



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

TEMA:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD EN UN MOTOR ASÍNCRONICO, MEDIANTE LABVIEW E IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DEL SISTEMA.

Trabajo de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

AUTOR: Pozo Lloré Dany Fernando

DIRECTOR: Ing. Pablo Méndez

Ibarra, 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. 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:	DE	0401542014	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Pozo Lloré Dany Fernando	
DIRECCIÓN:		Carchi-Bolívar, Sucre y Martín Puntal	
EMAIL:		electricaldanny86@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL	0983499622

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁTICO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD EN UN MOTOR ASÍNCRONICO, MEDIANTE LABVIEW E IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DEL SISTEMA.
AUTOR (ES):	Pozo Lloré Dany Fernando
FECHA: AAAAMMDD	2016/11/21
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Pablo Méndez

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Pozo Lloré Dany Fernando, con cédula de identidad Nro. 0401542014, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre de 2016

EL AUTOR:

(Firma) 

Nombre: Pozo Lloré Dany Fernando

C.C. 0401542014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Pozo Lloré Dany Fernando, con cédula de identidad Nro. 0401542014 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 (es) de la obra o trabajo de grado titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁTICO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD EN UN MOTOR ASÍNCRONICO, MEDIANTE LABVIEW E IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DEL SISTEMA**, que ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico 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 21 días del mes de noviembre de 2016

(Firma) 

Nombre: Pozo Lloré Dany Fernando

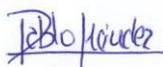
Cédula: 0401542014

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Pablo Méndez

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante **Pozo Lloré Dany Fernando** que ha cumplido con las normas y las leyes de la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas previo a la elaboración del presente Trabajo de Grado pudiendo este realizar la defensa de la misma para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.



Ing. Pablo Méndez

Ibarra, 2016

DEDICATORIA

Deseo agradecer primero a los seres que me han acompañado toda la vida y que han hecho que esto ocurriera mi padre Dios y mi Abuelita; agradezco a mis padres, mis hermanos familia y a todas las personas que en algún momento me extendieron la mano sin dudarlo de alguna u otra manera para lograr este objetivo culminar.

Dedico mi carrera universitaria infinitamente a mi Abuelita, ya que siempre a pesar de las dificultades que nos dio la vida creyó en mí y me enseñó que; con esfuerzo, perseverancia y fe en Dios, podemos cumplir nuestros objetivos.

A mi esposa y mi hija gracias por su apoyo incondicional y por formar parte de mi vida, de mis sueños y por ser la energía en mi corazón para lograr juntos las metas que se presenten en nuestra vida día a día. Gracias por todas tus bendiciones Señor...

Dany Fernando Pozo Lloré

AGRADECIMIENTO

Quisiera aprovechar estas líneas para mostrar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, por haberme acogido y ayudarme en mi formación, tanto personal como intelectual, sin olvidar a todas las personas que me han brindado su apoyo y han contribuido con su rigor profesional para la realización de esta tesis.

A mi Director de Tesis:

Ing. Pablo Méndez por ser un excelente director y mejor persona, es para mí un orgullo y un privilegio haber contado con su asesoramiento y sus valiosas contribuciones en este trabajo.

A mis maestros:

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico por haber contribuido a mi formación académica durante todos estos años gracias Ingenieros Pablo Méndez, Hernán Pérez, Mauricio Vásquez, Claudio Otero, Ramiro Flores, Olger Arellano.

Dany Fernando Pozo Lloré

ÍNDICE GENERAL

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xx
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxi
RESUMEN.....	xxiv
SUMMARY	xxvi
INTRODUCCIÓN	xxvii
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Delimitación del problema	2
1.5 Objetivos	3
1.6 Justificación.....	3
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Motores asíncronos o de inducción.....	5
2.1.1 Historia y evolución del control de velocidad en un motor asíncrono o de inducción	6

2.2	Motor de inducción	6
2.2.1	Principios y funcionamiento de un motor asíncrono o de inducción	7
2.2.2	Deslizamiento del rotor.....	8
2.2.3	Frecuencia en el rotor	9
2.2.4	Circuito equivalente del motor de inducción	9
2.3	Técnicas para el Control de Velocidad	9
2.3.1	Control de la tensión de línea aplicada al estator	10
2.3.2	Control de voltaje en el rotor.....	11
2.3.3	Control de frecuencia	11
2.3.4	Control de la tensión y frecuencia de línea	11
2.3.5	Control por corriente en el estator	13
2.3.6	Regulación de velocidad por medio de una resistencia adicional en el rotor.....	13
2.3.7	Control por recuperación de la potencia de deslizamiento.....	14
2.3.8	Control vectorial de motores asíncronos	15
2.4	Hardware	16
2.4.1	Variador y los tipos existentes	16
2.4.2	Variadores eléctricos-electrónicos	17
2.4.3	Encoder.....	18
2.4.4	Tarjeta de adquisición de datos	19
2.4.5	Arduino.....	21
2.4.6	Proceso de adquisición y comunicación de datos	23
2.5	Conceptos Eléctricos	24
2.5.1	Dispositivos de control y fuerza para el sistema	26
2.6	Software de aplicación	28
2.6.1	Labview	28

2.6.2	Identificación del Sistema	32
2.6.3	Proceso de identificación de datos	33
2.6.4	Definiciones básicas del modelado	34
2.7	Métodos de identificación	38
2.7.1	Métodos no paramétricos	39
2.7.2	Métodos paramétricos	40
2.7.3	Modelo general del proceso	40
2.7.4	Identificación de un sistema físico con Labview (Systema Identification Toolkit Labview)	42
2.8	Modelado e identificación de un sistema ideal de motor	43
2.8.1	Validación del modelo	44
2.8.2	Validación en base a la aplicación del modelo.....	44
2.8.3	Comprobación de parámetros físicos	44
2.8.4	Reducción del modelo.....	45
2.8.5	Simulación.....	45
2.9	Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols	45
2.9.1	Controlador de un sistema.....	46
2.9.2	Matlab.....	48
2.9.3	Problemática general existente en una identificación de sistemas	48
2.9.4	Ventajas en la identificación de sistemas	49
2.9.5	Resumen de la identificación de datos	49
CAPÍTULO III		50
3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.1	Tipos de investigación.....	50

3.1.1	Investigación Tecnológica.....	50
3.1.2	Investigación Científica.....	50
3.1.3	Investigación bibliográfica y documental	51
3.2	Métodos.....	51
3.2.1	Método analítico sintético	51
3.3	Técnicas e instrumentos	51
3.3.1	Análisis de mecanismos (mediante programas específicos)	52
3.3.2	Mediciones (Instrumentos específicos)	52
3.3.3	Simulación de señales	52
3.4	Esquema de la propuesta	52
3.5	Fotografías.....	53
CAPÍTULO IV		54
4.	DISEÑO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA	54
4.1	Tema	54
4.2	Justificación.....	54
4.3	Fundamentación	55
4.4	Objetivos	55
4.5	Desarrollo de propuesta.....	56
4.5.1	Sistema de control en un motor asíncrono	56
4.5.2	Tipo de control de velocidad a implementar	57
4.5.3	Elementos constitutivos del módulo didáctico.....	57
4.5.4	Dimensiones de la estructura metálica	60
4.5.5	Motor de inducción para prácticas	61

4.5.6	Dispositivos de operación y control que son necesarios para diseñar el módulo didáctico	62
4.5.7	Variador de frecuencia G110 sinamics	62
4.5.8	Panel de programación en el variador de frecuencia (BOP)	66
4.5.9	Interruptor Termomagnético	67
4.5.10	Contactador	68
4.5.11	Guardamotor.....	68
4.5.12	Botoneras.....	69
4.5.13	Montaje y conexión de los dispositivos en el módulo de entrenamiento.....	69
4.5.14	Ubicación del variador de frecuencia con los dispositivos de protección y control .	70
4.5.15	Ubicación de los pulsadores, entradas y salidas de los elementos	70
4.5.16	Conexión a la red y al motor la parte de control	71
4.5.17	Dispositivos a implementar en el sistema de adquisición de datos.....	73
4.5.17.1	Encoder tipo disco	73
4.5.18	Módulo sensor de velocidad infrarrojo de disco	73
4.5.18.1	Arduino Mega 2560	74
4.5.18.2	Cable USB 2.0.....	76
4.5.18.3	Amplificador de señal	76
4.5.19	Placa de amplificación de señal en el programa PCB Wizard	76
4.5.19.1	Placa de amplificador no inversor	77
4.5.20	Dispositivos implementados para módulo de adquisición de datos	77
4.5.21	Módulo Finalizado	78
4.5.22	Diseño de programación.....	79
4.5.22.1	Programación con Arduino como tarjeta de adquisición de datos y comunicación..	79
4.5.23	Programación en Labview	83

4.5.24	Descripción de la interfaz de control en Labview	84
4.5.25	Secuencia del proceso para uso del módulo didáctico	93
CAPÍTULO V		95
5.	VALIDACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	95
5.1	Manual de programación para el módulo didáctico de variación de velocidad en un motor asíncrono, mediante Labview e identificación del modelo del sistema.....	100
5.2	Principales pasos a seguir para el funcionamiento del módulo:.....	101
5.3	Pasos para establecer comunicación Arduino con Labview	101
5.4	Programación de Arduino para adquisición de datos.....	105
5.5	Programación de interfaz en Labview	109
5.6	Procedimiento para la identificación experimental del modelo del sistema	113
5.6.1	Generación de datos	113
5.6.2	Captura de datos	114
5.7	Identificación del modelo matemático	115
5.8	Recursos humanos.....	115
5.9	Conclusiones y Recomendaciones	116
5.9.1	Conclusiones	116
5.9.2	Recomendaciones.....	117
5.10	Referencias Bibliográficas	118
5.10.1	Linkografías	120
ANEXOS.....		122
Anexo 1 Diagrama de control y fuerza		122
Anexo 2 Diagrama de conexión en el módulo didáctico		123

Anexo 3 Diagrama de bloques de variador SINAMIC G110	124
Anexo 4 Diagrama del amplificador de voltaje.....	126
Anexo 5 Respaldo fotográfico.....	127
Anexo 6 Tablas de especificaciones técnicas.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Motor asíncrono	7
Figura 2 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción	9
Figura 3 Inversor trifásico con modulación de ancho de pulso (PWM)	11
Figura 4 Diagrama de velocidad por control V/F.....	12
Figura 5 Control vectorial directo de un motor asíncrono	13
Figura 6 Regulación de velocidad por recuperación de la potencia de deslizamiento.....	14
Figura 7 Control vectorial indirecto en un motor asíncrono	16
Figura 8 Símbolos principales de los tipos de variadores eléctricos y electrónicos.....	18
Figura 9 Encoder incremental	18
Figura 10 Encoder absoluto.....	19
Figura 11 Diagrama de bloques sencillo de una palanca Arduino.....	22
Figura 12 Sistema de adquisición de datos.....	24
Figura 13 Interruptor termomagnético	27
Figura 14 Guardamotor	27
Figura 15 Contactor.....	28
Figura 16 Panel frontal.....	29
Figura 17 Paleta de control.....	30
Figura 18 Diagrama de bloques.....	31
Figura 19 Diagrama de bloques.....	31
Figura 20 Diagrama de bloques de un sistema retroalimentado.....	33
Figura 21 Diagrama del proceso en la planta.....	33
Figura 22 Diagrama de perturbación.....	36
Figura 23 Función de transferencia.....	37
Figura 24 Métodos de identificación.....	38

Figura 25 Modelo general del proceso	41
Figura 26 Bloque de modelación	42
Figura 27 Respuesta al escalón (curva de reacción) en lazo abierto de la planta.....	46
Figura 28 Parámetros de controladores PID según el método	46
Figura 29 Bloque de labview para PID	48
Figura 30 Flujo grama de la identificación del modelo del sistema.....	49
Figura 31 Esquema de propuesta.....	52
Figura 32 Diagrama de bloques del sistema o planta.....	56
Figura 33 Regulación de velocidad por medio de V/F.....	57
Figura 34 Diagrama unifilar de conexión para control y fuerza del motor.....	59
Figura 35 Diagrama gráfico de conexión para módulo didáctico	59
Figura 36 Construcción de la parte metálica del módulo	60
Figura 37 Motor didáctico asíncrono.	62
Figura 38 Variador de velocidad Sinamics G110.	63
Figura 39 Variantes USS y variantes analógicas.....	66
Figura 40 Panel de programación Sinamics G110 (BOP).....	67
Figura 41 Descripción de los elementos de control y fuerza implementados al proyecto	69
Figura 42 Ubicación del variador G110, dispositivos de control y fuerza.....	70
Figura 43 Ubicación de pulsadores y plus banana para módulo de entrenamiento.	71
Figura 44 Corriente que soporta el conductor eléctrico	72
Figura 45 Montaje de módulo de entrenamiento.	72
Figura 46 Placa de amplificación de señal en el programa PCB WIZARD.....	76
Figura 47 Comparador, como suma algebraica.....	77
Figura 48 Elementos implementados en el módulo para la adquisición de datos	78
Figura 49 Finalización de montaje del módulo	78

Figura 50 Interfaz de identificación del modelo del sistema	84
Figura 51 Reseteo del programa.....	85
Figura 52 Configuración del puerto serial.....	86
Figura 53 Configuración de adquisición y organización de datos	87
Figura 54 No hay datos en el puerto serial.....	88
Figura 55 Determinación del setpoint	89
Figura 56 Stop del programa.....	90
Figura 57 Reconocimiento de datos en excel.....	90
Figura 58 Modelado del sistema	91
Figura 59 Programa PID	93
Figura 60 Adquisición e identificación del sistema	95
Figura 61 Ingreso de datos a Matlab	96
Figura 62 Control PID en Matlab.....	96
Figura 63 Control PID en Labview	97
Figura 64 Señal paso de color azul y la respuesta rpm de color rojo.....	97
Figura 65 Datos obtenidos en excel	98
Figura 66 Datos de Labview procesados en Matlab.....	98
Figura 67 Obtención de señal y variables para PID	99
Figura 68 Constantes para PID.....	99
Figura 69 Constantes de PID ingresadas en Labview	99
Figura 70 Comportamiento PID en el motor.....	100
Figura 71 Pasos conexión Arduino-PC	101
Figura 72 Pasos conexión Arduino-PC	102
Figura 73 Pasos conexión Arduino-PC.....	102
Figura 74 Pasos conexión Arduino-PC.....	103

Figura 75 Pasos conexión Arduino-PC.	103
Figura 76 Pasos conexión Arduino-PC	104
Figura 77 Pasos conexión Arduino-PC.	104
Figura 78 Pasos conexión Arduino-PC.	105
Figura 79 Timerone en Arduino.....	105
Figura 80 Declaración de variables globales en Arduino.	106
Figura 81 Voidsetup en Arduino.....	106
Figura 82 Voidenvió en Arduino.	107
Figura 83 Voidloop en Arduino.	107
Figura 84 Void pulso en Arduino.....	107
Figura 85 Void tiempo en Arduino.	108
Figura 86 Void serial event en Arduino.	108
Figura 87 Funcionamiento de Arduino con el modulo infrarrojo.	108
Figura 88 Caso cero de programación en Labview.	110
Figura 89 Caso uno de programación en Labview.....	111
Figura 90 Setpoint o envió de datos en Labview.	112
Figura 91 Configuración de botón virtual stop en Labview.....	112
Figura 92 Caso dos de programación en Labview.	112
Figura 93 Caso tres de programación en Labview.....	113
Figura 94 Generación de datos.....	114
Figura 95 Captura de datos.....	115
Figura 96 Identificación del modelo matemático.....	115
Figura 97 Diagrama eléctrico.....	122
Figura 98 Diagrama de conexión en el módulo didáctico.....	123
Figura 99 Diagrama de bloques de variador Sinamic G110	124

Figura 100 Diagrama del amplificador de voltaje.....	126
Figura 101 Perforación del gabinete metálico.....	127
Figura 102 Ubicación de elementos en el gabinete metálico	128
Figura 103 elementos que forman parte de potencia y control	128
Figura 104 Conexión eléctrica respectiva de dispositivos	129
Figura 105 Alimentación a la fuente de alimentación trifásica a 220V	130
Figura 106 Diseño y construcción de diagrama eléctrico de entrenamiento.....	130
Figura 107 Diseño de la etapa de adquisición de datos.....	131
Figura 108 Construcción de mesa para el computador	132
Figura 109 Diseño e implementación de graficas con símbolos	132
Figura 110 Maquillaje de cables eléctricos	133
Figura 111 Instalación del programa en PC	133
Figura 112 Módulo didáctico finalizado	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Rotores asíncronos por el tipo de inducido	8
Tabla 2	Clasificación de los diferentes tipos de adquisición y comunicación de datos	20
Tabla 3	Descripción de funcionamiento de partes de Arduino	22
Tabla 4	Cuadro de ventajas y desventajas generales de Eye Ball.	43
Tabla 5	Tipo de controladores en un sistema	47
Tabla 6	Componentes del módulo didáctico	58
Tabla 7	Dimensión módulo didáctico	60
Tabla 8	Placa de características de motor asíncrono	61
Tabla 9	Características del variador de frecuencia sinamics G110.....	63
Tabla 10	Parámetros de programación del variador.....	64
Tabla 11	Variantes analógicas.....	65
Tabla 12	Uss variante.....	65
Tabla 13	Botones de programación básica de sinamics g110	66
Tabla 14	Datos técnicos de sensor tipo disco.....	73
Tabla 15	Especificaciones técnicas del módulo lector ir de sensor tipo disco.....	74
Tabla 16	Especificación técnica de arduino Mega 2560.....	75
Tabla 17	Descripción de elementos en el amplificador operacional.....	77
Tabla 18	Simbología del diagrama eléctrico	122
Tabla 19	Simbología de conexión en el módulo didáctico	123
Tabla 20	Simbología del variador de frecuencia.....	125
Tabla 21	Descripción del amplificador de voltaje.....	126
Tabla 22	Descripción de elementos en el tablero eléctrico	129
Tabla 23	Descripción de elementos de tablero didáctico	131
Tabla 24	Descripción de elementos para adquisición de datos	132

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Principios básicos de regulación de velocidad.....	9
Ecuación 2 El flujo magnético es directamente proporcional a la fuerza electromotriz..	12
Ecuación 3 Ley de OHM.....	25
Ecuación 4 Fórmula de potencia	26
Ecuación 5 Función de transferencia.....	37
Ecuación 6 Método general de primer orden.	41
Ecuación 7 Método general de segundo orden.....	41
Ecuación 8 Método general de primer orden.	41

PALABRAS CLAVES

VSD	Controlador de la velocidad giratoria de la maquinaria.
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente Directa.
Labview	Laboratorio Virtual.
PC	Protocolo de comunicación.
PAC	Controlador de Automatización Programable
Modbus RTU	Representación binaria compacta de los datos.
Modbus ASCII	Representación legible del protocolo, pero menos eficiente.
OLE	Arquitectura de componentes Microsoft.
COM	Control de procesos.
P	Potencia watts.
A	Amperio.
V	Voltio.
I	Corriente.
R	Resistencia.
AI	Analog Input o Entrada Analógica.
AO	Analog Output o Salida Digital.
N	Número de vueltas del rotor.
F	Frecuencia de alimentación.
S	Deslizamiento.
Kp	Constante proporcional.
Ki	Constante integral.
Kd	Constante derivativa.

PID	Controlador Proporcional Integral Derivativo.
PI	Proporcional Integral.
PD	Proporcional Derivativo.
P	Polos.
Z	Ceros.
G_t	Función en el dominio del tiempo.
G_s	Función en el dominio de la place s.
G_c	Función de control
S	Plano complejo.
E	Error.
H_s	Realimentación de Encoder.
RPM	Revoluciones Por Minuto.
R_t	Entrada.
V_t	Variable regulada.
M_t	Variable manipulada.
B_t	Variable de retroalimentación.
P_t	Señal de perturbación.
Y_t	Variable controlada (salida).
Cu	Cobre.
IR	Radiación Infrarroja.

RESUMEN

El presente trabajo de fin de carrera, tiene como fin la construcción de un módulo de entrenamiento para realizar la práctica de variación de velocidad por medio de un variador de frecuencia en un motor asíncrono o de inducción, mediante Labview e identificación del modelo del sistema, contribuyendo con un elemento tecnológico para el análisis de un elemento eléctrico para laboratorio universitario de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, favorablemente a complementar el perfil de los estudiantes de la carrera, de manera que los conocimientos impartidos en teoría sean reforzados con práctica para que sean aplicados en el ámbito laboral como profesional. El objetivo de esta investigación es facilitar información acerca de cómo diseñar la variación de velocidad en motores asíncronos con una interfaz de visualización, control y modelación del sistema del motor eléctrico. Para la presentación de este proyecto se realizó el montaje de su estructura modular con los diferentes elementos que conforman la planta, un sistema de circuitos operación y mando como un variador de frecuencia que está debidamente dimensionado para el motor en la práctica establecida, de la misma manera cuenta con sus respectivos dispositivos de protección para seguridad de las personas y para protección en el equipo. Para sus dimensionamientos se realizaron cálculos que explican y se rigen a leyes básicas de electricidad. Como es el cálculo de potencia (W), cálculo de corriente (A), cálculo de voltaje (V), cálculo de la resistencia (R), etc. Con el objeto de llegar a un dimensionamiento, que responda ante cualquier eventualidad de falla que se pudiera suscitar durante la práctica. El módulo está formado por una parte que permite adquirir datos de velocidad del motor en condiciones de marcha, por lo que fue necesario incorporar un encoder con un módulo de ranura infrarroja conformando el sensor con capacidad de leer las señales lógicas en el eje del motor. Seguidamente era necesario implementar un circuito electrónico como una tarjeta de adquisición de datos que convierta que digitalice las señales, permitiendo

introducir un Arduino Mega 2560 el cual envía y recibe información de Labview para encontrar la función de transferencia del sistema en tiempo real, el que se encarga de simular una identificación del modelo del sistema, proceso en la planta.

SUMMARY

This final project, aims to build a training module for practice speed variation by frequency variation in induction motors or induction, using Labview and identification system model, contributing a technological element for the analysis of an electrical element for university laboratory of Electrical Maintenance Engineering favorably to complement the student profile of the race, so that the knowledge imparted in theory be reinforced practice to be applied in the field working as a professional. The objective of this research is to provide information about how to design variation speed asynchronous motors with a display interface, control and system modeling the electric motor. For the presentation of this project assembling modular structure with different elements of the plant, circuitry operation and control as a frequency that is properly sized for the engine established practice, the same was made so has their protection devices for safety of people and equipment protection. For its dimensioning calculations and explaining basic laws governing electricity were made. As is the calculation of power (W), calculation of current (A), calculation of voltage (V), calculation of resistance (R), etc. In order to reach a sizing, responsive fault for any eventuality that may arise during practice. The module also consists of a part that allows data acquisition position and engine speed in running, so it was necessary to incorporate an encoder with a sensor of infrared slot having the ability to read the analog signals from the motor shaft. Then it was necessary to implement an electronic circuit that converts analog signals to digital to find the transfer function of the system in real time, so tests were conducted to establish and conclude, to implement an Arduino Mega2560 for this work, where those receipt digital inputs for programming in Labview simulating model identification process, system or plant.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación trata sobre la variación de la velocidad en un motor asincrónico mediante Labview e identificación del modelo del sistema, con el firme propósito de actualizar los conocimientos para dispositivos de automatización a nivel industrial, que cumplen determinadas tareas de control en las industrias y fábricas.

La presente investigación facilita el control de velocidad del motor asíncrono, su estructura, aplicación y programación, permitiendo fluidez en el sistema de control, entrega información para un proceso de funcionamiento en Labview realizando una identificación del modelo del sistema, el software de programación que será cargado en cualquier hardware de memoria y será instalada la aplicación obteniendo compatibilidad entre sí.

Este proyecto consta de seis capítulos, desarrollados de forma secuencial que ha permitido armar un módulo de variación de la velocidad en un motor asincrónico mediante Labview, identificando el modelo del sistema, esencial, básico y fundamental para controlar el comportamiento de un motor eléctrico por medio de un inversor.

- El capítulo uno y dos detalla el motivo de la investigación a conocer, los fundamentos teóricos generales, desde lo más básico y esencial, con la finalidad de entender el funcionamiento de los elementos.

- El capítulo tres trata la metodología utilizada en este proyecto de investigación.

- En el capítulo cuatro se plantea la propuesta de la tesis que consta de dos partes: diseño y construcción; en el diseño tenemos la programación del software; y en la construcción tenemos los pasos a seguir para armar el módulo de control de velocidad en un motor.

- El capítulo cinco constan de una guía de prácticas para el uso adecuado del módulo, las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El empleo de variadores de velocidad cumple con dos fines específicos: el control de procesos y el ahorro energético. Ahora bien, la insuficiente implementación de nuevos sistemas tecnológicos en el sector industrial y en fábricas, no va a la par de la producción y conocimiento actual.

Una de las formas de energía más conocida y utilizada es la electricidad, considerándose indispensable para los seres humanos, como el sistema nervioso de la civilización actual, uno de los mayores descubrimientos que refleja la inquietud, reflexión y trabajo del hombre, quien ha ido adaptando la energía para satisfacer sus necesidades.

En la región norte del Ecuador, específicamente en la provincia de Imbabura, la actividad industrial es de gran importancia para el desarrollo económico de la sociedad, por tal motivo, la variación de frecuencia de motores eléctricos ha venido desarrollándose intensamente en el sector industrial, siendo los más utilizados desde su origen hasta los actuales variadores eléctricos y electrónicos de última tecnología, con los cuales se pueden realizar una infinidad de aplicaciones.

Es indispensable, por tanto, que las industrias hagan uso de las nuevas tecnologías y evoluciones conjuntamente, de ésta manera, se contribuirá no sólo con el mejoramiento

continuo institucional, sino que la producción será de mayor calidad y llegará a más sectores de la sociedad en general.

1.2 Planteamiento del problema

La Universidad Técnica del Norte, no cuenta en su laboratorio eléctrico con un módulo entrenador, que proporcione el control de velocidad de un motor eléctrico A.C. mediante la identificación del sistema. Por lo que el sector industrial ha frenado su desarrollo debido principalmente al desconocimiento y falta de implementación de esta tecnología, perdiendo productividad y optimización de tiempo en lugares donde puede hacerse uso de este tipo de motores eléctricos. Por otro lado, es importante tomar en cuenta que este método contribuye significativamente con la conservación ambiental, ya que reduce el consumo eléctrico en las máquinas, reduciendo gastos económicos por consumo de electricidad y alargando el período de vida de la maquinaria.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo realizar el diseño e implementación de un módulo didáctico, para el control de velocidad en un motor asincrónico, mediante un variador de frecuencia, Labview e identificación del modelo del sistema?

1.4 Delimitación del problema

Temporal. - Este proyecto, se llevará a cabo desde el mes de octubre del año 2015, hasta el mes de diciembre del año 2016, de acuerdo al desarrollo del cronograma de actividades y conjuntamente con un asesor experto en la materia.

Espacial. - Este proyecto se llevará a cabo en los talleres de la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico en la ciudad de Ibarra.

1.5 Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un módulo didáctico para el control de velocidad en un motor asincrónico mediante Labview e identificación del modelo del sistema.

Objetivos Específicos

- Investigar los tipos de control de velocidad principales en los motores asincrónicos.
- Diseñar e implementar un módulo de control de velocidad en un motor asincrónico con hardware, para establecer la comunicación en un equipo de control y el software de monitoreo Labview.
- Simulación e identificación del modelo del sistema en Labview.
- Redactar una guía de prácticas del módulo didáctico.

1.6 Justificación

La formación de profesionales en la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, tiene dos aspectos fundamentales que se deben considerar, los aspectos son la teoría y la práctica. La práctica es una experiencia de aprendizaje significativa, ya que en una industria se suscitan diversos daños en equipos eléctricos y esto

requiere de profesionales que resuelvan los problemas ocurridos, con creatividad y con estrategias, de soluciones fundamentadas, basadas en la teoría; en este sentido, los estudiantes adquieren conocimientos teóricos y fundamentos prácticos, que permitirán reflejar la calidad de educación que se imparte en las aulas de la institución.

El presente trabajo de grado propone la elaboración de un tablero didáctico de control y automatización a la especialidad de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. Por lo que, el adecuado equipamiento de los laboratorios, proporcionando a la sociedad profesionales con extensos conocimientos tecnológicos que les permitirá elevar su nivel de competitividad dentro y fuera del país.

La finalidad y propósito del proyecto es la adquisición de datos mediante la implementación del programa Labview, facilitando la adecuada identificación del modelo de sistema, de tal manera que se pueda apreciar el control de velocidad del motor asíncrono en el cual se puedan evaluar los parámetros en tiempo real.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motores asíncronos o de inducción

Se considera como motor asíncrono, a las máquinas de flujo variable y sin colector. Según López (2001) Éste equipo es muy utilizado a nivel industrial, tanto para áreas de producción como de servicio, debido a que son mecánicamente sencillos de construir, no requieren mantenimiento permanente y son relativamente baratos en cuanto a su conservación.

Asea Brown S.A. (2009) manifiesta que los motores asíncronos trifásicos pueden incluirse entre las máquinas eléctricas más fiables que existen; desarrollan su función durante muchos años con intervenciones de mantenimiento muy reducidas y se adaptan a distintas prestaciones en función de las exigencias. (p. 2)

Se puede deducir entonces, que el motor asíncrono es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica y su funcionamiento se basa en energía electromecánica; El uso de motores asíncronos resulta muy rentable para la economía empresarial y a la vez, refleja un consumo eficiente de la energía permitiendo una aplicación de arranque automatizado. Fue creado por Nikola Tesla.

2.1.1 Historia y evolución del control de velocidad en un motor asíncrono o de inducción

El control de velocidad en los motores de inducción era uno de los más grandes problemas en comparación a los motores de corriente continua.

Para épocas anteriores el hombre ya desarrollaba diferentes controles como por ejemplo el control de la comunicación a manera de señas en vista a de las necesidades que tenían en aquella época para poder comunicarse de un punto A con un punto B.

Hoy en día el hombre a evolucionando e investigado con el pasar del tiempo y se ha propuesto el control de múltiples aplicaciones de diferentes categorías como la del control en un motor asíncrono o de inducción mediante varias técnicas y dispositivos que han facilitado las cosas en el trabajo diario.

Actualmente el estudio es tan profundo que podemos predecir un comportamiento con la finalidad de controlar el funcionamiento del equipo por lo que se desarrolló la identificación de sistemas que ahora se ha solucionado debido a la tecnología, desarrollo y evolución de los sistemas, dispositivos electrónicos y variadores de frecuencia.

2.2 Motor de inducción

El motor de inducción o asíncrono es una máquina que transforma energía eléctrica en mecánica. Se conforma principalmente de dos partes principales que son el estator y el rotor.

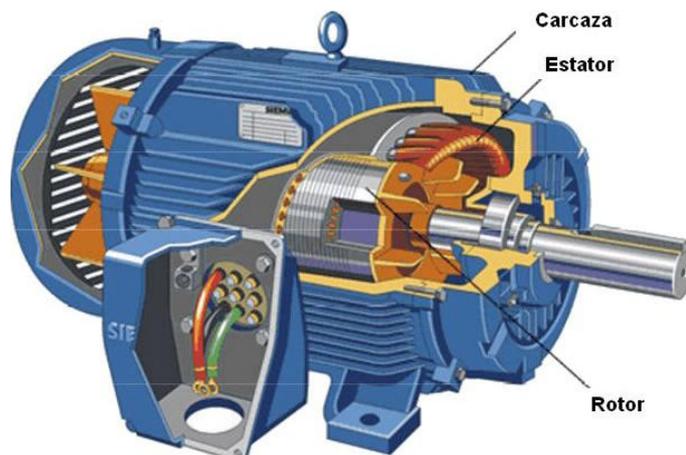


Figura 1 Motor Asíncrono

Fuente: Navas, 2008

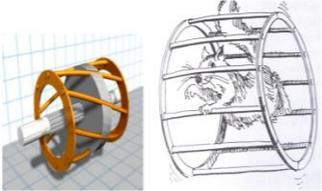
2.2.1 Principios y funcionamiento de un motor asíncrono o de inducción

Se distinguen dos formas de los motores asincrónicos, describiéndose de la siguiente manera:

Por el número de devanados en el estator.

- **Monofásicos:** Presentan un solo devanador en el estator y son utilizados tanto para el hogar como para industrias, tales como lavadoras y electrodomésticos.
- **Bifásicos:** Tienen dos devanadores en el estator, los devanados suelen estar desfasado y se utilizan en aplicaciones de control de posición.
- **Trifásicos:** Poseen tres devanadores en el estator, los devanados también están desfasado y se utilizan en la actividad industrial.

Tabla 1*Rotores asíncronos por el tipo de inducido*

TIPOS	CARÁCTERÍSTICAS	GRÁFICO
Rotor devanado:	<ul style="list-style-type: none"> _ Sostienen igual número de polos. _ Es el menos utilizado. _ Requieren mayor costo y más mantenimiento. 	
Rotor jaula de ardilla:	<ul style="list-style-type: none"> _ Conocido como rotor en cortocircuito. _ No tiene conexión con el exterior. _ Las barras del devanador van conectadas a los anillos extremos. _ El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula. 	

2.2.2 Deslizamiento del rotor

El deslizamiento del rotor es la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del eje del rotor. Por lo que se concluye que, cuando la velocidad de deslizamiento en el rotor se encuentra en sincronismo es cero y cuando se encuentra detenido la velocidad de deslizamiento es uno.

2.2.3 Frecuencia en el rotor

La frecuencia en el rotor se induce del estator con la condición de que no siempre será igual, la frecuencia en el rotor está dada por una velocidad media multiplicada por la frecuencia del estator.

2.2.4 Circuito equivalente del motor de inducción

El circuito equivalente del motor de inducción se compara con los principios de funcionamiento de un estator, porque realiza una acción transformadora donde el circuito del estator induce voltajes y corrientes en el circuito del rotor.

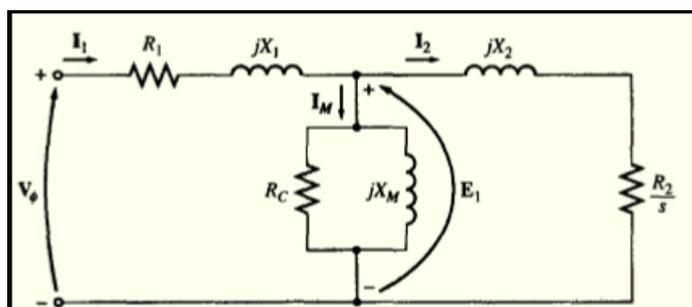


Figura 2 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción
Fuente: Inducción, 1999

2.3 Técnicas para el Control de Velocidad

Métodos principales para variar la velocidad en los motores asíncronos o de inducción:

$$n = \frac{60 * f}{p} * (1 - s)$$

Ecuación 1 Principios básicos de regulación de velocidad.
Fuente: Castilla, 2000

n = velocidad del rotor r.p.m.

p = número de pares de polos

f = frecuencia de alimentación

s = deslizamiento

2.3.1 Control de la tensión de línea aplicada al estator

Para trabajar con velocidades inferiores a la velocidad base del motor se debe realizar un proceso de degradación, esto es reducir el voltaje aplicado a los terminales del motor, por lo que debe disminuir linealmente el voltaje con la disminución de la frecuencia. Si esto no se hace, se satura el acero de núcleo del motor de inducción y fluyen corrientes de magnetización excesivas en las máquinas. (Álzate, Murillo Yarce, & González Valencia, 2011, p. 20)

Con la implementación de esta técnica podemos tener un control de velocidad en motores asíncronos con resultados no tan satisfactorios, debido a que la tensión que se aplica a los terminales del estator puede regularse fácilmente variando el ángulo de activación de tiristores, la desventaja radica en introducir armónicos a la red con un bajo factor de potencia, por tal motivo obtenemos bajo rendimiento de la máquina a plena carga.

Es así que cuando las cargas tienen un alto par de arranque habrá problemas de regulación de velocidad, por lo que no es recomendable el uso de esta técnica; sin embargo, puede ser útil en cargas con pares resistentes como ventiladores o bombas centrifugadoras.

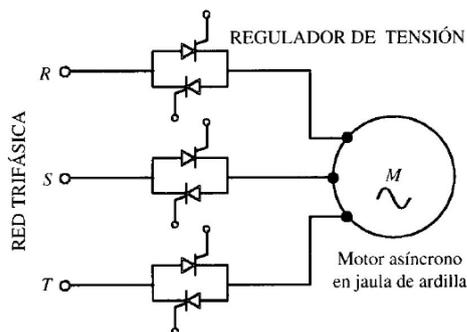


Figura 3 Inversor trifásico con modulación de ancho de pulso (PWM)

Fuente: Mora, 2003

2.3.2 Control de voltaje en el rotor

Para la ejecución de este método es necesario variar la tensión en el rotor, de manera que se aumenta el par de arranque disminuyendo la corriente de arranque; pero este método denota sus desventajas como la ineficiencia para los desbalances de voltaje y corriente que existirán si las resistencias en el circuito del rotor no son iguales.

2.3.3 Control de frecuencia

Este tipo de control se aplica con el valor nominal de voltaje y reduciendo la frecuencia, esto produce un flujo dando como resultado una saturación de flujo en el entrehierro. Este tipo de control no se utiliza ya que a bajas frecuencias la reactancia disminuye y la corriente aumenta por lo que no es recomendable.

2.3.4 Control de la tensión y frecuencia de línea

De acuerdo con la ecuación No. 1, un método rápido de regular la velocidad de un motor asíncrono es cambiando la frecuencia de alimentación que llega a los terminales del estator, de esa manera la velocidad de sincronismo del campo magnético giratorio también cambia. Se debe considerar la siguiente ecuación en virtud al poco deslizamiento de esta máquina.

$$E = 4,44 * K1 * f1 * N1 * \Phi_m$$

Ecuación 2 El flujo magnético es directamente proporcional a la fuerza electromotriz

Fuente: Mora, 2003

E = Fuerza electromotriz

f1= Frecuencia de alimentación

Φ_m = Flujo magnético

K1= Constante

N 1= Número de vueltas

Por lo que indica en la ecuación No. 3 una reducción de frecuencia produce un aumento en el flujo magnético, lo que producirá una saturación. Para que no pase esto se debe mantener intacta la relación voltaje, frecuencia y como resultado una velocidad constante. En virtud a esto recibe el nombre de control escalar.

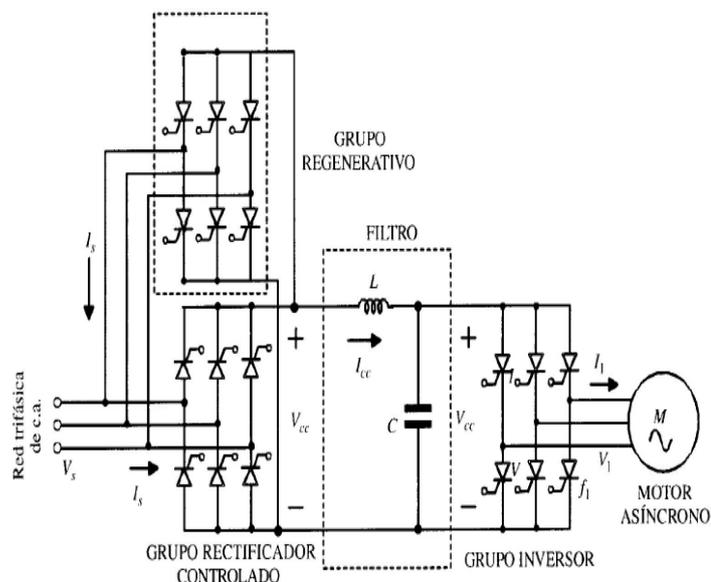


Figura 4 Diagrama de velocidad por control V/F

Fuente: Mora, 2003

2.3.5 Control por corriente en el estator

Con el control de la corriente en el estator se puede variar el par del motor, pero este control no es recomendable usar porque, para evitar la saturación del flujo en el entre hierro es necesario valerse de otros métodos.

2.3.6 Regulación de velocidad por medio de una resistencia adicional en el rotor

En este control de velocidad en el motor asíncrono tiene similar funcionamiento como el de rotor devanado, para el funcionamiento se debe introducir un reóstato de tres fases en los anillos del rotor con la finalidad de reducir la corriente de arranque. Basándose en este método se puede aprovechar para el control de velocidad en un motor.

El funcionamiento de este método de regulación consiste en variar estáticamente la potencia que alimenta al rotor rectificando con un puente de diodos, seguido de un filtro de C.C. donde la resistencia externa está en paralelo con un chopper, de este modo podemos realizar el control de velocidad en el motor. También podemos decir que este método tiene una electrónica sencilla por lo que se emplea en grúas, montacargas, etc. Como desventaja encontramos que el rendimiento es pequeño si tenemos altos deslizamientos.

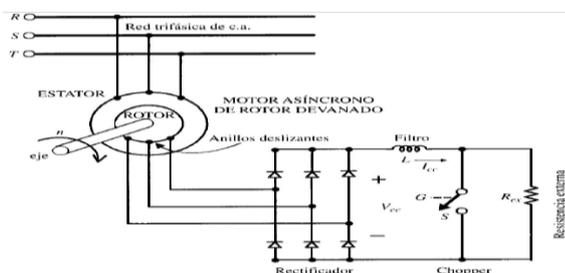


Figura 5 Control vectorial directo de un motor asíncrono

Fuente: Mora, 2003

2.3.7 Control por recuperación de la potencia de deslizamiento

Para emplear este método es necesario introducir una fuerza magneto motriz de tres fases con frecuencia múltiplo de la frecuencia de alimentación $f_2 = s \cdot f_1$, que se pueda variar la amplitud y fase, un buen efecto de introducir la fuerza magneto motriz es con un montaje denominado recuperación de la energía de deslizamiento y la potencia es regresada a la red $s \cdot P_1$.

Entre todos los métodos obsoletos que se emplearon uno fue renovándose y empleándose como se denomina sistema Kramer estático que regula la velocidad por debajo de la de sincronismo.

El funcionamiento consiste en el sistema estático Kramer que tiene un rectificador en puente trifásico para transformar la C.A. del rotor a la frecuencia de deslizamiento $f_2 = s \cdot f_1$ en C.C. seguido por un filtrado encontrando un inversor conmutado que como finalidad devuelve la energía del rotor a la red a través de un transformador trifásico.

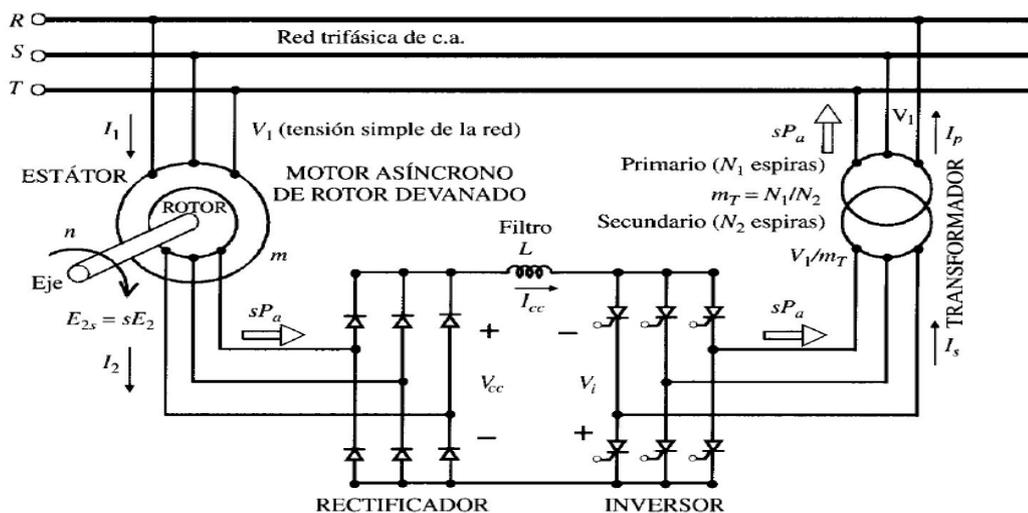


Figura 6 Regulación de velocidad por recuperación de la potencia de deslizamiento.

Fuente: Mora, 2003

2.3.8 Control vectorial de motores asíncronos

También conocido como control por orientación de campo. Este método se conoce como uno de los más sofisticados y modernos, pues se centra en el control de la magnitud como también en la fase del flujo magnético en el motor, con el objeto de un funcionamiento análogo parecido al de los motores C.C. que hasta épocas muy recientes representaban en cuestión de control de velocidad. Como se había mencionado anteriormente, que se necesita de un control en tiempo real la magnitud y fase de las corrientes de alimentación del estator, obteniendo de velocidades y par del accionamiento. En este control es importante conocer con exactitud la posición del fasor de flujo magnético en el entrehierro, lo que hace necesario una señal de realimentación en tiempo real de la amplitud y posición del mismo flujo que se puede realizar por dos métodos:

- **Control vectorial directo**

Para averiguar la posición y la magnitud del flujo magnético es necesario insertar dos transductores magnéticos en el entrehierro situado a 90 grados basados en el efecto Hall. Este control vectorial directo tiene ventaja teóricamente, pero una desventaja en la práctica de implementación en el mercado industrial porque carece de robustez necesaria.

- **Control vectorial indirecto**

Para averiguar la amplitud y orientación del flujo se calcula en base a los parámetros del motor, y con un encoder situado en el rotor se ubica la posición relativa. En la práctica el control

vectorial indirecto tiene ventaja y es de gran aplicación industrial debido a su tecnología exacta que permite medir la velocidad y posición de un motor asíncrono.

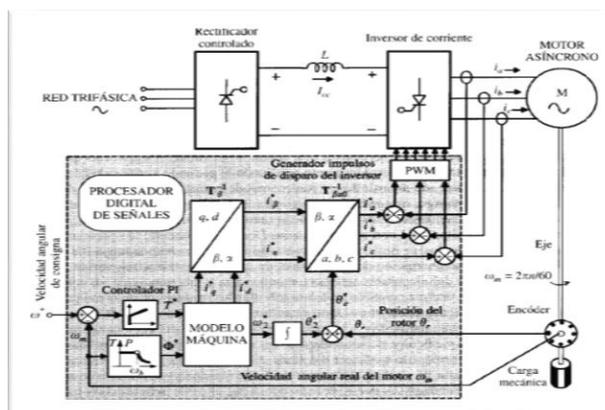


Figura 7 Control vectorial indirecto en un motor asíncrono

Fuente: Mora, 2003

2.4 Hardware

Se refiere a todos los componentes del sistema, involucrando a las partes fundamentales que conforman para la variación de un motor eléctrico refiriéndose a todo lo físico desde cables eléctricos, hasta dispositivos electrónicos. A continuación, se describen totalmente los elementos físicos necesarios que se implementan en el proyecto:

2.4.1 Variador y los tipos existentes

Los variadores son dispositivos que permiten llevar a cabo un completo control de procesos precisos de velocidad en motores. Se pueden encontrar varios tipos de variadores, de corriente continua variación de la tensión y de corriente alterna variación de la frecuencia también, se les conoce como inversores o variadores de velocidad. Los equipos que son accionados por un variador, emplean menos energía que si el aparato hubiese sido activado a una velocidad fija constante.

2.4.2 Variadores eléctricos-electrónicos

(Jose M. Mansilla, 2011) dice que los variadores son convertidores de corriente encargados de regular la energía eléctrica que requiere el motor, en función de la potencia o la velocidad que queremos obtener. (p.5). Existen tres tipos principales de variadores eléctricos y electrónicos:

- **De rectificador controlado**

Con la alimentación correspondiente, se cambia el ángulo de retardo del voltaje en el cebado de los semiconductores de potencia. Estos variadores se utilizan en motores de corriente continua de excitación separada. (Jose M. Mansilla, 2011)

- **Convertidor de frecuencia**

Este tipo de variador es muy usado para motores de jaula asíncronos. A partir de una tensión alterna varia la frecuencia, ya que la velocidad y la frecuencia son directamente proporcionales. (Jose M. Mansilla, 2011)

- **Variador de tensión**

La función principal es controlar el valor eficaz del voltaje. Trabajan similar a los rectificadores controlados, pero estos se usan como arrancadores progresivos para motores asíncronos que no necesiten un par de arranque elevado y de resistencia retóricas o anillos. (Jose M. Mansilla, 2011)

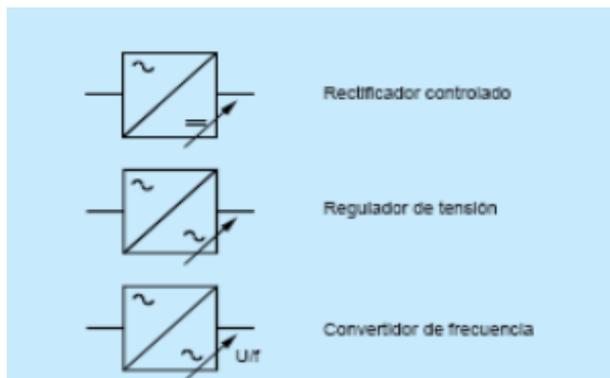


Figura 8 Símbolos principales de los tipos de variadores eléctricos y electrónicos.

Fuente: Jose M. Mansilla, 2011

2.4.3 Encoder

Cuenca (2005) señala que un encoder es un sensor electro-opto-mecánico que unido a un eje, proporciona información de la posición angular. Su fin, es actuar como un dispositivo de realimentación en sistemas de control integrado. Se encuentran de dos tipos uno que se encarga de la rotación y otro al movimiento lineal. El Encoder se presenta con diferentes tipos de salidas, como encoder incremental y encoder absolutos:

- **Encoder incremental**

Estos encoder van generando pulsos mientras se mueven, midiendo la trayectoria de posición.

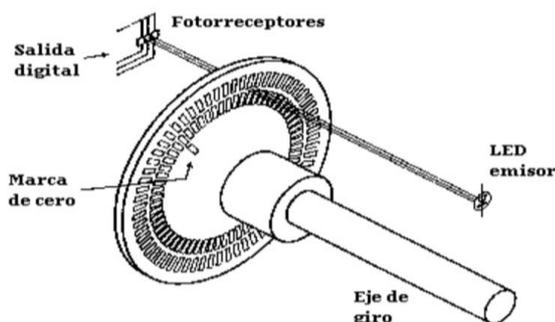


Figura 9 Encoder Incremental

Fuente: Andres Cuenca, 2005

- **Encoder absoluto**

Estos encoder generan multi-bits digitales que van indicando su posición actual. Estos están seccionados en su banda de modo que se encuentran codificados en código gray.

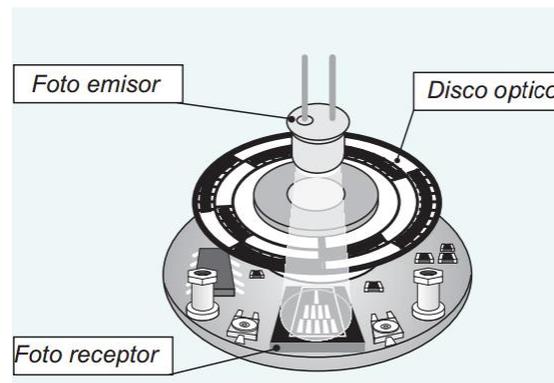


Figura 10 Encoder Absoluto
Fuente: Andres Cuenca, 2005

Estos sensores actúan como transductores de retroalimentación que controlan la velocidad de los motores, como sensores para medición, corte y de posición, de igual forma, sirven de entrada para velocidad y controles de rango. El encoder puede utilizar tecnología óptica o magnética. (Andres Cuenca, 2005)

2.4.4 Tarjeta de adquisición de datos

La adquisición de datos consiste en tomar señales físicas para convertirlas en señales como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido del mundo real y digitalizarlos de manera que se pueda realizar un control en un computador u ordenador. Este proceso necesita una etapa de preparación, que permita ajustar las señales a niveles similares con el equipo que realiza la transformación a señal digital, llamado tarjeta de adquisición de datos. Para la recopilación de información se opta por diferentes tipos de comunicación como:

Tabla 2

Clasificación de los diferentes tipos de adquisición y comunicación de datos

Sistemas	Características	Gráfico
Sistema de adquisición de datos wireless.	Comunicación inalámbrica: monitoreo de parámetros y medición en lugares remotos.	
Sistema de comunicación en serial.	Soporta comunicación solo de punto a punto en distancias relativamente cortas.	 <p>EVOLUPIC 16F628 PC DB9 COMUNICACION SERIAL</p>
Sistema de adquisición de datos USB.	Conexión convencional, permite la información en serie y en paralelo, mayor capacidad de banda y proporciona energía al dispositivo periférico.	
Sistema de adquisición de datos Ethernet.	Tiene gran flexibilidad de configuración.	
Sistema de adquisición de datos Plug-in Boards (Integrados).	Necesariamente tiene que ser conectada de manera directa a la entrada del computador.	

2.4.5 Arduino

Tarjeta electrónica Arduino. “Arduino es una plataforma de electrónica abierta, para la creación de prototipos basada en software y hardware libre, flexible y fácil de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier interesado en crear entornos u objetos interactivos.” (Mosquera Morales & Cardona Hernández 2015, p.27)

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8, por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. (Amangandi, 2012)

- **Aplicaciones.** - Hay una infinidad de aplicaciones para Arduino, se lo puede utilizar como base en diversas aplicaciones electrónicas como equipo científico para diferentes investigaciones y muchas aplicaciones más.
- **Lenguaje de programación Arduino.** - La plataforma Arduino tiene su propio lenguaje de programación el cual procede de una programación de alto nivel Processing, pero se lo puede utilizar con diferentes lenguajes de programación.
- **Presentación.** - Arduino en su diseño de hardware es una placa electrónica la cual se la puede adquirir ya sea ensamblada o también construirla directamente. Las placas han ido evolucionando como su software y a continuación se describe sus componentes:

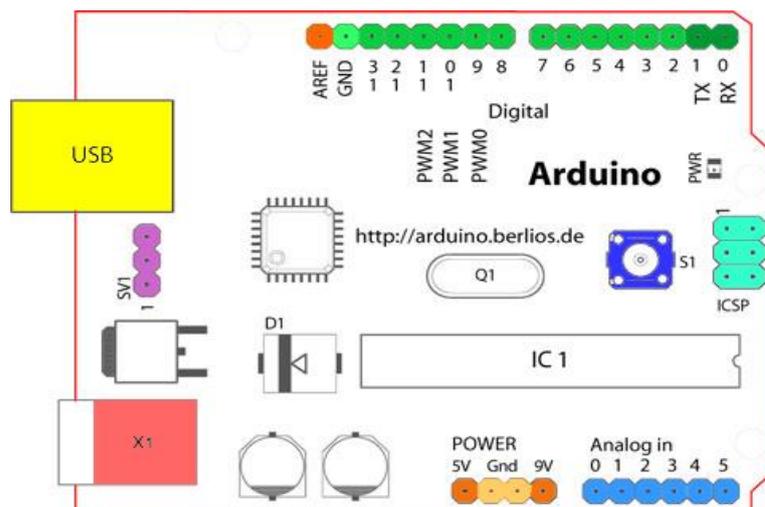


Figura 11 Diagrama de bloques sencillo de una palanca Arduino.

Fuente: Domotica con arduino, 2015

Tabla 3

Descripción de funcionamiento de partes de Arduino

Colormap	Descripción
	Terminal de referencia analógica
	Tierra digital
	Terminales digitales 2-13
	Terminales digitales 0-1/ E/S serie TX/RX. Estos pines no se pueden utilizar como e/s digitales
	Botón de reinicio - S1
	Programador serie en circuito "In-circuit Serial Programmer" o SP"
	Terminales de entrada analógica 0-5
	Terminales de alimentación y tierra
	Entrada de alimentación externa (9-12VDC) - X1
	Selector de alimentación externa o por USB. En las versiones nuevas de Arduino la selección de alimentación es automática por lo que puede que no tengas este selector.
	USB (utilizado para subir programas a la placa y para comunicaciones serie entre la placa y el ordenador; puede utilizarse como alimentación de la placa)

Nota: La tabla de descripción de Arduino fue extraída de la página web

Fuente: <http://mikroe.es/tag/arduino-uno/>

2.4.6 Proceso de adquisición y comunicación de datos

“Son los productos o procesos utilizados para recopilar información, para documentar o analizar un fenómeno. Por tanto, la adquisición de datos es el proceso que realiza una medición, a través de un computador de una magnitud física”. (Cruz, 2013, p. 2)

- **Etapa de transductores**

La etapa de transductores permite cambiar la variable física en señal eléctrica.

- **Etapa de acondicionamiento**

En esta etapa se convierten las señales de censado a variables eléctricas que son más fáciles de entender para los dispositivos electrónicos y para los diferentes procesos como el filtrado, escalonamiento, etc.

- **Etapa de adquisición de datos**

En la etapa de adquisición se realiza la transformación de señales analógicas a señales digitales que permiten un posterior almacenamiento y procesamiento en un computador.

- **Etapa de procesamiento software**

En esta etapa se recepta y procesa información de manera digital que ayudara a dar solución a un sistema.

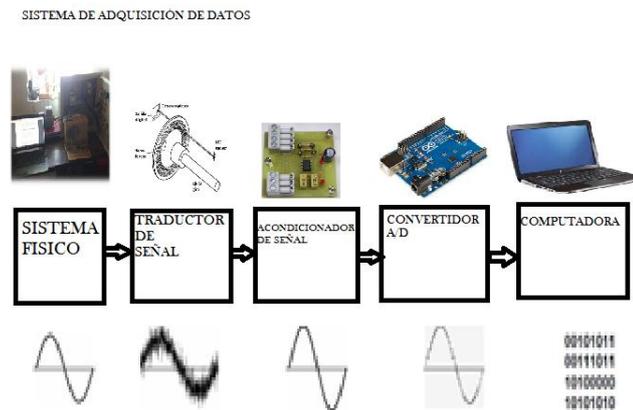


Figura 12 Sistema de adquisición de datos.

2.5 Conceptos Eléctricos

Los dispositivos de control y fuerza cumplen con diferentes funciones, pero la principal es la protección y seguridad de las personas, así como de los equipos. De tal manera es importante el dimensionamiento de los diferentes elementos eléctricos por lo que es necesario conocer las definiciones principales en electricidad.

- **Voltaje (V)**

Se denomina tensión eléctrica (o también voltaje) a la fuerza potencial (atracción) que hay entre dos puntos cuando existe entre ellos diferencia en el número de electrones. En los polos de una batería hay una tensión eléctrica y la unidad que mide la tensión es el voltio (V). (Organización de Servicio – SEAT, S.A., 1996, p.1)

- **Corriente eléctrica (I)**

La Organización de Servicio – SEAT, S.A (1996) la define como la cantidad de electrones o intensidad con la que circulan por un conductor, cuando hay una tensión aplicada en sus

extremos, se le denomina corriente eléctrica o intensidad. La unidad que mide la intensidad es el amperio (A). (p.1)

- **Resistencia eléctrica (R)**

Los electrones que circulan por un conductor encuentran cierta dificultad a circular libremente ya que el propio conductor opone una pequeña resistencia; resistencia que depende de la longitud, la sección y el material con que está construido el conductor. La corriente fluirá mejor cuanto mayor sea la sección y menor la longitud. La unidad que mide la resistencia es el ohmio (Ω). (Organización de Servicio - SEAT, S.A., 1996, p.1)

- **Ley de Ohm**

La ley de OHM fue desarrollada por el matemático Georg Simón OHM en el año 1799, donde aclara que cualquiera de las variables se puede determinar.

$$V = I \cdot R$$

Ecuación 3 Ley de OHM

Fuente: Navas, 2008

V = Voltaje.

I = Corriente.

R = Resistencia.

- **Potencia**

La potencia se define como la energía o trabajo consumido o producido en un determinado tiempo. En los circuitos eléctricos la unidad de potencia es el vatio (W) y su definición está relacionada con la tensión aplicada y la intensidad que circula por un circuito: se dice que un vatio es la energía (trabajo) que libera un amperio en un circuito con una tensión de un voltio. (Organización de Servicio - SEAT, S.A., 1996, p.9)

Puede expresarse con una fórmula:

$$P = V \cdot I$$

Ecuación 4 Fórmula de potencia

Fuente: Navas, 2008

P = Potencia.

V = Voltaje.

I = Corriente.

2.5.1 Dispositivos de control y fuerza para el sistema

- **Interruptor**

El interruptor termomagnético es un dispositivo que abre o cierra el paso al flujo de corriente, se emplean de uso obligatorio en las instalaciones para proteger a cables o contra las sobre

cargas y cortocircuitos, este es usado en cualquier instalación interna de edificaciones ya sea viviendas, industrias, comercio, etc.



Figura 13 Interruptor termomagnético

Fuente: siemens, 2015

- **Guardamotor**

Un guardamotor es un dispositivo o comúnmente conocido como protector de motor, la función específica es la protección de motores eléctricos garantizando la desconexión segura en caso de cortocircuitos sobretensiones fallos por pérdida de fase.



Figura 14 Guardamotor

Fuente: Siemens C. , 2015

- **Contactador**

Un contactador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

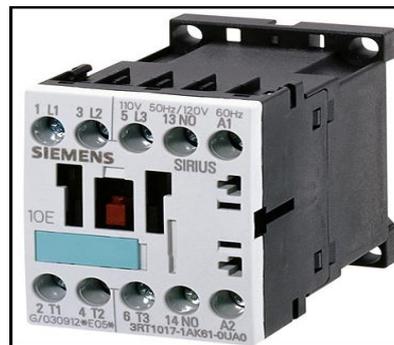


Figura 15 Contactador
Fuente: Siemens C. , 2015

2.6 Software de aplicación

Software es la ejecución de todo lo que no se puede percibir o tocar, considerado también con todo lo intangible, es decir tiene relación con lo que no es físico. El software de aplicación es de mucha utilidad para realizar un proyecto o varias tareas de forma específica, este es utilizado con frecuencia en aplicaciones para control de sistemas y automatización industrial como para varias aplicaciones de este tipo.

2.6.1 Labview

Labview (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación

visual gráfico. Recomendado para sistema hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad.

El lenguaje que usa se llama G, donde la G simboliza que es lenguaje gráfico. Labview se usa mucho en la industria principalmente en la mecatrónica, electrónica, etc.

También podemos encontrarnos con instrumentos virtuales o VI (por sus siglas en ingles). Labview es un programa virtual debido a que combina la adquisición y tecnologías con el propósito de hacer aplicaciones de control y monitoreo.

Un VI contiene los principales componentes:

- **Panel de control**

Este sirve para interactuar en una interfaz con el usuario.

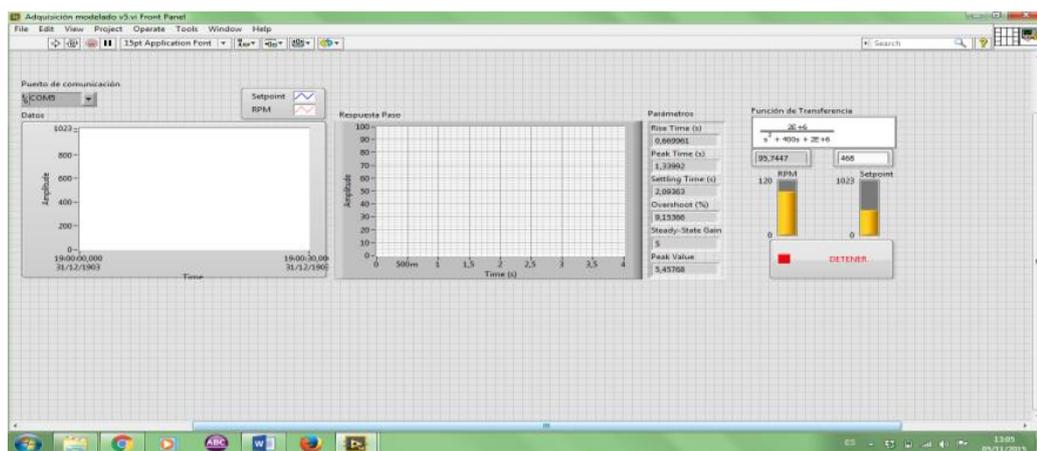


Figura 16 Panel frontal.

- **Paleta de controles**

Sirve para colocar terminales en el panel frontal.

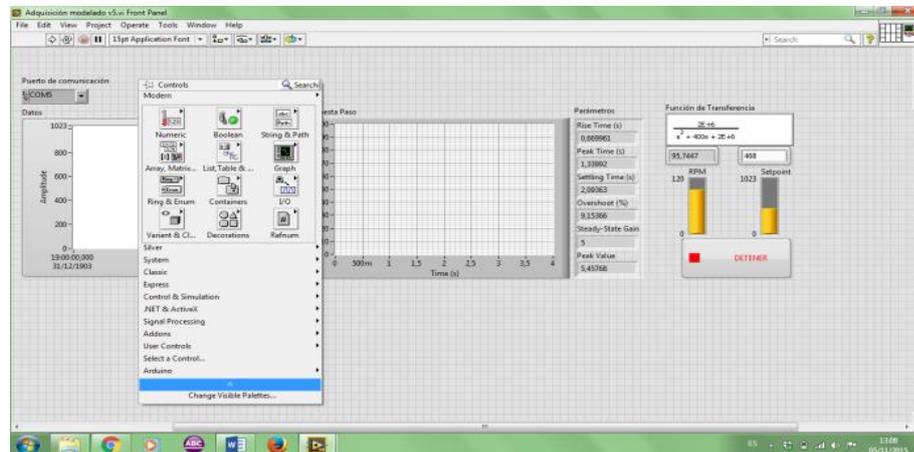


Figura 17 Paleta de control.

- **Los iconos del panel de control**

Identifican la interfaz del programa. Este puede ser usado en otros programas. Un VI dentro de otro VI es llamado sub VI. Un Sub VI corresponde a una subrutina dentro del texto, basado en lenguaje de programación.

- **Diagrama de bloques**

Después de construir su interface, se debe añadir un código utilizando un VI y estructurando el control con el panel frontal. El diagrama de bloques básicamente contiene el código. Y algunas veces el diagrama de bloques es un diagrama de flujo. Una vez que se construya el panel frontal, se debe usar las representaciones gráficas de funciones a controlar en los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene las claves del código gráfico. El objetivo del

panel frontal es aparecer con las terminales sobre el diagrama de bloque. El objetivo del diagrama de bloques incluye a los terminales, sub VI, funciones, constantes, estructuras y cables que ayudan a la transferencia de datos también se llaman nodos. En la gráfica de abajo se muestra un panel frontal y este corresponde al diagrama de bloques con sus componentes.

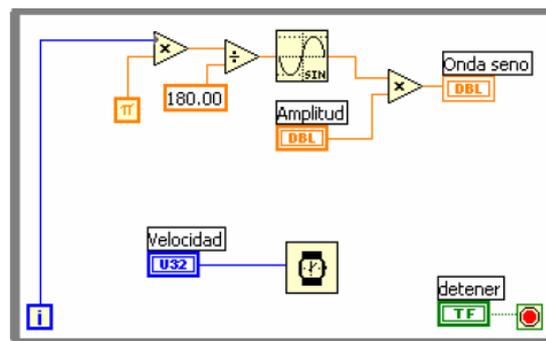


Figura 18 Diagrama de bloques.

- **Paleta de herramientas**

Con esta herramienta se puede crear, modificar y depurar los VI usando las herramientas localizadas sobre la paleta de herramienta que se muestra. La paleta de herramientas se puede utilizar en ambos estados, en el panel frontal como en el diagrama de bloques.

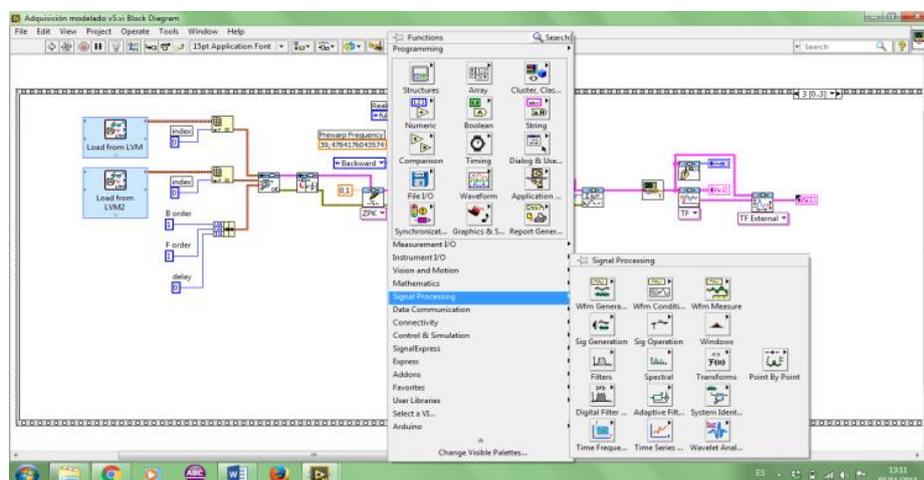


Figura 19 Diagrama de bloques.

2.6.2 Identificación del Sistema

Es un método eficiente y de gran precisión para la modelación del sistema en motores asíncronos, así también para la solución de problemas de la ciencia y la ingeniería. Por otro lado, este es un tema extenso y complejo para el análisis respectivo, empezaremos describiendo el significado desde su nombre para una mejor comprensión.

López (2001) confirma que “El propósito fundamental de un proceso de identificación es, en pocas palabras obtener un modelo bueno y confiable con una cantidad razonable de trabajo.” (p.1)

Por lo tanto, para el diseño de la modelación e identificación de un motor en Labview es necesario conocer la dinámica de la planta ante variaciones de entrada y salida con perturbaciones externas.

Una fase importante en este proceso es la identificación de la planta que tiene que acercarse lo más posible a lo real con exactitud y precisión. Para ello debemos saber que tenemos dos tipos de alternativas para modelar, mediante principios y leyes físicas que se denomina (Modelo de primeros principios) y mediante experimentos que es (Identificación de sistemas).

Un método de identificación de sistemas genera ecuaciones lineales basándose en datos experimentales, que permite obtener el modelo de un sistema a partir de datos reales de entrada y salida recogidos de la planta bajo estudio.

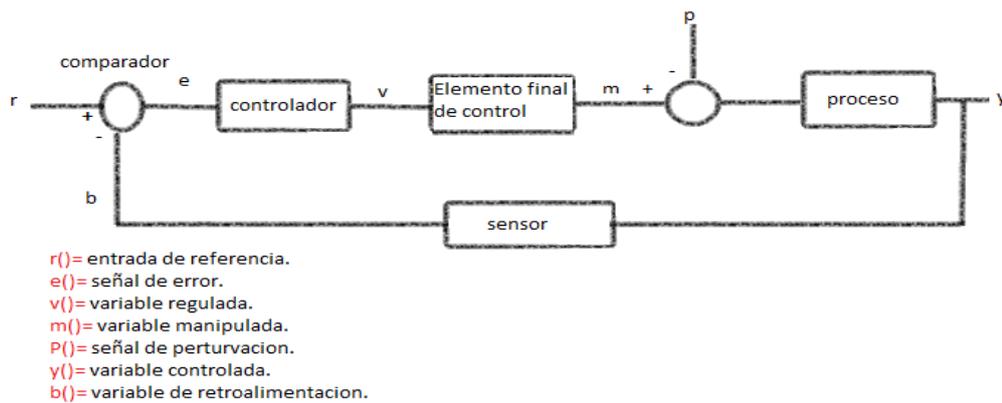


Figura 20 Diagrama de bloques de un sistema retroalimentado.

2.6.3 Proceso de identificación de datos

El proceso de identificación contiene cuatro pasos:

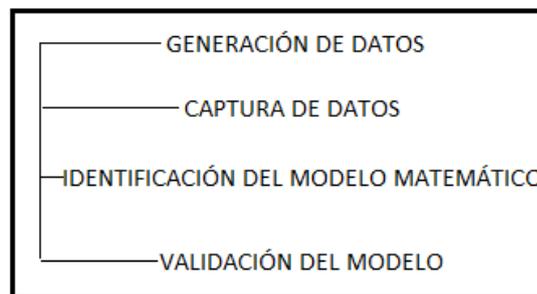


Figura 21 Diagrama del proceso en la planta.

- **Obtención de datos de entrada y salida**

Para esto es importante excitar el sistema con la aplicación de una señal de entrada y hacer un seguimiento de las entradas y salidas durante un periodo de tiempo.

- **Tratamiento de los datos registrados**

En este proceso los datos registrados pueden estar acompañados de un tipo de ruido o cualquier captura indeseable donde es necesario corregir. Para seguir con el proceso de modelado, es necesario que los datos se preparen de una forma eficiente.

- **Obtención de los parámetros del modelo**

En este apartado es importante la estimación de los datos de entrada y salida que mejor responda al modelo.

- **Validación del modelo**

Como último proceso se toma en cuenta si el modelo obtenido llena el grado de exactitud requerido para el trabajo. En caso de que el proceso sea erróneo se debe revisar los aspectos anteriormente mencionados. Para la validación de datos se puede realizar un controlador que llene las expectativas de satisfacción con la identificación.

2.6.4 Definiciones básicas del modelado

- **Variable controlada y señal de control o variable manipulada**

“La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.” (Ogata, 2010 p.3)

- **Planta**

Se define como planta a un conjunto de elementos de un sistema físico cuyo objetivo es realizar un trabajo específico.

- **Procesos**

Es una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados. (Ogata, 2010 p.3)

- **Sistemas**

Ogata (2010) confirma que “un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado.” (p.3)

- **Control realimentado**

“El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia”. (Ogata 2010, p.3)

- **Sistema lineal**

“Un sistema se denomina lineal si se aplica el principio de superposición. Este principio establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones de entradas diferentes es la suma de las dos respuestas individuales. Por tanto, para el sistema lineal, la respuesta a varias entradas se calcula tratando una entrada cada vez y sumando los resultados. Este principio permite desarrollar soluciones complicadas para la ecuación diferencial lineal a partir de soluciones simples.” (Ogata 2010, p.14)

- **Respuesta Impulsiva**

“Una respuesta es impulsiva cuando tiene una sola entrada y una sola salida. Es invariante en el tiempo cuando una sola señal no depende del tiempo. Será lineal si su respuesta a una combinación de entradas, es la misma combinación de respuestas a las entradas individuales. El sistema es causal si la salida en un tiempo determinado solo depende de la entrada actual y de las entradas anteriores a dicho instante de tiempo.” (Kunusch, 2003, p. 5)

- **Muestreo**

Se define como el tiempo discreto que se obtiene datos en un intervalo de tiempo.

- **Perturbaciones**

Se denomina sistema con perturbaciones a señales espurias o que afectan al sistema obteniendo como resultado un descontrol. Dichos efectos pueden ser representados por un término aditivo $v(t)$ a la salida. (Kunusch, 2003)

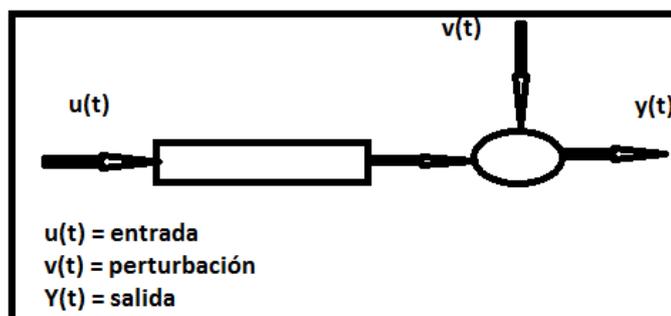


Figura 22 Diagrama de perturbación

- **Función de transferencia**

“La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal 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, 2010, p.15)

$$G(s) = \frac{\ell salida}{\ell entrada}$$

Ecuación 5 Función de transferencia

Fuente López, 2001

G(s) = Función de transferencia.

ℓsalida = Salida en función de la place.

ℓentrada = La entrada en función de la place.

En los procesos de automatización “un diagrama de bloques de un sistema es una representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente y el flujo de señales. Tales diagramas muestran las relaciones existentes entre los diversos componentes. A diferencia de una representación matemática puramente abstracta, un diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar de forma más realista el flujo de las señales del sistema real.” (Ogata, 2010, p.17)

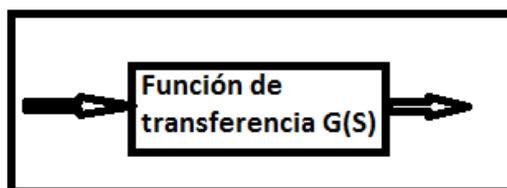


Figura 23 Función de transferencia

Lazo abierto. - Se denominan a los sistemas a los cuales la señal de salida no tiene acción sobre la entrada.

Lazo cerrado. - Se denominan a los sistemas a los cuales la señal de salida depende de la acción controlada.

- Se debe tomar en cuenta que clase de modelo se va a postular como ejemplo la función de transferencia.
- Para identificar es necesario tomar en cuenta los datos de entrada y los datos de salida ingresados a una planta para posteriormente adquirir un conjunto de ellos.
- Obtener un tipo de modelo y estimar los datos por algún método numérico con el objetivo de acercarse lo mejor posible con el modelo a los datos experimentales.

2.7 Métodos de identificación

Existen tres tipos de métodos de identificación, permitiéndole al modelo llegar a un grado de aceptación eficaz.

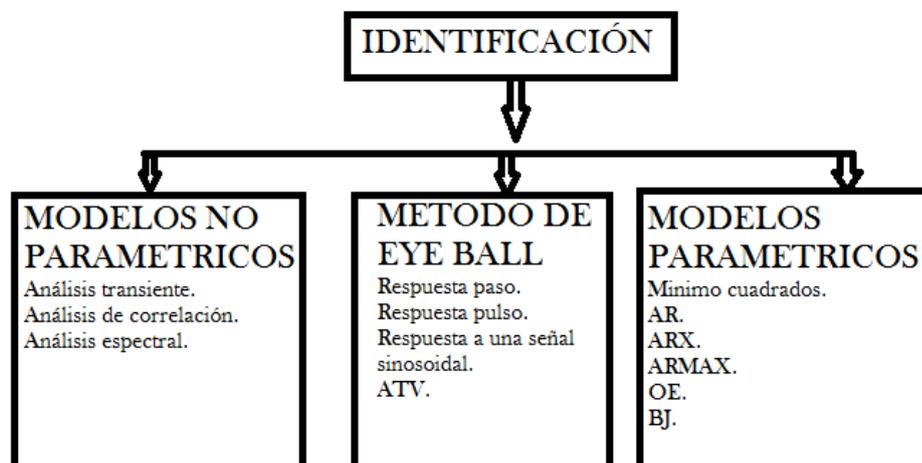


Figura 24 Métodos de identificación.

2.7.1 Métodos no paramétricos

En este tipo de método se obtiene el sistema bajo estudio experimental formando parte en este apartado el análisis de la respuesta transitoria, correlación, espectral, etc.

Se puede identificar en función de dos técnicas no paramétricas:

- **Identificación no paramétrica en el dominio del tiempo o respuesta al escalón o al impulso.**

Mediante esta técnica se obtiene la respuesta al impulso del sistema, o escalón mediante integración. Es necesario realizar el registro de la salida de la evolución temporal.

- **Identificación no paramétrica en el dominio de la frecuencia**

En esta identificación como su nombre indica el modelo resultante será obviamente una representación de la respuesta en la frecuencia del modelo del sistema. Este se obtiene mediante señales de entrada sinusoidales de diferentes frecuencias.

Cuando se hace problema la obtención de las señales de entrada se puede obtener mediante la aplicación de un ruido blanco también conocido como análisis espectral. El análisis espectral consta de transformada de Fourier. Las entradas y salidas son funciones de covarianza y correlación. Lo mejor de este método es no requerir procesamiento complejo de datos, tampoco tiene necesidad de conocer la planta, a excepción de que esta sea lineal. También permite

concentrar datos en torno al margen de interés. Pero una dificultad es que este no se puede usar directamente para simulación.

2.7.2 Métodos paramétricos

Se encuentran descritos por medio de la estructura y un número finito de parámetros que mezclan las señales de importancia de la planta como entradas, salidas y perturbaciones. En este método se realiza la elección de una posible estructura de identificación del modelo, con un criterio de ajuste de parámetros y estimación que mejor encajen en el modelo de datos experimentales. Dependiendo de la aplicación:

- **Métodos de identificación off-line (a posteriori)**

Este tipo de método se debe aplicar donde no sea necesario el ajuste continuo del modelo, es decir que se debe considerar la validez de los parámetros con el paso del tiempo.

- **Métodos de identificación on-line (identificación recursiva)**

Es importante señalar que en este tipo de método se utiliza un control adaptativo, la actualización de datos es continua a partir de la recepción de datos de entrada y salida obtenidos durante el proceso.

2.7.3 Modelo general del proceso

Alfaro (2006) dice que, se consideran como métodos de identificación general a los modelos de primer orden, segundo orden (polo doble) y segundo orden (sobre amortiguado). Se

considerará como entrada, una señal escalón $u(t)$ de amplitud Δu y como respuesta del sistema una señal $y(t)$ tal como se muestra en la Figura:

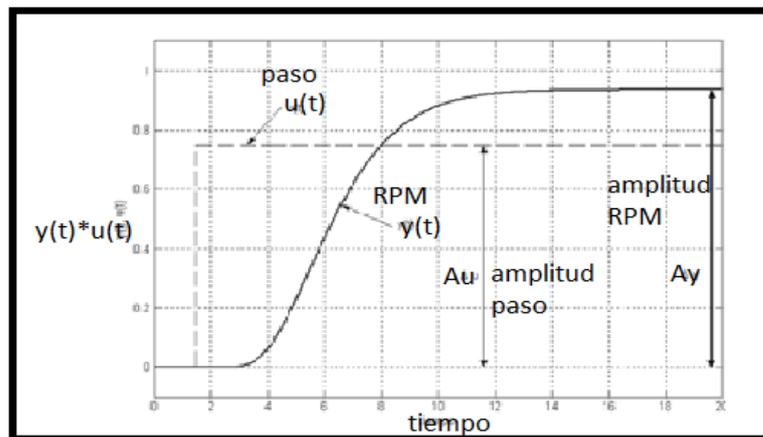


Figura 25 Modelo general del proceso
Fuente: Alfaro, 2006

- Primer orden

$$Gp1(s) = \frac{Kp * e^{-tms}}{\tau s + 1}$$

Fuente: Alfaro, 2006

Ecuación 6 Método general de primer orden.

- Segundo orden (polos dobles)

$$Gp2(s) = \frac{Kp * e^{-t'ms}}{(\tau's + 1)^2}$$

Fuente: Alfaro, 2006

Ecuación 7 Método general de segundo orden.

- Segundo orden (sobre amortiguado)

$$Gp3(s) = \frac{Kp * e^{-t''ms}}{(\tau 1s + 1)(\tau 2s + 1)} = \frac{Kp * e^{-t''ms}}{(\tau''s + 1)(a\tau''s + 1)}, 0 < a < 1$$

Fuente: Alfaro, 2006

Ecuación 8 Método general de primer orden.

2.7.4 Identificación de un sistema físico con Labview (Systema Identification Toolkit Labview)

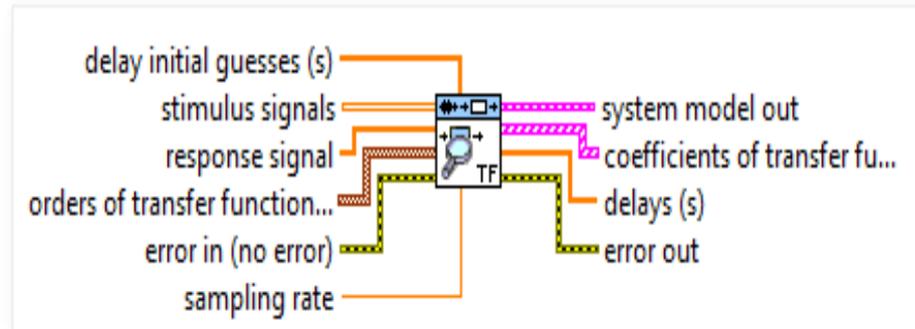


Figura 26 Bloque de modelación

Fuente: National Instrument, 2014

“Con las funciones en System Identification Toolkit de Labview, podemos realizar la identificación del sistema basada en la medición utilizando una amplia variedad de algoritmos, incluyendo AR, ARX, ARMAX, OE, y caja de Jenkins. Puede procesar datos capturados tanto en los dominios de tiempo como en el dominio de la frecuencia”. (López, 2001, p. 13)

A continuación, puede utilizar el modelo matemático resultante para analizar la dinámica característica y simular el tiempo de respuesta del sistema. También puede utilizar el modelo matemático para diseñar un controlador basado en modelos. (López, 2001)

El System Identification Toolkit de Labview nos permite identificar grandes modelos multivariantes de los sistemas de orden superior de grandes cantidades de datos. Labview ofrece dos herramientas; un asistente y una biblioteca de VIs, para la identificación de una entrada discreta de una sola salida y de entrada múltiple salida múltiple en sistemas lineales.

2.8 Modelado e identificación de un sistema ideal de motor

Para analizar el comportamiento del sistema de identificación de LabVIEW, se simulara un motor con ayuda del Simulation Toolkit. Este es un sistema que proporciona una señal de primer orden que describe el funcionamiento matematico del motor para un posterior control.

Tabla 4

Cuadro de ventajas y desventajas generales de Eye Ball.

Método	Desventajas	Ventajas
Respuesta Paso	No precisos para modelar procesos de orden superior. Sensitivos a las no linealidades.	Dan una aproximación del proceso. Se pueden utilizar para obtener valores preliminares de un controlador.
Respuesta Sinusoidal	Requiere mucho tiempo en procesos constantes. Las pruebas pueden presentar perturbaciones o cambio afectando los resultados.	Se obtiene una dinámica precisa del proceso. Es muy útil para sistemas ruidosos.
Respuesta Pulso	La respuesta en frecuencia suele presentar problemas de integración. En la práctica requiere de varios pulsos. No funciona en procesos altamente no lineales. Presenta problemas cuando el pulso se aplica en sistemas con muchas perturbaciones.	Obtiene datos experimentales. Se obtienen respuestas razonablemente precisas y requiere poco tiempo.
Identificación ATV		No se requiere conocimiento a priori del sistema. La prueba es en lazo cerrado y para procesos altamente no lineales.

Fuente: López, 2001

2.8.1 Validación del modelo

“En todo proceso de identificación es conveniente probar varias estructuras y diferentes órdenes dentro de cada estructura hasta dar con el modelo que mejor se ajuste a los datos obtenidos experimentalmente de la planta real. En definitiva, se trata de determinar cuándo un determinado modelo es lo suficientemente exacto para la aplicación requerida, proceso que se conoce habitualmente como validación del modelo”.(López, 2001, p. 25)

En general, la mayoría de los métodos de validación tratan de determinar si la respuesta del modelo se ajusta con suficiente exactitud a los datos de entrada-salida obtenidos mediante experimentación. A continuación, se exponen algunos criterios típicos a la hora de descartar o elegir unos modelos respecto a otros.

2.8.2 Validación en base a la aplicación del modelo

Puesto que en la práctica es imposible determinar si un modelo responde exactamente al comportamiento de un sistema real, suele ser suficiente comprobar que el modelo es capaz de resolver el problema para el cual ha sido hallado (simulación, predicción, diseño de un controlador, etc.). Así, por ejemplo, si el controlador que ha sido ajustado por medio del modelo da buen resultado sobre el sistema real, se puede asegurar que el modelo era ‘válido’ para esta aplicación.(López, 2001)

2.8.3 Comprobación de parámetros físicos

López (2001) señala que “para una determinada estructura que haya sido parametrizada en función de magnitudes físicas, un método importante de

validación consiste en comparar el valor estimado de dichos parámetros y el que sería de esperar mediante el conocimiento previo que se tiene de la planta”. (p. 25)

2.8.4 Reducción del modelo

López (2001) dice que “un procedimiento para determinar si un modelo proporciona una descripción simple y apropiada de un sistema consiste en aplicarle algún método de reducción de modelos. Si una reducción en el orden del modelo no produce alteraciones apreciables en el comportamiento de entrada-salida del mismo, entonces el modelo original era innecesariamente complejo”. (p. 27)

2.8.5 Simulación

“Un procedimiento muy habitual que puede ser considerado como otra técnica de validación de modelos consiste en simular el modelo con un conjunto de entradas distintas a las utilizadas para identificación, y comparar la respuesta del modelo con la obtenida del sistema real.” (López, 2001, p. 28)

2.9 Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

Una forma de representar la versión linealizada cuantitativa con experimentos en lazo abierto se puede llevar a cabo con el siguiente proceso:

- Realizar una excitación normal de la planta en lazo abierto.
- En estado normal aplicar un cambio de estado en el escalón de entrada que debe tener un 10% a 20% del estado nominal.

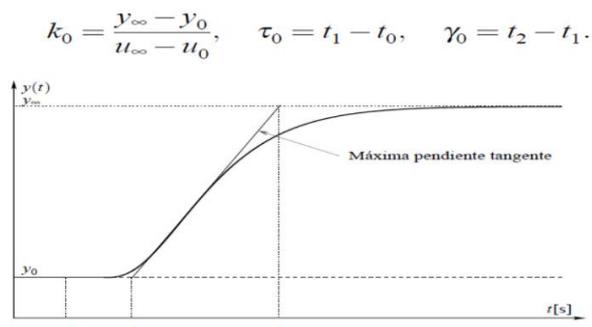


Figura 27 Respuesta al escalón (curva de reacción) en lazo abierto de la planta
Fuente: López, 2001

Los parámetros del controlador PID propuestos por Ziegler - Nichols a partir de la curva de reacción se determinan del modelo de las fórmulas de la curva de reacción de Ziegler-Nichols.

	K_p	T_r	T_d
P	$\frac{\gamma_0}{K_0 \tau_0}$		
PI	$\frac{0,9\gamma_0}{K_0 \tau_0}$	$3\tau_0$	
PID	$\frac{1,2\gamma_0}{K_0 \tau_0}$	$2\tau_0$	$0,5\tau_0$

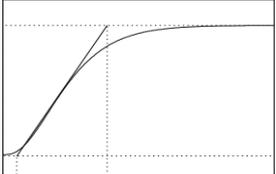
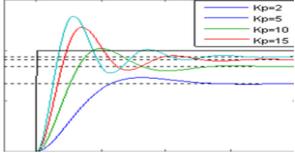
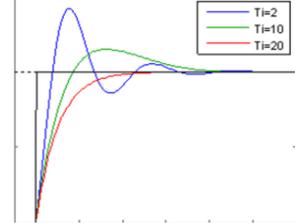
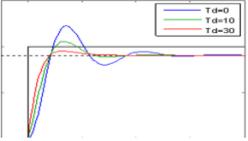
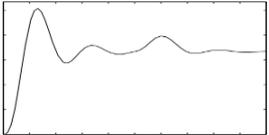
Figura 28 Parámetros de controladores PID según el método
Fuente: López, 2001

2.9.1 Controlador de un sistema

Gaviño (2010) dice que, “Los controladores son elementos que se le agregan al sistema original para mejorar sus características de funcionamiento, con el objetivo de satisfacer las especificaciones de diseño tanto en régimen transitorio como en estado estable.” (pg.362)

Tenemos diferentes tipos de control que tienen como finalidad mejorar las señales en el sistema, para obtener efectos eficientes en un proceso.

Tabla 5*Tipo de controladores en un sistema*

Tipo de controladores	Descripción	Grafico
Control Paso o Escalonado.	Es dar un setpoint o entrada que indique el comportamiento actual de la planta.	
Control Proporcional (P).	Proceso que disminuye el error en estado estacionario, responde rápido y presenta sobre oscilación u oscilación de manera proporcional.	
Control Proporcional Integral (PI).	Ayuda al control proporcional e integra el error a un 0%. Si el tiempo integral disminuye la respuesta puede transformarse en un sistema inestable. Considera valores de error que ocurrieron en el pasado.	
Control Proporcional Derivativo (PD).	El control derivativo tiene la capacidad de predicción sobre la señal del error.	
Control Proporcional, Integral, Derivativo (PID).	El controlador PID reúne las mejores combinaciones para obtener las mejores características de estabilidad y ausencia de error en el sistema.	

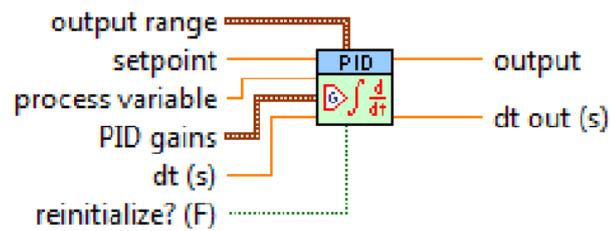


Figura 29 Bloque de Labview para PID

Fuente: National Instrument, 2014

El bloque de diagrama representa a la programación de PID que se encuentra en el sistema de identificación y modelación de Labview disponible.

Este presenta la característica de configuración principal la señal del rango de salida, setpoint, variable del proceso, PID, etc que ayuda a obtener controlador eficiente.

2.9.2 Matlab

Millones de ingenieros y científicos del mundo utilizan Matlab para análisis de señales, este software fue creado por Mathworks que tiene un alto grado de programación también, se incorporan graficas que ayudan a interpretar lo que sucede en el mundo. Matlab es un programa que utiliza un lenguaje de tipo C. Por otro lado, Matlab incorpora a su software una infinidad de toolkits que son carpetas y funciones que facilitan la configuración como por ejemplo simulink que ayuda a la identificación de un sistema dinámico.

2.9.3 Problemática general existente en una identificación de sistemas

Una de las mayores problemáticas, puede suscitarse a lo largo del proceso por lo que debemos estar preparados para resolver el problema. Uno de los problemas puede ser no tener

accesibilidad total a la planta de manera exacta, este paso es muy importante para la toma de datos y señales de entrada, registrar para de esa manera realizar las pruebas de identificación.

2.9.4 Ventajas en la identificación de sistemas

- Es una forma de llegar a resultados que son necesarios o predecir el comportamiento del sistema con el objetivo de realizar cambios y pruebas.
- Presenta una ventaja importante debido al motivo que en circunstancias no es posible tener acceso a los datos de entrada y salida de la planta real por diferentes aspectos.
- El modelo base es una ecuación matemática o un conjunto de ellas que describen el comportamiento del sistema

2.9.5 Resumen de la identificación de datos

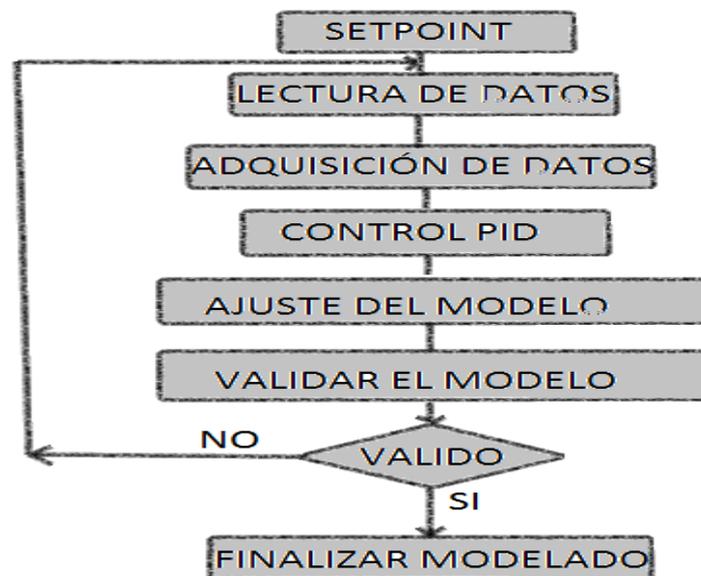


Figura 30 Flujo grama de la identificación del modelo del sistema.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipos de investigación

3.1.1 Investigación Tecnológica

El presente proyecto para el control de velocidad en un motor asincrónico, mediante Labview e identificación del modelo del sistema, es de tipo tecnológico porque contribuye con las soluciones a ciertos problemas de diferentes maneras como el ahorro de dinero, tiempo y principalmente con el ahorro de eficiencia energética.

3.1.2 Investigación Científica

Esta investigación es de carácter científico, de acuerdo al proceso sistemático que consigue datos desde un plan preestablecido que se procederá a estudiar, asimilar y examinar contribuirá añadiendo con conocimientos a los ya existentes. Por otro lado, es necesario organizar todos los conocimientos vinculados al proyecto y como objetivo de conclusiones no acogen a un parecer subjetivo, sino en sucesos que anticipadamente fueron vistos y analizados.

La implementación de este proyecto permite el análisis de un problema tecnológico que se resuelve mediante la construcción del mismo cumpliendo con ciertos requisitos de demanda. Se puede mencionar que toda la investigación se generaliza de acuerdo a todo el ideal que se justifican en el trabajo de grado. En el mencionado proyecto se plantea la investigación bibliográfica o documental y la investigación de campo para plantear el trabajo de grado.

3.1.3 Investigación bibliográfica y documental

En la investigación bibliográfica y documental permite contribuir en el presente proyecto de una manera teórica y técnica, debido a el análisis de múltiples consultas de libros, revistas, catálogos, folletos y páginas web, lo que permitió entender el trabajo de forma clara y concisa sobre la variación de velocidad en un motor asíncrono, con visualización en labview e identificación del modelo del sistema, contribuyendo directamente al estudio y comportamiento de un motor asíncrono.

3.2 Métodos

3.2.1 Método analítico sintético

Este método analítico y sintético ayuda en la dispersión de todo el trabajo de grado en partes individuales, con la finalidad de realizar el estudio individual para cada uno observando su naturaleza y origen. Este método facilito el estudio personalizado de cada uno de los elementos utilizados para la variación de velocidad en un motor asíncrono, con visualización en Labview e identificación del modelo del sistema.

3.3 Técnicas e instrumentos

Las técnicas a utilizar son:

- Análisis de mecanismos (mediante programas específicos)
- Mediciones (Instrumentos específicos)
- Simulación (de señales, etc.)
- Fotografías

3.3.1 Análisis de mecanismos (mediante programas específicos)

El análisis de mecanismo se realizará durante la práctica en el proyecto realizado. El análisis será de manera experimental y referente a una identificación del modelo del sistema en el que se obtendrá resultados de acuerdo al comportamiento de un motor asíncrono mediante una ecuación matemática lineal dada en Labview.

3.3.2 Mediciones (Instrumentos específicos)

Las mediciones se tomarán en el módulo didáctico, mediante el monitoreo constante en una interfaz Labview, que facilitara la toma de muestras en Excel permitiendo visualizar el arranque suave y la velocidad actual del motor asíncrono.

3.3.3 Simulación de señales

La simulación se realizará mediante la interfaz Labview, que proporcionará esta interacción visual del monitoreo de velocidad y comportamiento matemático con una ecuación diferencial lineal. Las señales de rpm y setpoint, serán fácilmente diferenciadas y variadas a convenir permitiendo un control total de la frecuencia en la máquina.

3.4 Esquema de la propuesta

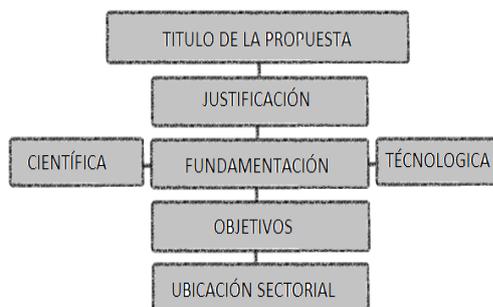


Figura 31 Esquema de propuesta

3.5 Fotografías

Las fotografías adjuntas indicaran el proceso y montaje del proyecto donde se podrá visualizar fácilmente las secuencias de acuerdo al módulo y anexadas en el documento.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

4.1 Tema

Diseño e implementación de un módulo didáctico, para el control de velocidad en un motor asíncrono, mediante Labview e identificación del modelo del sistema.

4.2 Justificación

La formación de profesionales en carreras de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, tiene dos aspectos fundamentales que se deben considerar, los aspectos son la teoría y la práctica. La práctica es una experiencia de aprendizaje significativa, ya que en una industria se suscitan diversos daños en equipos eléctricos y esto necesita de profesionales que resuelvan los problemas ocurridos, con creatividad y con estrategias, de soluciones fundamentadas, basadas en la teoría; en este sentido, los estudiantes al adquirir conocimientos teóricos y fundamentos en la práctica, permitirá reflejar la calidad de educación que se imparte en las aulas de la Universidad Técnica del Norte.

La especialidad de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico al estar dotada de excelentes laboratorios, entregará a la sociedad, ingenieros que posean conocimientos extensos en su especialidad, lo que permitirá que mediante el uso del programa Labview e identificación del modelo del sistema, se pueda apreciar el control de velocidad del motor, de tal manera que el trabajo de grado facilitará parámetros reales en un control de velocidad e identificación del modelo del sistema en un motor asíncrono.

4.3 Fundamentación

En la mayoría de industrias se implementa a gran escala el motor asíncrono o de inducción, debido a que este es un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano para su traslado o movilización e ideal para cualquier tipo de aplicación industrial. Por todas estas características se plantea implementar un variador de velocidad.

El variador de velocidad, básicamente se incorpora porque en la actualidad el control de procesos industriales en los motores, se realiza de forma automatizada gracias a la tecnología actual, pero la razón principal del variador de frecuencia es para fomentar el ahorro de energía. En esta época es muy práctico el control de procesos industriales de manera virtual, debido a que cuenta con diferentes ventajas como ahorro de tiempo y dinero. Por esta razón se implementa Labview en el proceso de identificación del modelo del sistema.

4.4 Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un Módulo Didáctico para control de velocidad en un motor asíncrono, que establezca comunicación en un equipo de control y el software de monitores en Labview.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar dispositivos que permitan el control y fuerza para el motor asíncrono.

- Implementar los programas para el diseño de la interfaz de control.

4.5 Desarrollo de propuesta

El módulo didáctico para variar la velocidad en motores asíncrono con visualización en Labview e identificación del modelo del sistema está diseñado pensando en la necesidad intelectual de los estudiantes de la carrera de mantenimiento eléctrico porque no se cuenta con este tipo de módulo.

El módulo cumple con ciertas características como las de enseñar a realizar una conexión de control y fuerza con las debidas precauciones de seguridad. También realiza la adquisición de datos en tiempo real para realizar una identificación del modelo del sistema con Labview y con ello observar la ecuación matemática de cómo se comporta el motor.

4.5.1 Sistema de control en un motor asíncrono

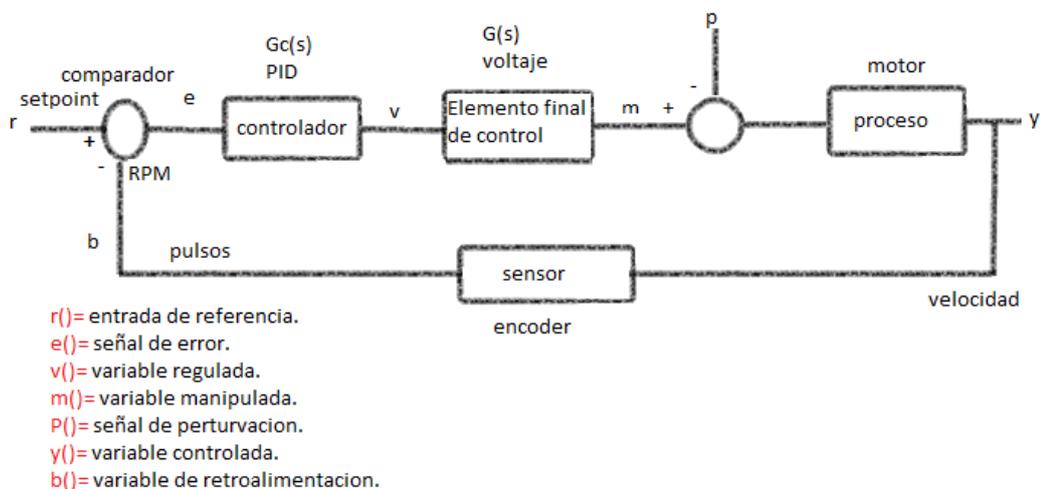


Figura 32 Diagrama de bloques del sistema o planta.

4.5.2 Tipo de control de velocidad a implementar

Se empezará asignando el tipo de control de velocidad que se necesita para el proyecto y por las características investigadas en el apartado anterior se manifiesta, realizar un control de velocidad mediante el cambio en la relación tensión, frecuencia de alimentación V/F con la ayuda de un variador de frecuencia.

Hoy en día el uso de sistemas de arranque por control de contactores está quedando en desuso, debido a los avances tecnológicos nos permite el uso de arrancadores o variadores de frecuencia, que en la actualidad son dispositivos o controladores electrónicos.

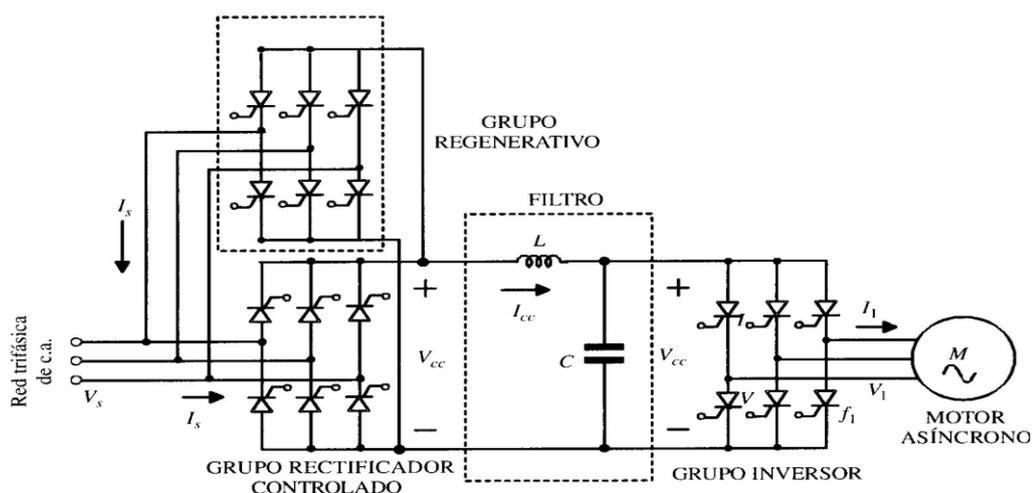


Figura 33 Regulación de velocidad por medio de V/F

Fuente: Mora, 2003

4.5.3 Elementos constitutivos del módulo didáctico

Se detallan los elementos a utilizar:

Tabla 6*Componentes del módulo didáctico*

Detalle	C/U
Tablero metálico	1
Variador de frecuencia G110	1
Botonera de arranque	1
Botonera de paro	1
Botonera de paro de emergencia	1
Guarda motor	1
Contactador	1
Breaker o interruptor trifásico	1
Microcontrolador (Arduino Mega2560)	1
Cables para conexión	50 m
Potenciómetro	1
Plus bananas	33
Motor eléctrico trifásico	1
Modulo lector infrarrojo de encoder	1
Encoder tipo disco	1
Amplificador operacional (sumador)	1
Chumascera para eje del motor	1

Se diseña un circuito de maniobra para la conexión de todos los dispositivos de manera correcta, exacta, rigiéndose a normas y reglas de seguridad ya establecidas.

4.5.4 Dimensiones de la estructura metálica

La dimensión de la estructura metálica está determinada por las medidas de los aparatos que se utilizan en este módulo, teniendo en cuenta una distribución eficiente en el tablero. El módulo se construyó según las siguientes medidas:

Tabla 7

Dimensión módulo didáctico

Dimensión de módulo didáctico	Mm	Cm
Alto (A)	500	50
Ancho (B)	200	20
Largo (C)	500	50
Dimensión de mesa para módulo didáctico		
Alto (A)	1000	100
Ancho (B)	300	30
Largo (C)	1000	100



Figura 36 Construcción de la parte metálica del módulo

4.5.5 Motor de inducción para prácticas

El motor asíncrono que se detalla es empleado en el proyecto debido, a que son motores que se encuentran en todas las industrias por lo que, necesita ser estudiado y analizado.

Tabla 8

Placa de características de motor asíncrono

M/C	ADD44J/X037055		
DUTY	S1		
IP	55		
GD^2	Kgm ²		
FR	A080		
KW/HP	0.55(0.75)		
HZ	60		
RPM	1675		
COS Φ	0.7		
VOLTS	220	380	440
AMPS	2.8	1.6	1.4
CONN	▲ ▲	Y Y	▲
Brithish Estándar	4999		



Figura 37 Motor didáctico asíncrono.

Fuente: Laboratorio de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, 2016

Para el control de velocidad de este motor se procede a dimensionar los dispositivos del sistema de control y operación.

4.5.6 Dispositivos de operación y control que son necesarios para diseñar el módulo didáctico

Se refiere a todos los componentes del sistema debidamente dimensionados según las características del motor eléctrico, involucrando a las partes fundamentales que conforman para la variación, refiriéndose a todo lo físico desde cables, pulsadores, borneras, riel din, modulo, dispositivos eléctricos y electrónicos como es el variador de frecuencia, guarda motor, contactor, breaker, encoder, tarjeta de adquisición de datos, etc. Para la parte de control es necesaria la utilización de los siguientes dispositivos con su respectiva característica:

4.5.7 Variador de frecuencia G110 Sinamics

También se les puede denominar inversores o variador de velocidad. Este dispositivo electrónico permitirá llevar a cabo un completo control del motor eléctrico. El variador se dimensiona de acuerdo a la placa de características del motor a ser utilizado. Este tipo de variador es muy conveniente para este proyecto por su fácil manejo, instalación y ensamblaje por lo que, este variador permite una infinidad de usos y aplicaciones.

Tabla 9*Características del variador de frecuencia Sinamics G110*

Mecánica	Electrónica	Comunicación	Protección
Fácil para conectar mediante cables	No necesita configuraciones extras viene listo para su utilización	La facilidad de usar la variante con el interfaz (RS485)	Contra la sobretensión
Son compactos	Inscripción de los parámetros mediante el (BOP)	Una fácil conexión a los sistemas de automatización con SIMATIC S7-200	Contra el exceso temperatura en el convertidor
Pantalla LED para la visualización de parámetros y estado			Contra el defecto a tierra
Tiene un diseño robusto			Contra cortocircuitos
			Contra una estabilidad del motor

Fuente: manual de variador siemens G110,2005**Figura 38** Variador de velocidad Sinamics G110.

La respectiva programación del variador se desarrolla según las características del motor asíncrono a poner en marcha:

Tabla 10

Parámetros de programación del variador

PARÁMETROS	FUNCIÓN	ROGRAMACIÓN
P0010	Inicio de la puesta en servicio rápido	1
P0100	Europa – Norteamérica	1
P0304	Tensión nom. del motor	220V
P0305	Corriente nom. del motor	2.8 A
P0307	Potencia nom. del motor	0.75hp
P0310	Frecuencia nom. del motor	60hz
P0311	Velocidad nom. del motor	1675rpm
P0700	Selección de la fuente de ordenes	2
P1000	Selección de la consigna de Frecuencia	2
P1080	Frecuencia mínima del motor	0-60hz
P1082	Frecuencia máx. del motor	0-60hz
P1120	Tiempo de aceleración	5s
P1121	Tiempo de desaceleración	5s
P3900	Finalizar puesta en servicio rápida	1(recomendado)

Fuente: Siemens, 2005

Para realizar un reseteo total de datos en el variador es necesario ingresar a parámetro P0010, ajustes 30 y P0970, ajuste 1. De esta manera se dará un reset total de fábrica.

- **Variantes Analógicas**

Tabla 11*Variantes Analógicas*

DESCRIPCIÓN	TERMINALES	PARÁMETROS DE FÁBRICA	OPERACIÓN DE FÁBRICA
Punto de referencia de frecuencia	9	P1000= 2	Entrada análoga
Origen de mandato	3,4 & 5	P0700= 2	Entrada digital
Entrada Digital 0	3	P0701= 1	On/Off
Entrada Digital 1	4	P0702= 12	Reversa
Entrada Digital 2	5	P0703= 9	Reconocer la falla

Fuente: Siemens, 2005

- **USS Variante**

Tabla 12*USS Variante*

DESCRIPCIÓN	TERMINALES	PARÁMETROS DE FÁBRICA	OPERACIÓN DE FÁBRICA
Punto de referencia de frecuencia	8/9	P1000 = 5	USS
Origen de mandato	8/9	P0700 = 5	USS
Dirección USS	8/9	P2011 = 0	USS Dirección
Velocidad de baud	8/9	P2010 = 6	USS Velocidad de baud = 9600 bps
Longitud USS PZD	8/9	P2012 = 2	PZD = dato de proceso.

Fuente: Siemens, 2005

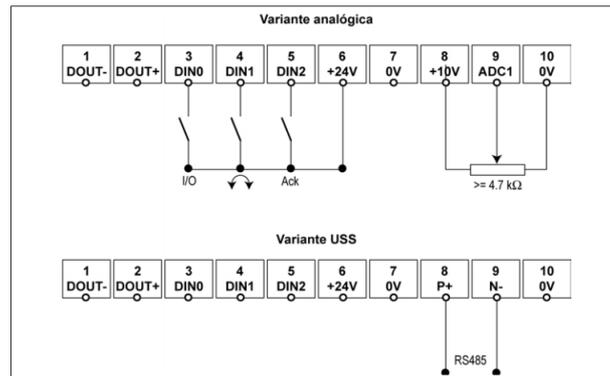


Figura 39 Variantes USS y variantes analógicas.

Fuente: Siemens, 2005

4.5.8 Panel de programación en el variador de frecuencia (BOP)

Para el variador de frecuencia se debe adicionar un panel de programación básico sinamics G110, el que se dimensiona según sea las características del variador.

Tabla 13

Botones de programación básica de Sinamics G110

Panel Botones	Funciones
	Indica el estado
	Arranca el motor
	Para el motor
	Cambio de dirección
	Botón para correr a velocidad corta
	Funciones
	Acceso a los parámetros
	Valor alto
	Valor bajo



Figura 40 Panel de programación Sinamics G110 (BOP)

4.5.9 Interruptor Termomagnético

Para dimensionar el breaker es necesario conocer la carga nominal del motor y cuántas fases o polos, para ello es necesario observar la placa de características del motor por lo que según las especificaciones trabaja en los siguientes rangos. Caballaje 0.75 hp o 0.55kw de potencia, trifásico, aun voltaje máximo de 440V dependiendo de la conexión, con una corriente de 1.4 A y aun voltaje mínimo de 220V con una corriente de 2.8A.

También es necesario conocer el factor de simultaneidad, es decir la potencia que requiere alimentar en un mismo tiempo. Tenemos una potencia nominal del motor de 0.55KW o 0.75Hp y del variador de frecuencia de 1 Hp

Se procede hacer el cálculo de la corriente o cualquiera de los parámetros que no se tenga conocimiento, en nuestro caso la corriente.

Cálculo de corriente para el motor.

$$P = V \times I$$

$$I = P/V$$

$$I = 550w/220 = 2.5A$$

Carga del motor.

$I = 746w/220 = 3.4A * 1.25 = 4.2A$ Carga del variador más 125% de la corriente de protección.

$I = 6.7A$ Corriente total en el módulo.

Sobredimensionando se decide implementar a este proyecto un breaker riel din de tres fases a 6A porque el motor funciona a carga nominal.

4.5.10 Contactor

Podemos decir que mediante este dispositivo vamos a gobernar el motor eléctrico. Para el dimensionamiento correcto de este dispositivo es necesario conocer las fases, que por lo general en motores son tres. Por lo que se utilizara el contactor, de 7A, con un N.O. interno y con una bobina de 220 V. Para su correcta conexión se procedió a revisar su manual de circuito de maniobra.

4.5.11 Guardamotor

Se implementa un Guardamotor a este proyecto con la principal función, visto a la necesidad de proteger al motor eléctrico contra sobre calentamientos y cortocircuito.

Para su correcto dimensionamiento se debe tomar en cuenta los principales aspectos como es la corriente y fases.

Por las características del motor trifásico se decide utilizar el Guardamotor de marca siemens de corriente 1.4 - 2.8A.

Para la correcta instalación es necesario revisar su catálogo, pero se debe tomara en cuenta dos principales aspectos para su uso, el ingreso de tres fases y la salida de tres fases que se

conecta en serie con el motor. Este guardamotor tiene la característica de selección de corriente según convenga en su rango de trabajo que viene establecido de fábrica de 1.4 a 2.8A.

4.5.12 Botoneras

Contamos con tres principales pulsadores un paro de emergencia o conocido como Z, dos pulsadores para arranque y paro del motor eléctrico.

La característica de estos pulsadores es que al presionar cierran el circuito y cuando se deja de pulsar el botón, estos regresan a su posición normal.

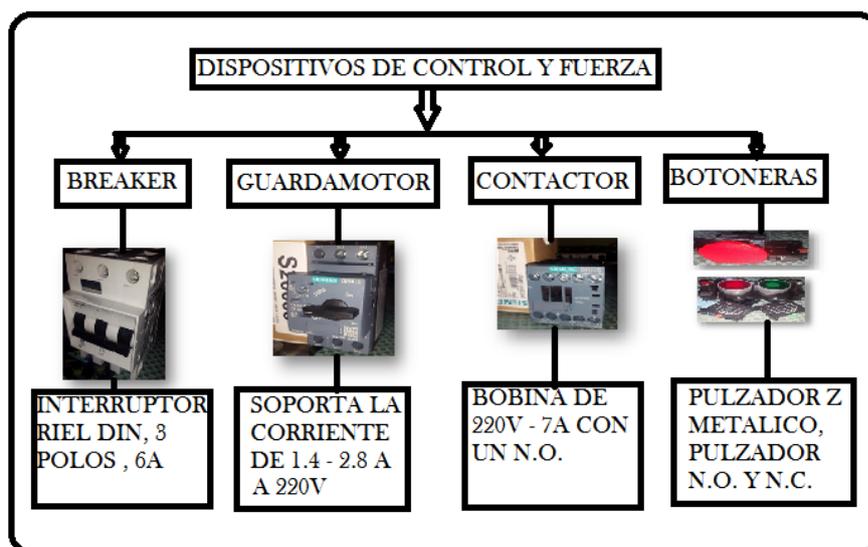


Figura 41 Descripción de los elementos de control y fuerza implementados al proyecto

4.5.13 Montaje y conexión de los dispositivos en el módulo de entrenamiento

Siguiendo con los pasos adecuados de los respectivos manuales de conexión en todos los dispositivos de operación y control anteriormente mencionados, se realiza la conexión y montaje de todos estos equipos en un módulo que está directamente creado a la medida para

realizar prácticas de conexión para la variación de frecuencia en un motor eléctrico. En el armado del módulo se debe tomar en cuenta ciertas normas de riesgo y prevención eléctrica para no ocasionar accidentes en las personas como pérdidas materiales.

4.5.14 Ubicación del variador de frecuencia con los dispositivos de protección y control

En el presente se utiliza el variador de frecuencia G110 debido al buen desempeño que este brindará al módulo con las características antes mencionadas. El variador se ubicará en la parte izquierda del módulo para realizar una fácil conexión de elementos de adquisición de datos y tener una buena visualización, manipulación del elemento debido a la ubicación de los dispositivos de protección a la derecha.



Figura 42 Ubicación del variador G110, dispositivos de control y fuerza.

4.5.15 Ubicación de los pulsadores, entradas y salidas de los elementos

Para ubicar las botoneras se tomó en cuenta el diagrama de conexión con la finalidad de realizar una adecuada ubicación con cada elemento, tomando en cuenta de realizar un tablero de entrenamiento para los estudiantes de la carrera en Mantenimiento Eléctrico, de esta manera se realiza la perforación del tablero didáctico.

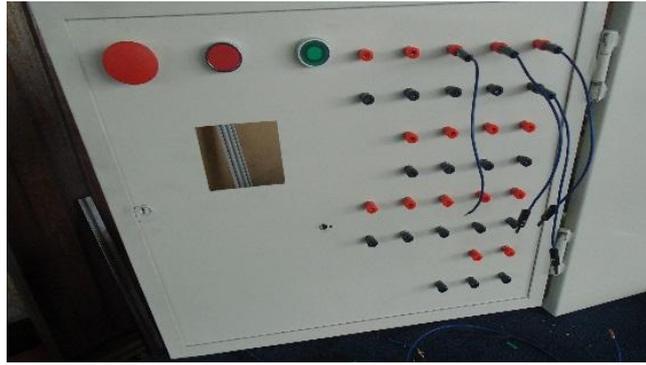


Figura 43 Ubicación de pulsadores y plus banana para módulo de entrenamiento.

4.5.16 Conexión a la red y al motor la parte de control

Para realizar las conexiones tanto a la red eléctrica como al motor se debe tomar en cuenta lo siguientes detalles:

- Tener la protección adecuada para nuestro circuito ya sean con fusibles de protección o interruptor termomagnético y sobre todo que la capacidad de protección sea la adecuada.
- Para determinar el calibre del conductor se necesita saber cuánta corriente va soportar el cable que alimenta la mayor carga en el proyecto con ayuda de la ecuación #5:

$$P = I.V.$$

$$I = \frac{P(W)}{V} = \frac{0.55W}{220V} = 2.5A. \text{ que consume el motor.}$$

$$I = \frac{P(W)}{V} = \frac{0.75w}{220v} = 3.4A. * 125\% = 4.2A \text{ que consume el variador de frecuencia.}$$

$$I = 6.7A$$

Se debe utilizar los cables adecuados para el circuito en este caso sería el conductor de cobre (Cu) flexible cableado para baja tensión por lo menos de un calibre número 18 - 16 AWG con capacidad de 6 - 8A a temperatura ambiente de 30° C.

Sección transversal		Capacidad de corriente (A)
Mm ²	AWG	
0,82	18	6
1,31	16	8
2,08	14	17
3,30	12	23
5,25	10	28

Figura 44 Corriente que soporta el conductor eléctrico

Fuente: Código Eléctrico Nacional, INEN, 2008

- Realizar una correcta conexión de los bornes de control del variador de frecuencia.



Figura 45 Montaje de módulo de entrenamiento.

4.5.17 Dispositivos a implementar en el sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos tiene como función establecer la comunicación con la interfaz Labview. Para realizar la adquisición de datos es necesario contar con los siguientes elementos:

4.5.17.1 Encoder tipo disco

La principal función por la que se selecciona el encoder tipo disco es porque permite la lectura del número de vueltas por unidad de tiempo en el eje del motor.

Tabla 14

Datos técnicos de sensor tipo disco

Especificaciones Técnicas	
Diámetro	2.33cm
Compatibilidad	Sensores IR de velocidad
Número de salidas	2 salidas
Salida 1	Sensor de velocidad IR
Ranuras	20

Fuente: Estudio.com, 2011

4.5.18 Módulo sensor de velocidad infrarrojo de disco

Es necesario este dispositivo para complementar el encoder, como resultado obtendremos señales analógicas que serán transmitidas a una tarjeta de adquisición de datos por medio de un cable de comunicación. Este módulo de sensor IR de velocidad, tiene 2 salidas que se utiliza

principalmente para medir la velocidad del encoder clave tipo disco que esta acoplado a el eje del motor eléctrico.

Este sensor es económico y relativamente sencillo de usar. El sensor tiene un emisor y un receptor infrarrojo que al poner un objeto en medio éste entrega la señal 1 o 0 lógico a la tarjeta de adquisición de datos.

Tabla 15

Especificaciones técnicas del módulo lector IR de sensor tipo disco

Especificaciones Técnicas	
Abertura	5mm
Salida digital	0 o 5V
Salida Analógica	0 a 5V
Voltaje	3V – 5 V
Comparador	LM393

Fuente: Estudio.com, 2011

4.5.18.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega es probablemente es el microcontrolador más capaz de la familia Arduino es por esa razón que se emplea en este proyecto.

Tabla 16*Especificación técnica de Arduino Mega 2560*

Especificaciones Técnicas	
Microcontrolador	ATMega 2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada(recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada(limite)	6 – 20V
Pines I/O digitales	54 (de las cuales 15 proporcionan la señal de salida PWM)
Pines de entrada analógicos	16
Pines de corriente DC per I/O	20mA
Pines de corriente DC para 3.3V	50mA
Memoria Flash	256KB (de los cuales 8KB son usados por el gestor de arranque)
SRAM	8 KB
EEPROM	4KB
Señal de reloj	16MHz
Longitud	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

Fuente: Estudio.com, 2011

Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

4.5.18.2 Cable USB 2.0

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serie, sin embargo, posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB 2.0 como el que utilizan las impresoras.

4.5.18.3 Amplificador de señal

La función principal es amplificar cualquier tipo de señal. En cualquier sistema sensible automatizado requiere un sumador algebraico que compara la señal de referencia con la salida que en caso de existir diferencia entre las señales el controlador dosifique dicha energía por medio del elemento final de control.

4.5.19 Placa de amplificación de señal en el programa PCB Wizard

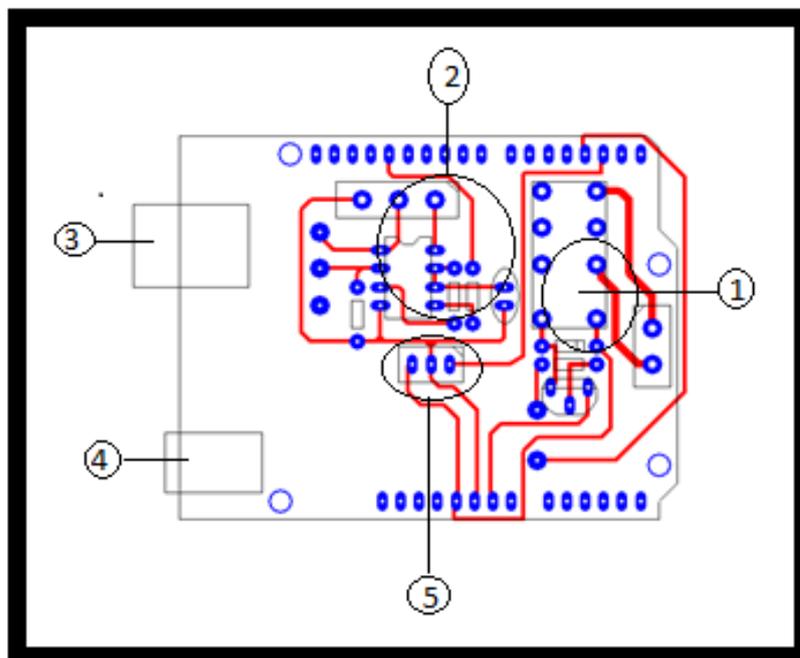


Figura 46 Placa de amplificación de señal en el programa PCB Wizard

Tabla 17

Descripción de elementos en el amplificador operacional

Elementos del amplificador	
1	Relé de 5v DC
2	Amplificador no inversor
3	Fuente de alimentación
4	USB
5	Sensor encoder

4.5.19.1 Placa de amplificador no inversor

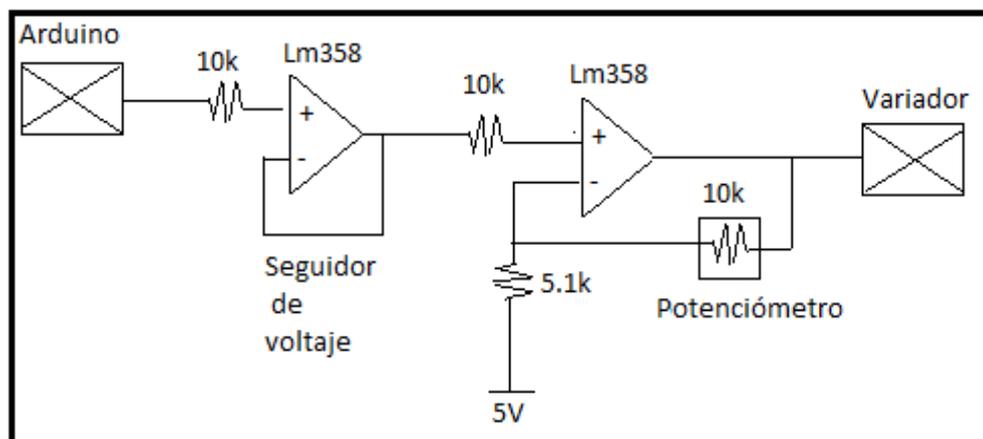


Figura 47 Comparador, como suma algebraica.

4.5.20 Dispositivos implementados para módulo de adquisición de datos

Para la implementación del sistema de adquisición de datos se requiere de los siguientes elementos:

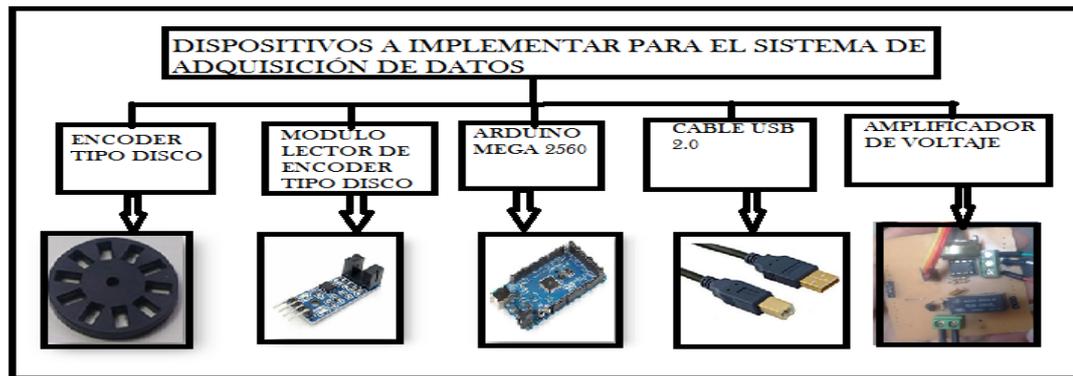


Figura 48 Elementos implementados en el módulo para la adquisición de datos

4.5.21 Módulo Finalizado



Figura 49 Finalización de montaje del módulo

4.5.22 Diseño de programación

4.5.22.1 Programación con Arduino como tarjeta de adquisición de datos y comunicación

Son importantes las funciones que tiene Arduino como las librerías incluidas de las que dos son importantes, pero si se necesita de más funciones para programar Arduino cuenta con más librerías en su portal para instalar.

Comandos Arduino:

#include <TimerOne.h> (Función que permite obtener tiempos)

Declaración de variables globales:

boolean stringComplete = false; (Pregunta si la cadena de datos está completa)

char v[5]; (Vector de 5 posiciones)

char v1[5]; (Vector auxiliar de 5 posiciones)

int i = 0; (variable inicializada)

int cont = 0, cont_aux = 0; (Contadores inicializados)

boolean flag = 0; (Si la bandera es cero no envía datos)

int rpm = 0; (RPM inicializada)

int velocidad = 0; (Velocidad inicializada)

int habilitar = 0; (Variable inicializada)

Función encargada de recopilar datos:

void setup() (Activa los pines I/O)

{

pinMode(3, OUTPUT); (Activa el pin 3 como salida)

//digitalWrite(3, 0); (Escribe en el pin 3 y resetea)

```

analogWrite(13, 0);           ( Escribe en el pin 13 y resetea)

Serial.begin(9600); //9600 bits/s baudios   (Velocidad de transmisión de datos)

pinMode(2, INPUT);           (Activa el pin 2 como entrada)

attachInterrupt(0, pulso, FALLING);        (Conteo de pulsos del encoder)

Timer1.attachInterrupt(tiempo);           (Interrupción de tiempo)

Timer1.initialize(100000); //milisegundos  (Cada 100.000 ms recibe datos)

}

```

Configuración para el envío de datos de Arduino al computador:

```

void envio(int dato)

{

Serial.print('a');   (Envío por el puerto serial la letra de reconocimiento y cinco datos)

if (dato < 10)

{

Serial.print("0000");

}

else

{

if (dato < 100)

{

Serial.print("000");

}

else

{

if (dato < 1000)

{

```

```

    Serial.print("00");
}
else
{
    if (dato < 10000)
    {
        Serial.print('0');
    }
}
}
}
Serial.print(dato);
}

```

Código del programa para adquirir datos:

```

void loop()
{
    if (flag && (habilitar == 1))    (Envía datos si la bandera es uno)
    {
        flag = 0; envio(cont_aux * 30); (si la bandera es cero resetea y espera datos)
    }
    if (stringComplete)            (Pregunta si la cadena de datos está completa)
    {
        stringComplete = false;    (Reúne los cinco datos y los codifica)
        int valor = 0;
        for (int j = 1; j < 5; j++) (Vector de 5 posiciones)

```

```

switch (v1[0])                (Reinicia el vector auxiliar)
{
  case 'a':                    (Envía la velocidad del motor al variador)
    analogWrite(13, valor / 4); (Escribe el pin trece y el valor divide para cuatro)
    break;
  case 'b':                    (Inicia los envíos de datos habilitando el sistema)
    digitalWrite(3, valor);    (Escribe en el pin 3 el valor)
    habilitar = valor;
    break;
}
}
}

```

Conteo de pulsos en el encoder:

```

void pulso()
{
  cont++;
}

void tiempo()                (Reseteo del contador)
{
  flag = 1;
  cont_aux = cont;
  cont = 0;
}

```

Envío de datos de Labview a Arduino cuando detecte una acción:

```

void serialEvent()

```

```

{
  while (Serial.available())
  {
    v[i] = (char)Serial.read();           (Lectura de datos del Puerto serial)
    i++;                                 (Variable de datos en suma)
    if (i == 5)                          (Variable hasta cinco datos)
    {
      for (int k = 0; k < 5; k++)        (Lazo repetitivo de hasta cinco datos)
        v1[k] = v[k];
      stringComplete = true;
      i = 0;                             (Reseteo de vector variable)
    }
  }
}                                         (Programa Finalizada)

```

4.5.23 Programación en Labview

La programación en Labview se presenta con un lenguaje tipo G gráfico que permite al programador hacer un análisis de manera visual.

Para realizar el programa es necesario descargar e instalar en Labview los toolkits de Arduino y control & simulación. La interfaz es la interacción del usuario con el panel de control donde se puede realizar ajustes de control con el objetivo de visualizar una respuesta esperada de la planta.

Dentro de esta interfaz podemos encontrar el código del programa que se diseña en el diagrama de control. El código está diseñado por ciclos eventos y diferentes etapas que se corren de manera ordenada o según la necesidad.

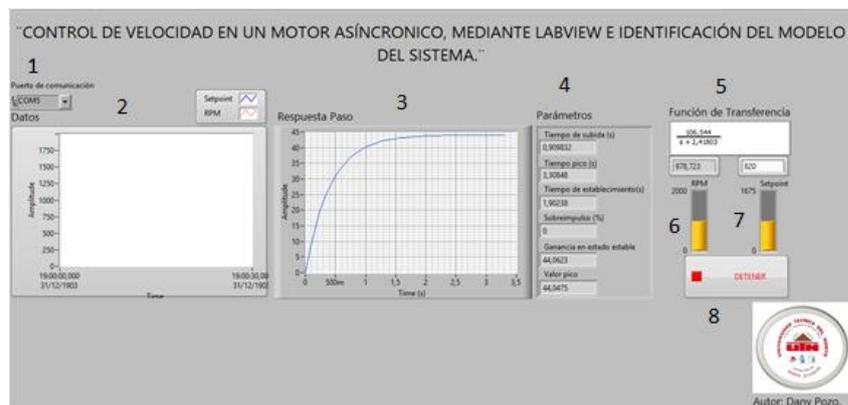


Figura 50 Interfaz de identificación del modelo del sistema

4.5.24 Descripción de la interfaz de control en Labview

- 1.- Se observa el puerto serial de comunicación con Arduino.
- 2.- Se observa la gráfica del setpoint con velocidad de respuesta en RPM.
- 3.- Se puede apreciar la señal paso del sistema.
- 4.- En los diferentes parámetros del sistema.
- 5.- Podemos mirar la función matemática del sistema.
- 6.- Tenemos el control de RPM.
- 7.- Encontramos el control de setpoint.
- 8.- Se encuentra el botón de paro del sistema.

Dentro de esta interfaz podemos encontrar el código del programa que se diseña en el diagrama de control.

El código está diseñado por ciclos eventos y diferentes etapas que se corren de manera ordenada o según convenga el momento.

Caso cero

Etapa de reseteo del programa con la finalidad de inicializar todas las variables a cero.

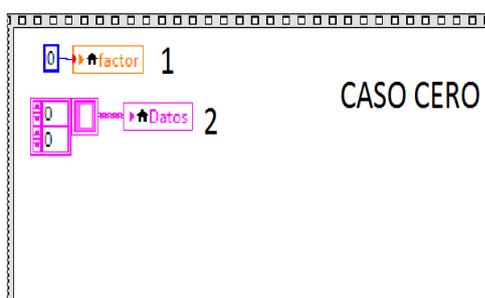


Figura 51 Reseteo del programa

Descripción del reseteo total de las variables en Labview:

- 1.- Se denomina factor que sirve como una escala para escoger el máximo que podemos tener y graficar.
- 2.- Es la recopilación de tiempo, setpoint y respuesta.

Caso uno

Es la configuración del puerto de comunicación con Arduino y la adquisición de datos del puerto serial.

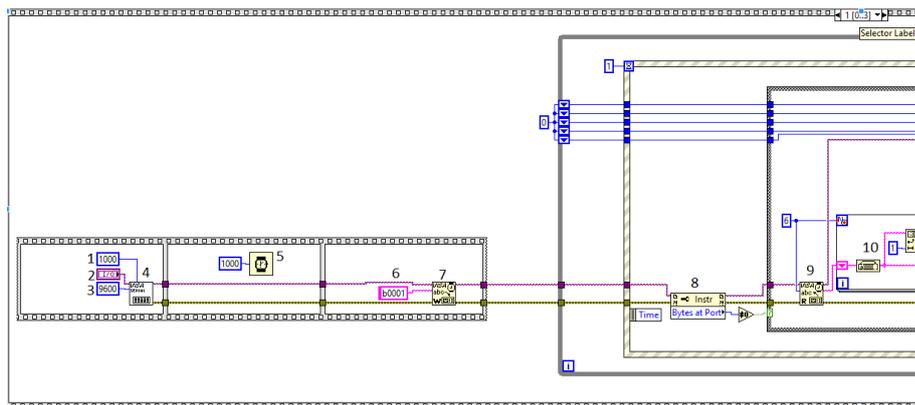


Figura 52 Configuración del puerto serial

Descripción de flat sequence en el primer nivel

1. Se observa una constante que sirve para determinar el tiempo de reseteo del programa que es de 1 segundo.
2. Indica el puerto de comunicación serial.
3. Se observa la velocidad de comunicación con Arduino que está configurado en 9600 baudios.
4. Se configura el puerto de comunicación con la tarjeta de adquisición de datos.
5. Tiempo para que se inicie el sistema de 1s.
6. Se configura la activación de recibo de datos por el puerto de comunicación.
7. Tenemos la adquisición de datos del puerto serial reconociendo si hay o no bytes en el puerto.
8. Podemos obtener la lectura del número de datos a recibir en nuestro caso 6 datos.

Evento Timeout – True

Dentro de flat sequense encontramos varios ciclos while loop, event structure y case structure. Dentro de event structure tenemos la configuración del programa timeout que está diseñado para la organización, transformación y visualización de los datos en Excel.

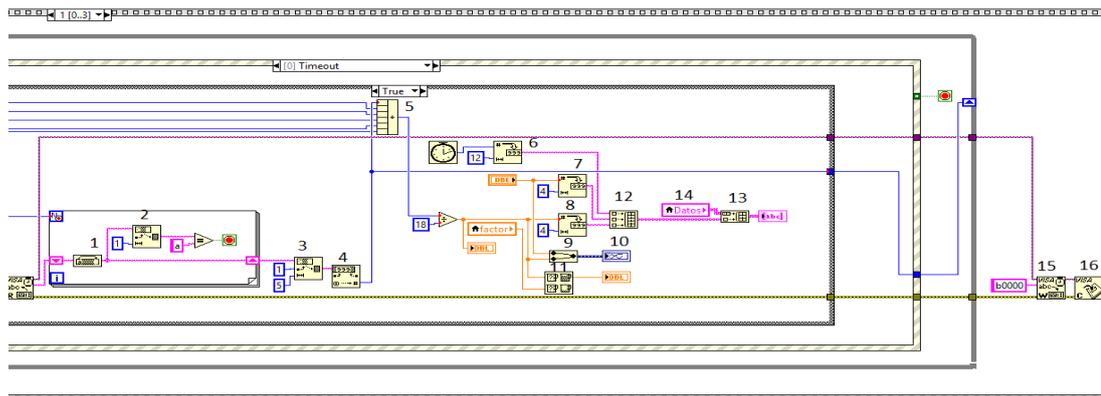


Figura 53 Configuración de adquisición y organización de datos

Descripción de case structure en estado verdadero

1. Encontramos a un elemento que sirve para rotar la cadena con el objeto que la letra variable a se encuentre en la primera posición del vector.
2. Rota la cadena hasta que la letra de reconocimiento ocupe el primer puesto y se detiene de lo contrario sigue rotando.
3. Este bloque busca que la letra de reconocimiento este en la primera posición para cortar y dejar pasar 5 datos.
4. Ayuda a transformar de cadena decimal a numérica.
5. Sumatorio total de todos los datos.
6. Ayuda a obtener datos de tiempo en 12 espacios.
7. Ayuda a obtener el número en 4 espacios siendo las RPM y transformando de numérico a cadena decimal.
8. Obtiene el número en 4 espacios siendo el setpoint y transformando de numérico a cadena decimal.
9. Une las señales para ser visualizadas en un graficador.
10. Este ayuda a promediar las señales y obtener el máximo valor que podemos escalar.
11. El array construye los tres datos obtenidos en vectores fila.

12. Ayuda a construir a los vectores fila y organizar los siguientes en vectores columna.
13. Datos obtenidos listos para ser enviados a Excel.
14. Permite la desactivación de envío de datos por el puerto comunicación.
15. Escribe en el puerto de comunicación los datos para ser enviados.

Evento Timeout – False

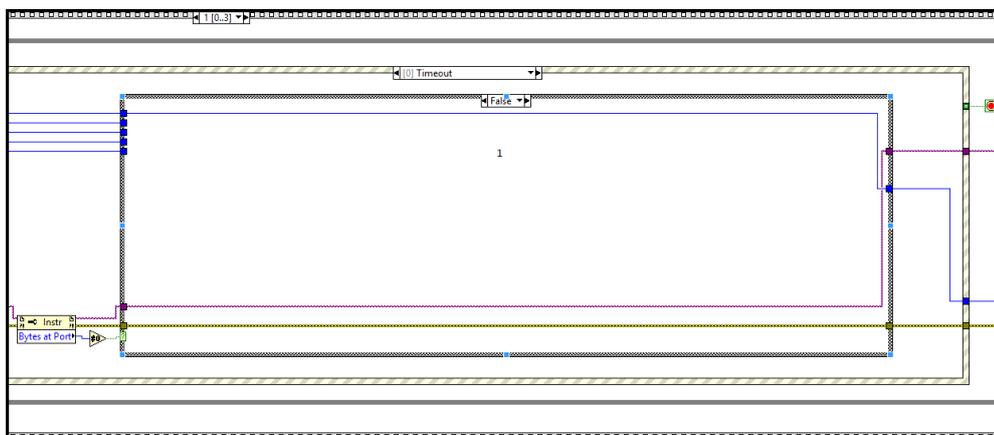


Figura 54 No hay datos en el puerto serial

Descripción de case structure en estado falso

- 1.- Si no se detecta ninguna acción la condición de case structure se mantiene en falso lo que origina que no esta detectándose ningún cambio en el sistema.

Evento – Setpoint

Este evento está configurado para el setpoint que permite cambiar el estado de la velocidad del motor con la finalidad de que no se mantenga en un solo estado.

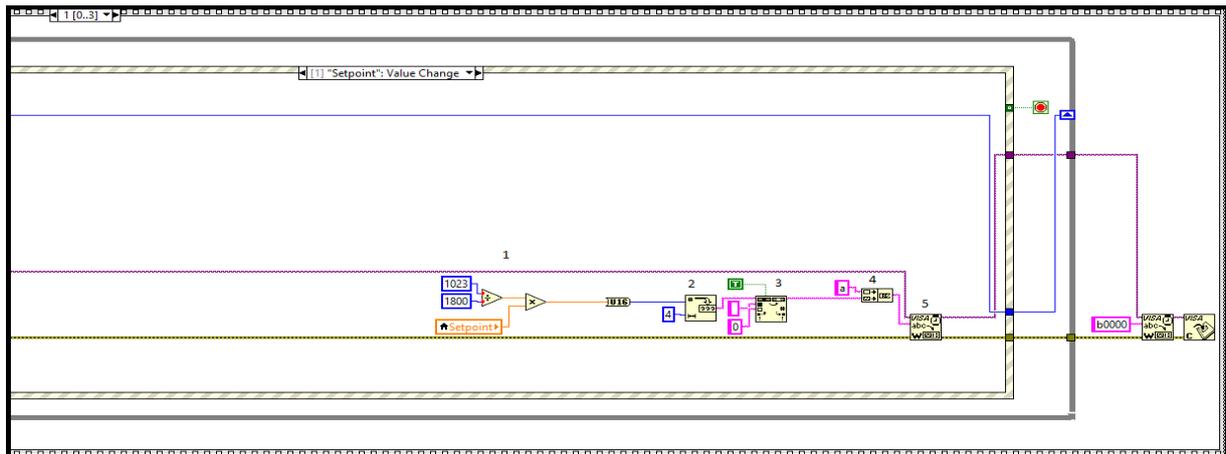


Figura 55 Determinación del setpoint

Descripción del programa de setpoint

1. Podemos observar una escala que sirve para la visualización de señal máxima de setpoint.
2. Tenemos el bloque que permite el ingreso de la variable numérica para transformar a cadena decimal.
3. Este busca el espacio vacío y reemplaza por ceros a la izquierda.
4. Este bloque sirve para concatenar la letra de reconocimiento que se encuentre en la primera posición para ordenar y enviar datos.
5. Transforma los datos y envía por el puerto a la tarjeta Arduino.

Evento Stop. - Como se puede observar este evento lo que permite ejecutar es la detención total del programa.

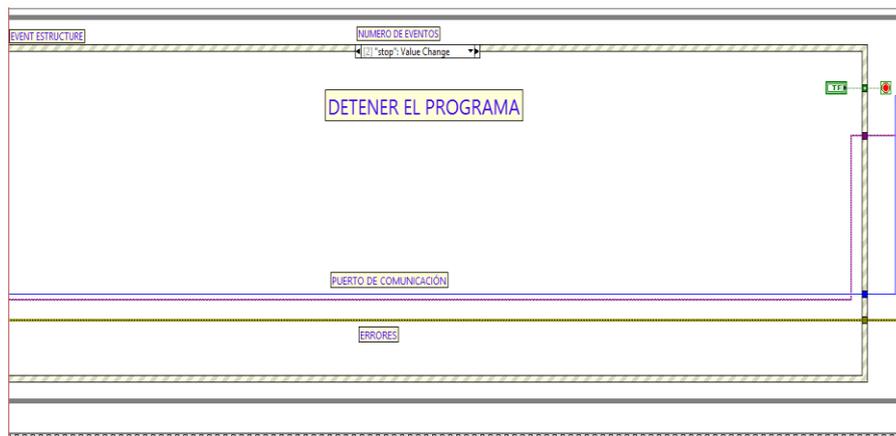


Figura 56 Stop del programa

Visualización de datos en Excel y guardada de datos en archivos LVM

Dentro de la secuencia tenemos el caso 2 que permite la visualización en Excel y guardada de datos en archivos de Labview LVM.

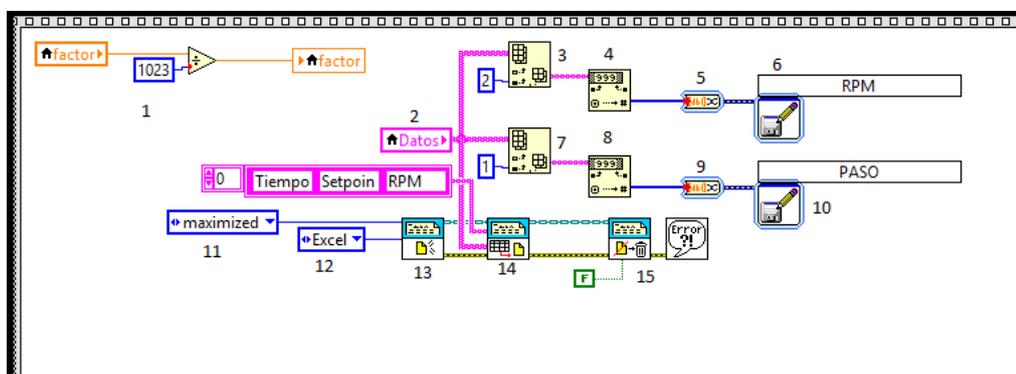


Figura 57 Reconocimiento de datos en Excel

Descripción de programación para visualización y guardad de datos:

1. Se puede visualizar el factor que sirve para escalar el valor máximo de RPM que se va obtener.
2. Se encuentran los datos de consigna.

3. Se ordenan en fila y columnas.
4. Este ayuda a transformar de cadena decimal a numérico.
5. Permite el cambio de dato numérico a dato dinámico.
6. Se realiza la guardada de datos en archivos LVM.
7. En 11 ayuda a la visualización de los datos en pantallas de diferente tamaño.
8. En 12 se especifica el programa de datos estadísticos.
9. En 13, 14, 15, se identifica los datos en Excel previamente organizados en una tabla.

Programación de Modelado

Dentro de la siguiente secuencia número tres se puede observar la programación de la identificación del sistema que ayuda al análisis de la planta.

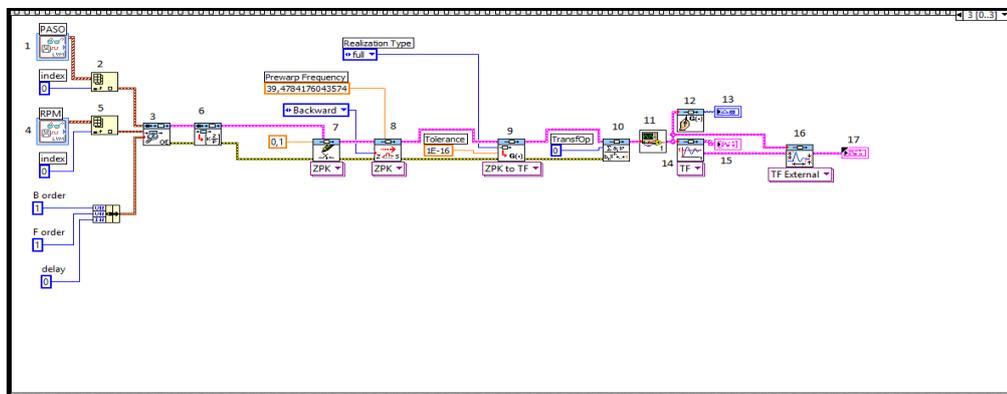


Figura 58 Modelado del sistema

1. En 1 y 4 se tiene los archivos paso y RPM respectivamente estos se encuentran en un formato LVM que da lugar a la lectura en Labview.
2. En 2 y 5 se encuentra el bloque de matriz que lee los archivos LVM para transformarlos en sub arreglos.

3. En 3 podemos encontrar el bloque de modelado del sistema que realiza todo el trabajo y toda la ciencia que hace Labview para estimar una aproximación del sistema.
4. En 6 se realiza una transformación de ceros arriba y polos abajo factorados en un modelo discreto.
5. En 7 se puede escoger el número de muestreo del sistema en 0.1 segundos en el modelo discreto.
6. En 8 transformamos de un sistema discreto Fourier a continuo la Place sirve para poder visualizar las señales de manera continua.
7. En 9 se transforma el modelo de ceros y polos en una función de transferencia.
8. En 10 normalización del modelo en la función de transferencia
9. En 11 Sub VI que ayuda a visualizar el programa.
10. En 12 dibuja la función de transferencia.
11. En 13 gráfica la función de transferencia.
12. En 14 indica el tiempo de respuesta.
13. En 15 gráfica en x e y.
14. En 16 parámetros de tiempo de respuesta.
15. En 17 indica los parámetros.

Programa del controlador PID

El PID tiene el objetivo de controlar el motor y dar una respuesta de acuerdo a la validación del sistema. Dentro del programa se implementa el bloque de PID acoplado a la programación principal timeout en un caso verdadero.

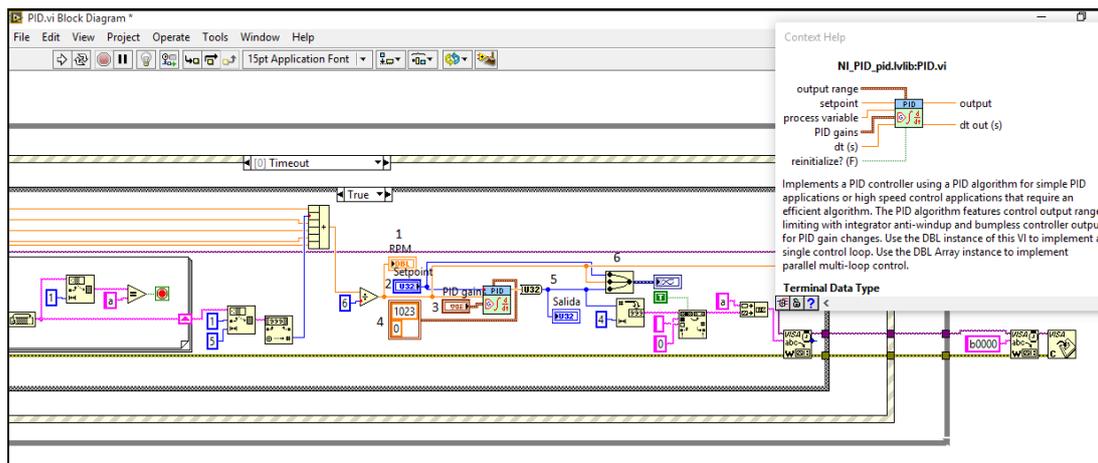


Figura 59 Programa PID

1. Ingresa la variable RPM a ser controlada.
2. Ingresa la variable setpoint a ser controlada.
3. Indica las variables a controlar en el PID.
4. Representa el valor mínimo que puede tomar.
5. La respuesta controlada del sistema en base a la entrada.
6. Unión de las señales para ser visualizadas.

4.5.25 Secuencia del proceso para uso del módulo didáctico

Una vez que se han configura Arduino y Labview respectivamente en el computador se procede con el funcionamiento del módulo:

1. Se energiza el computador y el módulo didáctico.
2. Revisar el diagrama de conexión del módulo didáctico.
3. Se verifica que todos sus dispositivos estén funcionando y parametrizados correctamente.

4. Revisar las opciones de conexión que ofrece el motor en la placa de características.
5. Se realiza las respectivas conexiones eléctricas en el módulo didáctico como en el motor.
6. Se presiona el pulsador de color verde para encender el módulo didáctico.
7. Se abre el VI creado en Labview el cual muestra la interfaz de control.
8. Para realizar la identificación del sistema se corre el programa y se da un setpoint para obtener la respuesta deseada de la planta.

CAPÍTULO V

5. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

Practica 1:

Una vez conseguido la función de transferencia correspondiente al sistema, se procede una demostración entre los resultados analíticos y experimentales para un conjunto de datos correspondientes con el resultado al escalón del sistema.

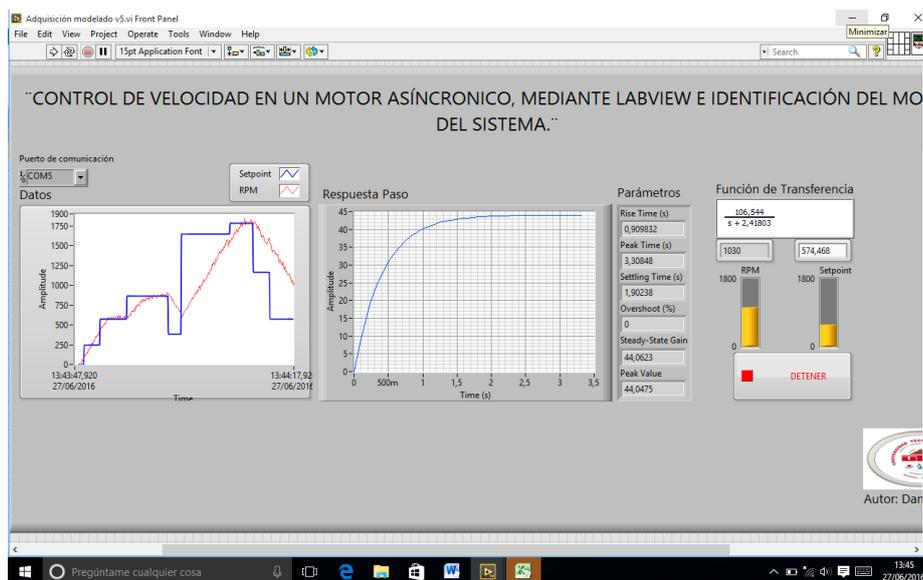


Figura 60 Adquisición e identificación del sistema

Cuando ya se identificó el sistema se obtiene la función de transferencia lo que procede a realizar un control PID. Para esto es necesario ingresar los parámetros de la función de transferencia en la herramienta virtual de trabajo Matlab, con la finalidad de controlar el motor asíncrono.

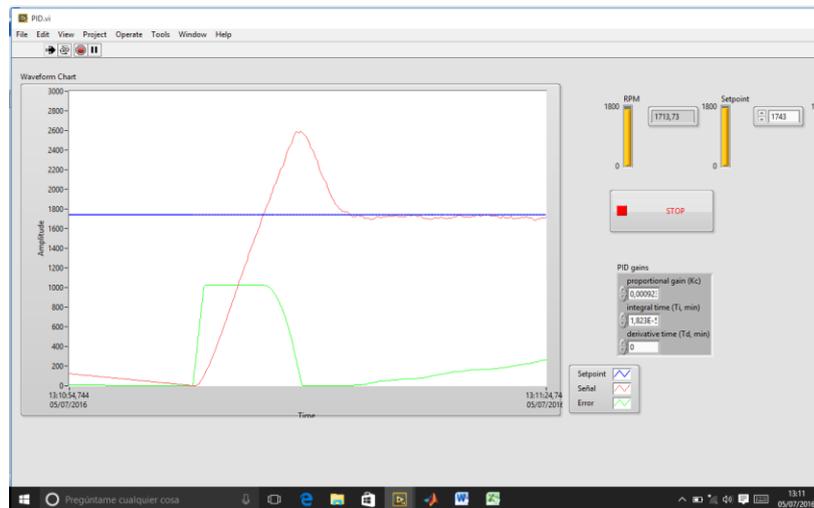


Figura 63 Control PID en Labview

Practica 2:

Ingresamos uno o varios setpoin en el programa de control.

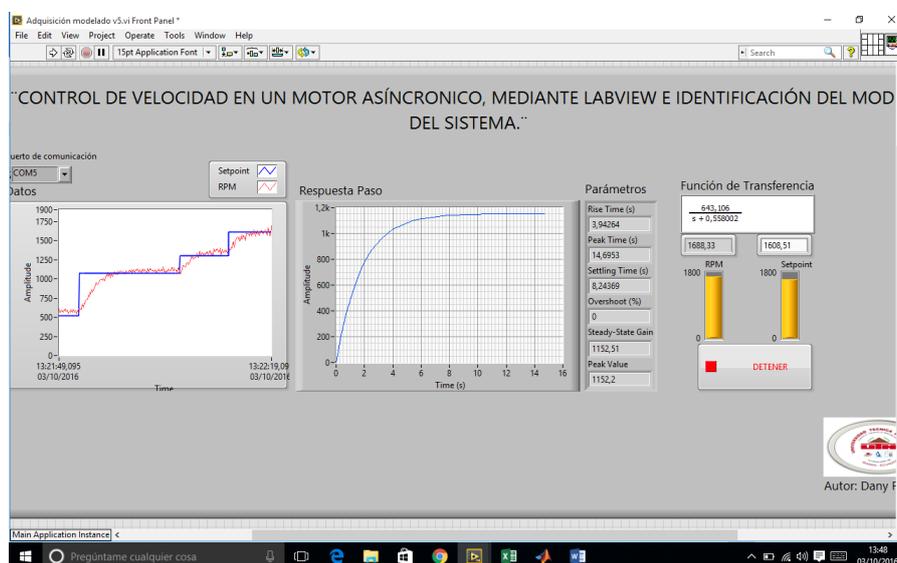


Figura 64 Señal paso de color azul y la respuesta rpm de color rojo

Tenemos la señal paso de color azul y la respuesta rpm de color rojo.

Obtenemos nuestros parámetros y la función de transferencia.

En Matlab en la parte de workspace ingresamos nuestros parámetros de Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Tiempo	Setpoint	RPM												
2	15943118	0	0												
3	15943213	0	0												
4	15943310	0	0												
5	15943413	0	0												
6	15943511	0	13												
7	15943609	0	73												
8	15943712	0	43												
9	15943810	0	63												
10	15943913	249	87												
11	15944010	249	120												
12	15944114	249	120												
13	15944212	249	127												
14	15944310	249	157												
15	15944413	249	147												
16	15944511	249	183												
17	15944613	249	203												
18	15944711	249	217												
19	15944813	249	208												
20	15944913	249	255												
21	15945011	249	275												
22	15945113	249	257												
23	15945211	249	290												
24	15945313	249	295												

Figura 65 Datos obtenidos en Excel

En la parte de Matlab ingresamos nuestra función de transferencia

$$f = tf(648.173, [1 \ 0.576239])$$

Ingresamos a PID Tuning donde se transfiere los datos y podremos visualizar la misma gráfica y parámetros que en Labview para un posterior control PID.

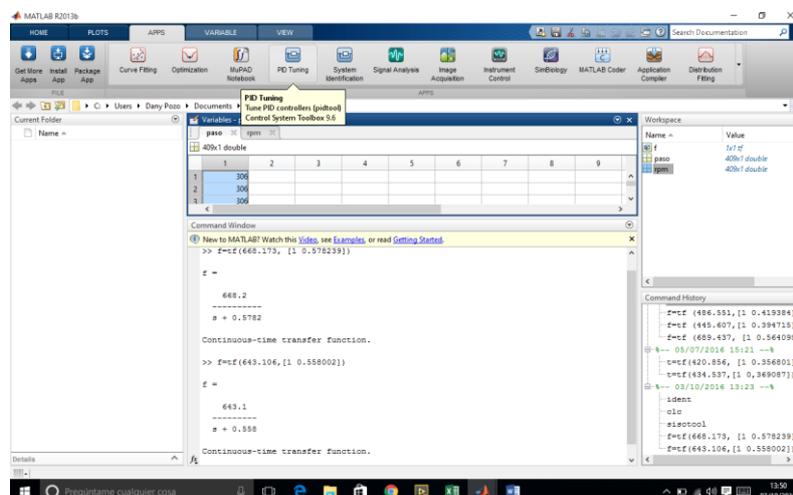


Figura 66 Datos de Labview procesados en Matlab.

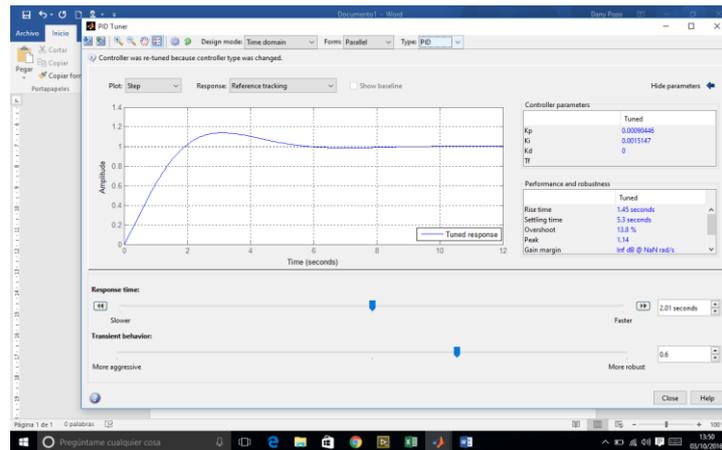


Figura 67 Obtención de señal y variables para PID

Los datos obtenidos en Matlab son transferidos a el programa PID en Labview quien permite el mismo comportamiento y funcionamiento al motor.

Matlab:

Controller parameters	
	Tuned
Kp	0.00090446
Ki	0.0015147
Kd	0
Tf	

Figura 68 Constantes para PID

Labview:

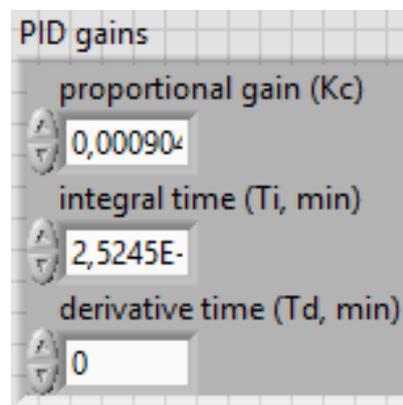


Figura 69 Constantes de PID ingresadas en Labview

Resultado Obtenido.

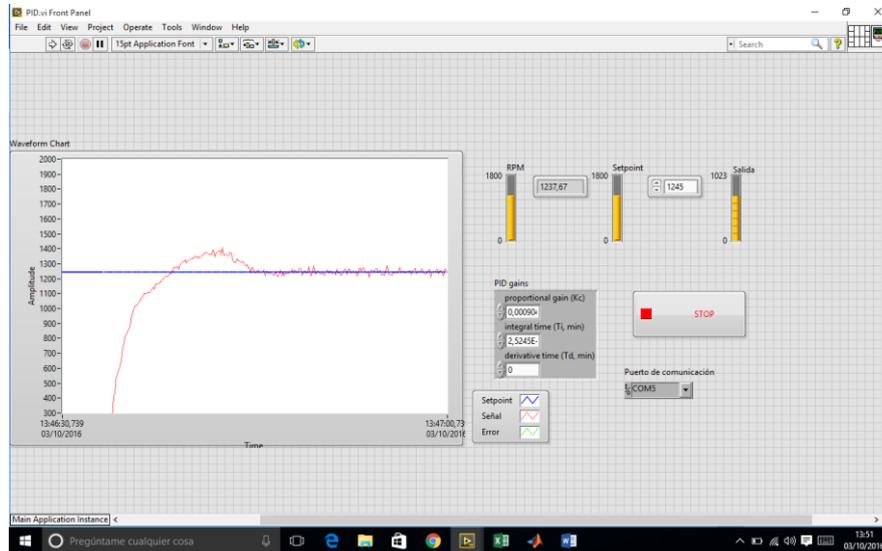


Figura 70 Comportamiento PID en el motor

5.1 Manual de programación para el módulo didáctico de variación de velocidad en un motor asíncrono, mediante Labview e identificación del modelo del sistema.

Para la correcta utilización del siguiente módulo didáctico para la variación de velocidad en un motor asíncrono o de inducción, con Labview e identificación del sistema. Es necesario tomar las debidas precauciones y normas de seguridad con el objeto de no causar daño a las personas ni al equipo.

Las instrucciones de uso permiten al operador alcanzar un nivel de operación y entrenamiento que será capaz de entender fácilmente el proceso intelectual que proporciona el módulo.

5.2 Principales pasos a seguir para el funcionamiento del módulo:

1. Realizar la conexión básica de control y fuerza de un motor en el módulo didáctico.
2. Conectar el modulo a una red trifásica a 220V.
3. Realizar la conexión delta-delta a 220V en el motor.
4. Encender el módulo.
5. Ingresar los parámetros principales del motor al variador de frecuencia por el panel básico de operación.
6. Encender el Pc y abrir el archivo de programa en Labview.
7. Direccionar correctamente los path o datos de programación p0001.lvm en rpm y paso.lvm en setpoin en el diagrama de bloques Labview flat sequence caso 2 y 3.
8. Verificar el puerto de comunicación.
9. Echar andar el programa permitiendo obtener la función de transferencia.

5.3 Pasos para establecer comunicación Arduino con Labview

Para la implementación de esta tarjeta electrónica de adquisición de datos es necesario realizar ciertos pasos para establecer la comunicación con el ordenador.

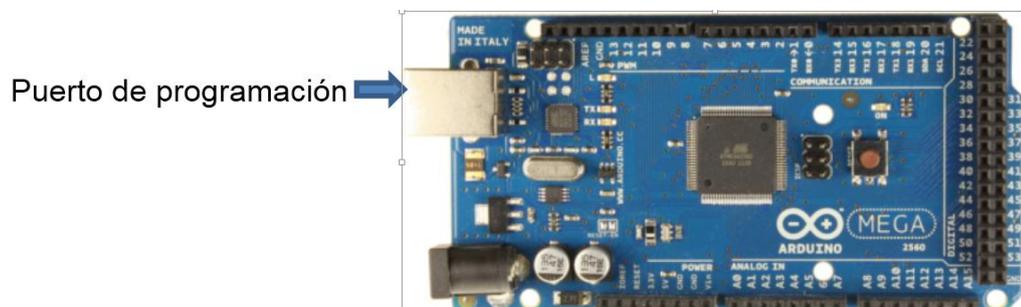


Figura 71 Pasos conexión Arduino-Pc

Previamente, para iniciar con la programación debemos descargar el software de configuración y podemos realizar el enlace con Arduino. Luego procedemos con la conexión de Arduino al computador lo cual, debemos realizar de forma manual para poder visualizar y establecer los puertos de conexión, después se podrá especificar el puerto de enlace de programación.

- a) Vamos a inicio del servidor, escogemos las siguientes opciones, panel de control, sistemas y seguridad, sistemas y también administrador de dispositivos.



Figura 72 Pasos conexión Arduino-Pc

- b) Seleccionamos el controlador y restablecemos el software.

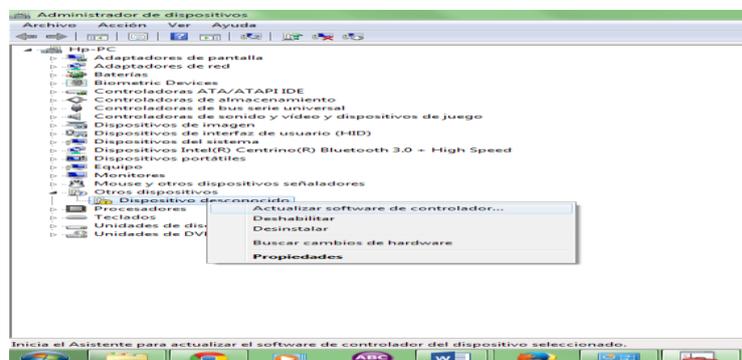


Figura 73 Pasos conexión Arduino-Pc.

- c) Se procede a instalar el controlador desde el lugar determinado donde se encuentran los archivos de instalación.

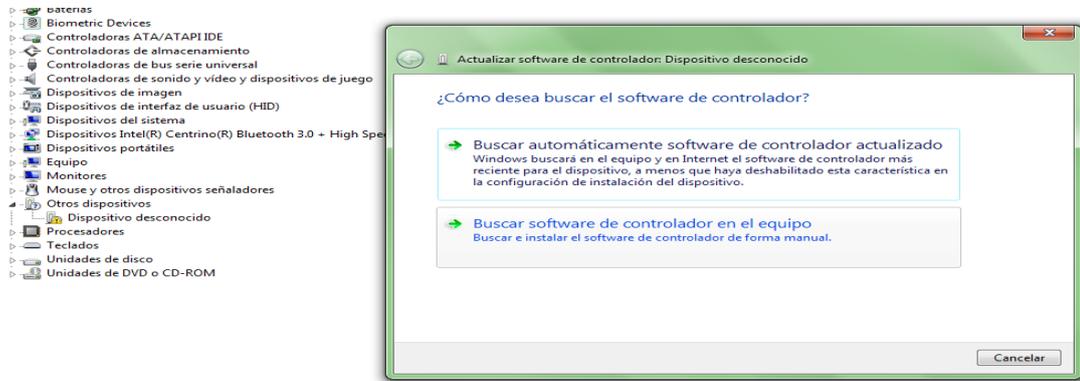


Figura 74 Pasos conexión Arduino-Pc.

- d) Una vez concluida la instalación del controlador, se muestra la información actualizada del Hardware, así como el puerto al que está conectado.

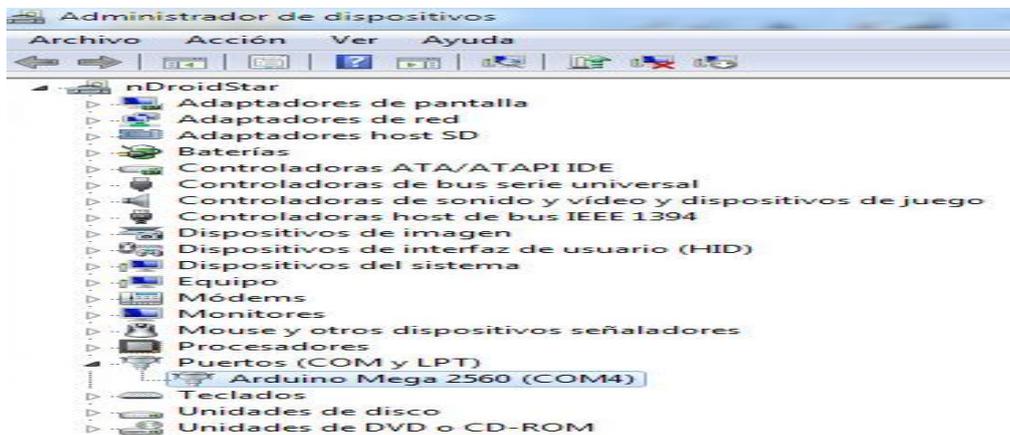


Figura 75 Pasos conexión Arduino-Pc.

e) Mediante el instalador de Arduino podemos realizar la configuración del software.

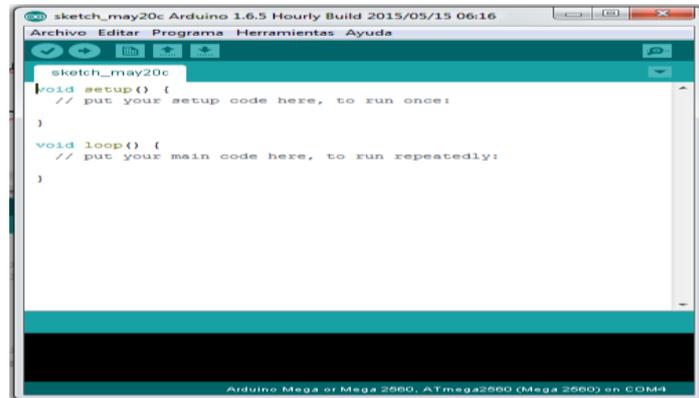


Figura 76 Pasos conexión Arduino-Pc

f) Para verificar el puerto en el cual se encuentra conectado podemos ver en la barra de herramientas.



Figura 77 Pasos conexión Arduino-Pc.

g) Especificar el modelo de la plataforma Arduino en el menú de Herramientas → Placa, el cual corresponde a Arduino mega y el puerto micro-USB mediante el cual se programará Arduino Mega 2560.

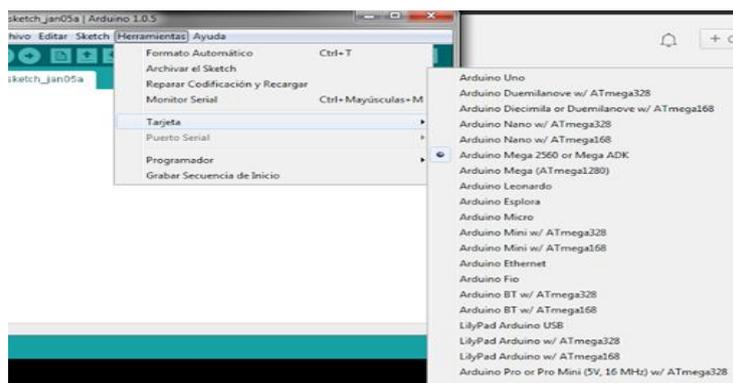


Figura 78 Pasos conexión Arduino-Pc.

Con los pasos anteriores se ha configurado el Hardware y Software de Arduino mega. La configuración es muy similar para algunas otras versiones de Windows, así como en sistemas operativos Mac OS y Linux.

5.4 Programación de Arduino para adquisición de datos

Arduino, (2009) dice que “La estructura básica del lenguaje de programación de Arduino se compone de al menos dos partes principales, pero si se requiere de más funciones de configuración se puede acceder de acuerdo al usuario.” (p.1)

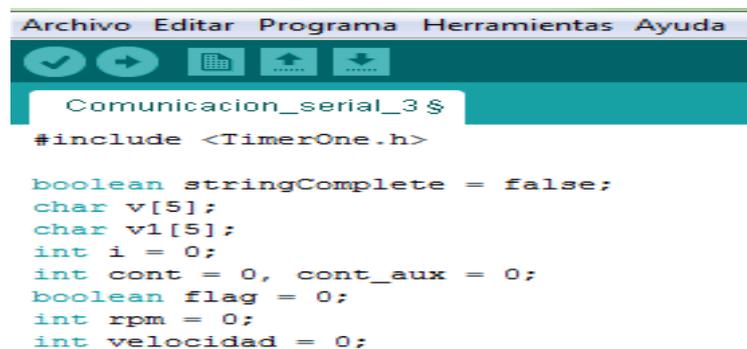
Para esta configuración se declara los siguientes pasos:

- Como primer paso revisamos las librerías incluidas en este caso Timer One. Como función permite obtener tiempos, es una interrupción de tiempos para realizar una acción en dicho estado.



Figura 79 TimerOne en Arduino.

- Realizamos una declaración de variables globales. Estas variables sirven para guardar datos, contadores auxiliares para datos anteriores que sirven para hacer comparaciones, corchetes, que sirven para adquirir datos del puerto serial configurado en cinco posiciones, etc. Es importante empezar en reset o cero la configuración debido a que es la primera parte que se corre en el programa.



```

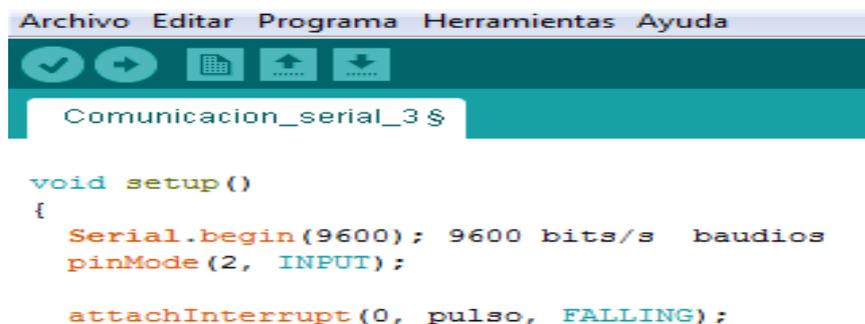
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
Comunicacion_serial_3 $
#include <TimerOne.h>

boolean stringComplete = false;
char v[5];
char v1[5];
int i = 0;
int cont = 0, cont_aux = 0;
boolean flag = 0;
int rpm = 0;
int velocidad = 0;

```

Figura 80 Declaración de variables globales en Arduino.

- Void Setup, es la parte encargada de recoger la configuración del programa, es la primera función a ejecutar en el programa, se ejecuta solo una vez y se utiliza para configurar o inicializar pin Mode (modo de trabajo de las E/S), configuración de la comunicación en serie y otras.



```

Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
Comunicacion_serial_3 $

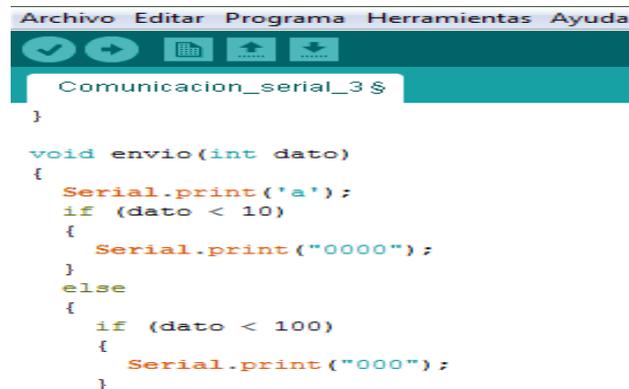
void setup()
{
  Serial.begin(9600); 9600 bits/s baudios
  pinMode(2, INPUT);

  attachInterrupt(0, pulso, FALLING);
}

```

Figura 81 VoidSetup en Arduino.

- Void envió, es una codificación que decide que dato se envía de arduino al computador.



```

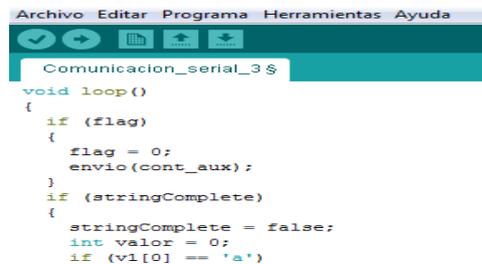
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
Comunicacion_serial_3 $
}

void envio(int dato)
{
  Serial.print('a');
  if (dato < 10)
  {
    Serial.print("0000");
  }
  else
  {
    if (dato < 100)
    {
      Serial.print("000");
    }
  }
}

```

Figura 82 Voidenvió en Arduino.

- Void Loop, contiene el código que se ejecutará continuamente, cíclicamente (lectura de entrada, activación de salidas, etc.). Esta función es el núcleo de todos los programas de Arduino y la que realiza la mayor parte del trabajo.



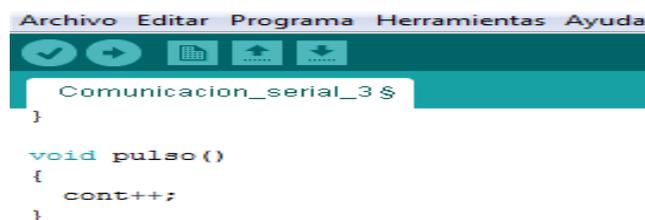
```

Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
Comunicacion_serial_3 $
void loop()
{
  if (flag)
  {
    flag = 0;
    envio(cont_aux);
  }
  if (stringComplete)
  {
    stringComplete = false;
    int valor = 0;
    if (v1[0] == 'a')

```

Figura 83 VoidLoop en Arduino.

- Void pulso, se encarga en contar los pulsos que entrega el encoder en determinado tiempo.



```

Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
Comunicacion_serial_3 $
}

void pulso()
{
  cont++;
}

```

Figura 84 Void pulso en Arduino.

- Void tiempo, se encarga en resetear el contador.

```
void tiempo()
{
  flag = 1;
  cont_aux = cont;
  cont = 0;
}
```

Figura 85 Void tiempo en Arduino.

- Void serial Event, está configurado para enviar datos de Labview a Arduino por el puerto serial cada vez que detecta una acción o evento.

```
void serialEvent()
{
  while (Serial.available())
  {
    v[i] = (char)Serial.read();
    i++;
    if (i == 5)
```

Figura 86 Void serial Event en Arduino.

Una vez concluida la configuración interna de Arduino se podrá realizar una adquisición de datos de una manera óptima, para realizar una identificación del modelo del sistema mediante Labview.

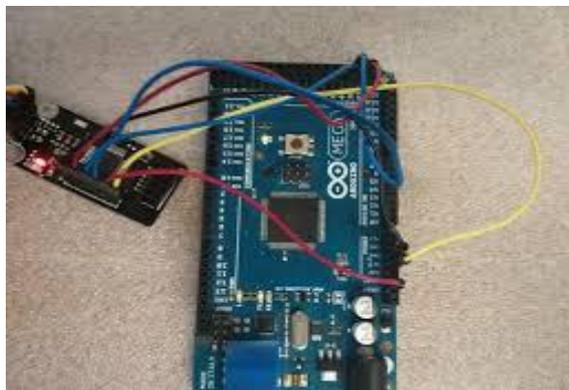


Figura 87 Funcionamiento de Arduino con el modulo infrarrojo.

5.5 Programación de interfaz en Labview

La programación en Labview tiene como principal objetivo, la visualización y monitoreo de la velocidad e identificación del modelo del sistema. Donde se podrá obtener e ingresar parámetros de datos para realizar la modelación del sistema en el motor.

Como principal primer paso debemos tener descargado e instalado en nuestro ordenador Labview 2014 versión estudiantes, se recomienda Labview desde el 2009 para no tener problemas con la compatibilidad con Arduino Mega 2560. De la misma forma debemos instalar todos los toolkits que se necesitan en la programación, como son principalmente los de Arduino y de modelación del sistema.

Una vez cumplido con ciertos requisitos indispensables se empieza realizando el diseño del programa de identificación y modelación en Labview. Donde nos encontramos con diferentes casos y bloques que procesan el funcionamiento del mencionado programa.

Para empezar, tenemos el primer ciclo que se denomina Flat Sequence. Esta encierra y permite la ejecución ordenada de todo el programa, el Flat Sequence se compone de cuatro casos principales como son, caso cero, caso uno, caso dos y caso tres.

- El caso cero encierra el programa de reseteo donde permite poner todas las variables en cero con la finalidad de no encontrar problemas al activar su funcionamiento.



Figura 88 Caso cero de programación en Labview.

- El caso uno es un ciclo importante en esta programación porque encierra el programa principal, el cual se encuentra dentro dos estructuras de configuración denominadas WhileLoop y Event Structure.

While Loop, es un ciclo infinito que ayuda a la ejecución del programa de modo infinito y está configurado con un botón stop con la finalidad de detener el programa si tendríamos un error.

Event Structure, es un ciclo importante de eventos que se encuentra configurado por tres eventos en nuestro caso. TimeOut, SetPoint y Stop.

TimeOut, es el tiempo para el cual podemos decirle cada que tiempo queremos que suceda algo, en nuestro caso cada un milisegundo verifica si no hay datos o errores para que no afecte al sistema. Dentro de TimeOut tenemos otra estructura denominada Case Estructure.

Case Estructure, es un ciclo que ayuda a determinar valores numéricos, booleanos, de cadena dependiendo de que tenemos en el código. En nuestro caso necesitamos dos estados que son

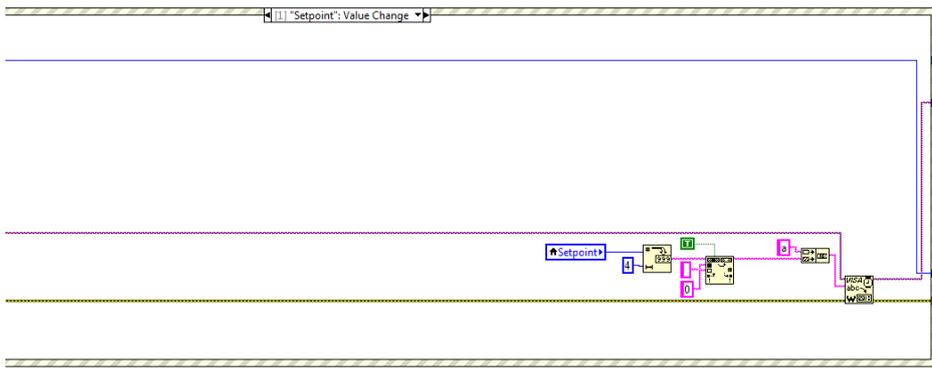


Figura 90 SetPoint o envío de datos en Labview.

Stop, es el que determina cuando se detiene el programa.

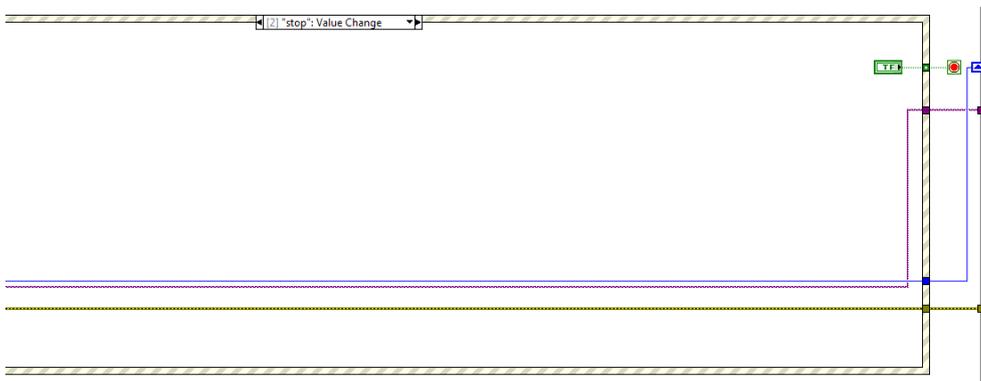


Figura 91 Configuración de botón virtual Stop en Labview.

- a) El caso dos está configurando para el guardado de datos en un destino cualquiera como puede ser Excel en este caso, los que a su vez se clasifican en archivos LVM diferentes.

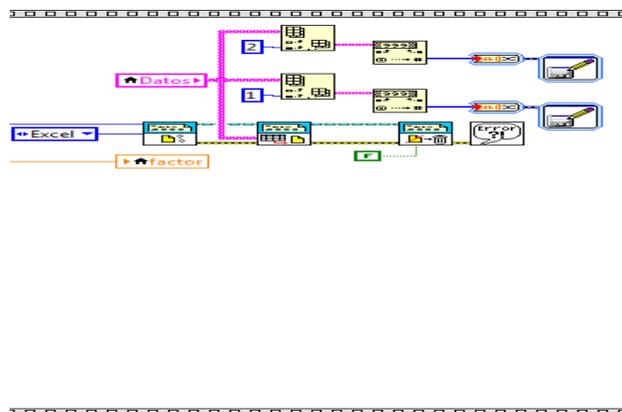


Figura 92 Caso dos de programación en Labview.

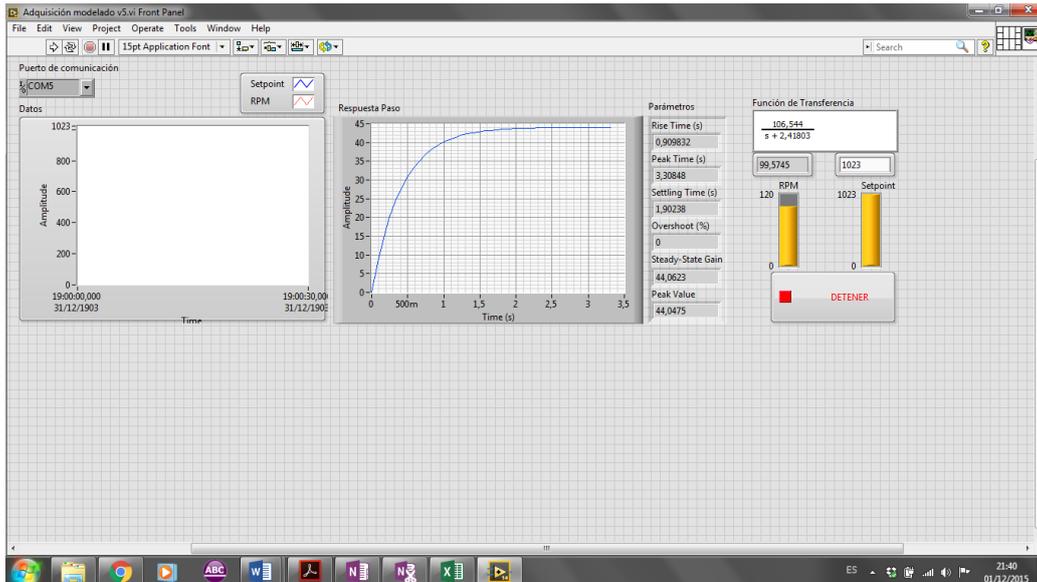


Figura 94 Generación de datos.

5.6.2 Captura de datos

En esta fase se realiza la recepción de los datos de salida en respuesta del sistema para proceder a almacenar.

Todas las señales receptadas por el sensor son enviadas a la tarjeta Arduino Mega donde se procede a enviar a un PC, por medio de una interfaz establecida que sea capaz de guardar toda la información que sea posible para un posterior análisis.

Para esto utilizamos labview con los toolkits de arduino referidos a la adquisición y recepción de datos creando un blog de notas en Excel.

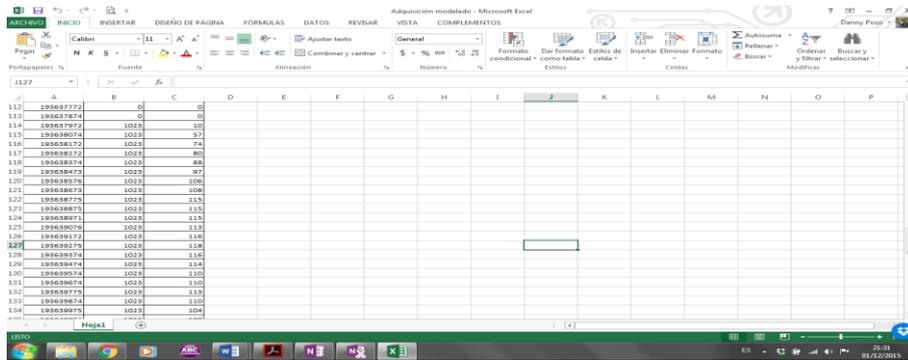


Figura 95 Captura de datos

5.7 Identificación del modelo matemático

Para esta fase es necesario implementar análisis estadístico entre la relación de los vectores entrada y salida conseguidos para el sistema en los procesos anteriores. Este proceso se realiza en la línea identificando y mejorando el modelo del sistema, haciendo uso del programa diseñado en Labview.

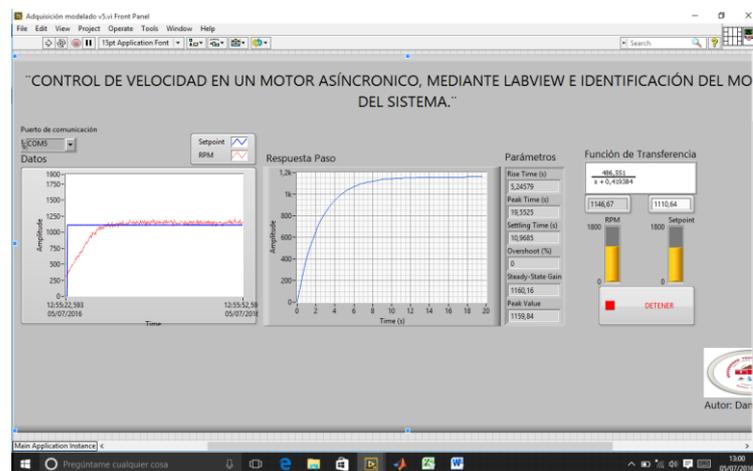


Figura 96 Identificación del modelo matemático

5.8 Recursos humanos

Investigador: Dany Pozo

Tutor: Ing. Pablo Méndez.

Experto en la materia: Ing. Mauricio Vásquez.

5.9 Conclusiones y Recomendaciones

5.9.1 Conclusiones

- La investigación de información que se adjunta en este documento ayuda a detallar los equipos que se ocupan para la construcción del módulo didáctico.
- Para la correcta variación de velocidad del motor asíncrono, se emplea un variador de frecuencia que incorpora la técnica de control tensión – frecuencia v/f de línea.
- Se decide aplicar Arduino y Labview al proyecto, porque presenta una amplia aplicación, es fácil de adquirir y se acopla a diferentes lenguajes de programación.
- La validación del sistema fue posible gracias a la incorporación adicional de Matlab, un programa que sirvió de apoyo para el ingreso de datos adquiridos del sistema permitiendo realizar un control PID.
- La construcción del proyecto demuestra que la automatización implementada en este módulo a escala industrial ayuda a reducir costos por energía, reducir tiempos y dinero de manera viable.
- Se conoció y practico como variar la velocidad de un motor asíncrono o de inducción mediante un equipo llamado variador de frecuencia que también se entendió el proceso de parametrización.
- La investigación y la práctica permitieron entender el funcionamiento del tema, para posteriormente desarrollar un programa que establezca comunicación entre, una tarjeta de

adquisición de datos Arduino y un controlador Labview para obtener como resultado una función de transferencia.

5.9.2 Recomendaciones

- Para el uso adecuado del módulo, es recomendable capacitarse acerca del funcionamiento también, obtener e instalar todos los programas necesarios adjuntos a este trabajo de grado.
- Para empezar con el funcionamiento adecuado del módulo didáctico, es necesario realizar bien las conexiones de acuerdo al diagrama eléctrico, con la finalidad de evitar accidentes y corto circuito en los equipos.
- Este sistema es óptimo en eficiencia de tiempo, dinero y principalmente energía, con el control de velocidad en motores para industrias, pero no es rentable en medianas empresas debido, al costo beneficio que implica obtener un variador de frecuencia y el software de monitoreo.
- Para una buena ejecución de los programas relacionados a este apartado es necesario tener los conocimientos básicos y revisión del proceso a identificar para realizar un completo control de la planta en cuestión.

5.10 Referencias Bibliográficas

- A., B. (25 de Febrero de 2011). Control Directo de Par de un Motor de Inducción Trifásico con Aplicación a Vehículos Eléctricos. *Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica*, 23-24. Cuernavaca, México: CENIDET.
- Alfaro, V. M. (2006). *Identificación de modelos de orden reducido a partir*. Costa Rica.
- AliExpress. (15 de 03 de 2016). *Welcome to Chipworld*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de <http://es.aliexpress.com/item/Free-Shipping1-kit-Speed-Sensor-Slot-type-Optocoupler-Module-2pcs-Code-Disc-for-Smart-Car/32303402014.html>
- Álzate, A., Murillo Yarce, D., & González Valencia, M. (2011). *Control de velocidad mediante relación voltajefrecuencia*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Amangandi, J. (2012). Arduino. *Definición de Arduino*, (pág. 1).
- Andres Cuenca. (2005). Encoders Informacion Técnica. *Información técnica*, (pág. 1).
- Angel Orlando, C. G. (2011). *Diseño y construccion de un modulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincronos jaula de ardilla trifasico*. Riobamba-Ecuador: ESPOCH.
- Castilla, U. d. (03 de 04 de 2000). *edii.uclm*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de <http://edii.uclm.es/~mhidalgo/temas/tema4/Tema4.pdf>
- Cruz, J. B. (19 de noviembre de 2013). *Adquisición de datos*. (K. Perez, Editor) Recuperado el 04 de junio de 2015, de Prezi: <https://prezi.com/hykcddmt2pqcv/adquisicion-de-datos/>
- Domotica con arduino. (5 de 1 de 2015). *mikroe.es*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de <http://mikroe.es/tag/arduino-uno/>

- Estudio.com, E. (03 de 04 de 2011). *La línea mas completa de sensores*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de Ingeniería de electrónica y proyectos:
<http://www.electronicaestudio.com/sensores.htm>
- Gaviño, R. H. (2010). *Introducción a los sistemas de control* (Vol. Primera edición). (L. M. Castillo, Ed.) México, México: Pearson Educación.
- Gonzales, F. M. (2004). *Modulación de ancho de pulso*. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada Nacional .
- inducción, M. d. (07 de 07 de 1999). *Catarina.udladp*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/salvatori_a_m/capitulo1.pdf
- Jorge., A. (2012). *Rediseño de un proceso electrónico*. Guayaquil-Ecuador: ESPOL.
- Jose M. Mansilla. (2011). *Variadores de velocidad y arrancadores electrónicos*.
- Kunusch, C. (2003). *Identificación de sistemas dinámicos*. La Plata : 1.
- López, E. G. (2001). Identificación de Sistemas. *Electrónica*, 5-6.
- Mora, J. F. (2003). *Maquinas Eléctricas*. España: McGRAW HILL/INTERAMERICANA.
- Mosquera Morales, F., & Cardona Hernández, C. A. (2015). *AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE MANIPULACIÓN TIPO PICK AND*. PEREIRA.
- Navas, I. C. (2008). Curso de control de motores industriales. En I. M. Navas, *Sistema de control de motores eléctricos industriales* (pág. 13). Veracruz: EMIdit.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5 ed.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Organización de Servicio - SEAT, S.A. (1996). *Conceptos Basicos de Electricidad*.
 Barcelona: 1.
- Ospina, J. J. (07 de febrero de 2013). *Clases de corriente*. Recuperado el 03 de junio de 2015, de <https://eudotec.wordpress.com/acerca-de/>

Rossi-group. (1 de 10 de 2013). *Motores asíncronos trifásicos de alto rendimiento*.

Recuperado el 06 de 07 de 2016, de http://www.rossi-group.com/index.php/services/downloads/archive/doc_view/245-motores-asincronos-trifasicos-de-alto-rendimiento-catalogo-td-edicion-octubre-2013

S.A., A. B. (2009). El Motor Asíncrono Trifásico. En A. Brown, *El Motor Asíncrono Trifásico*. Barcelona: Torrent de I.Olla 220.

SIEMENS. (01 de 01 de 2013). *Lista de precios Ecuador* . Recuperado el 05 de 07 de 2016, de Lista de precios Ecuador :

<https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/Lista%20de%20Precios%20Final%20Siemens%20Industry%20Ecuador.pdf>

Siemens, C. (01 de 05 de 2015). *Industria Siemens*. Recuperado el 01 de 07 de 2016, de https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf

Siemens, I. (17 de 08 de 2015). *Inmaelectro*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de http://www.inmaelectro.com/productos/36/siemens/17/interruptores/273/interruptores_termomagneticos/

Vandelvira, I. d. (2011). Motores de corriente alterna. *Sistemas Automáticos de Producción Alimentaria*.

López, H. (2008). Identificación de Sistemas. Aplicación al modelado de un motor de continua, 64.

5.10.1 Linkografías

Rossi-group. (1 de 10 de 2013). *Motores asíncronos trifásicos de alto rendimiento*.

Recuperado el 06 de 07 de 2016, de <http://www.rossi->

group.com/index.php/services/downloads/archive/doc_view/245-motores-asincronos-trifasicos-de-alto-rendimiento-catalogo-td-edicion-octubre-2013

SIEMENS. (01 de 01 de 2013). *Lista de precios Ecuador* . Recuperado el 05 de 07 de 2016, de Lista de precios Ecuador :

<https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/Lista%20de%20Pecios%20Final%20Siemens%20Industry%20Ecuador.pdf>

Siemens, C. (01 de 05 de 2015). *Industria Siemens*. Recuperado el 01 de 07 de 2016, de

https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf

Siemens, I. (17 de 08 de 2015). *Inmaelectro*. Recuperado el 06 de 07 de 2016, de

http://www.inmaelectro.com/productos/36/siemens/17/interruptores/273/interruptores_termomagnetico

ANEXOS

Anexo 1 Diagrama de control y fuerza

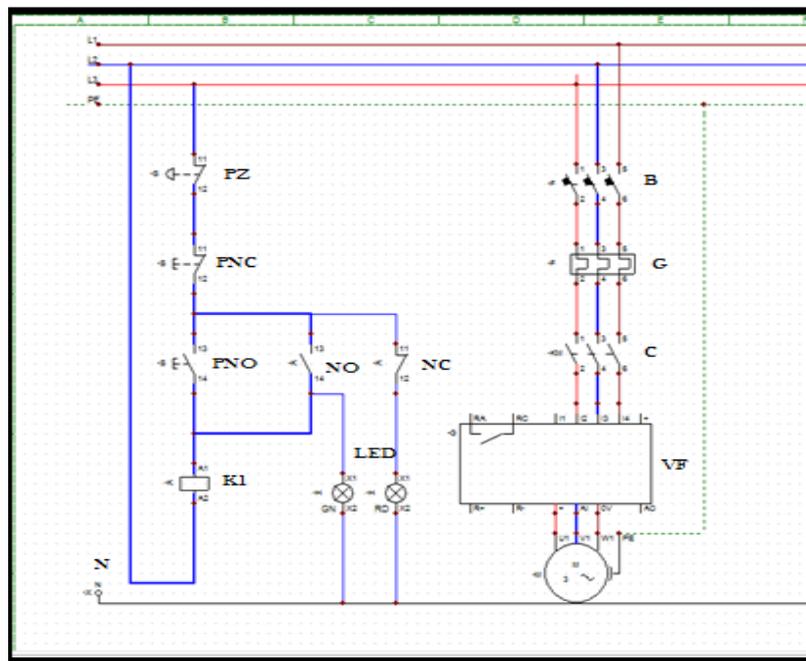


Figura 97 Diagrama eléctrico

Tabla 18

Simbología del diagrama eléctrico

SIMBOLOGÍA

L1 = FUENTE1	NO = Auxiliar normalmente abierto
L2 = FUENTE2	NC = Auxiliar normalmente cerrado
L3 = FUENTE3	LED GN = Luz piloto verde
PE = PUESTA TIERRA	LED RD = Luz piloto rojo
B = INTERRUPTOR	PZ = Pulsador de emergencia
G = GUARDAMOTOR	PNC = Pulsador de parada
C= CONTACTOR	PNO = Pulsador de encendido
VF = VARIADOR DE FRECUENCIA	K1 = Bobina del contactor
M3~ = MOTOR TRIFASICO AC	I/O = Entradas y salidas analógicas
N = NEUTRO	I/O = Entradas y salidas digitales

Anexo 2 Diagrama de conexión en el módulo didáctico

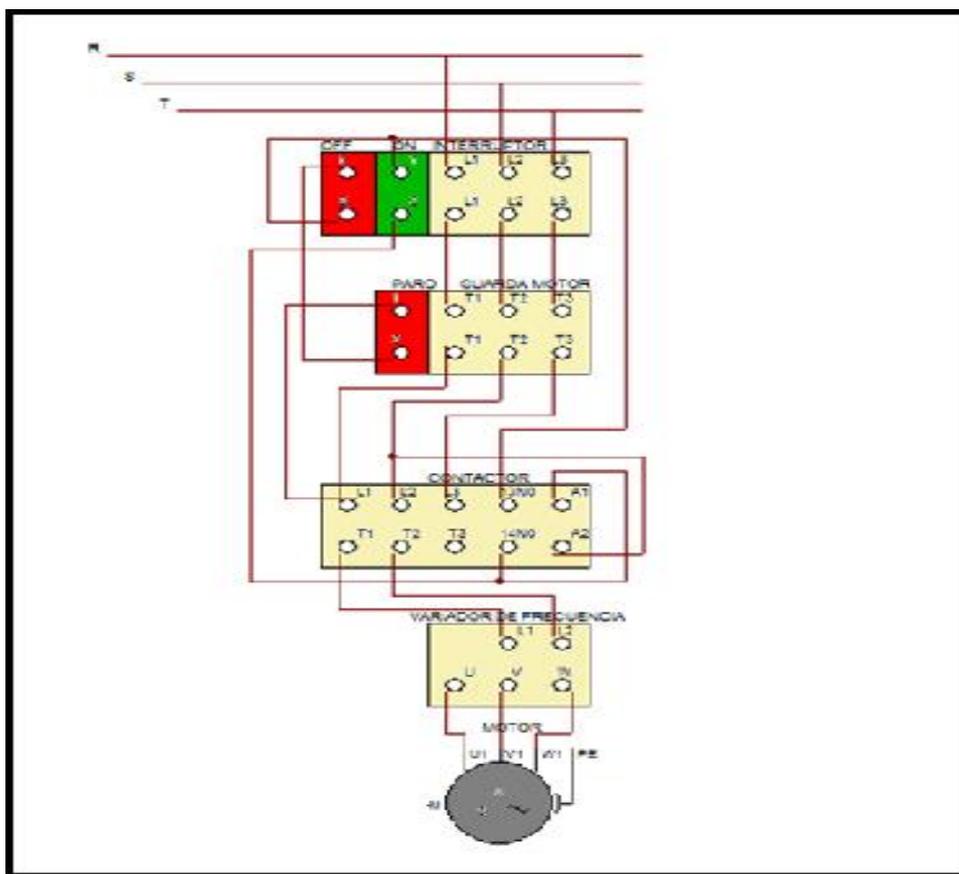


Figura 98 Diagrama de conexión en el módulo didáctico

Tabla 19

Simbología de conexión en el módulo didáctico

SIMBOLOGÍA	
L1 = ENTRADA LINEA 1	R = Fuente
L2 = ENTRADA LINEA 2	S = Fuente
L3 = ENTRADA LINEA 3	T= Fuente
T1 = SALIDA LINEA1	ON = Encendido
T2 = SALIDA LINEA2	OFF = Apagado
T3 = SALIDA LINEA3	PZ = Pulsador de emergencia
U = ALIMENTACIÓN 1 MOTOR	
V = ALIMENTACIÓN 2 MOTOR	
W = ALIMENTACIÓN 3 MOTOR	

Anexo 3 Diagrama de bloques de variador SINAMIC G110

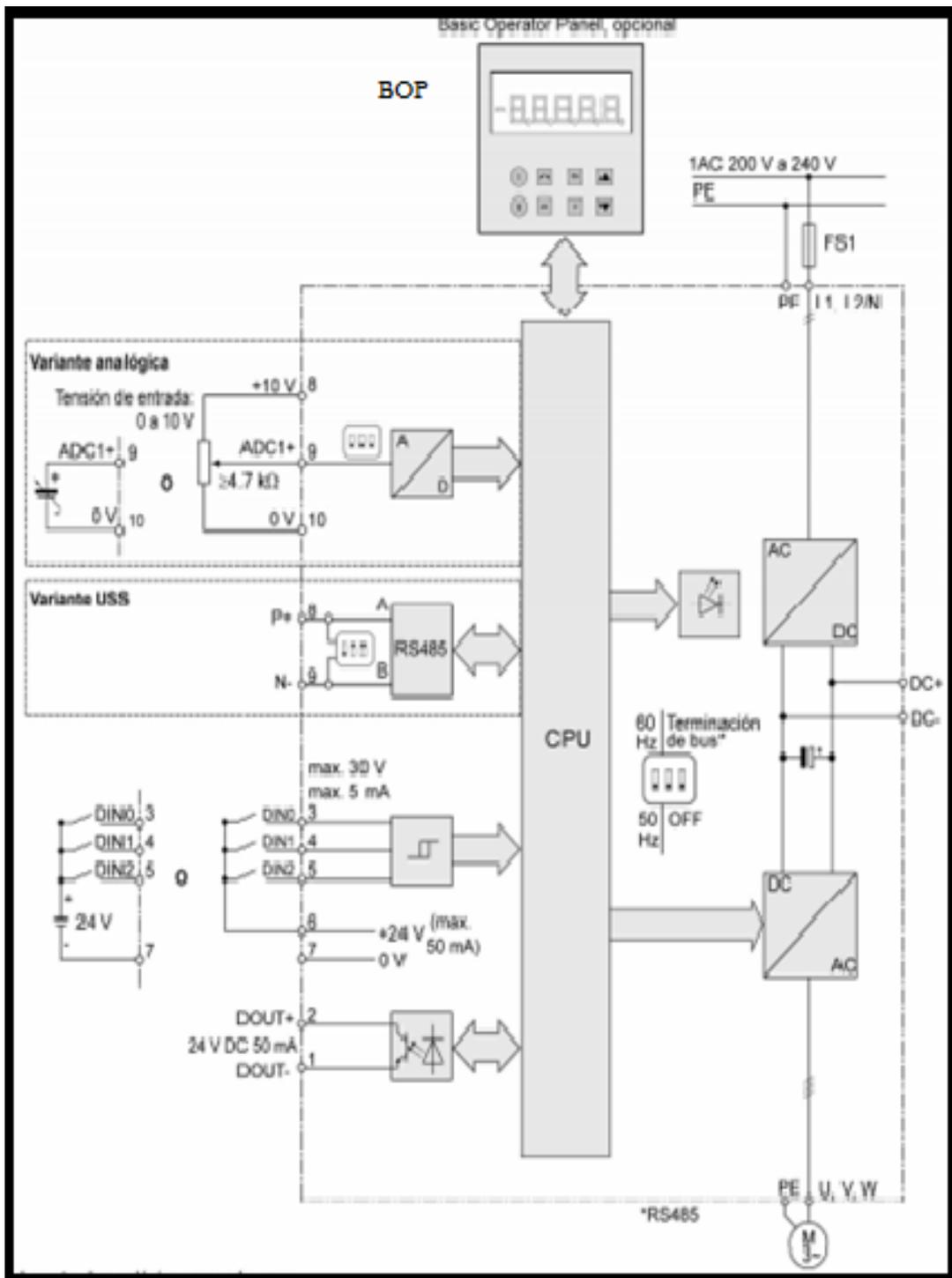


Figura 99 Diagrama de bloques de variador Sinamic G110

Tabla 20*Simbología del variador de frecuencia*

SIMBOLOGÍA	
BOP = Pantalla de operación básica	AC/DC = Transformación de corriente alterna a continua
PE = Puesta a tierra	DC/AC = Transformación de corriente continua a alterna
V = Voltaje	A/D = Transformación de analógico a digital
Hz = Frecuencia	I/O = Entrada/salida
CPU = Modulo de potencia controlado	ADC = Entrada analógica
RS485 = Interface en serie universal	DIN = Entrada digital
RS232 = Interface en serie universal	DOUT = Salida digital
	DIP = Interruptor DIP

Anexo 4 Diagrama del amplificador de voltaje

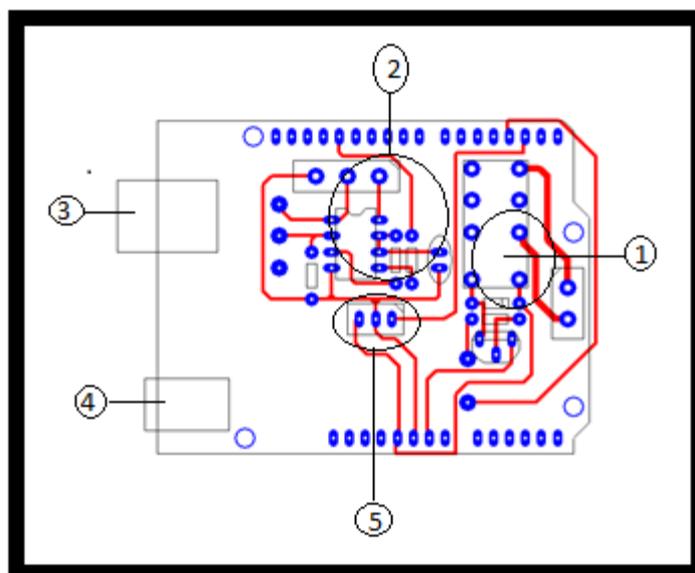


Figura 100 Diagrama del amplificador de voltaje

Tabla 21

Descripción del amplificador de voltaje

Elementos del amplificador	
1	Relé de 5v DC
2	Amplificador no inversor
3	Fuente de alimentación
4	USB
5	Sensor encoder

Anexo 5 Respaldo fotográfico

- **Ensamblado del módulo**

Para el correcto funcionamiento del módulo didáctico se realizaron cálculos, mediciones y diagramas, los que brindaron facilidad para realizar el presente proyecto.

Se utilizó equipos de gama alta como siemens, con el motivo de brindar eficiencia y larga vida al módulo de entrenamiento para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

- **Ensamblado del módulo de entrenamiento eléctrico**

1. Para la fabricación del módulo se perforo la caja metálica en la parte frontal con el motivo de diseñar los bornes de conexión respectivamente para cada elemento.



Figura 101 Perforación del gabinete metálico

2. Se procede a ubicar los dispositivos eléctricos dentro de la caja metálica tomando en consideración la perforada de las entradas y salidas de conexión realizadas en la parte frontal de la caja.



Figura 102 Ubicación de elementos en el gabinete metálico

3. Se monta los equipos variador de frecuencia, contactor, guarda motor, interruptor, pulsadores y 32 plus banana tipo hembra en la caja metálica eléctrica.

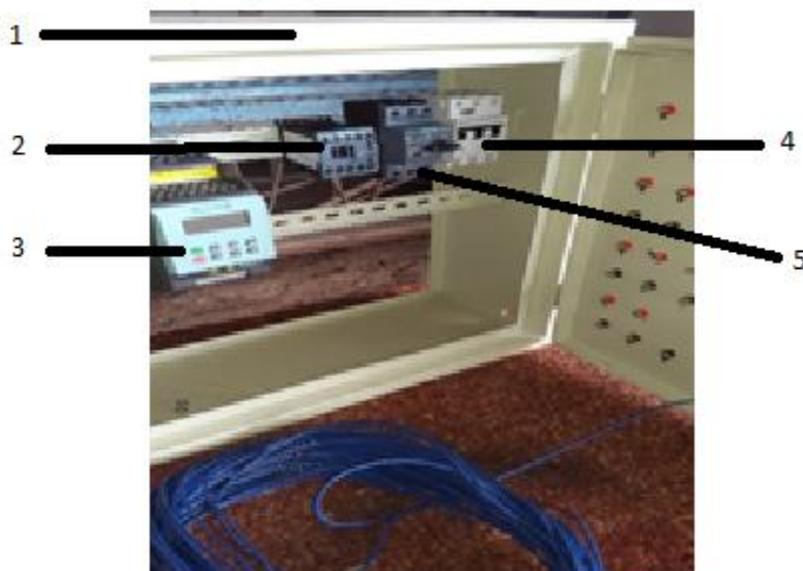


Figura 103 Elementos que forman parte de potencia y control

Descripción de elementos en el Tablero eléctrico:

Tabla 22

Descripción de elementos en el Tablero eléctrico

Elementos del tablero didáctico
1.- Tablero metálico
2.- Contactor siemens
3.- Variador de frecuencia siemens
4.- Breaker
5.- Guarda motor siemens

- **Conexión eléctrica**

4. Cuando ya se han fijado los elementos a la caja eléctrica de manera segura se procede a realizar la conexión entre los dispositivos.



Figura 104 Conexión eléctrica respectiva de dispositivos

5. Para verificar si el tipo de conexión implementado se encuentra correcto se procede a verificar toda la instalación para asegurarse de no ocasionar un cortocircuito que puede dañar a las personas u equipos.



Figura 105 Alimentación a la fuente de alimentación trifásica a 220V

6. Para la alimentación principal se necesita una fuente de alimentación trifásico y también es necesario diseñar los cables frontales del módulo para realizar la conexión de acuerdo al diagrama.

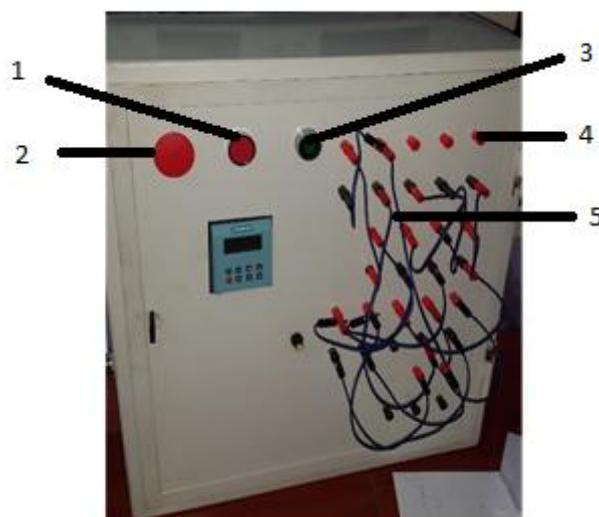


Figura 106 Diseño y construcción de diagrama eléctrico de entrenamiento

Descripción de elementos de tablero didáctico:

Tabla 23

Descripción de elementos de tablero didáctico

Elementos del tablero didáctico
1.- Pulsador de emergencia tipo z
2.- Paro (off)
3.- Encender (on)
4.- Plus banana tipo hembra
5.- Plus banana tipo macho con cable

7. Para la etapa de adquisición de datos es importante acoplar el eje del motor con un eje tipo hembra, con una chumacera unida al tablero metálico e internamente roscado para acoplar el encoder, complementado con un módulo lector de sensor infrarrojo el que se encuentra conectado a la tarjeta de adquisición de datos Arduino, que a su vez se une con un amplificador de voltaje para establecer control con el variador de frecuencia. Se realizan pruebas de compatibilidad para no encontrar problemas en un posterior avance.

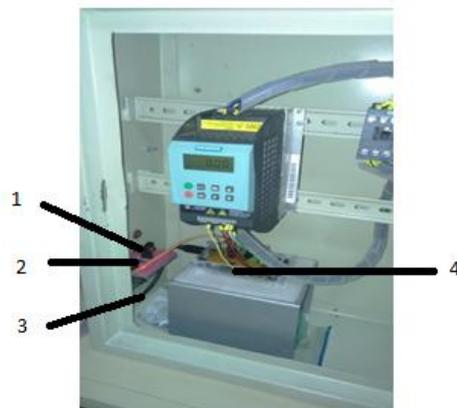


Figura 107 Diseño de la etapa de adquisición de datos

Descripción de elementos para adquisición de datos:

Tabla 24

Descripción de elementos para adquisición de datos

Elementos de adquisición de datos
1.- Encoder
2.- Lector de encoder
3.- Cable de conexión USB2.0
4.- Arduino

8. Se implementa una mesa de soporte con el propósito de montar el módulo didáctico y el pc.



Figura 108 Construcción de mesa para el computador

9. Se diseña la presentación gráfica frontal con su respectiva simbología de conexión.



Figura 109 Diseño e implementación de graficas con símbolos

10. Se procede a maquillar los cables con su respectiva simbolización para dar una ubicación en caso de identificar el cableado eléctrico. También se realiza el respectivo montaje del motor con el pc.



Figura 110 Maquillaje de cables eléctricos

11. Para realizar la identificación del sistema es importante instalar los programas diseñados en Arduino y Labview para el correcto control en la interfaz del pc.

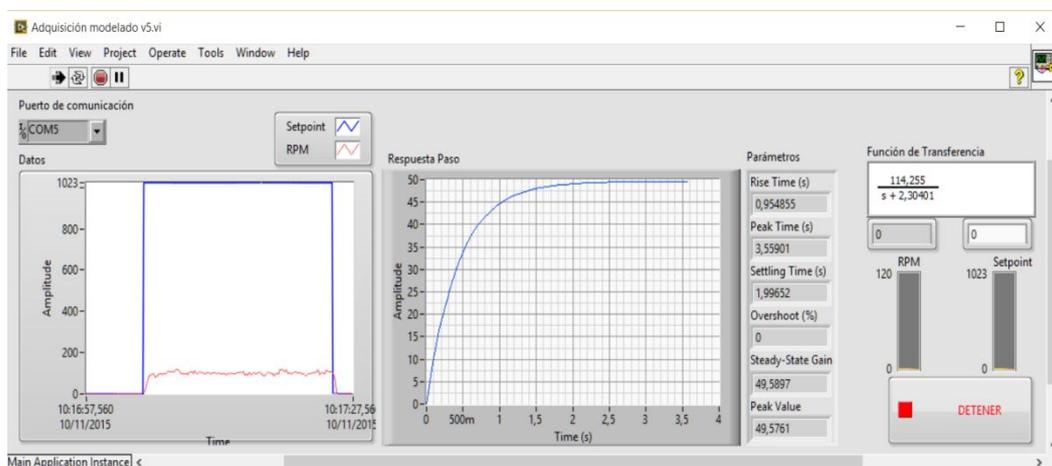


Figura 111 Instalación del programa en PC

12. Se finaliza con éxito el ensamblaje del módulo de entrenamiento para realizar una variación de velocidad en un motor asíncrono o de inducción, mediante Labview e identificación del modelo del sistema.



Figura 112 Módulo didáctico finalizado

Descripción de elementos del módulo didáctico final:

Tabla 25

Descripción de elementos del módulo didáctico final

Descripción de elementos del módulo didáctico
1.- Monitor interfaz
2.- Motor
3.- Estructura metálica soporte
4.- CPU
5.- Teclado y mouse
6.- Tablero de control y fuerza

Anexo 6 Tablas de especificaciones técnicas

SINAMICS G110

Especificaciones técnicas
SINAMICS G110

Rango de potencia	0.12 kW a 3.0 kW			
Tensión de red	1 AC 200 V a 240 V \pm 10%			
Frecuencia de red	47 Hz a 63 Hz			
Frecuencia de salida	0 Hz a 650 Hz			
Cos phi	\geq 0.95			
Rendimiento del convertidor	En modelos < 0.75 kW: 90% a 94% En modelos \geq 0.75 kW: \geq 95%			
Capacidad de sobrecarga	Corriente de sobrecarga 1.5 x corriente asignada de salida (es decir, 150% de capacidad de sobrecarga) durante 60 s Después de 0.85 x corriente asignada de salida durante 240 s Tiempo de ciclo 300 s			
Corriente de precarga	No superior a la corriente asignada de entrada			
Método de control	Característica U/f lineal (con elevación de tensión parametrizable); Característica U/f cuadrática Característica multipunto (característica parametrizable)			
Frecuencia de pulsación	8 KHz (estándar) 2 KHz a 16 KHz (en escalones de 2 KHz)			
Frecuencias fijas	3, parametrizables			
Banda de frecuencias inhibibles	1, parametrizable			
Resolución de consigna	0.01 Hz digital 0.01 Hz serie 10 bits analógica (potenciometro motorizado 0.1 Hz)			
Entradas digitales	3 entradas digitales parametrizables, sin aislamiento galvánico; tipo PNP, compatibles con SIMATIC			
Entrada analógica (variante analógica)	1, para consigna (0 V a 10 V, escalable o utilizable como una cuarta entrada digital)			
Salida digital	1 salida por optoacoplador con aislamiento galvánico (24 V DC, 50 mA, ohm., tipo NPN)			
Puerto serie (variante USS)	RS485, para servicio con protocolo USS			
Longitud del cable al motor	Máx. 25 m (apantallado) Máx. 50 m (no apantallado)			
Compatibilidad electromagnética	Todos los convertidores con filtro CEM integrado para sistemas de accionamiento en instalaciones de categoría C2 (disponibilidad restringida), el valor límite cumple EN 55 011, clase A, grupo 1. Además todos los convertidores con filtro cumplen, si se usan cables apantallados con una longitud máx de 5 m, los límites de EN 55 011, clase B			
Frenado	Por inyección de corriente continua			
Grado de protección	IP20			
Temperatura de servicio	+10 °C a +40 °C hasta + 50 °C con derating			
Temperatura de almacenamiento	+40 °C a +70 °C			
Humedad relativa del aire	95% (condensación no permitida)			
Altitud de instalación	Hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducción de potencia Corriente asignada de salida Con 4000 m sobre el nivel del mar: 90% Tensión de red Hasta 2000 m sobre el nivel del mar: 100% Con 4000 m sobre nivel del mar: 75%			
Funciones de protección contra	Subtensión, sobretensión, defecto a tierra, cortocircuito, vuelco del motor, protección térmica del motor I ² t, sobrettemperatura en convertidor, sobrettemperatura en motor			
Conformidad con normas	UL, cUL, CE, c-tick			
Marcado CE	Según directiva de baja tensión 73/23/CEE			
Dimensiones y pesos (sin accesorios)	Tamaño de caja	Dimensiones A x A x P mm	Peso, aprox. (Kg)	
			Sin filtro	Con filtro
	A \leq 0.37 kW	150 x 90 x 116	0.7	0.8
	A 0.55 kW y 0.75 kW	150 x 90 x 131	0.8	0.9
	A \leq 0.37 kW con disipador plano	150 x 90 x 101	0.6	0.7
	A 0.55 kW y 0.75 kW con disipador plano	150 x 90 x 101	0.7	0.8
	B	160 x 140 x 142	1.4	1.5
C 2.2 kW	181 x 184 x 152	1.9	2.1	
C 3.0 kW	181 x 184 x 152	2.0	2.2	

Contadores Auxiliares SIRIUS Innovations 3RH21

Nuevo

Nueva versión IEC 60947-2, IEC60947-3. Contactos auxiliares incluidos
Bloques de contactos auxiliares para contactores SIRIUS Innovations y SIRIUS 3RT/3RH

¡AHORA CONTACTOS
AUXILIARES INCLUIDOS!

Made in
Germany

No. de Depósito	Descripción					Precio Lista Unit. US \$
	Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Voltaje (VAC)	Contactos Auxiliares Integrados	
Nuevos Contactores auxiliares SIRIUS Innovations con 2NA + 2NC incorporados						
100176212	3RH2122 - 1AF00	3RH1122-1AG10	500	110 VAC	2NA + 2NC	23,49
100176214	3RH2122 - 1AP00	3RH1122-1AN10	500	220 VAC	2NA + 2NC	23,49
100176216	3RH2122 - 1AB00	3RH1122-1AC10	500	24 VAC	2NA + 2NC	23,49
 3RH2122-1AF00						
	Tipo	Tamaño	Contactos Auxiliares	Montajes		
Bloques de contactos auxiliares SIRIUS Innovations (Conexión por tornillos). Para todos los contactores SIRIUS Innovations 3RT/3RH						
100176218	3RH2911 - 1LA11	500 - 50	1NA + 1NC	Frontal	9,39	
100176220	3RH2911 - 1FA22	500 - 50	2NA + 2NC	Frontal	11,25	
100176222	3RH2911 - 1AA10	500 - 50	1NC	Frontal	3,47	
100176224	3RH2911 - 1AA01	500 - 50	1NA	Frontal	3,47	
100176226	3RH2911 - 2DE11	500	1NA + 1NC	Lateral Izq o Der	23,70	
100176228	3RH2921 - 2DE11	50	1NA + 1NC	Lateral Izq o Der	23,70	
						

Aparatos de maniobra

Deposito						
	Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito	
Nuevos Guardamotores SIRIUS Innovations						
100176230	3RV20 11 - 0JA10	3RV1011 - 0JA10	500	0.7 - 1.0	13	48,28
100176232	3RV20 11 - 1AA10	3RV1011 - 1AA10	500	1.1 - 1.6	21	49,43
100176234	3RV20 11 - 1BA10	3RV1011 - 1BA10	500	1.4 - 2.0	26	51,85
100176236	3RV20 11 - 1CA10	3RV1011 - 1CA10	500	1.8 - 2.5	33	51,85
100176238	3RV20 11 - 1DA10	3RV1011 - 1DA10	500	2.2 - 3.2	42	51,85
100176240	3RV20 11 - 1EA10	3RV1011 - 1EA10	500	2.8 - 4.0	52	51,85
100199318	3RV20 11 - 1FA10	3RV1011 - 1FA10	500	3.5 - 5.0	65	51,85
100176244	3RV20 11 - 1GA10	3RV1011 - 1GA10	500	4.5 - 6.3	82	51,85
100176246	3RV20 11 - 1HA10	3RV1011 - 1HA10 ó 3RV1021 - 1HA10	500	5.5 - 8.0	104	51,85
100176248	3RV20 11 - 1JA10	3RV1011 - 1JA10 ó 3RV1021 - 1JA10	500	7.0 - 10.0	130	59,20
100176250	3RV20 11 - 1KA10	3RV1011 - 1KA10 ó 3RV1021 - 1KA10	500	9.0 - 12.0	163	60,82
100176252	3RV2011 - 4AA10	3RV1021 - 4AA10	50	11.0 - 16.0	208	63,46
100176254	3RV2021 - 4BA10	3RV1021 - 4BA10	50	14.0 - 20.0	260	63,46
100176256	3RV2021 - 4CA10	3RV1021 - 4CA10	50	17.0 - 22.0	286	63,46
100176258	3RV2021 - 4DA10	3RV1021 - 4DA10	50	20.0 - 25.0	325	78,75
100176260	3RV2021 - 4NA10	3RV1031 - 4EA10	50	23.0 - 28.0	364	135,65
100176262	3RV2021 - 4EA10	3RV1031 - 4EA10	50	27.0 - 32.0	400	135,65
						
Guardamotores SIRIUS Tamaños S2 y S3						
100176264	3RV2021 - 4PA10	3RV1031 - 4FA10	S2	30.0 - 36.0	432	146,16
100176266	3RV2021 - 4FA10	3RV1031 - 4FA10	S2	34.0 - 40.0	480	146,16
100015404	3RV1031 - 4HA10	-	S2	36.0 - 50.0	540	182,21
100015408	3RV1041 - 4JA10	-	S3	45.0 - 63.0	756	185,78
100015409	3RV1041 - 4KA10	-	S3	57.0 - 75.0	900	196,58
100015410	3RV1041 - 4LA10 ¹⁾	-	S3	70.0 - 90.0	1080	230,00
100015411	3RV1041 - 4MA10 ¹⁾	-	S3	80.0 - 100.0	1140	263,67

Breakers termomagnéticos de caja moldeada 3VT

Disparador termomagnético TM en 3VT1 (16... 160A)

Disparadores electrónicos ETU en 3VT2 y 3VT3 (40... 630 A)

Módulo seccionador sin protecciones para 3VT2 (250A) Y 3vt3 (630 A)

Poder de corte último de 25 kA en 3VT1 y de 36 kA en 3VT2 y 3VT3, en una red de 415 VCA.

Descripción					
					
Datos técnicos	BRREAKERS 3VT1	BRREAKERS 3VT2	BRREAKERS 3VT3	BRREAKERS 3VT4	BRREAKERS 3VT5
Según norma	IEC 60947-2	IEC 60947-2	IEC 60947-2	IEC 60947-2	IEC 60947-2
Intensidad asignada	16...160A	40...250A	160...630	320...1000A	630...1600A
Tension asignada De empleo Ue	max. 690 VCA	max. 690 VCA	max. 690 VCA	max. 690 VCA	max. 690 VCA
Corriente nominal normal	160A	250A	630A	1000A	1600A
Frecuencia asignada fn	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Tension de impulso Soportada, Uimp	8kV	8kV	8kV	8kV	8kV
Poder de corte último Asignado, Icu	40 kA/IAC 230V 25 kA/IAC 415V 12 kA/IAC 500V 6 kA/IAC 690V	60 kA/IAC 230V 36 kA/IAC 415V 16 kA/IAC 500V 10 kA/IAC 690V	60 kA/IAC 230V 36 kA/IAC 415V 20 kA/IAC 500V 15 kA/IAC 690V	85 kA/IAC 230V 65 kA/IAC 415V 45 kA/IAC 500V 20 kA/IAC 690V	85 kA/IAC 230V 55 kA/IAC 415V 45 kA/IAC 500V 20 kA/IAC 690V
Poder de corte de servicio Asignado, Ics	20 kA/IAC 230V 13 kA/IAC 415V 6 kA/IAC 500V 3 kA/IAC 690V	30 kA/IAC 230V 18 kA/IAC 415V 8 kA/IAC 500V 5 kA/IAC 690V	40 kA/IAC 230V 18 kA/IAC 415V 10 kA/IAC 500V 8 kA/IAC 690V	45 kA/IAC 230V 36 kA/IAC 415V 30 kA/IAC 500V 20 kA/IAC 690V	45 kA/IAC 230V 36 kA/IAC 415V 30 kA/IAC 500V 20 kA/IAC 690V
Frecuencia de maniobras / Hora	120	120	120	120	120

Aparatos de
maniobra

Elementos de mando y señalización SIRIUS Signaling metálico y plástico de 22mm

Línea 3S86

Línea de mando y señalización termoplástica con efecto metalizado

No. de Depósito	Tipo	Descripción	Precio Lista Unid. US \$
Pulsadores			
100227750	3S86130-0A810-1BA0	Pulsador 1NA negro	8,47
100227751	3S86130-0A820-1CA0	Pulsador 1NC rojo	8,47
100227752	3S86130-0A840-1BA0	Pulsador 1NA verde	8,47
 3S86130-0A820-1CA0			
Pulsadores Tipo Hongo			
100227766	3S86130-1HB20-1CA0	Botón emergencia 40mm 1NC desclav. giro	15,10
100227767	3S86130-1HA20-1CA0	Botón emergencia 40mm 1NC desclav. tracción	15,10
100227768	3S86130-1HD20-1CA0	Botón emergencia 40mm 1NC desclav. llave	26,93
 3S86130-1HB20-1CA0			
Pulsadores iluminados LED			
100227757	3S86133-0D820-1CA0	Pulsador luminoso 24VAC / VDC 1NC rojo	14,23
100227758	3S86133-0D830-1BA0	Pulsador luminoso 24VAC / VDC 1NA amarillo	14,23
100227759	3S86133-0D840-1BA0	Pulsador luminoso 24VAC / VDC 1NA verde	14,23
100227760	3S86135-0D820-1CA0	Pulsador luminoso 110VAC / VDC 1NC rojo	18,04
100227761	3S86135-0D830-1BA0	Pulsador luminoso 110VAC / VDC 1NA amarillo	18,04
100227762	3S86135-0D840-1BA0	Pulsador luminoso 110VAC / VDC 1NA verde	18,04
100227763	3S86136-0D820-1CA0	Pulsador luminoso 220VAC / VDC 1NC rojo	18,04
100227764	3S86136-0D830-1BA0	Pulsador luminoso 220VAC / VDC 1NA amarillo	18,04

Aparatos de manobra



SIRIUS - Aparatos de maniobra, protección y control de motores

Pulsadores hongo y Lámparas de señalización - Línea plástica

N° Almacén	Descripción del producto	Código
Pulsadores hongo - Línea plástica		
100014932	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, ROJO Emergencia, Pulsar-Girar, c/1NC	3583203-1HA20
100014931	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, ROJO, Pulsar-Tirar, c/1NC	3583203-1CA21
100014948	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, ROJO Emergencia, Pulsar-Girar c/Llave	3583000-1BA20
100035245	Pulsador hongo Ø60mm, plástico, IP66, ROJO Emergencia, Pulsar-Girar	3583000-1AA20
100014949	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, NEGRO, Pulsar-Tirar	3583000-1CA11
100014951	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, NEGRO, sin retención	3583000-1GA11
100014952	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, ROJO, sin retención	3583000-1GA21
100014953	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, AMARILLO, sin retención	3583000-1GA31
100014954	Pulsador hongo Ø40mm, plástico, IP66, VERDE, sin retención	3583000-1GA41

SIRIUS 3SB3

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		
				18 AWG	10 A
				16 AWG	13 A
				14 AWG	18 A
				12 AWG	25 A

Protección para tu Motor										
Trifásico, 60 Hz, Tensión Nominal 230 V ca, Tensión de Operación 220-240 V ca										
Potencia		Valores de parámetros				Protección: Solución 1				
HP	KW	Corriente Nominal (A)	Calibre del Conductor a 75 °C THHW_LS (AWG ó Kcmil)	Impedancia "Z" a FP= 0.85 (Ω/km)	Longitud Máxima del Alimentador (m)	Interrupor Termomagnético	Contactor	Relé Térmico de Sobrecarga	Medio Desconecta la vis	
1/2	0.375	2.2	14	8.9	205		S203-K4	AF09	TF42-2.3	BW325
3/4	0.55	3.2	14	8.9	140		S203-K6	AF09	TF42-4.2	BW325
1	0.75	4.2	14	8.9	105		S203-K6	AF09	TF42-5.7	BW325
1 1/2	1.12	6	14	8.9	75		S203-K10	AF09	TF42-7.6	BW325
2	1.5	6.8	14	8.9	65		S203-K10	AF09	TF42-7.6	BW325
3	2.25	9.6	14	8.9	50		S203-K16	AF12	TF42-10	BW325
5	3.75	15.2	12	5.6	45		S203-K25	AF16	TF42-16	BW325
7.5	5.6	22	10	3.6	50		S203-K40	AF26	TF42-24	BW325
10	7.5	28	8	2.3	60		S203-K50	AF30	TF42-29	BW340
15	11.2	42	6	1.48	65		S203-K63	A50	TA75DU52	OTP458
20	15	54	4	0.98	75		1SDA067396R1	A63	TA75DU63	OTP638
25	18.7	68	4	0.98	60		1SDA067397R1	A75	TA75DU80	OTP638
30	22.5	80	2	0.66	75		1SDA067398R1	A95	TA110DU90	OTP125I
40	30	104	1/0	0.43	90		1SDA067399R1	A110	TA110DU110	OTP125I
50	37.5	130	2/0	0.36	85		1SDA068058R1	A145	TA200DU175	OT160L
60	45	154	3/0	0.308	85		1SDA068059R1	A185	TA200DU200	OT200L
75	56	192	250	0.24	85		1SDA054436R1	A210	TA450DU235	OT315L
100	75	248	350	0.197	80		1SDA054437R1	A260	TA450DU310	OT315L
125	93	312	2x3/0	0.154	85		1SDA054456R1	AF400	E500DU	OT400L
150	112	360	2x4/0	0.131	85		1SDA060214R1	AF400	E500DU	OT400L
200	150	480	2x350	0.0985	85		1SDA060214R1	AF580	E800DU	OT600L