



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“PLATAFORMA EXPERIMENTAL CON ARQUITECTURA ABIERTA PARA
LA CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE MOTORES DE CORRIENTE
ALTERNA”**

INFORME DE SEMINARIO DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN EN ELECTRÓNICA
Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentado por:

Diber Daniel Ortiz Briones

Irvin Manuel Yance Orozco

Guayaquil – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas las bendiciones en nuestras vidas, al Ph.D Wilton Agila por la colaboración prestada en este proyecto, a nuestros familiares que siempre estuvieron ahí en los momentos de adversidad, a nuestras amistades que nos ayudaron de una u otra forma a culminar este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre conmigo, a mi familia que estuvieron siempre apoyándome en todas las áreas de mi vida, a mis profesores que gracias a sus enseñanzas hemos podido culminar este trabajo.

Diber Daniel Ortiz Briones

A mi familia por su apoyo incondicional y amor. A mis amigos por su amistad y ayuda. Y a todas las personas que nos apoyaron en la culminación de este proyecto.

Irvin Yance Orozco.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ph. D. Wilton Edixon Agila Gálvez.

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN.

Ph.D. Jorge Montealegre.

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Diber Daniel Ortiz Briones.

Irvin Manuel Yance Orozco.

RESUMEN

Los motores de corriente alterna son muy utilizados en diferentes aplicaciones de la vida cotidiana, ya que representan la principal fuente de energía mecánica producida a partir de energía eléctrica, lo que le da su importancia de análisis y caracterización dentro de las carreras de ingeniería. En este contexto, en el presente proyecto se propone implementar una Plataforma Experimental con Arquitectura Abierta como solución viable de bajo coste para la Caracterización y Análisis de carácter educativo e industrial de Motores de Corriente Alterna.

Se presenta el diseño y construcción de la electrónica analógica, la cual consiste en el acondicionamiento de señales eléctricas de las variables a monitorizan que ingresan a la tarjetas de adquisición, ya sea ésta: la DAQ o la Arduino Mega. Seguido por la electrónica de potencia que represente al emulador de carga variable, el mismo que será activado desde el computador.

Se realiza el análisis de los diferentes parámetros eléctricos del motor de corriente alterna en operación, los mismos que permiten determinar posibles fallos en el motor.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XX
CAPÍTULO 1	1
1. Análisis Preliminar.....	1
1.1 Descripción del problema.	1
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.	4
1.5 Alcance y Limitaciones	4

1.6 Descripción del proyecto.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. Marco Teórico.	7
2.1 Ley de Faraday.....	7
2.2 Motores eléctricos.....	11
2.2.1 Motores de corriente continua.	11
2.2.2 Motores de corriente alterna.....	11
2.3 Freno dinamométricos.	12
2.3.1 Tipos de Frenos.	12
2.3.1.1 Frenos de fricción.....	13
2.3.2.2 Frenos Hidráulicos.....	14
2.3.3.3 Frenos Eléctricos.....	14
2.4 Control de motores.....	16
2.4.1 Componentes electromecánicos de los sistemas tradicionales de control.....	17
2.4.2 Elementos de Protección de un sistema tradicional de control.	20
2.4.3 Circuito de Control y Fuerza Tradicional para motores trifásicos.....	23
CAPÍTULO 3.....	26

3. Descripción del Escenario.....	26
3.1 Computador.....	27
3.2 Motor Eléctrico Trifásico.....	27
3.3 Generador Monofásico.....	28
3.4 Acoplamiento tipo mandíbula.....	28
3.5 Banco de Resistencias.....	29
3.6 Motor DC.....	29
3.7 Tarjetas de adquisición.....	30
3.8 Electrónica de Control y Fuerza.....	31
3.9 Sensores de Corriente.....	31
3.10 Transformadores.....	32
3.11 Funcionamiento.....	33
CAPÍTULO 4.....	36
4. Programación y configuración del entorno de trabajo.....	36
4.1 Configuración de hardware.....	36
4.1.1 Tarjeta de adquisición de datos USB NI-6008.....	36
4.1.2 Tarjeta Arduino Mega 2560.....	39
4.1.3 Electrónica de acondicionamiento de señales.....	41
4.2 Configuración de software.....	44

4.2.1. Conexión lab VIEW con Microsoft Access.....	44
4.3 Descripción del Programa.....	47
4.3.1 Obtención de valores RMS.....	48
4.3.2 Estados de alarmas.....	49
4.3.3 Registro de datos.	50
4.3.4 Desfase de tensión y corriente.	52
4.3.5 Cálculo de potencias.	55
4.3.6 Control de carga variable.	57
4.3.7 Parámetros de la carga.	59
CAPÍTULO 5.....	63
5. Escenarios de Validación.....	63
5.1 Primer escenario con variador de frecuencia en vacío.	63
5.2 Segundo escenario con variador de frecuencia con carga.....	70
5.3 Tercer escenario Arranque a plena tensión en vacío.....	76
5.4 Cuarto escenario Arranque a plena tensión con carga.....	81
5.5 Estados de Alarma.	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
Conclusiones.....	89
Recomendaciones.....	91

BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	95

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS

A	Amperios.
AC	Corriente alterna
DC	Corriente continua.
DAQ	Adquisición de Datos.
f	Frecuencia.
FEM	Fuerza contra-electromotriz.
HP	Caballos de fuerza.
Hz	Hercios.
kS/s	Kilo muestra por segundo.
Kw	Kilowatt.
LabVIEW	Laboratorio de Instrumentación Virtual de Bancos de Trabajo de Ingeniería.
N	Newton.
NI	National Instruments.
P	Numero de polos del motor de inducción.
PF	Factor de potencia.
R	Resistencia.
Rad	Radianes.
RMS	Valor cuadrático medio.
RPM	Revoluciones por minuto.

s	Segundos.
USB	Bus serial de Comunicación Universal.
uF	Micro faradios.
V	Voltaje.
Vis	Instrumentos Virtuales.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Máquina Elemental	8
Figura 2.2: Freno de Prony	13
Figura 2.3: Banco de Prueba para motores eléctricos con Freno Hidráulico.	14
Figura 2. 4: Banco de Prueba para motores eléctricos con freno eléctrico...	15
Figura 2.5: Interruptores termo magnéticos.	17
Figura 2.6: Interruptor de desconexión.	18
Figura 2. 7: Interruptor Rotativo.	18
Figura 2. 8: Pulsadores.....	19
Figura 2.9: Contactor Electromagnético.....	20
Figura 2.10: Tipos de fusibles.....	21
Figura 2. 11: Relevador de sobrecarga.....	21
Figura 2.12: Relevador diferencial.	22
Figura 2.13: Arranque a tensión plena.....	23
Figura 2. 14: Variador de frecuencia.....	24
Figura 3. 1: Pantalla inicial de LabVIEW.....	27
Figura 3. 2 Datos de placa del motor eléctrico.....	28
Figura 3. 3: Acoplamiento tipo mandíbula.....	29
Figura 3. 4: Vista superior del banco resistivo MV1100.....	29
Figura 3. 5: NI-USB 6008.....	30
Figura 3. 6: Arduino Mega 2560.....	31

Figura 3. 7: Sensor de corriente Arduino.....	32
Figura 3. 8: Transformadores de 220V a 12V 500mA.....	32
Figura 3. 9: Diagrama de bloques secuencial.....	33
Figura 3. 10: vista real del proyecto.....	35
Figura 4. 1: Tipos de entradas disponibles en NI-USB 6008.....	37
Figura 4. 2: Canales físicos analógicos.	38
Figura 4. 3: Canales físicos digitales.	38
Figura 4. 4: DAQ Assistant, modo de adquisición.....	39
Figura 4. 5: Vi Package Manager.....	40
Figura 4. 6: IDE Arduino.	41
Figura 4. 7: acondicionamiento de la señales de voltaje.....	42
Figura 4. 8: Circuito de fuerza para el emulador de carga.	43
Figura 4. 9: Circuito de disparo para el transistor de potencia 2sk2148.	43
Figura 4. 10: Configuración del enlace con la base de datos	45
Figura 4. 11: Selección de proveedor para base de datos.....	45
Figura 4. 12: Selección de base de datos a utilizar.....	46
Figura 4. 13: Base de datos seleccionada junto al enlace de conexión.....	46
Figura 4. 14: Adquisición de señales de voltaje y corriente.	47
Figura 4. 15: Obtención de valores RMS de voltaje y corriente.	48
Figura 4. 16: Rango de funcionamiento de corriente.	50
Figura 4. 17: Rango de funcionamiento de voltaje.....	50
Figura 4. 18: Ingreso de los valores a bases de datos.....	51

Figura 4. 19: Condicionamiento para valor de cero del contador.....	52
Figura 4. 20: Obtención de desfase de voltaje y corriente.	53
Figura 4. 21: Determinación de fase de voltaje.....	54
Figura 4. 22: Determinación de fases de corrientes.....	54
Figura 4. 23: Cálculo de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia para la línea 1 (L1).	56
Figura 4. 24: Cálculo de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia para la línea (L2).	56
Figura 4. 25: Cálculo de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia para la línea 3 (L3).	56
Figura 4. 26: Cálculo de la potencia total, activa, reactiva y aparente.	57
Figura 4. 27: Duty Cycles para el PWM.....	58
Figura 4. 28: Configuración de PWM en Arduino.....	58
Figura 4. 29: Obtención del torque eléctrico del motor.	59
Figura 4. 30: Voltaje de la carga.	60
Figura 5. 1: Valores de frecuencia, pico y RMS más la graficas de voltaje y corriente de línea 1 (L1).....	64
Figura 5. 2: Valores de frecuencia, pico y RMS más la grafica de voltaje y corriente en la línea 2 (L2).	65
Figura 5. 3: Valores de frecuencia, pico y RMS más la graficas de voltaje y corriente en la línea 3 (L3).	66

Figura 5. 4: valores del torque eléctrico y velocidad del motor (variador sin carga).....	67
Figura 5. 5: Diagrama fasorial del voltaje y corriente (Variador sin carga)....	68
Figura 5. 6: Valores de la potencia activa, reactiva, y aparente con su respectivo factor de potencia (variador sin carga).	69
Figura 5. 7: Visualización de voltaje y corriente en L1 (variador más carga del sistema).	71
Figura 5. 8: Visualización de voltaje y corriente en L2 (variador más carga del sistema).	72
Figura 5. 9: Visualización de voltaje y corriente en L3 (variador más carga del sistema).	73
Figura 5. 10: Valores de voltaje, corriente y potencia de la carga más el torque eléctrico con su respectiva velocidad (variador más carga del sistema).	74
Figura 5. 11: Visualización del torque eléctrico más la velocidad del motor (variador más carga del sistema).....	74
Figura 5. 12: Diagrama fasorial de voltaje y corriente (variador más carga del sistema).	75
Figura 5. 13: Potencia activa, reactiva y Aparente con factor de potencia (variador más la carga del sistema).	76
Figura 5. 14: Visualización de voltaje y corriente en L1 (Arranque a plena tensión en vacío).....	77

Figura 5. 15: Visualización de voltaje y corriente en L2 (Arranque a plena tensión en vacío).....	78
Figura 5. 16: Visualización de Voltaje y corriente en L3 (arranque a plena tensión en vacío).....	78
Figura 5. 17: Diagrama fasorial de voltaje y corriente (arranque a plena tensión en vacío).....	79
Figura 5. 18: Potencia activa, reactiva y aparente con factor de potencia (arranque de plena tensión en vacío).....	80
Figura 5. 19: Visualización del torque eléctrico más la velocidad del motor (arranque a plena tensión en vacío).....	81
Figura 5. 20: Visualización de voltaje y corriente en L1 (Arranque a plena tensión con carga).	82
Figura 5. 21: Visualización de voltaje y corriente en L2 (arranque a plena tensión con carga).	83
Figura 5. 22: Visualización de voltaje y corriente en L3 (arranque a plena tensión con carga).	83
Figura 5. 23: Valores de voltaje, corriente y potencia de la carga más el torque eléctrico con su respectiva velocidad (arranque a plena tensión más carga).....	84
Figura 5. 24: Visualización del torque eléctrico más la velocidad del motor (arranque a plena tensión con carga).	84

Figura 5. 25: Diagrama fasorial de voltaje y corriente (arranque a plena tensión con carga).	85
Figura 5. 26: Potencia activa, reactiva y aparente con factor de potencia (arranque a plena tensión con carga).	86
Figura 5. 27: Estado de alarma del sistema.....	87
Figura 5. 28: visualización del estado de alarma en la bases de datos.	88
Figura 5. 29: tabla de tipos de alarma.....	88

INTRODUCCIÓN

Dentro del área de la Ingeniería es necesario llevar a cabo ciertas prácticas de laboratorio como de campo para un mejor entendimiento y demostración de las enseñanzas impartidas por el docente, como son la demostración de leyes Físicas, Matemáticas, Eléctricas etc. Además la incursión del software aplicado a la educación facilita el adiestramiento de los estudiantes de ingeniería. Para los estudiantes que siguen la rama de electricidad, tener el conocimiento acerca de los motores eléctricos es fundamental para su vida profesional siendo esta una razón importante para implementar este proyecto denominado Plataforma Experimental con Arquitectura Abierta para la Caracterización y Análisis de Motores de Corriente Alterna.

Los motores de corriente alterna son muy utilizados en diferentes aplicaciones, tales como: industriales, comerciales y particulares, ya que son la principal fuente de energía mecánica producida por la energía eléctrica y esto le da su importancia dentro de este estudio. En la actualidad se utiliza el sistema de control clásico que ofrece protección y dominio del mismo con la ayuda de diferentes dispositivos de regulación y protección para motores eléctricos, ya sea esta, una aplicación sencilla o hasta la más compleja.

Con el transcurso del tiempo y la llegada de la era virtual muchos de los instrumentos utilizados para el control y protección han cambiado a este nivel

haciendo eficiente las lecturas de los equipos y por consecuencia la protección del mismo. En este contexto el presente proyecto tratara de llevar la misma línea de implementación de manera que pueda tener lecturas correctas en tiempo real mediante un computador.

Este proyecto es descrito en cinco capítulos, los cuales está compuesto en el primer capítulo por un análisis preliminar del proyecto a realizar, el segundo capítulo por un marco teórico, en el cual se explicará las principales leyes teóricas que facilitan el entendimiento del proyecto, en el tercer capítulo tenemos la descripción del escenario, en el cuarto capítulo estará compuesto por la programación y configuración del entorno de trabajo y por último el quinto capítulo tenemos los escenarios de validación que será diferentes tipos de pruebas que se realizará al motor eléctrico para tener sus diferentes parámetros.

CAPÍTULO 1

1. Análisis Preliminar.

En este capítulo se procederá hacer un análisis preliminar del proyecto, esto servirá como un antecedente y un mejor entendimiento de la memoria técnica.

1.1 Descripción del problema.

Los motores eléctricos con frecuencia interrumpen sus procesos a causa de fallas que les suelen ocurrir, esto relativamente puede causar daños de diversas magnitudes.

En la industria, específicamente donde los motores eléctricos son utilizados, existen programas de mantenimiento implementados para alargar el tiempo de vida útil de los motores. Ejemplo de ello se tiene:

Si estos programas fuesen implementados de una manera efectiva esto trae repercusiones en el ahorro del capital, existen varios tipos de

programas los cuales son usados actualmente, a continuación tenemos los siguientes.

El mantenimiento correctivo, que corrige el daño cuando la máquina o equipo se daña.

El mantenimiento preventivo programado, que permite realizar revisiones periódicas a los equipos, para evitar posibles fallas durante su funcionamiento, este mantenimiento exige la parada programada de la máquina.

El mantenimiento predictivo, técnica que permite detectar fallas futuras, pero de difícil implementación.

Sin embargo, la implementación de estos programas no garantizan la obtención de los diversos objetivos de mantenimiento, Por tanto, la caracterización en tiempo real de los diversos parámetros eléctricos del Motor es una alternativa que permite diagnosticar fallas eléctricas o mecánicas, y así poder evitar la pérdida del equipo o su costosa reparación.

1.2 Objetivo General.

Diseñar e implementar una plataforma experimental abierta para el análisis y caracterización en tiempo real de las variables eléctricas de motores de corriente alterna de inducción.

1.3 Objetivos específicos.

La ejecución óptima del proyecto obliga tener claro las directrices a tomar, para lo cual se persigue los siguientes objetivos específicos:

Implementar un sistema de adquisición, registro y tratamiento de datos que permita la lectura de las variables eléctricas del motor.

Desarrollar una interface hardware-software basada en dispositivos electrónicos DAQ y Arduino y la utilización de software LabVIEW como elementos de adquisición de las variables eléctricas del motor.

Representación grafica de las respectiva formas de onda de las variables eléctricas del motor.

Implementar un emulador de carga variable mediante la regulación de un freno eléctrico.

Recomendar diferentes tipos de soluciones para los fallos detectados en el análisis de las variables eléctricas del motor.

1.4 Justificación.

Para la justificación del presente proyecto se detalla los siguientes ítems:

El proyecto servirá como recordatorio de los siguientes temas:

- ✓ Factor de potencia
- ✓ Potencia Real
- ✓ Potencia Aparente
- ✓ Potencia Reactiva
- ✓ Factor de Potencia
- ✓ Voltaje eficaz
- ✓ Corriente eficaz

1.5 Alcance y Limitaciones

En el presente proyecto se pretende analizar de manera sencilla las diferentes señales eléctricas del motor eléctrico trabajando en dos escenarios: uno de ellos sin carga y el otro con carga variable, lo cual permitirá parametrizar determinados estados de funcionamiento.

Los componentes necesarios para su implementación son:

- a. Generador monofásico y banco de resistencia, necesarios para desarrollar el emulador de carga variable.
- b. Motor eléctrico, elemento de estudio.
- c. Tarjeta de desarrollo ARDUINO, tarjeta de adquisición de datos (NI-USB 6008), elementos eléctricos, electrónicos y software LabVIEW necesarios para el desarrollo de la interfaz de adquisición y tratamientos de datos.

Como limitación en el desarrollo se tiene en la parte de hardware de adquisición de las señales eléctricas del motor en estudio, así se tiene:

- a. tarjeta de adquisición de datos ya que esta consta de 8 entradas analógicas por lo cual no se podrán medir más parámetros del motor eléctrico otra limitación es la tarjeta de desarrollo ARDUINO MEGA ya que su procesador es un micro controlador el cual solo puede recibir voltaje positivo y para poder utilizar debemos ser acondicionamiento de señales en el cual se pueden perder datos en el mismo.

1.6 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en tres fases importantes: eléctrica, electrónica y software. En la parte eléctrica se encuentra ubicados diferentes tipos de elementos eléctricos como, un interruptor termo magnético, contactores, motor eléctrico, generador eléctrico monofásico de 220v, un banco de resistencia 3Kw, el generador eléctrico estará conectado en el eje del motor eléctrico mediante un acoplamiento tipo mandíbula en este caso el motor eléctrico estará conectado a la línea junto con su respectiva circuitería para su respectivo funcionamiento.

En la parte electrónica tenemos los circuitos de acondicionamiento de señales tanto para el voltaje como para la corriente, como el circuito controlador del emulador de carga los cuales se explicaran más adelante y las tarjetas DAQ NI-USB 6008 y ARDUINO MEGA 6028. Finalmente en la parte de software tenemos el programa LabVIEW 2013 de NATIONAL INSTRUMENTS así mismo como el IDE de ARDUINO.

CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico.

En esta parte se detallara el marco teórico que corresponde a las principales leyes, que se utilizan en este proyecto, comenzando por conceptos básicos para una mayor comprensión del tema.

2.1 Ley de Faraday.

La ley de Faraday es la ley del voltaje inducido y en esta ley se basa el principio de funcionamiento del generador eléctrico.

La ley de Faraday se puede aplicar a un conductor y a una bobina. Cuando un conductor se encuentra en un campo magnético y se desplaza a una velocidad lineal, se induce en él un voltaje. Cuando una bobina tiene una variación de enlaces de flujo magnético, se induce en ella un voltaje.

Para demostrar la aplicación de la ley de Faraday a un generador, se considera la máquina elemental representada en la figura 2.1

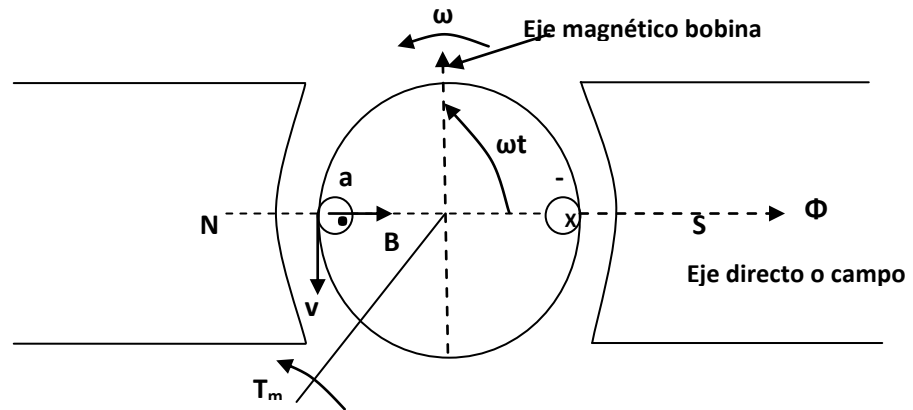


Figura 2.1 Máquina Elemental

En el rotor de la máquina elemental se tienen los conductores a (entra corriente) y $-a$ (sale corriente), y debido a la ley de Faraday en cada uno de estos conductores se induce una fuerza electromotriz, como se muestra en la ecuación (2.1).

$$(e_a)_{\text{conductor}} = l(v B) \quad [V] \quad \text{ecuación (2.1)}$$

Donde:

$$(e_a)_{\text{conductor}} = \text{f.e.m. del conductor [voltios]}$$

$$l = \text{longitud del conductor [mt]}$$

$$v = \text{velocidad lineal del conductor [mt/seg]}$$

B = densidad de flujo magnético [Weber/mt²]

Al aplicar la regla de la mano derecha se determina el sentido de la FEM inducida en cada conductor.

Cuando se unen los conductores a y -a para formar una bobina de una espira y se permite la circulación de corriente por los conductores de la bobina, se puede establecer el eje magnético de la bobina. Los enlaces de flujo magnético de la bobina debido al flujo magnético de campo principal Φ_d es función del ángulo ωt entre los ejes magnéticos de campo principal y de la bobina. La expresión de los enlaces de flujo magnético de la bobina es representada en la ecuación (2.2):

$$\lambda_a = N_a \Phi_d \cos \omega t \quad [\text{Weber} - \text{vuelta}] \quad \text{ecuación (2.2).}$$

Donde:

λ_a = enlaces de flujo de la bobina [Weber-vuelta]

N_a = # de vueltas de la bobina

Φ_d = flujo por polo en el eje directo [Weber]

ω = velocidad angular [rad/seg]

t = tiempo [seg]

ωt = ángulo entre el eje de campo magnético principal y el eje de campo Magnético de la bobina [rad].

De acuerdo a las leyes de Faraday y de Lenz, la fuerza electromotriz inducida en la bobina es representada en la ecuación (2.3).

$$(e_a)_{\text{bobina}} = -\frac{d\lambda_a}{dt} \quad \text{ecuación(2.3)}$$

En la ecuación (2.4) se representa la solución matemática de la fuerza electromotriz. Para mayor información refiérase a [1].

$$(e_a)_{\text{bobina}} = \omega N_a \Phi_d \text{Sen}\omega t \text{ [V]} \quad \text{ecuación (2.4)}$$

La Ley de Faraday, es unas de las principales leyes que se aplican en la utilización de motores y generadores eléctricos al igual, que las leyes de Kirchhoff, Ley de Ampere y la Ley de Biot – Savart, principios utilizados en presente trabajo del emulador de carga (freno eléctrico).

2.2 Motores eléctricos.

El motor eléctrico es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica a través de campos magnéticos generados en su bobina. Se tiene algunas clasificaciones de acuerdo a su alimentación:

2.2.1 Motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie.
- Motor compound.
- Motor shunt.
- Motor eléctrico sin escobillas.

Existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso.
- Servomotor.
- Motor sin núcleo.

2.2.2 Motores de corriente alterna.

Existen tres tipos, siendo el primero y el segundo los más utilizados:

- Motor universal, puede trabajar tanto en CA como en CC.
- Motor asíncrono.
- Motor síncrono.

2.3 Freno dinamométricos.

Dentro del concepto de frenos existen una gran variedad, en este caso detallaremos los frenos dinamométricos esto permiten hacer ensayos de forma completa al motor, con este se pueden medir el PAR, la VELOCIDAD y la POTENCIA.

Es un instrumento básico en el banco de ensayo de motores ya que este sirve para realizar investigación, desarrollo, aplicaciones, control de calidad en la implementación y la vida útil del mismo.

2.3.1 Tipos de Frenos.

Los frenos dinamométricos son aquellos que sirven para crear un par resistente al motor el cual es proporcional a la carga del motor, esta carga generalmente es variable para poder experimentar los parámetros operativos del motor eléctrico.

En la actualidad se han desarrollado algunos tipos de frenos basados en diferentes principios, entre los cuales tenemos los siguientes:

- Frenos de fricción.
- Frenos hidráulicos.
- Frenos eléctricos:
 1. Corriente continua.
 2. Corriente alterna.
 3. Corriente de Foucault.

2.3.1.1 Frenos de fricción

Los frenos de fricción fueron diseñados para funcionar mecánicamente con la fuerza de fricción, para los motores eléctricos se utiliza el “Freno de Prony”, Fue inventado por Gaspard de Prony.refierase a [2].

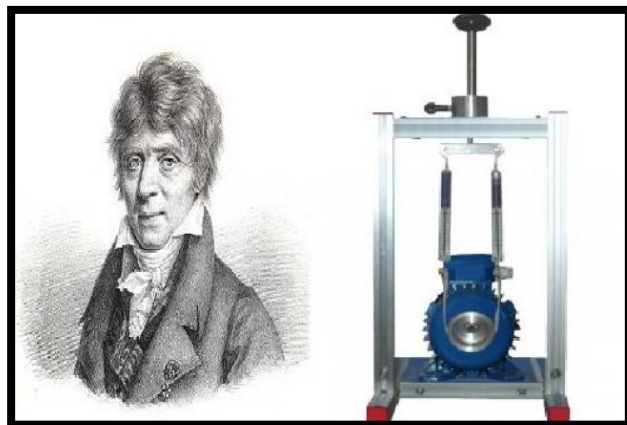


Figura 2.2: Freno de Prony

2.3.2.2 Frenos Hidráulicos.

Utilizados comúnmente en bancos de ensayos, está conformado por un sistema que utiliza fluidos para producir una fricción interna entre el líquido y las partes fijas del freno. En la figura 2.3 se muestra un banco de ensayo con freno hidráulico. Refiérase a [3]

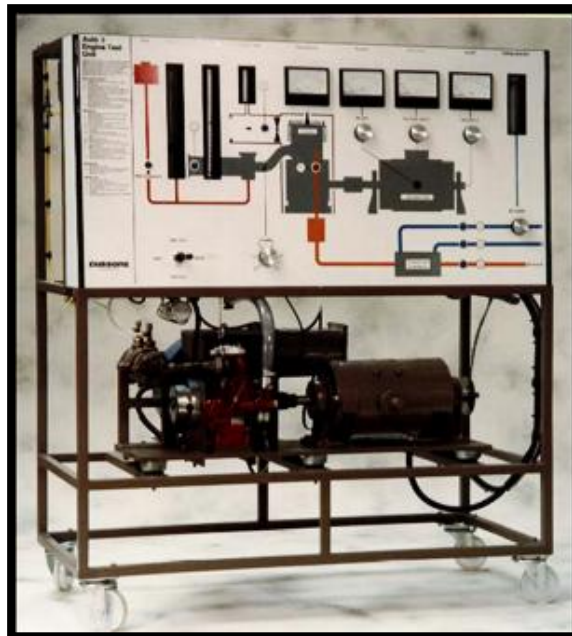


Figura 2.3: Banco de Prueba para motores eléctricos con Freno Hidráulico.

2.3.3.3 Frenos Eléctricos

En este tipo de freno se pueden utilizar generadores de corriente eléctrica, un ejemplo práctico sería, si se acopla un motor y este a su vez a una resistencia

eléctrica, la potencia del motor se utilizara en accionarla. Esta potencia se la puede medir con instrumentos como, un vatímetro, analizador de energía etc. A continuación se muestra en la figura 2.4 un banco de prueba el cual utiliza freno eléctrico. Refiérase a [4].



Figura 2. 4: Banco de Prueba para motores eléctricos con freno eléctrico.

En este tipo de frenos eléctricos también existe los de corriente continua, el par del motor se transmite del rotor (inducido) al estator (inductor en anillo) por medio del campo magnético, la corriente que se produce es disipada en forma de calor en la resistencia eléctricas conectadas al mismo.

2.4 Control de motores.

Considerando un punto de vista técnico, el desarrollo de maquinaria eléctrica específicamente el uso de los motores eléctricos hasta nuestros días, ha sido de manera considerable y notable, tales como los nuevos diseños, nuevos materiales y procesos de manufactura. Es decir esto ha traído un mejor funcionamiento en el área a desempeñarse.

El tema de Control de Motores Eléctricos ha adquirido mucha importancia en la automatización de los diferentes procesos industriales y a esto se le adiciona los campos que la acompañan, tales como la electrónica, electrónica de potencia en el circuito de control.

Hoy en día, en el ambiente industrial se puede tener elementos convencionales como son; los controladores por relevadores y arrancadores). A continuación hará un pequeño resumen de los dispositivos tradicionales en el circuito de control.

2.4.1 Componentes electromecánicos de los sistemas tradicionales de control.

Interruptores termo magnéticos: es un elemento capaz de interrumpir el paso de la corriente eléctrica de un circuito cuando este llegue a elevarse de sus valores máximos. En la figura 2.5 se visualiza los interruptores termo magnéticos. Refiérase a [5].



Figura 2.5: Interruptores termo magnéticos.

Interruptores de desconexión: es un elemento que desconecta el motor de la fuente de energía, está conformado por interruptores tipo cuchillas y fusibles para cada fase, esta se encuentra dentro de un caja metálica tal como se representa en la figura 2.6. Refiérase a [6].



Figura 2.6: Interruptor de desconexión.

Interruptores rotativos: está compuesto por un eje, el cual es rotado por medio de un botón, de esta forma se cambia de estado al contacto, en la figura 2.7 se muestra un interruptor rotativo. Refiérase a [7].



Figura 2. 7: Interruptor Rotativo.

Pulsadores: Estos son activados al ser presionados, con los dedos pueden ser contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados. En la figura 2.8 se muestra los pulsadores. Refiérase a [8].



Figura 2. 8: Pulsadores.

Contactores Electromagnéticos: este elemento está compuesto por interruptores electromagnéticos que abren o cierran sus contactos cuando su bobina esta energizada, en la figura 2.9 se muestra la parte frontal de un contactor electromagnético. Refiérase a [9].



Figura 2.9: Contactor Electromagnético.

2.4.2 Elementos de Protección de un sistema tradicional de control.

Se tiene otros elementos importantes en los sistemas de control de motores, los elementos de protección, estos sirven tanto para el motor eléctrico como para el sistema de control entre los cuales detallaremos los que son de uso común en la parte industrial.

Fusible: este elemento sirve como protección eléctrica hay una gran variedad de fabricantes como el amperaje que utilizan, por lo consiguiente para baja tensión es de 600V o menos y para alta tensión más de 600V. En la figura 2.10 se visualiza los diferentes tipos de fusibles que existen en el mercado. Refiérase a [10].



Figura 2.10: Tipos de fusibles.

Relevadores de sobre carga: son normalmente utilizados en circuitos de corriente directa CD, generalmente sus contactos son NC normalmente cerrado, su funcionamiento consiste en energizar una bobina cuando hay una sobre corriente. En la figura 2.11 se muestra un relevador de sobrecarga marca siemens. Refiérase a [11]



Figura 2. 11: Relevador de sobrecarga.

Relevador diferencial: este dispositivo de protección funciona desconectando al motor en caso de un desbalance de corriente, algunos fabricantes también adicionan la protección de un desbalance de voltaje su funcionamiento utiliza el principio del disco de inducción que cuando se encuentra con campos magnéticos iguales, este se mantendrá en su forma inicial, mientras que si hay una inestabilidad este campo generara un pequeño torque en el disco y su efecto será que se forme un circuito abierto de manera eventual. En la figura 2.12 se muestra un relevador diferencial de uso común marca siemens. Refiérase a [12].



Figura 2.12: Relevador diferencial.

2.4.3 Circuito de Control y Fuerza Tradicional para motores trifásicos.

El fin de este trabajo no es hacer un compendio de los diferentes tipos de arranque que se pueden utilizar por el cual solo se explicara el circuito control básico, comúnmente conocido como arranque directo, arranque a tensión de plena carga etc.

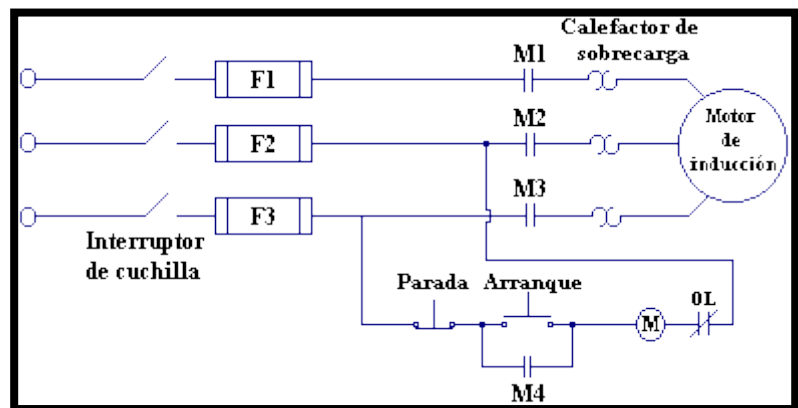


Figura 2.13: Arranque a tensión plena.

En la figura 2.13 se muestra un arranque a plena tensión el cual consta de la alimentación que son tres líneas de poder ya que el motor es trifásico el cual pasa por un interruptor tipo cuchilla y a su vez por los fusible tipos cartucho, el cual están conectador al contactor electromagnético el cual podemos ver su simbología de contactos M1 M2 M3 pasando por los OL que son

elementos de protección y de este a motor de inducción. Para la parte del operario tenemos los pulsadores de Parada y Arranque con sus respectivas protecciones.

En este punto es de explicar que gracias a los avances en la electrónica de potencia se tiene varios dispositivos el cual ayudan al arranque de los motores eléctricos, como por ejemplo los variadores de frecuencia los cuales son muy utilizados en la parte industria I por sus diversas aplicaciones. En la figura 2.14 se tiene un variador de frecuencia marca danfoss. Refiérase a [13].



Figura 2. 14: Variador de frecuencia.

CAPÍTULO 3

3. Descripción del Escenario.

Para realizar la correcta caracterización y análisis del motor de corriente alterna, será necesario diversos elementos de los cuales los más primordiales son:

- Un computador.
- Motor Eléctrico trifásico.
- Generador Monofásico.
- Acoplamiento tipo mandíbula (Matrimonio).
- Banco de Resistencias.
- Motor DC.
- Tarjetas de adquisición (NI-USB 6008 y Arduino Mega).
- Electrónica de control y fuerza.
- Sensores de Corriente de 30 Amperios.
- Transformadores.

3.1 Computador.

Este es el elemento en el cual se ejecutara nuestro programa, encargado de recibir las señales provenientes de las tarjetas de adquisición y procesarlas mediante el software de la National Instrument LabVIEW 2013. En la figura 3.1 se observa la pantalla principal de LabVIEW.

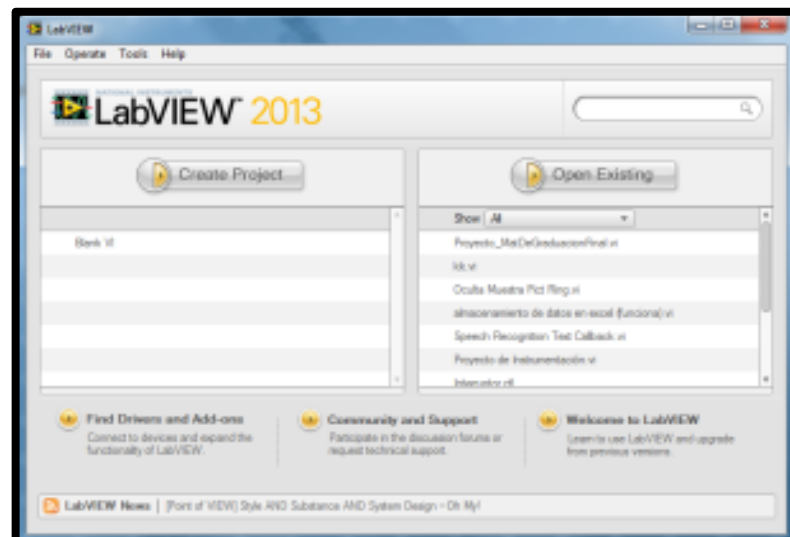


Figura 3. 1: Pantalla inicial de LabVIEW.

3.2 Motor Eléctrico Trifásico.

El motor eléctrico trifásico seleccionado es de propósito general de la marca Marathon Electric el cual estará conectado en Y a un voltaje de 208 voltios y posee los siguientes datos de placa:

Voltaje Nominal	208 – 230 / 460 Volt.
Corriente Nominal	6 – 5.8 / 2.9 Amp.
RPM	1730
Potencia	2 Hp.
Frecuencia	60 Hz.

Figura 3. 2 Datos de placa del motor eléctrico.

3.3 Generador Monofásico.

El generador seleccionado es de marca Honda posee una capacidad nominal de 3,5k vatios con salidas a 115 y 230 voltios a una frecuencia de 60 Hertz.

3.4 Acoplamiento tipo mandíbula.

Es el medio por el cual se realizara el acoplamiento entre el motor eléctrico y el generador, de la marca LoveJoy y está diseñado para motores de una velocidad máxima de 3600 revoluciones por minuto. En la figura 4.4 se tiene el acoplamiento tipo mandíbula utilizado en este proyecto

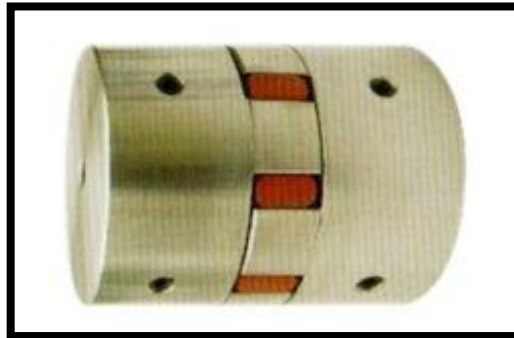


Figura 3. 3: Acoplamiento tipo mandíbula.

3.5 Banco de Resistencias.

Es aquel que se utilizara como carga eléctrica para el generador monofásico, este posee una potencia total de tres mil kilo Watios. En la figura 3.5 se tiene respectivamente la vista superior del banco de resistencia.



Figura 3. 4: Vista superior del banco resistivo MV1100

3.6 Motor DC.

Elaborado por Japan Servo CO.LTD, con un voltaje de 24 Volt DC con una velocidad de 4700 RPM.

3.7 Tarjetas de adquisición.

Elementos de gran importancia, ya que son los encargados de recibir las señales de importancia para el análisis a realizar, estas señales son enviadas al computador donde posteriormente se realiza su procesamiento y muestra de resultados.

Las tarjetas a utilizar son:

- NI-USB 6008.
- Arduino Mega 2560.



Figura 3. 5: NI-USB 6008

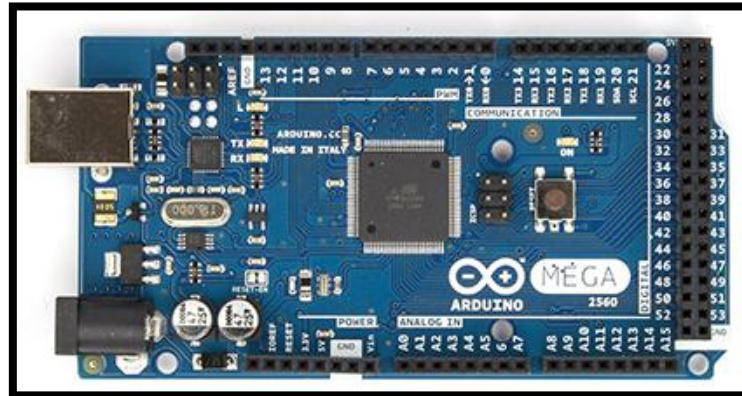


Figura 3. 6: Arduino Mega 2560.

3.8 Electrónica de Control y Fuerza.

Este es el medio por el cual se puede realizar la interacción del programa con la parte de fuerza del sistema, con la electrónica respectiva y las protecciones debidas.

3.9 Sensores de Corriente.

Basado en el integrado ACS712 de la marca Allegro es capaz de medir hasta 30 Amperios, produce en su salida una tensión lineal proporcional a la corriente que atraviesa sus pines de medición.

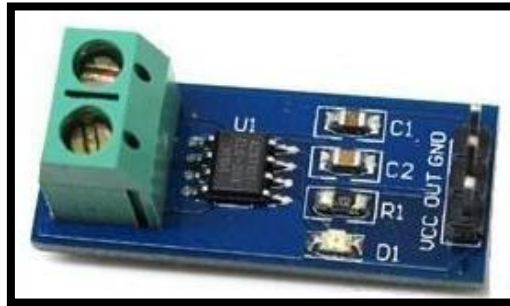


Figura 3. 7: Sensor de corriente Arduino.

3.10 Transformadores.

Estos poseen una capacidad del primario para receptor 110-220 Voltios y entregarnos 12 Voltios en el secundario con una corriente máxima de 500 mA.

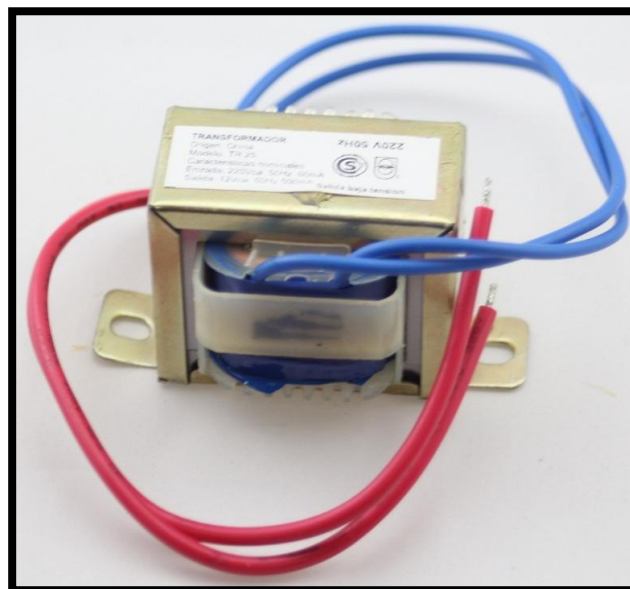


Figura 3. 8: Transformadores de 220V a 12V 500mA.

3.11 Funcionamiento.

Habiendo conocido los elementos primordiales a utilizar nos es necesario conocer como en conjunto estos actúan y esto se desarrolla de la siguiente manera.

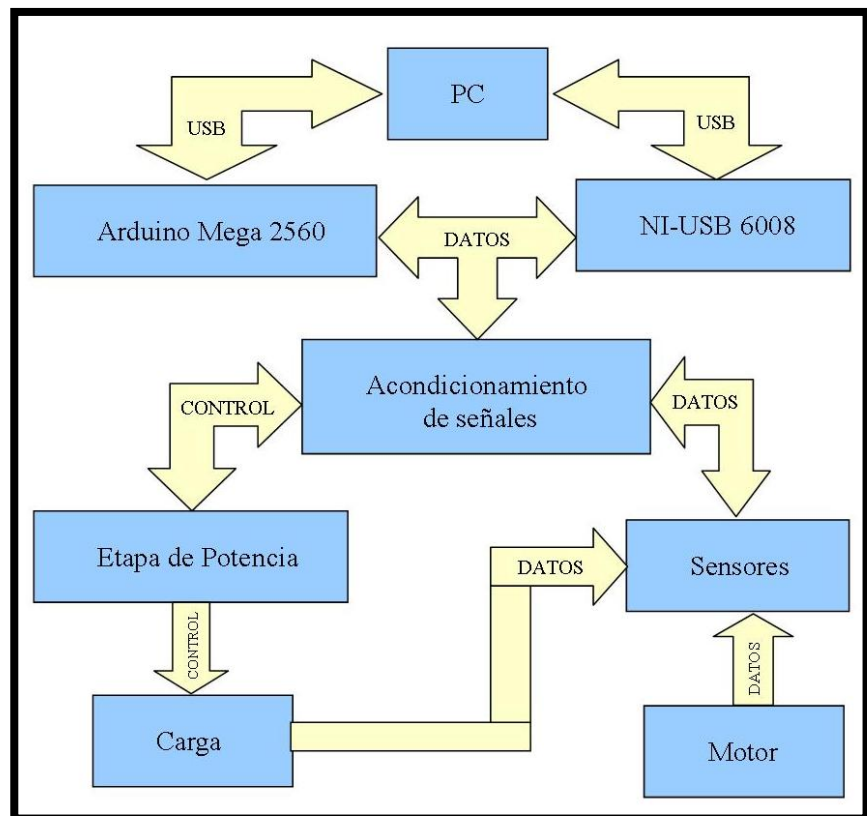


Figura 3. 9: Diagrama de bloques secuencial.

Dada la orden de arranque mediante el programa ya desarrollado logramos que el motor trifásico inicie su marcha, en ese instante las tarjetas de adquisición proceden a obtener las señales de análisis, voltaje del motor, corriente del motor, corriente de la carga y velocidad del motor, la velocidad del

motor es determinada por el voltaje que se genera en el pequeño motor DC que estará acoplado mediante una banda dentada.

Sabiendo que el motor se encuentra girando y al estar este acoplado al generador logramos obtener una diferencia de potencial en los terminales de salida del generador.

Para obtener el modulador de carga variable es indispensable el generador, la carga eléctrica y una electrónica de control y fuerza, mediante los cuales con un control de PWM logramos ingresar o retirar la carga resistiva a los terminales del generador, mediante esto logramos frenar el eje del generador y al estar acoplado al motor emulamos una carga puesta al motor, mientras más carga se le aplique al generador mayor será la fuerza que se aplica al eje lo que implicara un aumento de corriente del motor y una disminución de su velocidad En la figura 3.11 se representa los componentes utilizados en el proyecto.

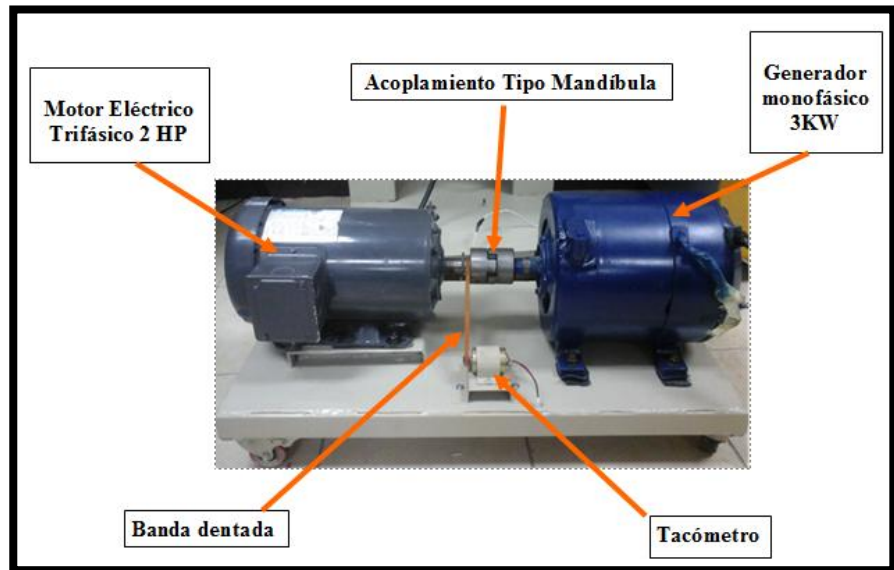


Figura 3. 10: vista real del proyecto.

CAPÍTULO 4

4. Programación y configuración del entorno de trabajo.

El entorno de trabajo a utilizar es el software de la National Instruments LabVIEW 2013, en el cual se podrá visualizar aquellas variables de suma importancia para el control y monitoreo del motor de corriente alterna. Para poder obtener las diferentes variables a analizar y controlar el sistema.

4.1 Configuración de hardware.

En este capítulo se explicara como configurar el software y hardware utilizado en este proyecto, el cual se detalla paso a paso cada unas de la configuración de los elementos de adquisición de datos así como el software utilizado.

4.1.1 Tarjeta de adquisición de datos USB NI-6008

Para poder iniciar la configuración nos es necesario seleccionar los tipos de entradas y salidas a usar, sean

estas de tipo analógica o digital. En la figura 4.1 tenemos la pantalla inicial de configuración de los puertos de entrada y salida de la tarjeta DAQ.

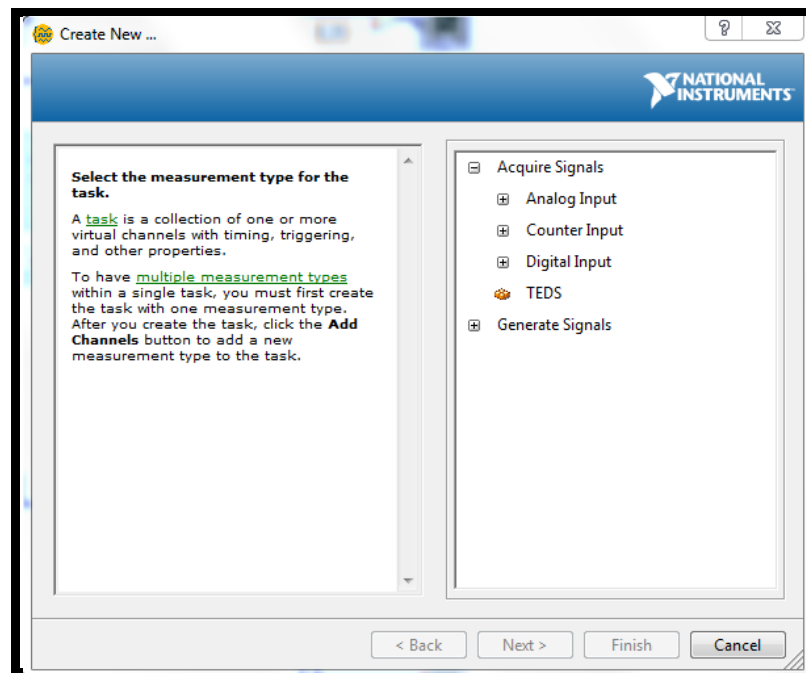


Figura 4. 1: Tipos de entradas disponibles en NI-USB 6008.

Después de seleccionar las entradas a utilizar nos es necesario proceder a seleccionar los canales físicos disponibles a uso de la tarjeta, sean estos analógicos o digitales. En la figura 4.2 tenemos las entradas analógicas de la DAQ que va desde ai0 hasta ai7.

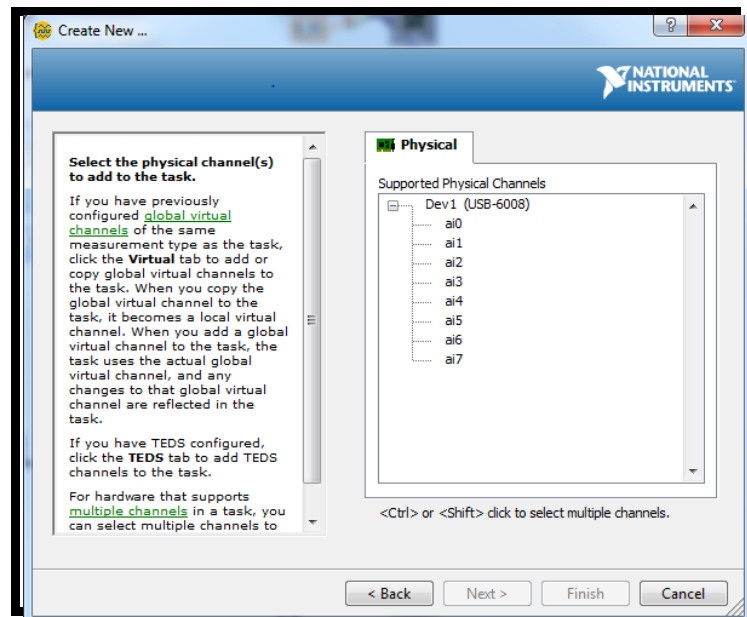


Figura 4. 2: Canales físicos analógicos.

En la figura 4.3 se tiene la pantalla inicial de los puertos digitales los cuales no serán utilizados en el desarrollo de este proyecto.

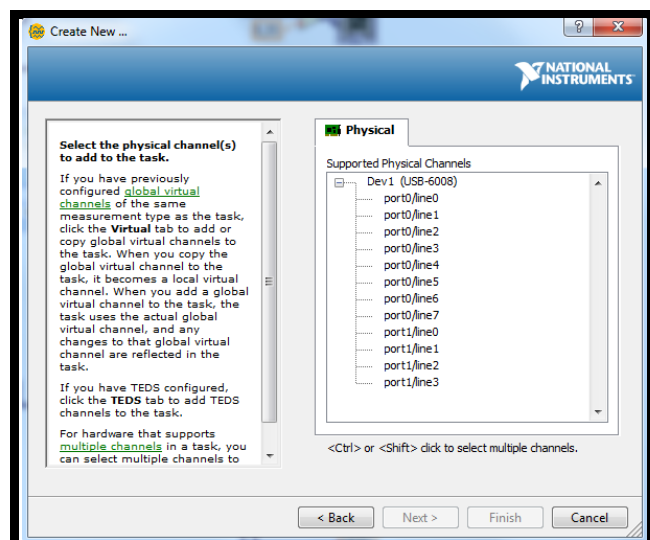


Figura 4. 3: Canales físicos digitales.

Finalmente seleccionamos el modo de adquisición, el número de muestras a obtener. Esto se puede observar en la figura 4.4 el cual tenemos las opciones que necesitamos para la adquisición de datos.

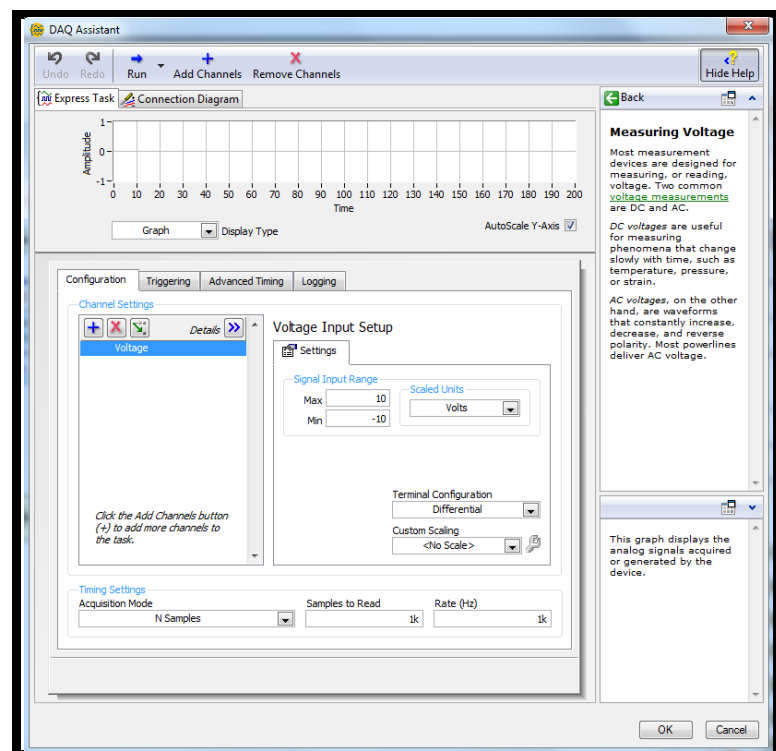


Figura 4. 4: DAQ Assistant, modo de adquisición.

4.1.2 Tarjeta Arduino Mega 2560.

Para una correcta configuración de esta tarjeta, Arduino y LabVIEW es necesario obtener la interface de Arduino para LabVIEW. Esta es obtenida mediante el Vi Package Manager en cual viene incluido al momento de

instalar LabVIEW en el computador. En ella procedemos en el área de búsqueda y esta nos mostrara y permitirá descargar la interface que necesitamos, tal como se puede observar en la figura4.5.

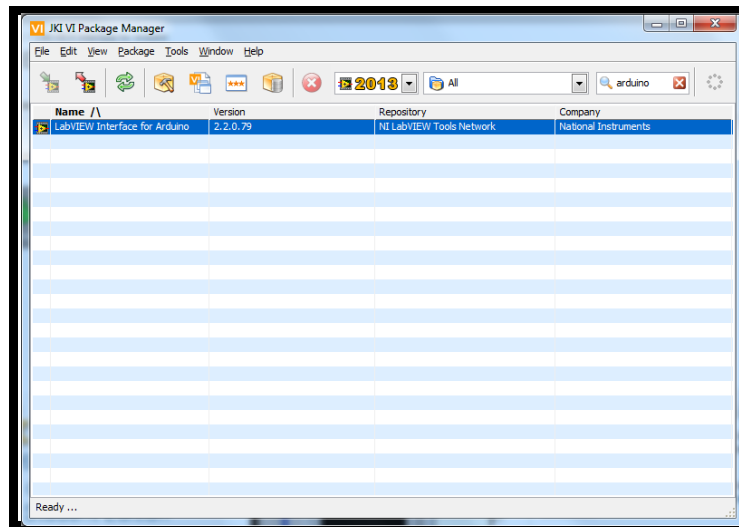


Figura 4. 5: Vi Package Manager.

Una vez obtenido el interfaz para Arduino, se procede a cargar el archivo mediante el IDE de Arduino el archivo Lifa_Base, con el cual se completa la configuración del enlace del Arduino con LabVIEW.en la figura 4.6 se observa la pantalla inicial del IDE de Arduino.

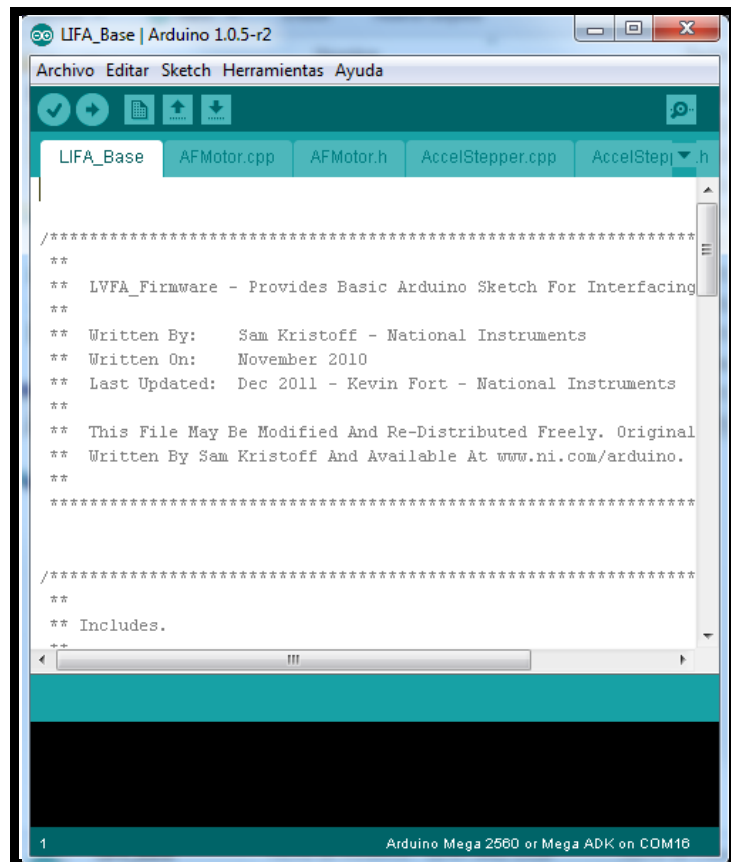


Figura 4. 6: IDE Arduino.

4.1.3 Electrónica de acondicionamiento de señales.

Para la realización del proyecto fue de vital importancia el uso de la electrónica, ya que este fue el medio que permitió acondicionar señales y también garantizar la protección de los elementos más sensibles a daños tales como el computador.

El voltaje utilizado para el motor es de 208 Volt de línea a línea, lo que nos daría 120 Volt de línea a neutro, sin embargo esta magnitud no es soportada por la NI-USB 6008 por lo que fue necesario hacer uso de transformadores de 110-220 / 12 Voltios, estos 12 voltios mediante un arreglo de resistencias en serie de 10k ohm entregándonos así una señal con un pico máximo de 2.8 voltios.

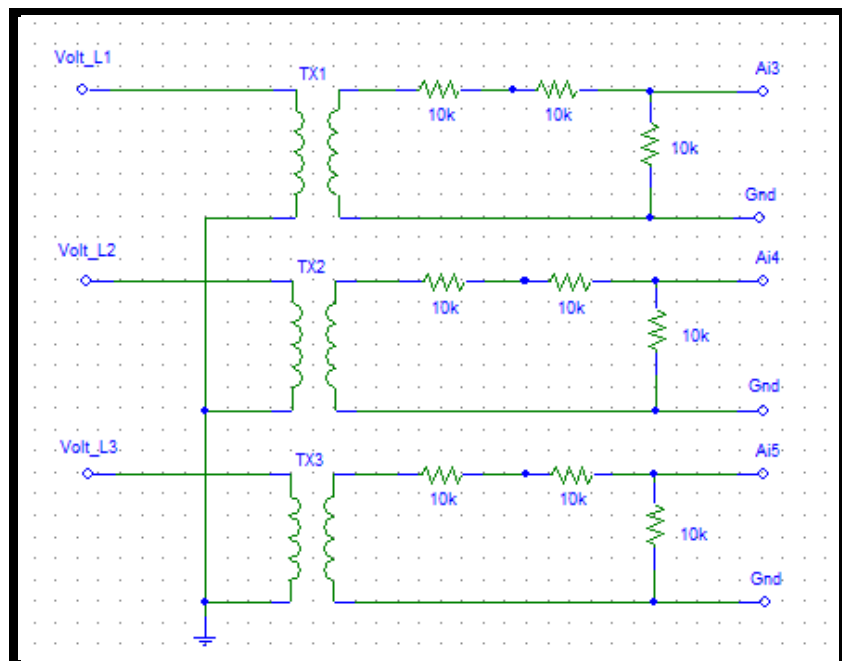


Figura 4. 7: acondicionamiento de la señales de voltaje.

Para el freno eléctrico se procede a tomar el voltaje generado y llevarlo a un puente rectificador de onda completa, la salida del rectificador va a un condensador de 500uF y este en paralelo tiene conectado en serie un

transistor de potencia (2sk2148) y la carga resistiva. Cabe recordar que es mediante el transistor de potencia que se realizará el control PWM de la carga.

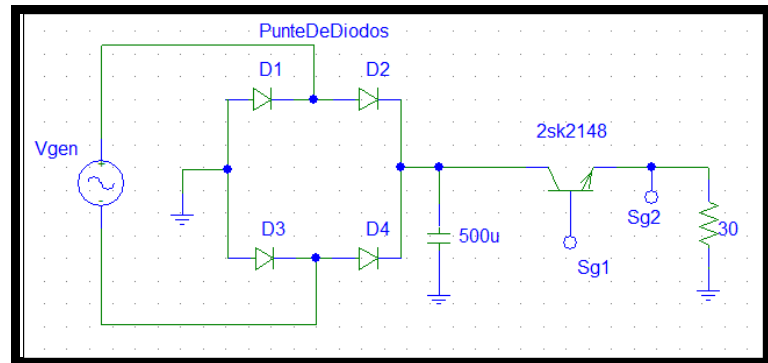


Figura 4. 8: Circuito de fuerza para el emulador de carga.

Para poder realizar el control del transistor de potencia nos es necesario aislar el control de la fuerza, para ello mediante un optoaislador (4N35) logramos separar los pulsos provenientes del Arduino y generarlos para el transistor.

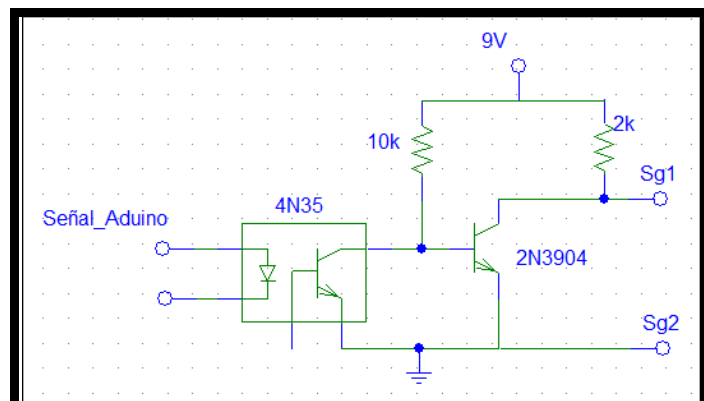


Figura 4. 9: Circuito de disparo para el transistor de potencia 2sk2148.

4.2 Configuración de software.

En esta parte se procederá a configurar el software LabVIEW con la base de datos ya que esto dependerá del tipo de información que se desee almacenar.

4.2.1. Conexión lab VIEW con Microsoft Access.

Para la configuración de la conexión con la base de datos nos es necesario tener previamente una, para nuestro caso creamos una base de datos en Microsoft Access. Teniendo ya este requisito vamos al entorno de LabVIEW en la barra de herramientas damos clic en Tools, Create Data Link. Después seleccionamos el proveedor Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider. Una vez ya realizado este paso procedemos a buscar la ubicación de la base de datos y finalmente guardamos el enlace de conexión. Ver figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13

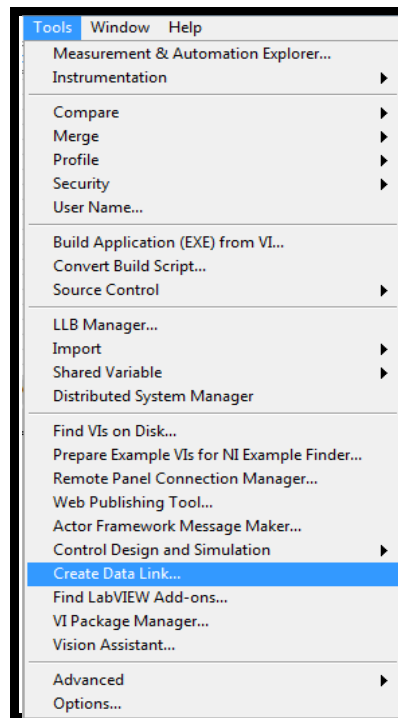


Figura 4. 10: Configuración del enlace con la base de datos

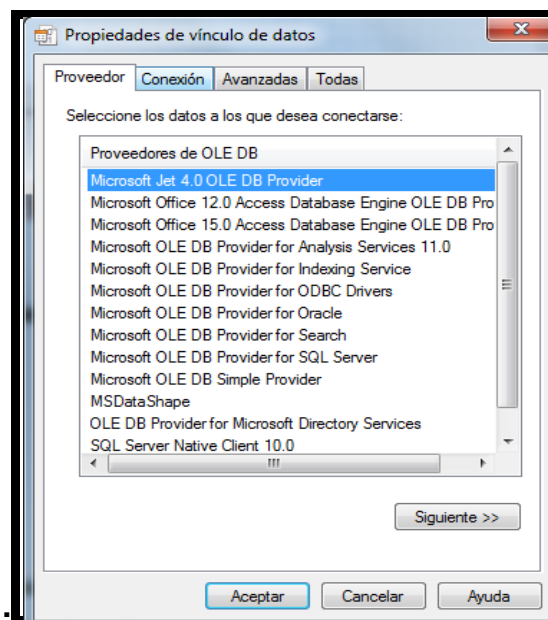


Figura 4. 11: Selección de proveedor para base de datos.

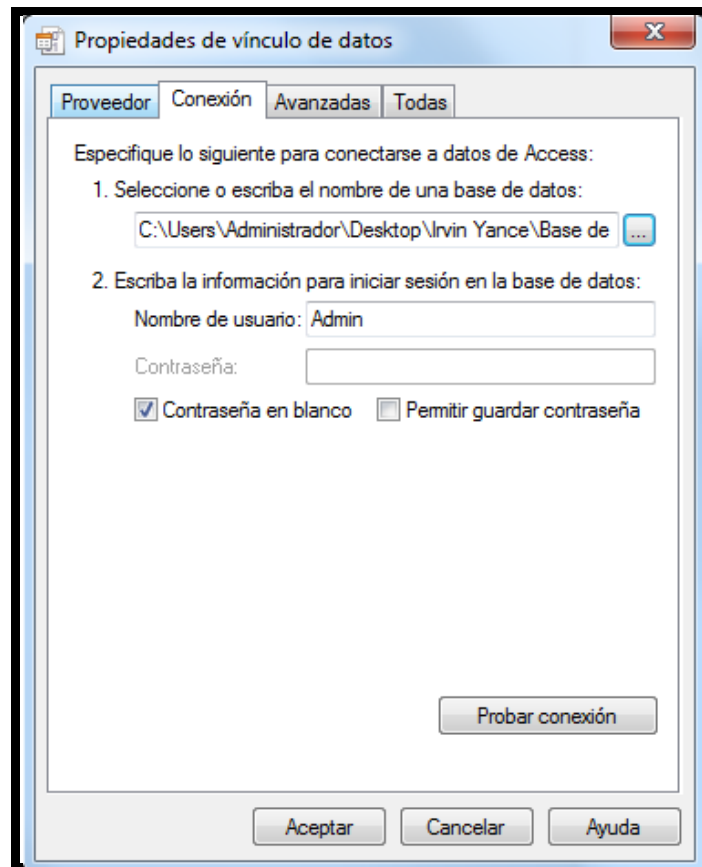


Figura 4. 12: Selección de base de datos a utilizar.



Figura 4. 13: Base de datos seleccionada junto al enlace de conexión.

4.3 Descripción del Programa.

El programa inicia con la adquisición de los datos provenientes de la NI USB 6008, de esta obtenemos 7 señales analógicas de las cuales las 3 primeras son señales de corriente de las líneas 1, 2 y 3 respectivamente, las 3 siguientes señales corresponden a las de voltaje de línea a neutro y finalmente la última señal es la señal de corriente de la carga usada para el freno eléctrico. Ver figura 4.14

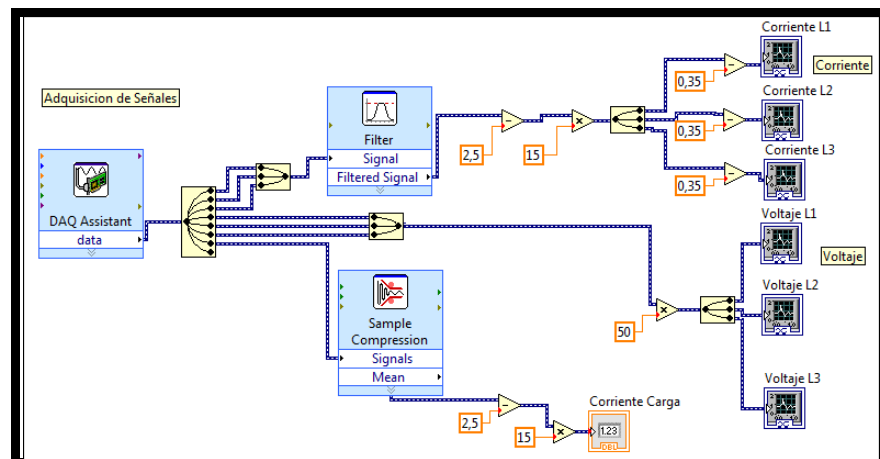


Figura 4. 14: Adquisición de señales de voltaje y corriente.

Las señales que se obtienen son filtradas y acondicionadas excepto las de voltajes las cuales pasan integras al programa.

Cada señal adquirida pasa por obtención de una ganancia y esta es para voltaje 50 y 15 para las de corriente, a su vez las señales de corriente obtienen una variación en su set point, esto se lo realiza porque el sensor de corriente está diseñado para que en cero amperios su valor a la salida sea 2.5 voltios.

4.3.1 Obtención de valores RMS.

De las señales que se obtienen se procede a obtener su valor RMS, a través del bloque que tiene la librería en LabVIEW, Amplitude Level Measurements en la opción de RMS para que este calcule sus respectivos valores en voltaje y corriente. Como se observa en la figura 4.15

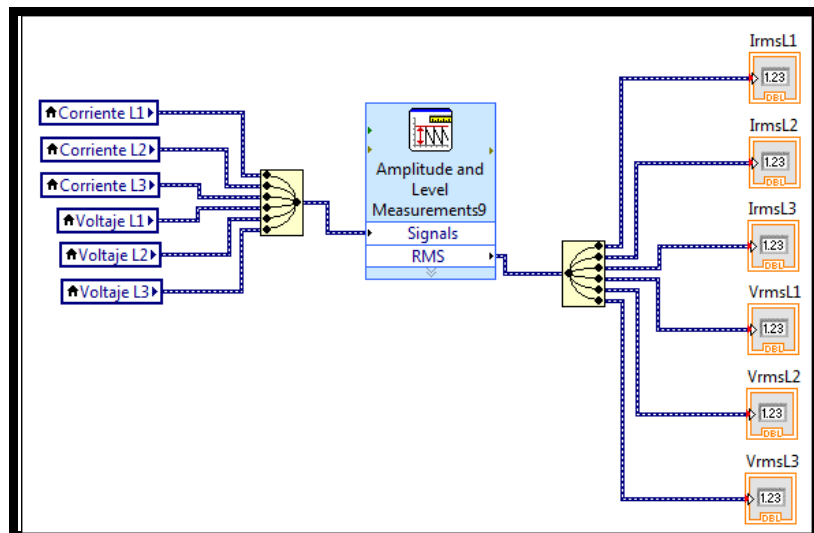


Figura 4. 15: Obtención de valores RMS de voltaje y corriente.

4.3.2 Estados de alarmas.

Esta etapa del programa estos valores son usados para las respectivas validaciones en la escritura de la base de datos y para indicar si las variables en cuestión se encuentran dentro de los rangos adecuados de operación.

Utilizando las variables RMS obtenidas procedemos a monitorear si nuestros valores de voltaje y corriente están en buen estado "Ok" o se encuentran en estado de "Alarma", estos estados serán utilizados posteriormente para la escritura en la base de datos. El rango para el cual se considere en un buen estado son entre 2 y 5,5 amperios para la corriente y entre 110 y 130 para el voltaje. Ver figura 4.16 y figura 4.17.

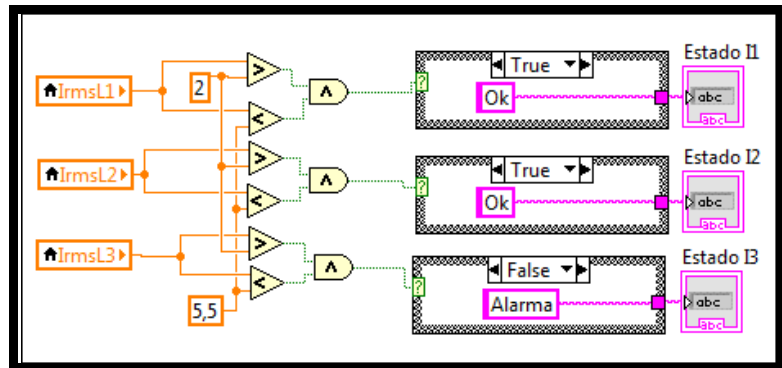


Figura 4. 16: Rango de funcionamiento de corriente.

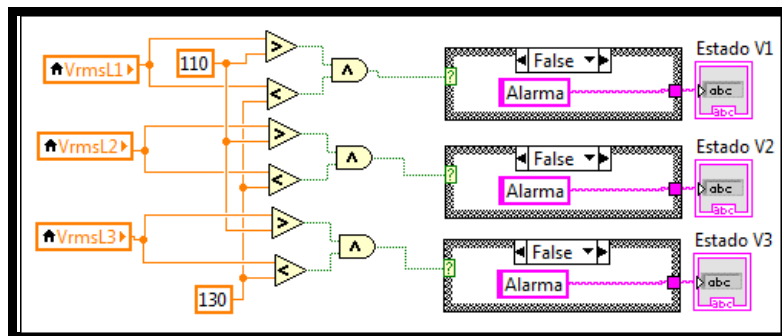


Figura 4. 17: Rango de funcionamiento de voltaje.

4.3.3 Registro de datos.

Para la escritura en la base de datos se necesita la conexión que se explico en la configuración de software, obtener los valores o estados a escribir y condiciones de falla. Estas condiciones de falla son:

- Corriente excediendo los 5,5 amperios.
- Voltaje excediendo los 130 voltios.
- Perdida de una o más fases del sistema.

Dada una o más de estas condiciones se procederá a reportar el elemento en cuestión junto con su valor RMS, estado y la fecha y hora en la que ocurra. En la figura 4.18 se observa la pantalla inicial de la programación de la bases de datos.

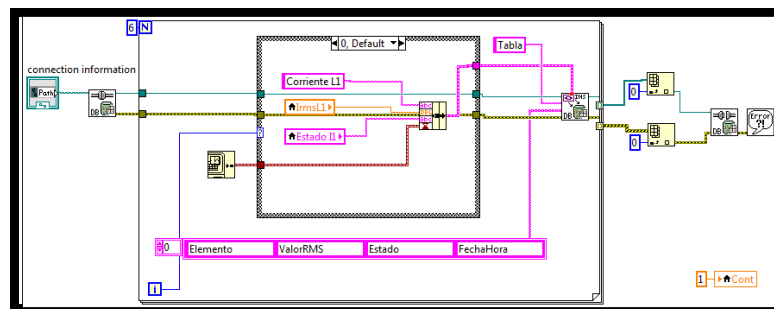


Figura 4. 18: Ingreso de los valores a bases de datos.

La información que ingresa a la base de datos se la realiza mediante un lazo for, el cual mediante iteraciones escribe una línea a la vez, siendo así seis líneas por escribir.

Para evitar una escritura constante en la base de datos se utiliza una variable de control "Cont" la cual al tener un valor de cero permite que la información ingrese a la base de datos, pero una vez ingresada su valor cambia a uno y se mantendrá así hasta que los valores de corriente no vuelvan a ser menores a 0,5 amperios. Ver en la figura 4.19.

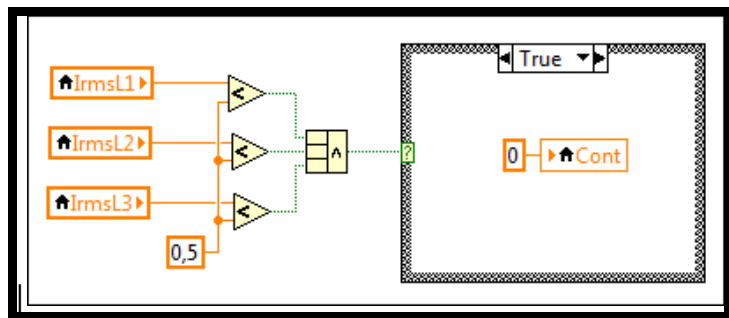


Figura 4. 19: Condicionamiento para valor de cero del contador.

4.3.4 Desfase de tensión y corriente.

Para hallar el desfase se toma como referencia la línea 1, siendo esta la que está a cero grados se procede a restar la fase de la línea 2 menos la fase de la línea 1 para lograr obtener el desfase entre ellas, de igual forma se procede con la línea 3.

Para calcular el desfase de las corrientes se procede de forma similar, restando la fase de voltaje menos la fase de corriente y a este resultado procedemos a calcular su posición con respecto a la referencia. En la figura 4.20 se tiene la programación en bloques para obtención del desfase entre el voltaje y la corriente.

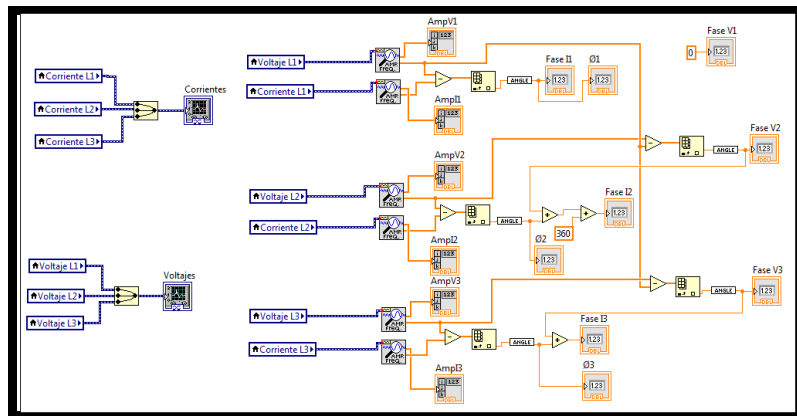


Figura 4. 20: Obtención de desfase de voltaje y corriente.

Para poder realizar la gráfica de las fases es necesario convertir la amplitud y la fase de la señal a polar para luego esta ser graficada de forma compleja, este procedimiento se lo realiza para todas las señales de voltaje y corriente del motor. Ver en la figura 4.21 y figura 4.22.

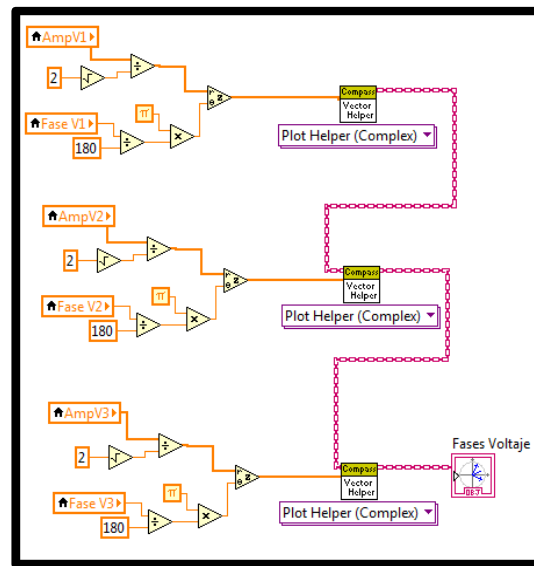


Figura 4. 21: Determinación de fase de voltaje.

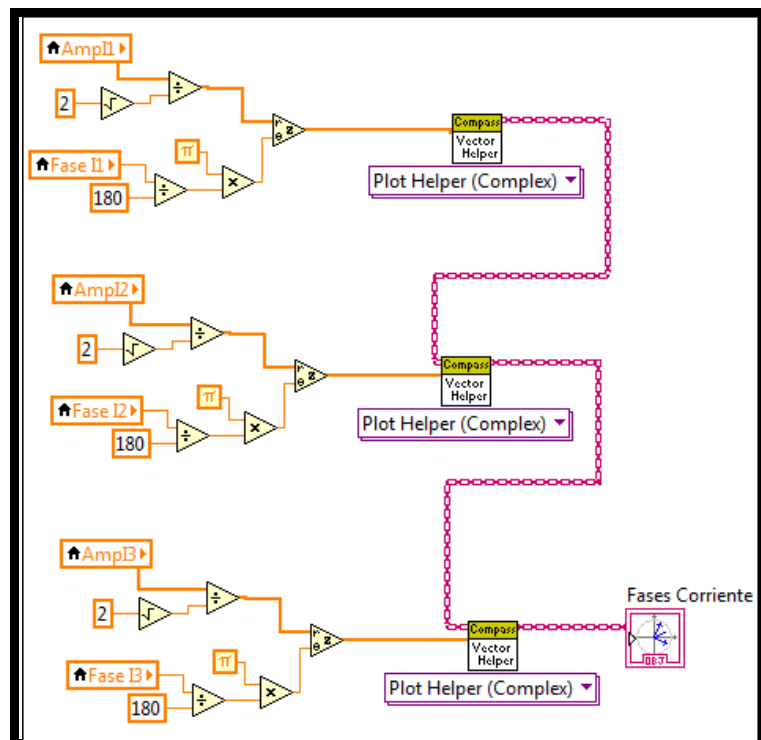


Figura 4. 22: Determinación de fases de corrientes.

Luego de obtener los valores de desfase correspondientes de voltaje y corriente, se procede con estos valores a calcular la potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia de cada línea, que se explica en el siguiente ítem.

4.3.5 Cálculo de potencias.

Para calcular potencia activa multiplicamos los valores de voltaje, corriente y factor de potencia, el factor de potencia lo obtenemos del coseno del ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente, la potencia aparente la determinamos mediante la multiplicación de voltaje y corriente, finalmente para la potencia reactiva multiplicamos la potencia aparente por el seno del ángulo de desfase de voltaje y corriente, tal como se muestra en la figuras 4.23; 4.24; 4.25.

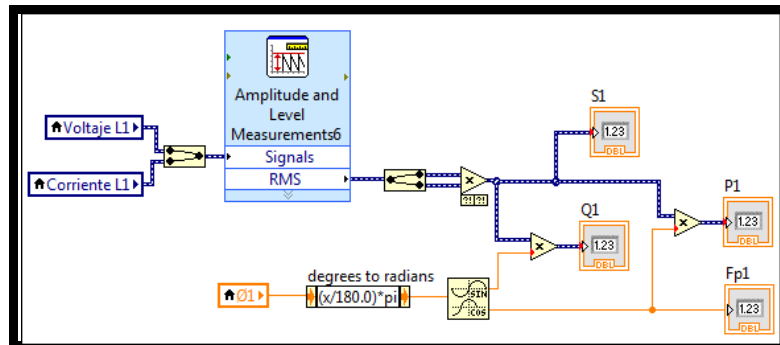


Figura 4. 23: Cálculo de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia para la línea 1 (L1).

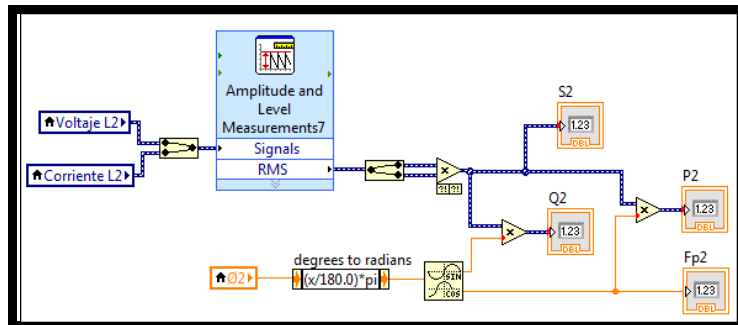


Figura 4. 24: Cálculo de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia para la línea (L2).

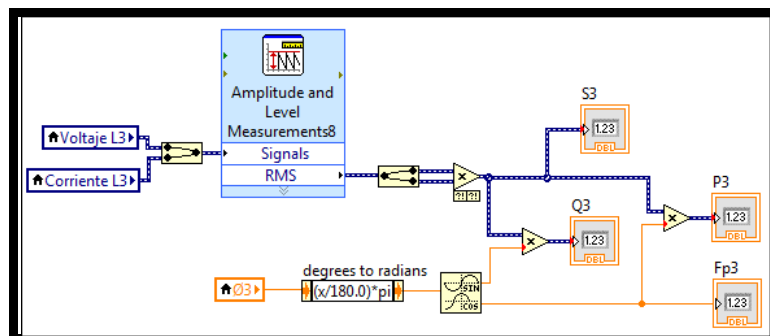


Figura 4. 25: Cálculo de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia para la línea 3 (L3).

Finalmente procedemos a sumar los respectivos valores de potencia de cada una de las líneas para obtener la potencia activa, reactiva y aparente total, como se indica en la figura 4.21.

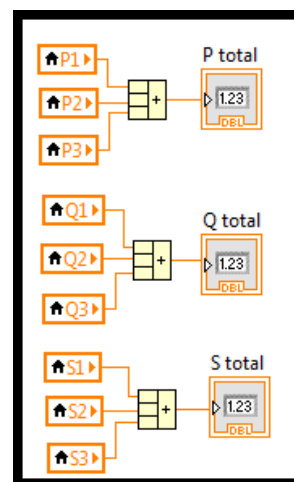


Figura 4. 26: Cálculo de la potencia total, activa, reactiva y aparente.

4.3.6 Control de carga variable.

Para poder realizar el control de la carga variable hacemos uso de la tarjeta Arduino Mega, con la cual mediante su salida de PWM se controla el porcentaje de la carga mediante el cual podremos frenar al motor. La figura 4.27 muestra el duty cycle de la tarjeta Arduino

mega y los diferentes anchos de pulsos que se puede obtener variando el porcentaje de carga.

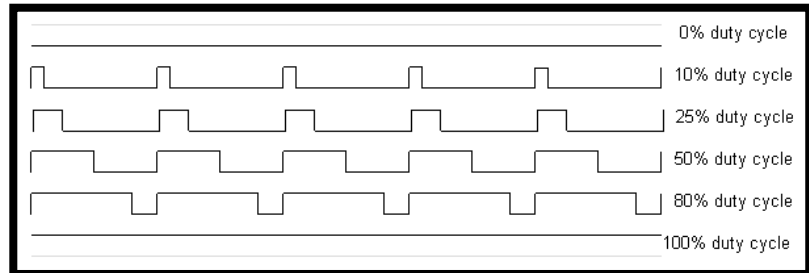


Figura 4. 27: Duty Cycles para el PWM

En la figura 4.28 se muestra la configuración del PWM en LabVIEW, compuesto de un bloque IF que permitirá un nivel de seguridad antes de activar el freno eléctrico.

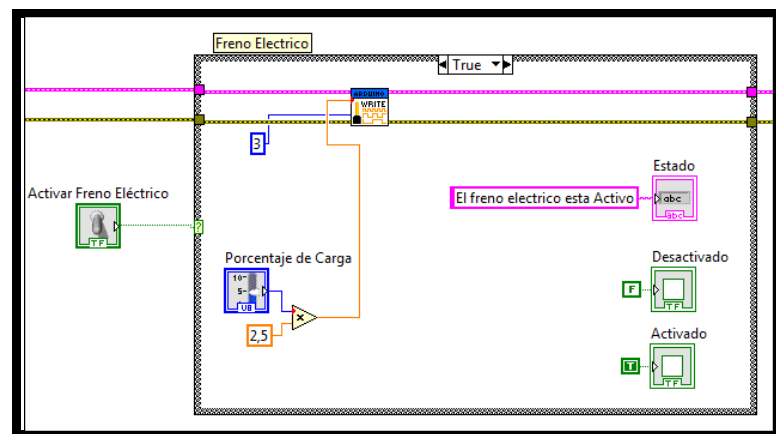


Figura 4. 28: Configuración de PWM en Arduino.

4.3.7 Parámetros de la carga.

Es de importancia en esta etapa obtener la potencia de la carga, el torque eléctrico y la velocidad que tiene nuestro motor. en la figura 4.29 se tiene la programación para hallar el torque.

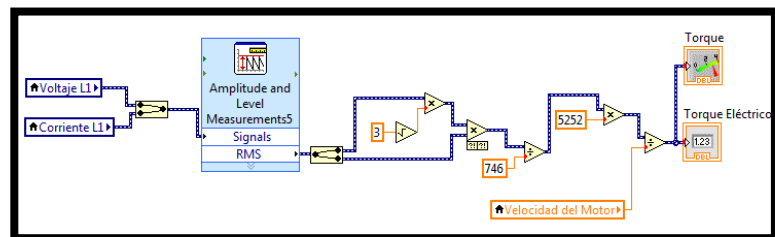


Figura 4. 29: Obtención del torque eléctrico del motor.

Para obtener la carga aplicada al motor se hace el uso de la lectura de corriente que proviene del sensor de corriente, esta señal de corriente es de tipo DC, por lo que se procede a elevarla al cuadrado y multiplicarla por el valor de la resistencia (30 ohm). Para calcular el voltaje de la carga hacemos uso de la ley de ohm $V=I \cdot R$ por lo que solo procedemos a multiplicar el valor de la corriente por la resistencia, respectivamente mostrado en la figura 4.30.

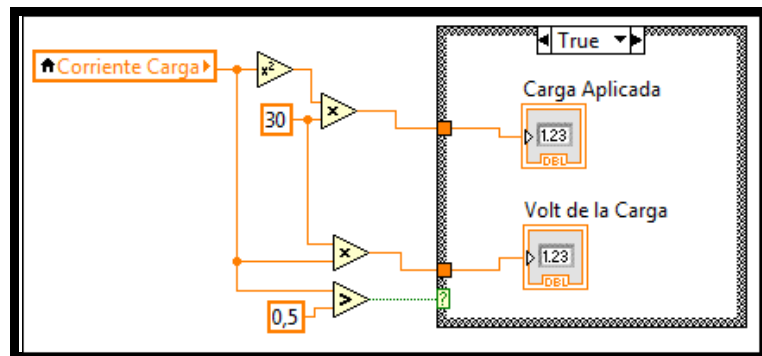


Figura 4. 30: Voltaje de la carga.

CAPÍTULO 5

5. Escenarios de Validación.

En este capítulo se mostrara los resultados obtenidos durante las pruebas para el cual se procedió a tener dos escenarios uno con arranque directo y el otro utilizando un variador de frecuencia. Para este tipo de prueba se adiciono un freno eléctrico descrito anteriormente, con esto podemos ver la variación de los diferentes parámetros estudiados en este caso.

5.1 Primer escenario con variador de frecuencia en vacio.

Para estas pruebas se utiliza un variador de frecuencia AF-60 de manera que se lo utiliza para el arranque, este consta de un potenciómetro el cual podemos variar la frecuencia a la que

nosotros deseemos. A continuación se mostrara las graficas de voltaje y corriente en cada unas de las fases, de acuerdo a la programación que se realizo en LabVIEW.

En la figura 5.1 podemos observar los valores y forma de onda del voltaje y la corriente con sus respectivos valores de pico como su valor RMS, como su valor de frecuencia en la línea.

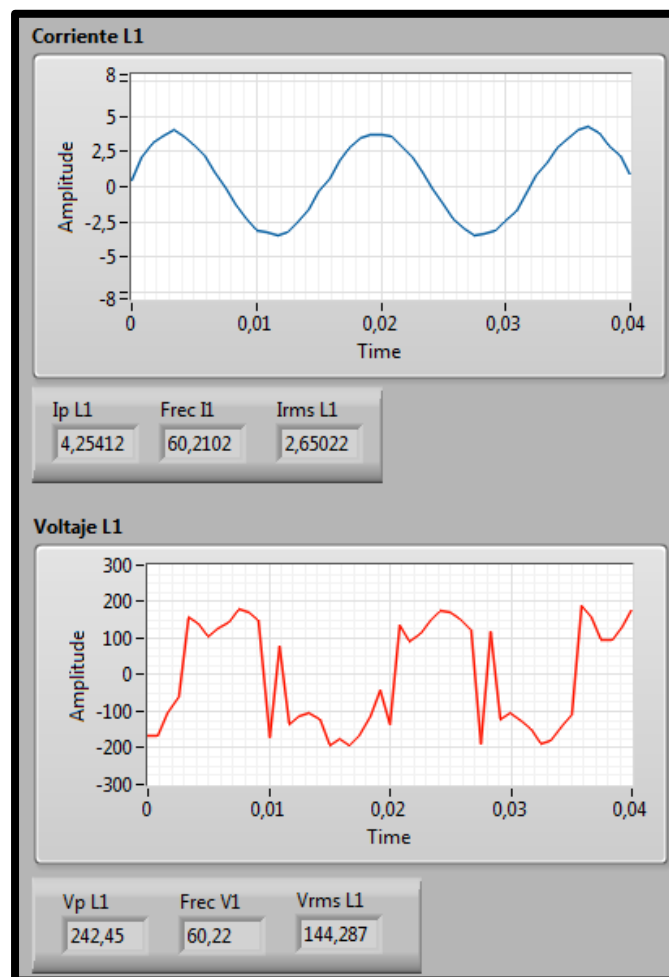


Figura 5. 1: Valores de frecuencia, pico y RMS más la graficas de voltaje y corriente de línea 1 (L1).

En este análisis, la forma de onda del voltaje toma la forma de cuadrada ya que se está tomando la lectura de datos a la salida del variador de frecuencia, es decir se está visualizando lo que le está llegando al motor eléctrico, en la figura 5.2 se visualiza los valores y forma de onda en la línea 2.

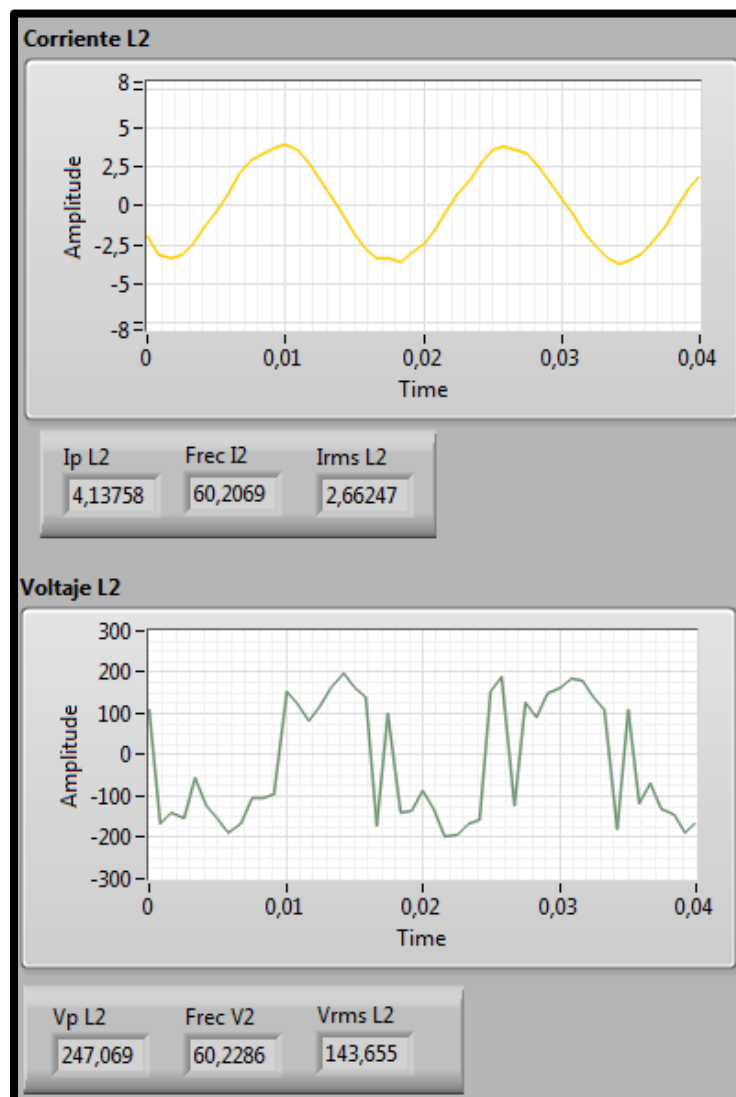


Figura 5. 2: Valores de frecuencia, pico y RMS más la grafica de voltaje y corriente en la línea 2 (L2).

Se realizó la medición en las tres líneas de poder con las cuales se puede observar, una similitud en sus formas y valores. En la figura 5.3 se puede ver claramente su similitud con las figuras anteriores en los cuales se muestra los valores y formas de onda en las fases anteriores.

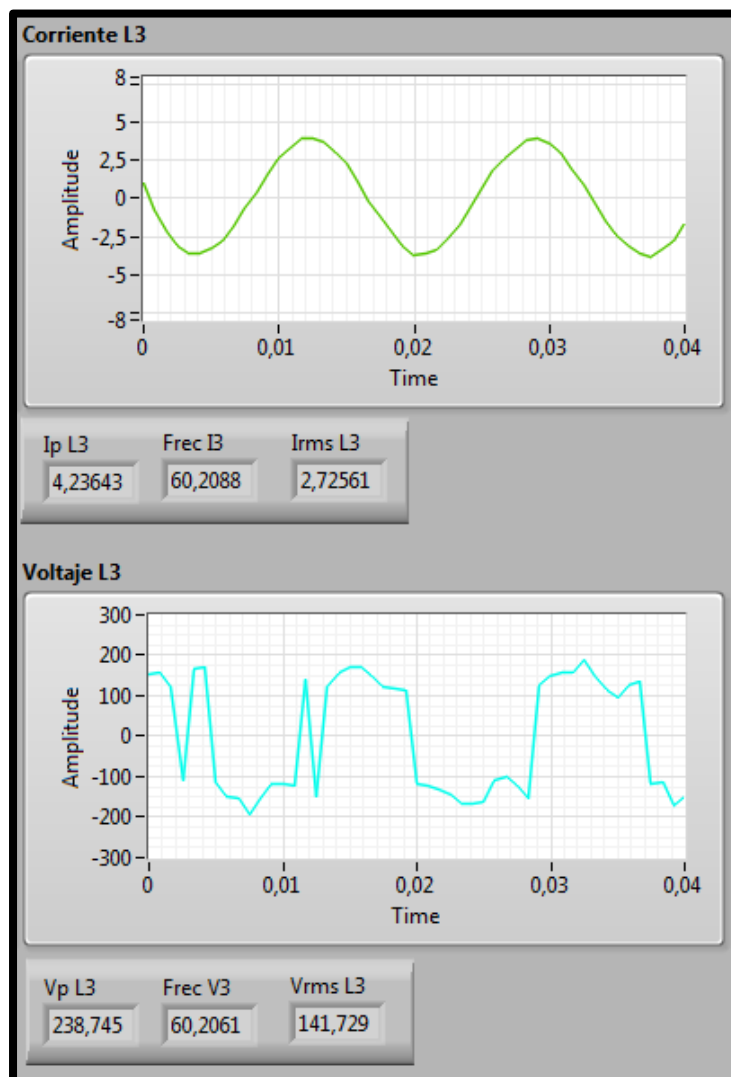


Figura 5. 3: Valores de frecuencia, pico y RMS más la graficas de voltaje y corriente en la línea 3 (L3).

En esta parte se procede a tomar de datos del torque eléctrico de acuerdo a las definiciones previamente desarrolladas a lo largo de este proyecto, además también se observa la lectura de la velocidad, que es un dato importante en esta parte del análisis tal como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5. 4: valores del torque eléctrico y velocidad del motor (variador sin carga).

En la siguiente figura 5.5, se tiene los diagramas fasoriales del voltaje, los cuales podemos ver que las tres fase de voltaje se grafican con diferentes colores, el color para la fase 1 será azul, para la fase 2 será amarillo, mientras que para la fase tres será rojo. También se muestra los valores en grados de cada uno de ellos siendo estos para la fase V1; 0 grados, para la fase V2; -113

grados y para la fase V3; 122 grados. De igual forma tenemos los diagramas fasoriales de la corriente, cabe recordar un principio básico eléctrico sobre las cargas resistivas. Inductivas y capacitivas, que dicen, que una carga inductiva la corriente atrasa al voltaje en 90 grados, pero como tenemos un motor eléctrico este tiene bobinas las cuales consta más de parte inductiva que parte resistiva, por lo que los fasores de acuerdo a este principio los ángulos tenderán a estar próximos a 90 grados en atraso con respecto al voltaje

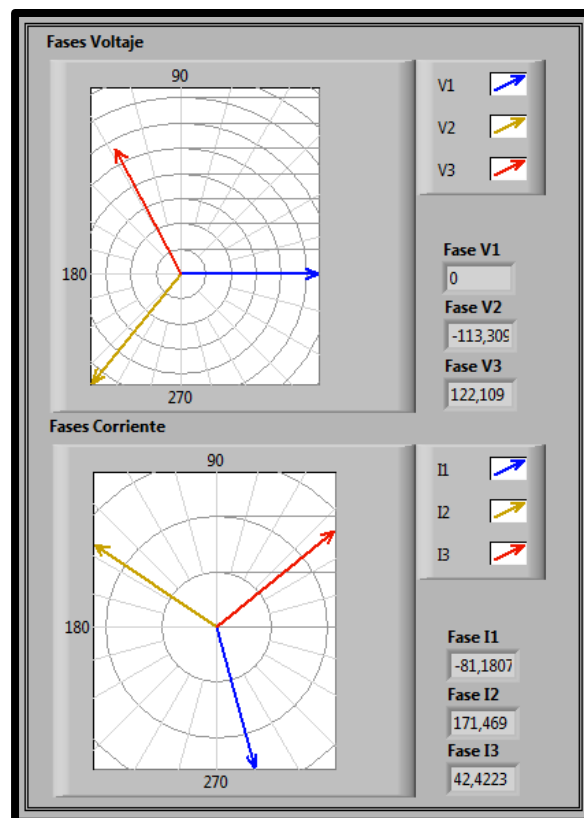


Figura 5. 5: Diagrama fasorial del voltaje y corriente (Variador sin carga).

En la figura 5.6 se muestra los valores de las potencias Activa, Reactiva y Aparente las cuales en primera estancia se observa las potencias totales y luego las individuales con su respectivo factor de potencia y ángulo entre el voltaje y la corriente.

P total	S total	Q total
204,289	1143,08	-1122,6€
W	VA	VAR
P1		
52,6638	W	Ø1
		-74,118
S1		
373,908	VA	Fp1
		0,140847
Q1		
-370,181	VAR	
P2		
43,7487	W	Ø2
		-85,2384
S2		
381,266	VA	Fp2
		0,11474€
Q2		
-378,747	VAR	
P3		
44,8187	W	Ø3
		-76,0722
S3		
386,534	VA	Fp3
		0,11595
Q3		
-383,92€	VAR	

Figura 5. 6: Valores de la potencia activa, reactiva, y aparente con su respectivo factor de potencia (variador sin carga).

5.2 Segundo escenario con variador de frecuencia con carga.

Para esto al motor eléctrico se le coloca la parte del emulador de carga la cual consta de un generador, un banco de resistencia acoplados al eje con matrimonio (acoplamiento tipo mandíbula) tal como se explica en capítulos anteriores, el banco de resistencia está calculado para que de tal forma la corriente no sobrepase su valor máximo que es de 6 A, en esto damos el arranque al motor y observamos como los valores de la corriente en la figura aumenta de 2.7 A en vacío a 5.61 A cuando se le coloca la carga. Tal como se muestra en la figura 5.7 que es donde se hace el análisis para la fase L1 tanto el voltaje como la corriente con su respectiva forma de onda.

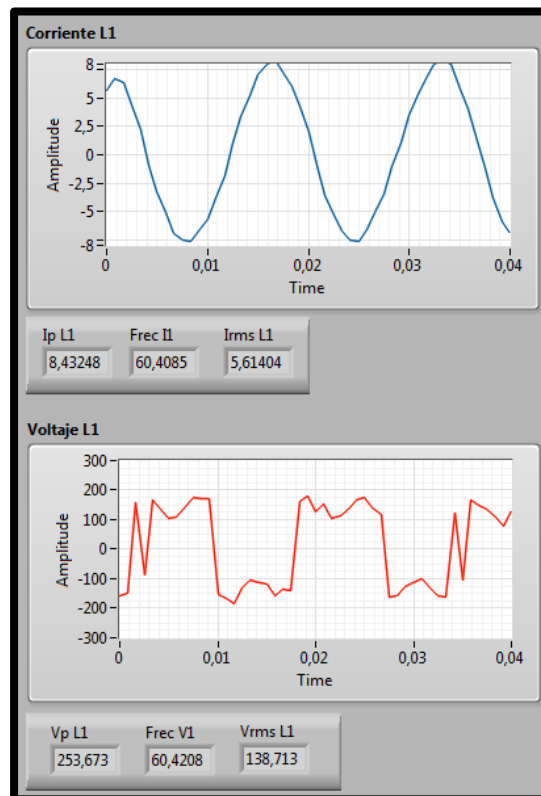


Figura 5. 7: Visualización de voltaje y corriente en L1 (variador más carga del sistema).

En la figura 5.8 se observa el comportamiento de la línea 2, tanto como sus parámetros de voltaje y corriente, y tal como en la figura 5.7, el valor de la corriente aumento por la carga del sistema que se le aplica al motor.

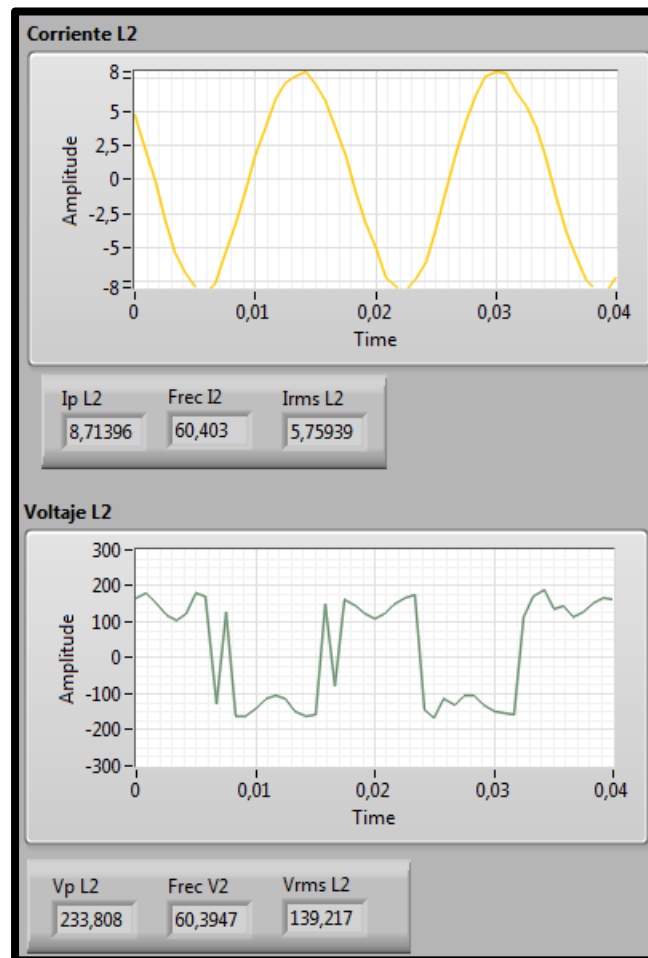


Figura 5. 8: Visualización de voltaje y corriente en L2 (variador más carga del sistema).

En la figura 5.9 se muestra la fase L3 con sus respectivas formas de onda y valores de voltaje y corriente, teniendo así una similitud entre formas y valores de voltaje y corriente.

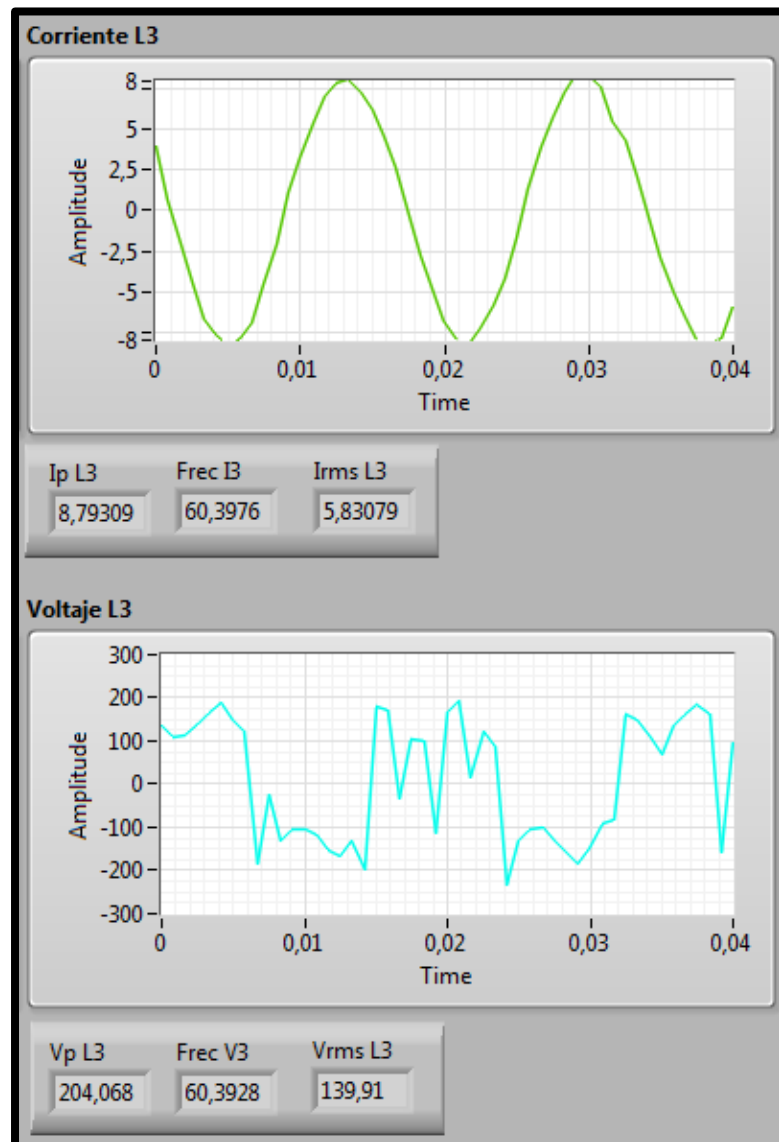


Figura 5. 9: Visualización de voltaje y corriente en L3 (variador más carga del sistema).

En la figura 5.10 se muestra los valores de la carga aplicada más su corriente y potencia es decir valores que se encuentra en el emulador de carga variable, mientras que el valor del torque

eléctrico y su velocidad disminuye, cumpliendo el principio que ha mayor torque eléctrico su velocidad disminuye. En la figura 5.11 se muestra la velocidad y el torque eléctrico en una forma grafica.

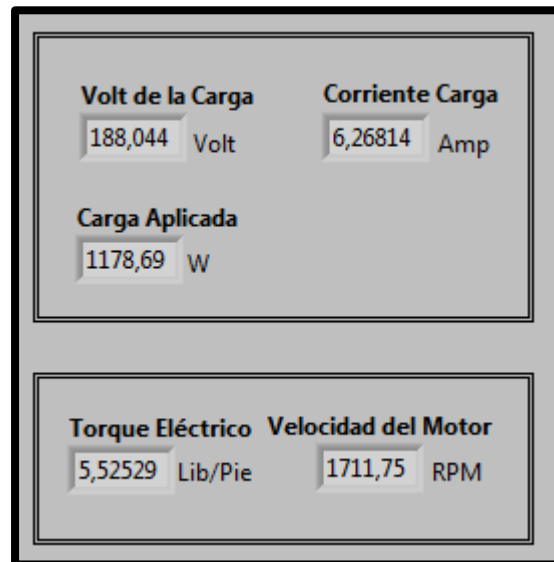


Figura 5. 10: Valores de voltaje, corriente y potencia de la carga más el torque eléctrico con su respectiva velocidad (variador más carga del sistema).

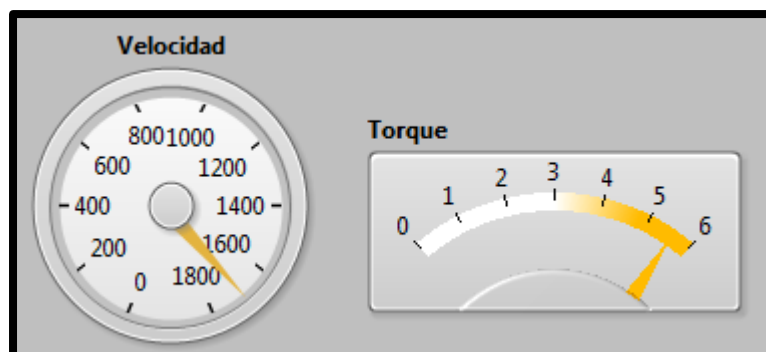


Figura 5. 11: Visualización del torque eléctrico más la velocidad del motor (variador más carga del sistema).

En la figura 5.12 se muestra los diagramas fasoriales de las fase de corriente y voltaje aplicando la máxima carga, esta parte del programa ya se lo explica en la figura 5.5.

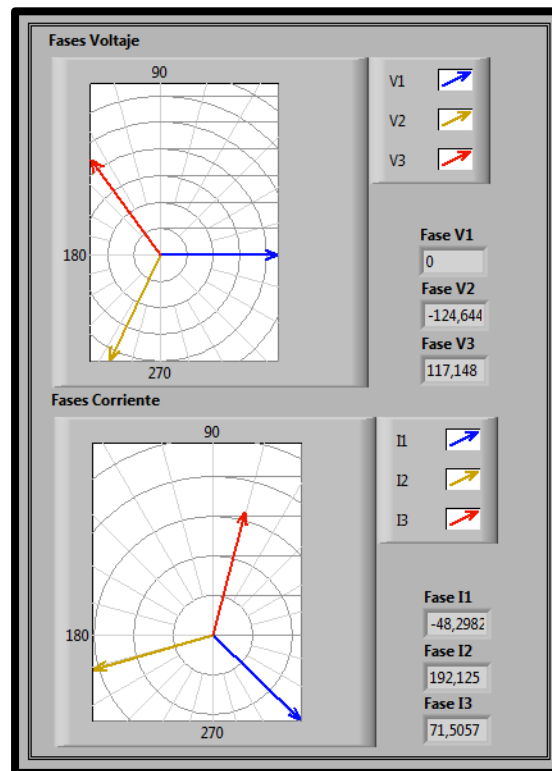


Figura 5. 12: Diagrama fasorial de voltaje y corriente (variador más carga del sistema).

En la figura 5.13 se observa los valores de la potencia, pero como se encuentra con el máximo valor de la carga, la potencia consumida aumenta tal como se puede observar y el factor de potencia disminuye por el mismo consumo de la carga Inductiva-Resistiva

P total	S total	Q total
1740,75	2476,97	-1756,64
W	VA	VAR
P1		
555,859	W	Ø1
		-48,7571
S1		Fp1
801,923	VA	0,693157
Q1		
-578,015	VAR	
P2		
576,373	W	Ø2
		-45,6365
S2		Fp2
828,012	VA	0,696092
Q2		
-594,473	VAR	
P3		
590,731	W	Ø3
		-46,2973
S3		Fp3
836,443	VA	0,706242
Q3		
-592,176	VAR	

Figura 5. 13: Potencia activa, reactiva y Aparente con factor de potencia (variador más la carga del sistema).

5.3 Tercer escenario Arranque a plena tensión en vacío.

Para este escenario se hará un arranque directo al motor, el motor se encuentra conectado en estrella, en el capítulo 2 se explica este tipo de arranque con mayores detalles.

En la figura 5.14 se muestra los valores de voltaje y corriente similares a los del escenario 1 (variador en vacío), pero con el cambio de que el voltaje es una onda sinusoidal, esto se debe a que en esta parte no se utiliza el variador, por el cual la forma de onda de la red será la misma que vera el motor eléctrico.

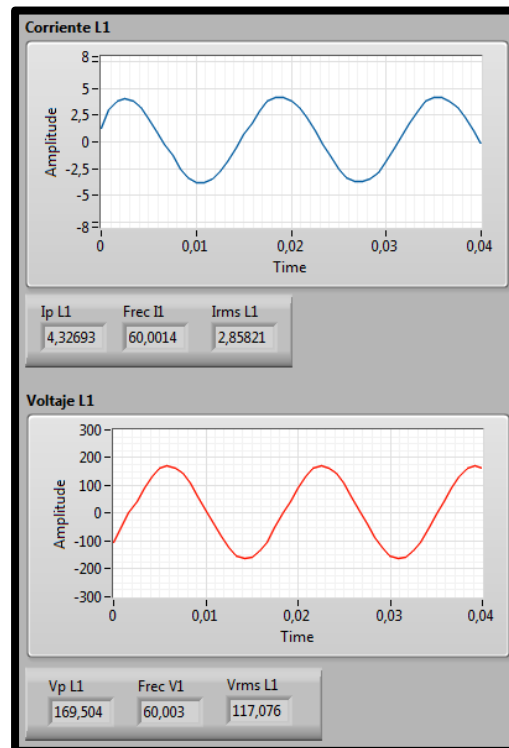


Figura 5. 14: Visualización de voltaje y corriente en L1 (Arranque a plena tensión en vacío).

De esta forma se corrobora los valores en la fase L2, como indica la figura 5.15 y la Fase L3 en la figura 5.16, es decir los valores son similares, con la excepción de que la forma de onda de voltaje es diferente.

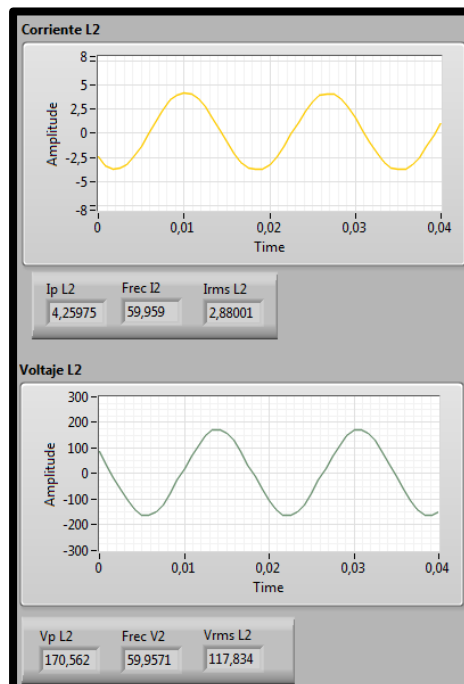


Figura 5. 15: Visualización de voltaje y corriente en L2 (Arranque a plena tensión en vacío).

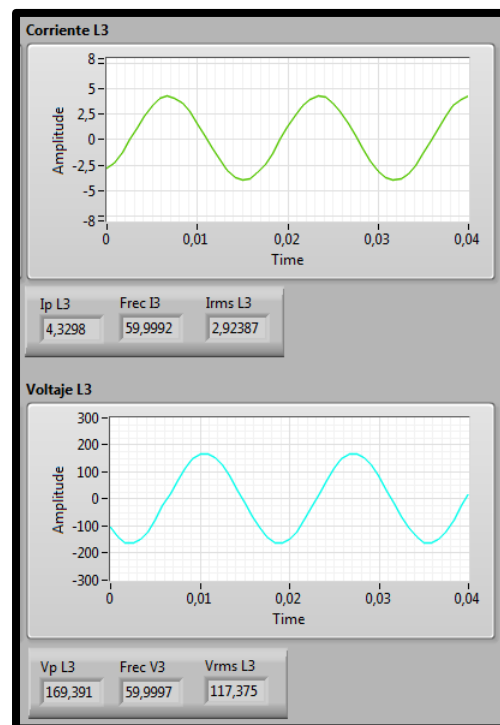


Figura 5. 16: Visualización de Voltaje y corriente en L3 (arranque a plena tensión en vacío).

En la figura 5.17 se observa el diagrama fasorial de voltaje y corriente, con arranque de plena tensión, este diagrama es muy similar al escenario 1, confirmando la teoría descrita en dicho escenario.

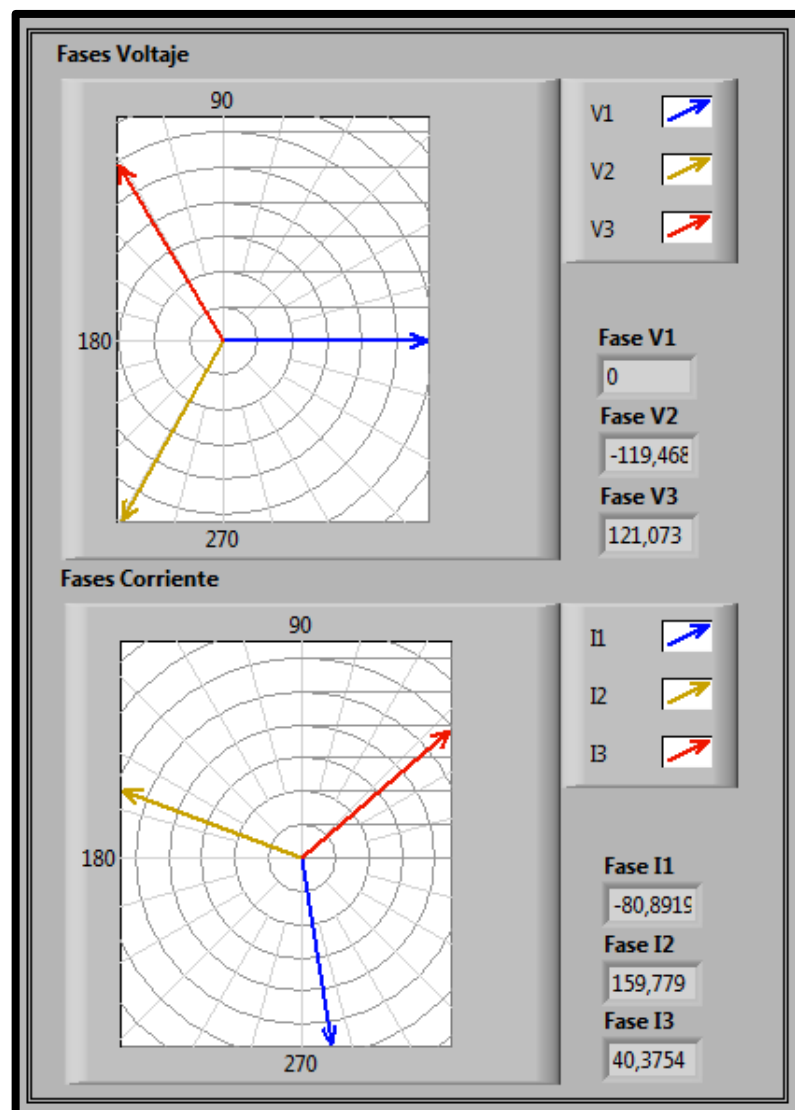


Figura 5. 17: Diagrama fasorial de voltaje y corriente (arranque a plena tensión en vacío).

En la figura 5.18 se muestra la potencia consumida por línea y total de cada una de las líneas, con su respectivo ángulo entre el voltaje y la corriente, también se tiene el factor de potencia de cada una de las líneas.

P total		S total		Q total	
165,065		1027,4		-1014,06	
W		VA		VAR	

P1		Ø1	
54,9424 W		-80,8992	
S1		Fp1	
337,454 VA		0,162814	
Q1			
-332,951 VAR			

P2		Ø2	
56,2508 W		-81,1773	
S2		Fp2	
342,502 VA		0,164235	
Q2			
-337,851 VAR			

P3		Ø3	
55,6958 W		-80,58	
S3		Fp3	
346,652 VA		0,160668	
Q3			
-342,145 VAR			

Figura 5. 18: Potencia activa, reactiva y aparente con factor de potencia (arranque de plena tensión en vacío).

En la figura 5.19 se puede los valores del Torque Eléctrico y la velocidad del motor. Estos valores son muy similares a los valores del escenario 1.

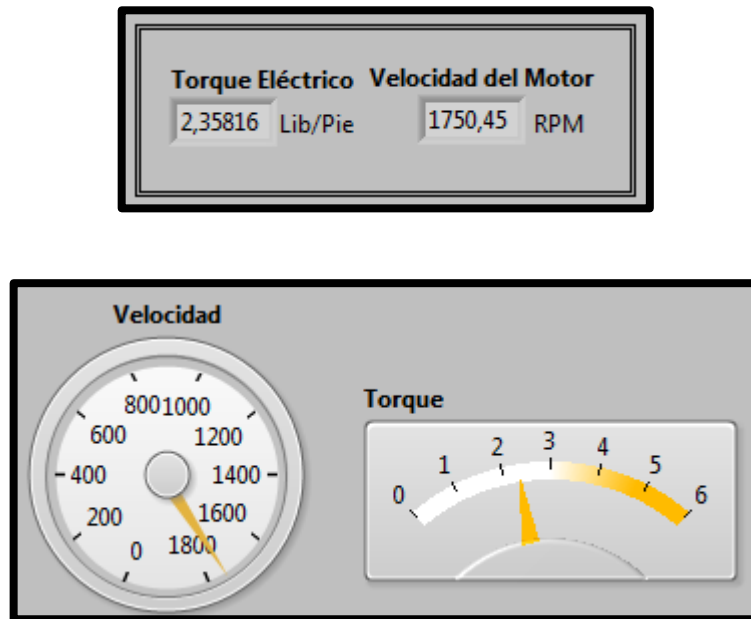


Figura 5. 19: Visualización del torque eléctrico más la velocidad del motor (arranque a plena tensión en vacío).

5.4 Cuarto escenario Arranque a plena tensión con carga.

Como en el escenario 2, se coloca el emulador de carga y tomamos los parámetros a estudiar, es necesario recalcar que los valores son muy similares a los del escenario 2, por que se hizo capturas de pantallas, ya que el análisis vendría ser repetitivo.

De las Figura 5.20 hasta la figura hasta la figura 5.22 se muestra los valores de fase de voltaje y corriente con arranque a plena tensión.

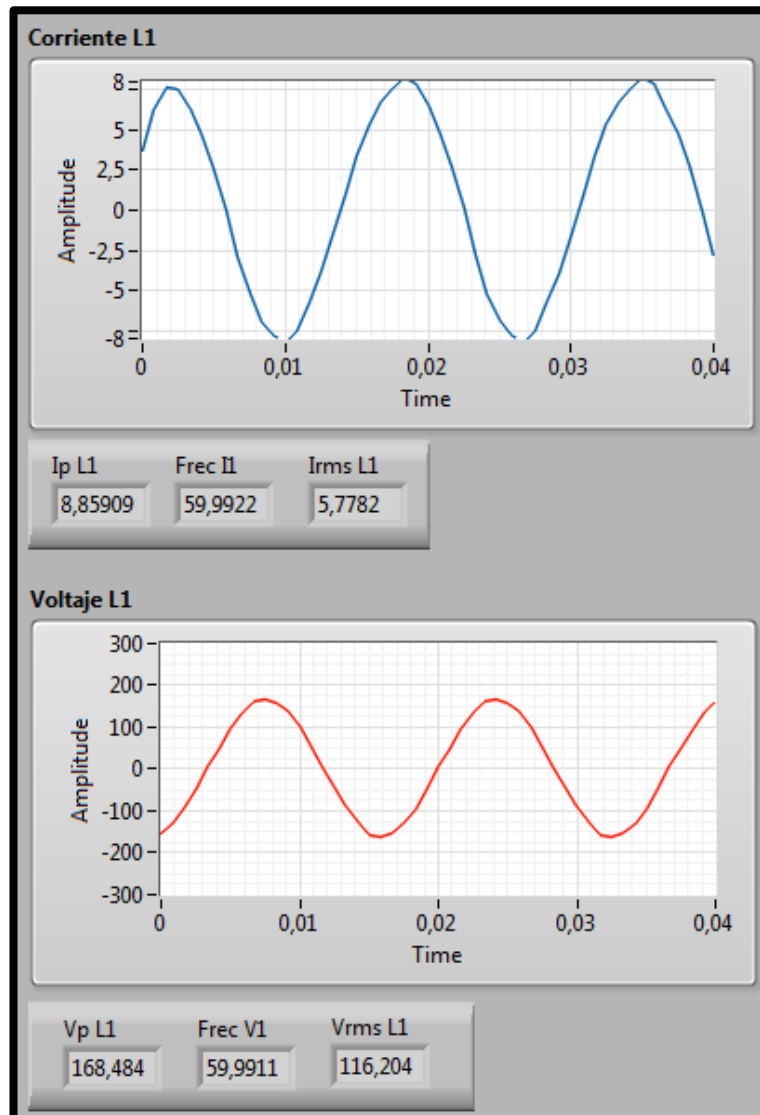


Figura 5. 20: Visualización de voltaje y corriente en L1 (Arranque a plena tensión con carga).

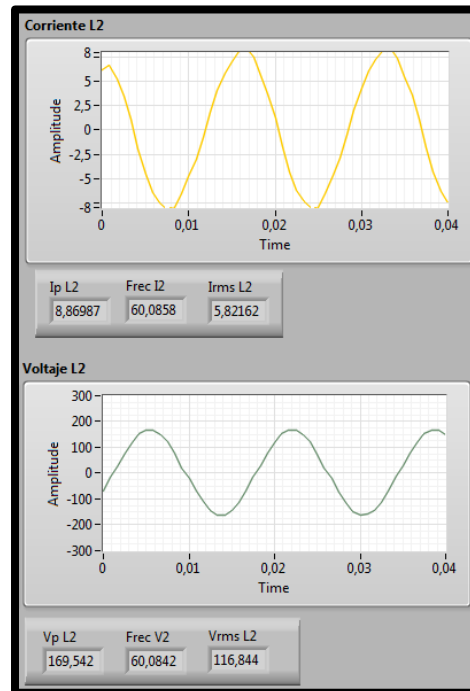


Figura 5. 21: Visualización de voltaje y corriente en L2 (arranque a plena tensión con carga).

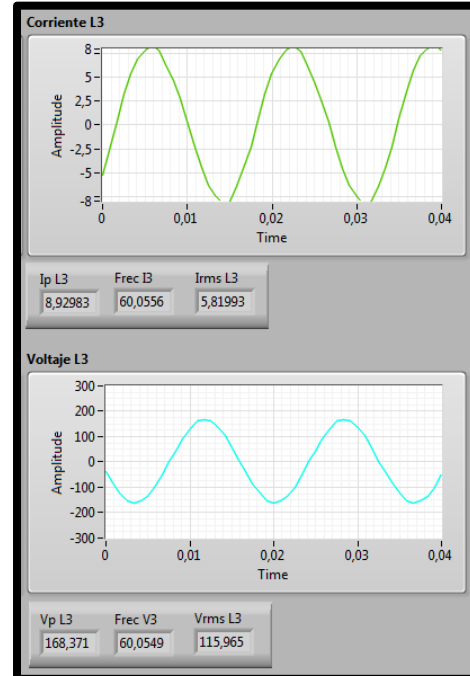


Figura 5. 22: Visualización de voltaje y corriente en L3 (arranque a plena tensión con carga).

Al igual que en los otros análisis el torque eléctrico aumento y la velocidad del motor disminuye, por la misma acción de la carga. En la figura 5.22 se muestra los datos obtenidos en este escenario.

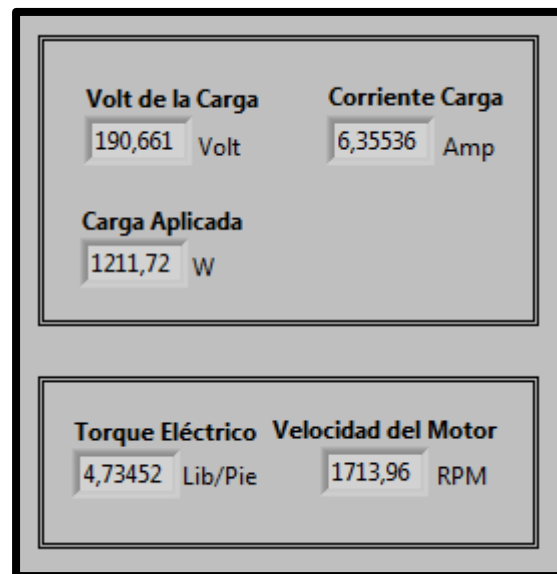


Figura 5. 23: Valores de voltaje, corriente y potencia de la carga más el torque eléctrico con su respectiva velocidad (arranque a plena tensión más carga).

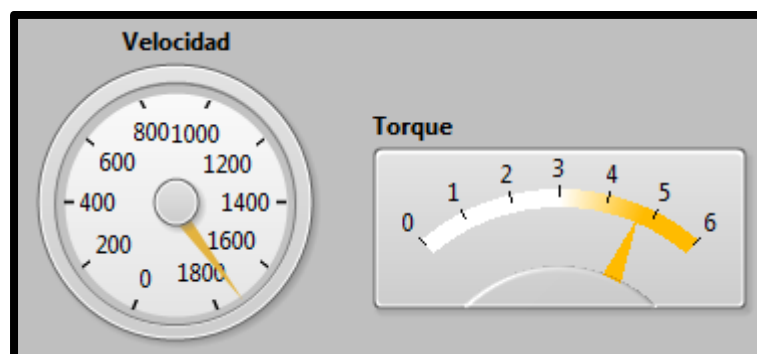


Figura 5. 24: Visualización del torque eléctrico más la velocidad del motor (arranque a plena tensión con carga).

En la figura 5.25 se observa el diagrama fasorial de las fases tanto como para el voltaje y la corriente.

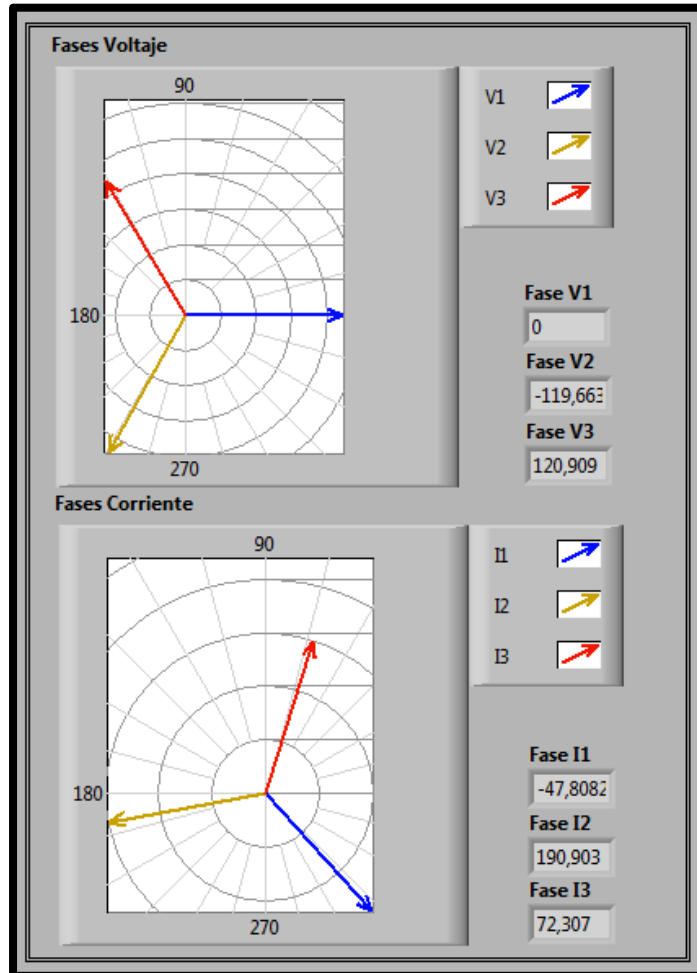


Figura 5. 25: Diagrama fasorial de voltaje y corriente (arranque a plena tensión con carga).

La potencia consumida en este escenario se la puede visualizar en la figura 5.26 muy similares a la del escenario 2.

P total		S total		Q total	
1311,3		1988,34		-1494,47	
W		VA		VAR	

P1		Ø1	
447,927	W	-47,8985	
S1		Fp1	
666,865	VA	0,67169	
Q1			
-494,03€	VAR		

P2		Ø2	
430,888	W	-49,719	
S2		Fp2	
667,589	VA	0,64543€	
Q2			
-509,91€	VAR		

P3		Ø3	
432,722	W	-48,605€	
S3		Fp3	
655,031	VA	0,66061€	
Q3			
-491,74€	VAR		

Figura 5. 26: Potencia activa, reactiva y aparente con factor de potencia (arranque a plena tensión con carga).

5.5 Estados de Alarma.

En la figura 5.27 se encuentra la hora en tiempo real y el estado de alarma en caso que haya una falla en el sistema antes descrito en capítulos anteriores.

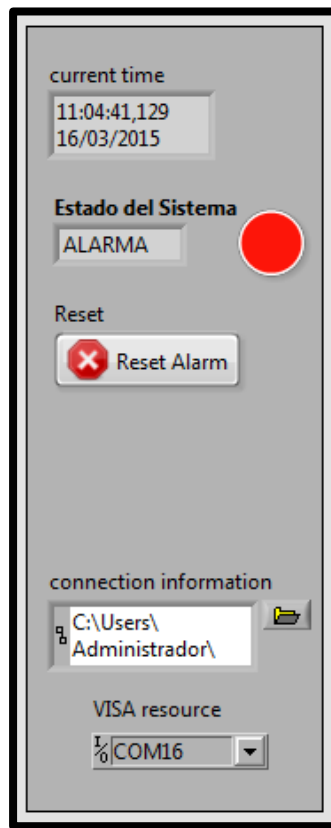


Figura 5. 27: Estado de alarma del sistema.

En la figura 5.28 se muestra la escritura de la bases de datos, en estado de alarma, con lo cual ayudara al operario a tener un mejor control de daños del motor y sus posibles soluciones.

Elemento	ValorRMS	Estado	FechaHora
Voltaje L2	139	Ok	14/03/2015 17:41:17
Voltaje L1	140	Ok	14/03/2015 17:41:17
Corriente L3	6	Alarma	14/03/2015 17:41:17
Corriente L2	6	Alarma	14/03/2015 17:41:17
Corriente L1	6	Alarma	14/03/2015 17:41:17
Voltaje L3	139	Ok	14/03/2015 17:41:17
Voltaje L3	139	Ok	14/03/2015 17:32:16
Voltaje L2	139	Ok	14/03/2015 17:32:16
Voltaje L1	138	Ok	14/03/2015 17:32:16
Corriente L3	6	Alarma	14/03/2015 17:32:16
Corriente L2	6	Alarma	14/03/2015 17:32:16
Corriente L1	6	Alarma	14/03/2015 17:32:16
Voltaje L3	116	Ok	14/03/2015 17:31:31
Corriente L1	6	Alarma	14/03/2015 17:31:31
Corriente L2	6	Alarma	14/03/2015 17:31:31
Corriente L3	6	Alarma	14/03/2015 17:31:31
Voltaje L2	117	Ok	14/03/2015 17:31:31
Voltaje L1	116	Ok	14/03/2015 17:31:31
Voltaje L3	116	Ok	14/03/2015 17:20:17
Voltaje L2	117	Ok	14/03/2015 17:20:17
Voltaje L1	116	Ok	14/03/2015 17:20:17
Corriente L3	6	Alarma	14/03/2015 17:20:17
Corriente L2	6	Alarma	14/03/2015 17:20:17

Figura 5. 28: visualización del estado de alarma en la bases de datos.

En la figura 5.59 se presenta una tabla que detallará el tipo de alarma, que se puede generar y la posible solución al problema.

Alarma	Tipo de alarma	Solución
1	Sobre voltaje	Verificar fases
2	Sobre corriente	Verificar una correcta postura del motor.
3	Perdida de fases	Verificar líneas de tensión, elementos de protección.

Figura 5. 29: tabla de tipos de alarma.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

1. Se ha desarrollado un programa funcional capaz de obtener y mostrar en tiempo real los parámetros eléctricos más importantes del motor.
2. A pesar que el programa está diseñado para realizar arranque directo al motor, también puede ser utilizado para analizar motores que estén conectados a otros métodos de arranque, debido a que la lectura de datos es independiente al método de arranque empleado.
3. La aplicación desarrollada facilita en el estudiante el aprendizaje práctico de las componentes vectoriales del voltaje y corriente del motor de corriente alterna.
4. La aplicación permite generar estados de alarma durante la operación del motor en base al procesado y análisis de los parámetros eléctricos del mismo. Un caso específico, para el motor de inducción en estudio

genera estados de alarma cuando su tensión no supere los 208 voltios, ni los 6 amperios.

5. Los programas desarrollados en LabVIEW (VI) pueden ser fácilmente implementados en una FPGA e incorporados en el motor como elemento de diagnóstico permanente.
6. El emulador de carga desarrollado puede ser utilizado como simulador de un aerogenerador monofásico previa configuración.

RECOMENDACIONES.

1. Es recomendable utilizar como tacómetro un motor dc cuyo voltaje generado es proporcional a la velocidad del motor a analizar. Por el contrario, las vibraciones generadas por el motor y generador en un disco dentado se pierde el conteo generándose datos erróneos.
2. Es recomendable hacer uso de un disipador para el transistor de potencia ya que este al conmutar a altas frecuencias y al trabajar con corrientes elevadas tiende a calentarse, si no disipa el exceso de temperatura se quemaría.
3. Si se desea obtener mayores parámetros a analizar será de utilidad usar una tarjeta de adquisición de datos con mayor número de entradas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Liwshitz- Garik, Whipple Clyde C., Maquinas de corriente alterna, Editorial Continental S.A México, 1981.

[2] 20 Minutos. Los mejores inventores de Francia.
<http://listas.20minutos.es/lista/los-mejores-inventores-de-francia-255308/Frenoeléctrico>, fecha de consulta febrero 2015

[3] Dto. de Maquinas y Motores, Bancos de prueba
<http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>, fecha de consulta febrero 2015.

[4] El mundo, Laboratorio Vasco se reinventa,
<http://www.elmundo.es/elmundo/2012/05/14/paisvasco/1336980408.html> ,
Fecha de consulta febrero 2015.

[5] Federal Pacif, interruptores termo magnéticos.
http://moblog.whmsoft.net/related_search.php?keyword=interruptor+termomagnético+federal+pacif&language=spanish&depth=2, fecha de consulta febrero 2015.

[6] Rockwell automation, interruptor de desconexión.

<http://www.gophoto.it/view.php?i=http://epub1.rockwellautomation.com/images/web-proof-large/GL/35633.jpg> fecha de consulta febrero 2015.

[7] Manhua Electric Co, Interruptores rotativos
<http://spanish.alibaba.com/product-gs/universal-change-over-switch-rotary-switch-258912284.html>, Fecha de consulta marzo 2015.

[8] Angloterra, Pulsadores: <http://www.agroterra.com/p/cajas-de-pulsadores-equipadas-con-serie-3sa5-ip65/3088992>, Fecha de consulta marzo 2015.

[9] Soluciones Electricas, Contactor electromagnética
<http://www.solec.ws/contactores.html>, fecha de consulta marzo 2015.

[10] Faradayos, tipos de fusibles,
<http://faradayos.blogspot.com/2014/02/fusibles-clasificacion-tipos-caracteristicas.html>, fecha de consulta abril 2015.

[11] Electronic Componet, relevadores de sobrecarga,
http://www.tme.eu/html/ES/relés-de-sobrecarga-serie-3ru11/ramka_4622_ES_pelny.html, fecha de consulta abril 2015.

[12] Direct Industry, relevador diferencia

I <http://www.directindustry.es/prod/siemens-smart-grid/reles-diferenciales-proteccion-distancia-linea-electrica-30064-216832.html>, fecha de consulta abril 2015.

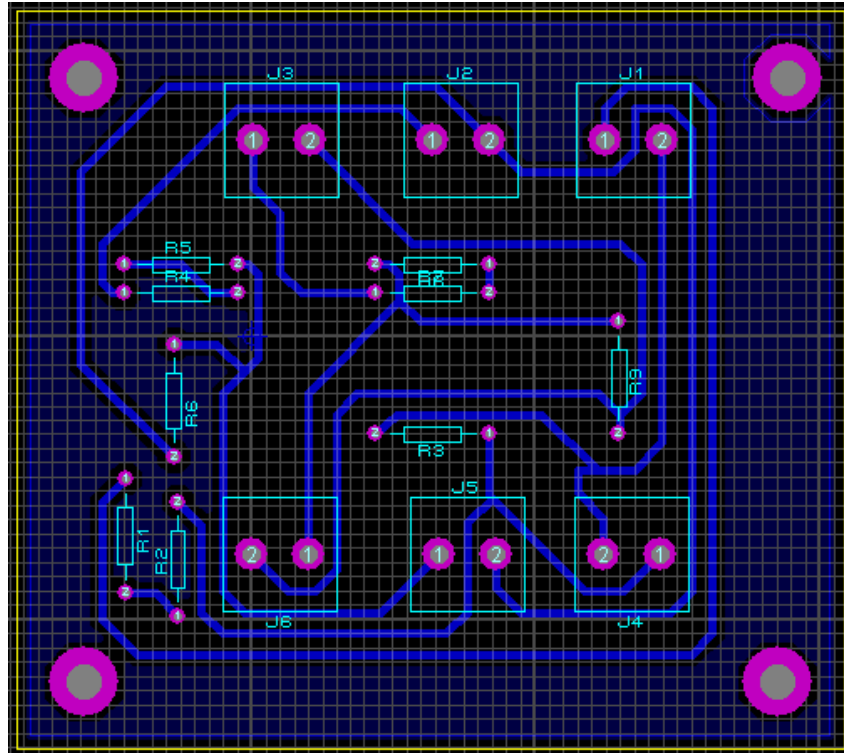
[13] Motor Maq SRL, variador danfoss <http://www.motormaq.com.ar/productos/variador-de-velocidad-danfoss-vlt-micro-fc51&id=20> fecha de consulta abril 2015.

[14] NI, Ficha técnica, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>, fecha de consulta abril 2015.

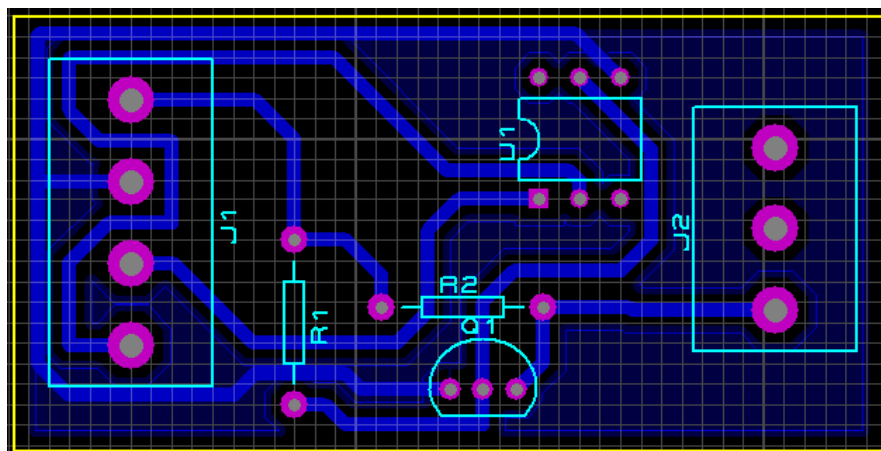
[15] Arduino, ficha técnica, <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>, fecha de consulta abril 2015

ANEXOS.

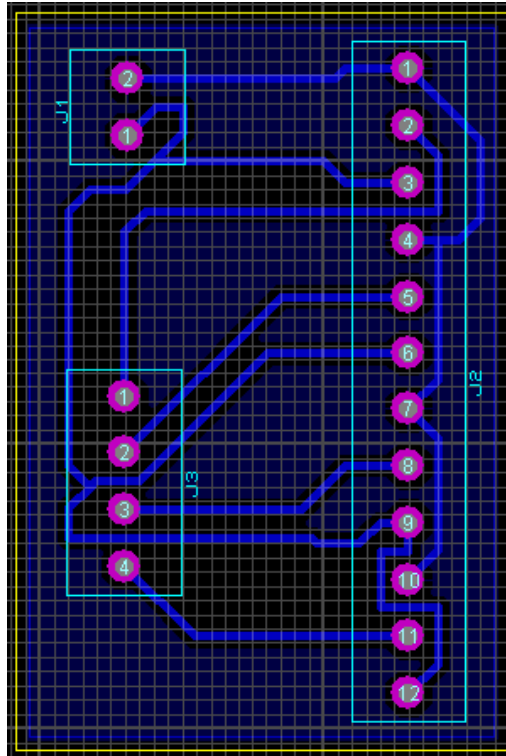
Diseño de circuito de acondicionamiento de señales de voltaje.



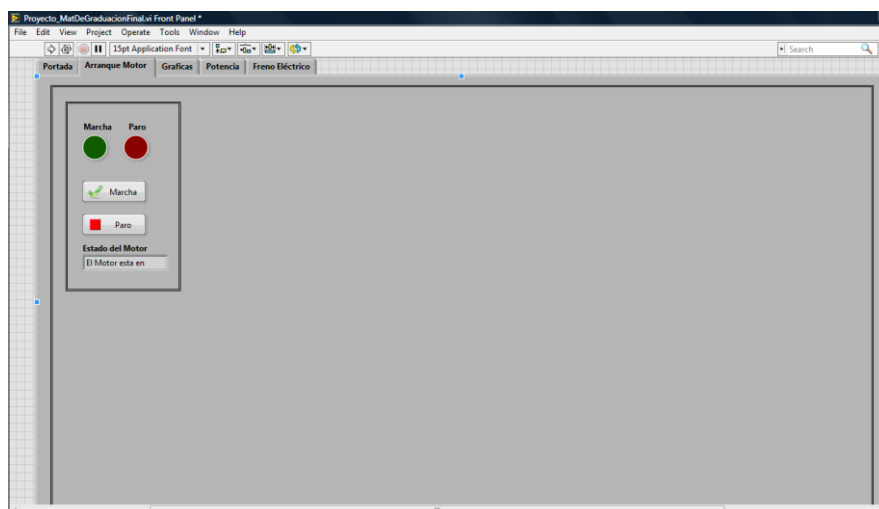
Diseño de circuito de fuerza del emulador de carga



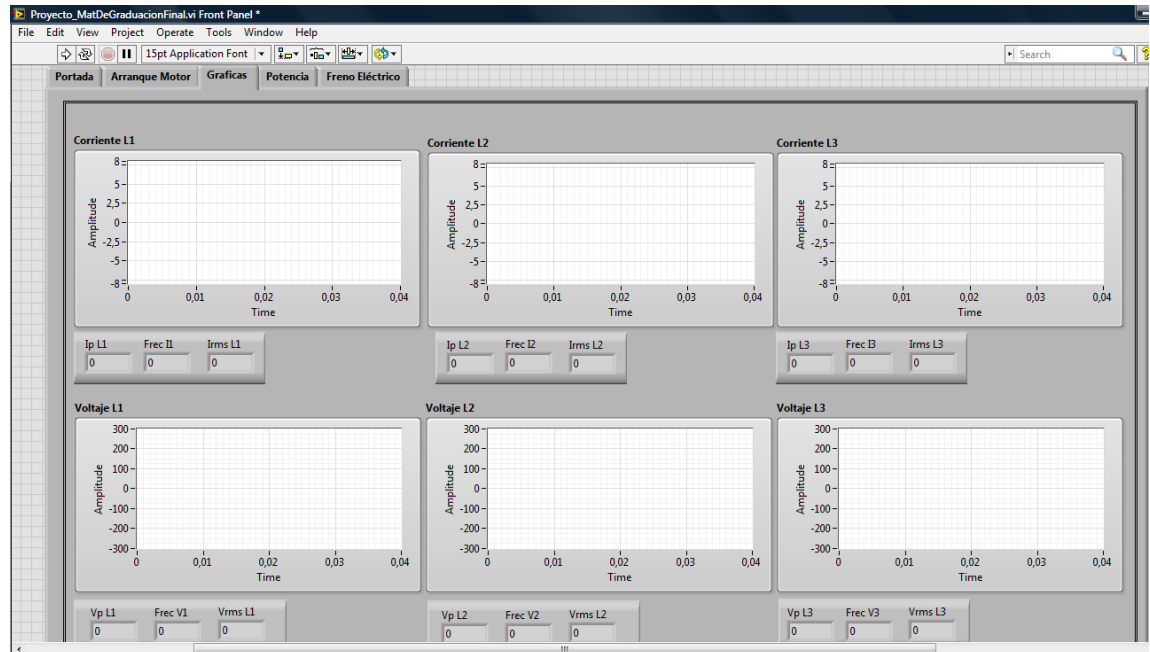
Diseño de circuito de alimentación para los sensores de corriente arduino.



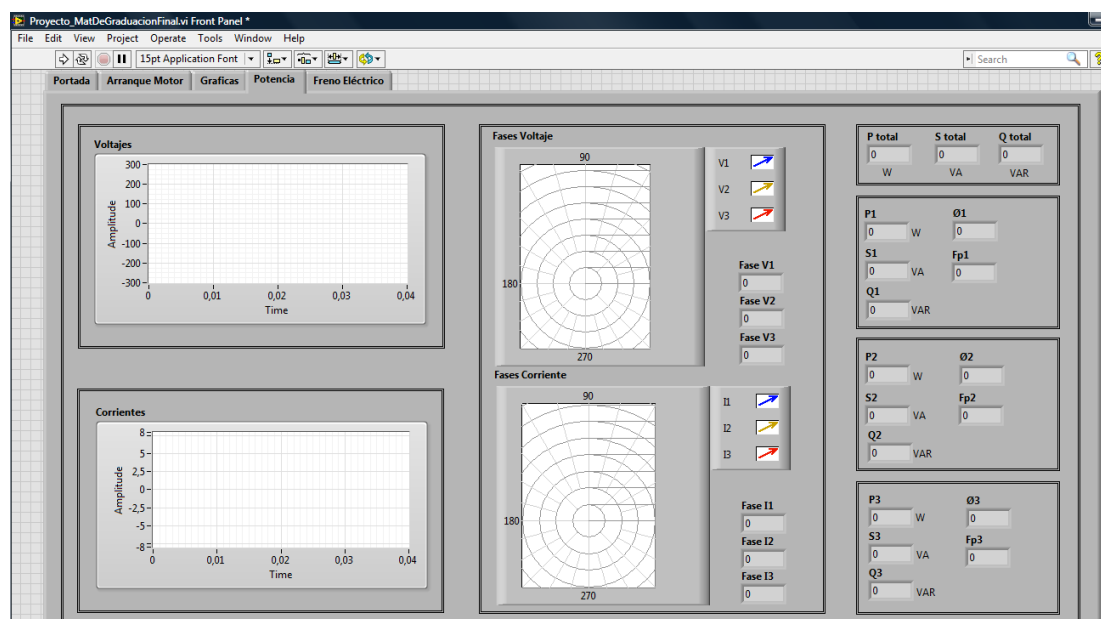
Pantalla principal para arranque directo del motor eléctrico



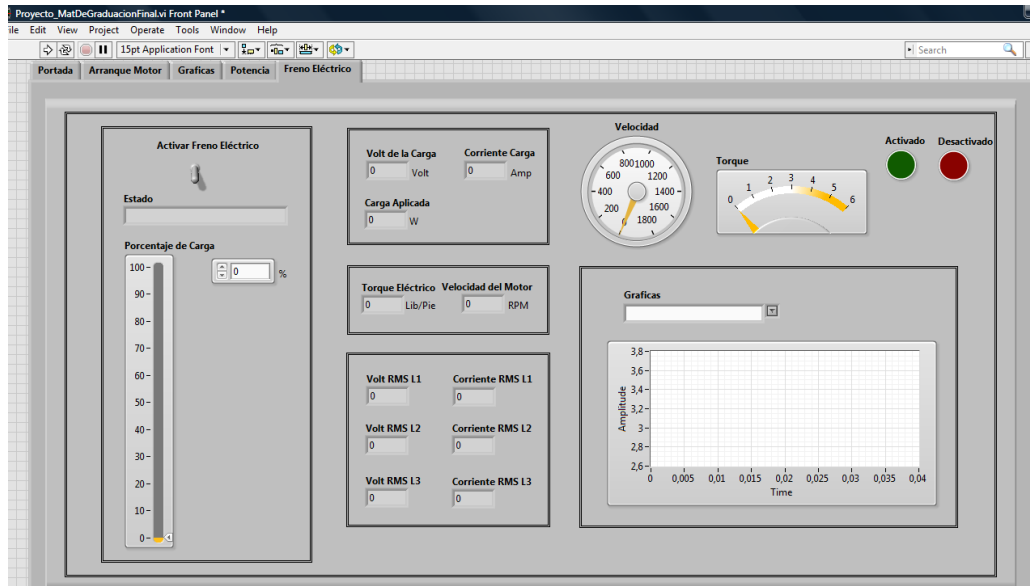
Pantalla principal del programa sección graficas



Pantalla principal del programa parte de potencia



Pantalla principal del programa parte del freno eléctrico.



Hoja de datos de la tarjeta de adquisición de datos[14].

USER GUIDE AND SPECIFICATIONS
NI USB-6008/6009
 Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device

Français Deutsch 日本語 한국어 简体中文
ni.com/manuals

This user guide describes how to use the National Instruments USB-6008 and National Instruments USB-6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.


The NI USB-6008/6009 provides connection to eight single-ended analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface. Table 1 compares the devices.

Table 1. NI USB-6008 and NI USB-6009 Comparison

Feature	NI USB-6008	NI USB-6009
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO configuration	Open collector [†]	Each channel individually programmable as open collector or active drive [†]

Hoja de datos de la tarjeta Arduino Mega 2560. [15]

Technical Specification



EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board