de polos pareados (2, 4, 6, etc.). La relación que existe entre la velocidad nominal del motor y el número total de polos está dada por la Ecuación 1.1.

Ecuación 1.1 Número de polos

$$P = \frac{120 * f}{n}$$

dónde:

P = Numero de polos

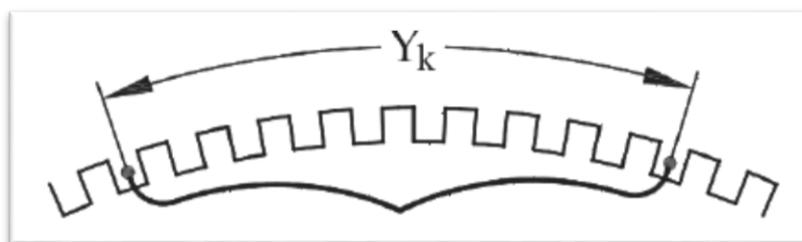
f = Frecuencia (Hz)

n = Velocidad (rpm)

1.2.1.2 *Paso de bobina (Y_k).*

Es el número de ranuras del estator que hay entre los dos lados de una bobina como se describe en la Figura 1.1.

Figura 1.1 Paso de bobina

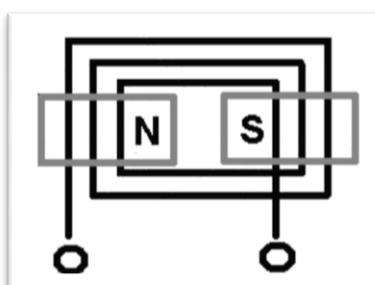


Fuente: Enríquez G. (2003), Manual de electricidad industrial. México. Cap. 6, Pág. 231.

1.2.1.3 Bobinado Concéntrico

Está conformado por dos o más bobinas ubicadas sucesivamente unas dentro de las otras pero separadas internamente, la Figura 1.2 muestra un ejemplo de bobinado concéntrico con tres bobinas internas. En este tipo de bobinado los pasos de las bobinas internas van aumentando a medida que se acercan a la bobina exterior.

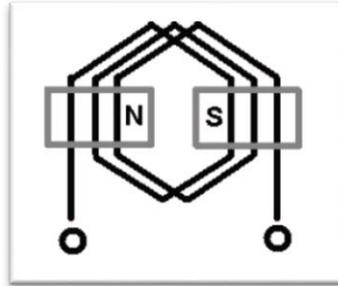
Figura 1.2 Bobinado concéntrico.



1.2.1.4 Bobinado Excéntrico o Imbrincado

Están elaborados con bobinas de igual tamaño, es decir el número de ranuras que existe entre dos lados de las bobinas son los mismos para cada una de las bobinas internas.

Una bobina excéntrica puede tener dos o más bobinas internas como se aprecia en la Figura 1.3.

Figura 1.3 Bobinado excéntrico.

1.2.1.5 Recolección De Datos

Para la fabricación de nuevas bobinas es necesario recolectar datos (calibre del alambre, número de vueltas, tipo de bobinado, el número de ranuras y polos), esto se realizará mediante revisión ocular, además de las pruebas de diagnóstico del correcto estado del aislante del bobinado. Este paso es importante para la elaboración de las nuevas bobinas y el correcto funcionamiento del motor con el nuevo devanado a realizarse.

Terminado el reparado del bobinado es necesario comparar las características eléctricas del motor, con la placa de fabricación y verificar que los valores sean similares para garantizar el correcto funcionamiento del motor. La Tabla 1.1 presenta un ejemplo de los datos a tomar de las bobinas y del motor.

Tabla 1.1 Características del bobinado.

Características	Medida
Tensión nominal	Voltaje (V.)
Tipo de conexión	Estrella (Y) o delta (Δ)
Corriente a plena carga	(A.)
Velocidad nominal	(rpm)
Numero de ranuras	12, 24, 36,..
Número de polos	2, 4, 6,..
Tipo de bobinado	Imbrincado, concéntrico
Número de bobinas	2, 4, 6,..
Número de pasos por bobina	4, 8, 12,..
Número de vueltas por bobina	
Calibre del cable	# AWG

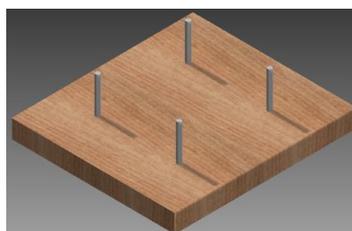
1.2.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL DEVANADO.

A continuación se detalla los pasos para la elaboración tanto de las bobinas concéntricas como imbrincadas, además también el proceso de aislamiento y barnizado.

1.2.2.1 *Elaboración del molde*

Una vez recolectados los datos del bobinado a reemplazar, el técnico preparara el estator, removiendo el bobinado defectuoso y colocando aislante nuevo. Para la elaboración de las bobinas mediante el proceso manual es necesario elaborar un molde en forma de rectángulo en donde se alojaran las espiras. Las dimensiones del molde dependen de las dimensiones de las bobinas a reemplazar. El rectángulo que más se acople es el que se utilizará como medida para elaborar las bobinas. La Figura 1.4 muestra un molde elaborado con una base de madera y cuatro soportes formando un rectángulo.

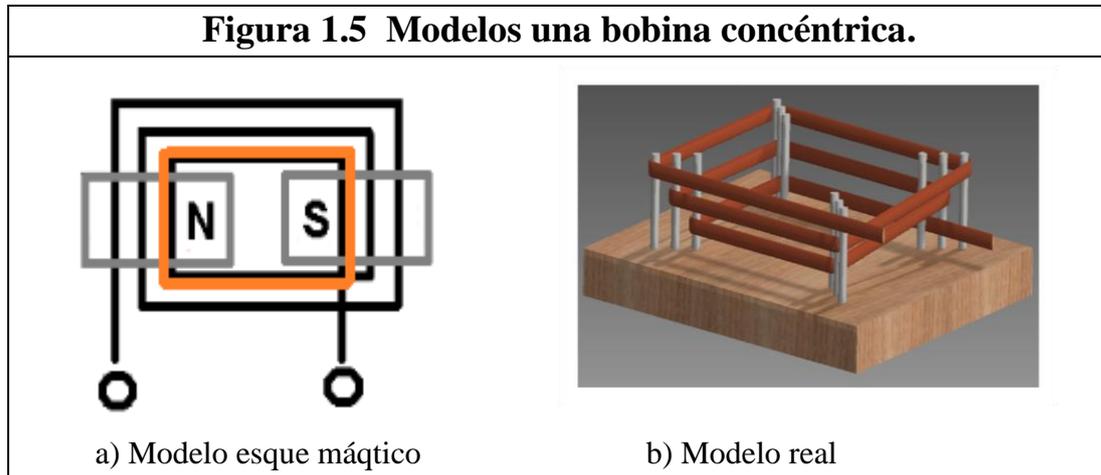
Figura 1.4 Molde para elaborar bobinas.



1.2.2.2 *Elaboración de bobinas concéntricas*

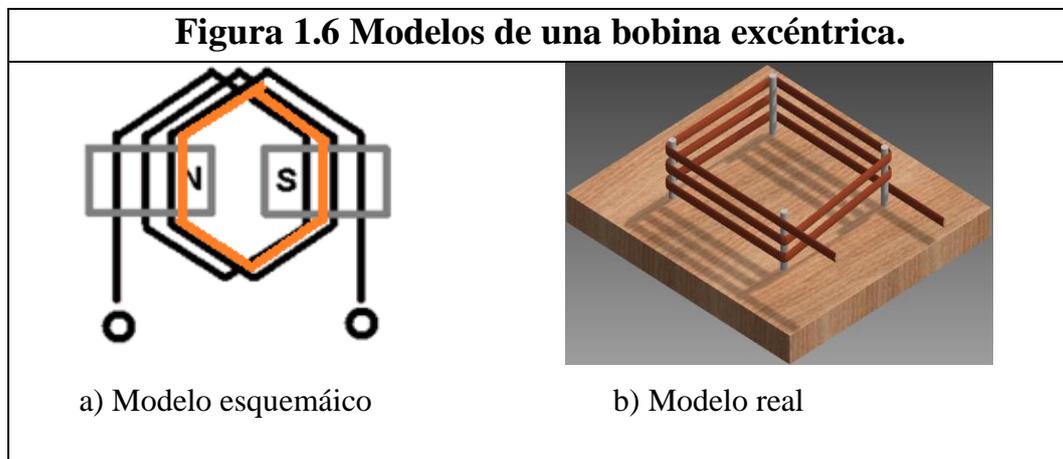
Para elaborar la bobina concéntrica, se utiliza cuatro soportes metálicos, por cada grupo de la bobina que son separados de acuerdo a la medida tomada de la bobina original como muestra la figura 1.5 (a).

El modelo de una bobina concéntrica real compuesta por tres bobinas internas, donde las bobinas están dispuestas de manera alternada concéntrica, inmersa la una dentro de la otra se muestran en la figura 1.5 (b).



1.2.2.3 Elaboración de bobinas excéntricas.

De la misma forma, las bobinas excéntricas se elaboran con la medida de la bobina original y es la que separa los moldes realizados de los soportes para cada grupo de la bobina. Al ser igual distancia para cada grupo, el técnico utiliza el mismo número de soportes que son separados por grupos en cada cierto número de vueltas, dependiendo del número de vueltas de las bobinas originales.



La figura 1.6 (a) muestra el esquema teórico de una bobina excéntrica, mientras que la figura 1.6 (b) muestra una bobina excéntrica real.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El proceso de elaboración de las bobinas o reactancias estáticas se ejecuta de manera manual o artesanal encontrándose problemas como:

La forma de las bobinas elaboradas no son simétricas, y además la longitud de las espiras consecuentes se toma de forma intuitiva, generando desperdicios de materia prima.

Al elaborar las bobinas se pueden alterar el número real de estas, ya sea por distracción u otro tipo de causas que alteran las características del motor y disminuye su eficiencia.

El tiempo estimado en terminar el trabajo se extiende, generando inconvenientes al no cumplir con los tiempos de entrega establecidos. De esta manera también se extienden las horas de trabajo del técnico, por ende proceso de rebobinado se torna menos rentable.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina semiautomática para elaborar reactancias estáticas para motores eléctricos, y facilitar el proceso de mantenimiento correctivo.

1.3.1.1 Objetivos específicos

- Implementar un circuito electrónico con interfaz gráfica táctil, que permita automatizar el proceso de elaboración de reactancias estáticas desde un microcontrolador.
- Crear un mecanismo que permita elaborar bobinas de una determinada longitud.

- Diseñar un sistema de control de velocidad, para controlar el proceso de bobinado.
- Identificar las variables requeridas en el proceso, para el cálculo, diseño y selección de los elementos y dispositivos a utilizar.
- Crear un software que permita almacenar los datos de las bobinas elaboradas para su posterior utilización.
- Realizar un manual de operación para facilitar el manejo de la máquina a los operarios.

1.3.2 JUSTIFICACIÓN.

Aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería en Mecatrónica, en el diseño e implementación de una máquina, que tiene como objeto automatizar un proceso artesanal.

El subsanar inconvenientes encontrados en el proceso artesanal como; el excesivo tiempo utilizado en la producción del bobinado, el desperdicio de materia prima, y la necesidad de maximizar la eficiencia en el proceso de mantenimiento correctivo y preventivo de máquinas eléctricas.

Aplicar una metodología experimental de modelamiento de sistemas de control es una herramienta muy importante en el día a día de una industria.

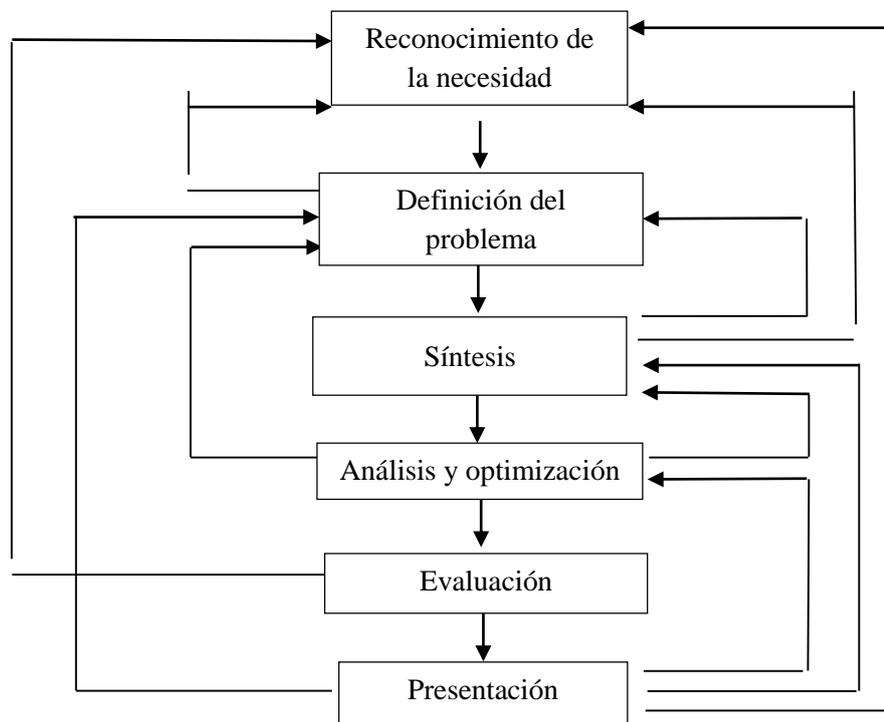
1.3.3 METODOLOGÍA.

El proceso de diseño, de principio a fin se bosqueja en el Diagrama 1.1. Después de algunas iteraciones, análisis y optimización previa, se termina con la presentación de los planos para satisfacer la necesidad.

Budynas R. y Nisbett K. 2008, dice que, de acuerdo con la naturaleza de diseño, algunas fases de este pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación.

Empezando desde el reconocimiento de la necesidad hasta la fase final que es la presentación del proyecto en cuestión.

Diagrama 1.1 Fases del proceso de diseño.



Fuente: Budynas R., Nisbett K. (2008), Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México. Cap. 1, Pág. 6.

1.3.4 ALCANCE

En el diseño y construcción de la máquina para elaborar reactancias estáticas para motores eléctricos de inducción, se realiza; análisis, cálculos, simulaciones y planos en base a los planteamientos propuestos.

La máquina cuenta con características que ofrecen un proceso automatizado, las cuales se puntualizan continuación.

Para detectar la presencia del conductor de cobre, se acoplará a la máquina un sensor de tal manera que detecte el corte del conductor y el microcontrolador detenga el proceso de bobinado. La máquina cuenta con un sensor de fin de carrera, acoplado a un lado de la compuerta, de tal manera que el microcontrolador detecte cuando se abre la compuerta, este a su vez envía la señal respectiva al variador para detener el proceso, y así evitar accidentes.

Para detectar cada revolución del mecanismo de bobinado, se utilizó un sensor inductivo con salida de transistor, permitiendo un el conteo exacto en cada proceso.

Se integraran moldes y porta moldes ajustables y ensamblados a un par de tornillos sin fin gobernados por un motor respectivamente.

La distancia entre los moldes se controla mediante un sensor de posición acoplado a su estructura, para que el microcontrolador posicione los moldes a la distancia requerida.

La interfaz hombre máquina táctil, enlazada al microcontrolador, permite digitar los parámetros de las bobinas a elaborar; el número de espiras por grupo y la longitud de la bobina. Esta interfaz permite visualizar el conteo del enrollamiento del conductor de cobre en los moldes.

El microcontrolador utiliza el protocolo RS232 para enviar los datos de las bobinas a un computador, en donde serán almacenados en un programa para su posterior utilización

La máquina cuenta con un variador de frecuencia, el cual tiene incorporado la función de control de velocidad, que permitirá controlar su operación dentro en un rango determinado.

2 CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN.

A continuación, se da una breve descripción del funcionamiento teórico y del modelo matemático de un motor eléctrico de inducción, además se describe la base teórica de sistemas de control clásico. Se describen también los distintos tipos de máquinas bobinadoras existentes y los elementos a utilizar en la implementación de la máquina.

2.2 MOTORES ASÍNCRONOS O DE INDUCCIÓN

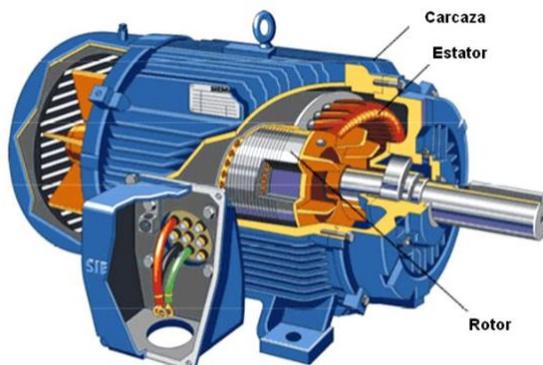
El descubrimiento original fue publicado en 1888 por el profesor Galileo Ferraris en Italia y por Nikola Tesla en los EE.UU. Ambos diseños de motores asíncronos se basan en la producción de campos magnéticos giratorios con sistemas bifásicos, es decir utilizando dos bobinas a 90° alimentadas con corriente de cuadratura.

Desgraciadamente, el motor bifásico de Ferraris tenía un circuito magnético abierto y un rotor en forma de disco de cobre, por lo que desarrollaba una potencia muy baja y no tenía interés comercial. Sin embargo Nikola Tesla, que dio a conocer su motor dos meses más tarde que Ferraris, utilizó devanados concentrados tanto en el estator como en el rotor logrando un motor más práctico, y de ahí que se considere a Tesla el inventor de este tipo de máquinas (Mora, 2003).

Las partes que constituyen un motor son básicamente el estator, que es en donde se aloja el bobinado debidamente aislado, y el elemento móvil, el rotor, Figura 2.1.

Los motores de inducción utilizan un rotor tipo jaula de ardilla. Como su nombre lo indica consiste en una serie de barras conductoras cortocircuitadas en sus extremos de tal manera que su forma en conjunto es similar a la rueda de los hámsters.

Figura 2.1 Motor de inducción.



2.2.1 OPERACIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.

El funcionamiento de un motor de inducción consiste en que “al aplicar al estator un conjunto trifásico de voltajes, un conjunto trifásico de corrientes estáticas que producen un campo magnético \mathbf{B}_s , que rota en dirección a las manecillas del reloj.” (Chapman, 2002, p. 391). Las corrientes aplicadas se encuentran desfasadas 120° .

“Este flujo giratorio inducirá f.e.m. en los conductores del rotor, y si esta su circuito eléctrico cerrado, aparecerán corrientes que reaccionaran con el flujo de estator.” (Fraile Mora, 2003, p. 264).

De acuerdo a la ley de Faraday, la f.e.m. inducida en un conductor de longitud L que se mueve a la velocidad \mathbf{V} dentro de un campo \mathbf{B} tiene un valor:

Ecuación 2.1 F.E.M. inducida en un conductor.

$$e_{ind} = (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) * L$$

donde:

V = velocidad de la barra.

B = vector de densidad de flujo magnético.

L = longitud del conductor en el campo magnético.

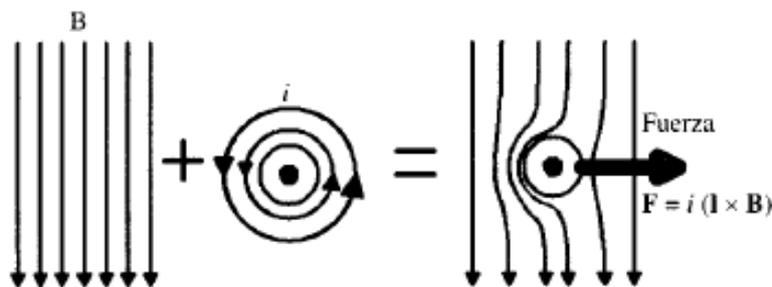
“Al circular corriente por los conductores del rotor, aparecerá en los mismos una fuerza cuyo sentido se obtiene aplicando la conocida ley vectorial (Ley de Laplace.)” (Fraile Mora, 2003).

Ecuación 2.2 Ley de Laplace.

$$F = i * (I \times B)$$

Esta fuerza se aplica directamente en los dientes del rotor, como consecuencia de la interacción de los campos magnéticos del estator y del rotor, como se muestran en la Figura 2.2.

Figura 2.2 Interacción de los campos del estator y del rotor.



Fuente: Fraile Mora, J. (2003). *Máquinas Eléctricas*. Madrid: McGraw-Hill. cap. 4. pág 266.

2.2.2 POTENCIA EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN ¹

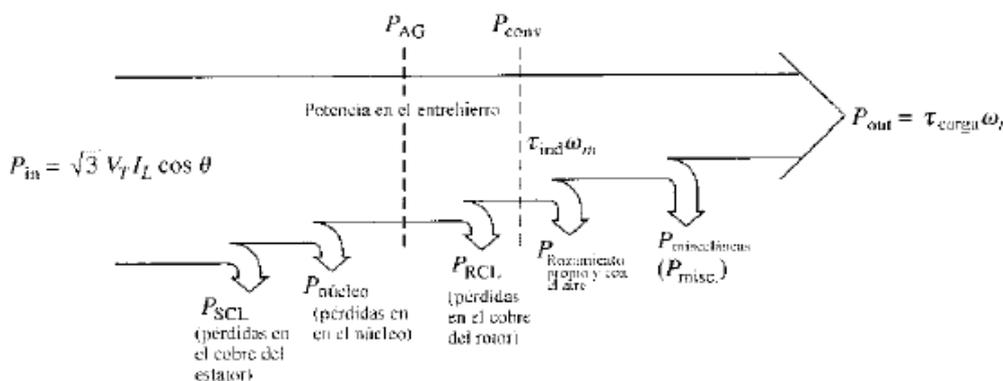
La potencia de entrada al motor de inducción P_{in} se presenta en forma de voltajes y corrientes eléctricas. Las primeras pérdidas encontradas en la máquina son I^2R en los devanados del

¹Chapman S. J. (2002). *Máquinas eléctricas*. Madrid. cap.7. pág. 403

estator (pérdidas en el cobre del estator P_{SCL}), luego, alguna cantidad de potencia se pierde por histéresis y por corrientes parásitas en el estator ($P_{núcleo}$). La potencia remanente en este punto se transfiere al rotor de la maquina a través del entrehierro situado entre el rotor y el estator. Esta potencia es llamada potencia en el entre hierro P_{AG} de la máquina.

Después que la potencia ha sido transferida al rotor, algo de ella se disipa como perdidas I^2R (Perdidas en el cobre del rotor P_{RCL}) y la restante se convierte en potencia eléctrica mecánica (P_{conv}). Por último, las perdidas por rozamiento propio y por rozamiento con el aire ($P_{P\&W}$) y las pérdidas misceláneas P_{misc} se restan. La potencia restante es la de salida del motor P_{out} .

Figura 2.3 Flujo de potencia de un motor de inducción.



Fuente: Chapman S. J. (2002). Máquinas eléctricas. Madrid. Cap.7. Pág. 403

La fórmula para determinar la potencia de eléctrica o de entrada en un motor de inducción es:

Ecuación 2.3 Potencia de eléctrica en un motor de inducción.

$$P_{in} = \sqrt{3} * V_T * I_L * \cos\theta \quad [W]$$

donde:

V_T = voltaje total

I_L = corriente de línea

θ = factor de potencia

La potencia de salida o potencia mecánica en un motor de inducción se determina a partir de la Ecuación 2.4.

Ecuación 2.4 Potencia mecánica en un motor de inducción.

$$P_{out} = \tau_{ind} * \omega_m$$

donde:

τ_{ind} = par inducido

ω_m = velocidad angular

2.3 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control han tomado una vital importancia en los procesos industriales, utilizándolos en distintos procesos, como en el control de; presión, temperatura, flujo, velocidad posición entre otros. Casi todos los sistemas de control industriales utilizan como fuente de energía la electricidad o un fluido presurizado y se pueden clasificar según su operación, como neumáticos hidráulicos o eléctricos.

2.3.1 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.

La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero (Ogata, 1998).

Ecuación 2.5 Función de transferencia

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}[salida]}{\mathcal{L}[entrada]}$$

Fuente: Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México. Prentice-Hill. 3ra ed. Cap. 1. Pág. 60

Ogata (1998) indica que "la aplicación del concepto de función de transferencia está limitada a los sistemas descritos mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes con el tiempo. Sin embargo, el enfoque de la función de transferencia se usa extensamente en el análisis y diseño de dichos sistemas".

Al hablar de un sistema invariante en el tiempo estamos hablando que las características de ese sistema se mantienen durante la operación del sistema, lo que no sucede al tratar con sistemas que incluyen motores eléctricos, ya que la resistencia de sus bobinas cambia conforme aumenta la temperatura del motor.

Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, puede establecerse experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Una vez establecida una función de transferencia, proporciona una descripción completa de las características dinámicas del sistema, a diferencia de su descripción física. (Ogata 1988)

En el sistema de control se optara por determinar una función de transferencia mediante un método experimental ya que se trata de sistemas de ecuaciones que varían en el tiempo y además la determinación de los parámetros del motor está fuera del alcance de este trabajo.

2.3.2 CONTROLADOR PI

En el presente trabajo se analiza el comportamiento del controlador PI ya que es el que permitirá realizar el lazo de control de velocidad del proceso de bobinado.

Un controlador PI está formado por una parte proporcional y una parte integral. La acción proporcional reduce el error en estado estable pero no lo elimina, mientras que la acción integral elimina el error en estado estable pero puede conducir a una respuesta oscilatoria de amplitud decreciente. Está definida por la Ecuación 2.6.

Ecuación 2.6. Controlador PI.

$$u(t) = k_p + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

donde:

k_p = constante proporcional

T_i = constante integral

2.3.3 REGLAS DE SINTONIZACIÓN PARA CONTROLADORES.

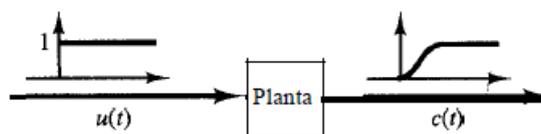
Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID (Ogata, 1998).

2.3.3.1 Método de la respuesta en escalón de Ziegler y Nichols.

Uno de los métodos de sintonización de controladores PID es el método de respuesta en escalón.

Como se observa en la Figura 2.4, al someter a la planta a una entrada escalón unitario, se obtiene su respuesta de manera experimental.

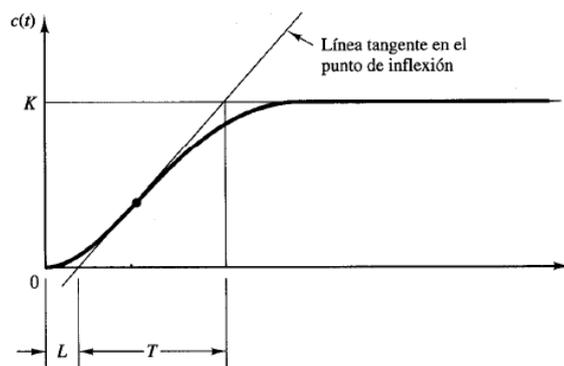
Figura 2.4 Respuesta escalón unitario de una planta



Fuente: Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México. Prentice-Hill. 3ra ed. Cap. 10. pág. 671.

Este método es utilizable en respuestas en forma de **S**. "La curva en forma de **S** se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo **L** y la constante de tiempo **T**. El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de **S** y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t)=K$ ". (Ogata 1998), como se observa en la Figura 2.5.

Figura 2.5 Curva de respuesta con forma de S



Fuente: Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México. Prentice-Hill. 3ra ed. Cap. 10. Pág. 670.

En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte como se muestra en la Ecuación 2.7.

Ecuación 2.7. Función de transferencia de primer orden²

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Donde:

² Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México. Prentice-Hill. 3ra ed. Cap. 10. pág. 671.

L = tiempo de retardo

T = constante de tiempo

Los valores de K_p , T_i y T_d se obtienen de las formulas correspondientes detalladas en la Tabla 2.1 sugerida por Ziegler y Nichols.

Tabla 2.1 Regla de sintonización basada en la respuesta escalón de la planta.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{r}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{r}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PIDE	$1.2 \frac{T}{r}$	$2 L$	$0.5 L$

Fuente: Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México. Prentice-Hill. 3ra ed. Cap. 10. pág. 672.

Por lo tanto el controlador PI está dado por la Ecuación 2.8 Controlador PI.

Ecuación 2.8 Controlador PI

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

donde:

K_p = ganancia proporcional

T_i = ganancia integral

2.4 TIPOS DE MÁQUINAS BOBINADORAS

La tecnología actual ha permitido la creación de varias máquinas que facilitan el proceso de producción de motores eléctricos, que van desde la fabricación de la estructura mecánica hasta la elaboración del bobinado. De los diferentes tipos de máquinas que encontramos en el

mercado podemos clasificarlas en tres tipos; maquinas manuales, maquinas semiautomáticas, y automáticas, a continuación se detallan cada una de estas.

2.4.1 MÁQUINAS BOBINADORAS MANUALES.

Son máquinas bobinadoras de campos que funcionan sin el uso de algún elemento eléctrico o electrónico en donde el operario es quien ejecuta la acción del bobinado utilizando una polea acoplada a una manivela y un juego de moldes.

La separación de los moldes es regulable, permitiendo elaborar bobinas para varios de motores. La Figura 2.6 muestra un ejemplo de una bobinadora manual.

Figura 2.6 Bobinadora manual de campos.



Fuente: www.bobinadorasgmr.com.ar

2.4.2 BOBINADORAS SEMIAUTOMÁTICAS.

Este tipo de máquinas cuentan con un accionamiento por motor de inducción de ½ hp de 1400 rpm monofásico o trifásico para generar la acción de bobinado, permite velocidades de; 100 a 900 r.p.m. regulable mediante un sistema de poleas, acoplado a una freno de pedal. Cuentan con un contador digital de 4 cifras. Tienen una regla de regulación de moldes de alto impacto,

grabada. Poseen, además una porta-carrete de pie. Son semiautomáticas debido a que cuenta con una guía de alambre manual, a través de soporte (pistola) para no tener contacto directo con el alambre.

Figura 2.7 Bobinadora semiautomática de campos modelo BMM79



Fuente: www.bobinadorasgmr.com.ar

2.4.3 BOBINADORAS AUTOMÁTICAS.

Este tipo de máquinas tiene varias prestaciones para diferentes bobinados. Son utilizadas para bobinado de transformadores de conductor de cobre rectangular de alta capacidad. Cuentan con un sistema de control de velocidad en lazo cerrado. Este tipo de máquinas son utilizadas para grandes cantidades de producción en línea. Entre sus especificaciones principales podemos detallar las siguientes:

- Potencia de tracción para bobinas de dos o más hilos de cobre.
- Asistente por software permite al operario configurar y monitorear el proceso.
- Permite trabajar con hilos rectangulares, usados para elaborar bobinas de transformadores.
- Ajuste automático de tamaño de bobina.

- Guía automática de hilo para asegurar un devanado en capas perfecto.
- Tensor de hilo automático para determinar la fuerza que se está ejerciendo sobre el hilo.
- Procedimiento de atadura rápida
- Medida de Seguridad que impide el contacto con las piezas móviles.
- Banco de datos de las especificaciones de las bobinas. Cada vez que se realiza un nuevo bobinado, la maquina almacena sus datos la memoria para que se los pueda utilizar nuevamente.
- Una alarma de falta de hilo. En caso de rompimiento del hilo de cobre, la maquina emite una alarma para que el operario intervenga en el proceso y repare el daño.

La Figura 2.8 muestra un ejemplo de máquina bobinadora automática.

Figura 2.8 Bobinadora automática.



Fuente: www.intertecequip.com.br/produtos/eletro_eletronica4.html

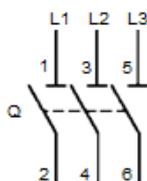
2.5 ELEMENTOS DE ACCIONAMIENTO

Dentro de la teoría eléctrica se pueden mencionar varios dispositivos de accionamiento y protección que a continuación se detallan.

2.5.1 SECCIONADOR

Es un dispositivo que sirve para interrumpir el flujo de corriente desde la fuente hacia la carga. El seccionamiento consiste en aislar eléctricamente una instalación o circuito eléctrico de la red de alimentación eléctrica, dejando dicha instalación o circuito sin carga o en el vacío.

Figura 2.9 Seccionador



El seccionamiento se puede realizar con; un seccionador, un interruptor seccionador o un disyuntor. La Figura 2.9 muestra el símbolo eléctrico de un seccionador.

Los parámetros necesarios para dimensionar un seccionador son:

- Corriente nominal.

Especifica la corriente de trabajo para la que fue fabricado el dispositivo.

- Tensión de trabajo.

Tensión para la cual fue fabricado, pueden ser de 220V o 440V.

- Número de polos.

Es el número máximo de conductores que puede seccionar el dispositivo.

- Poder de corte.

Es la corriente máxima que puede soportar el dispositivo, sin ningún daño.

- Poder de cierre.

Es la intensidad máxima que puede circular por los terminales del dispositivo al momento del cierre sin que este sufra daño.

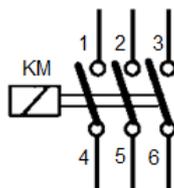
2.5.2 CONTACTOR.

El contactor es un dispositivo electromecánico de mando, que actúa de forma similar a un interruptor, y puede ser gobernado a distancia a través del electroimán que lleva incorporado. Se acciona al alimentar los terminales de la bobina que sirve como un electro imán, uniendo sus contactos internos. El contactor lleva como elementos esenciales:

- Contactos principales
- Contactos auxiliares
- Bobina de accionamiento

La Figura 2.10 muestra el esquema eléctrico de un contactor, su nomenclatura especifica los terminales; 1, 2, 3, como entradas, y los terminales; 4, 5, 6, para las salidas y la bobina como 'KM' añadiendo un subíndice numeral.

Figura 2.10 Contactor



Las características que permiten dimensionar este dispositivo son:

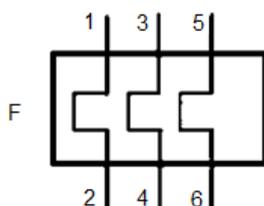
- Categoría de empleo.
- Baja tensión o alta tensión.

- Corriente alterna AC o directa DC.
- La tensión de alimentación de la bobina.
- La potencia nominal de la carga.
- El número de contactos auxiliares.
- Numero de maniobras.

2.5.3 RELÉ TÉRMICO.

Son aparatos esencialmente utilizados para la protección de sistemas eléctricos contra excesos repentinos de corriente, sobre un determinado valor, abriendo automáticamente sus contactos al detectar un exceso de corriente, una vez detectado el problema, se puede conmutarlo a su estado de trabajo normal. La Figura 2.11 muestra el esquema eléctrico de este dispositivo y sus terminales.

Figura 2.11 Relé térmico



Este es un dispositivo muy importante al momento de trabajar con motores en un circuito eléctrico, ya que proporciona protección contra sobrecargas prolongadas. Dispone de un potenciómetro para regular la intensidad de protección, además de un botón de prueba STOP y otro de RESET.

Características:

- Ajuste de corriente desde por potenciómetro
- Autoalimentado.
- Reset manual/automático

- Contactos independientes NA/NC
- Indicador de disparo visible.

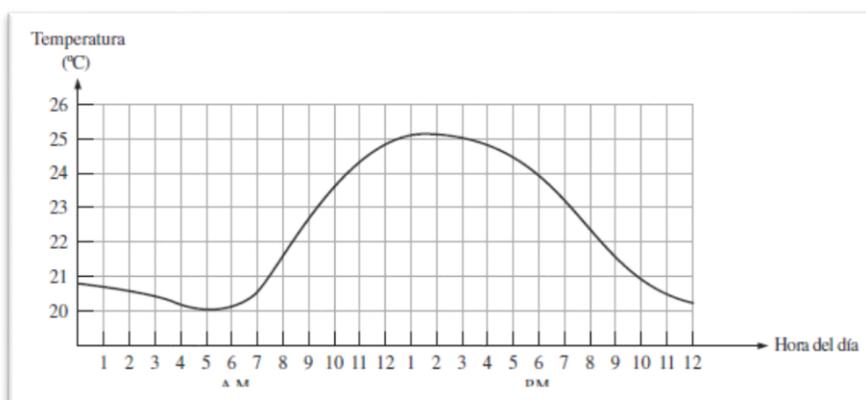
2.6 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

Dentro de la teoría electrónica se mencionan; las señales analógicas, las señales digitales. Microcontroladores, sensores, interfaces de operario y accionadores electrónicos, estos elementos se analizan a continuación.

2.6.1 ELECTRÓNICA ANALÓGICA.

La electrónica analógica estudia las señales eléctricas continuas. Es decir que en todo el intervalo de tiempo que existe la señal se pueden obtener sus valores correspondientes como se indica en la Figura 2.12. La mayoría de magnitudes físicas que se pueden medir en la naturaleza las podemos transformar en señales analógicas de voltaje o amperaje. Como ejemplos de magnitudes físicas tenemos; la luz, la velocidad, la presión, la temperatura.

Figura 2.12 Grafica de una señal analógica.



Fuente: Floyd T. (2006), Fundamentos de sistemas digitales. Madrid. Cap. 1, Pág. 4

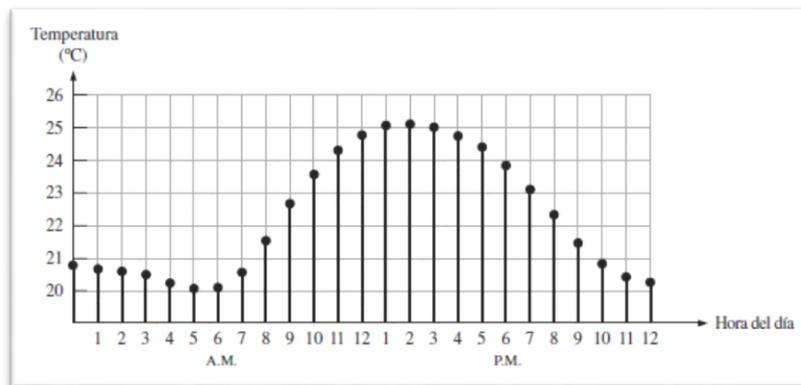
2.6.2 ELECTRÓNICA DIGITAL.

La electrónica digital es la ciencia que permite digitalizar las señales analógicas, transformarlas en un código digital, para así poder almacenar y procesar.

Estas señales, a diferencia de las señales analógicas, son en forma de pulsos que responden a un determinado periodo de tiempo, la Figura 2.13 muestra una señal digitalizada.

A medida que el periodo de tiempo es más corto entre cada pulso tendremos mayor resolución de la señal y esta se asemejará más a la señal analógica original.

Figura 2.13 Grafica de una señal digital.



Fuente: Floyd T. (2006), Fundamentos de sistemas digitales. Madrid. Cap. 1, Pág.

2.6.3 MICROCONTROLADOR.

Todo sistema embebido o de automatización consta de un dispositivo de control, microcontrolador, y sus respectivos sensores y actuadores, que le permiten al dispositivo de control, comunicarse con el entorno en el que se encuentra. En este apartado se hablara del microcontrolador en general, el cual cuenta con los elementos básicos de un computador que son;

- Memoria RAM, para almacenar la información a procesar.
- Puertos de entrada y salida, que le permiten comunicarse con otros dispositivos.

- Buses de datos, le permiten comunicar entre sí a sus elementos internos.
- Procesador, controla la ejecución y los tiempos de cada una de las instrucciones.
- Unidad aritmética lógica, realiza los cálculos de los datos a procesar.

Existen distintas familias de microcontroladores que se clasifican según sus funcionalidades, se analiza a continuación los microcontroladores de la gama enana, la gama media y la gama alta.

2.6.3.1 Gama enana.

Son microcontroladores que cuentan con las características básicas, con encapsulado de 8 pines. Su juego de instrucciones es de 33 de 12 bits.

Figura 2.14 Microcontrolador de gama baja PIC12F629



2.6.3.2 Gama media.

Comprende al conjunto más variado de microcontroladores, se encuentran encapsulados de 18 a 68 pines. Su conjunto de instrucciones llega a 35.

Figura 2.15 Microcontrolador de gama media PIC 18F4550



2.6.3.3 Gama alta.

Su número de instrucciones llega a 58, adaptados con un gran número de características, cada instrucción tiene 16 bits.

Figura 2.16 Microcontrolador de gama alta DSP



Son utilizados en aplicaciones que requieren grandes prestaciones, como sistemas embebidos, tarjetas de adquisición de datos, PCs industriales, entre otras.

2.6.4 SENSORES.

El termino sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Por ejemplo, para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura y el sensor transforma una entrada de temperatura en un cambio de la resistencia (Bolton, 2010). El comportamiento de los sensores está delimitado por sus características que se detallan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Características de los sensores

Características de los sensores
Rango de margen
Exactitud
Sensibilidad
Error por histéresis
Error por no linealidad
Repetitividad
Estabilidad
Banda tiempo muerto
Resolución
Tiempo de respuesta

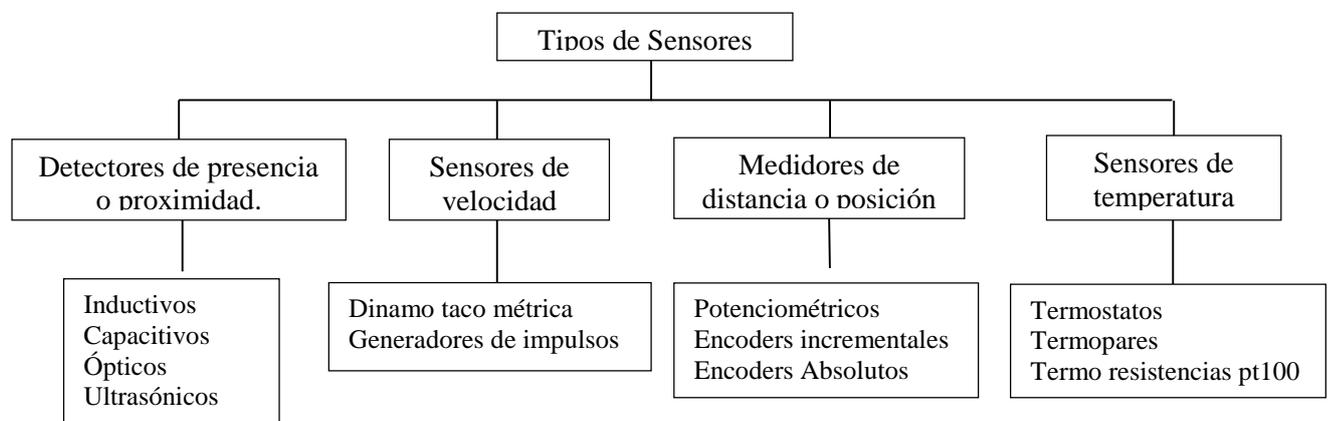
Tiempo de estabilización

Fuente: Bolton W. (2010). Mecatrónica. México. Cap. 2, Pág. 17.

2.6.4.1 Tipos de sensores.

Según (Balcells & Romeral, 1997), los sensores se clasifican según la magnitud física que van a censar y la forma en que censan esta magnitud, el Diagrama 2.1 resume los distintos tipos de sensores existentes.

Diagrama 2.1 Tipos de sensores.



2.6.5 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.

HMI en sus siglas en inglés; Human Machine Interface, son terminales electrónicos utilizados para supervisar y controlar los procesos industriales. Inicialmente empezaron como paneles donde se colocaban figuras de los procesos de las plantas y, lámparas o focos hacían el papel de informar el estado de los actuadores, depósitos o sensores.

Están formados principalmente por una pantalla grafica LCD (display de cristal líquido) o también TFT (Transistor de Película Fina), procesador, memoria RAM y memoria Flash, teclado de membrana o touch panel, puerto de comunicaciones; RS232/485, Ethernet o Profibus para transmitir las señales de los procesos que provienen de los controladores como

pueden ser PLC's, RTU's, Variadores de frecuencia, tarjetas electrónicas, entre otros, su voltaje de alimentación es de 21 a 25V.

Figura 2.17 Interfaz hombre maquina



2.6.6 TIPOS DE HMI.

Básicamente se diferencian en dos grupos:

- Los terminales de operador; comprenden los paneles de membrana, paneles táctiles, terminales de supervisión móvil.
- PC + software HMI; son sistemas en donde una PC interviene un software diseñado para supervisar y controlar un proceso, permiten entre otras cosas supervisión web.

2.6.7 PROPULSORES DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA³

La velocidad y el par motor de los motores de inducción se pueden variar mediante uno de los siguientes procedimientos

2.6.7.1 *Control de voltaje del estator*

El par de salida en un motor es proporcional al cuadrado del voltaje de alimentación.

³ Muhammad R. Electrónica de Potencia. Pág. 541. Cap. 15

2.6.7.2 Control de voltaje del rotor.

En los motores que utilizan rotor devanado que se suele conectar resistencias externas trifásicas a los anillos de deslizamiento. Si varía la resistencia, puede variarse el par motor desarrollado. Sin embargo se trata de un método ineficiente, si las resistencias en el rotor no son iguales, existirán desequilibrios en los voltajes y corrientes.

2.6.7.3 Control de frecuencia

El par motor y la velocidad de los motores de inducción pueden controlarse modificando la frecuencia de alimentación. A un valor de voltaje y frecuencia especificado, el flujo es también el valor especificado.

Si el voltaje se mantiene fijo y su valor especificado, en tanto se reduce la frecuencia por bajo de su valor, el flujo aumenta, esto causa saturación del flujo en el entre hierro y los parámetros no son válidos en la determinación de las características para el motor-velocidad. Si la frecuencia se incrementa por arriba de su valor especificado, el flujo y el par motor se reducen.

2.6.7.4 Control de voltaje y frecuencia del estator

Si se mantiene constante la relación entre voltaje frecuencia, el flujo se mantienen constante. El par motor máximo, que es independiente de la frecuencia, se puede mantener aproximadamente constante. Sin embargo a una baja frecuencia, el flujo se reduce en el entre hierro, debido a la reducción de la impedancia del estator, y el voltaje debe incrementarse para mantener el nivel del par del motor. Este tipo de control se conoce como control volts/Hertz.

Por lo tanto, al variar tanto el voltaje como la frecuencia, es posible controlar el par motor y la velocidad. Normalmente el par motor se mantiene constante, en tanto se varía la velocidad.

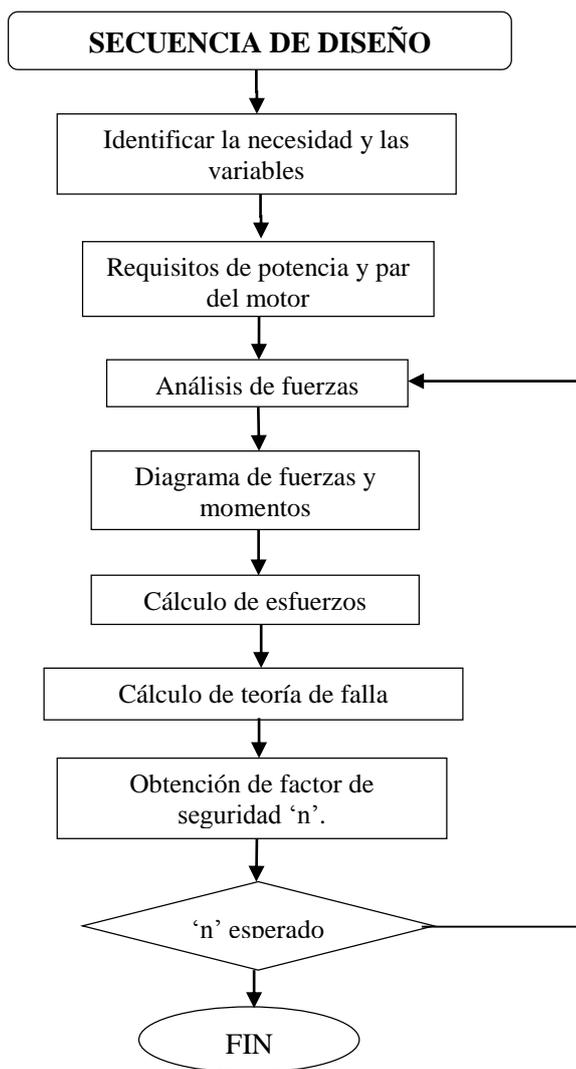
3 CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DE LA MÁQUINA

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dimensionan y se seleccionan los elementos mecánicos de la máquina. Se calcula la potencia necesaria del motor para generar el par necesario en el proceso de bobinado. Para el diseño de la estructura mecánica, se analizó los puntos en los que se ejerce una mayor cantidad de esfuerzo.

Diagrama 3.1 Diagrama de flujo del proceso de diseño.



El Diagrama 3.1 muestra el proceso general de diseño a seguir para dimensionar los elementos mecánicos. Para reducir tiempo de diseño y número de iteraciones, necesario para el dimensionamiento de ciertos elementos de la máquina, se utilizó la ayuda de la herramienta de análisis de esfuerzos de Inventor, que utiliza a teoría de análisis de elementos finitos (FEA). Esta teoría divide la estructura a analizar en pequeñas subestructuras o elementos, al emplear funciones polinomiales, en conjunto con operaciones matriciales, las cargas se pueden aplicar en los nodos de cada elemento.

Un nodo posee grados de libertad de rotación y traslación. Una vez que cada nodo este definido localmente en forma matricial, entonces los elementos se ensamblan en una matriz global. Entonces mediante operaciones matriciales se puede determinar las tenciones y esfuerzos por medio de ecuaciones de elasticidad.

3.2 CONDICIONES ERGONÓMICAS DEL PUESTO DE TRABAJO

Se definen las características dimensionales de la máquina, partiendo de tres condiciones:

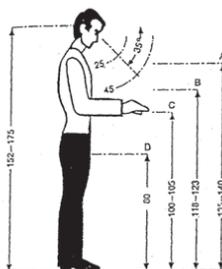
- Ergonomía de un puesto de trabajo en el área industrial.
- Medidas propuestas del tamaño máximo de bobinas a elaborar.
- Variables utilizadas en la elaboración de bobinas estáticas.

A continuación se procede a dimensionar el tamaño de la máquina de acuerdo a medidas estándar de operarios en una estación de trabajo.

3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.

Por las dificultades del tipo práctico, es recomendable estructurar la altura de trabajo, según los valores promedio de las personas (152-175). En la Figura 3.1 se muestran los valores índices para la posición de trabajo de pie.

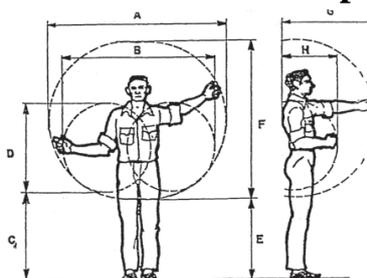
Figura 3.1 Altura de trabajo en posición de pie.



Fuente: Melo J. L. (2009) Guía para la evaluación de un puesto de trabajo. Cap. 3 Pág. 49

La Figura 3.2 muestra la zona de alcance de los brazos en el trabajo en posición de pie. Al estar la persona de pie puede ampliar estos alcances con desplazamientos con pasos laterales.

Figura 3.2 Alcances verticales en posición de pie.



Fuente: Melo L. (2009) Guía para la evaluación de un puesto de trabajo. Cap. 3 Pág. 49

El alcance de los brazos en la posición de pie esta detallado en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Dimensiones verticales en posición de pie

Dimensión	Hombre (mm)	Mujer (mm)
A	1550	1400
B	1350	1100
C	770	680
D	800	720
E	700	
F	1400	1260
G	800	730
H	500	430

Fuente: Melo J. L. (2009) Guía para la evaluación de un puesto de trabajo. Cap. 3 Pág. 49.

Una vez definidas ergonómicamente las dimensiones de un puesto de trabajo, procedemos a utilizar esas medidas para dimensionar la máquina bobinadora.

De acuerdo a la Figura 3.1, la cota C, indica un valor promedio óptimo para la altura que va desde 100 a 105 cm. En la Tabla 3.1 se detallan las dimensiones promedio del alcance de los brazos en posición de pie, rescatando la cota B=135 cm que se utilizará para dimensionar el ancho de la estructura de la máquina.

La Tabla 3.2 especifica las dimensiones ergonómicas de la altura y el ancho de la estructura, en la cual se acoplaran los dispositivos tanto mecánicos como eléctricos.

Tabla 3.2 Dimensiones ergonómicas de la máquina.

Especificación	Dimensión (cm)
Altura de trabajo en la posición de pie (Figura 30, cota C)	100 - 105
Alcance de los brazos en posición de pie (Figura 31 cota B)	135

A continuación se procederá a realizar el diseño y cálculo de cada uno de los componentes mecánicos de la máquina.

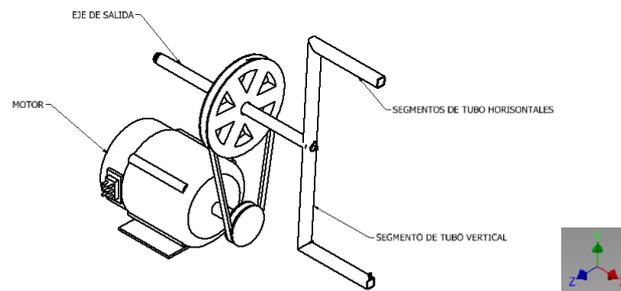
3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR AC.

Para seleccionar el motor a utilizar se calcula la potencia necesaria del motor. Para ello se debe conocer el momento de inercia de la masa de los componentes que va a acelerar.

3.3.1 CÁLCULO DE LA INERCIA Y DEL MOMENTO TOTAL.

Para el cálculo de la inercia I de todos los elementos, se utiliza un modelo creado en Inventor, donde la propiedad IProperties indica las propiedades mecánicas del mecanismo. Se selecciona un Acero ASTM A53 cuya densidad es 7850 kg/m^3 y el eje X que se tomará de referencia para calcular I. La Figura 3.3 muestra un modelo del mecanismo utilizado

Figura 3.3 Mecanismo de bobinado



Fuente: Inventor 2015 versión Estudiantil.

Por lo tanto el momento de inercia total está determinado por:

- El momento de inercia del eje.
- El momento de inercia del tubo estructural cuadrado soldado al extremo del eje.
- El momento de inercia de la polea conducida.

El valor total de la inercia del mecanismo en conjunto es de:

$$\Sigma I = 0.038 \text{ [kg. m}^2\text{]}$$

Una vez calculada la inercia, podemos calcular el par torsional con la Ecuación 3.1, para acelerar la carga y el eje permita realizar el movimiento de bobinado del cable.

Ecuación 3.1 Par torsional para acelerar una carga de inercia ⁴

$$M_T = \frac{\Sigma I * \Delta n}{g * t} \text{ [Nm]}$$

donde:

ΣI = Inercia de todos los elementos del mecanismo [kgm²]

Δn = Intervalo de velocidad angular [rpm]

g = Aceleración de la gravedad [m/s²]

⁴ Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson. Pág 842.

$t =$ Tiempo [seg.]

El eje de salida será acelerado en 1 segundo desde el reposo hasta 680 rpm, ya que esta es su velocidad nominal debido a la relación de poleas existente, por lo tanto de la Ecuación 3.1:

$$M_T = \frac{0.038 \text{ [kg. m}^2\text{]} * 680[\text{rpm}]}{9,8\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right] * 1 \text{ [s]}}$$

$$M_T = 2.63 \text{ [Nm]}$$

3.3.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR AC

Para que el mecanismo alcance su velocidad nominal el motor debe girar a su velocidad nominal por lo tanto la potencia del motor está dada por la Ecuación 3.2.

Ecuación 3.2 Potencia de motor para mecanismo giratorio.

$$P_{\text{motor}} = \frac{M_T * n_{\text{motor}}}{9550} \text{ [kW]}$$

donde:

$M_T =$ Momento torsor o par de torsión [Nm]

$n_{\text{motor}} =$ Velocidad angular del motor [rpm]

$$P_{\text{motor}} = \frac{2.63 \text{ [Nm]} * 1685[\text{rpm}]}{9550} \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{motor}} = 0,464 \text{ [kW]}$$

En la Tabla 3.3 se selecciona el valor de servicio con las características siguientes: tipo de máquina impulsada; máquinas textiles, tipo de impulsor; motor de CA a par torsional normal y tiempo de trabajo menor a 6 horas por día.

Tabla 3.3 Factores de servicio para bandas en V

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros				Motores de CA: Alto par torsional Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos.	
	< 6h por día	6h -15 por día	> 15h por día	< 6h por día	6 - 15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores bombas centrífugas, transportadores ligeros.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangliones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar.	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Fuente: Mott R. (2009) Diseño de maquinaria. México. Cap. 7 Pág. 274.

Por lo tanto se obtiene un factor de corrección de la potencia de diseño $C_1 = 1.2$.

$$P_{\text{motor}} = C_1 * 464 \text{ [W]} = 1.2 * 464 \text{ [W]} = 556,8 \text{ [W]}$$

Transformando a su equivalente en HP:

$$P_{\text{motor}} = 556,8 \text{ [W]} * \frac{1 \text{ [HP]}}{746 \text{ [W]}} = 0,746 \text{ [HP]}$$

Una vez obtenido el valor de la potencia del motor utilizamos la tabla del Anexo 1 Características de motores trifásicos de inducción, para seleccionar la potencia más cercana a los estándares de fabricación. El valor superior que se acerca más al valor calculado es de 1 HP. De la misma tabla se ha tomado el valor del peso para futuros cálculos y el valor de la velocidad nominal y la corriente de consumo de la placa del motor a utilizar, datos que se detallan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características del motor

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR	
Potencia	1HP
kW	0,75
Peso (kg)	9,4
Velocidad (rpm)	1685
Corriente (A)	3,12
Voltaje(V)	220

Fuente: Fraile Mora, J. (2003). Máquinas eléctricas. Cap. 4. Pág. 265.

3.4 CÁLCULO DE TRANSMISIÓN POR BANDA Y POLEAS.

A continuación se diseña la transmisión de banda utilizando el procedimiento expuesto en (Mott, 2006), para un motor eléctrico de 1HP a 1685rpm que trabaja 6h por día.

3.4.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE BANDA

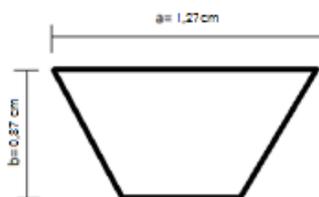
Con los siguientes datos: velocidad del eje más rápido 1685 rpm y una potencia de diseño de 1HP, se selecciona una banda 3V del Anexo 2 Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta. Se designa un estándar comercial para la banda utilizamos la Tabla 3.5, donde se selecciona una sección $a = 1/2 \text{ in} = 1.27 \text{ cm}$, y un espesor $b = 11/32 \text{ in} = 0,87 \text{ cm}$.

Tabla 3.5. Secciones de bandas en V estándar.

Sección de la banda	Ancho a, pulg	Espesor b, pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más
A	1/2	11/32	3.0	1/4 - 10
B	21/32	7/16	5.4	1 - 25
C	7/8	17/32	9.0	15 - 100
D	1 1/4	3/4	13.0	50 - 250
E	1 1/2	1	21.0	100 y mayores

Fuente: Richard G. Keith N. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mc-Graw Hill. Cap. 17. Pág. 897.

La sección de la banda se muestra en la Figura 3.4.

Figura 3.4 Sección de la banda.

3.4.2 SELECCIÓN TENTATIVA DE LA POLEA DE ENTRADA.

En este paso, se selecciona una polea estándar de entrada y se calcula el tamaño de la polea de salida, luego se selecciona un tamaño estándar de la polea de salida y se calcula la relación de velocidades reales.

Una medida estándar comercial se la encuentra en el Anexo 3 Catálogo de poleas, para seleccionar la polea de entrada o motriz, que se va a utilizar para realizar los cálculos es de $D_1 = 8,89$ cm. Valor que se utiliza para calcular el tamaño de la polea de salida con la Ecuación 3.3.

Ecuación 3.3 Relación entre el diámetro de la polea y la velocidad

$$D_1 * \omega_1 = D_2 * \omega_2$$

donde:

ω_1 = Velocidad angular de polea motriz.

ω_2 = Velocidad angular de polea conducida.

D_1 = Diámetro de polea motriz.

D_2 = Diámetro de polea conducida.

$$D_2 = \omega_1 * \frac{D_1}{\omega_2}$$

$$D_2 = 1685 \text{ [rpm]} * \frac{8,89 \text{ [cm]}}{700 \text{ [rpm]}}$$

$$D_2 = 21,4 \text{ [cm]}$$

El diámetro de paso de una polea estándar que se asemeja más al valor calculado para la polea de salida es de $D_2 = 20,32$ cm, valor de estándar comercial que se encuentra en el Anexo 3.

3.4.3 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA NOMINAL DE LA TRANSMISIÓN POR BANDA Y POLEAS.

Con $D_1 = 8,89$ cm y $\omega_1 = 1685$, según el Anexo 4 Capacidades de bandas 3V, obtenemos una potencia nominal $P = 3$ HP. De esta manera que se asegura la transmisión de potencia en el sistema de poleas y banda, que va a estar dentro de los parámetros requeridos de potencia para este caso de investigación.

3.4.4 ESPECIFICACIÓN DE UNA DISTANCIA ENTRE CENTROS TENTATIVA.

En esta sección se calcula la distancia entre los centros de cada polea para lo cual se utilizará la Ecuación 3.4

Ecuación 3.4 Distancia entre centros tentativa.

$$D_2 < C > 3 * (D_2 + D_1)$$

donde:

D_1 = diámetro de la polea conductora

D_2 = diámetro de la polea conducida

C = distancia entre los centros de las poleas

$$8,89[\text{cm}] < C > 3 * (21,4 [\text{cm}] + 8,89 [\text{cm}])$$

$$8,89[\text{cm}] < C > 90,87 [\text{cm}]$$

Se selecciona un valor tentativo de la distancia entre centros: $C = 15,24$ cm. Este valor será utilizado para calcular el valor real necesario de la distancia entre centros de los ejes de la transición de banda y poleas.

3.4.5 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA BANDA NECESARIA.

Para el cálculo de la longitud de la banda se utiliza la ecuación 3.5.

Ecuación 3.5 Longitud de la banda.

$$L = 2 * C + 1,57 * (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4 * C}$$

donde:

L = longitud de la banda

C = distancia entre centros tentativa

D₁ = diámetro de polea conductora

D₂ = diámetro de la polea conducida

$$L = 2 * 15,24[\text{cm}] + 1,57 * (21,4[\text{cm}] + 8,89[\text{cm}]) + \frac{(21,4[\text{cm}] + 8,89[\text{cm}])^2}{4 * 15,24[\text{cm}]}$$

$$L = 93,08 [\text{cm}] = 36,64 \text{ in}$$

En la Tabla 3.6 se observa que el valor estándar más cercano al valor calculado es de 37.5 in.

Tabla 3.6 Longitudes de bandas estándar.

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26,5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31,5	63	125	190	475
33,5	67	132	200	500
35,5	71	140	212	
37,5	75		224	
40	80		236	
42,5	85		250	
45	90		265	
47,5	95		280	
			300	
			315	
			335	

Fuente: Mott R. (2009) Diseño de maquinaria. México. Cap. 7 Pág. 277.

Para calcular la longitud entre el centro de la polea motriz y el centro de la polea conducida necesaria se utilizó la Ecuación 3.6.

Ecuación 3.6. Distancia entre centros.

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32 * (D_2 - D_1)^2}}{16}$$

donde:

$$B = 4 * L - 6,28 * (D_2 + D_1)$$

Primero se calcula B:

$$B = 4 * 93,08[\text{cm}] - 6,28 * (21,4[\text{cm}] + 8,89[\text{cm}]) = 182,09 [\text{cm}]$$

$$C = \frac{182,09[\text{cm}] + \sqrt{182,09[\text{cm}]^2 - 32 * (21,4[\text{cm}] + 8,89[\text{cm}])^2}}{16} = 21,86 [\text{cm}]$$

El valor de la variable L se toma como referencia al valor estándar de la banda. La Tabla 3.7 muestra el resumen de diseño de los elementos que conforman la transmisión de potencia de la máquina.

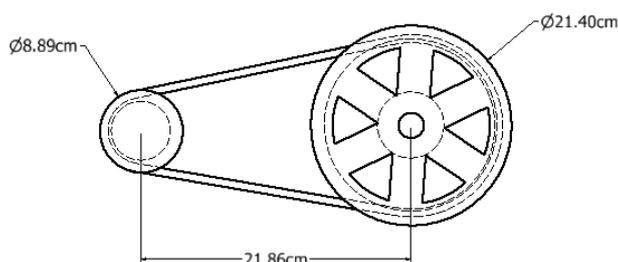
Tabla 3.7. Resumen de diseño.

Entrada:	motor eléctrico trifásico 1HP a 1685rpm
Factor de servicio:	1.2
Potencia del motor:	1 [HP]
Banda:	Sección 3V, 93.08 [cm] de longitud, 1 banda.
Polea motriz:	8,89 [cm] de diámetro de paso, una ranura en V.
Polea conducida:	21,4 [cm] de diámetro de paso una ranura en V.
Velocidad real de salida:	738 [rpm]
Distancia entre centros:	21,86 [cm]

Con la longitud de la banda de $L = 93,08 [\text{cm}] = 36,6 \text{ in}$, se utiliza el Anexo 5 Catálogo de bandas en V, para seleccionar la banda comercial A36.

La Figura 3.5 muestra un esquema de la transmisión donde se detallan las dimensiones de la polea conductora, la polea conducida y la distancia entre los centros.

Figura 3.5 Poleas y banda acotadas.



3.5 DISEÑO DEL EJE

Las fuerzas que interactúan con el eje son principalmente la tensión de la banda debida al torque que le transmite la polea motriz y el peso de la polea.

3.5.1 VALOR DE LA FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE.

Del Anexo 1 se toma el valor nominal del torque del motor utilizado que es de 5.1 Nm.

Utilizando la Ecuación 3.7 de la fuerza flexionante en el eje se obtiene:

Ecuación 3.7 Fuerza flexionante en el eje.⁵

$$T_{\text{banda}} = \frac{1.5 * T_{\text{motor}}}{\frac{\phi_{\text{pm}}}{2}}$$

donde:

T_{motor} = torque del motor

ϕ_{pm} = diámetro de la polea menor

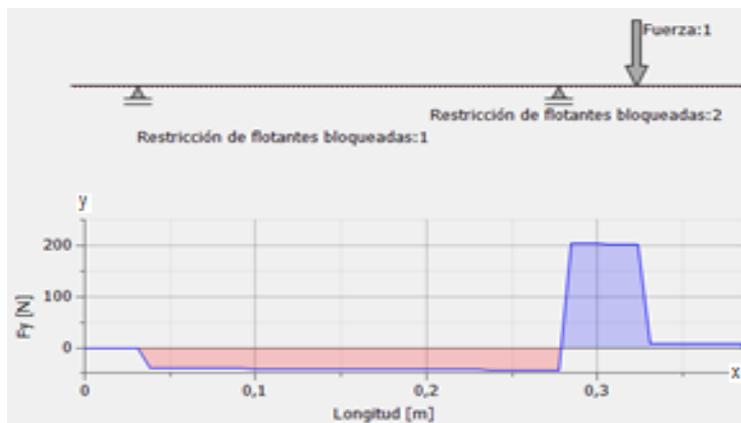
$$T_{\text{banda}} = \frac{1.5 * 5,1[\text{Nm}]}{\frac{0,09[\text{m}]}{2}} = 170[\text{N}]$$

A este valor hay que agregarle el peso de la polea, del Anexo 3 se tiene el valor de la masa de una la polea de 8 in de 5.5 [lbf] = 2.49 [kg], por lo tanto su peso seria de 24 [N]. La fuerza total en el punto de la polea es de:

$$F_T = 170[\text{N}] + 24[\text{N}] = 194[\text{N}]$$

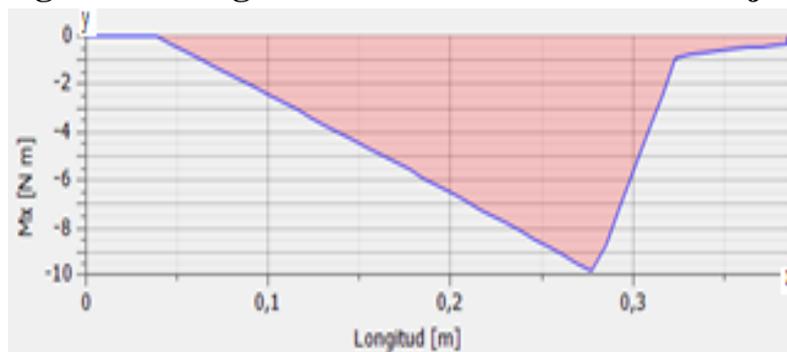
⁵ Mott R. (2009) Diseño de elementos de máquinas. México. Cap. 12 Pág. 539

Figura 3.6 Diagrama de cuerpo libre del eje y diagrama de fuerza cortante.



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

Figura 3.7 Diagrama del momento flector del eje x.



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

Fuerza cortante máxima: $V_{y_{m\acute{a}x}} = 203,707$ [N].

Momento flexionante: $M_{x_{m\acute{a}x}} = -9786$ [N.mm].

3.5.2 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL EJE.

Debido a que el conductor de cobre tiene que pasar por dentro del eje se debe seleccionar un tubo estructural redondo, del

Anexo 6 Propiedades de los aceros estructurales, se selecciona el tubo ASTM 501 formado en caliente redondo, tienen una resistencia a la fluencia de $S_y = 250$ [MPa], con este dato y las

medidas de las secciones de tubo estructural que se muestran en la Tabla 3.8, se procederán a realizar los cálculos de los esfuerzos.

Tabla 3.8. Características de tubo estructural redondo.

Tubo estructural ASTM A501 redondo	
Diámetro exterior (D)	21,3 mm
Diámetro menor (d)	18,5 mm
Diámetro interno (di)	15 mm
Área menor	94,09 mm ²
Módulo de Sección S _{menor}	290,3 mm ³
Resistencia de fluencia S _y	250 MPa

Debido a la fuerza V, el eje se encuentra sometido a esfuerzo flexionante puro (Mott, 2006), con compresión en la parte de abajo y tensión en la parte de arriba, realizando análisis estático, por lo tanto el esfuerzo normal máximo esta dato por la Ecuación 3.8.

Ecuación 3.8 Esfuerzo normal en flexión

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mx_{\text{máx}}}{S}$$

donde:

M = Momento flexionante máximo

$$S = \frac{\pi(dm^3 - di^3)}{32} = 290.3 \text{ mm}^3 = \text{módulo de sección}^6$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{9786 \text{ Nmm}}{290,3 \text{ mm}^3} = 33,7 \text{ [MPa]}$$

Ecuación 3.9 Esfuerzo cortante en flexión:

$$\tau_{xy} = \frac{2 * V}{A}$$

donde:

V = fuerza cortante máxima en flexión

A = Área de sección transversal menor

⁶ Mott R. (2009) Diseño de elementos de máquinas. México. Apéndice 1.

$$\tau_{xy} = \frac{2 \cdot 203,7 \text{ N}}{91,09 \text{ mm}^2} = 4,47 \text{ [MPa]}$$

Como estamos estimando una carga estática sobre un material dúctil, asumiremos un factor de concentración de esfuerzos $k_t = 1$. A continuación calculamos los esfuerzos principales utilizando las ecuaciones del círculo de Mohr (Mott, 2006).

Ecuación 3.10 Esfuerzos principales

$$\sigma_1 = C + R$$

$$\sigma_2 = C - R$$

donde:

$$C = \frac{\sigma_{x\text{máx}}}{2} = \frac{33,7 \text{ [MPa]}}{2} = 16,85 \text{ [MPa]}$$

$$R = \left(\left(\frac{\sigma_{x\text{máx}}}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \right)^{1/2} = \left(\left(\frac{33,7}{2} \right)^2 + 4,47^2 \right)^{1/2} = 17,41 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_1 = C + R = 16,85 + 17,41 = 34,28 \text{ [MPa]}$$

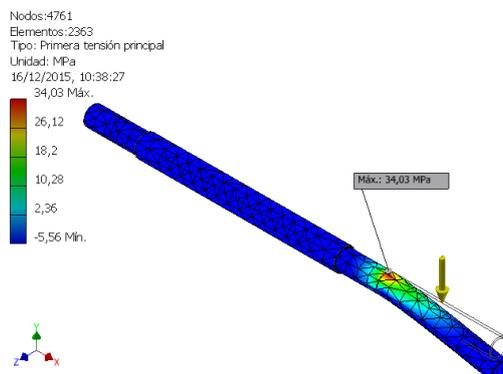
$$\sigma_2 = C - R = 16,85 - 17,41 = -0,55 \text{ [MPa]}$$

Al realizar la simulación del análisis de esfuerzos del elemento en Inventor, podemos comprobar los cálculos realizados en esta sección.

Se confirma el valor de σ_1 analizando la Figura 3.8, que utiliza la teoría de elementos finitos, donde se observa la barra con franjas de colores donde el valor máximo representa la franja de color rojo y corresponde a un valor de 34,03 [MPa], cercano al valor hallado de $\sigma_1 = 34,28$ [MPa].

Se utilizó un total de 2363 elementos con 4761 nodos, el tipo de mallado es triangular.

Figura 3.8 Análisis de tensión; Primer esfuerzo principal σ_1



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

En el análisis estático realizado se utiliza la teoría de la energía de distorsión, (Budynas R, 2008), ya que es la más utilizada para analizar materiales dúctiles, se utiliza la Ecuación 3.11 para calcular el esfuerzo de von Mises.

Ecuación 3.11 Esfuerzo de von Mises

$$\sigma' = (\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)^{1/2}$$

donde:

σ_1 = Primer esfuerzo principal

σ_2 = Segundo esfuerzo principal

$$\sigma' = (34,28^2 - 34,28 * (-0,55) + (-0,55)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 33,99 \text{ [MPa]}$$

El valor del factor de seguridad está dado por la Ecuación 3.12. (Budynas R, 2008).

Ecuación 3.12 Factor de seguridad de un material dúctil.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

donde:

S_y = Resistencia a la fluencia del material

σ' = Esfuerzo de von Mises

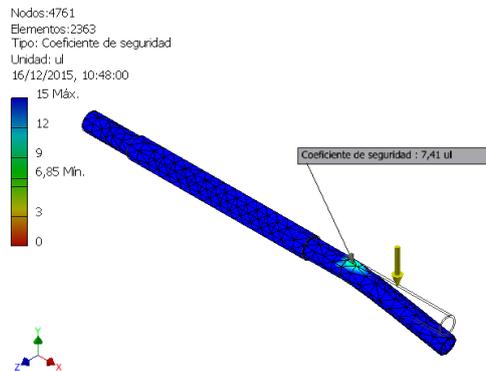
$$n = \frac{250 \text{ [MPa]}}{33,99 \text{ [MPa]}} = 7,35$$

Valor que se puede confirmar en la Figura 3.9, donde se observa la simulación del esfuerzo del eje realizada en inventor.

Los valores máximos y mínimos del factor de seguridad están representados en la barra de colores, donde especifica la franja azul para el valor máximo de 15, el valor mínimo con color verde, que indica que el elemento puede soportar siete veces la carga a la q está sometido y representa el valor calculado, y la franja de color rojo donde el elemento fallaría.

Se utilizó un total de 2536 elementos con 5072 nodos y mallado triangular

Figura 3.9 Factor de seguridad mínimo del eje.



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

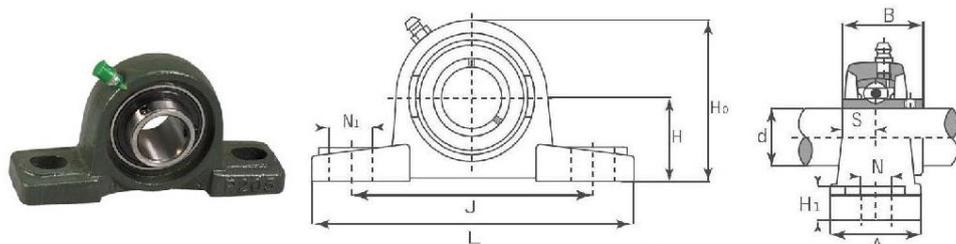
Se selecciona el tubo estructural analizado debido a las características dimensionales que posee. El factor de seguridad determinado permitiría seleccionar un tubo estructural con menores dimensiones, pero estas son las mínimas que posee el proveedor en estok, además porque el diseño de la máquina un tubo estructural hueco para que atravesase el conductor de cobre.

3.5.3 SELECCIÓN DE LAS CHUMACERAS.

Se selecciona las chumaceras utilizando un valor menor al diámetro externo del eje que es de 21,3 mm, debido a que el diámetro del eje donde se apoya la chumacera debe ser menor para

que forme una base en el eje, por ende del Anexo 7, se selecciona la chumacera UCP204-12 de la marca CMB. La chumacera a utilizar se muestra en la Figura 3.10.

Figura 3.10 Chumacera

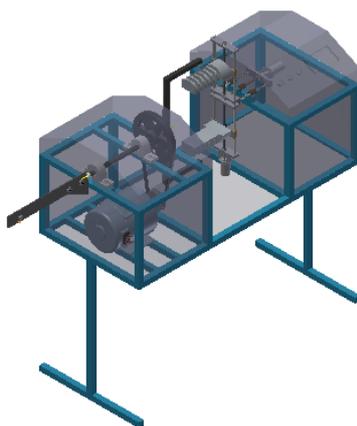


Donde el diámetro $d = \frac{3}{4}'' = 19 \text{ mm}$, de esta manera se deja una holgura de $\frac{1}{2} \text{ mm}$ entre el diámetro menor del eje y el diámetro interno de la chumacera.

3.6 DISEÑO DE LOS ESLABONES DE LA ESTRUCTURA.

Para el diseño de los eslabones de la estructura se utiliza el modelo de la maquina realizado en Inventor que muestra en la Figura 3.11.

Figura 3.11 Modelo de la estructura.



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

3.6.1 CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LA ESTRUCTURA.

En la Tabla 3.9 se especifican los elementos a considerar en el análisis estructural que se realizara para determinar el punto más crítico de la estructura y poder encontrar el factor de seguridad del diseño.

Tabla 3.9 Masas de elementos a considerar para diseño de eslabones.

Elemento	Masa	Peso	Observación
Motor	9,4 kg	92,12 N	Anexo 1
Eje + tubo estructural	1,2 kg	11,7 N	IProperties
Chumaceras	0,6 kg x 2	11,7 N	Anexo 5
Polea conductora	0,4 kg	3,9 N	Anexo 2
Polea conducida	2,5 Kg	24,5 N	Anexo 2
Masa de la estructura	17,8 kg	174,4 N	IProperties
Mecanismo portamoldes	4,64 kg	45,47 N	IProperties

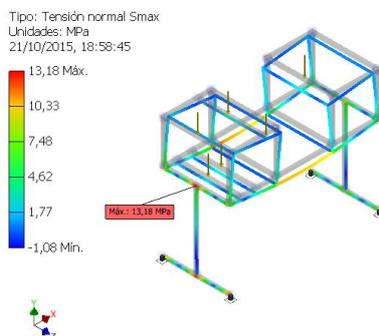
Del Anexo 8, se selecciona el tubo estructural cuadrado ASTM A501 formado en caliente con las siguientes dimensiones:

Tabla 3.10 Tubo estructural cuadrado.

Tubo estructural cuadrado ASTM A501	
Designación nominal	25 mm x 25 mm
Espesor	1,2 mm
Área	58.56 mm ²
Módulo de Sección S	357,3 mm ³
Resistencia de fluencia S _y	250 MPa

A continuación se realiza una simulación en inventor de la estructura para de finir el punto sometido a mayor tensión. Se utilizaron un total de 30 nodos y 24 elementos.

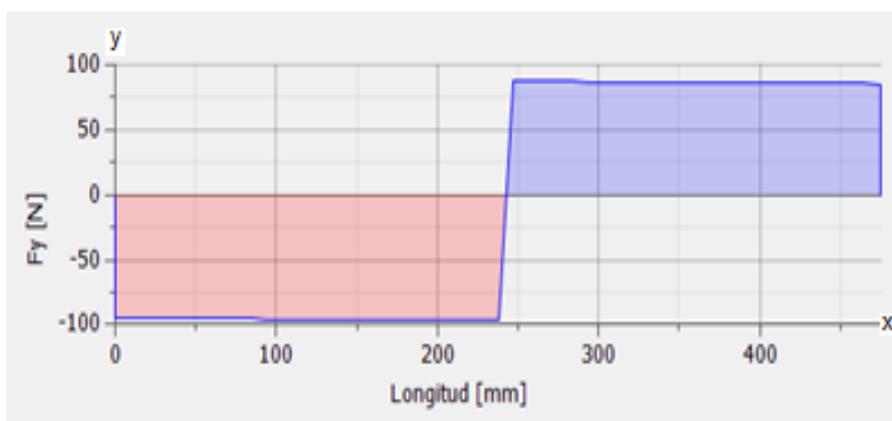
Figura 3.12 Análisis estructural



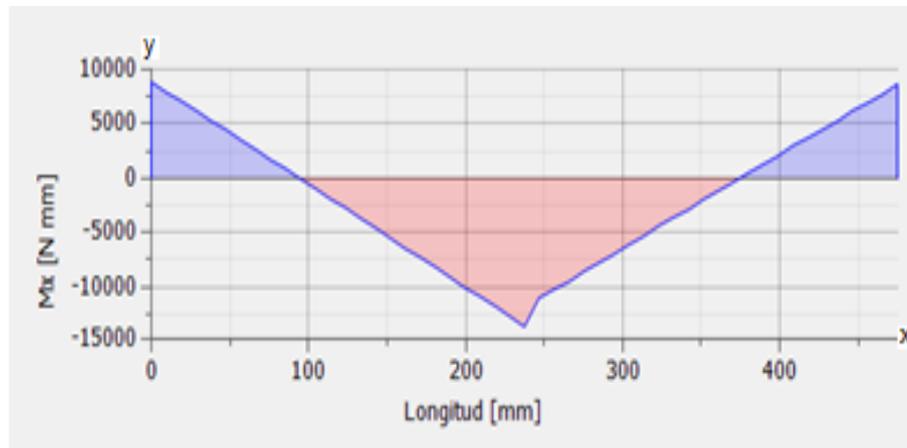
Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

Según el análisis estructural de la Figura 3.12, se observa que el punto de la estructura que está sometido a una mayor cantidad de esfuerzo es el eslabón horizontal que está unido a la base izquierda de la estructura, cuya tensión máxima es de 13,18 MPa ya que es donde descansan los elementos de mayor peso de la máquina. A continuación se muestran los diagramas de fuerza cortante, Figura 3.13 y momento flexionante, Figura 3.14, del eslabón de se encuentra sometido al esfuerzo descrito anteriormente.

Figura 3.13 Diagrama de fuerza cortante de eslabón.



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

Figura 3.14 Diagrama de momento flexionante de eslabón.

Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

$$V_{y_{\text{máx}}} = -95,91 \text{ [N]}$$

$$M_{x_{\text{máx}}} = -13647,9 \text{ [N.mm.]}$$

3.6.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO.

Para el cálculo del factor de seguridad primero se calcula los esfuerzos principales para luego calcular el esfuerzo de von Mises, utilizando el valor de la resistencia a la fluencia S_y , de la Tabla 3.10.

Ecuación 3.13 Esfuerzo normal en flexión.⁷

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

donde:

M = momento flexionante [N*mm]

S = módulo de sección [mm³]

$$\sigma = \frac{-13647,9 \text{ [Nmm]}}{357,3 \text{ [mm}^3\text{]}}$$

$$\sigma_x = -38,2 \text{ [MPa]}$$

⁷ Mott R. (2009) Diseño de elementos de máquinas. México. Cap. 3 Pág. 106

Ecuación 3.14 Esfuerzo cortante en flexión:

$$\tau = \frac{3V}{2A}$$

donde:

V= fuerza cortante

A= área

$$\tau = \frac{3 * (-95,91) \text{ [N]}}{2 * 58,56 \text{ [mm}^2\text{]}}$$

$$\tau_{xy} = 2,45 \text{ [MPa]}$$

Ya que el acero es un material dúctil se utiliza la Teoría de la Energía de Distorsión, Ecuación 3.15, para calcular el esfuerzo de von Mises en el plano xyz (Budynas R, 2008) y así poder calcular el factor de seguridad del eslabón sometido a mayor esfuerzo.

Ecuación 3.15. Teoría de la energía de distorsión de Von Mises.

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

donde:

$$\sigma_x = \text{esfuerzo normal } x = -38,2 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_y = \text{esfuerzo normal } y = 0$$

$$\sigma_x\sigma_y = 0$$

$$\tau_{xy} = \text{esfuerzo cortante} = 2,45 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma' = ((-38,2)^2 - 3 * (2,45)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 37,96 \text{ [MPa]}$$

Se calcula el factor de seguridad con respecto a la resistencia de fluencia S_y con la Ecuación 3.16, la misma que relaciona la resistencia de fluencia del elemento, y el esfuerzo teórico al que está sometido.

Ecuación 3.16. Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

S_y = resistencia a la fluencia

σ' = esfuerzo de von Mises

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{37,96 \text{ MPa}}$$

$$n = 6,58$$

El valor del factor de seguridad del eslabón indica que puede soportar una carga seis veces mayor a la sometida, asegurando así su resistencia

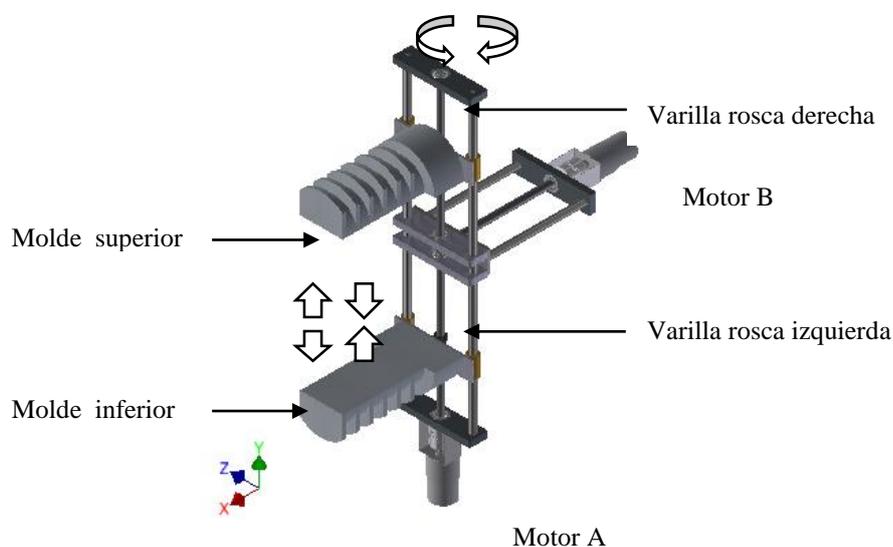
3.7 MECANISMO PORTAMOLDES.

En la construcción de este mecanismo se ha optado por utilizar elementos comerciales, después de analizar la opción más práctica, de acuerdo a modelos de máquinas existentes en el mercado, la mejor opción que se eligió para este mecanismo se muestra en la Figura 3.15.

Este mecanismo tiene la función desplazar los moldes en el eje 'Y', aumentando o disminuyendo su separación, facilitando la elaboración de bobinas de diferente tamaño. También tiene la posibilidad de desplazar los moldes en el eje 'X', para poder crear bobinas de hasta 5 grupos diferentes.

Para generar el desplazamiento de los moldes con un solo motor, se utilizaron dos varillas con roscas derecha e izquierda respectivamente, de esta manera si el eje del motor jira hacia la derecha los moldes se alejan y si el eje del motor jira hacia la izquierda los moldes se acercan.

Figura 3.15 Mecanismo portamoldes.



Fuente: Inventor 2015 Versión Estudiante.

Se utilizó una varilla roscada con las características que se muestran en la Tabla 3.11, acoplado un bocín con rosca interna donde descansa una placa de acero para sujetar los moldes. El diseño a utilizar es de altas prestaciones mecánicas y de un costo relativamente bajo.

Tabla 3.11. Características de la varilla roscada Stanley de 1/4".

Característica mecánica	Valor
Material	Acero Grado 2, ASTM-A307
Diámetro	9.5 mm,
Rosca	M9 x 1,25
Paso de rosca	1,25 mm

3.7.1 MOTORES DE IMÁN PERMANENTE.

La función de los motores DC en el mecanismo del portamoldes es hacer girar a las varillas roscadas transmitiendo este movimiento circular, el cual permite avanzar y retroceder a los moldes. Debido al tamaño requerido en el mecanismo, y las características mencionadas en la

Tabla 3.12, se selecciona un motor de imán permanente de marca Pololu con caja de reducción

Tabla 3.12. Características del motor DC

Características	Especificaciones
Tamaño	D=37 mm x L=57 mm.
Voltaje de alimentación	12V
Peso	200 g
Diámetro del eje	6 mm
Corriente nominal	5 mA
Caja de reducción	100:1
Velocidad nominal	100 RPM
Torque	16 kg-cm

La Figura 3.16 muestra el motor acoplado la caja de reducción y las perforaciones que le permiten acoplarse a una superficie.

Figura 3.16 Motor DC.



Para reducir las desalineaciones axiales, radiales y angulares debido a las excentricidades entre el eje del motor y el de la varilla roscada se utilizó un acople de elastómero marca Lovejoy de 425 oz-in, Figura 3.17, las especificaciones técnica se encuentran en el Anexo 10.

Figura 3.17 Acople Lovejoy.



3.7.1.1 Relación de velocidad del mecanismo tornillo tuerca

El sistema tornillo tuerca presenta una ventaja muy grande respecto a otros sistemas de conversión de movimiento giratorio a longitudinal: por cada vuelta del tornillo, la tuerca avanza la distancia que tiene de separación entre filetes (paso de rosca). Por lo tanto la relación de velocidad del mecanismo estará dada por la Ecuación 3.17

Ecuación 3.17 Velocidad de desplazamiento del mecanismo

$$V = \omega_{motor} * d_{paso}$$

donde:

$$\omega_{motor} = 100 \text{ [rpm]} = 1,67 \text{ [rev/s]}$$

$$d_{paso} = 1,25 \text{ [mm]}$$

$$V = 1,67 \text{ [rev/s]} * 1,25 \text{ [mm]} = 2,087 \text{ [mm/s]}$$

3.7.2 MECANISMO PARA TRASLADAR EL PORTAMOLDES

Este mecanismo permite desplazar a los moldes en el eje x de tal manera que la maquina pueda bobinar en una determinada posición de los moldes ya sea para los moldes concéntricos o excéntricos.

Figura 3.18 Mecanismo para trasladar el portamoldes.



Como se menciona anteriormente, la velocidad a la que se desplazan estos mecanismos depende únicamente de la reducción de velocidad creada por la caja de reducción a la salida del motor y el paso de rosca de la varilla.

4 CAPÍTULO IV

SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.

4.1 INTRODUCCIÓN

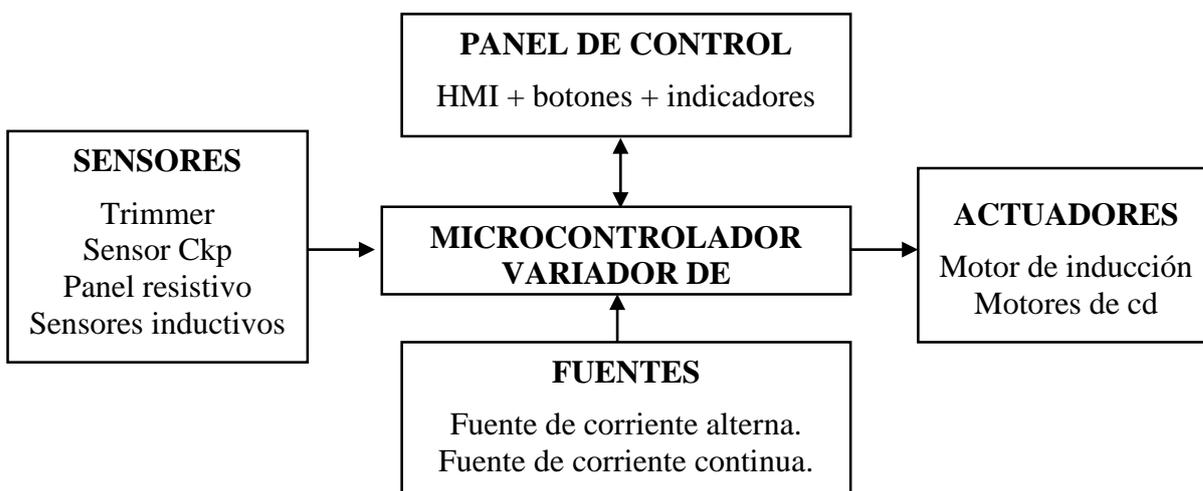
Este capítulo se divide en dos partes importantes;

- Sistema eléctrico y electrónico de la máquina bobinadora
- Sistema de control de velocidad.

En la primera sección se describen las características de los elementos electrónicos como; la interfaz HMI, la placa de relés, que permitirán accionar los motores y controlar el proceso, así como también los sensores que permitirán captar las distintas variables del proceso.

En la segunda sección se describe la implementación del sistema de control de velocidad. El Diagrama 4.1 muestra en forma general cada uno de los componentes del sistema.

Diagrama 4.1 Sistema electrónico.



4.2 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

En esta etapa se describen cada uno de los dispositivos de accionamiento, protección y control, que se utilizan para el funcionamiento de la máquina.

4.2.1 SECCIONADOR PRINCIPAL

Debido a los requerimientos eléctricos de la máquina, se elige el seccionador de bloque tripolar de conexión que se muestra en la Figura 4.1, el cual permite la conexión y desconexión de las líneas de fuerza para energizar el circuito de control y de potencia.

Figura 4.1 Seccionador principal



La corriente nominal del variador es de 4 [A], la corriente de protección requerida es de:

$$I_p = 1.25 * I_n = 1,25 * 4 [A]$$

$$I_p = 5A$$

La corriente de protección más cercana a los estándares comerciales es de 15 [A], el voltaje nominal corresponde a 400 [V].

4.2.2 CONTACTOR

Como dispositivo de accionamiento electromagnético se seleccionó el contactor MC-9b de marca LS. La Figura 4.2, muestra el contactor seleccionado.

Figura 4.2 Contactor



Permite montaje sobre riel DIN y las características operacionales por las que se eligió este contactor, se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Característica del contactor

Tipo	Valor
Número de polos	3 polos
Contactos auxiliares	1 NO / 1 NC
Bobina	230 V AC
Potencia (230 V)	3 [HP]
Rango de frecuencia	50/60 [Hz]
Temperatura de	-5°C a +40°C
Grado de protección	IP20

4.2.3 RELÉ TÉRMICO

De acuerdo a la corriente nominal del motor que es de 3,2 [A], se selecciona el relé térmico AMT-32/3k-4 de marca LS que muestra la figura.

Figura 4.3 Relé térmico



Este dispositivo de protección contra sobre cargas posee un selector de corriente del relé 2,4 a 4 [A], capaz de interrumpir la corriente en el circuito de potencia si esta excede sus rangos normales.

Tabla 4.2 Características eléctricas del relé térmico

Tipo	Valor
Clase	10 ^a
Contactos auxiliares	1 NO / 1 NC
Rango de corriente	2,4 a 4 A
Temperatura de	-5°C a +40°C
Grado de protección	IP20

Se aclara que el motor va a ser controlado con un variador de frecuencia el cual tiene incorporado la función de detección de corrientes altas y cortocircuitos.

4.2.4 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

Se ha elegido implementar una interfaz HMI debido a su versatilidad al momento de incorporar o reposicionar nuevos elementos de mando y visualización. Esta interfaz está compuesta por 4 componentes principales: una pantalla grafica Glcd de 240x128 pixeles, un panel táctil resistivo, un circuito de control del panel táctil y un microcontrolador PIC18F452. Estos componentes electrónicos además de otros componentes pasivos se encuentran alojados en una placa electrónica, la placa permite la conexión de la pantalla táctil, el microcontrolador, y el resto de sensores.

4.2.4.1 Microcontrolador

Las funciones principales que el microcontrolador ejecutará en la máquina son:

- Procesar las señales del panel táctil e interpretar las señales en coordenadas X y Y.

- Gestionar el código necesario para la información que se proyectara en la Glcd.
- Realizar el proceso de conteo procesando el cambio de estado del sensor inductivo.
- Activar o desactivar las salidas digitales para accionar el variador de frecuencia.
- Activar o desactivar las salidas digitales para accionar los motores dc.
- Leer el estado de los sensores del cable y de la puerta para poder iniciar o detener el proceso.
- Procesar la señal del trimmer y determinar el posicionamiento de los moldes.
- Enviar los datos de las bobinas al PC para que almacene los datos requeridos.

Se ha seleccionado un microcontrolador PIC 18F452 debido a las características que se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Características PIC18f452

Características	Especificación
Numero de pines	40-pin DIP
Puertos	A,B,C,D,E
Voltaje de alimentación	5V
Timmers	4
Consumo de corriente	1,5 mA a 4MHz
Memoria de programa	32 k Bytes
Memoria de datos	1.5 Kbytes
Oscilador	DC-40 MHz
Instrucciones	76 de 16 bits
Corriente fuente/sumidero	25mA/25mA
Módulo USART	SR-232
Convertor análogo digital	8 pines de 10 bit

4.2.4.2 Glcd (*Display de cristal Líquido Gráfico*)

La Glcd tiene una resolución de 240x128 pixeles y una pantalla de 5", suficiente para graficar un Keypad y varios botones de mando e indicadores.

El microcontrolador se comunica con la Glcd a través del puerto de datos de 8 bits y el puerto de control para enviar y recibir la información necesaria al controlador T6963 de la placa de la Glcd, para que esta genere los gráficos de los botones e indicadores que capta el operario y le permite interactuar con la máquina.

La Glcd tiene un total de 20 pines, de los cuales 6 son para control, 6 para alimentación del controlador, integrados varios y para el back light, y los 8 restantes son pines del bus de datos, la Tabla 4.4 describe cada uno de los pines de la Glcd.

Tabla 4.4. Nomenclatura de pines de GLCD T6963

Pin	Símbolo	Estado	Función
1	GND	0V	Tierra
2	GND	0V	Tierra
3	VCC	5V	Positivo
4	V0	3V	Voltaje para la LCD
5	WR	L	Escribe datos
6	RD	L	Lee datos
7	CE	L	Habilita chip
8	C/D	H/L	L: Datos H: código
9	RST	L	Reset
10	DB0	H/L	Líneas de bus de datos
11	DB1	H/L	
12	DB2	H/L	
13	DB3	H/L	
14	DB4	H/L	
15	DB5	H/L	
16	DB6	H/L	
17	DB7	H/L	
18	FS	H/L	Selecciona tamaño de
19	VEE	3V	Salida para voltaje de
20	BLK	5V	Voltaje para back light.

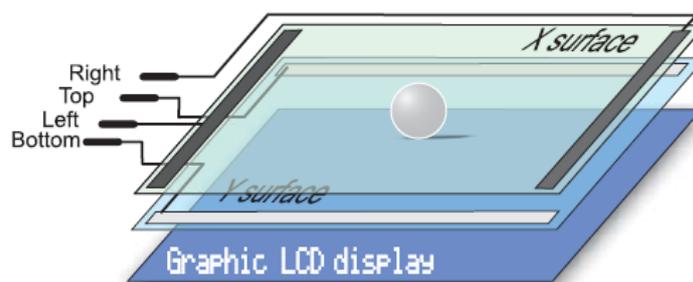
Fuente: Hoja de datos Pantalla GLCD T6963.

4.2.4.3 Panel táctil.⁸

El panel táctil se acopla en la parte superior de la pantalla Glcd, está compuesto por dos capas de material resistivo, de tal manera que cada capa permita establecer un plano para las coordenadas en 'X' y otro para las coordenadas en 'Y'.

Estas placas de material resistivo tienen acoplado en sus extremos opuestos dos cintas de material conductor, para conectar sus terminales, al ejercer presión sobre el panel, se crea un divisor de tensión entre los dos terminales de cada par de coordenadas. El valor de la resistencia del eje horizontal rodea los 700Ω , y el valor de la resistencia eje vertical rodea los 400Ω

Figura 4.4 Estructura interna del panel táctil.

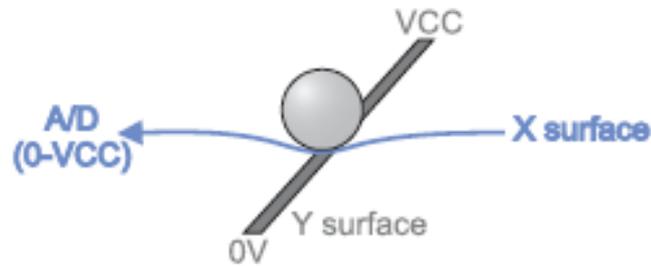


Fuente: Manual de panel táctil de Mikro Electrónica

Para determinar la coordenada X entre +X y -X, lado derecho y lado izquierdo respectivamente, con salida de señal por el terminal -Y, y para la coordenada Y entre +Y y -Y lado superior e inferior respectivamente, con salida de señal por el terminal -X. Teniendo en cuenta que (+) significa 5V y (-) significa 0V.

⁸Manual de panel táctil de Mikro Electrónica

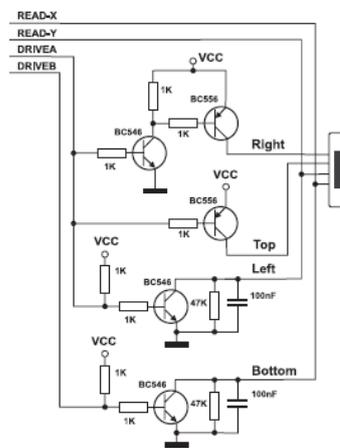
Figura 4.5 Determinación de la coordenada Y



Fuente: Manual de panel táctil de Mikro Electrónica.

Por lo tanto necesitamos de un circuito electrónico que nos permita alternar los estados lógicos de los terminales $-Y$ y $-X$, de analógico a estado $0V$ alternativamente para que el microcontrolador pueda leer los valores del panel táctil tanto en sus coordenadas X y Y , para esto se ha utilizado un controlador formado por un arreglo de transistores configurados en colector común.

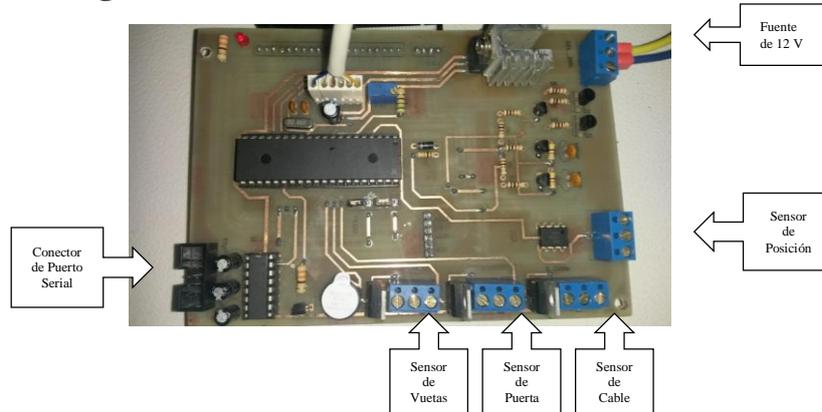
Figura 4.6 Controlador de panel táctil



Fuente: Manual de panel táctil de Mikro Electrónica.

A continuación la Figura 4.7, muestra la placa elaborada en donde se encuentra el microcontrolador PIC18F452, el circuito del panel táctil, además los elementos que permitirán conectar los sensores.

Figura 4.7 Placa electrónica de la interfaz.



La Figura 4.8 muestra la interfaz ya implementada con los elementos electrónicos descritos anteriormente. En el lado derecho se encuentran un grupo de botones numerados en forma de Keypad, para digitar borrar y confirmar los parámetros con los que se va a operar con la máquina, y en el lado izquierdo, los botones para activar el motor principal y los actuadores del portamoldes en desplazamiento tanto vertical como horizontal, además de los indicadores del número de revoluciones y de la distancia entre los moldes

Figura 4.8 Interfaz HMI.



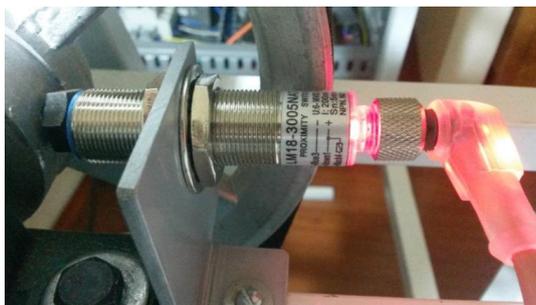
4.2.5 SENSORES

Los sensores utilizados para la automatización del proceso de bobinado de la máquina se detallan a continuación.

4.2.5.1 Sensor de revoluciones

El proceso de conteo de cada espira elaborada por la máquina se ejecuta con la utilización un sensor inductivo LM18-3005NA, Figura 4.9.

Figura 4.9 Sensor inductivo de revoluciones LM18-3005NA



Las características por las que se usa este tipo de sensor se muestran en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Características del sensor LM18-3005NA

Características	Especificación
Tipo de sensor	inductivo (L)
Forma	cilíndrica (M)
Voltaje de operación	6-36 VDC (30)
Distancia de detección	5 mm (05)
Tipo de salida	NPN (N)
Estado de salida	NO (A)
Tipo de conector	acodado
Material	acero inoxidable
Grado de protección	IP67

4.2.5.2 Sensor de rotura de cable

Este sensor inductivo acoplado al mecanismo que se aprecia en la Figura 4.10, permite detectar la presencia del cable y en caso de que este se rompiera el microcontrolador envía la señal para que se detenga el proceso.

Figura 4.10 Sensor inductivo del cable LM6-3001NA

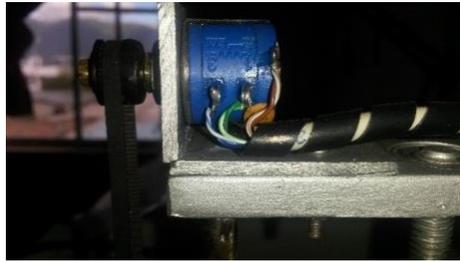


Sus características son las mismas que se encuentran en la Tabla 4.5, excepto que no posee conector sino que el cable está acoplado directamente al cuerpo del sensor.

Los valores de la señal de salida de los sensores operan de acuerdo al voltaje de alimentación del sensor, se ha optado por alimentar al sensor con un voltaje de 12 voltios, por lo tanto es necesario transformar a valores TTL la señal de salida, es decir de 0 a 5 voltios, para ello se utilizó un regulador de voltaje LM7805. De esta manera cada vez que el sensor se active, la señal de salida que es de 12 voltios, alimentará el pin de entrada del LM7805, este a su vez nos arrojará en su pin de salida un voltaje de 3,5 voltios, valor que se encuentra dentro del rango de estado lógico 'alto'. El catálogo de los sensores inductivos utilizados se detalla en el Anexo 12.

4.2.5.3 Sensor de posición de los moldes

Se utiliza un Trimmer 534-10k, Figura 4.11, acoplado a una correa y dos poleas dentadas, de tal manera que al desplazarse uno de los moldes la banda hace girar el eje del Trimmer cambiando su valor de resistencia.

Figura 4.11 Trimmer 534-10k

Sus características eléctricas y dinámicas se especifican la Tabla 4.6, la cuales se pueden hallar con más detalle en el Anexo 11.

Tabla 4.6 Características del trimmer 534

Característica	Valor
Resistencia	10 K
Resolución	0.017 %
Número de vueltas	10
Ohmios por vuelta	1.2730
Corriente máxima	14.1 mA
Voltaje máximo	141 V

Para relacionar la señal del sensor con la distancia entre los moldes, se utilizó la Ecuación 4.1, de esta manera, se relaciona el valor máximo y mínimo de la distancia, con el valor máximo y mínimo de la señal del potenciómetro multivuelta, respectivamente. El valor máximo y mínimo del trimmer 534, se tomaron del valor del conversor análogo a digital del microcontrolador en la posición correspondiente.

Ecuación 4.1 Interpolación lineal

$$f(x | x_1; x_2) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} * (x - x_1)$$

donde:

$f(x_1)$ = distancia mínima = 4 [cm]

$f(x_2)$ = distancia máxima= 28 [cm]

x_1 = 410

x_2 = 718

$x = V_{A/D}$ del microcontrolador.

Por lo tanto reemplazando esto datos en la Ecuación 4.1 se obtiene:

$$f(x|x_1; x_2) = 4 + \frac{27-4}{718-410} * (V_{A/D} - x_1)$$

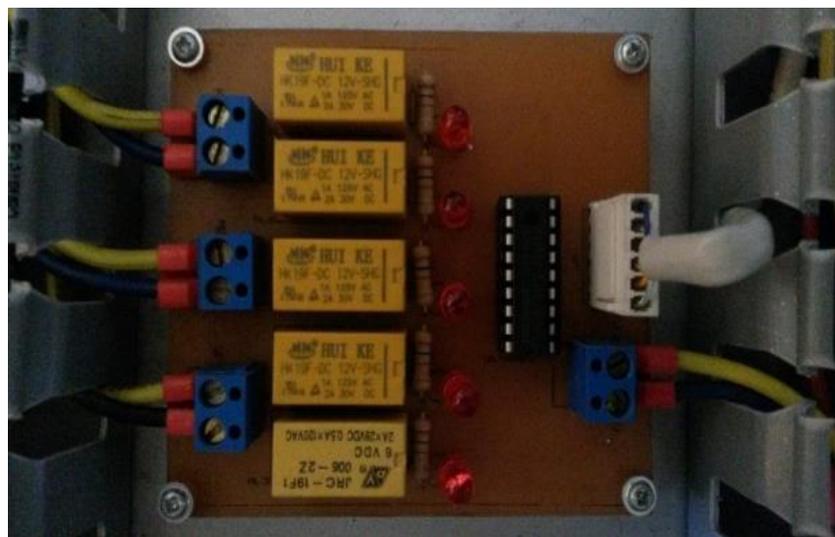
$$f(x|x_1; x_2) = 0,0779V_{A/D} - 27,94$$

Esta ecuación se utiliza en el código del microcontrolador para posicionar los moldes.

4.2.6 PLACA DE RELÉS

La segunda placa electrónica está formada por 5 relés y un driver ULN2803, tiene varias funciones; la primera es receptor las señales provenientes de la palca HMI y cambiar el estado del primer relé para accionar la entrada lógica del variador de frecuencia y así accionar el motor trifásico, además también tiene como función activar los restantes 4 relés de tal manera que permita accionar y cambiar el sentido de giro de los motores de avance y desplazamiento de los moldes.

Figura 4.12 Placa de relés

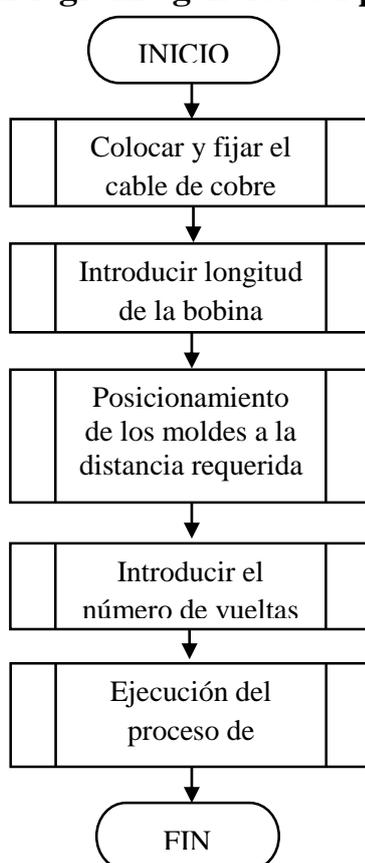


4.2.7 FLUJO GRAMAS DEL CÓDIGO PARA EL MICROCONTROLADOR

Se describe un flujo grama del proceso general de la elaboración de reactancias estáticas, y a continuación se describen los flujo gramas del código realizado para la operación de la HMI, el control de los actuadores y las funciones que se utilizó para los distintos sensores.

El Diagrama 4.2 resume el proceso a seguir para elaborar máquinas de acuerdo a los requerimientos planteados en la implementación de la máquina bobinadora.

Diagrama 4.2. Diagrama general del proceso de bobinado



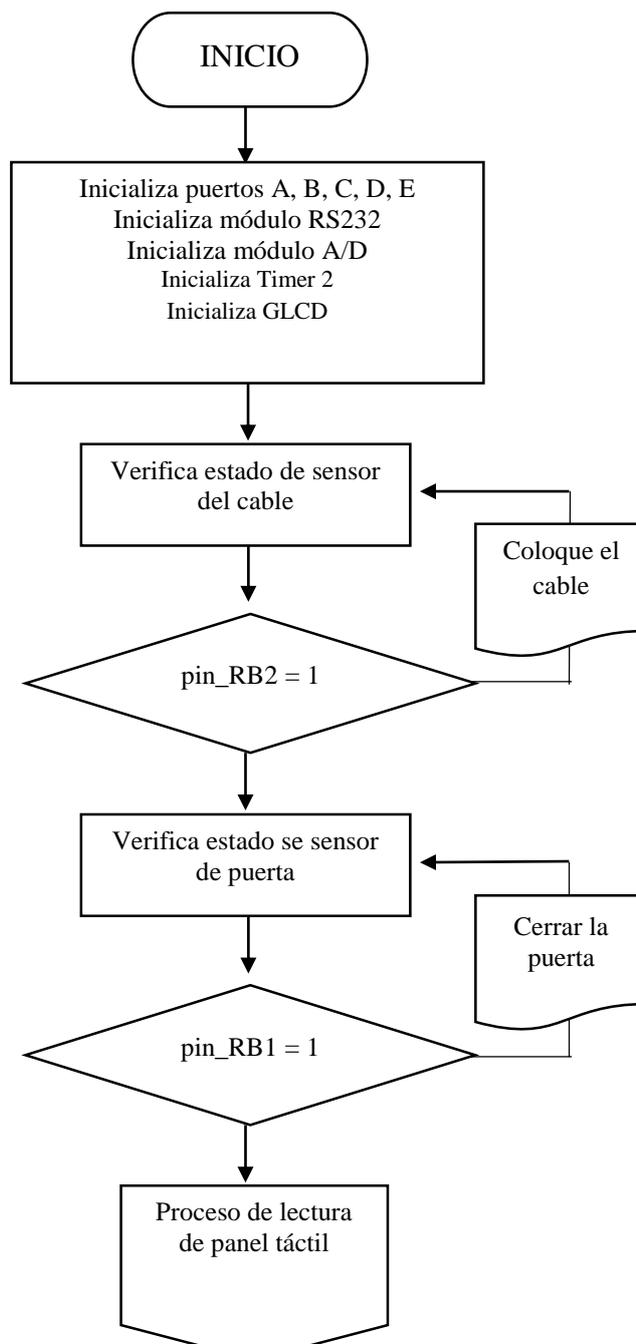
El Anexo 13 Programa principal del micro controlador, muestra el código del programa principal creado en PICC llamado 'firmware_HMI'. Este código se resume en el Diagrama 4.3. En el se declaran; la activación de los módulos del microcontrolador a utilizar; módulo

análogo digital, temporizadores, interrupciones externas, la iniciación de la librería para la Glcd, y la función de cabecera para llamar al programa complemento.

Además del método principal 'main', donde se declaran los métodos y funciones a utilizar para el correcto funcionamiento del proceso.

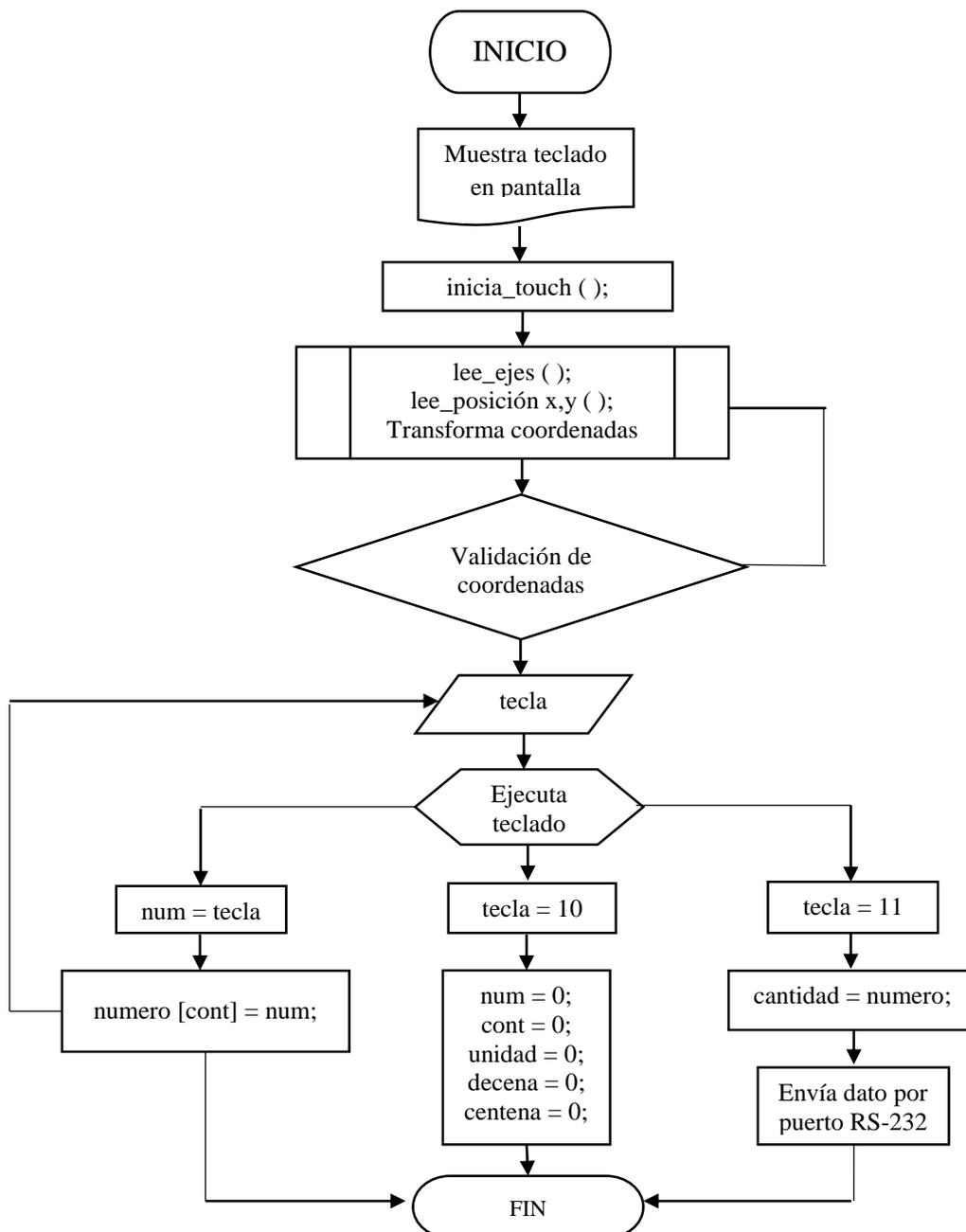
En el programa principal se declara una función para llamar a ejecutar un archivo .h llamado 'firmware_HMI_complemento', el cual contiene el código de las funciones y condicionantes que permiten operar el proceso.

Diagrama 4.3. Verificación de condiciones iniciales



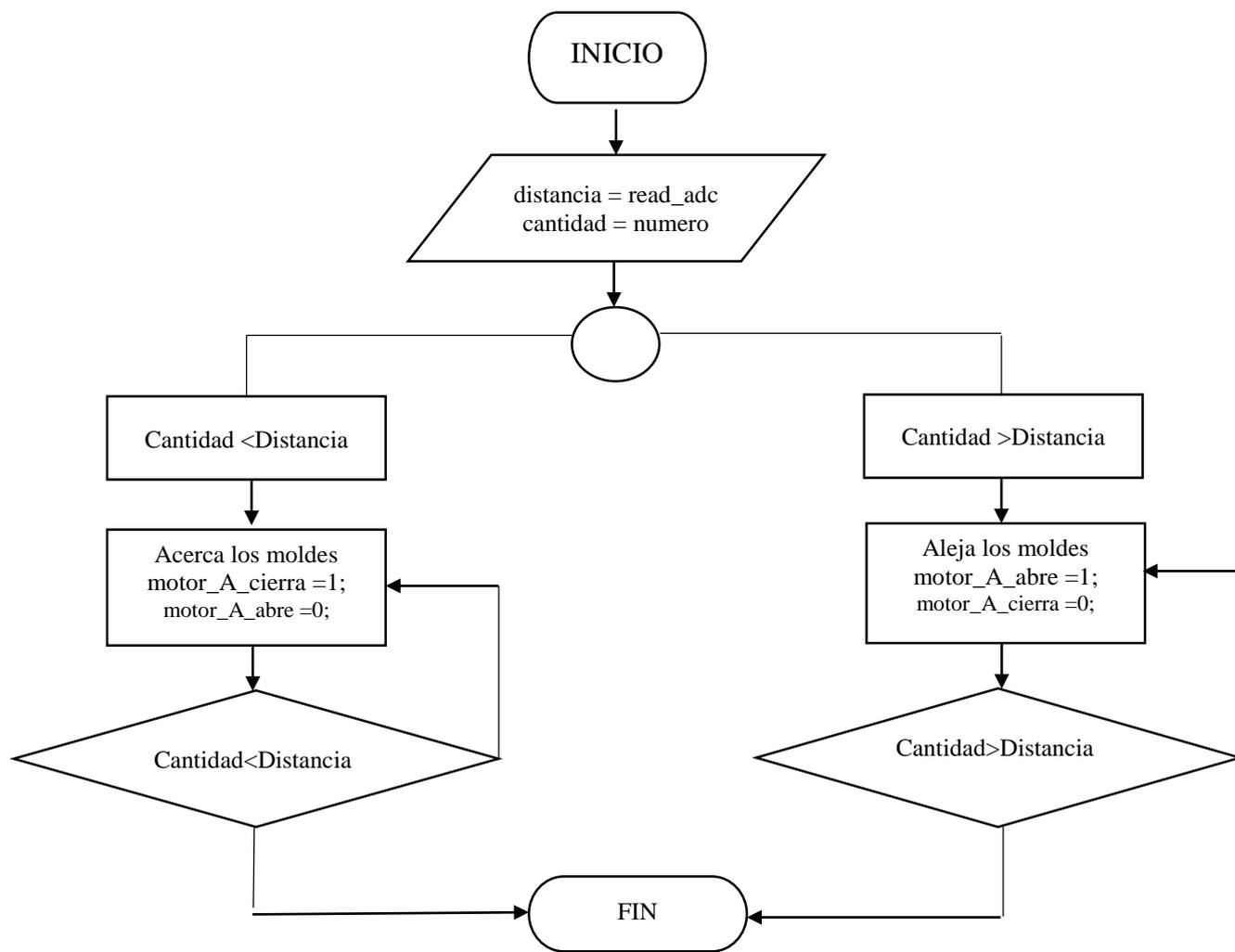
El proceso inicia con la colocación del conductor de cobre través del soporte del cable. Si esta condición inicial no se cumple el proceso para iniciar a elaborar las bobinas no puede seguir adelante. Una vez colocado el cable se introduce el número de vueltas y se inicia el proceso cerciorándose antes de cerrar la compuerta de seguridad.

Diagrama 4.4. Proceso del panel táctil.



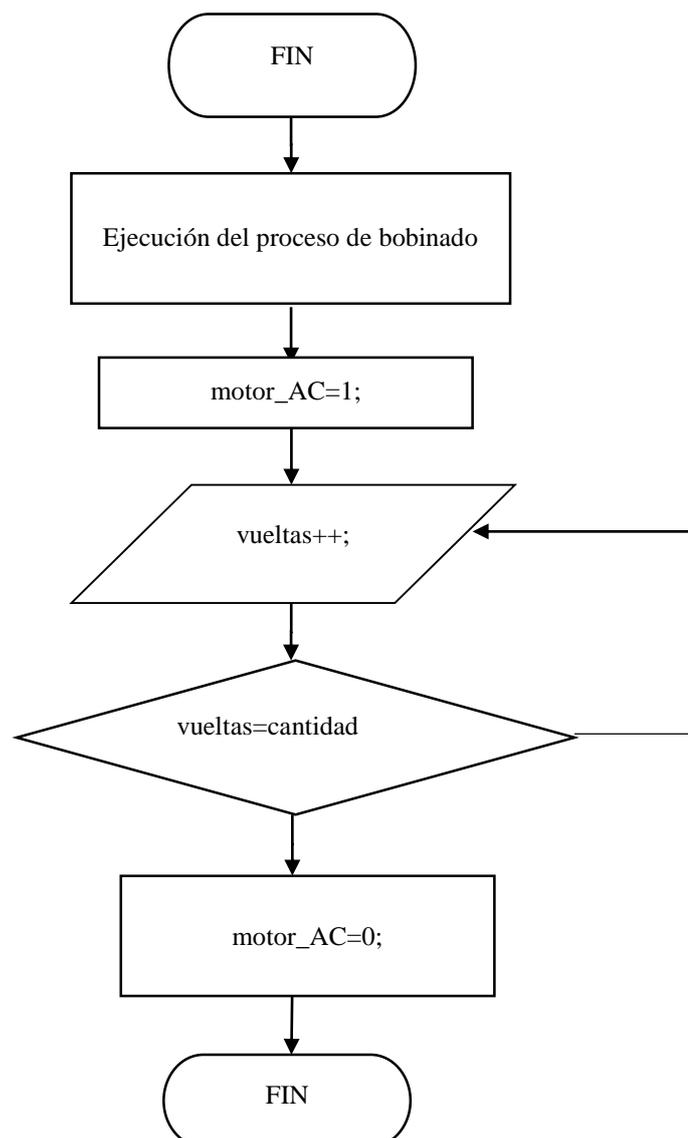
El siguiente paso es introducir los datos en la HMI para iniciar el proceso. El Diagrama 4.4 resume el algoritmo seguido para codificar el proceso de lectura y verificación de los valores digitados. La lectura de la señal analógica proveniente del panel táctil es convertida a una señal digital por el microcontrolador. Este dispositivo verifica su valor y lo transforma a coordenadas x y dentro del rango de la Glcd. Cada vez q el operario presiona la superficie del panel en una posición determinada el microcontrolador genera la operación relacionada a esa posición ya sea para generar una cadena de caracteres o activar un actuador. El Anexo 15 muestra el código utilizado para el panel táctil.

Diagrama 4.5. Posicionamiento de los moldes



El Anexo 14 Programa complemento de microcontrolador, contiene el código elaborado para llamar a las librerías de; gráficos, panel táctil y librerías básicas para la correcta compilación del código. Así como también los métodos para posicionar los moldes. El algoritmo que permite posicionar a los moldes en una determinada distancia se detalla en el Diagrama 4.5.

Diagrama 4.6. Ejecución del proceso de bobinado

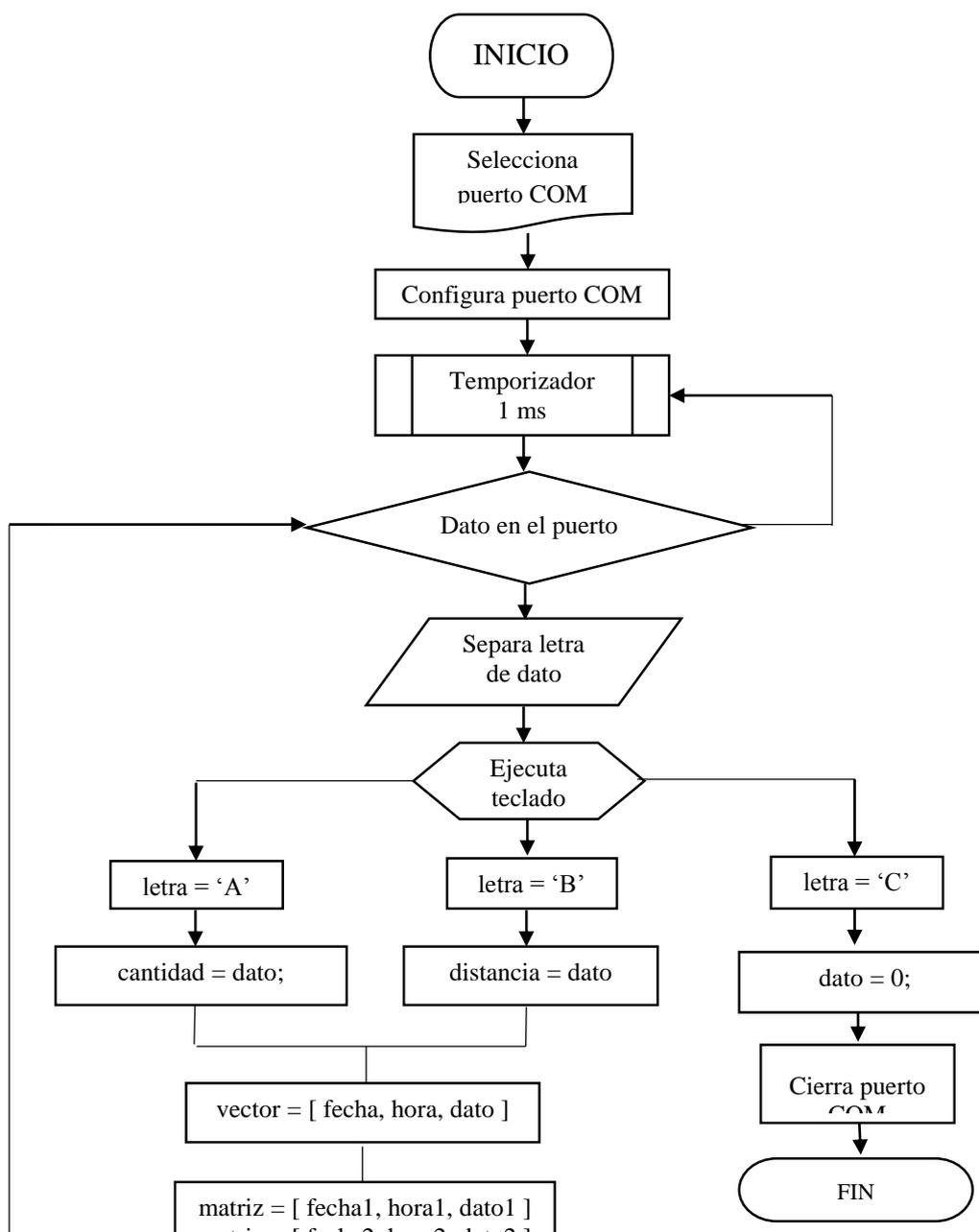


Un vez digitado los parámetros de la bobina a elaborar se inicia el proceso presionando el botón de inicio, el proceso inicia y el conteo de vueltas se ejecuta con la interrupción externa INT0 del microcontrolador ejecuta el incremento de la variable “vueltas”, cada vez que existe una interrupción en el pin RB0.

Si el número de vueltas es igual al número digitado, el proceso termina.

4.2.8 FLUJO GRAMA PARA INTERFAZ DE ALMACENAMIENTO DE DATOS

Diagrama 4.7 Flujo grama de la interfaz de almacenamiento de datos.

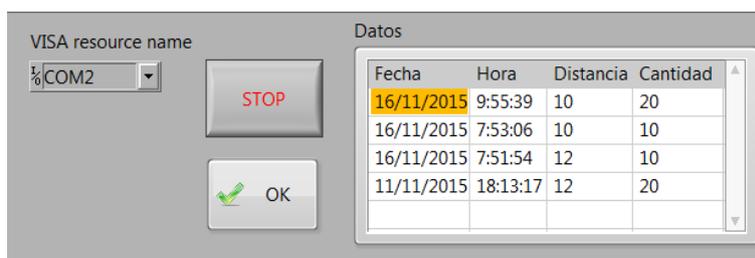


El desarrollo y la programación de este código se lo realizan en la siguiente sección.

4.2.9 INTERFAZ DE ALMACENAMIENTO DE DATOS.

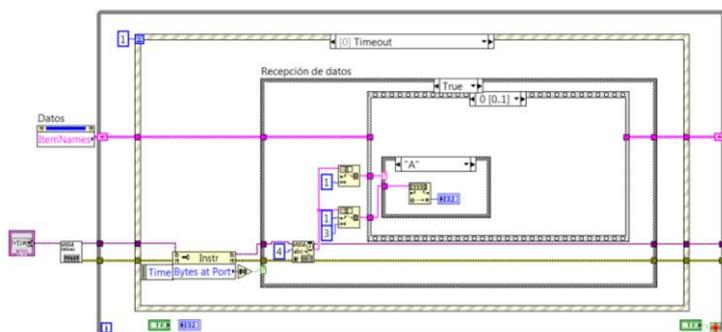
Uno de los objetivos de este trabajo es también implementar una interfaz RS232 y un programa que permita almacenar los datos utilizados para elaborar las reactancias en la máquina. Se ha utilizado un programa realizado en LabView para crear un VI, Figura 4.13, la operación de programa se detalla a continuación.

Figura 4.13 Panel frontal del VI.



Fuente: LabView 2014 versión estudiantil.

Figura 4.14 Diagrama de flujo del VI

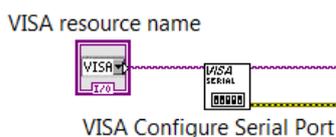


Fuente: LabView 2014 versión estudiantil.

4.2.9.1 Proceso de funcionamiento del VI.

El proceso de programa inicia seleccionando el puerto a utilizar, en este caso es el COM2 y se configura sus características básicas como; velocidad de transmisión, número de bits de datos y bit de paridad, Figura 4.15, utilizando VISA resource name y VISA configure serial port respectivamente.

Figura 4.15 Inicialización de puerto COM



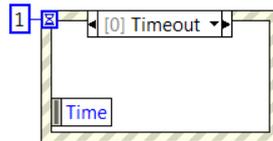
Para que el programa se ejecute en un ciclo repetitivo se utilizó un While Loop, Figura 4.16, condicionado para que se detenga al detectar un estado lógico falso proveniente del botón de STOP ubicado en el panel frontal del VI.

Figura 4.16 While Loop



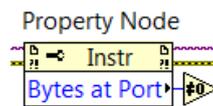
La lectura del puerto es temporizada, cada vez que se crea un evento de temporización cada 1 ms, la función Event Structure permite leer los datos en el puerto, Figura 4.17.

Figura 4.17 Event Structure



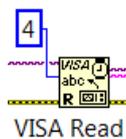
Para verificar que existen datos en el puerto se utiliza la función Property Node, Figura 4.18, la cual devuelve un valor de '0' si no existen datos y cierra el proceso de lectura.

Figura 4.18 Property Node



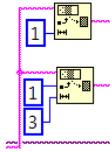
Una vez verificada la existencia de datos en el puerto, se procede leer los bytes recibidos con la función VISA Read, Figura 4.19. Desde el microcontrolador se envía una palabra con cuatro caracteres, es decir cuatro bytes de información.

Figura 4.19 VISA Read



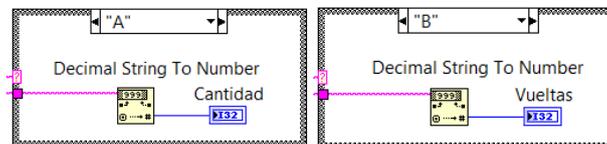
La palabra está formada por una letra; 'A' o 'B', para diferenciar si el dato corresponde a; cantidad de vueltas o longitud de la bobina. Luego se separan los tres siguientes bytes para leer el dato enviado. Esto se realiza utilizando dos String Subset respectivamente, Figura 4.20.

Figura 4.20 String Subset



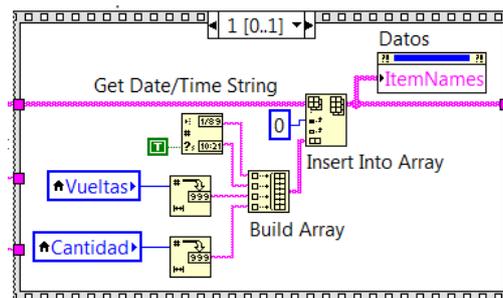
Una vez diferenciado que tipo de dato se está leyendo se procede a transformarlo de tipo string a entero y almacenarlo en una variable,

Figura 4.21 Conversión de decimal a Entero



Finalmente se utiliza un algoritmo que permite crear vectores con cada dato recibido, adjuntado la fecha y la hora de llegada, utilizando un Build Array. Cada vector es almacenado en un arreglo de vectores creando así una matriz utilizando un Insert Into Array, Figura 4.22. Esta matriz es visualizada mediante un Multicolumn Listbox creada en el panel frontal del VI.

Figura 4.22 Creación de la matriz de datos



4.3 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.

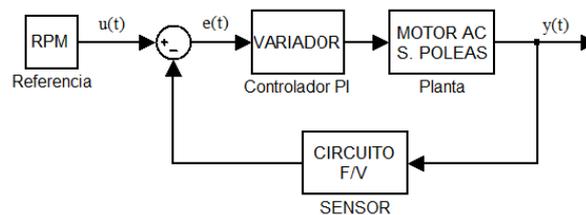
En las siguientes secciones se describen los elementos que permitirán regular la velocidad del proceso de bobinado, implementando un sistema de control de velocidad PI.

4.3.1 ESTADO DE LA PLANTA

Los sistemas de control de velocidad de motores de inducción han tomado una vital importancia en los procesos industriales debido a que la calidad del proceso de producción otorga un valor agregado al producto, y debe sin duda ser eficiente y optimizado (Vargas Tamani, 2010). El sistema de control a implementar se detalla en la .

Figura 4.23.

Figura 4.23 Diagrama de bloques del lazo de control PI.



La implementación de este sistema de control de velocidad requiere del conocimiento características mecánicas del motor de inducción para realizar el modelamiento matemático de la función de transferencia del motor y de la planta en general.

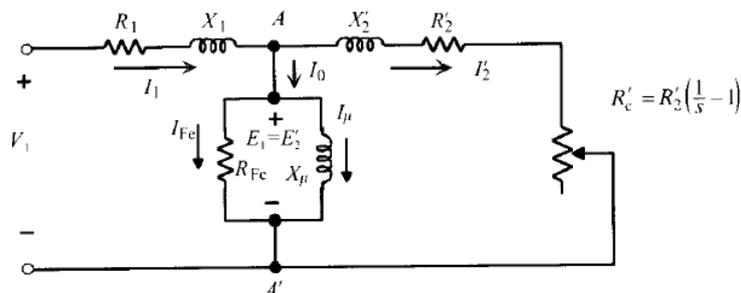
La planta a controlar básicamente está formada por el motor de inducción trifásico, su velocidad nominal es de 1685 rpm, velocidad que se reducirá a menos de la mitad utilizando el sistema de banda y poleas. El proceso se realizará con velocidades por debajo de este valor, con la finalidad de proteger la aislación que recubre al cable de cobre.

4.3.2 MODELAMIENTO DE LA PLANTA

La Figura 4.24 muestra el circuito tradicional equivalente simplificado por fase de un motor de inducción que es muy parecido al de un transformador. Al inducir voltajes y corrientes en

el rotor de un motor de inducción, básicamente se está realizando una operación de transformación.

Figura 4.24 Modelo transformador de un motor de inducción



Fuente: F. Mora, Máquinas eléctricas, Madrid: McGraw-Hil, 2003.

Los valores de resistencias R_1 y R_2 , corresponden a las resistencias de los bobinados del estator y del rotor respectivamente. Las inductancias del rotor como del estator están representadas por X_1 y X_2 . Las pérdidas en el núcleo del estator están representadas por la resistencia R_{Fe} . Los flujos magnéticos que ocasionan las pérdidas en el núcleo del estator están representados por las reactancias de magnetización X_μ (Diego, Enrique, & Vladimir, 2014). Se debe considerar también la resistencia de carga que representa el efecto equivalente a la carga mecánica que lleva el motor como R_c .

Se observa que el primario está alimentado por la red de tensión sinusoidal V_1 , Las corrientes que relacionan el estator con el rotor se las obtiene aplicando la primera ley de Kirchhoff en el nodo A obteniendo la Ecuación 4.2.

Ecuación 4.2 Sumatoria de corrientes en nodo A

$$I_1 = I_0 + I_2' = I_0 + \frac{I_2}{m_i}$$

Donde m_i es la relación de transformación de corrientes. Por lo tanto las ecuaciones de primario y secundario corresponden a:

Ecuación 4.3 Voltaje en lado del estator.

$$V_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_1 I_1$$

Ecuación 4.4 Voltaje en lado del rotor.

$$E'_2 = R'_2 I'_2 + R'_C I'_2 + jX'_2 I$$

donde: \mathbf{V} , \mathbf{E} e \mathbf{I} , son la representación matricial del sistema trifásico.

El circuito equivalente de un motor de inducción es una herramienta muy útil para determinar la respuesta del motor a los cambios de carga. Sin embargo, si se va a utilizar un modelo para una maquina real, es necesario determinar qué valores se utilizaran en el modelo. ¿Cómo pueden determinarse R_1 , R_2 , X_1 , X_2 y X_M para un motor real ?. Estos conjuntos de información se pueden hallar conformando una serie de pruebas en el motor de inducción, análogas a las pruebas de cortocircuito y de circuito abierto realizadas en un transformador. Las pruebas deben llevarse a cabo bajo condiciones perfectamente controladas puesto que las resistencias varían con la temperatura, y la resistencia del rotor varía también con su frecuencia. Los detalles precisos de cómo debe realizarse cada prueba en los motores de inducción para alcanzar resultados exactos, están descritos en la norma 112 de la IEEE (Chapman, 2002).

El conjunto de ecuaciones anteriores, principalmente las ecuaciones de las tenciones en variables de la máquina, forman un sistema de ecuaciones diferenciales, no lineal y con coeficientes no constantes lo que complica su resolución numérica y totalmente imposible resolución analítica (a no ser que se considere la velocidad constante, es decir, en régimen permanente). (Bort, 2002)

Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, puede establecerse experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Una

vez establecida una función de transferencia, proporciona una descripción completa de las características dinámicas del sistema, a diferencia de su descripción física. (Ogata, 1998)

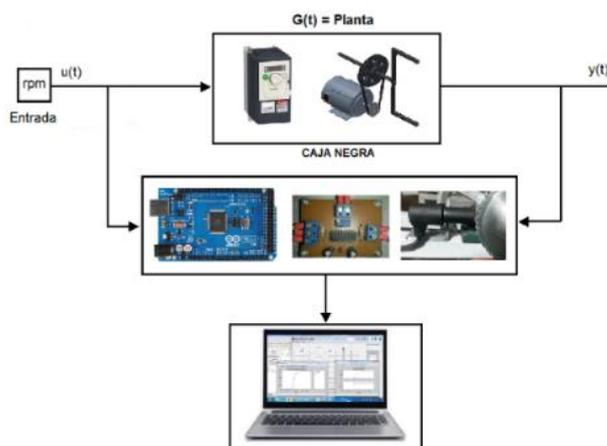
En artículos como “Control vectorial de motores de inducción” (Camargo, Garzón, & Pérez, 2010) y “Estudio del modelo Matemático del motor de Inducción trifásico” (Bort, 2002) se utilizan modelos computacionales de motores de inducción creados en Simulink y de esta manera analizan su comportamiento.

El objetivo de este trabajo es utilizar una metodología práctica al momento de modelar una planta real en donde se encuentra un motor de inducción trifásico, determinar la su función de transferencia e implementarla en un sistema de control **Proporcional + Integral (PI)** utilizando mecanismos experimentales, además de su implementación y pruebas respectivas

4.3.3 MODELAMIENTO EXPERIMENTAL DE LA PLANTA.

Debido a la naturaleza de la planta, esta será considerada como una caja negra, dado que transforma las entradas en salidas sin que sea posible saber cómo esta transformación se lleva a cabo. (Blanco, Hernández, & Ramírez). La Figura 4.25 muestra los elementos a considerarse tanto en la planta del sistema como en la etapa de adquisición de datos.

Figura 4.25 Método de la caja negra.



Debido a la naturaleza de la planta, esta será considerada como una caja negra, dado que transforma las entradas en salidas sin que sea posible saber cómo esta transformación se lleva a cabo.

Para definir ese proceso y analizarlo recurriremos al método experimental, implementando una adquisición de datos que integra, una placa electrónica de Arduino Mega2560 y el Toolbox de Identificación de Sistemas de Matlab. Proceso que será explicado a continuación

4.3.4 ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SISTEMA.

Es necesario implementar un transductor que nos permita censar la velocidad en tiempo real del sistema y poder realizar un tratamiento de los datos obtenidos. Para censar la velocidad del eje y cerrar el lazo de control se incorporó un sensor de reluctancia variable CKP.

Este sensor opera conjuntamente con un reluctor, como se muestra en la Figura 4.26, en donde se muestra el sensor y un reluctor de 48 ranuras, acoplados a la máquina y al eje respectivamente.

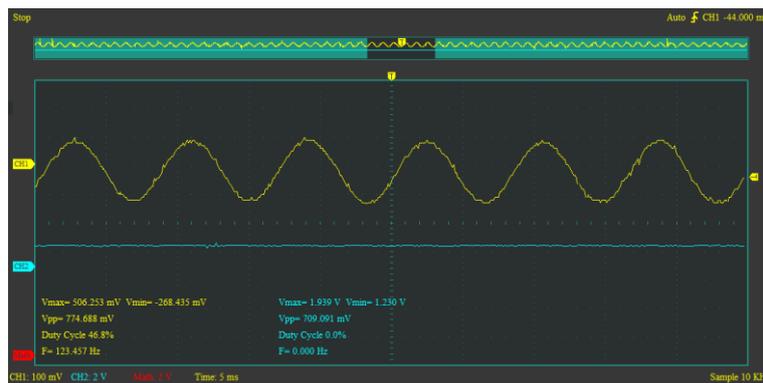
Figura 4.26 Sensor CKP y Reluctor.



Al girar el reluctor a una determinada velocidad, el paso de los dientes del reluctor deforman el campo magnético de un imán permanente que se encuentra en el interior del sensor, este cambio en el campo induce un voltaje en la bobina que se encuentra acoplada alrededor del

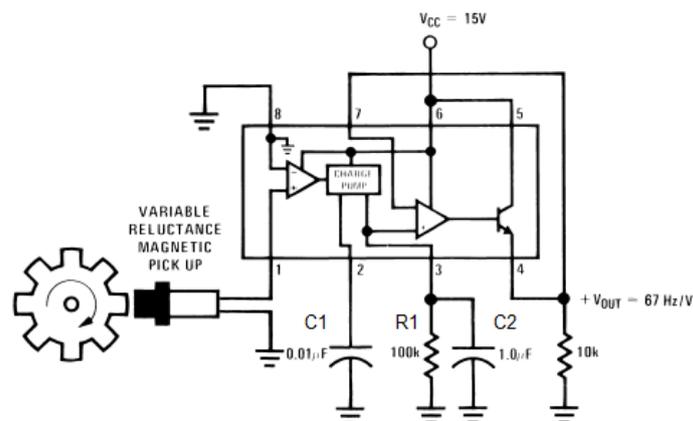
imán, generado una señal senoidal, como lo muestra la Figura 4.27. En la captura de la interfaz del osciloscopio observamos un ejemplo de señal obtenida con una frecuencia de 123.45 Hz y un voltaje $V_{pp} = 774$ mV. La amplitud del voltaje de la señal es proporcional a la distancia entre el sensor y el reluctor.

Figura 4.27 Señal obtenida del sensor CKP.



Para transformar la frecuencia de la señal emitida por el sensor en una señal equivalente en voltaje hemos utilizado el integrado LM2907N como convertidor de frecuencia a voltaje utilizando el circuito que se muestra en la Figura 4.28.

Figura 4.28 Conversor de Frecuencia a Voltaje.



Fuente: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2907-n.pdf>

Con los valores de C_1 , R_1 , C_2 y V_{cc} dados, el integrado tiene una relación de salida de 67 Hz/V. El voltaje de salida está dado por la Ecuación 4.5.

Ecuación 4.5 Ecuación de salida del conversor de frecuencia a voltaje.

$$V_0 = k * C_1 * R_1 * V_{cc} * f$$

Los valores con los que va a trabajar el integrado conversor de frecuencia a voltaje en el lazo de control son: voltaje máximo entregado a velocidad nominal de 1685 [rpm] es de $V_0 = 5$. Voltaje de alimentación del circuito $V_{cc} = 12$ [V]. La constante $k = 0.9 - 1.1$ proporcionada por el fabricante.

Debido a la relación de poleas dada, la velocidad máxima alcanzada en el eje sería de:

$$\omega_2 = (D_1 * \omega_1) / D_2$$

$$\omega_2 = (8,89[\text{cm}] * 1685[\text{rpm}]) / 21,4[\text{cm}]$$

$$\omega_2 = 697,6 [\text{rpm}]$$

Para determinar la frecuencia máxima a la que estará expuesto el sensor necesitamos saber a qué frecuencia trabaja el reluctor de 48 ranuras a velocidad máxima, por lo tanto:

$$\omega_2 = 697,6 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] * \left[\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right] = 11,6 \left[\frac{\text{rev}}{\text{seg}} \right]$$

$$48 * 11,6 \left[\frac{\text{puls}}{\text{seg}} \right] = 558 \left[\frac{\text{puls}}{\text{seg}} \right]$$

$$f_{\text{máx}} = [558\text{Hz}]$$

Por lo tanto despejando C_1 la Ecuación 4.5 y además tomando como referencia a $R_1 = 100[\text{k}\Omega]$ y $V_{cc} = 12$ [V] obtenemos:

$$C_1 = \frac{V_0}{(V_{cc})(f_{\text{máx}})(R_1)(\text{k}\Omega)}$$

$$C_1 = \frac{5\text{V}}{(12\text{V})(558\text{Hz})(100\text{k}\Omega)(1)}$$

$$C1 = 7,46 \text{ [nF]}$$

Entre los capacitores comerciales encontramos los valores más cercanos a 6.8 nF y 10 nF.

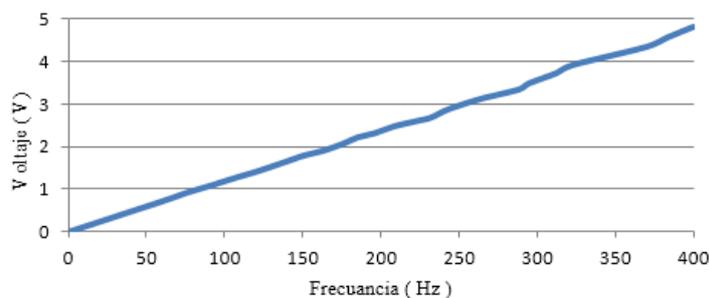
Con los valores de $f_{\text{máx}}$, C_1 , y R_1 obtenidos como referencia, después de algunos ajustes y pruebas realizadas, los valores que se obtuvieron del circuito conversor de frecuencia a voltaje se detallan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Valores obtenidos del conversor F/V.

Frecuencia Hz	Voltaje V	Frecuencia Hz	Voltaje V
0	0	208,3	2,48
63,1	0,757	222,2	2,6
75,9	0,923	232,27	2,69
90,2	1,079	243,09	2,88
107,52	1,28	263,158	3,12
121,4	1,43	288,5	3,35
140,8	1,67	294,71	3,49
151,1	1,8	312,2	3,73
163,3	1,91	322,5	3,92
175,43	2,067	370	4,35
185,18	2,223	384	4,58
196,078	2,32	400	4,82

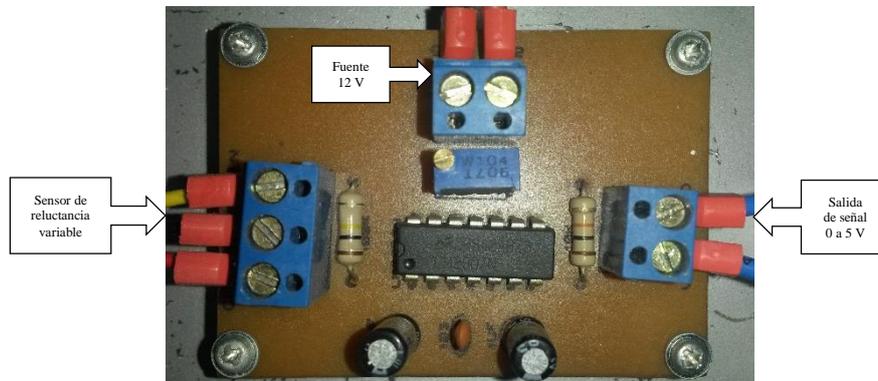
La curva del voltaje con respecto a la frecuencia obtenida de la señal de salida se puede observar en la Figura 4.29.

Figura 4.29 Curva de la Frecuencia vs Voltaje.



El circuito conversor de frecuencia a voltaje implementado se muestra en la Figura 4.30.

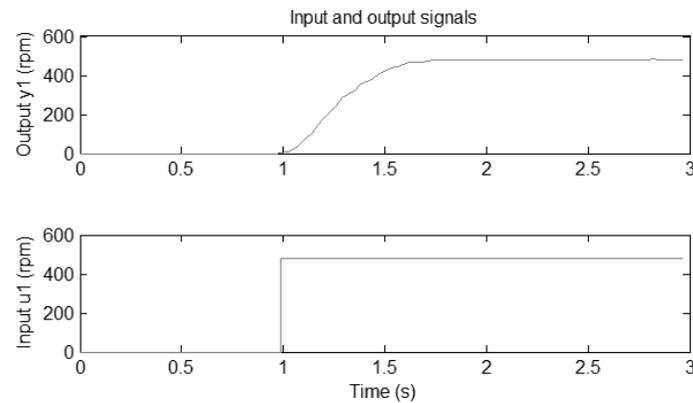
Figura 4.30 Placa del circuito conversor de frecuencia a voltaje.



Una vez determinadas las características del sensor de velocidad procedemos a determinar la función de transferencia para poder aplicar el controlador PI y determinar los valores de las constantes k_P y k_I del controlador.

El sensor está ubicado en el eje de del mecanismo, por lo tanto el valor máximo de la señal sería menor que la mitad de la velocidad nominal del motor. Para leer la señal del voltaje se utilizó una entrada analógica de la placa electrónica Arduino Mega2560. A esta placa se le cargo un firmware que permita enviar los datos obtenidos de la conversión análogo/digital a la computadora utilizando comunicación serial para almacenarlos. El archivo “.m”de Matlab que se utilizó para la adquisición de los datos se puede visualizar en el Anexo 16, en donde se generó el código necesario para hallar los valores equivalentes de voltaje a rpm según las ecuaciones del circuito F/V. En la Figura 4.31 se muestra la curva Input $u(t)$ como la función escalón y la función Output $y(t)$ como la curva de reacción del sistema, el eje y representa la velocidad (rpm) y el eje x el tiempo de adquisición, que para este caso fue de 3 segundos. Se obtuvieron un total de 100 datos con un tiempo de muestreo de 0.03s.

Figura 4.31 Señal obtenida.

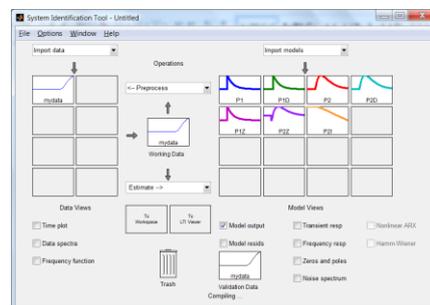


Fuente: Matlab versión 2013.

4.3.5 PROCESO DE MODELAMIENTO.

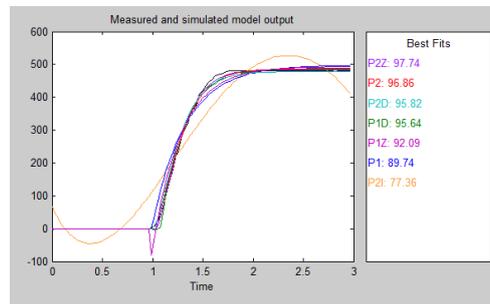
Como se ha planteado anteriormente el toolbox de Identificación de Sistemas de Matlab, se utiliza para identificar modelos matemáticos de sistemas dinámicos, a partir de datos medidos de entrada y salida. Este toolbox proporciona una interfaz gráfica de usuario donde la creación de los modelos se hace de forma interactiva (Márquez, 2012). En este caso los datos están en el dominio del tiempo, una vez importados procedemos a estimar el modelo utilizando diferentes tipos, Figura 4.32.

Figura 4.32 System Identification Tool



Fuente: Matlab version 2013. System Identification Tool

Es necesario analizar la gráfica de respuesta escalón de cada modelo simulado para determinar el grado de similitud con respecto a la curva de reacción del sistema real, Figura 4.33.

Figura 4.33 Modelos simulados.

Fuente: Matlab version 2013. System Identification Tool.

En la Tabla 4.8 se muestra los datos de error de predicción final (FPE) y el porcentaje de ajuste (FIT) de cada uno de los modelos obtenidos de las diferentes estructuras a considerar.

Tabla 4.8. Criterios de selección del modelo

MODELO	FPE	FIT
P1	542,998	89,74%
P1D	104,14	95,64%
P2	51,65	96,86%
P2D	96,319	95,82%
P1Z	328,64	92,09%
P2Z	27,237	97,74%
P2I	2775,5	77,36%

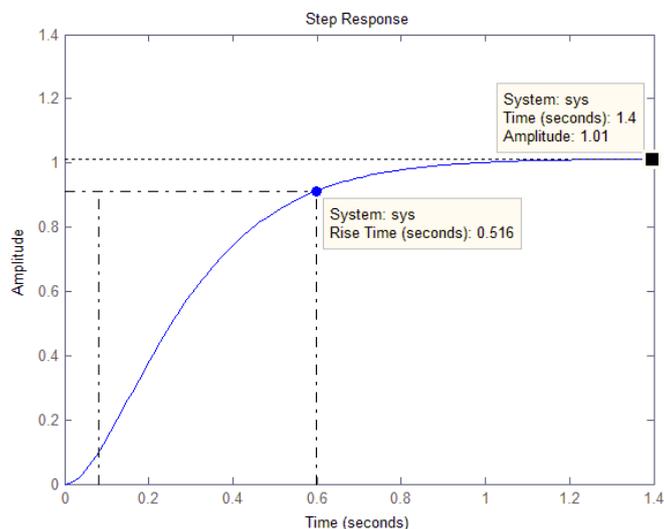
Después de haber analizado los datos de cada modelo obtenido se selecciona el modelo P2, ya que tiene el menor error de predicción final (FPE) que es de 51,65, y un porcentaje de ajuste con respecto a la curva de reacción (FIT) que es de 96,86%. Se obtiene una función de transferencia de segundo orden. El modelo de la planta seleccionado se muestra en la Ecuación 4.6.

Ecuación 4.6 Función de transferencia de la Plata.

$$G(s) = \frac{1.0132}{(0.15346s + 1)(0.15344s + 1)}$$

La respuesta escalón en lazo abierto de $G(s)$ es:

Figura 4.34 Respuesta escalón de $G(s)$.



La ganancia de continua de la función de transferencia de la planta es 1.0132, así que este es el valor final de la salida a una entrada escalón unitario. Obtenemos un error de estado estacionario de 0.0132, el tiempo de elevación es de 0.516s y el tiempo de establecimiento es de 1.4s.

4.3.6 CONTROLADOR PI

Se implementa un control proporcional integral debido a que el variador de frecuencia a utilizar para accionar el motor de inducción, cuenta con una función interna que permite configurar estos parámetros y además una entrada analógica como señal de feedback.

El control proporcional integral se puede expresar matemáticamente en el dominio de la frecuencia compleja como se muestra en la Ecuación 4.7.

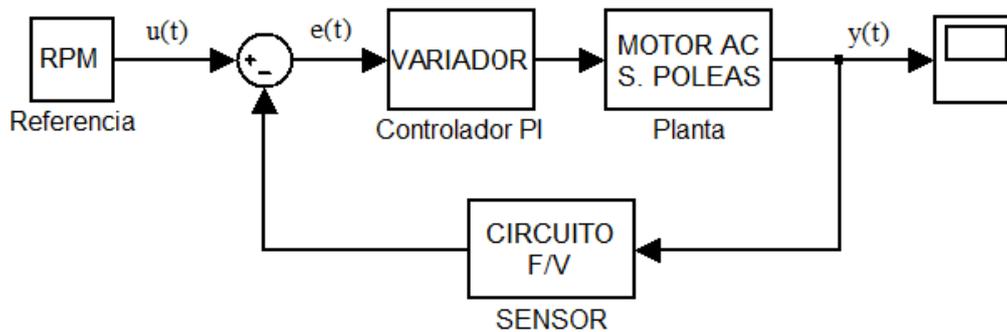
Ecuación 4.7 Función de transferencia del controlador PI.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Donde se tiene una acción proporcional K_p que actúa directamente sobre el error pero no lo elimina, y una acción integral T_i que elimina el error de estado estacionario.

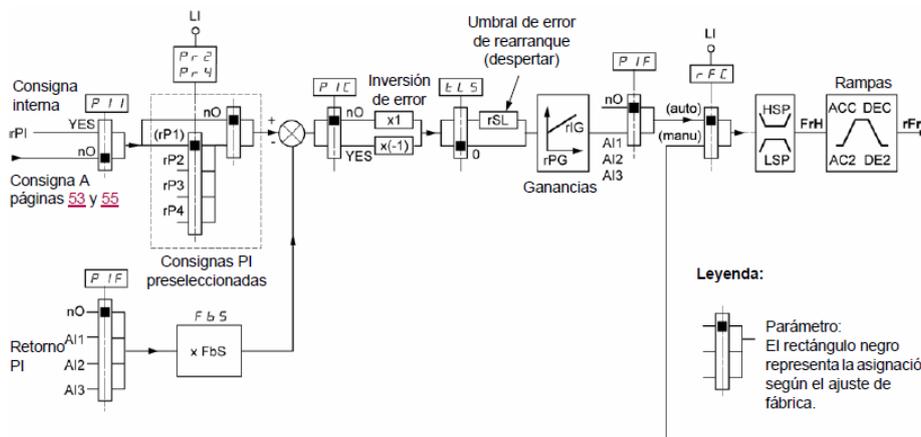
El sistema de control de velocidad de la maquina se presenta en la Figura 4.35. Podemos ver que el variador de frecuencia es el controlador mientras que el sensor de retroalimentación es el circuito conversor de frecuencia a voltaje.

Figura 4.35 Diagrama de bloques del lazo de control PI.



El diagrama sinóptico de la Figura 4.36, El variador de frecuencia Altivar 312 a utilizar cuenta con un controlador PI internamente, el control pi del variador está formado como lo explica.

Figura 4.36 Esquema Sinóptico del Regulador PI.



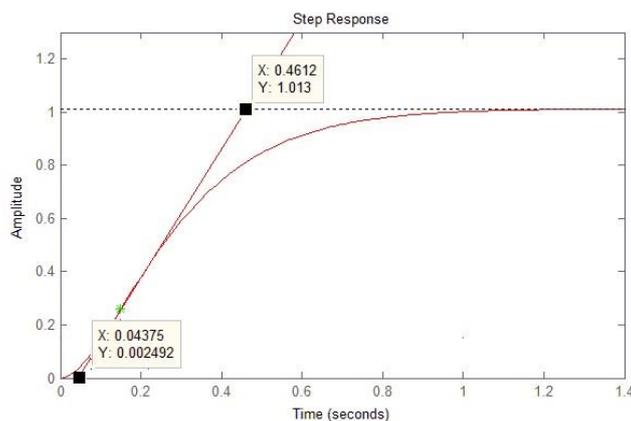
Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar/documents/guia-de-programacion-atv312.pdf>

Como se observa en el gráfico, la consigna del controlador puede ser interna o externa, al seleccionar $rPI = YES$, podemos introducir el valor necesario de la referencia del controlador utilizando la perilla de navegación en un rango que va de 0 a 100%. Este valor corresponde, en este caso, al porcentaje de la velocidad a la que va a trabajar la máquina. A 0% corresponde 0 rpm y a 100% corresponde 1685 rpm que es la velocidad nominal del motor. En el diagrama también podemos ver que el retorno PI debe ser asignado a una de las entradas analógicas AI1, AI2 o AI3. En este caso se asignó la entrada analógica AI2, ya que es una entrada analógica de voltaje en un rango de 0 a 10V.

A continuación se presenta el diseño de un controlador que reduzca el tiempo de elevación y el tiempo de establecimiento. Para ello utilizaremos el primer método de sintonización de controladores de Ziegler y Nichols. Podemos utilizar este método ya que cumple con las características siguientes; la respuesta escalón de $G(s)$ tiene forma de **S**, y no contiene integradores. Tales características nos permitirán encontrar los valores de **L** y **T**, que son el tiempo de retardo y la constante de tiempo respectivamente. A continuación se calculan las

constantes del controlador por el primer método de Ziegls y Nichols, utilizando la Figura 4.37.

Figura 4.37 Determinación de las constantes L y T



El grafico obtenido muestra que el punto de inflexión se encuentra en (0.1500, 0.2596) por lo tanto $L = 0.0437$ y $T = 0.461 - L = 0.417$. Se utiliza la Tabla 4.9 para calcular las constantes del controlador PI.

Tabla 4.9 Constantes del controlador

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{r}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{r}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{r}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: Ogata, Katsuhiko. (1998). Ingeniería de control moderna. México. Prentice-Hall. Cap. 8. Pág. 570.

Luuego de este proceso se decide que los valores de las constantes serian:

$$K_p = 0,9 * \frac{T}{L} = 8,59$$

$$T_i = \frac{L}{0,3} = 0,146$$

La ecuación del controlador PI del sistema estaría definida por:

$$G_c(s) = 8,59 \left(1 + \frac{1}{0,146s} \right)$$

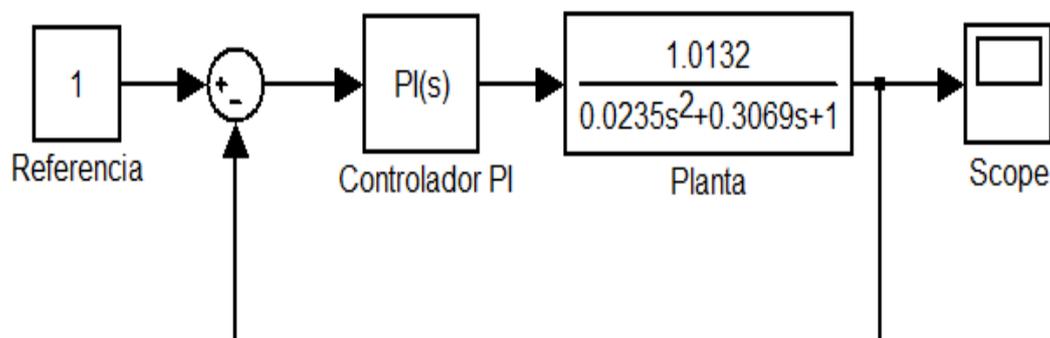
$$G_c(s) = 8,59 + \frac{58,83}{s}$$

Los valores obtenidos en la mayoría de casos sólo pueden ser considerados como un punto de partida para iniciar la sintonización del controlador

4.3.7 IMPLEMENTACIÓN

A continuación se simula el comportamiento del sistema de control utilizando la planta y el controlador encontrado, para ello se utilizó el diagrama de bloques en lazo cerrado implementado en Simulink que se muestra en la Figura 4.38

Figura 4.38 Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad.



Al analizar el sistema de control PI, se obtuvo la gráfica de color negro que se muestra en la Figura 4.39, que representa la respuesta del sistema de control en lazo cerrado con las constantes del controlador PI halladas por el método de Ziegler y Nichols, donde se puede observar que el tiempo de subida es de aproximadamente 0.1s, el error llega a eliminarse, el tiempo de establecimiento es de 1.5s y se observa un sobreimpulso de más del 50%.

Figura 4.39 Respuesta del sistema de control PI

Después de haber realizado algunos ajustes en los valores del controlador, se obtuvieron los valores de $P = 3$ e $I = 10$ para la respuesta de la Figura 4.39 de color azul. Como se puede observar el sobreimpulso es menos del 20%, el tiempo de subida es de alrededor de 0.2 s y el tiempo de establecimiento se redujo a alrededor de 0.75s.

4.3.8 DIMENSIONAMIENTO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

De acuerdo al dimensionamiento de las características del motor eléctrico, se eligió un variador de frecuencia Altivar 312H075M2.

Figura 4.40 Altivar 312

La Tabla 4.10 detalla las características eléctricas del variador de frecuencia a utilizar:

Tabla 4.10. Características eléctricas del Variador de Frecuencia.

Característica	Valor
Potencia	0.75KW / 1HP
Voltaje de entrada	220 V monofásico
Voltaje de salida	220 V trifásico
Frecuencia	60 Hz
Corriente de entrada nominal	8.9 A
Corriente de salida nominal	4.8 A
Control PI de velocidad	Si
Entradas analógicas	AI1(V), AI2(V), AI3(I)
Salidas analógicas	AO(V), AO(I)
Entradas lógicas	LI1, LI2, LI3
Salidas de relé	R1A, R1B, R1C

Fuente: Guía de programación Altivar 312

El calibre del conductor que alimenta al circuito de potencia se determina de la tabla de secciones especificada por el fabricante para el variador de frecuencia Altivar 312H075M2 que en este caso es de 14 AWG.

Tabla 4.11. Calibres de conductores

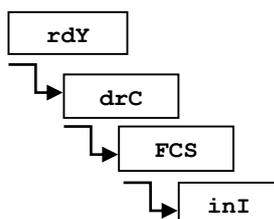
ATV312H	Secciones aplicables de cables mm ² (AWG)	Secciones recomendadas de cables mm ² (AWG)	Par de apriete N.m (lb.in)
018M2, 037M2	2,5	2,5	0,8
055M2, 075M2	(14)	(14)	(7,1)

Fuente: Manual de instalación Altivar 312

4.3.9 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

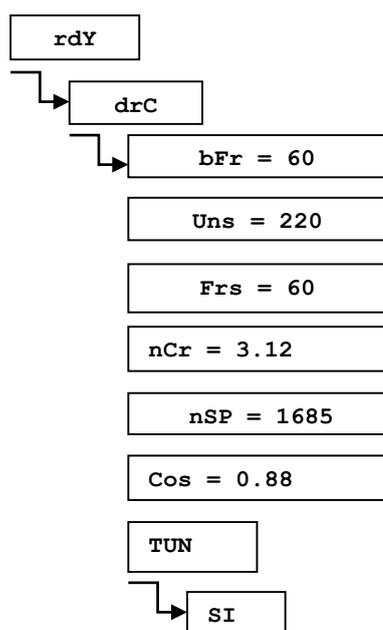
Antes de introducir cualquier dato en el Variador se procedió a restablecer sus características de fábrica, para ello se seleccionaron los siguientes comandos en la secuencia que se muestra en la Figura 4.41, utilizando la rueda de navegación y el display:

Figura 4.41 Configuración de parámetros de fábrica.



Antes de poner en funcionamiento del variador hay que introducir los parámetros del motor que se indica en la placa de características: tensión nominal, frecuencia nominal, corriente nominal, velocidad nominal y coseno del motor. La Figura 4.42 muestra los comandos ejecutados en el orden correspondiente.

Figura 4.42 Configuración de los parámetros del motor en el variador.



El parámetro TUN sirve para que el variador de frecuencia calcule los parámetros restantes y que el control sea más exacto. A continuación se detalla las abreviaciones de cada comando.

bFr -> Frecuencia estándar de alimentación [Hz].

Uns -> Tensión nominal del motor [V].

Frs -> Frecuencia estándar del motor en la placa [Hz]

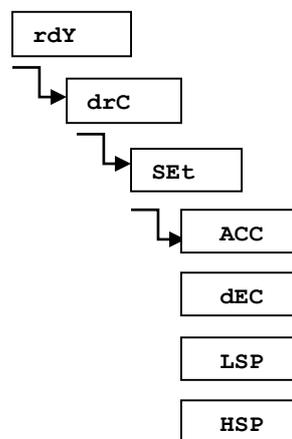
nCr -> Corriente del motor [A]

nSP -> Velocidad nominal del motor [rpm]

COS -> Factor de potencia $\cos \varphi$

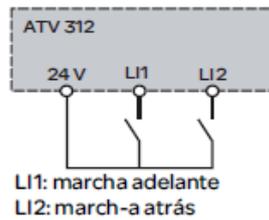
A continuación se detalla el proceso de configuración de los parámetros básicos del variador para su operación inicial.

Figura 4.43 Configuración de parámetros básicos del variador.



Para accionar el arranque y parada del motor, se seleccionó la conexión de control por 2 hilos, Figura 4.44, donde LI1 es la entrada de arranque y LI2 la entrada de señal de marcha-atrás del motor. De esta manera al, al detectar un flanco positivo en cualquier entrada, el variador activa sus salidas de potencia, y al detectar un flanco negativo el variador desactiva sus salidas de potencia.

Figura 4.44 Control por 2 hilos

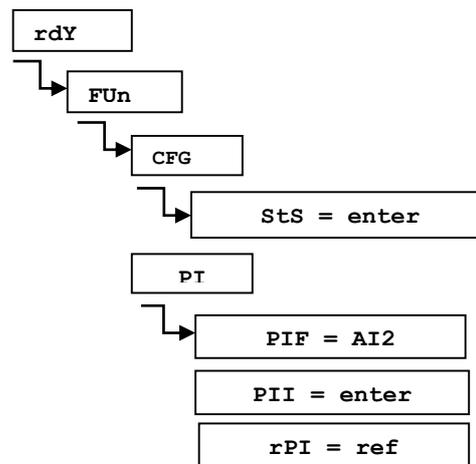


Fuente: Guía de programación Altivar 312

4.3.10 CONFIGURACIÓN DE LAS CONSTANTES DEL CONTROLADOR PI.

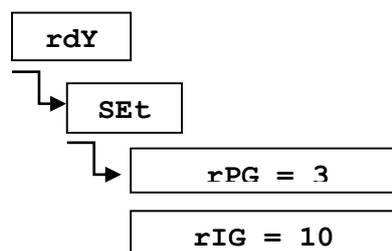
De la misma manera que se configuraron las características del motor, se procederá a configurar las constantes del controlador, para ello, activamos la función del controlador PI seleccionando el canal de retorno o feedback AI2 y la referencia interna PII.

Figura 4.45 Configuración de parámetros de control PI.



El parámetro rPI es la referencia interna del controlador, tiene un rango de 0.0% a 100.0%. A continuación configuramos las constantes encontradas en el proceso de modelamiento de controlador.

Figura 4.46 Configuración de ganancia kp y ki en el variador.



5 CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN.

A continuación se describen las pruebas realizadas con los diferentes sensores y mecanismos implementados en la máquina de acuerdo a los objetivos planteados.

5.2 PRUEBAS REALIZADAS DEL POSICIONAMIENTO DE LOS MOLDES

Para censar la distancia a la que se posicionan los moldes se utilizaron dos tipos de sensores; el primero fue un sensor infrarrojo GP2D120 y el segundo un potenciómetro multivuelta o trimmer de 10 K.

5.2.1 SENSOR GP2D120

Para censar la posición de los moldes se utilizó inicialmente el sensor de distancia infrarrojo GP2D120 ya que trabaja en un rango de distancia de 4 a 40 cm, óptimo para la aplicación en donde se implementaría.

Figura 5.1 Sensor acoplado al mecanismo de los moldes.

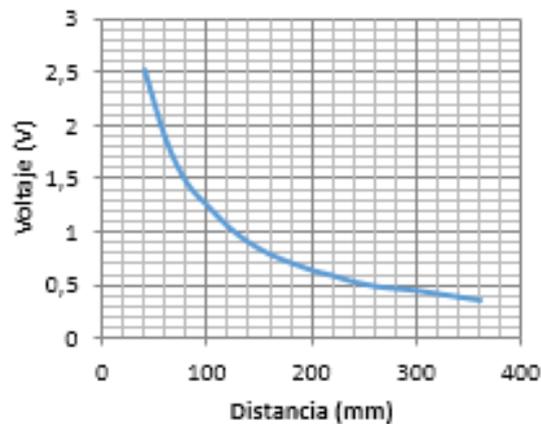


Al tomar los valores del sensor en con un voltímetro en su salida en un rango de 4 a 36 cm se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Valores obtenidos del sensor SHARP GP2D120

Distancia mm	Voltaje V	Distancia mm	Voltaje V
40	2,52	220	0,58
60	1,87	240	0,52
80	1,46	260	0,48
100	1,24	280	0,46
120	1,04	300	0,44
140	0,89	320	0,41
160	0,78	340	0,38
180	0,7	360	0,35
200	0,63	380	0,33

Corroborando con la gráfica que muestra la hoja de datos del fabricante se obtuvo la Figura 5.2. Gráfica del Voltaje vs la distancia.

Figura 5.2. Gráfica del Voltaje vs la distancia.

No obstante al implementar el mecanismo de los moldes con el sensor en la máquina, se encontró que los valores del voltaje a distancias cortas fluctuaban en un 40% del valor total de su rango, en el intervalos de 4 a 10 cm, debido a la interferencia electromagnética que genera el circuito de potencia en la máquina, generando corrientes parásitas en la señal proveniente del sensor infrarrojo, creando valores erróneos en la lectura analógica del microcontrolador.

5.2.2 PRUEBAS REALIZADAS CON EL TRIMMER MULTIVUELTA

La opción más viable ante el problema mencionado, fue utilizar un trimmer multivuelta de 10K, el cual tiene una salida lineal y más estabilidad en su señal a lo largo de todo su rango de valores, Figura 4.11 , acoplado a un par de poleas y bandas dentadas. La distancia física permitida entre los moldes es de 4 cm, pero la distancia mínima a la que se deben colocar los moldes para poder retirar las bobinas es de 7 cm, y la máxima es de 27 cm. La tabla 5.2 muestra las distancias encontradas.

Tabla 5.2 Distancias encontradas en el mecanismo de posicionamiento de moldes

Distancia requerida	Distancia medida	Error
7	6,8	0,2
8	8,1	0,1
9	9,1	0,1
10	10	0
11	11	0
12	12,2	0,2
13	13,5	0,5
14	14,5	0,5
15	15,5	0,5
16	16,4	0,4
17	17,6	0,6
18	18,6	0,6
19	19,5	0,5
20	20,5	0,5
21	21,7	0,7
22	23	1
23	23,7	0,7
24	24,7	0,7
25	26	1
		0,46

Encontramos que hay un promedio de 4 mm de error en los valores requeridos, error que es relativamente aceptable debido al bajo costo de implementación.

5.3 PRUEBAS REALIZADAS DEL TIEMPO DEL PROCESO DE BOBINADO

Se tomaron los tiempos del proceso artesanal y del proceso utilizando la máquina, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.3, realizaron pruebas con cable #28 a diferentes valores de referencia de velocidad interna del variador (rPI).

Tabla 5.3 Resultados obtenidos

cable # 28	Proceso artesanal	Proceso con máquina rPI 20%	Proceso con máquina rPI 25%	Proceso con máquina rPI 30%
Distancia 40 cm pasos 3 vueltas 20	2.5 min	1.10 min	1 min	55 seg.
cable # 28				
Distancia 42 cm pasos 3 vueltas 30	3.5 min	1.15 min	1.5 min	1 min

Figura 5.3 Reactancias elaboradas con cable #28.



5.4 PRUEBAS DEL CONTROLADOR DE VELOCIDAD PI IMPLEMENTADO

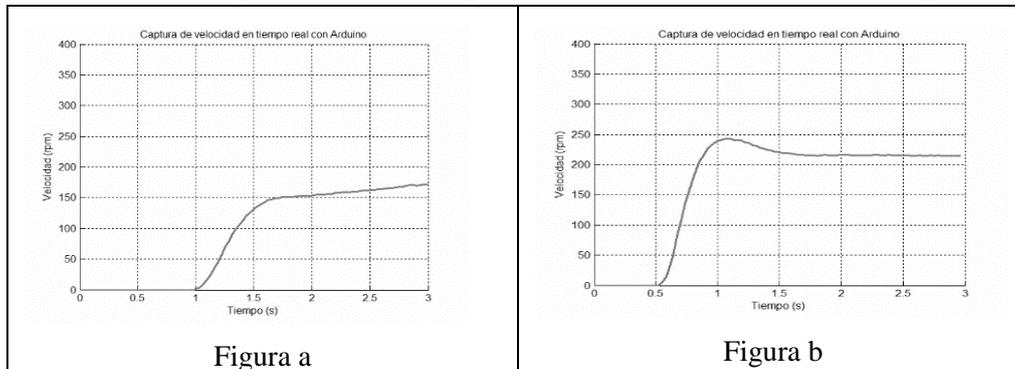
En la Tabla 5.4 se presentan las variaciones que se realizaron en las constantes del controlador PI para visualizar su comportamiento en la planta real.

Tabla 5.4 Pruebas del control de velocidad PI implementado.

rPI	rpm	P	I	ACC	DCC	Figura
20%	200	1	1	0,1	0,1	a
20%	200	3	10	0,1	0,1	b

Las gráficas de las respuestas encontradas en el sistema real con las constantes del controlador se detallan en la Figura 5.4.

Figura 5.4Tabla de graficas de respuesta del controlador PI implementado.



La Figura 5.4 (a), representa la gráfica de la respuesta del sistema de control de velocidad implementado con valores el controlador de $P = 1$ e $I = 1$, donde se puede observar que el tiempo de subida es mayor a tres segundos, verificando así la necesidad de sintonizar los valores del controlador.

La Figura 5.4 (b), representa la gráfica de la respuesta del sistema de control de velocidad implementado con valores el controlador de $P = 3$ e $I = 10$, donde se puede observar que el tiempo de subida es de 0,5 s, el tiempo de estabilización es de alrededor de 0,75 s, y el error de estado estable es menor al 25%.

Se ha elegido un valor de referencia de velocidad del 20 %, debido a que en el proceso la maquina no debe afectar el aislamiento que recubre al conductor de cobre por tensiones bruscas o exceso de fricción.

5.5 PRUEBAS DE LA POSICIÓN DEL MECANISMO QUE GENERA EL BOBINADO.

Utilizando el control PI implementado y los tiempos de aceleración (ACC) y desaceleración (dEC) del variador de frecuencia se obtuvo la siguiente tabla que muestra la calibración del

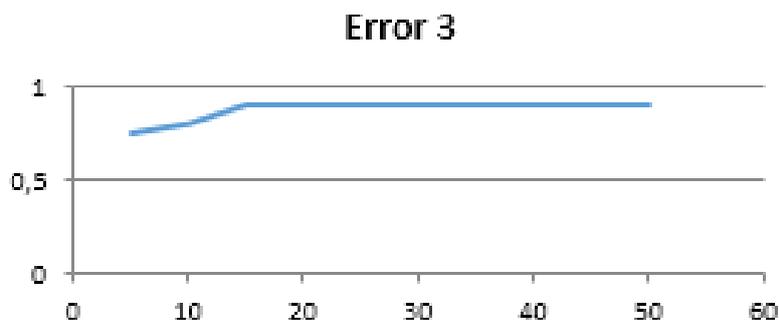
mecanismo para que se detenga automáticamente después de haber realizado el número de vueltas requerido.

Tabla 5.5 Pruebas de la posición del mecanismo que genera el bobinado

Velocidad %				ACC (5 s) dEC (5 s)	ACC (1 s) dEC (1 s)	ACC(2 s) dEC (0,5 s)	ACC(2 s) dEC(0,1 s)
rPI	P	k	vueltas	error	Error 1	Error 2	Error 3
20%	3	10	5	2,1	0,8	0,8	0,75
20%	3	10	5	2,1	0,8	0,8	0,75
20%	3	10	10	2,25	1	0,9	0,8
20%	3	10	10	2,25	1	0,9	0,8
20%	3	10	15	2,5	1	1	0,9
20%	3	10	15	2,5	1	1	0,9
20%	3	10	20	2,7	1	1	0,9
20%	3	10	20	2,7	1	1	0,9
20%	3	10	25	2,74	1	1	0,9
20%	3	10	25	2,74	1	1	0,9
20%	3	10	30	2,74	1	1	0,9
20%	3	10	30	2,74	1	1	0,9
20%	3	10	35	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	35	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	40	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	40	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	45	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	45	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	50	2,75	1	1	0,9
20%	3	10	50	2,75	1	1	0,9

Los valores del error se estimaron visualmente al introducir un rango de vueltas de 5 a 50, visualizando el contador de vueltas en la HMI y su posición final. La Figura 5.5 muestra la variación del error conforme van aumentando el número de vueltas.

Figura 5.5 Estimación del error de posición del mecanismo.



6 CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La implementación de la HMI permitió agregar botones e indicadores al proceso de automatización de la máquina sin necesidad de incorporarlos físicamente.
- El mecanismo que posiciona los moldes permite elaborar bobinas de diferentes longitudes, con longitudes simétricas, sin necesidad de acoplar ningún elementos adicional
- El uso de una software CAD como lo es Inventor, reduce costos e iteraciones a la hora de diseñar elementos mecánicos
- De acuerdo a las observaciones obtenidas en las pruebas realizadas con la máquina, pudimos observar que el eje se detiene muy bruscamente al utilizar el freno por inyección de corriente DC del variador de frecuencia, al momento de detener el eje, esto podría llevar al motor a disminuir su tiempo de vida, razón por la cual se procedió a implementar un control de velocidad PI con el variador de frecuencia.
- La interfaz creada en LabView permite almacenar los datos de las bobinas sin errores de transmisión, permitiendo una comunicación eficaz y reduciendo el tiempo de inventariado.

6.2 RECOMENDACIONES

- Acoplar una reducción helicoidal o un motoreductor, para permitir que el variador de frecuencia trabaje en condiciones normales de operación.
- Utilizar un proceso de mecanizado más eficiente para elaborar los bocines de las guías del portamoldes con el fin de reducir la tolerancia y evitar vibraciones en el mecanismo.
- Realizar pruebas con funciones de interpolación diferentes para verificar si se puede mejorar la precisión del sensor de posición.
- Incorporar un dispositivo de comunicaciones inalámbricas entre la HMI y la PC para evitar una conexión física entre los dos dispositivos, como por ejemplo un Xbee.
- Como mejora de la máquina se puede recomendar el uso de un PLC para la automatización de todo el proceso de bobinado, ya que son dispositivos con mejores prestaciones como; alto rango de resistencia a las interferencias electromagnéticas y vibraciones, trabajan con voltajes de acople de señales de sensores de 10 voltios, son más robustos, entre otras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas programables*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Blanco, R., Hernández, J., & Ramírez, M. (s.f.). El método mimético, una alternativa para comprensibilidad de modelos de "Caja Negra".
- Bolton, W. (2010). *Mecatrónica*. México: Alfaomega.
- Bort, J. V. (2002). Estudio del Modelo Matemático del Motor de Inducción Trifásico.
- Budynas R, N. k. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.
- Budynas, R., & Keith, N. (2008). *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.
- Camargo, E., Garzón, E., & Pérez, M. (2010). Control vectorial de motores de inducción. *Revista Visión Electrónica*, 4(2), 97-105.
- Chapman, S. (2002). *Máquinas Eléctricas*. Madrid: McGraw-Hill.
- Diego, V., Enrique, Q., & Vladimir, S. (2014). Estudio del efecto de la distorsión armónica de tensión sobre la operación del motor trifásico de inducción en estado estacionario. *Revista energética*, 43(6), 111.
- Floyd, T. (2006). *Fundamentos de sistemas digitales*. Madrid: Prentice Hall.
- Harper, G. E. (2003). *Manual de electricidad industrial*. México: Limusa.
- Márquez, J. (2012). Restategia para el control de la temperatura del crudo a la salida del intercambiador E-22 en la planta de deshidratacion de crudo de la empresa petroregional de lago ,S.
- Melo, J. L. (2009). *Ergonomía practica*. Buenos Aires: Contartese Grafica S.R.L.
- Mora, F. (2003). *Máquinas eléctricas* . Madrid: McGraw-Hil.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. México: Prentice-Hall.
- Rashid, M. (1995). *Electrónica de Potencia*. México: Prentice Hall.
- Vargas Tamani, B. (2010). Diseño e implementación de un controlador proporcional integral en un controlador industrial de procesos. *Revista de la facultad de ingeniería industrial*, 13(2), 38-47.

SITIOS DE INTERNET

<http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manua-poleas-en-v-intermec.pdf>.

<http://mx.mouser.com/microchip>.

<http://mx.mouser.com/microchip>.

<http://personales.unican.es/PDFs/constitucion%20maq%20elec.pdf>.

http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf.

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf>. <http://www.actrol.com.au>.

http://www.daycoaftermarket.com/download/area_argentina/catalogo_correas_industriales.pdf.

<http://www.devanasur.blogspot.com/p/pasos-seguir-para-reparar-un-motor.html>.

http://www.fing.edu.uy/cursos//teorico/7_FUNCION_DE_TRANSFERENCEIA_PRIMER_ORDEN.pdf.

<http://www.pololu.com/product/1446>.

<http://www.schneider-electric.com.ar/documents/local/guia-de-programacion-atv312.pdf>.

http://www.tecnicaenfijacion.com.mx/Varilla_Roscada.html

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2907-n.pdf>.

www.bobinadorasgmr.com.ar.

www.delectro.dyndns.org/Deselec_microcontroladores.htm.

www.delectro.dyndns.org/Deselec_microcontroladores.htm.

www.desktopclass.com.

www.intertecequip.com.br/produtos/eletro_eletronica4.html.

www.msebilbao.com/tienda/images/24PIC18F4550.jpg.

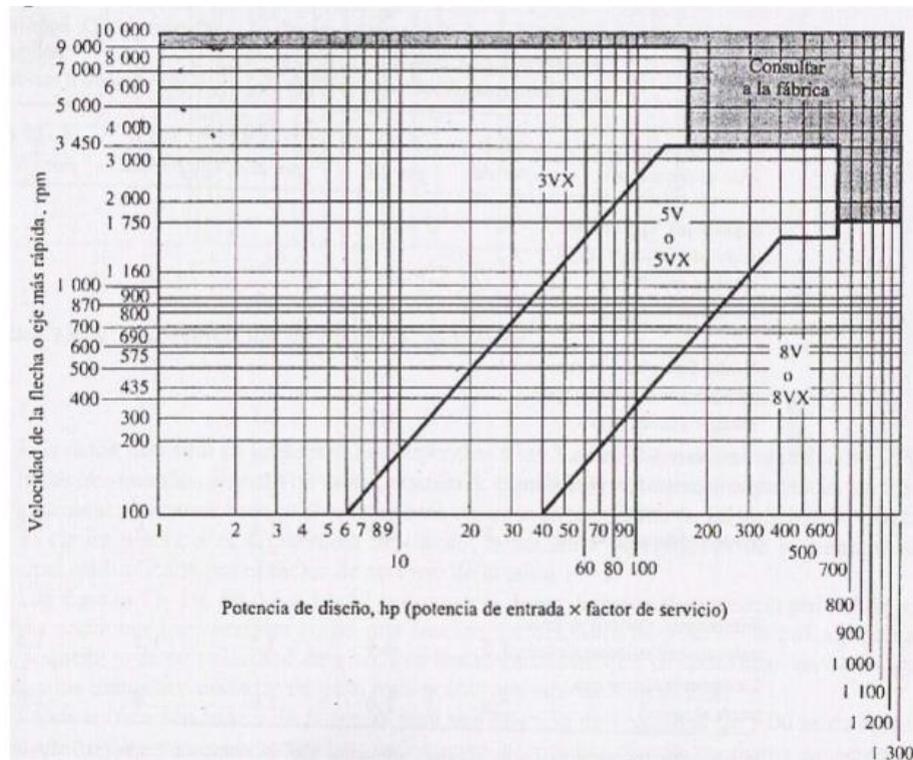
ANEXOS

Anexo 1 Características de motores trifásicos de inducción

CV	KW	Peso (Kg)	Valores de servicio				
			Velocidad rpm	Rendimiento η	Cos φ	I 380 (V)	Par T (N.m)
0,08	0,06	2,5	1300	54	0,73	0,23	0,44
0,13	0,09	2,8	1315	57	0,71	0,34	0,66
0,17	0,12	3,5	1315	56	0,75	0,44	0,88
0,25	0,18	4,1	1320	60	0,75	0,61	1,3
0,33	0,25	4,8	1345	64	0,76	0,78	1,8
0,50	0,37	6	1375	66	0,76	1,12	2,5
0,75	0,55	8	1400	71	0,8	1,47	3,7
1,00	0,75	9,4	1400	74	0,79	1,95	5,1
1,50	1,1	12	1400	74	0,81	2,8	7,5
2,00	1,5	15,6	1410	76	0,81	3,7	10
3,00	2,2	22	1410	78	0,83	5,2	15
4,00	3	24	1410	79	0,83	7	20
5,50	4	42	1435	84	0,82	8,8	27
7,50	5,5	50	1450	84	0,85	11,7	36
10,00	7,5	66	1450	86	0,85	16,6	49

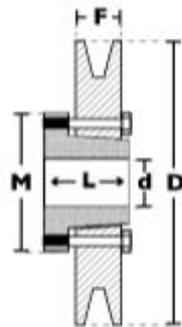
Fuente: Mora F. (2003). Máquinas Eléctricas. Mc-GrawHill. 5ta ed. Cap. 4, Pág 265

Anexo 2 Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta

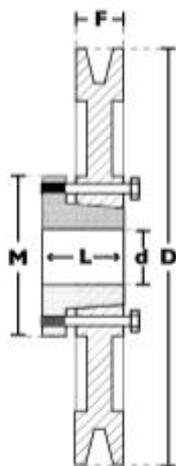


Fuente: Mott R. (2009) Diseño de maquinaria. México. Cap. 7 Pág. 277.

Anexo 3 Catálogo de poleas



Modelo T1

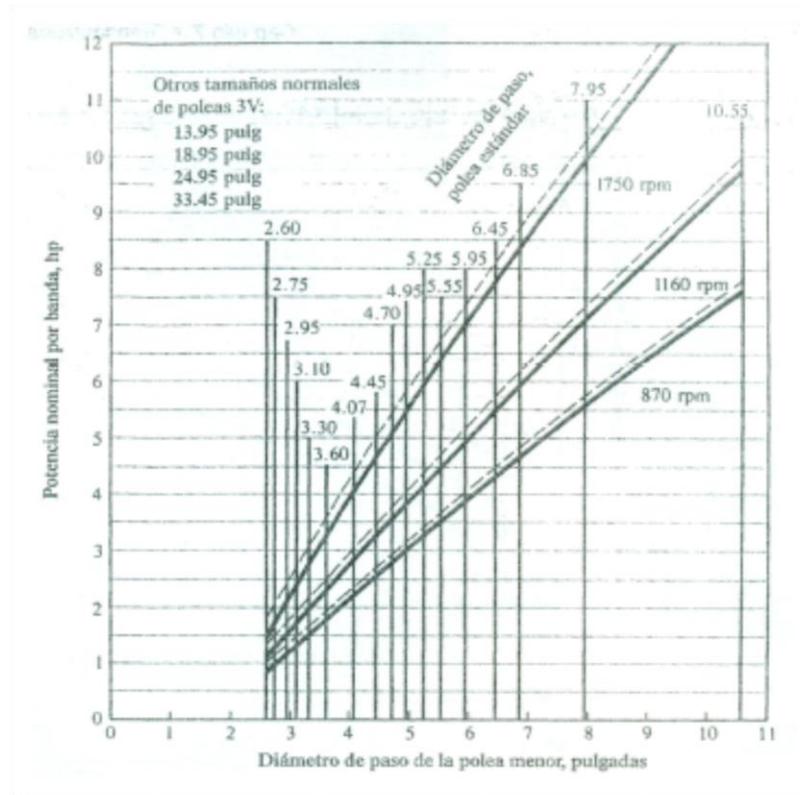


Modelo T3

1 CANAL									
Ancho (F) = 17.5 mm									
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Hueco máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2.0	50	PQ 1-3V50	JA	25.4	1	27	50	T1	0.6
2.2	55	PQ 1-3V55	JA	25.4	1	27	50	T1	0.7
2.3	60	PQ 1-3V60	JA	25.4	1	27	50	T1	0.8
2.5	65	PQ 1-3V65	JA	25.4	1	27	50	T1	0.8
2.6	67	PQ 1-3V67	JA	25.4	1	27	50	T1	0.9
2.8	70	PQ 1-3V70	JA	25.4	1	27	50	T1	0.9
3.0	75	PQ 1-3V75	JA	25.4	1	27	50	T1	1.0
3.1	80	PQ 1-3V80	JA	25.4	1	27	50	T1	1.0
3.3	85	PQ 1-3V85	JA	25.4	1	27	50	T1	1.1
3.6	90	PQ 1-3V90	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	1.3
3.9	100	PQ 1-3V100	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	1.6
4.1	105	PQ 1-3V105	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	1.7
4.3	110	PQ 1-3V110	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.0
4.5	115	PQ 1-3V115	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.1
4.7	120	PQ 1-3V120	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.5
5.0	125	PQ 1-3V125	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.8
5.1	130	PQ 1-3V130	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.9
5.3	135	PQ 1-3V135	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.0
5.6	140	PQ 1-3V140	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.2
6.0	150	PQ 1-3V150	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.5
6.3	160	PQ 1-3V160	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.8
6.5	165	PQ 1-3V165	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.9
6.7	170	PQ 1-3V170	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	4.0
6.9	175	PQ 1-3V175	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	4.5
7.0	180	PQ 1-3V180	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T1	4.6
7.5	190	PQ 1-3V190	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T1	5.1
8.0	200	PQ 1-3V200	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T3	5.5
9.0	230	PQ 1-3V230	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T3	6.0
9.9	250	PQ 1-3V250	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T3	7.8
10.6	270	PQ 1-3V270	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T3	8.0
11.0	280	PQ 1-3V280	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	10.6
11.8	300	PQ 1-3V300	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	11.3
12.5	320	PQ 1-3V320	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	12.0
13.7	350	PQ 1-3V350	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	13.2
14.0	355	PQ 1-3V355	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	13.5
15.7	400	PQ 1-3V400	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	14.1
19.0	485	PQ 1-3V485	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	17.0

Fuente: <http://lab.transmitemec.com/wp-content/uploads/2014/06/manua-poleas-en-v-intermec.pdf>

Anexo 4 Capacidades de bandas 3V



Fuente: Mott R. (2009) Diseño de maquinaria. México. Cap. 7 Pág. 275.

Anexo 6 Propiedades de los aceros estructurales

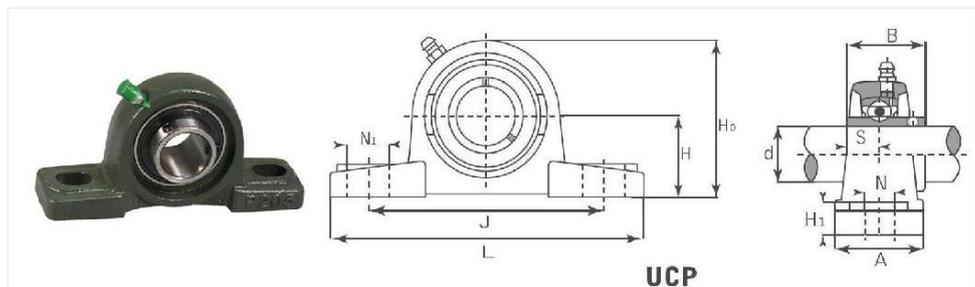
ASTM	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Ductilidad % de elongación en 2 pulgadas
		ksi	MPa	ksi	MPa	
A36	$t \leq 8$ pulg	58	400	36	250	21
A242	$t \leq 3/4$ pulg	70	480	50	345	21
A242	$t \leq 1\ 1/2$ pulg	67	460	46	315	21
A242	$t \leq 4$ pulg	63	435	42	290	21
A500	Tubo estructural formado en frío, redondo o de otras formas					
	Redondo, grado A	45	310	33	228	25
	Redondo, grado B	58	400	42	290	23
	Redondo, grado C	62	427	46	317	21
	Otra forma, grado A	45	310	39	269	25
	Otra forma, grado B	58	400	46	317	23
	Otra forma, grado C	62	427	50	345	21
A501	Tubo estructural formado en caliente, redondo o de otras formas	58	400	36	250	23
A514	Templado y revenido, $t \leq 2\ 1/2$ pulg	110 - 130	760 - 895	100	690	18%
A572	42, $t \leq 6$ pulg	60	415	42	290	24
A572	50, $t \leq 4$	65	450	50	345	21
A572	60, $t \leq 1\ 1/4$ pulg	75	520	60	415	18
A572	65, $t \leq 1\ 1/4$ pulg	80	550	65	450	17
A588	$t \leq 4$ pulg	70	485	50	345	21
A992	Perfiles W	65	450	50	345	21

Fuente: Mott R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México. 4 ed. Apéndice 7

Anexo 7. Catálogo de chumaceras.

CMB

Pillow block-UCP200,UCP300



UCP200															Bearing	Housing	Mass
Part No.	Dimension(mm)												No.	No.	(kg)		
CMB	d	h	a	e	b	S1	S2	g	w	b	n	Bolt	No.	No.	(kg)		
UCP201	12	30.2	127	95	38	13	19	14	62	31	12.7	M10	UC201	P203	0.69		
UCP201-8	1/2	1-3/16	5	3-3/4	1-1/2	1/2	3/4	9/16	2-7/16	1.2205	0.500	3/8	UC201-8	P203	0.69		
UCP202	15	30.2	127	95	38	13	19	14	62	31	12.7	M10	UC202	P203	0.69		
UCP202-9	9/16	1-3/16	5	3-3/4	1-1/2	1/2	3/4	9/16	2-7/16	1.2205	0.500	3/8	UC202-9	P203	0.69		
UCP202-10	5/8	1-3/16	5	3-3/4	1-1/2	1/2	3/4	9/16	2-7/16	1.2205	0.500	3/8	UC202-10	P203	0.69		
UCP203	17	30.2	127	95	38	13	19	14	62	31	12.7	M10	UC203	P203	0.68		
UCP203-11	11/16	1-3/16	5	3-3/4	1-1/2	1/2	3/4	9/16	2-7/16	1.2205	0.500	3/8	UC203-11	P203	0.67		
UCP204	20	33.3	127	95	38	13	19	14	65	31	12.7	M10	UC204	P204	0.66		
UCP204-12	3/4	1-5/16	5	3-3/4	1-1/2	1/2	3/4	9/16	2-9/16	1.2205	0.500	3/8	UC204-12	P204	0.66		
UCP205	25	36.5	140	105	38	13	19	15	71	34.1	14.3	M10	UC205	P205	0.81		
UCP205-13	13/16	1-7/16	5-1/2	4-1/8	1-1/2	1/2	3/4	19/32	2-25/32	1.3425	0.563	3/8	UC205-13	P205	0.85		
UCP205-14	7/8	1-7/16	5-1/2	4-1/8	1-1/2	1/2	3/4	19/32	2-25/32	1.3425	0.563	3/8	UC205-14	P205	0.83		
UCP205-15	15/16												UC205-15	P205	0.82		
UCP205-16	1												UC205-16	P205	0.81		
UCP206	30	42.9	165	121	48	17	20	17	84	38.1	15.9	M14	UC206	P206	1.24		
UCP206-17	1-1/16	1-11/16	6-1/2	4-3/4	1-7/8	43/64	25/32	21/32	3-5/16	1.5	0.626	1/2	UC206-17	P206	1.27		
UCP206-18	1-1/8												UC206-18	P206	1.26		
UCP206-19	1-3/16												UC206-19	P206	1.24		
UCP206-20	1-1/4												UC206-20	P206	1.23		
UCP207	35	47.6	167	127	48	17	20	18	93	42.9	17.5	M14	UC207	P207	1.58		
UCP207-20	1-1/4	1-7/8	6-9/16	5	1-7/8	43/64	25/32	45/64	3-21/32	1.689	0.689	1/2	UC207-20	P207	1.64		
UCP207-21	1-5/16												UC207-21	P207	1.61		
UCP207-22	1-3/8												UC207-22	P207	1.58		
UCP207-23	1-7/16												UC207-23	P207	1.55		
UCP208	40	49.2	184	137	54	17	20	18	100	49.2	19	M14	UC208	P208	1.89		
UCP208-24	1-1/2	1-15/16	7-1/4	5-13/32	2-1/8	43/64	25/32	45/64	3-15/16	1.937	0.748	1/2	UC208-24	P208	1.93		
UCP208-25	1-9/16												UC208-25	P208	1.9		
UCP209	45	54.0	190	146	54	17	20	20	106	49.2	19	M14	UC209	P209	2.14		
UCP209-26	1-5/8	2-1/8	7-15/32	5-3/4	2-1/8	43/64	25/32	25/32	4-11/64	1.937	0.748	1/2	UC209-26	P209	2.24		
UCP209-27	1-11/16												UC209-27	P209	2.2		
UCP209-28	1-3/4												UC209-28	P209	2.14		
UCP210	50	57.2	206	159	60	20	23	21	113	51.6	19	M16	UC210	P210	2.66		
UCP210-29	1-13/16	2-1/4	8-1/8	6-1/4	2-3/8	25/32	29/32	53/64	4-29/64	2.0315	0.748	5/8	UC210-29	P210	2.78		
UCP210-30	1-7/8												UC210-30	P210	2.73		
UCP210-31	1-15/16												UC210-31	P210	2.68		
UCP210-32	2												UC210-32	P210	2.64		
UCP211	55	63.5	219	171	60	20	23	23	125	55.6	22.2	M16	UC211	P211	3.31		
UCP211-32	2	2-1/2	8-5/8	6-47/64	2-3/8	25/32	29/32	29/32	4-59/64	2.189	0.874	5/8	UC211-32	P211	3.46		
UCP211-33	2-1/16												UC211-33	P211	3.4		
UCP211-34	2-1/8												UC211-34	P211	3.35		
UCP211-35	2-3/16												UC211-35	P211	3.29		
UCP212	60	69.8	241	184	70	20	23	25	138	65.1	25.4	M16	UC212	P212	4.9		
UCP212-36	2-1/4	2-3/4	9-1/2	7-1/4	2-3/4	25/32	29/32	63/64	5-7/16	2.563	1.000	5/8	UC212-36	P212	5.03		
UCP212-37	2-5/16												UC212-37	P212	4.95		
UCP212-38	2-3/8												UC212-38	P212	4.88		
UCP212-39	2-7/16												UC212-39	P212	1.81		
UCP213	65	76.2	265	204	70	25	28	27	150	65.1	25.4	M20	UC213	P213	5.15		
UCP213-40	2-1/2	3	10-7/16	3	2-3/4	63/64	1-3/32	1-1/16	5-29/32	2.563	1.000	3/4	UC213-40	P213-40	5.24		
UCP213-41	2-9/16												UC213-41	P213-40	5.15		



Imp. dist. de retenes rodamientos y afines S.A.

Av. Ramón carcamo 720 Lima 1 - Perú
Teléfono: (511) 424 7518 / Fax: (511) 423 4099
Nextel: 831*7611 / 818*3953

Anexo 8. Catalogo tubo estructural cuadrado.



TUBO MECANICO CUADRADO

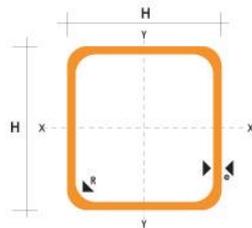
Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-513
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo normal	6.00m
Otros largos	Previa consulta
Dimensiones	Desde 1/2" a 2"
Espesor	Desde 0.60mm hasta 1.50mm



CUADRADO

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
12	0,8	0,30	0,37	0,09	0,14	0,48
12	1,0	0,37	0,50	0,11	0,18	0,47
15	0,8	0,36	0,45	0,15	0,20	0,58
15	1,0	0,45	0,61	0,20	0,26	0,57
20	0,8	0,49	0,61	0,38	0,38	0,79
20	1,0	0,60	0,83	0,50	0,50	0,77
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
25	0,8	0,61	0,77	0,76	0,61	0,99
25	1,0	0,76	1,05	1,00	0,80	0,98
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
30	0,8	0,74	0,93	1,33	0,89	1,19
30	1,0	0,92	1,27	1,77	1,18	1,18
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,47	1,15
40	0,8	0,99	1,25	3,21	1,61	1,60
40	1,0	1,23	1,71	4,32	2,16	1,59
40	1,2	1,47	1,86	4,68	2,34	1,59
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
50	1,2	1,84	2,34	9,30	3,72	1,99
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97



NOMENCLATURA	
A=	Area de la selección transversal del tubo, cm ²
I=	Momento de inercia de la sección, cm ⁴
W=	Módulo resistente de la sección, cm ³
i=	Radio de giro de la sección cm

Anexo 9 Motor de imán permanente



100:1 Metal Gearmotor 37Dx57L mm

Overview

This powerful brushed DC gearmotor is available in six different gear ratios. Versions with an integrated quadrature encoder are also available, including just the motor and encoder portion by itself (no gearbox).

Gear Ratio	No-Load Speed@ 12 V	Stall Torque@ 12 V	Stall Current@ 12 V	Pololu With Encoder	Pololu Without Encoder
1:1	11,000 RPM	5 oz-in	5 A	motor without gearbox	
19:1	500 RPM	84 oz-in	5 A	37Dx52L mm	37Dx52L mm
30:1	350 RPM	110 oz-in	5 A	37Dx52L mm	37Dx52L mm
50:1	200 RPM	170 oz-in	5 A	37Dx54L mm	37Dx54L mm
70:1	150 RPM	200 oz-in	5 A	37Dx54L mm	37Dx54L mm
100:1	100 RPM	220 oz-in	5 A	37Dx57L mm	37Dx57L mm
131:1	80 RPM	250 oz-in	5 A	37Dx57L mm	37Dx57L mm

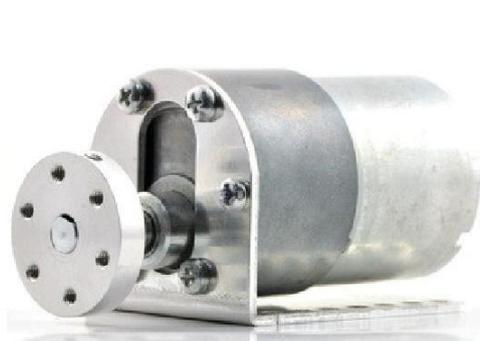
These motors are intended for use at 12 V, though the motor can begin rotating at voltages as low as 1 V.

Details for item #1106

Exact gear ratio: $(25 \times 30 \times 28 \times 28 \times 30) / (10 \times 10 \times 12 \times 12 \times 12) \approx (102.083:1)$

Gearmotor Dimensions:

The face plate has six mounting holes evenly spaced around the outer edge threaded for M3 screws. These mounting holes form a regular hexagon and the centers of neighboring holes are 15.5 mm apart. You can use our custom 37D metal gearmotor bracket (shown in the left picture below) to mount the gearmotor to your project via these mounting holes and the screws that come with the bracket.



Gearmotor with bracket and hub.



Black Pololu 90x10mm wheel on a Pololu 37D mm metal gearmotor.

Please note that unlike our smaller metal gearmotors, these 37D mm gearmotors have output shafts with a diameter of 6 mm. The Pololu universal aluminum mounting hub for 6mm shafts can

Anexo 10 Acople de elastómero Lovejoy

SERIE JAW LOVEJOY - MARTIN - RATHI

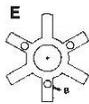


Acoplamiento apto para atmósferas explosivas
Certificado según la Directiva 94/9/CE

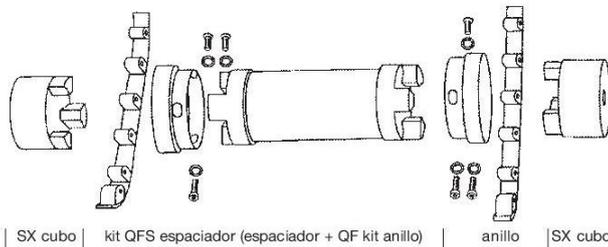


Ideal para motores eléctricos y construcción de máquinas.

ELEMENTO ELÁSTICO

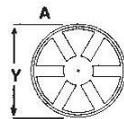


Tipo estándar "E":
Forma de estrella

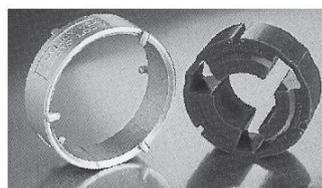
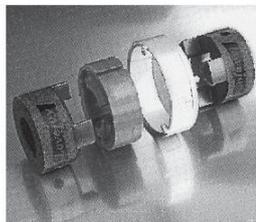


Tipo Anillo "QF":
NBR-URETANO-HYTREL de
Martin con aro metálico
atornillados en los cubos.

SX cubo | kit QFS espaciador (espaciador + QF kit anillo) | anillo | SX cubo



Tipo anillo "A": Forma de **anillo** que se mantiene cerrado con un muelle y en caso de deterioro del elemento elástico los cubos mantienen la transmisión.



Tipo Anillo "IN-SHEAR": De uretano abierto que se mantiene cerrado con un aro metálico y en caso de deterioro del elemento elástico los dientes de los cubos no están superpuestos.

Materiales:

NBR: Color negro, caucho nitrilo butadieno, elástico.

HYTREL: Color Hueso, menos elástico y más resistente.

BRONCE: impregnado en aceite, antideflagrante, rígido.

URETANO: Color azul, buena resistencia química.

Tipo	Temperatura	Dureza Shore	Elasticidad	Desalineaciones		Resistencia		Factor de Par
				ang. grados	paral. mm.	aceite	química	
NBR	-40 +100 C	80 ShA	++	1	0,38	+	+	1
HYTREL	-50 +150 C	55ShD	+	0,5	0,38	++	++	3
BRONCE	-40 +220 C	rígido	0	0,5	0,25	+++	++	3 máx. 250 rpm.
URETANO	-35 +120 C	90 ShA	+	1	0,38	++	+	1,5

0 = Baja + = Regular ++ = Buena +++ = Excelente

Otros materiales sobre demanda:

Acero inoxidable (resistente a la corrosión)

Bronce (anticorrosión - antideflagrante)

Fundición (tamaños L. 190 - L. 225)

Aluminio (ligero - baja inercia)

Acero (posibilidad de soldadura)

Anexo 11 Trimmer multivuelta



Sharma Potentiometers

WXD3540 Precision Wirewound Potentiometer



Features

- Multiturn / Wirewound / Industrial
- Metal shaft and bushings
- Bushing mount
- Available with shaft (6mm dia.)

Electrical Characteristics

Standard Resistance Range
100 to 100K ohms
(see standard resistance table)
Resistance Tolerance
± 5% std.
Independent Linearity
± 0.25%
Effective Electrical Angle
3600° - 10° min.
Absolute Minimum Resistance
0.2% or 2 ohms max.
(whichever is greater)
Noise
100 ohms ENR max.
Insulation Resistance
500 vdc
1,000 Megohms min.
Dielectric Withstanding Voltage
101.3 kPa 900 vac

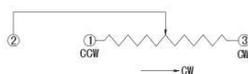
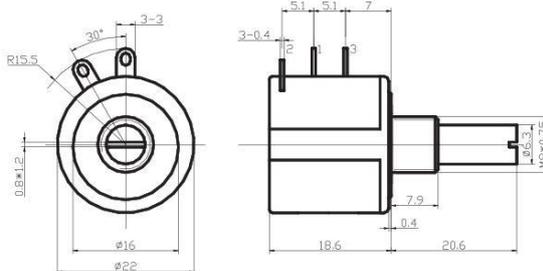
Environmental Characteristics

Power Rating (500 volts max.)
2 watt (70°C), 0 watt (125°C)
Temperature Range
-55°C to +125°C
Temperature Coefficient
± 100ppm/°C
Vibration
98 m/s²
(1% Δ TR; 1% Δ VR)
Shock
490 m/s²
(1% Δ TR; 1% Δ VR)
Load Life
1,000 hours 2 watt @ 70°C
(2% Δ TR)
Rotational Life (no load)
1,000,000 shaft revolutions
Total Resistance shift
± 5% Max

Physical Characteristics

Torque
36 mN · m max.
Stop Strength
300 mN · m min.
Mechanical angle
3600° - 10° min.
Standard Packaging
10 or 25 pcs. per box

WXD3540 Dimensions



How to order

WXD3540-101
Model
Resistance Code

Standard Resistance Table

Resistance (Ohms)	Resistance Code
100	101
200	201
500	501
1,000	102
2,000	202
5,000	502
10,000	103
20,000	203
50,000	503
100,000	104

Special resistance available.

Detail Specification: Q/R531-2004

Anexo 12 Catalogo de sensores inductivos

SASSIN
ELECTRIC

Detectores de posición

Sensores



Modelos, composición y definición de pedido

L M18-30 05 N A □
1 2 3 4 5 6 7

Nº	Composición	Código y definición		
1	Categoría de los contactos	L:Inductivo A:Atmósferas explosivas H:Reed	C:Capacitivo X:Lineal R:Ring	S:Hall
2	Versión	M□:Cilíndrico	T□:Rectangular, de instalación en plano	
3	Tensión de trabajo	30:6-36VDC 20:90-250VAC 4:12-240VDC/24-240VAC	310:5-24VDC 210:24-250VAC	320:12-60VDC 220:380VAC
4	Distancia de detección	01:1mm	05:5mm	10:10mm
5	Tipo de salida	N:3 hilos DC NPN P:3 hilos DC PNP L:2 hilos DC	□: AC 2 hilos J: Relé NP: NPN+PNP	W: AC 3 hilos
6	Estado de salida	A: NO C: NO+NC MI: por corriente	B: NC Mu: por tensión	
7	Ejecuciones especiales	T: Aérea I: A medida	Y: resistente a la humedad y aceite H: para temperaturas elevadas	

Fuente: <http://www.conyca.com/PDF/SASSIN/ACCIONAMIENTO.pdf>

Anexo 13 Programa principal del micro controlador

```

#include <.\firmware_HMI_complemento.h>

void main()
{
    delay_ms(300);
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN3_AN4);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_wdt(wdt_off); //apagado watch dog timer
    setup_timer_0(rtcc_off); //deshabilitados todos los timers
    setup_timer_1(t1_disabled);
    setup_timer_2(t2_disabled, 0, 1);
    setup_timer_3(t3_disabled|t3_div_by_1);
    setup_ccp1(ccp_off); //apagado módulo ccp1
    setup_ccp2(ccp_off); //apagado módulo ccp2
    inicia_puertos();

    backlight=1;
    delay_ms(200);

    inicia_touch(); //inicialización código de touchscreen
    glcd_inicia(); //inicialización de glcd
    glcd_escribe_byte(1, (lcmodeset|lcdmode_xor)); //modo xor
    glcd_escribe_byte(1, (lcddispmode|lcddisp_txt|lcddisp_grh));
    delay_ms(200);

    enable_interrupts(INT_EXT); //habilita interrupcion en RB0
    ext_INT_edge(H_to_L); //flanco de BAJADA

    enable_interrupts(INT_EXT1); //habilita interrupcion en RB1
    ext_INT_edge(H_to_L); //flanco de BAJADA

    enable_interrupts(INT_EXT2); //habilita interrupcion en RB2
    ext_INT_edge(H_to_L); //flanco de BAJADA

    enable_interrupts(global); //habilita todas las interrupciones
    enciende_temporizador (); //temporizador útil para buzzer y backlight

    grafica_imagen(2);

do
{
    lee_touch();
    lee_Distancia();
}while (true);
}

```

Anexo 14 Programa complemento de microcontrolador

```

#include <18f452.h>
#define high_ints=true //genera codigo para interrupciones de alta prioridad
#define adc=10
#define fuses hs,oscsen,put,brownout,borv42,nowdt,wdt128,ccp2c1,nostvren
#define fuses nodebug,nolvp,noprotect,nocpb,nocpd,nowrt,nowrtd
#define use delay(clock=20m,restart_wdt)
#define use rs232(baud=9600,parity=n,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,bits=8)

#include "graficos.c"
#include "libreria_glcd.c"
#include "libreria_touch.h"
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

#define porta=0xf80 //portx
#define portb=0xf81
#define portc=0xf82
#define portd=0xf83
#define porte=0xf84
#define lata=0xf89 //latx
#define latb=0xf8a
#define latc=0xf8b
#define latd=0xf8c
#define late=0xf8d
#define trisa=0xf92 //trixx
#define trisb=0xf93
#define trisc=0xf94
#define trisd=0xf95

int vueltas=0;
unsigned int16 distancia;

#define HIGH // (RBO S_Inductivo)
void intext_sinductivo()
{
    vueltas++;
    sprintf(mensaje,"%03u",vueltas);
    glcd_gotoxy(8,15,1);
    for(i=0;i<=2;i++)
    {
        glcd_escribe_comando1(mensaje[i]-0x20,0xc0); //al restar 0x20 se transforma
    }
    if(vueltas==cantidad)
    {
        printf("A%3u",cantidad); //envia dato via RS232
        motor_AC=0; //apaga motor AC
        vueltas=0;
    }
    else if(cantidad == 0)
    {
        vueltas=0;
        glcd_gotoxy(8,15,1);
        glcd_putchar("****");
    }
}

#define HIGH //interrupcion externa en RB1
void intext_rb1()
{
    motor_AC=0; //0; //detener eje;
}

#define HIGH //interrupcion externa en RB2
void intext_rb2()
{
    motor_AC=0; //0; //detener eje;
}

```

```

#int_timer2      //temporizadores de buzer y bakligth
void timer()
{
    set_timer2(0);
    contador_antirrebotes++;
    if(contador_antirrebotes>=40) //40*12.5ms=500ms
    {
        contador_antirrebotes=0;
        autoriza_teclado=1;
    }
    contador_buzzer++;
    if(contador_buzzer>=4) //4*12.5ms=50ms
    {
        contador_buzzer=0;
        buzzer=0;
    }
    contador_backlight++;
    if(contador_backlight>=1600) //1600*12.5ms=20seg
    {
        contador_backlight=0;
        backlight=0; //apaga backlight
    }
    contador_motorB_iz++; //avanza a la izquierda
    if(contador_motorB_iz>=960) //960*12.5ms=12s //1s=80
    {
        motor_B_iz=0;
        contador_motorB_iz=0;
    }

    contador_motorB_dr++; //avanza a la derecha
    if(contador_motorB_dr>=960) //960*12.5ms=12s
    {
        motor_B_dr=0;
        contador_motorB_dr=0;
    }
}

void inicia_puertos()
{
    set_tris_a(0b00011111); //A0..A4 entradas analogicas, A5..A7 salidas digitales
    set_tris_b(0b00000111); //B0 entrada sensor inductivo
                                //B1 entrada sensor del cable
                                //B2 entrada sensor de compuerta
                                //B3..B7 salidas control Glcd
    set_tris_c(0b10000000); //C0..C5 salidas,
                                //C6..salida TX
                                //C7..entrada RX
    set_tris_e(0b00000000); //E0...E2 salidas
                                //E0..salida de buzer
                                //E1..salida de backlight

    porta=0; //encera puertos
    portb=0;
    portc=0;
    porte=0; //cable y compuerta ok
}

```

```

void enciende_temporizador()
{
    setup_timer_2(t2_div_by_16,243,16); //desb=(4/20e6)*16*(243+1)*16=12.493ms
    set_timer2(0);
    enable_interrupts(int_timer2); //interrupción por desbordamiento de timer2
    contador_antirrebotes=0;
    contador_backlight=0;
    contador_buzzer=0;
}

void lee_Distancia()
{
    if(distancia_A==0)
    {
        motor_A_abre=0;
    }
    else if(distancia_A!=0)
    {
        set_adc_channel(2);
        delay_us(20);
        distancia=read_adc()*0.07580-26.578; //Dist=y1+(y2-y1/x2-x1)*(Vad)
        glcd_putc_int(1,15,distancia,0,4); //distancia = (unsigned int32)(valor*1);
        glcd_gotoxy(5,15,1); // *10 transforma a milímetros
        glcd_putchar("cm");

        if(distancia_A > distancia)
        {
            motor_A_abre=1; //abre moldes
        }
        else if(distancia_A < distancia) //hasta que sea mayor
        {
            motor_A_abre=0; //detiene motores
            distancia_A=0;
        }
    }

    if(distancia_B==0)
    {
        motor_A_cierra=0;
    }
    else if(distancia_B!=0)
    {
        set_adc_channel(2);
        delay_us(20);
        distancia = read_adc()*0.07580-26.578; //Dist=y1+(y2-y1/x2-x1)*(Vad)
        glcd_putc_int(1,15,distancia,0,4); // *10 transforma a milímetros
        glcd_gotoxy(5,15,1);
        glcd_putchar("cm");

        if(distancia_B < distancia)
        {
            motor_A_cierra=1; //cierra moldes
        }
        else if(distancia_B > distancia) //hasta que sea mayor
        {
            motor_A_cierra=0; //detiene motores

            {
                motor_A_cierra=1; //cierra moldes
            }
        }
        else if(distancia_B > distancia) //hasta que sea mayor
        {
            motor_A_cierra=0; //detiene motores
            distancia_B=0;
        }
    }
}
}

```

Anexo 15 Librería del panel táctil

```

#locate portc=getenv("sfr:PORTC")
#bit salida_1=portc.4
#bit salida_2=portc.5
#bit motor_AC=portc.2
#bit motor_A_abre=portc.3
#bit motor_B_iz=portc.1
#bit motor_B_dr=portc.0

#locate porte=getenv("sfr:PORTE")
#bit buzzer=porte.0
#bit backlight=porte.1
#bit motor_A_cierra=porte.2

int1 touch_activa;
int1 autoriza_teclado=1;
int numero[4];
int tecla=0, cont=0, num=0;
int unidad=0, decena=0, centena=0;
float factor_x=0, factor_y=0;
unsigned int16 umbral_adc=940;
unsigned int16 posicion_x, posicion_y;
unsigned int16 cal_x_min, cal_y_min, cal_x_max, cal_y_max; //constantes de calibraci
unsigned int16 x_coord, y_coord, x_coord_ant, y_coord_ant, x_coord_dif, y_coord_dif;
unsigned int16 x_coord240, y_coord128; //posición x-y
unsigned int16 contador_backlight=0;
unsigned int8 cantidad=0, distancia_A, distancia_B;
unsigned int8 contador_buzzer=0, contador_antirrebotes=0;
unsigned int16 contador_motorB_iz=0, contador_motorB_dr=0;

void inicia_touch()
{
    cal_x_min=47; //calibración de touch, por defecto
    cal_x_max=940;
    cal_y_min=88;
    cal_y_max=880;
    factor_x=240/(float)(cal_x_max-cal_x_min);
    factor_y=128/(float)(cal_y_max-cal_y_min);
    umbral_adc=40;
}

void lee_ejes()
{
    unsigned int16 lee_adc;

    //detección de presión
    salida_1=0; //izquierda, derecha apagadas, arriba encendida
    salida_2=0; //abajo apagada ->0

    set_adc_channel(1); //lee posición en y
    delay_us(20);
    lee_adc=read_adc();

    if(lee_adc>umbral_adc)//si es detectada presión
    {
        touch_activa=1;
    }
    else

```

```

    {
        touch_activa=0;
    }

    delay_ms(2);          //repite la lectura para comprobar
    set_adc_channel(1);  //lee posición en y
    delay_us(20);
    lee_adc=read_adc();

    if(lee_adc>umbral_adc)
    {
        touch_activa=touch_activa&1;
    }
    else
    {
        touch_activa=touch_activa&0;
    }
}

void lee_posicion_x()
{
    salida_1=1;          //izquierda, derecha encendidas, arriba apagada
    salida_2=0;          //abajo apagada
    delay_ms(5);
    set_adc_channel(0);
    delay_us(20);
    posicion_x=read_adc(); //lee x (abajo)
}

void lee_posicion_y()
{
    salida_1=0;          //izquierda, derecha apagadas, arriba encendida
    salida_2=1;          //abajo encendida
    delay_ms(5);
    set_adc_channel(1);
    delay_us(20);
    posicion_y=read_adc(); //lee y (izquierda)
}

int1 lee_touch()
{
    float resultado;
    lee_ejes();

    if(touch_activa&&autoriza_teclado)
    {
        backlight=1;          //enciende backlight cada vez que se
        contador_backlight=0; //detecta presión en la touch

        //después de detectada presión se lee x e y, y se convierte a espacio 240x128
        lee_posicion_x();
        x_coord=posicion_x-cal_x_min; //40
        lee_posicion_y();
        y_coord=posicion_y-cal_y_min; //76
    }
}

```

```

//cuando el lápiz excita la pantalla táctil, se realizan lecturas en x e y
x_coord_dif=abs(x_coord-x_coord_ant); //compara con valores anteriores
y_coord_dif=abs(y_coord-y_coord_ant);

x_coord_ant=x_coord; //guarda valores como anteriores
y_coord_ant=y_coord;

if((x_coord_dif>50)|| (y_coord_dif>50))
{ //si la diferencia es muy grande, entonces
  return 0; //se ignora la lectura
}

resultado=x_coord*factor_x;
x_coord240=(unsigned int16)(resultado);
resultado=127-(y_coord*factor_y);
y_coord128=(unsigned int16)(resultado);

//aquí, validación de lecturas de touch
if((x_coord240>239)|| (y_coord128>127))
{
  return 0;
}

//Coordenadas de keypad
if((x_coord240>=130)&&(x_coord240<=157))
{
  if((y_coord128>=5)&&(y_coord128<=28))
  {
    tecla=1, buzzer=1, contador_buzzer=0;
  }
  else if((y_coord128>=33)&&(y_coord128<=59))
  {
    tecla=4; buzzer=1, contador_buzzer=0;
  }
  else if((y_coord128>=64)&&(y_coord128<=88))
  {
    tecla=7; buzzer=1, contador_buzzer=0;
  }
  else if((y_coord128>=94)&&(y_coord128<=116)) //clc
  {
    cont=-1;
    num=0;unidad=0;decena=0;centena=0;cantidad=0;
    distancia_A=0;
    distancia_B=0;
    numero[2]=0;
    numero[1]=0;
    numero[0]=0;
    glcd_gotoxy(8,5,1);
    glcd_putchar("****");
    buzzer=1, contador_buzzer=0;
  }
}

```

```

}
else if ((x_coord240>=164) && (x_coord240<=195))
{
    if ((y_coord128>=5) && (y_coord128<=28))
    {
        tecla=2; buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if ((y_coord128>=33) && (y_coord128<=59))
    {
        tecla=5; buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if ((y_coord128>=64) && (y_coord128<=88))
    {
        tecla=8, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if ((y_coord128>=94) && (y_coord128<=116))
    {
        tecla=0, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
}
else if ((x_coord240>=199) && (x_coord240<=232))
{
    if ((y_coord128>=5) && (y_coord128<=28))
    {
        tecla=3, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if ((y_coord128>=33) && (y_coord128<=59))
    {
        tecla=6, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if ((y_coord128>=64) && (y_coord128<=88))
    {
        tecla=9, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
}

//---Crea numero---

if ((y_coord128>=94) && (y_coord128<=116))
{
    switch (cont){
        case 1:
            unidad = numero[0];
            cantidad = unidad;
            break;
        case 2:
            decena = numero[0]*10;
            unidad = numero[1]*1;
            cantidad = unidad + decena;
            break;
        case 3:
            centena = numero[0]*100;
            decena = numero[1]*10;
            unidad = numero[2]*1;
            cantidad = unidad + decena + centena;
            break;
        default:

```

```

    }
    sprintf(mensaje,"%03u",cantidad); //imprime cantidad
    glcd_gotoxy(8,5,1);
    for(i=0;i<=2;i++) { glcd_escribe_comando1(mensaje[i]-0x20,0xc0);}
    buzzer=1, contador_buzzer=0;
}
}

//**** MOTOR A MOTOR B y MOTOR AC****
else if((y_coord128>=73)&&(y_coord128<=94))
{
    if((x_coord240>=10)&&(x_coord240<=23)) // motor A posiciona molde:
    {
        distancia_A=cantidad;
        distancia_B=0;
        buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if((x_coord240>=27)&&(x_coord240<=40)) //motor A posiciona en ini
    {
        distancia_B=5;
        distancia_A=0;
    }
    else if((x_coord240>=66)&&(x_coord240<=85)) // motor AC
    {
        motor_AC=1;
        buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if((x_coord240>=97)&&(x_coord240<=109)) // motor B izquierda

    {
        motor_B_iz=1;
        contador_motorB_iz=0, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
    else if((x_coord240>=113)&&(x_coord240<=124)) // motor B derecha
    {
        motor_B_dr=1;
        contador_motorB_dr=0, buzzer=1, contador_buzzer=0;
    }
}

autoriza_teclado=0;//deshabilita lectura de touch hasta que transcurran
contador_antirrebotes=0;//los mseg de antirrebotes en el timer2

numero[cont]=tecla; //ordena y almacena numeros
cont++; //aumenta contador

return 1;
}
else
{
    return 0;
}
}

```

Anexo 16. Archivo “.m” de Matlab para realizar adquisición de datos.

```

int val
cIO=arduino('COM6');
cIO.pinMode(02,'INPUT')

% parámetros de medidas
tmax = 3; % tiempo de captura en s
rate = 33; % resultado experimental

% preparar la figura
f = figure('Name','Captura');
a = axes('XLim',[0 tmax],'YLim',[0 1700]);
l1 = line(nan,nan,'Color','r','LineWidth',2);

xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Velocidad (rpm)')
title('Captura de velocidad en tiempo real con Arduino')
grid on
hold on

% inicializar
W2 = zeros(1,tmax*rate);
i = 1;
t = 0;

% ejecutar bucle cronometrado
tic
while t<tmax
    t = toc;
    % leer del puerto serie
    adc = cIO.analogRead(02);
    V=adc(1)*5/1024;
    fmax=V/0.012 ;    % fmax = V/Vcc*R1*C1*k ; factor = 1/Vcc*R1*C1*K
                    % Vcc = 12 ; R1 = 100k ; C1 = 10nF ; k = 1
    W2(i)=fmax*1.25; % W2 = fmax*(60/48)

    % dibujar en la figura
    x = linspace(0,i/rate,i);
    set(l1,'YData',W2(1:i),'XData',x);
    drawnow

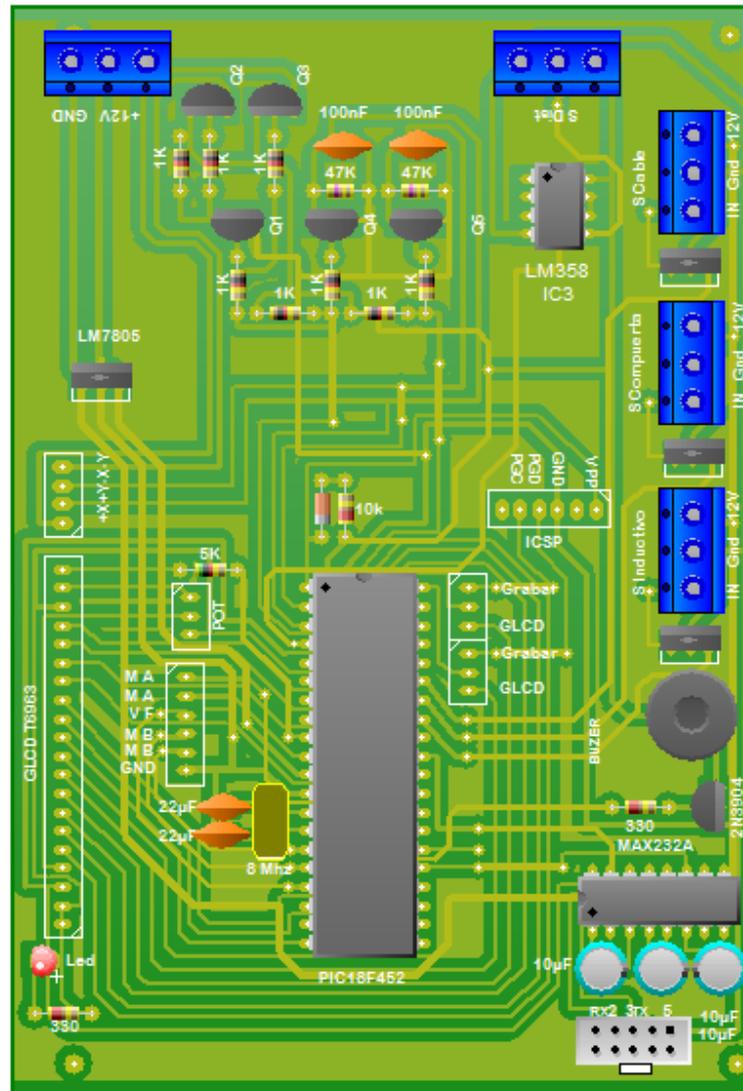
    % seguir
    i = i+1;
end

% resultado del cronometro
clc;
fprintf('%g s de captura a %g cap/s \n',t,i/t);

%% Cerrar puerto
delete(instrfind({'Port'},{'COM6'}))

```

Anexo 17. Esquema PCB de la placa electrónica de la HMI.



Anexo 18 Costo de materiales

ÍTEM	CANTIDAD	COSTO (\$)	Valor
Material de estudio			
Hojas	1	10	10
Copias	1	5	5
Internet	1	5	5
Estructura mecánica			
Tubo estructural cuadrado	1	50	50
Tubo estructural redondo	1	10	10
Chumaceras	2	10	20
Chapa metálica	1	45	45
Perforaciones de chapa	5	5	25
Varilla roscada	1	5	5
Mecanizado varilla roscada	1	30	30
Rodamientos	6	2	12
Acoples de elastómero	2	25	50
Platinas	1	20	20
Mecanizado platinas	1	40	40
Polea de entrada	1	6	6
Polea de salida	1	15	15
Banda	1	4	4
Moldes	4	5	20
Pernos 2'	2	0,1	0,2
Pernos 4'	4	0,2	0,8
Nylon	1	5	5
Mecanizado Nylon	3	5	15
Base de tablero de control	1	15	15
Estructura eléctrica			
Seccionador	1	20	20
Contactador	1	15	15
Relé térmico	1	15	15
Motor trifásico	1	150	150
Motores DC	2	30	60
Pulsador Hongo	1	5	5
Luces piloto	2	2	4
Cable de fuerza	1	15	15
Cable de control	1	20	20
Terminal de punta #16-14	5	0,09	0,45
Terminal Macho #14-16	30	0,09	2,7
Bornera para riel DIN	4	0,75	3
Canaleta Dexon	1	4,91	4,91
Estructura electrónica			
Variador de frecuencia	1	400	400
Microcontrolador	1	8	8
GLCD 240x128	1	50	50
Malla touch	1	20,5	20,5
Baquelita	1	5	5
Fuente 24 V	1	45	45
Sensor inductivo	1	16,8	16,8
Sensor CKP	1	35	35
Trimmer	1	29,6	29,6
Varios	1	20	20
TOTAL			1353

Anexo 19 Manual de operación y mantenimiento