

**BANCO DE PRUEBAS DINÁMICO PARA ARRANCADORES DE UN MOTOR
DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO
MEDIANTE EL SOFTWARE LABVIEW**

**EDUARDO ANDRÉS RINCÓN CONTRERAS
CRISTHIAN DANILO ESPARRAGOZA GÓMEZ
ANDRÉS FELIPE TORRES PRADA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

2016

**BANCO DE PRUEBAS DINÁMICO PARA ARRANCADORES DE UN MOTOR
DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO
MEDIANTE EL SOFTWARE LABVIEW**

**EDUARDO ANDRÉS RINCÓN CONTRERAS
CRISTHIAN DANILO ESPARRAGOZA GÓMEZ
ANDRÉS FELIPE TORRES PRADA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Electricistas

Director

JAIME GUILLERMO BARRERO PEREZ

Ingeniero Electricista, MS.c.

Codirector

GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

Ingeniero Electricista, Ph.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

2016

DEDICATORIA

“Le dedicamos este trabajo de grado a cada uno de las personas que estuvieron con nosotros desde el comienzo de nuestro proyecto , familiares, amigos, docentes y a cada una de las personas que nos apoyaron incondicionalmente brindándonos las herramientas y apoyo moral para poder culminar esta etapa de nuestro vida, llegando a ser grandes profesionales para poder luego aportar un poco de nuestro conocimiento y talento que nos fue inculcado en nuestra alma mater”

ANDRES, CRISTHIAN Y EDUARDO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION.....	13
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2. MARCO TEORICO	19
1.2 Motor de Inducción.....	19
5.1.1. Tipos de motores de inducción.....	20
5.1.2. Motor de inducción trifásico Jaula de ardilla.....	21
5.1.3. Principio de funcionamiento del motor de inducción trifásico.....	22
5.1.4. Circuito equivalente aproximado	24
5.1.4.1. Criterio de potencia desarrollada.....	26
5.1.5. Parámetros del circuito equivalente aproximado.....	26
5.1.5.6. Prueba de resistencia del estator	26
5.1.5.7. Prueba de rotor bloqueado.....	28
5.1.5.8. Prueba sin carga	30
5.2. Conexión de motores trifásicos jaula de ardilla.....	34
5.3. Arranque de los motores de inducción trifásicos	36
5.3.1. Arranque directo	36
5.3.2. Arranque estrella-triángulo	38
5.3.3. Arranque con Variador de Velocidad.....	39
5.4. Contactores.....	40
5.4.1. Clasificación.	40
5.4.2. Categoría de empleo.	42
5.4.3. Componentes del contactor.....	43
5.5. Relé térmico.....	43
5.6. Interruptor termomagnético.....	44
5.7. Tarjeta de Adquisición de datos.....	45
5.8. Software de Desarrollo de sistemas National Instruments Labview	47

5.8.1.	Panel Frontal	47
5.8.2.	Diagrama de bloques	48
5.9.	Variador de frecuencia SIMATIC V20	49
5.9.1.	Puesta en servicio	50
5.9.2.	Poner en servicio desde el panel BOP	50
5.9.3.	Puesta en servicio rápida	51
5.9.4.	Introducción a los parámetros del sistema SIMATIC V 20	52
5.9.5.	Niveles de acceso.	53
5.10.	Sensor de corriente de efecto Hall ACS714	53
6.	DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL-POTENCIA Y CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.....	54
6.1.	Diseño de circuito de medición de corriente.	54
6.2.	Diseño de medición de RPM para arranque DIRECTO y ESTRELLA-TRIANGULO. 55	
6.3.	Diseño de acondicionamiento de señal de entradas digitales a NI6008.....	56
6.4.	Diseño final de tarjeta de acondicionamiento de señales.	57
7.	BANCO DE PRUEBAS DINAMICO.....	60
6.1.	Selección del tablero de control y potencia del banco de pruebas.	60
6.2.	Componentes Internos del tablero de control para el banco de pruebas.	63
7.	OPERACIÓN DEL BANCO	67
7.1.	Modo Local	68
7.1.1.	Descripción modo local	69
7.2.	Modo Remoto	70
7.2.1.	Descripción modo remoto.....	70
7.3.	Matriz causa efecto	71
8.	DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	72
8.1.	Funciones panel frontal.....	73
8.2.	Diagrama de Bloques para entradas y salidas digitales	74
9.	RECURSOS Y PRESUPUESTO.....	75
10.	CONCLUSIONES.....	77
11.	RECOMENDACIONES	79
12.	REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.
3.	ANEXOS.....	84
13.1.	Planos de potencia.....	85
13.2.	Planos de control	86

13.3. Práctica de laboratorio de accionamientos87

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1 Velocidad Síncrona en rad/s.....	22
Ecuación 2 Velocidad Síncrona en r.p.m	22
Ecuación 3 Velocidad Relativa	23
Ecuación 4 Deslizamiento	23
Ecuación 5 Frecuencia del rotor.....	23
Ecuación 6 Corriente en el rotor.....	26
Ecuación 7 Potencia Desarrollada.....	26
Ecuación 8 Resistencia del estator en conexión Y.....	27
Ecuación 9 Resistencia del estator en conexión Δ	27

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Eficiencia de motores jaula de ardilla.....	20
Figura 2 Motor de Inducción seleccionado.....	21
Figura 3 Circuito aproximado equivalente por fase.....	24
Figura 4 Conexiones típicas para realizar pruebas a un motor de inducción trifásico.....	28
Figura 5 Circuito equivalente rotor bloqueado conexión DELTA.....	28
Figura 6 Montaje prueba de rotor bloqueado.....	29
Figura 7 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción en circuito abierto.....	31
Figura 8 Montaje prueba en vacío.....	32
Figura 9 Bornera de 6 puntas de un motor de inducción.....	34
Figura 10 Tipos de conexiones comunes de las borneras.....	35
Figura 11 Curva Corriente vs velocidad en el arranque directo de un motor de inducción.....	37
Figura 12 Curva Par vs velocidad en el arranque directo de un motor de inducción.....	37
Figura 13 Curva Corriente vs Velocidad en arranque Y- Δ Motor de inducción.....	38
Figura 14 Curvas Par vs Velocidad en arranque Y- Δ Motor de inducción.....	39
Figura 15 Contactar ABB.....	40
Figura 16 Relé térmico.....	44
Figura 17 Interruptor termo magnético.....	45
Figura 18 Panel Frontal LABVIEW.....	48
Figura 19 Diagrama de bloques de LABVIEW.....	48
Figura 20 Bornes de control SIMATIC V20.....	49
Figura 21 Esquema de bloques SIMATIC V20.....	50
Figura 22 Panel BOP-AOP.....	50
Figura 23 Ejemplo de placa características de motor.....	51
Figura 24 Esquema en bloques de programación de parámetros de motor.....	52
Figura 25 Acondicionamiento de señal de corriente.....	54
Figura 26 Sensor de RPM.....	55
Figura 27 Convertidor frecuencia a voltaje LM2907.....	56
Figura 28 Conexión de entradas digitales.....	57
Figura 29 Diseño de tarjeta de acondicionamiento de señales.....	57
Figura 30 Implementación final de tarjeta de acondicionamiento de señales.....	59
Figura 31 Dimensiones del gabinete de control y potencia.....	60
Figura 32 Parte frontal del tablero finalizado.....	62
Figura 33 Parte Lateral derecha del tablero.....	63

Figura 34	Disposición interna del tablero.....	64
Figura 35	Cableado del cofre	66
Figura 36	Sel_3, Sel_4, Estaciones de arranque directo, variador y estrella triangulo	68
Figura 37	Panel Frontal.....	68
Figura 38	Interfaz de LABVIEW.....	70
Figura 39	Panel frontal	73
Figura 40	Lógica booleana entradas digitales	74
Figura 41	Funciones empleadas en el diagrama de bloques	75
Figura 42	Circuito de potencia	85
Figura 43.	Circuito de control	86
Figura 44	Panel frontal para realizar practica de laboratorio	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Características de motor.....	22
Tabla 2 Valores medidos de cada devanado	27
Tabla 3 Pruebas de motor.....	29
Tabla 4 Valores obtenidos prueba en vacío	32
Tabla 5 Parámetros de pérdidas en el núcleo.....	33
Tabla 6 Conexiones de Motores	35
Tabla 7 Características Tarjeta de adquisición de datos	47
Tabla 8 Ajuste por defecto para manejo usando el panel BOP	51
Tabla 9 Características ACS714-30	53
Tabla 10 Grado de protección de tablero de control y potencia.....	61
Tabla 11 Elementos internos del tablero	66
Tabla 12 Matriz causa efecto.....	71
Tabla 13 Entradas Digitales NI 6008	74
Tabla 14 Lista Elementos banco.....	75
Tabla 15 Costo Total Directo	77

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Practica de laboratiorio.....	84

RESUMEN

TÍTULO: BANCO DE PRUEBAS DINÁMICO PARA ARRANCADORES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO MEDIANTE EL SOFTWARE LABVIEW*

AUTORES: EDUARDO ANDRÉS RINCÓN CONTRERAS
CRISTHIAN DANILO ESPARRAGOZA GOMEZ
ANDRES FELIPE TORRES PRADA**

PALABRAS CLAVE:

Variador de velocidad, Software de LABVIEW, Corriente de arranque, deslizamiento, tarjeta de adquisición, adquisición de señales.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo de grado es realizado en modalidad trabajo de investigación y tiene como principal objetivo diseñar y construir un banco de pruebas que permita configurar diferentes tipos de arranque para un motor de inducción trifásico, de tal modo que facilite al estudiante distinguir las ventajas y desventajas de cada tipo de arranque teniendo en cuenta la variación de la corriente y velocidad al llegar a sus valores nominales. Para medir las diferentes variables eléctricas se utiliza una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments 6008, de modo que a través de diferentes etapas de acondicionamiento de señales convierten variables físicas como corriente, RPM a valores de (0-5VDC), que son los llevados a las entradas análogas de la tarjeta NI6008.

Los tipos de arranque utilizados para este banco de prueba dinámico son arranque directo, arranque estrella-triángulo y arranque por medio de un variador de velocidad. Estos tres modos constituyen los principales tipos de arranque utilizados en la industria.

El banco de pruebas dinámico (BPD) cuenta con una interfaz en Labview de fácil manejo para el estudiante, en donde se visualizan cada una de las modalidades que cuenta el banco en modo remoto además del control de arranque y parada de forma local directamente con pulsadores.

Finalmente se realizan unas prácticas sugeridas para la asignatura de Accionamientos Eléctricos y conjuntamente con el banco de prueba dinámico se espera aportar al laboratorio de la asignatura de Accionamientos Eléctricos de la Universidad Industrial de Santander.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero Perez. Codirector: Gabriel Ordóñez Plata

ABSTRACT

TITLE: BANK FOR DYNAMIC TESTING ENGINE STARTERS FOR THREE-PHASE INDUCTION MOTOR AND LABORATORY PRACTICE THROUGHOUT THE COMPUTER SOFTWARE LABVIEW*

AUTHORS: EDUARDO ANDRÉS RINCÓN CONTRERAS
CRISTHIAN DANILO ESPARRAGOZA GOMEZ
ANDRES FELIPE TORRES PRADA**

KEYWORDS: Variable speed drive, Labview Software, Starting current, slip, card acquisition, signal acquisition.

This degree work is performed in mode of development of prototypes and has as main objective to use different types of starters for the same three-phase motor, thereby enabling the student to distinguish the advantages and disadvantages of each type of start considering into the variation of current and speed before arriving at their nominal values variables. To measure these variables is used a card data acquisition 6008 of National Instruments, so that processes the measured signals in the computer by using the software Labview.

The starters used for this dynamic test bank are direct start, star triangle start and variable speed drive start. These three forms are the mainly used in industry. For this important reason, this degree work aims to contribute to the training of students of the School of Electrical, Electronics and Telecommunications (E3T) of the Universidad Industrial de Santander (UIS).

The Bank of dynamic tests will have an interface in Labview easy to use for the student, where the variables are displayed to be measured, in addition to control start and stop remotely from the software and locally directly with pushbuttons physically.

Finally, a practice assignment will be suggested and together with the dynamic test bank is expected to contribute to the Alta Tensión laboratory of the Universidad Industrial de Santander.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez. Codirector: Gabriel Ordóñez Plata

INTRODUCCION

La Universidad Industrial de Santander cuenta con una de las escuelas más antiguas y reconocidas a nivel nacional como lo es la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones E3T, la cual educa a todos sus estudiantes de una manera integral con grandes conocimientos y habilidades en ingeniería brindando las mejores herramientas. Posee una infraestructura óptima para que el estudiante logre su máximo confort en pos del mejor rendimiento. Debido a esto, éste trabajo de grado pretende aportar un banco al laboratorio de máquinas eléctricas del edificio de alta tensión de la E3T esperando retribuir el conocimiento brindado a los estudiantes a través de su paso por la universidad.

1. En este trabajo de grado se eligen tres tipos de arranque utilizados para un motor de inducción en la industria: Estrella-triángulo, directo y por medio de un variador de frecuencia o velocidad. A partir de esta selección, mediante una revisión bibliográfica y de campo se busca identificar lo más característico de cada uno de estos tipos de arranque.

En este trabajo de grado se desarrolla e implementa un banco de pruebas de un motor de inducción trifásico para el análisis de diferentes tipos de arranques en vacío, mediante la tarjeta de adquisición de datos NI-6008. Las principales características de este banco se citan a continuación:

- La estructura del banco de pruebas, depende de la cantidad de componentes que son necesarios incluir dentro del sistema mecánico y eléctrico, el cual depende de las características del gabinete donde están ubicados los diferentes accesorios eléctricos y electrónicos.

- El motor eléctrico en el banco es trifásico tipo jaula de ardilla y con una potencia máxima de 1HP.
- El control de velocidad se realiza directamente desde el variador de velocidad y el control del variador de velocidad se realiza por medio de la tarjeta de adquisición de datos NI-6008 de National Instrument.
- El mando del banco de pruebas se realiza desde un algoritmo desarrollado en LABVIEW, el cual gobierna las acciones realizadas por la tarjeta de adquisición de datos NI-6008.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollo e implementación de un banco de pruebas para un motor de inducción trifásico para el análisis de diferentes tipos de arranque en vacío, el cual se utilizará en los laboratorios de asignaturas como máquinas eléctricas y accionamientos eléctricos de la escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones del campus principal de la UIS.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar diferentes tipos de arranque en el banco de pruebas dinámico, entre los que se encuentra un arranque directo, arranque estrella delta y arranque con variador de frecuencia.
- Implementar un algoritmo en LABVIEW que permita realizar encendido/apagado e inversión de giro mediante un variador de velocidad en un motor de inducción trifásico.
- Validar el funcionamiento del banco mediante pruebas con un motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla y desarrollar prácticas de laboratorio de accionamientos eléctricos donde el estudiante profundice las ventajas y desventajas de cada tipo de arranque.

2. MARCO TEORICO

1.3 Motor de Inducción

Un motor de inducción es el dispositivo al cual se le suministra corriente alterna en forma directa al estator, y al rotor por medio de inducción o acción de transformación desde el estator [1].

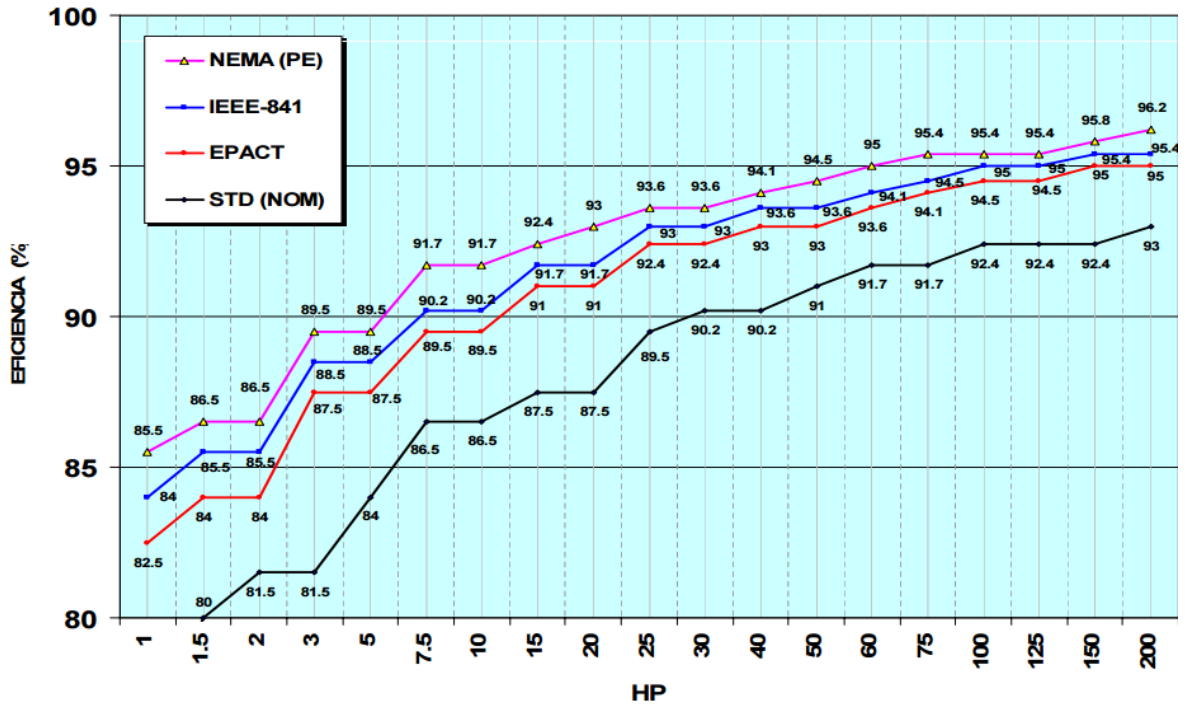
El funcionamiento de un motor de inducción trifásico es básicamente el mismo que el de un transformador eléctrico donde cuenta mínimo con dos juegos de devanados, uno primario ubicado en su estator y otro secundario que se encuentra el rotor. También se le conoce a los motores de inducción como máquinas asíncronas [2].

La mayoría de motores de inducción son trifásicos debido a su eficiencia y confiabilidad.

El motor de inducción cuenta con las siguientes características:

- ✓ No tiene contactos móviles entre rotor y estator por ende no requiere de conmutador y escobillas.
- ✓ Es un motor con bastante confiabilidad y bajo mantenimiento eléctrico.
- ✓ Por sus devanados circula corriente alterna pudiéndose usar las fuentes de energía eléctrica convencionales.
- ✓ Su eficiencia es alta, la figura 1 presenta diferentes valores de eficiencia en motores eléctricos jaula de ardilla.

Figura 1 Eficiencia de motores jaula de ardilla.



Fuente: Eficiencia de motores eléctricos, [en línea], [citado el 3 de Mayo de 2016], disponible en <
<http://www.electricidadgeneral.com/descargas/Motores/Motores%20Siemens/Motores%20Informacion%20General.pdf>>

1.4 Tipos de motores de inducción

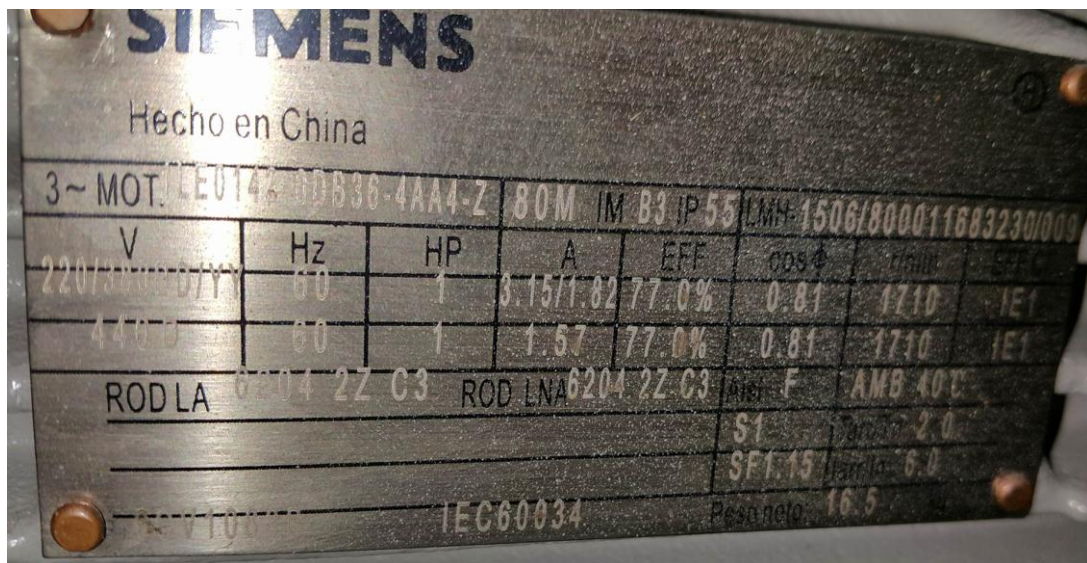
Dependiendo del tipo de rotor, las máquinas asíncronas se clasifican en:

- ✓ Rotor en jaula de ardilla o en cortocircuito
- ✓ Rotor devanado o con anillos deslizantes.

5.1.1. Motor de inducción trifásico Jaula de ardilla. En este trabajo de grado se seleccionó un motor de inducción trifásico jaula de ardilla de 1 HP, factor de potencia de 0,81, dos pares de polos, que cuenta con 6 devanados, dos por fase, por lo cual tiene disponible 12 puntas en su caja de borneras, a diferencia de otros motores que son de la misma potencia y solo tienen 9 puntas disponibles con una conexión Y interna haciendo imposible lo requerido para lograr las conexiones en el arranque estrella-triángulo, la figura 2 presenta la placa de características de este motor.

El juego de bobinas del estator hace posible energizar el motor a una tensión de 220ΔΔ / 380YY / 440 Δ, en conexión doble delta el motor trabaja con un corriente nominal por fase de 3,15 A a una eficiencia del 77%, velocidad nominal de 1710 rpm.

Figura 2 Motor de Inducción seleccionado



La tabla 1 presenta las principales características del motor eléctrico implementado en esta tesis de grado.

Tabla 1 Características de motor.

Voltaje [V]	Frecuencia [Hz]	Potencia [HP]	Corriente [A]	Eficiencia [%]	Factor de potencia	RPM
220V/440V	60	1	3.51/1.82A	77%	0.81	1710

5.1.2. Principio de funcionamiento del motor de inducción trifásico.

La máquina asíncrona al igual que cualquier otro dispositivo de conversión electromecánica de la energía de tipo rotativo, está formada por un rotor y un estator. El devanado del estator está constituido por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio y de 2 polos, al introducir una corriente eléctrica trifásica de frecuencia f_1 se produce una onda rotativa de f.m.m, distribuida sinusoidalmente por la periferia del entre hierro, que producen un campo magnético giratorio. La velocidad síncrona está determinada por la ecuación 1.

Ecuación 1 Velocidad Síncrona en rad/s

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{p} \text{ [rad/s]} \quad (1)$$

Fuente: Kosow Irving, Maquinas eléctricas y transformadores, editorial PEARSON, p. 241.

Y la velocidad síncrona en RPM está dada por la ecuación 2, donde:

- ✓ P: # de polos.
- ✓ f: frecuencia del sistema.

Ecuación 2 Velocidad Síncrona en r.p.m

(2)

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ [r.p.m]}$$

Fuente: Kosow Irving, Maquinas eléctricas y transformadores, editorial PEARSON, p. 241.

La ecuación 3 indica que la velocidad relativa [N_r] es la diferencia entre la velocidad síncrona [N_s] y la velocidad del rotor [N_m]:

Ecuación 3 Velocidad Relativa

$$N_r = N_s - N_m \text{ [r.p.m]} \quad (3)$$

Fuente: Kosow Irving, Maquinas eléctricas y transformadores, editorial PEARSON, p. 242.

El deslizamiento [s] es el cociente entre la velocidad relativa [N_r] y la velocidad síncrona [N_s], tal como lo indica la ecuación 4:

Ecuación 4 Deslizamiento

$$s = \frac{N_r}{N_s} = \frac{N_s - N_m}{N_s} \text{ [r.p.m]} \quad (4)$$

Fuente: Kosow Irving, Maquinas eléctricas y transformadores, editorial PEARSON, p. 244.

Cuando el eje del motor se encuentra en estado de reposo el deslizamiento es igual a 1 y cuando la velocidad N_m es igual a N_s el deslizamiento es igual a 0.

La frecuencia con que oscila la *fem* en el rotor se da por la ecuación 5:

Ecuación 5 Frecuencia del rotor

(5)

$$f_r = sf \text{ [Hz]}$$

Fuente: Kosow Irving, Maquinas eléctricas y transformadores, editorial PEARSON, p. 244.

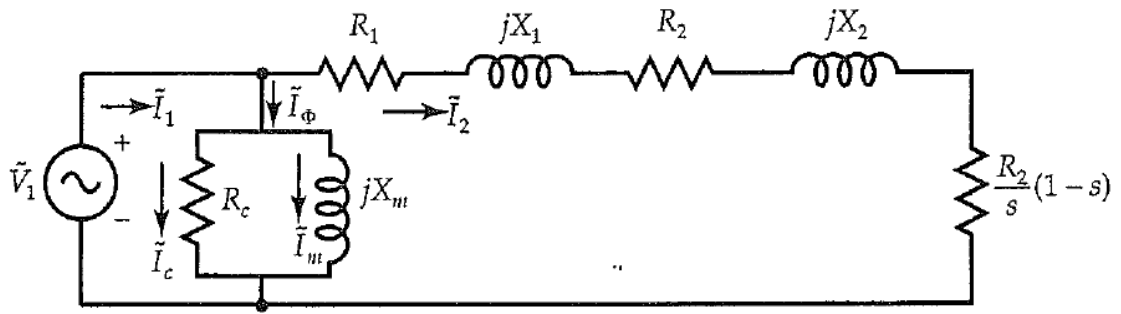
5.1.3. Circuito equivalente aproximado

Como se ha indicado anteriormente a cada máquina se le asocia un circuito equivalente, que según el tipo de máquina puede ajustarse en mayor o menor medida a la máquina que representa. Se puede decir que para el caso de los transformadores los circuitos equivalentes representan casi fielmente a la máquina con un pequeñísimo error. Sin embargo cuando se trata motores de inducción (también llamados motores asíncronos, con o sin el rotor en jaula de ardilla) el circuito que se puede construir bien desde los ensayos normalizados o bien desde la placa de características no son tan exactos, pero es lo más representativo que se puede tener de este tipo de máquinas para poder estudiarlos mediante un circuito a base de bobina y resistencias¹.

La figura 3 presenta el circuito equivalente aproximado de un motor eléctrico de inducción por fase.

Figura 3 Circuito aproximado equivalente por fase

¹ Caracterización y cálculo del circuito equivalente de un motor de inducción desde la placa de características, [En línea], [Citado el 6 de mayo de 2016], disponible en <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17108/Caracterizaci%C3%B3n%20y%20c%C3%A1culo%20del%20circuito%20equivalente%20de%20un%20motor%20de%20inducci%C3%B3n%20desde%20la%20placa%20de%20caracter%C3%ADsticas.pdf?sequence=1>>



Fuente: Bhag S. Guru and Hüsenyin R. Hiziroglu (2006), Maquinas Eléctricas y Transformadores (3ª ed.) p. 524

Dónde:

R_c : Resistencia equivalente de la pérdida en el núcleo por fase.

X_m : Reactancia de magnetización por fase.

V_1 : Tensión aplicada por fase.

R_1 : Resistencia por fase del devanado del estator.

R_2 : Resistencia por fase del devanado del rotor referido al estator.

X_1 : Reactancia de dispersión por fase del devanado del estator.

X_2 : Reactancia de dispersión por fase del devanado del rotor referido al estator.

I_c : Corriente por fase de la pérdida en el núcleo.

I_m : Corriente por fase de magnetización.

I_ϕ : Corriente por fase de excitación.

I_1 : Corriente por fase de alimentación por la fuente.

I_2 : Corriente por fase en el devanado del rotor referido al estator.

5.1.3.1. Criterio de potencia desarrollada

Se puede deducir del circuito equivalente aproximado que la corriente en el rotor es la indicada en la ecuación 6:

Ecuación 6 Corriente en el rotor

$$I_2 = \frac{V_1}{R_e + jX_e + \frac{R_2(1-s)}{s}} [A] \quad (6)$$

Fuente: Manuel Cortes Cherta, Máquinas de corriente alterna asíncronas Volumen 3, editorial Reverte.

Donde $R_e = R_1 + R_2$ y $X_e = X_1 + X_2$.

De acuerdo a lo anterior la potencia desarrollada del motor es:

Ecuación 7 Potencia Desarrollada

$$P_d = \frac{3V_1^2 R_2 (1-s)/s}{R_e^2 + X_e^2 + [R_2(1-s)/s]^2 + 2R_e R_2 (1-s)/s} [W] \quad (7)$$

Fuente: Manuel Cortes Cherta, Máquinas de corriente alterna asíncronas Volumen 3, editorial Reverte.

5.1.4. Parámetros del circuito equivalente aproximado

Los parámetros del circuito equivalente de un motor de inducción son una herramienta muy útil para determinar la respuesta del motor a los cambios de carga [3]. Para obtener los parámetros del circuito equivalente del motor de inducción seleccionado se realizaron las siguientes pruebas

5.1.5.6. Prueba de resistencia del estator

Se realiza para determinar la resistencia de cada devanado de fase del estator, se mide la resistencia aplicando una tensión DC en cada bobina para obtener un valor de R_1 .

Ecuación 8 Resistencia del estator en conexión Y

$$R_1 = 0.5R_f \text{ en Y} \quad (8)$$

Fuente: Pau Casals Torrens, Ricard Bosch Tous, Máquinas Eléctricas, Aplicaciones de Ingeniería Eléctrica a Instalaciones, Universidad politécnica de Cataluña.

Ecuación 9 Resistencia del estator en conexión Δ

$$R_1 = 1.5R_f \text{ en } \Delta \quad (9)$$

Fuente: Pau Casals Torrens, Ricard Bosch Tous, Máquinas Eléctricas, Aplicaciones de Ingeniería Eléctrica a Instalaciones, Universidad politécnica de Cataluña.

Dónde:

- ✓ R_f : Resistencia medida entre fases.
- ✓ R_1 : Resistencia de devanado.

Los valores obtenidos al medir la resistencia de cada bobina se presentan en la tabla 2.

Tabla 2 Valores medidos de cada devanado

Bobinado	$R_1[\Omega]$
U1 - U2	3,45
V1 - V2	3,46
W1 - W2	3,48

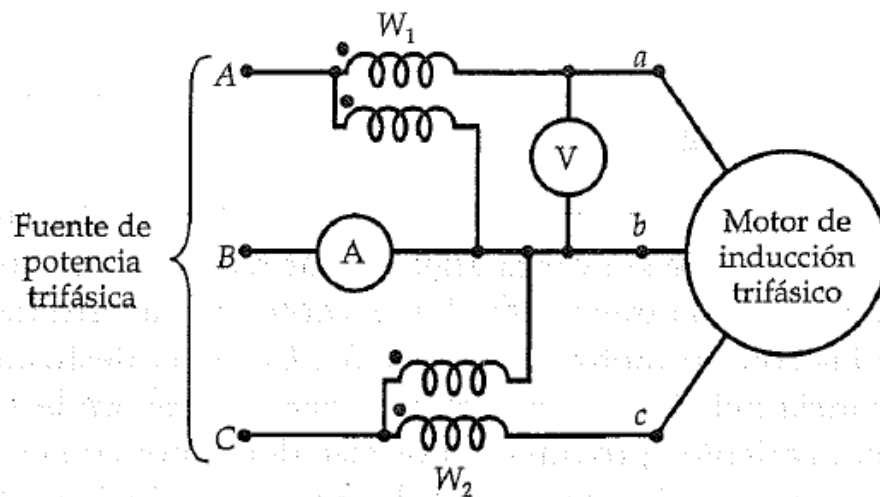
Fuente: Los Autores

El cual el valor promedio de la resistencia en cada devanado es igual a **$R_1 = 3,475 [\Omega]$** .

5.1.5.7. Prueba de rotor bloqueado

Esta prueba se realiza aplicando un par externo que deja estático el eje del motor, se conecta un amperímetro en una línea de alimentación, un multímetro entre líneas de alimentación y 2 vatímetros como se observa en la Figura 4.

Figura 4 Conexiones típicas para realizar pruebas a un motor de inducción trifásico.

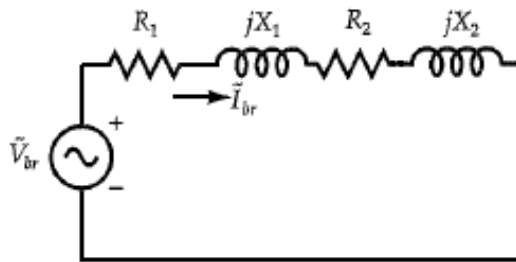


Fuente: Bhag S. Guru and Hüsenyin R. Hiziroglu (2006), Maquinas Eléctricas y Transformadores (3ª ed.) p.537

La prueba comienza incrementando la tensión de alimentación del motor desde 0 hasta obtener el valor nominal de corriente y en ese instante se registran las lecturas de los valores de cada uno de las medidas.

Generalmente la corriente de excitación I_ϕ es muy pequeña entonces se desprecia así obtenemos el nuevo modelo para rotor fijo como se ilustra en la Figura 5.

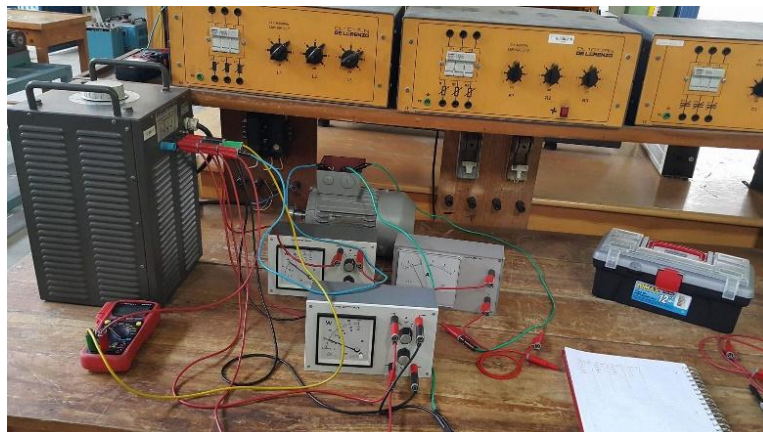
Figura 5 Circuito equivalente rotor bloqueado conexión DELTA.



Fuente: Los Autores

Se realizó el montaje mostrado en la figura 6 para obtener los valores de Potencia (P) y tensión aplicada (V1) para la prueba de rotor bloqueado, en el experimento se utilizaron 2 Watímetros en conexión Aarón, un voltímetro conectado a la tensión de línea de alimentación y un amperímetro.

Figura 6 Montaje prueba de rotor bloqueado



Fuente: Los Autores

La tabla 3 presenta los datos obtenidos durante las pruebas de laboratorio.

Tabla 3 Pruebas de motor.

<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>V1</i>	<i>I_n</i>
230 [W]	80 [W]	60.9[V]	3.15[A]

Fuente: Los Autores

Al obtener estos valores se prosigue a calcular la potencia activa R_e, R_2, Z_e, X_1, X_2

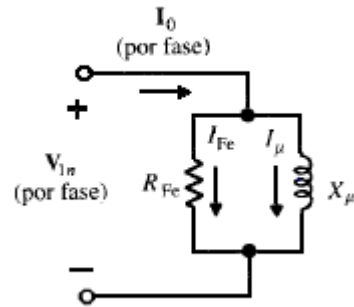
$$R_e = \frac{P}{I_n^2} = 6,3828 [\Omega]$$
$$R_2 = R_e - R_1 = 2,9078 [\Omega]$$
$$Z_e = 11,16 [\Omega]$$
$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = 9,1571 [\Omega]$$
$$X_1 = X_2 = 4,57 [\Omega]$$

Con estos valores podemos obtener el par desarrollo para una velocidad de $N_m = 1710 [rpm]$

5.1.5.8. Prueba sin carga

Similar a la prueba de circuito abierto del transformador, se energiza la maquina sin ninguna carga mecánica en su eje midiendo la potencia absorbida y la corriente de vacío, su deslizamiento es cercano a 0. Podemos observar el circuito equivalente en la siguiente figura 7.

Figura 7 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción en circuito abierto



Fuente: Jesús Fraile Mora(2003),Maquinas Eléctricas (5ª ed.) P. 279

Dónde:

V_{1n} : Tensión aplicada por fase.

X_u : Reactancia de magnetización por fase.

I_0 : Corriente de vacío por fase.

R_{fe} : Resistencia del núcleo.

I_{fe} : Corriente de magnetización por fase.

I_u : Corriente de en núcleo por fase.

La figura 8 presenta la prueba realizada al motor eléctrico sin carga.

Figura 8 Montaje prueba en vacío



Fuente: Los Autores

En la tabla 4 se presenta los valores obtenidos durante las pruebas

Tabla 4 Valores obtenidos prueba en vacío

Tension [V]	W1[W]	W2[W]	I_0 [A]
220	305	190	1,6
210,2	265	160	1,5
200	240	150	1,4
190,2	210	130	1,3
180	188	108	1,2
170	165	96	1,11
160	145	83	1,01
150	125	68	0,95
140	110	55	0,89
130	92	45	0,82
120	80	35	0,75
110	68	25	0,63
100	61	21	0,56
90	53	17	0,52
80	42	11	0,5
70	35	6	0,49
60	28	3	0,45
50	22	0	0,25

Fuente: Los Autores

Aplicando el circuito equivalente por fase para la prueba en vacío realizamos el siguiente procedimiento para cada uno de los valores hallados en la tabla 5, se obtienen los parámetros de pérdidas en el núcleo.

$$V_{1n} = \frac{220}{\sqrt{3}} [V]$$

$$P_{in} = \frac{W_1 + W_2}{3} = 165 [W]$$

$$R_{fe} = \frac{V_{1n}^2}{P_{in}} = 97,78 [\Omega]$$

$$Fp = \frac{P_{in}}{V_{1n} * I_0} = 0,812$$

$$X_u = \frac{V_{1n}}{I_0 * \sqrt{1 - (Fp)^2}} = 136[\Omega]$$

Dónde:

- ✓ P_{in} : Es la potencia de entrada por fase.
- ✓ FP: Factor de potencia.

Tabla 5 Parámetros de pérdidas en el núcleo

R_{fe} [Ω]	136	128,8	138,8	138,9	141,6	146,9	157,7	146,2	140,9	136,5	136,8	159,5	193
X_u [Ω]	97,78	104	102,6	106,4	109,5	110,7	112,3	116,6	118,8	123,4	125,2	130,1	122

Fuente: Los Autores

Con los valores de la tabla 5 se obtiene un promedio de cada uno de los valores dando como resultado $R_{fe} = 114,2 [\Omega]$ y $X_u = 144,291 [\Omega]$.

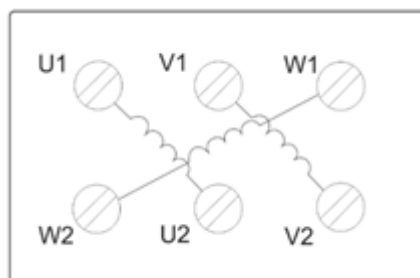
5.2. Conexión de motores trifásicos jaula de ardilla

Las normas de marcación de terminales dependen de la normalización vigente en cada país, las cuales son derivadas generalmente de las normativas IEC (International Electrotechnical Commission) y NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

Los motores fabricados bajo la norma NEMA tienen sus cables de conexión marcados con números del 1 al 12 y los fabricados bajo la norma IEC tienen una marcación que combina las letras U, V, W y los números desde el 1 hasta el 6. Los diseños incluyen las tensiones a las cuales podrán ser energizados y cada norma en particular realiza su marcación de terminales de conexión. La gran mayoría de fabricantes diseñan los motores con bobinados para operar a dos (2) tensiones de servicio, destacándose que los motores bajo la norma NEMA tienen una relación de conexionado de 1:2, es decir que una tensión es el doble de la otra. Ej. 230/460 [V] y en los Motores IEC se presenta un diseño con una relación de $1:\sqrt{3}$, Ej. 220/380 [V].

La mayoría de motores inducción disponen en el estator un juego de bobinas por fase. Cada devanado tiene dos terminales, que salen de la caja de borneras, tal como lo indica la figura 9, quedando conectados internamente de la siguiente manera:

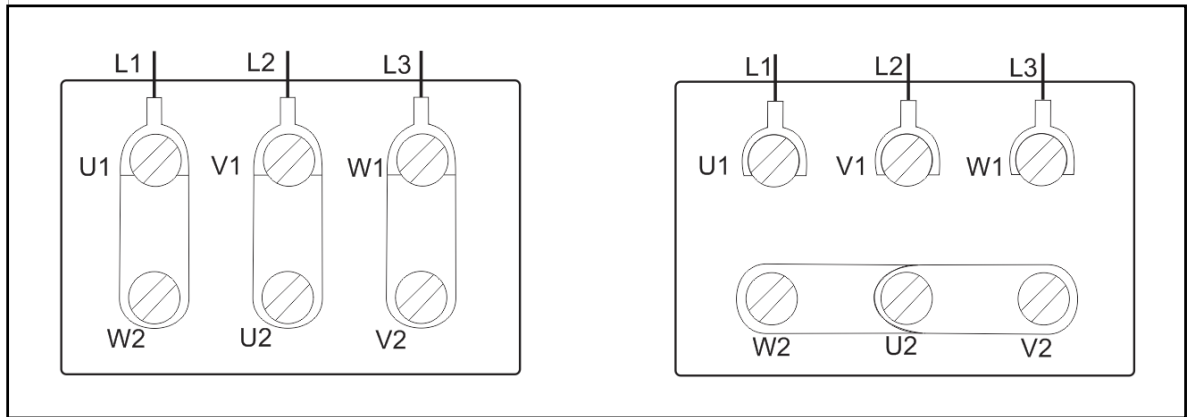
Figura 9 Bornera de 6 puntas de un motor de inducción



Fuente: Los Autores

La conexión final en la caja de bornes se presenta en la figura 10.

Figura 10 Tipos de conexiones comunes de las borneras



Fuente: Los Autores

La figura 10 muestra en el lado izquierdo cómo se conectan las borneras en delta (Δ) y en su lado derecho en conexión estrella (Y) para un motor de 6 puntas, en el caso que el motor sea de 12 puntas existen más posibilidades de conexiones, ya que se pueden conectar sus bobinas en una estrella o delta doble o sencilla, en el caso de un motor de 9 puntas no se puede realizar la conexión delta ya que tiene una conexión Y interna en sus bobinados. La tabla 6 presenta las diferentes conexiones de los motores eléctricos.

Tabla 6 Conexiones de Motores

SIMBOLOGIA DE LA CONEXIÓN	DESCRIPCION DE LA CONEXIÓN
Y	Estrella
YY	Estrella Doble o Estrella Paralela
Δ	Delta
$\Delta\Delta$	Doble Delta o Delta Paralelo

Fuente: Los Autores

5.3. Arranque de los motores de inducción trifásicos

Durante la energización de un motor la corriente de arranque solicitada es elevada en este intervalo y puede provocar una caída de tensión considerable en la red, además de sobrecalentamiento en los devanados del motor [4]. Para poder evitar esto se prohíbe el uso de motores de arranque directo que superen una determinada potencia. Existen distintos procesos de arranque que consisten principalmente en hacer variar la tensión en las bornes del estator. En este tipo de motores, cuya frecuencia es constante, la reducción de corriente máxima conlleva, de manera automática a una fuerte reducción del par.

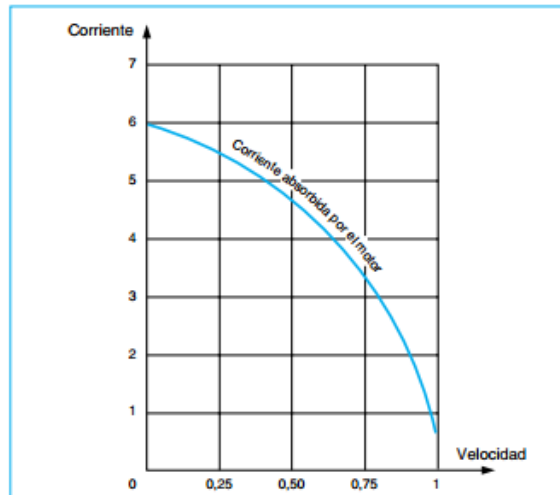
5.3.1. Arranque directo

Se trata del modo de arranque más sencillo y económico en el que el estator se acopla directamente a la red. En el momento de energización, el motor actúa como un transformador cuyo secundario está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales. Por tanto, se obtiene un máximo de corriente en la red ya que la corriente de arranque puede ser de 5 a 8 veces la corriente nominal. El par de arranque medio del orden 0,5 a 1,5 par nominal. A pesar de que sea un arranque rápido, de bajo costo y un par elevado sólo es posible utilizarlo en los siguientes casos:

- Cuando la potencia del motor es pequeña con respecto a las otras cargas conectadas a la red, esto limita las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- Cuando la máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico (por ejemplo, un reductor) que impide el arranque brusco.
- Cuando el par de arranque debe ser elevado.

Se puede observar en las figuras 11 y 12 las curvas características en el esquema de un arranque directo de un motor de inducción.

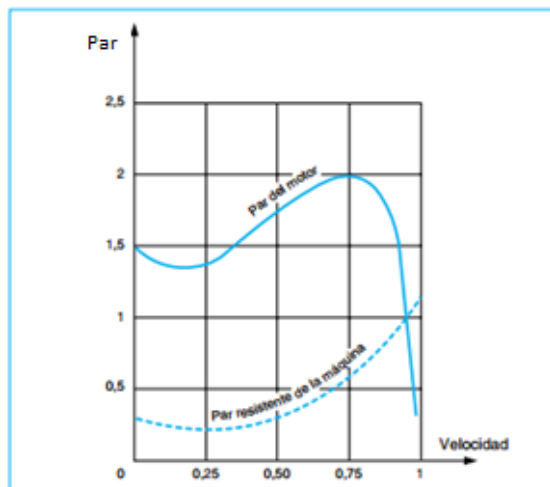
Figura 11 Curva Corriente vs velocidad en el arranque directo de un motor de inducción



Curva de corriente/velocidad del arranque directo

Fuente: Motores eléctricos Schneider electric, [en línea], [Citado el 1 de mayo de 2016], disponible en <<http://www.schneider-electric.com.co/documents/soporte/telesquemario.pdf>>

Figura 12 Curva Par vs velocidad en el arranque directo de un motor de inducción



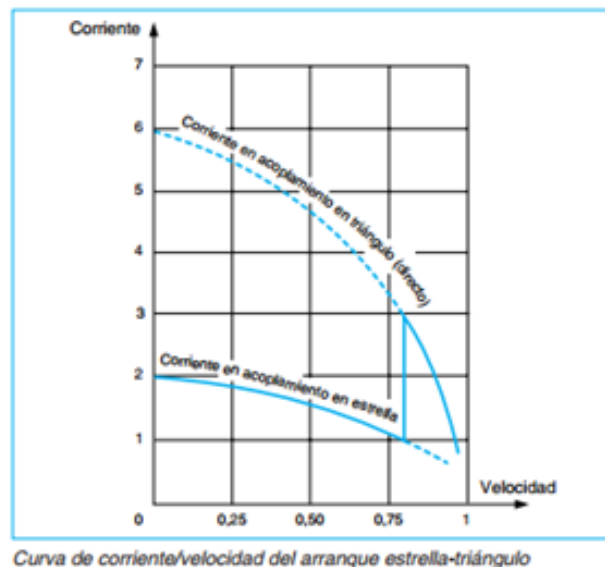
Fuente: Motores eléctricos Schneider electric, [en línea], [Citado el 1 de mayo de 2016], disponible en <<http://www.schneider-electric.com.co/documents/soporte/telesquemario.pdf>>

5.3.2. Arranque estrella-triángulo

Este modo de arranque en motores solamente es posible en donde estén disponibles 6 o 12 terminales de la máquina. Consiste en arrancar el motor conectando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella en $\sqrt{3}$. El valor máximo de corriente durante el arranque se divide por 3 [5].

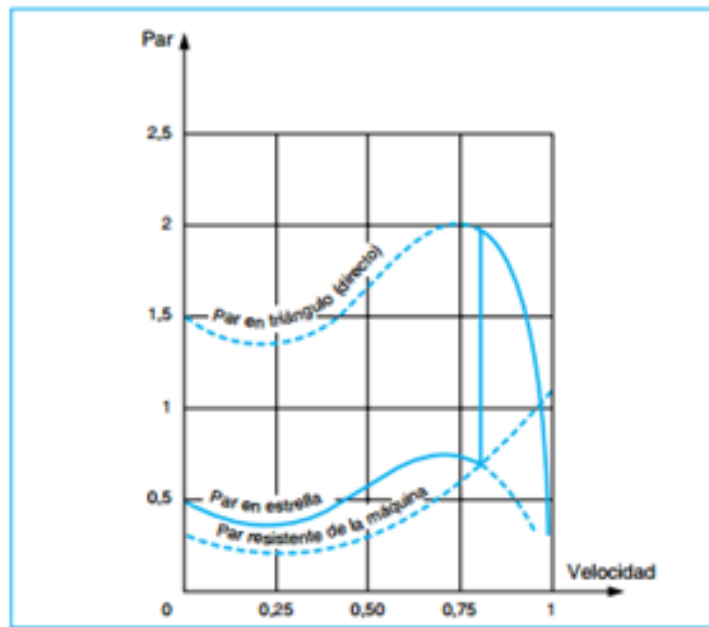
La velocidad del motor, conectado en Y, se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75% y 85% de la velocidad nominal. En ese instante, los devanados se acoplan en triángulo. Un temporizador se encarga de controlar la transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contacto de estrella lo que evita un cortocircuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo. Se puede observar en las figuras 13 y 14 las curvas características de un arranque estrella-triángulo [6].

Figura 13 Curva Corriente vs Velocidad en arranque Y-Δ Motor de inducción



Fuente: Motores eléctricos Schneider electric, [en línea], [Citado el 1 de mayo de 2016], disponible en <<http://www.schneider-electric.com.co/documents/soporte/telesquemario.pdf>>

Figura 14 Curvas Par vs Velocidad en arranque Y-Δ Motor de inducción



Curva de par/velocidad del arranque estrella-triángulo

Fuente: Motores eléctricos Schneider electric, [en línea], [Citado el 1 de mayo de 2016], disponible en <<http://www.schneider-electric.com.co/documents/soporte/telesquemario.pdf>>

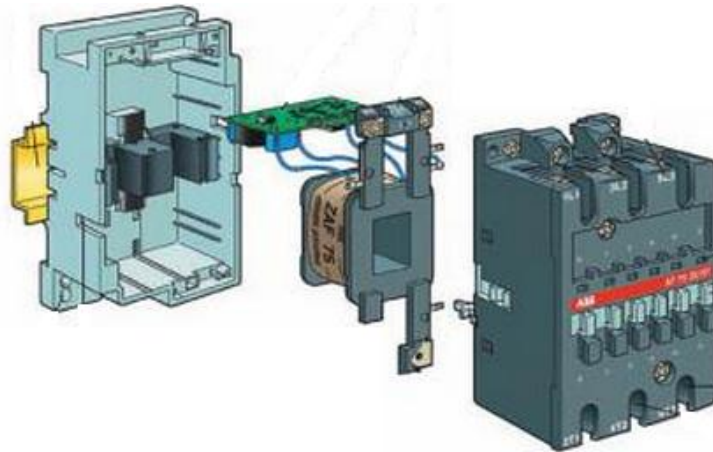
5.3.3. Arranque con Variador de Velocidad

El arranque de un motor de inducción por medio de un variador de velocidad se realiza sencillamente aumentando el valor de la frecuencia desde 0 hasta su valor nominal, ya que la velocidad es directamente proporcional a la frecuencia como se ve en la ecuación 1, al obtener una tensión reducida la corriente de arranque es débil entre 1 y 1,5 la corriente nominal con respecto al arranque directo que es de 6 a 8 veces la nominal, así se logra un arranque que no tiene un pico elevado de corriente y no afecta la red. [7]

5.4. Contactores

Son elementos que tienen como función cerrar o abrir unos contactos, para permitir o interrumpir el paso de corriente eléctrica por los mismos. Esto sucede al energizar la bobina del contactor, actuando como un electroimán y atrayendo dichos contactos [8]. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada". En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden. En la figura 15 se puede observar un contactor ABB usado en el manejo de cargas resistivas.

Figura 15 Contactar ABB



Fuente: Sergio Gallardo, Técnicas y procesos en instalaciones domóticas y automáticas, editorial PARANINFO, p. 106.

5.4.1. Clasificación.

Existen varias clasificaciones de contactores, en base a:

✓ **Su construcción:**

Contactor electromecánico: Funcionan en base a leyes magnéticas, eléctricas y mecánicas.

Contactor neumático: Opera gracias al movimiento de un cilindro neumático de simple efecto que acciona una cámara de contactos similar a la de un contactor electromecánico.

Contactor hidráulico: Se consigue su apertura o cierre gracias a la presión de un líquido con un funcionamiento similar al neumático.

Contactor estático: Su funcionamiento está basado en el de los tiristores, pero tienen grandes inconvenientes tales como un dimensionamiento muy superior a lo necesario, disipan mucha potencia, presentan una corriente de fuga importante y su coste es muy superior al del resto de contactores.

Los contactores electromecánicos presentan las siguientes características:

✓ **El tipo de corriente eléctrica que alimenta la bobina:**

- .1 Contactores con bobina de AC.
- .2 Contactores con bobina de DC.

✓ **Los contactos que posee:**

- .1 Contactores principales para usos de potencia.
- .2 Contactores auxiliares para usos en el control de instalaciones.

✓ **Su categoría de empleo:**

Se clasifican según la corriente que pueden establecer y cortar sin daños en sus partes conductoras o aislantes.

5.4.2. Categoría de empleo.

Para acotar la categoría del empleo de un contactor hay que tener en cuenta la carga que va a controlar y en qué condiciones se establece y se corta la corriente.

La clasificación para contactores con corrientes AC es:

- ✓ **AC1:** Cargas resistivas o ligeramente inductivas, con un factor de potencia igual o mayor a 0.95. Por ejemplo: calefacción eléctrica.
- ✓ **AC2:** Motores de anillos, su arranque y frenado en contracorriente. Cuando el contactor se cierra la corriente de arranque que pasa por sus contactos es 2,5 la corriente nominal del motor aproximadamente, en su apertura debe poder cortar esta misma intensidad. Usos con un factor de potencia en torno a 0,65. Por ejemplo: Motores eléctricos para mezcladoras y maquinas centrifugadoras.
- ✓ **AC3:** Motores de jaula de ardilla con paradas a plena marcha. Cuando el contactor se cierra la corriente de arranque que pasa por sus contactos es 6 veces la corriente nominal del motor aproximadamente, en su apertura la corriente que corta es la nominal de dicho motor. Usos con un factor de potencia en torno a 0,35. Por ejemplo: Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.

- ✓ **AC4:** Arranque y el frenado en contracorriente de motores de jaula de ardilla. Cuando el contactor se cierra la corriente de arranque que pasa por sus contactos es 6 veces la nominal del motor aproximadamente, en su apertura la corriente es la nominal del motor pero a una tensión muy superior que en AC3 proporcional a la velocidad del motor. Usos con un factor de potencia en torno a 0,35. Por ejemplo: motores asíncronos para grúas y ascensores.

5.4.3. Componentes del contactor

- ✓ **Contactos principales:** Se encargan de cerrar o abrir los contactos del circuito de potencia.
- ✓ **Contactos auxiliares:** Se utilizan para el circuito de control. Soportan menos intensidad de corriente que los principales. Los ilustrados en la figura 15 tienen 2 contactos NO y 1 contacto NC, teniendo en cuenta el bloque aditivo.
- ✓ **Circuito electromagnético:** Está formado por el núcleo, la bobina y la armadura.
- ✓ **Bloque aditivo:** Esta es una pieza extra que se instala en el momento que es requerido algún contacto NO o NC adicional al proporcionado por el contactor.

5.5. Relé térmico

El elemento fundamental de los relés térmicos, figura 16 es generalmente un bi-metal formado por dos láminas metálicas diferentes. El coeficiente de dilatación es muy distinto, según sea el ferroníquel, para lamina muy dilatable, o invar para lamina menos dilatable [9].

Este bi-metal se calienta directamente o mediante resistencia calefactora en función de la corriente que absorbe la máquina, con lo que la curvatura de dilatación de la chapa varía y provoca, si la temperatura es alta, la apertura del contactor [9].

Al tratarse de motores trifásicos, los tres bi-metales actúan sobre un árbol móvil, en el que va montado una uña metálica, que se apoya sobre un tope, cuya posición puede variarse por medio de un botón de reglaje, los térmicos pueden ser disparados cuando la sobre-intensidad es del orden 5 al 15% de la corriente del motor.

Figura 16 Relé térmico



Fuente: Contactor SCHNEIDER electric, [en línea] [citado el 2 de Mayo de 2016] disponible en < <http://www.schneider-electric.com>>

5.6. Interruptor termomagnético

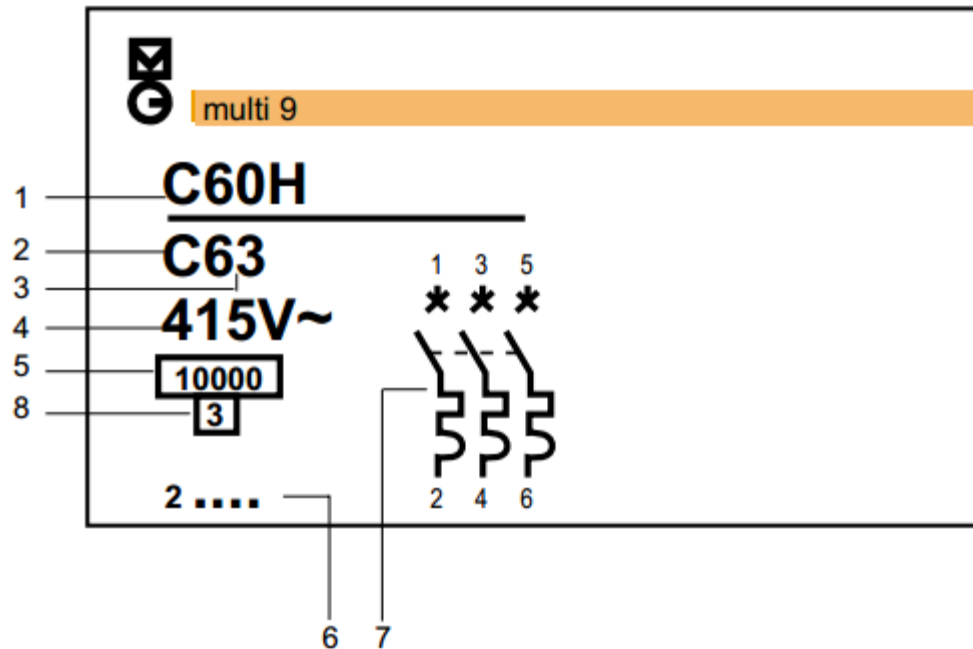
Son elementos de protección contra diferentes fallas eléctricas, entre las que se encuentran:

- ✓ Falla por cortocircuito.
- ✓ Falla por sobre carga.

En cualquiera de estos dos casos, se deben ajustar los interruptores para que se accionen, de tal manera que se protege de forma eficaz el motor.

Debido a que el motor utilizado para el proyecto se energiza con diferentes métodos, se seleccionaron 3 interruptores: 1 para el arranque directo y estrella triángulo, 1 para arranque por variador de velocidad y 1 como protección principal del motor para cualquier tipo de arranque [10]. La figura 17 presenta las principales características de este tipo de interruptores para realizar la selección del mismo.

Figura 17 Interruptor termo magnético



Fuente: Los Autores

- ✓ Número del modelo
- ✓ Curva de disparo, para motores eléctricos MA.
- ✓ Corriente de disparo
- ✓ Voltaje de operación
- ✓ Capacidad de corte de corriente.
- ✓ Número de parte.
- ✓ Diagrama eléctrico.

5.7. Tarjeta de Adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos o DAQ (*Data Acquisition*) es la encargada de adquirir los datos muestreados de las señales y enviarlas al computador para visualizar las medidas por medio de un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente etc., el cual se puede visualizar y almacenar en el PC, las funciones más

comunes que tienen las DAQ son: adquisición y generación de señales analógicas y digitales, además contadores y temporizadores.

Las DAQ están formadas por las siguientes secciones:

- **Conversión analógica a digital:** es un dispositivo que se encarga de traducir un valor de tensión o corriente a un código binario, esto con la finalidad de ser procesado por una computadora.
- **Convertidor digital a analógico:** es un dispositivo que permite convertir a valores de corriente o tensión un determinado código binario que fue procesado por la computadora.
- **Circuitos de conteo y temporización de entrada y salida:** son dispositivo que tiene como finalidad adquirir pulsos de cierta duración para la computadora, así como la información de esta.

Para el desarrollo del proyecto se usó una tarjeta de adquisición de datos NI-6008 de National Instruments, ya que cumple con el procesamiento del número de señales periódicas y no periódicas con las que cuenta el banco de pruebas dinámico. Estas entradas y salidas pueden llegar a ser tanto analógicas como digitales. Además de esto, la tarjeta de adquisición NI 6008 es una de las DAQ más económicas en el mercado y cuenta con un tamaño pequeño y ajustable.

La tabla 7 muestra las principales características que posee la tarjeta de adquisición de datos.

Tabla 7 Características Tarjeta de adquisición de datos

Características	
Frecuencia de Muestreo	10K muestras/s
Canales digitales de entrada/salida	12
Canales analogicas de salida	2
Canales analogicas de entrada	8
Contadores/Temporizadores	1

Fuente: Los Autores

5.8. Software de Desarrollo de sistemas National Instruments Labview

Labview es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas con un lenguaje de programación visual gráfico donde se pueden crear aplicaciones de forma rápida y sencilla, es una sintaxis de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería.

Las principales características con las que cuenta Labview se puede utilizar por una gran variedad de personas independiente de sus conocimientos en programación ya que cuenta con una gran facilidad de uso, esto se debe que a la hora de programar su comprensión es muy sencilla por la existencia de bloques prediseñados donde el usuario ahorra tiempo en vez de programar cada uno de estos dedicando más tiempo en aspectos de diseño.

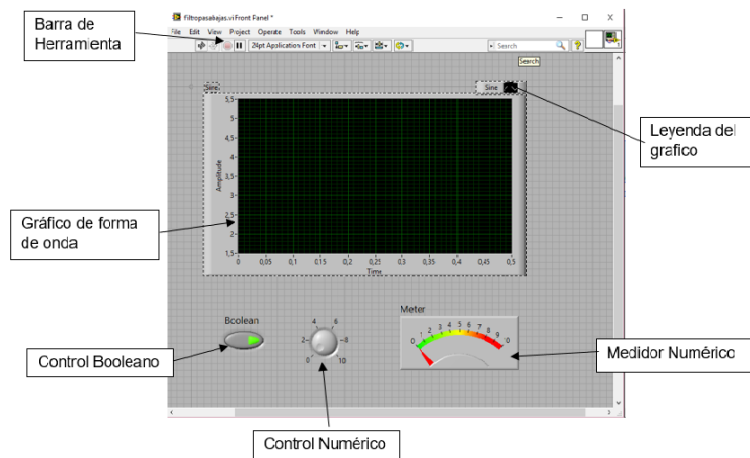
El software se divide en dos secciones el panel frontal y el diagrama de bloques.

5.8.1. Panel Frontal

La interfaz de usuario se construye en el panel de frontal donde los controles son botones, pulsadores, interruptores y otros dispositivos de entrada, los indicadores son gráficas, leds, elementos con texto o números, cuando está construida esta interface, el código se agrega en el diagrama de bloques.

En la figura 18 se observa el panel frontal con sus principales características.

Figura 18 Panel Frontal LABVIEW

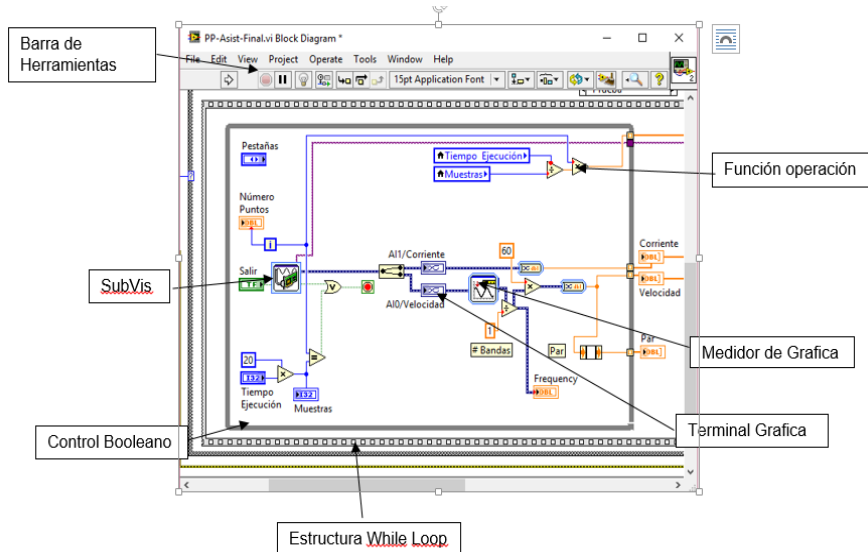


Fuente: Los Autores

5.8.2. Diagrama de bloques

El diagrama de bloques se presenta en la figura 19 contiene las funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de LABVIEW, cada función se interconecta por medio de los nodos incluyendo controles, funciones, indicadores de terminal y estructuras.

Figura 19 Diagrama de bloques de LABVIEW



Fuente: Los Autores

5.9. Variador de frecuencia SIMATIC V20

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan IGBT de última generación. Esto les hace fiables y versátiles, un método de modulación por ancho de pulso con frecuencia de pulsación seleccionable permitiendo un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

El SIMATIC V20 puede utilizarse tanto para aplicaciones aislado como integrado en sistemas de automatización, la figura 20 presenta los diferentes tamaños del variador de velocidad.

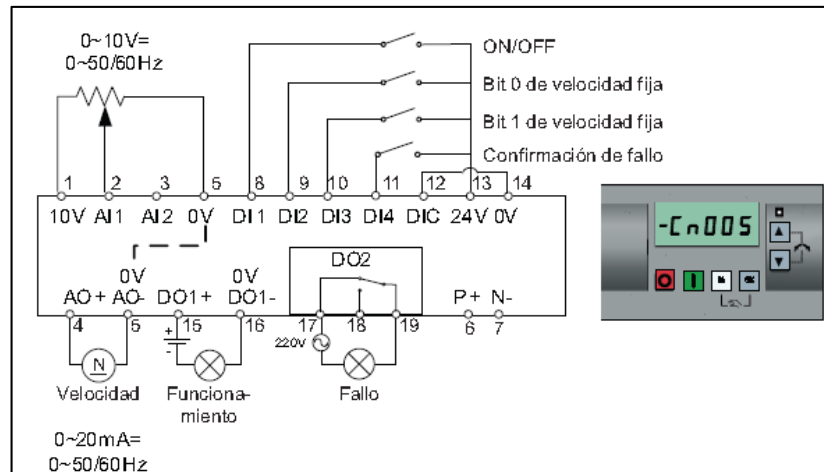
Figura 20 Bornes de control SIMATIC V20



Fuente: Los Autores

En la figura 21, se muestra el esquema de bloques correspondiente al variador de velocidad en mención, allí pueden observar las diferentes entradas digitales, entradas analógicas, alimentación de la red eléctrica y conexión al motor eléctrico.

Figura 21 Esquema de bloques SIMATIC V20



Fuente: Los Autores

5.9.1. Puesta en servicio

En la versión estándar, el SIMATIC V20 cuenta con un SDP (ver figura 22). Este panel permite múltiple con el convertidor con los pre-ajustes efectuados en fábrica. Si dichos pre-ajustes no se adaptan a su instalación, puede modificarlos con la ayuda de los paneles BOP o AOP.

Figura 22 Panel BOP-AOP



Fuente: Los Autores

5.9.2. Poner en servicio desde el panel BOP

Mediante el panel BOP (ver figura 22), se puede modificar los valores de sus parámetros. El panel BOP contiene una pantalla de 7 segmentos en la que se

muestran los números y valores de parámetros, mensajes de alarma y de fallo, así como valores de consigna y valores reales.

En la tabla 8 muestra los ajustes por defecto realizados en fábrica para el funcionamiento vía el panel BOP.

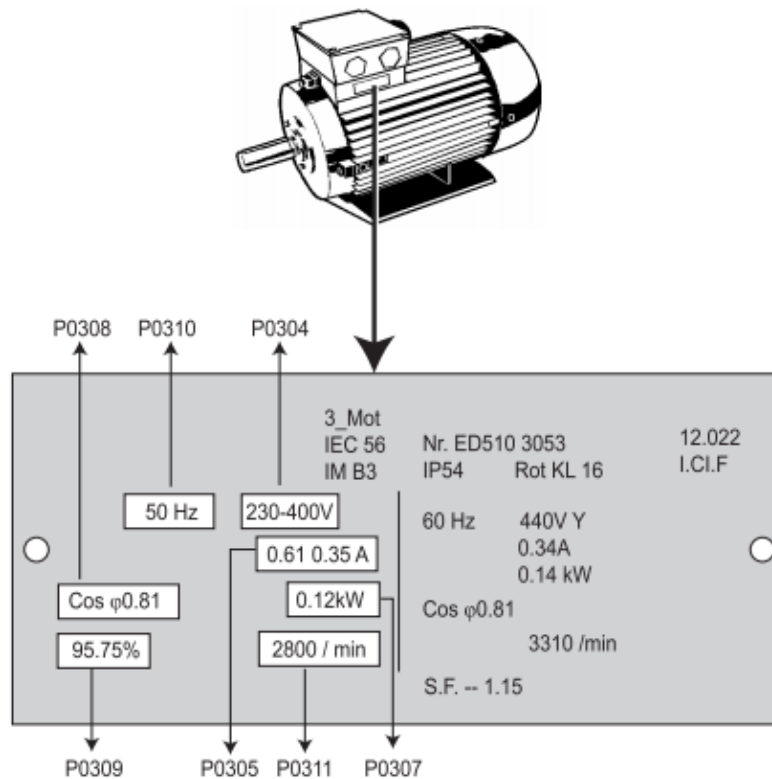
Tabla 8 Ajuste por defecto para manejo usando el panel BOP

Parámetro	Significado	Por defecto Europa (Norteamérica)
P0100	Modo operación Europa/USA	50 Hz, kW (60Hz, hp)
P0307	Potencia del motor	kW (Hp)
P0310	Frecuencia del motor	50 Hz (60 Hz)
P0311	Velocidad del motor	1395 (1680) rpm [dependiendo de la variante]
P1082	Frecuencia máxima del motor	50 Hz (60 Hz)

Fuente: Los Autores

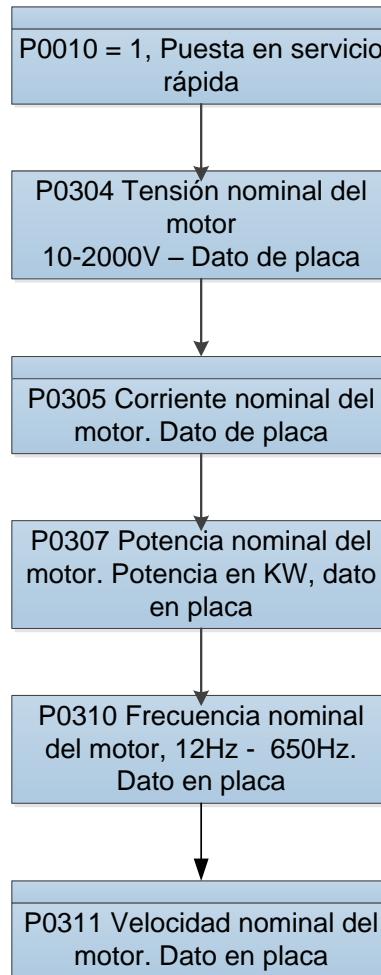
5.9.3. Puesta en servicio rápida

Figura 23 Ejemplo de placa características de motor



Fuente: Los Autores

Figura 24 Esquema en bloques de programación de parámetros de motor



Fuente: Los Autores

5.9.4. Introducción a los parámetros del sistema SIMATIC V 20

Desde el panel BOP es posible modificar los parámetros para ajustar las propiedades deseadas del convertidor, p. ej. Tiempos de rampa, frecuencias mínima y máxima, etc. El número de parámetro seleccionado y de ajuste se visualizan en la pantalla de cristal líquido.

- ✓ P0010 inicia la puesta en servicio rápida.

- ✓ El convertidor no arranca hasta que se ponga a 0 P0010, una vez accedido al mismo. Esta función se ejecuta automáticamente si $P3900 > 0$.
- ✓ P0004 actúa como un filtro, permitiendo el acceso a los parámetros según su funcionalidad.

5.9.5. Niveles de acceso.

Existen 4 niveles de acceso por parte del usuario: estándar, ampliado, experto y servicio, seleccionables desde el parámetro P0003. Para la mayor parte de las aplicaciones bastan las aplicaciones estándar ($P0003=1$) y ampliados ($P0003=2$).

5.10. Sensor de corriente de efecto Hall ACS714

La tabla 9 presenta las principales características.

Tabla 9 Características ACS714-30

CARACTERISTICAS	
Tiempo de retraso:	Durante ascensión de corriente 5ms
Ancho de banda:	80KHz
Error de salida total:	1,5% típica a 25°C
Resistencia del conductor interno:	1,2mOhm
Tensión de aislamiento	2,1KvRMS
Alimentación:	5VDC
Sensibilidad:	66 a 185mV/A
Rango de temperatura:	-40°C a 150°C
Salida extremadamente estable:	offset 2,5VDC

Fuente: Los Autores

6. DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL-POTENCIA Y CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.

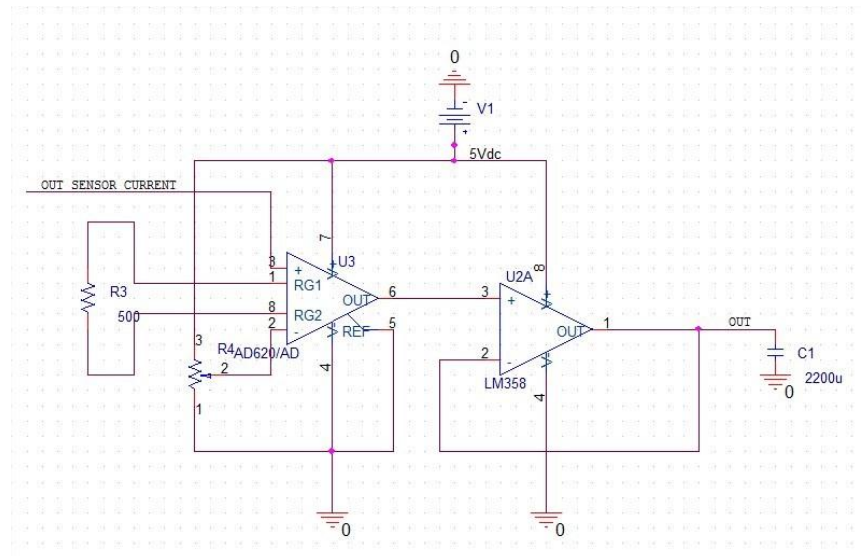
A continuación se presentan las diferentes etapas para acondicionar las siguientes señales:

- ✓ Corriente.
- ✓ RPM.

6.1. Diseño de circuito de medición de corriente.

La figura 25 presenta el esquema de conexiones para realizar el acondicionamiento de la señal de corriente.

Figura 25 Acondicionamiento de señal de corriente.



Fuente: Los Autores

Este circuito está basado en dos etapas:

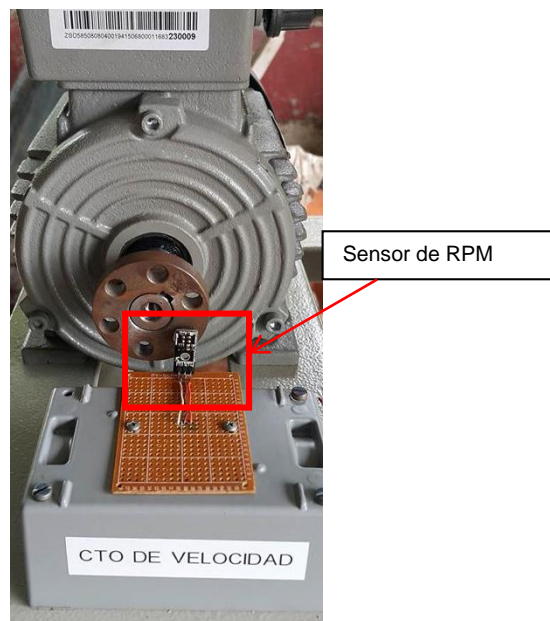
- ✓ **Etapla 1:** Amplificador de instrumentación AD620, se encarga de eliminar el offset de la señal de corriente de 2.5V.

- ✓ **Etapa 2:** Amplificador LM358, se encarga de mantener la señal con las mismas características de tensión y el condensador de 2200uF se encarga de filtrar dicha señal.

6.2. Diseño de medición de RPM para arranque DIRECTO y ESTRELLA-TRIANGULO.

Para realizar la medición de RPM durante del arranque en estrella-triangulo o arranque directo se implementó el sensor que se presenta en la figura 26, este sensor entrega una salida en frecuencia (pulsos cuadrados) proporcionales a las RPM del motor.

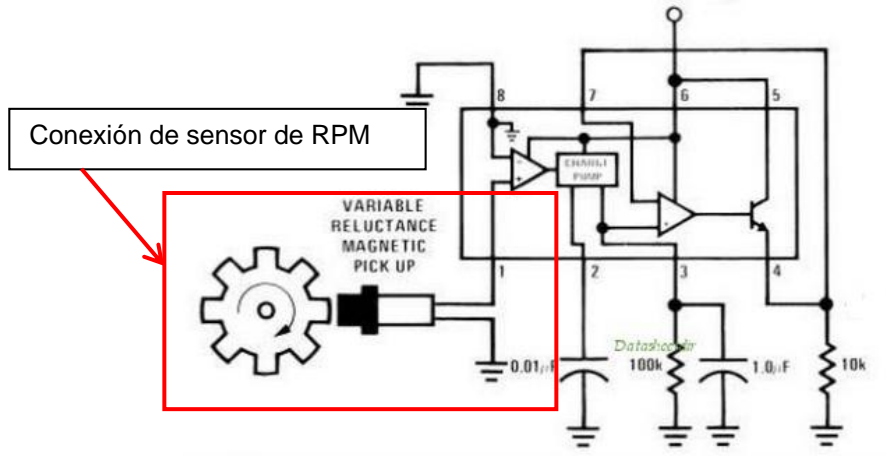
Figura 26 Sensor de RPM



Fuente: Los Autores

Dado que la tarjeta de adquisición de datos no cuenta con una entrada dedicada para la medición de frecuencia, se determinó convertir dicha señal mediante el circuito presentado en la figura 27.

Figura 27 Convertidor frecuencia a voltaje LM2907.

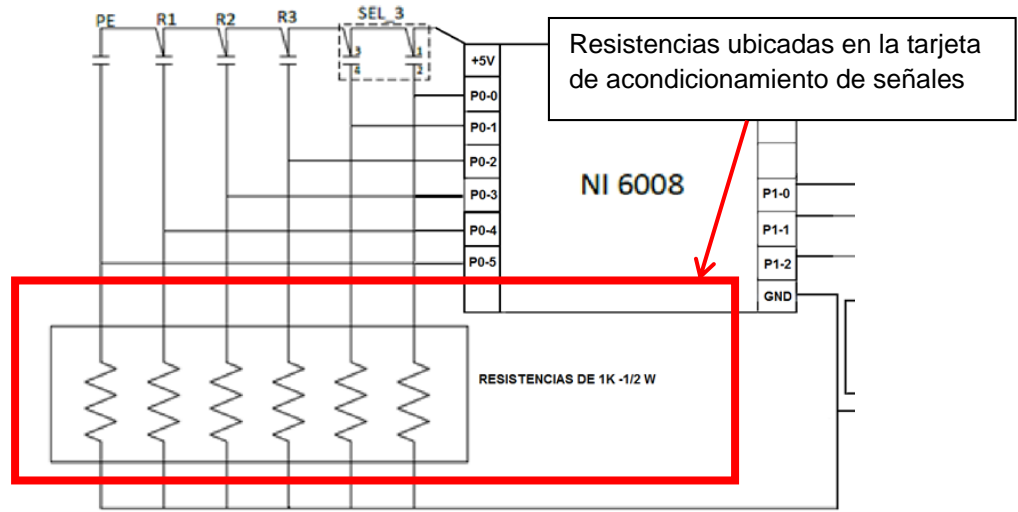


Fuente: Los Autores

6.3. Diseño de acondicionamiento de señal de entradas digitales a NI6008

La figura 28 presenta la conexión de las entradas digitales de las diferentes señales provenientes de pulsadores y contactos de relevadores, es importante mencionar que estas señales se alimentan con 5VDC y la señal GND de la tarjeta de acondicionamiento de señales debe ser común con la NI6008.

Figura 28 Conexión de entradas digitales.

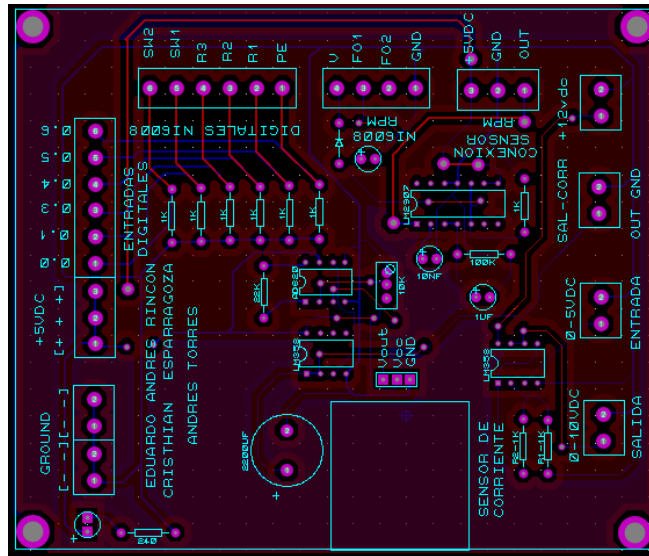


Fuente: Los Autores

6.4. Diseño final de tarjeta de acondicionamiento de señales.

La figura 29 presenta el diseño de la tarjeta de acondicionamiento de señales, esta se desarrolló a través del software ARES de PROTEUS.

Figura 29 Diseño de tarjeta de acondicionamiento de señales.



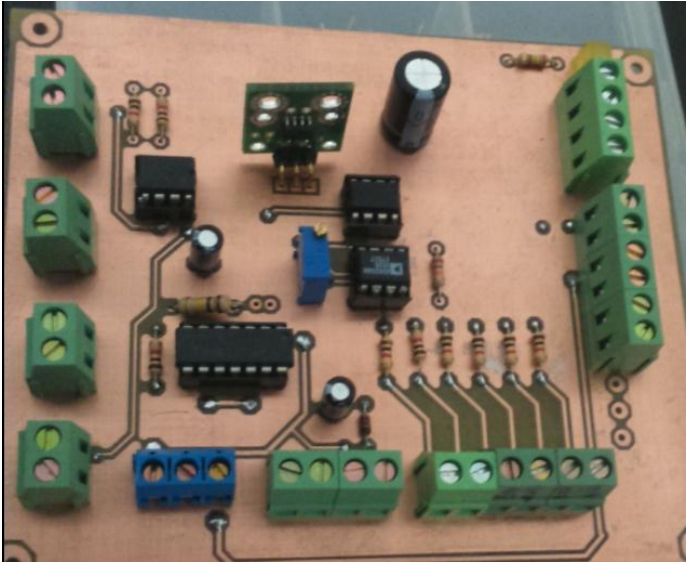
Fuente: Los Autores

A continuación se presenta detalladamente cada una de las señales conectadas a la tarjeta de acondicionamiento de señales.

- ✓ **Entradas digitales 0.0 a 0.8:** Estas son las señales que provienen de los diferentes pulsadores y contactos de los relevadores, tal como lo presenta la figura 28.
- ✓ **Digitales NI6008:** Estas señales con las que finalmente se conectan a las entradas digitales de la NI6008, de esta forma se garantiza que la máxima tensión que llegara a estas entradas será de 5VDC.
- ✓ **Conexión sensor de RPM:** Aquí se conecta directamente el sensor de RPM mostrado en la figura 26, el sensor se alimenta con 5VDC.
- ✓ **NI6008 RPM:** Cuenta con dos salidas llamadas FO1 y FO2, la primera de ellas entrega la salida en pulsos directamente del sensor de RPM, la segunda entrega una salida proporcional en Voltaje a las RPM del motor, para esta tesis de grado se conectó la salida FO2 a una de las entradas análogas de la NI6008.
- ✓ **Alimentación de 12VDC:** Esta tensión es utilizada para alimentar el circuito electrónico para convertir la señal de frecuencia a RPM y el circuito de amplificación de voltaje para convertir la señal de salida de la tarjeta de adquisición de datos de 0-5VDC a una señal de 0-10VDC la cual se conecta directamente a la entrada análoga del variador de velocidad.
- ✓ **SAL-CORR:** Correspondiente a la salida de corriente, esta señal se conecta directamente a una de las entradas digitales de la NI6008.
- ✓ **0-5VDC:** Entrada que proviene de la tarjeta de adquisición de datos NI6008, la cual se encarga de variar las RPM.
- ✓ **0-10VDC:** Esta salida se conecta directamente a la entrada análoga del variador de velocidad y de esta forma se realizó el acople entre el variador de velocidad y la NI6008.

La implementación final de esta tarjeta de adquisición de datos se presenta en la figura 30, es importante señalar que esta tarjeta es de dos capas.

Figura 30 Implementación final de tarjeta de acondicionamiento de señales.



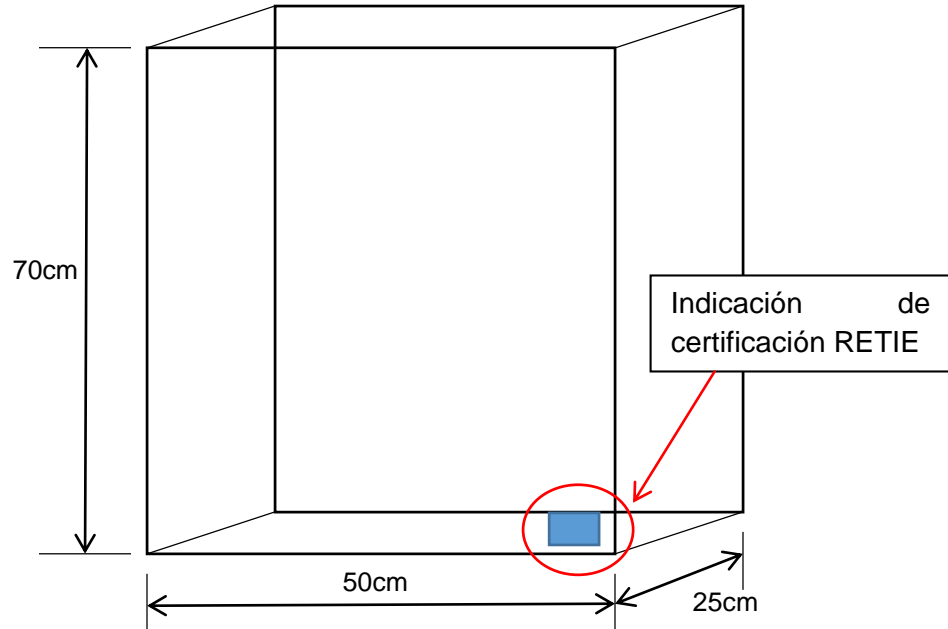
Fuente: Los Autores

7. BANCO DE PRUEBAS DINAMICO

6.1. Selección del tablero de control y potencia del banco de pruebas.

Para determinar las dimensiones del tablero eléctrico a seleccionar, se realizó la selección de cada uno de los componentes que hacen parte del circuito eléctrico de control y potencia, para ello se revisó la información técnica de cada de ellos y así determinar sus dimensiones.

Figura 31 Dimensiones del gabinete de control y potencia



Fuente: Los Autores

Tal como lo indica la figura 31, el tablero adquirido cumple con certificaciones que determinan que cumple con las exigencias RETIE.

El grado de protección de este gabinete o tablero de cumple con el grado de protección NEMA 4, las características de esta protección se describen en la tabla 10.

Tabla 10 Grado de protección de tablero de control y potencia.

Protección NEMA 4 [12]	
NEMA	La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (National Electrical Manufacturers Association) NEMA. Proporciona un sistema para clasificar los equipos eléctricos dependiendo de la protección que éstos brindan hacia las personas y de la protección de cada uno de los dispositivos hacia los factores ambientales ² .
NEMA 4	La propiedad NEMA 4 es una característica con la cual se garantiza el óptimo funcionamiento de los equipos a ser utilizados en interiores y/o exteriores, además provee la seguridad al personal que lo utiliza, evitando el acceso a las partes peligrosas en el interior de los equipos. NEMA 4 también es un escudo de protección robusto para los equipos contra ambientes que van desde el polvo, tierra, pelusa y fibra hasta ambientes como son chorros de agua directos, lluvia, nieve y agua-nieve.

Fuente: Los Autores

Para mayor comodidad del estudiante y tener el espacio necesario para realizar una práctica de laboratorio se dispuso en la tapa de la parte frontal todos los elementos de mando y señalización como lo son las alarmas, pulsadores y muletillas, que dan las opciones de operación con las que cuenta el banco.

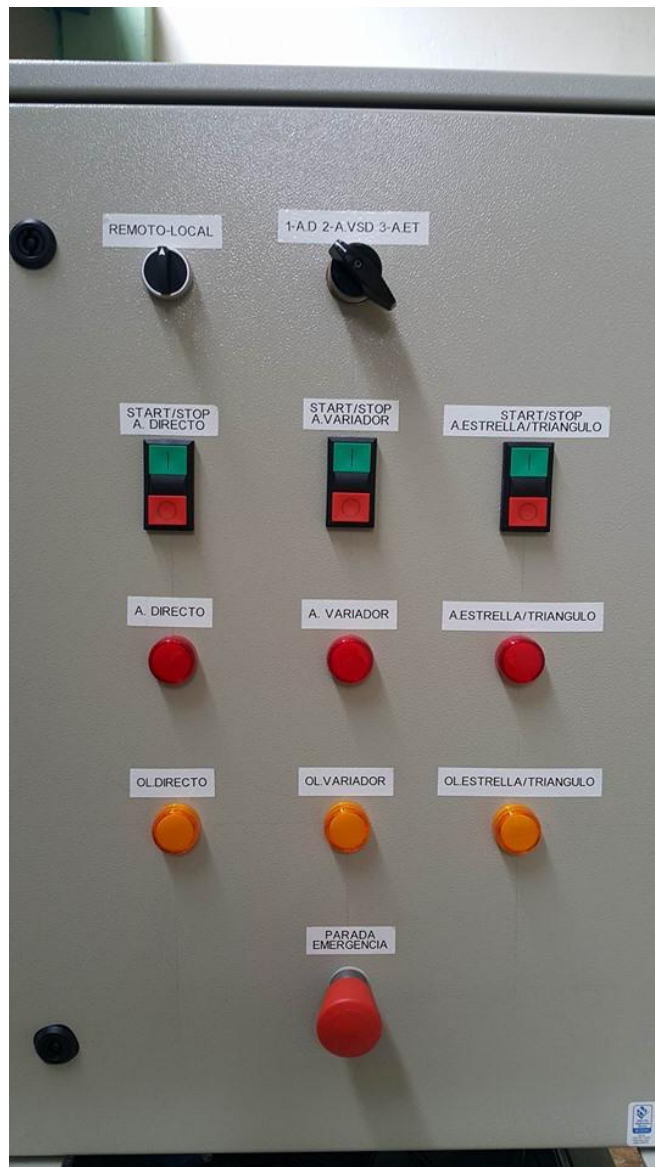
La figura 32 presenta los componentes que hacen parte del circuito de control que se desarrolló para esta tesis de grado, la tapa frontal contiene los componentes que se mencionan a continuación:

- ✓ (1) Parada de emergencia.
- ✓ (1) Perilla selectora para determinar el modo de operación (LOCAL-REMOTO).

² Protección NEMA, [En línea], [Citado el 6 de Mayo de 2016], disponible en línea < http://www.logicbus.com.mx/pdf/Proteccion_NEMA.pdf>

- ✓ (3) Estaciones de arranque/parada de los tres métodos de arranque (Directo, estrella-triángulo, Variador de velocidad).
- ✓ (3) Indicadores pilotos ROJOS, que indican el arranque a través de cualquiera de los métodos ya mencionado.
- ✓ (3) Indicadores pilotos AMARILLOS, que indicaran sobrecarga durante la operación de cualquiera de los métodos ya mencionados.

Figura 32 Parte frontal del tablero finalizado



Fuente: Los Autores

Para la parte lateral derecha del tablero se disponen los *plugs* para que el estudiante realice cada una de las conexiones, se hizo el mismo procedimiento para realizar los orificios, dando como resultado lo que se observa en la figura 33.

Figura 33 Parte Lateral derecha del tablero



Fuente: Los Autores

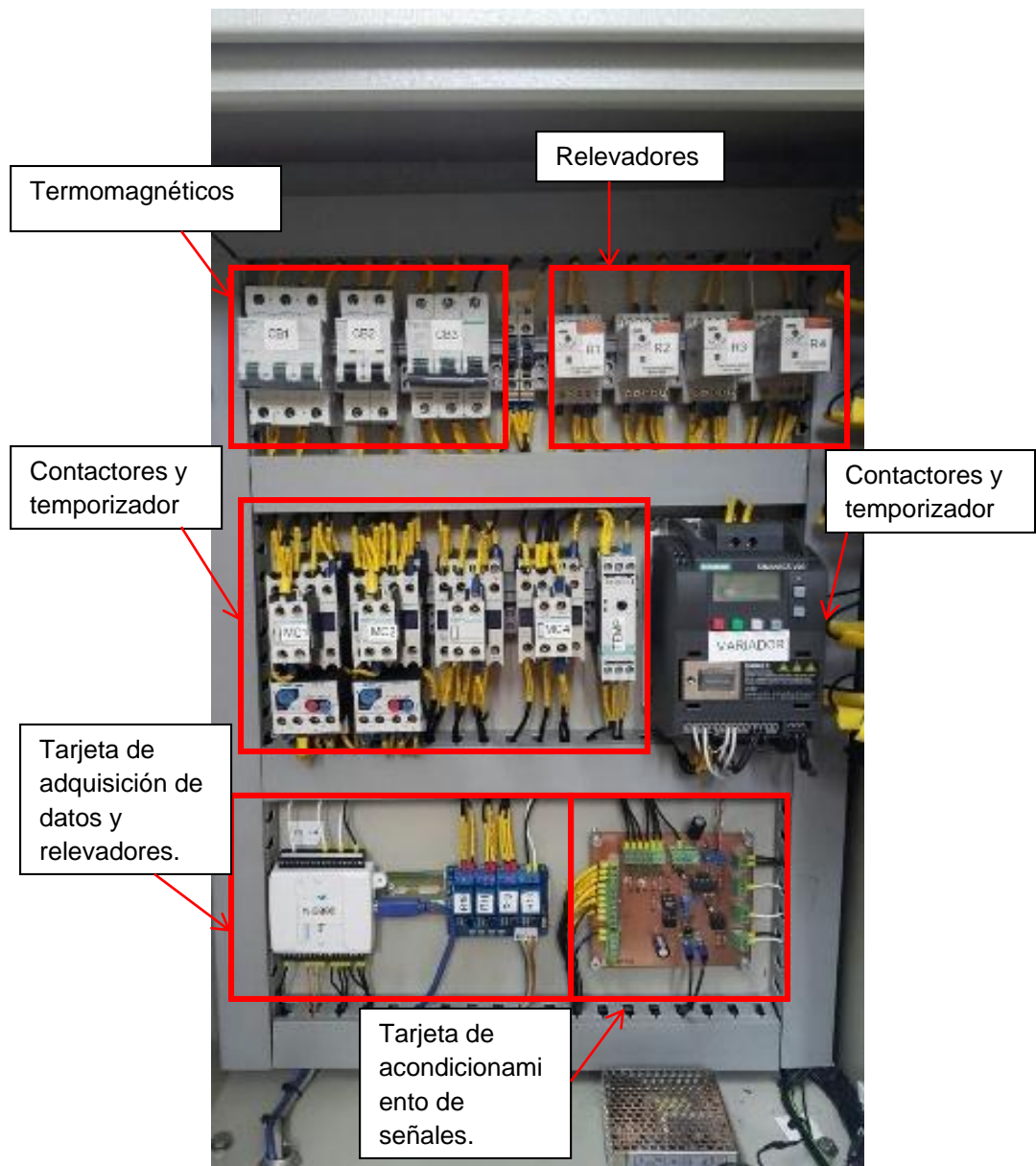
6.2. Componentes Internos del tablero de control para el banco de pruebas.

Los componentes internos se seleccionaron de acuerdo a las especificaciones técnicas del sistema eléctrico instalado, estas especificaciones se mencionan a continuación:

- ✓ Curvas de disparo de interruptores termomagnéticos, de acuerdo a las características de placa del motor eléctrico instalado.
- ✓ Disparo rápido para proteger el circuito de control.
- ✓ Numero de contactos y tensión de bobina de los relevadores.

- ✓ Clasificación de los contactores (AC1-2-3) y tensión de la bobina.
- ✓ Canaleta ranurada plástica para ubicar el cableado eléctrico.
- ✓ Dimensiones del cableado según las características de la carga a conectar.
- ✓ Temporizador ON delay con salida a relé y alimentación multivoltaje.
- ✓ Variador de velocidad con alimentación bifásica y bornes de control con señales análogas y digitales.

Figura 34 Disposición interna del tablero



Fuente: Los Autores

La figura 35 presenta la construcción del tablero de control y potencia, se inició con la instalación de la canaleta en el doble fondo del cofre. Seguidamente el ajuste del riel *omega 35mm*, en el cuál van sujetos todos los elementos de control y potencia tales como contactores, interruptores, variador de velocidad, relés, tarjeta de adquisición, etc. Para todo el cableado de potencia, se tomó un cable calibre 18 AWG, mientras que para la parte de control el cable es calibre 20 AWG.

Figura 35 Cableado del cofre



Fuente: Los Autores

La tabla 11 describe detalladamente todos los componentes instalados en el tablero de control de esta tesis de grado

Tabla 11 Elementos internos del tablero

No	Elementos	Cantidad
1	Tarjeta de Adquisición NI 6008	1
2	Juego de relevadores de 5 V	1
3	Interruptor termomagnético siemens 3x32	1
4	Interruptor termomagnético siemens 2x16	1
5	Interruptor termomagnético 2x16	1
6	Acople térmico para contactor Chint	2

7	Bloque de contacto 1No 1Nc	3
8	Bloque de contactor 1Nc	1
9	Relé de 11 pines Siemens de 220Vac	4
10	Porta fusibles	4
11	Fusibles de 2 A	2
12	Fusibles de 1 A	2
13	Topes para tablero	20
14	Contactores 18-10 Chint	4
15	Relé de tiempo Siemens	1
16	Variador sinamics V20 Siemens	1
17	Fuente de 220V/12 V	1
18	Cable 18 AWG	100 m
19	Cable 20 AWG	11 m
20	Canaleta ranurada 4040	4 m
21	Riel omega	2 m
22	Clavija 16 A	1

Fuente: Los Autores

7. OPERACIÓN DEL BANCO

El banco de pruebas cuenta con una muletilla de 3 posiciones (Denominado Sel_3) para seleccionar el modo de operación del motor, el cual puede ser remoto o local. Junto a esta muletilla, en la parte frontal del tablero se halla una muletilla de 4 posiciones (Llamada Sel_4), esta es la encargada de seleccionar el tipo de arranque: 1-Arranque Directo (1-A.D), 2-Arranque con Variador de Velocidad(2-A.VSD) y 3- Arranque Estrella Triángulo(3-AET).

En la parte inferior de donde se encuentran las muletillas, están las 3 estaciones de arranque-parada. Una para cada tipo de arranque. El pulsador de arranque es de naturaleza normalmente abierto mientras que el pulsador de parada de naturaleza normalmente cerrado.

Figura 36 Sel_3, Sel_4, Estaciones de arranque directo, variador y estrella triángulo



Fuente: Los Autores

7.1. Modo Local

En el modo local todas las acciones son realizadas por medio de las muletillas y estaciones de arranque-parada ubicados en la parte frontal del tablero de control. En este modo se puede arrancar y parar el motor con cualquier tipo de arranque. Las medidas mostradas en el computador a través de este modo son las gráficas de Velocidad vs Tiempo para los 3 tipos de arranque y Corriente vs Tiempo para arranque directo y estrella triángulo únicamente. La figura 37 presenta el panel frontal del banco desarrollado en esta tesis de grado.

Figura 37 Panel Frontal



Fuente: Los Autores

7.1.1. Descripción modo local

Cuando en el banco de pruebas dinámico se selecciona el modo local, ocurre una serie de operaciones descritas secuencialmente así:

1. En el selector de 3 posiciones Sel_3, los contactos normalmente abiertos 1-2 y 5-6 son accionados y cambian de normalidad. Ambos contactos se mantendrán así hasta que haya un cambio en la muletilla nuevamente.
2. En el selector de 4 posiciones Sel_4, los contactos normalmente abiertos del tipo de arranque que se quiera utilizar se cerrará. El contacto 1-2 corresponde al arranque directo, el 3-4 al arranque por variador de velocidad y el 5-6 al arranque estrella triángulo.
3. Finalmente, queda activar el pulsador normalmente abierto o arranque de la estación arranque-parada del tipo de arranque seleccionado. Este contacto, que se encuentra en cada estación se enumera como 3-4.

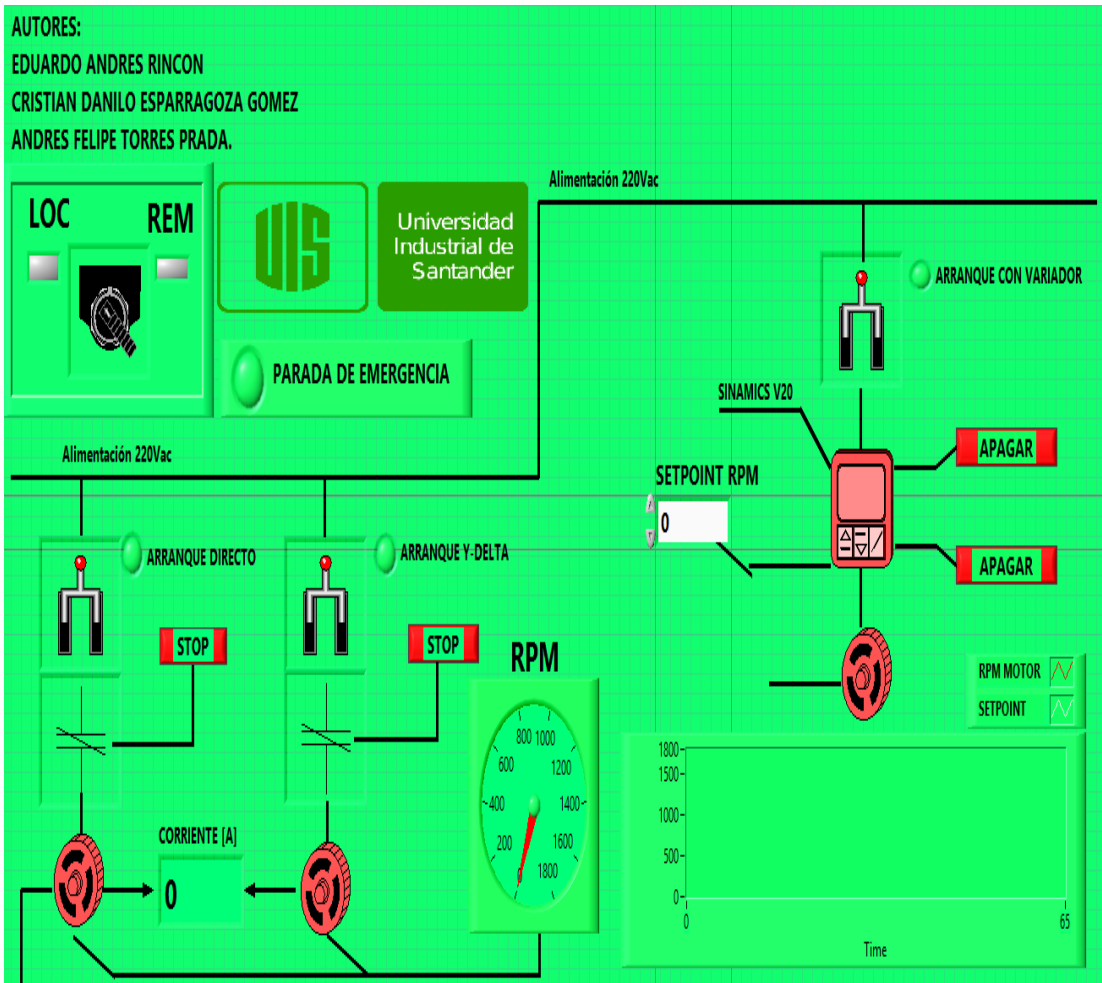
7.2. Modo Remoto

En este modo de operación todas las acciones de arranque y parada son realizadas desde el algoritmo de LabView, utilizando solamente las muletillas o selectores Sel_3 y Sel_4 del panel frontal del tablero. Una vez seleccionado el modo remoto y el tipo de arranque, el estudiante se concentrará en la interfaz de LabView para analizar las medidas tomadas. Al igual que en el modo local las gráficas de Velocidad vs Tiempo se dan para los 3 tipos de arranque mientras que la gráfica de Corriente vs Tiempo para arranque directo y estrella triángulo únicamente.

7.2.1. Descripción modo remoto

1. En el selector de 3 posiciones Sel_3, los contactos normalmente abiertos 3-4 y 7-8 son accionados y cambian de normalidad. Ambos contactos estarán cerrados hasta que haya un cambio de selección en la muletilla.
2. En el selector de 4 posiciones Sel_4, los contactos normalmente abiertos del tipo de arranque que se quiera utilizar se cerrará. El contacto 1-2 corresponde al arranque directo, el 3-4 al arranque por variador de velocidad y el 5-6 al arranque estrella triángulo.
3. A diferencia del modo local, las estaciones de arranque-parada en este punto, no tienen forma de energizar el motor a pesar de que haya un accionamiento físico de los contactores MC1, MC2, MC3 o MC4. En este caso, el arranque-parada para los 3 tipos de arranque y la inversión de giro para el arranque con variador de velocidad son controlados directamente desde la interfaz de LabView.

Figura 38 Interfaz de LABVIEW



Fuente: Los Autores

7.3. Matriz causa efecto

Se realiza una matriz causa efecto con el fin de indicar las acciones desarrolladas para los elementos de potencia y control ante diversos eventos, cada uno de estos eventos se describen en la tabla 12.

Tabla 12 Matriz causa efecto

Causa	Efecto
Pulsación de la parada de emergencia (PE)	Se abren los contactos 1-2 normalmente cerrados de la PE, lo cual desencadena la señal de arranque y desenergiza el motor. El sistema queda de nuevo a la espera de una nueva pulsación de arranque.

Activación de los termomagnéticos de MC1 y MC2	Se abren los contactos normalmente cerrados 95-96 de ambos contactores. Obligando a desenergizar por completo el motor.
Activación de la bobina del relé R1 (Arranque directo)	Al energizar esta bobina de los terminales 2-10 del relé, cambian de normalidad los contactos NO 1-5, lo que permite al pulsar arranque en la estación arranque parada del arranque directo, energizar el contactor MC1 con cualquier modo seleccionado (Local o remoto).
Activación de la bobina del relé R2 (Arranque estrella-triángulo)	Se energizan sus terminales 2-10, permitiendo que se cierren los contactos NO 1-5 y así, al pulsar arranque en la estación de arranque-parada del arranque estrella-triángulo, energizar el contactor MC2 y MC4 junto al temporizador TEMP, el cual después de cierto tiempo hará el switcheo desactivando MC4 y activando MC3.
Activación de la bobina del relé R3 (Arranque por variador)	Se energiza su bobina en los terminales 2-10, obligando a un cambio de naturaleza de sus contactos NO 1-5, de esta forma, al pulsar arranque en la estación de arranque por variador, se energizará la bobina de R4, la cual tiene uno de sus contactos NO a la entrada digital del variador.
Activación de las bobinas de relé de 5v R10, R11 y R12.	Estas bobinas son excitadas mediante LabView, se encuentran conectadas a la salida de la tarjeta de adquisición. Sus contactos NO al cambiar de naturaleza influyen únicamente en modo remoto, ya que si los contactos 3-4 del Sel_3 (Modo remoto) no están cerrados, no arrancará el motor al activar alguna de las bobinas R10, R11 y R12.

Fuente: Los Autores

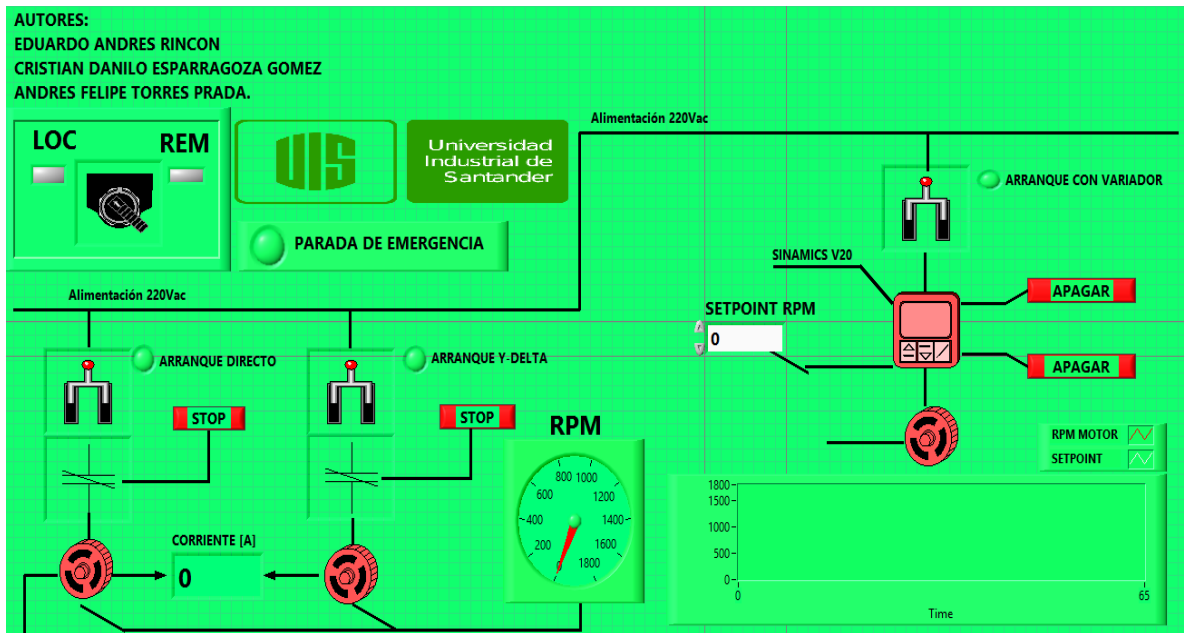
8. DESARROLLO DEL SOFTWARE

Se presenta el desarrollo del algoritmo de control que cumple con lo establecido en la narrativa de operación y mantiene al banco trabajando dentro de las ventanas operativas que aseguran un óptimo funcionamiento.

8.1. Funciones panel frontal

La figura 39 presenta el desarrollo de la interfaz hombre máquina del banco de pruebas desarrollado en esta tesis de grado.

Figura 39 Panel frontal



Fuente: Los Autores

Los componentes más importantes de este panel frontal se mencionan a continuación:

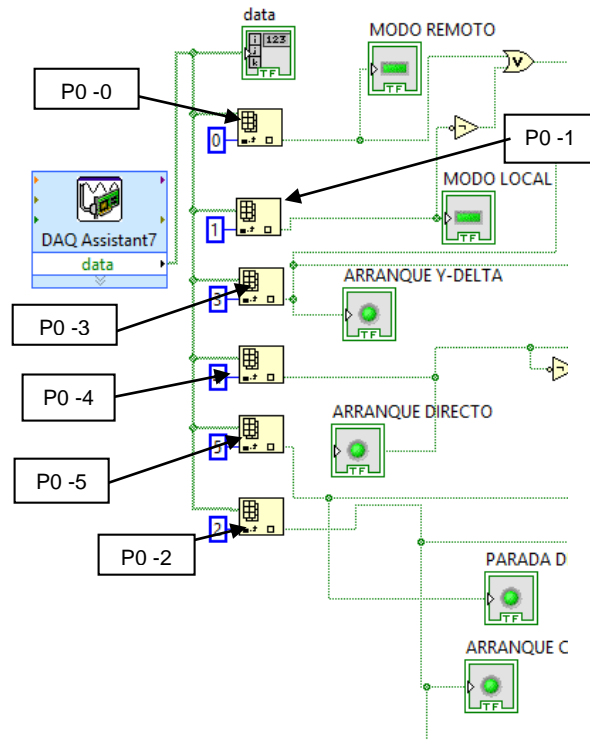
- ✓ **LOC-REM:** La ubicación de la perilla indicara el modo de operación del banco de pruebas, esta orden es dada a través de las entradas digitales.
- ✓ **Parada de emergencia:** El indicador piloto se activara en color ROJO indicando que la parada de emergencia fue activada, esta orden es dada a través de las entradas digitales.
- ✓ **Arranque DIRECTO, Y-DELTA, VARIADOR:** El interruptor cambiara de posición activa a desactiva, según el método de arranque a utilizar.
- ✓ **SETPOINT RPM:** Se establece el valor de las RPM del motor eléctrico, este valor es convertido a una señal proporcional en voltaje y se envía a la tarjeta de acondicionamiento de señales y finalmente es enviada al variador de velocidad.

- ✓ **Salidas digitales de prender/ apagar:** Los pulsadores que aparecen en la figura anterior como (STOP y APAGAR) se encargan de activar los relevadores llamados R10 hasta R14 que se presentan en plano de control, ver ANEXO.

8.2. Diagrama de Bloques para entradas y salidas digitales

En la figura 40 podemos observar la función DAQ Assistant destinado a realizar la lectura de cada una de las entradas digitales las cuales por medio de lógica booleana podemos activar cada una desde el panel frontal mostrado en la figura anterior.

Figura 40 Lógica booleana entradas digitales



Fuente: Los Autores

La tabla 13 presenta la nomenclatura utilizada y el PIN correspondiente a la NI6008 de cada una de las señales utilizadas.

Tabla 13 Entradas Digitales NI 6008

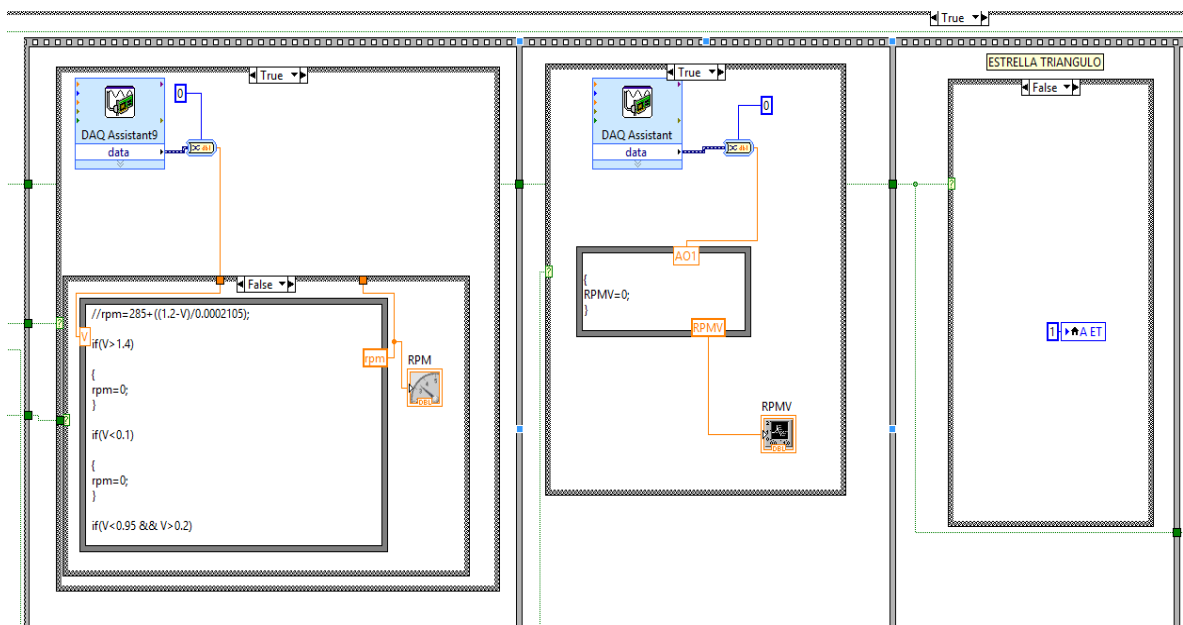
Entradas Digitales	Pin	Notación
--------------------	-----	----------

Parada de emergencia	P0-5	PE
Arranque directo	P0-4	R1
Arranque estrella-triangulo	P0-3	R2
Arranque con variador	P0-2	R3
Sistema en modo local	P0-1	SW1
Sistema en modo remoto	P0-0	SW2

Fuente: Los Autores

Para las entradas analógicas se trabajó cada una de las señales por aparte por medio de la función Flat sequence structure, como lo indica la figura 41 ya que al tener varios DAQ Assistant en la misma ventana se puede tener problemas o errores con la mediciones de las señales.

Figura 41 Funciones empleadas en el diagrama de bloques



Fuente: Los Autores

9. RECURSOS Y PRESUPUESTO

Tabla 14 Lista Elementos banco

DESCRIPCION	un	CANT	V. UNITARIO	V. TOTAL
Base para relevo 11 Pines	un	4,00	10.345,00	41.380,00
Bloque Auxiliar NO	un	1,00	14.500,00	14.500,00

Bloque de contacto 1NA+1NC	un	3,00	12.500,00	37.500,00
Bloque de contacto 1NC	un	3,00	12.500,00	37.500,00
Bloques Auxiliares	un	2,00	6.000,00	12.000,00
Borne Portafusibles	un	5,00	10.345,00	51.725,00
Cable 20 AWG	m	11,00	400,00	4.400,00
Cable Cu Thwn 12 VD	m	100,00	973,00	97.300,00
Cable de vehiculo No 18 AWG	m	100,00	345,00	34.500,00
Canaleta Ranurada VDR	un	2,00	29.310,00	58.620,00
Cartucho Cable 18-12 AWG	un	1,00	76.910,00	76.910,00
Cartucho Cable 22-16 AWG	un	1,00	70.370,00	70.370,00
Circuito de adquisicion de señales	un	1,00	120.000,00	120.000,00
Clavija 16 Amp 3p	un	1,00	11.207,00	11.207,00
Contactores Auxiliares	un	2,00	10.000,00	20.000,00
Contactores, termicos	un	1,00	166.000,00	166.000,00
Cortadora	hora	4	3.000,00	12.000,00
Fabricacion Estructura	un	1,00	50.000,00	50.000,00
Fuente 12 VDC 3 a 35 W	un	1,00	52.000,00	52.000,00
Fusible 0.5 A	un	5,00	432,00	2.160,00
Fusible 1 A	un	2,00	500,00	1.000,00
Interruptor termomagnetico siemens 16 Amp	un	2,00	21.780,00	43.560,00
Interruptor termomagnetico siemens 32 Amp	un	3,00	26.666,67	80.000,00
Mano de obra	hora	480	15.000,00	7.200.000,00
Marquilladora Panduit	hora	40,00	2.000,00	80.000,00
Motor de induccion trifasico Siemens	un	1,00	435.000,00	435.000,00
Muletilla 0-1-0	un	2,00	38.000,00	76.000,00
Muletillas 3 posiciones	un	2,00	63.000,00	126.000,00
Piloto Led Amarillo Monoblock 220v	un	3,00	24.000,00	72.000,00
Piloto Led Rojo Monoblock 220v	un	3,00	24.000,00	72.000,00
Pintura estructura	un	1,00	50.000,00	50.000,00
Plugs	un	24,00	1.800,00	43.200,00
Pulsador Doble 0-1	un	3,00	30.500,00	91.500,00
Pulsador Hongo rojo con retencio Siemens	un	1,00	54.500,00	54.500,00
Rele de tiempo Siemens	un	1,00	125.862,00	125.862,00
Relevadores de 5 Voltios	un	1,00	25.000,00	25.000,00
Relevo 11 pines 220V	un	4,00	18.103,00	72.412,00
Riel Omega	un	1,00	3.879,00	3.879,00
Rieles de soporte computador	un	1,00	3.700,00	3.700,00
Sacabocados Hidraulico	hora		3.500,00	-
Secadora Industrial	hora	40,00	1.500,00	60.000,00
Selector de 4 posiciones	un	1,00	17.000,00	17.000,00
Sensor de Velocidad	un	1,00	7.000,00	7.000,00
Tabla soporte Computador	un	1,00	35.000,00	35.000,00
Tablero Metalico	un	1,00	187.320,00	187.320,00
Tarjeta de adquisicion de datos NI 6008	un	1,00	652.000,00	652.000,00
Toma Inscrustada 16 Amp	un	1,00	18.103,00	18.103,00
Topes Elementos	un	15,00	1.500,00	22.500,00
Traladro Industrial	hora	5	4.000,00	20.000,00
Variador de Velocidad Siemens V20	un	1,00	569.999,64	569.999,64

Tabla 15 Costo Total Directo

Proyecto		Banco de pruebas dinámico para arrancadores de motor de inducción trifásico para prácticas de laboratorio mediante el software LABVIEW			CONTRATO	
ITEM	TIPO	DESCRIPCION	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
1,00						
1.01	C	Elemento Interno	UND	2.270.738,00	1	2.270.738,00
1.02	C	Elementos Externos	UND	829.390,00	1	829.390,00
1-ST		Subtotal				3.100.128,00
2						
2.01	C	Diseño	UND	50.000,00	1	50.000,00
2.02	C	Componentes	UND	480.700,00	1	480.700,00
2.03	C	Accesorios	UND	147.280,00	1	147.280,00
2-ST		Subtotal				677.980,00
3						
3.01	C	Alquiler Herramienta	UND	140.000,00	1	140.000,00
3.02	C	Mano de obra	UND	7.200.000,00	1	7.200.000,00
3-ST		Subtotal				7.340.000,00
TOTAL COSTO DIRECTO						11.118.108,00

Fuente: Los Autores

10. CONCLUSIONES

- El acondicionamiento de señales fue un gran reto en el desarrollo de este proyecto de grado ya que involucro revisar documentación técnica de tal

forma que todas las señales fueran compatibles con la tarjeta de adquisición de datos NI-6008.

- Mediante el algoritmo desarrollado en LABVIEW se logró tomar lectura de todos los puertos analógicos y digitales mediante la herramienta DAQ Assistant, mediante el uso de diferentes bloques de programación, permitiendo de esta forma tener un algoritmo funcional.
- Se logró programar de forma adecuada un algoritmo en LABVIEW para procesar cada una de las señales analógicas y digitales de entrada por medio del diagrama de bloques.
- El funcionamiento del banco de pruebas establece las bases fundamentales para realizar otras prácticas de laboratorio y aplicaciones a través de la tarjeta de adquisición de datos donde se aprovechan cada uno de los componentes del banco, además de tener la flexibilidad para adicionar otros mecanismos de accionamiento como un PLC al variador de velocidad en el cual se puede implementar para otras asignaturas de la universidad.
- Se utilizaron 3 tipos de arranque vistos en la clase de Accionamientos Eléctricos de la Universidad Industrial de Santander, los cuales son de uso común en la industria, para implementarlos y mostrar la lógica cableado de cada uno de ellos. Con el análisis del arranque directo, arranque estrella-triángulo y arranque por variador de frecuencia en el banco dinámico de pruebas, se adquieren bases suficientes para analizar los demás tipos de arranque vistos en la materia, como arranque por autotransformador, arranque con resistencias estatóricas y arrancador suave.

- Se realizó una práctica de laboratorio sugerida para la asignatura de Accionamientos Eléctricos, en la cual se puede validar el encendido del motor con cualquiera de los 3 tipos de arranque seleccionados para este banco de pruebas dinámico. Además, el banco está en capacidad medir corriente para el caso de arranque directo y estrella-triángulo y velocidad para los 3 tipos de arranque.
- Además del buen funcionamiento del banco de pruebas dinámico y con el fin de darle importancia a la estética del mismo, se dimensionó el espacio requerido en el tablero y se utilizó uno normalizado con medidas de 70 x 50 x 25 cm. Después de la construcción de la base en la que se sostiene el tablero, se procedió a pintar todo el banco con pintura electrostática logrando de esta manera una excelente imagen y presentación.
- Con el fin de intentar retribuir el inmensurable aporte que ha tenido la Universidad Industrial de Santander y todo el profesorado de la escuela de la E3T para con los autores, con gran alegría y una enorme gratitud se asumen los costos de la fabricación del banco de pruebas dinámico.

11. RECOMENDACIONES

- El banco de pruebas dinámico cuenta con la disponibilidad para ser utilizado en más prácticas de laboratorio, al tener el variador de velocidad y el motor de inducción se podrán realizar prácticas de Maquinas eléctricas o Sistemas de control, como conectar un PLC al variador de velocidad y trabajar con varios métodos de control.
- Hacer réplicas idénticas del banco de pruebas dinámico para tener más puesto de trabajo logrando abarcar el mayor número de estudiantes en cada una de las prácticas de laboratorio.
- Adicionar elementos que optimicen las lecturas de mediciones u obtener otros parámetros del funcionamiento de la maquina como temperatura, vibraciones.

CITAS

- [1]. A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Stephen D. Umans (1992), Maquinas Electricas (5ª ed) Cap 6 p356 Ed. McGrawHill.
- [2]. Bhag S. Guru and Hüsenyin R. Hiziroglu (2006), Maquinas Eléctricas y Transformadores (3ª ed.) p509 Ed. Alfaomega
- [3]. Stephen J. Chapman (2000), Maquinas Eléctricas (3ª ed.) p459 Ed. McGrawHill.
- [4]. Theodore Wildi (2007), Maquinas Electricas Y Sistemas De Potencia (6ª ed.), Cap 14 pag 316 Ed. Pearson.
- [5]. D. R. Shoults (1952), electric Motor in industry (New York: John Wiley and sons Inc.
- [6]. Irving L. Kosow, Electrical Machinery and Control (Englewood Cliffs, N.j.: Prentice-hall 1964), pp. 318-325.
- [7]. Arranque de motores eléctricos, [en línea], [citado el 1 de Mayo de 2016], disponible en <http://www.schneiderelectric.com.co/documents/soporte/telesquemario.pdf>, p. 71>
- [8]. Arranque de motores eléctricos, [en línea], [citado el 2 de Mayo de 2016], disponible en <http://www.voltiosiesae.es/wp-content/uploads/2015/01/Introducci%C3%B3n-a-Automatismo.pdf>
- [9]. Relés termicos, [en línea], [citado el 2 de Mayo de 2016], disponible en <http://www.ecured.cu/Rel%C3%A9_t%C3%A9rmico>
- [10]. Florencio Jesús Cembrano, Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos, editorial Paraninfo, p. 39.
- [11]. Protección NEMA, [En línea], [Citado el 6 de Mayo de 2016], disponible en línea < http://www.logicbus.com.mx/pdf/Proteccion_NEMA.pdf>
- [12]. Interruptores termomagneticos, [en línea], [citado el 7 de Mayo de 2016], disponible en <http://www.nfpa.org/safety-information/for-consumers/causes/electrical/electrical-circuit-interrupters>

[13]. Grados de protección NEMA e IP, [en línea], [citado el 9 de Mayo de 2016],
http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_anexo_1_sep03R1.pdf

BIBLIOGRAFÍA

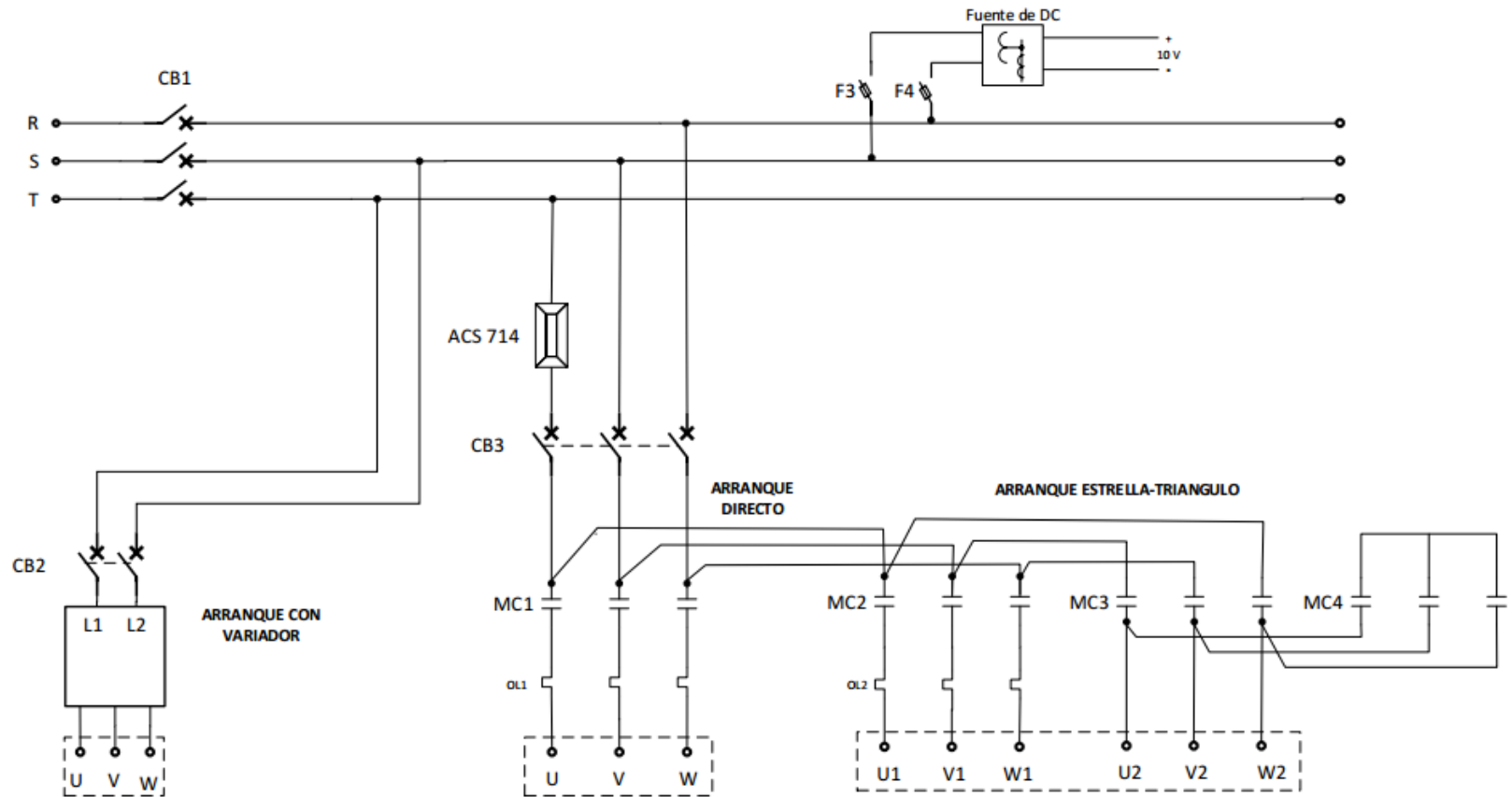
CHAPMAN, Stephen J. Maquinas Eléctricas. 3ed p459. México: McGrawHill, 2003.

WEG. S.A. Motores Eléctricos Guía de Especificación. [en línea] [Jaraguá do Sul - SC – Brasil] Grupo WEG - Unidad Motores, Abril, 2016. [citado: 2 Abril 2016] Disponible en Internet: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>

ANEXOS

13.1. Planos de potencia

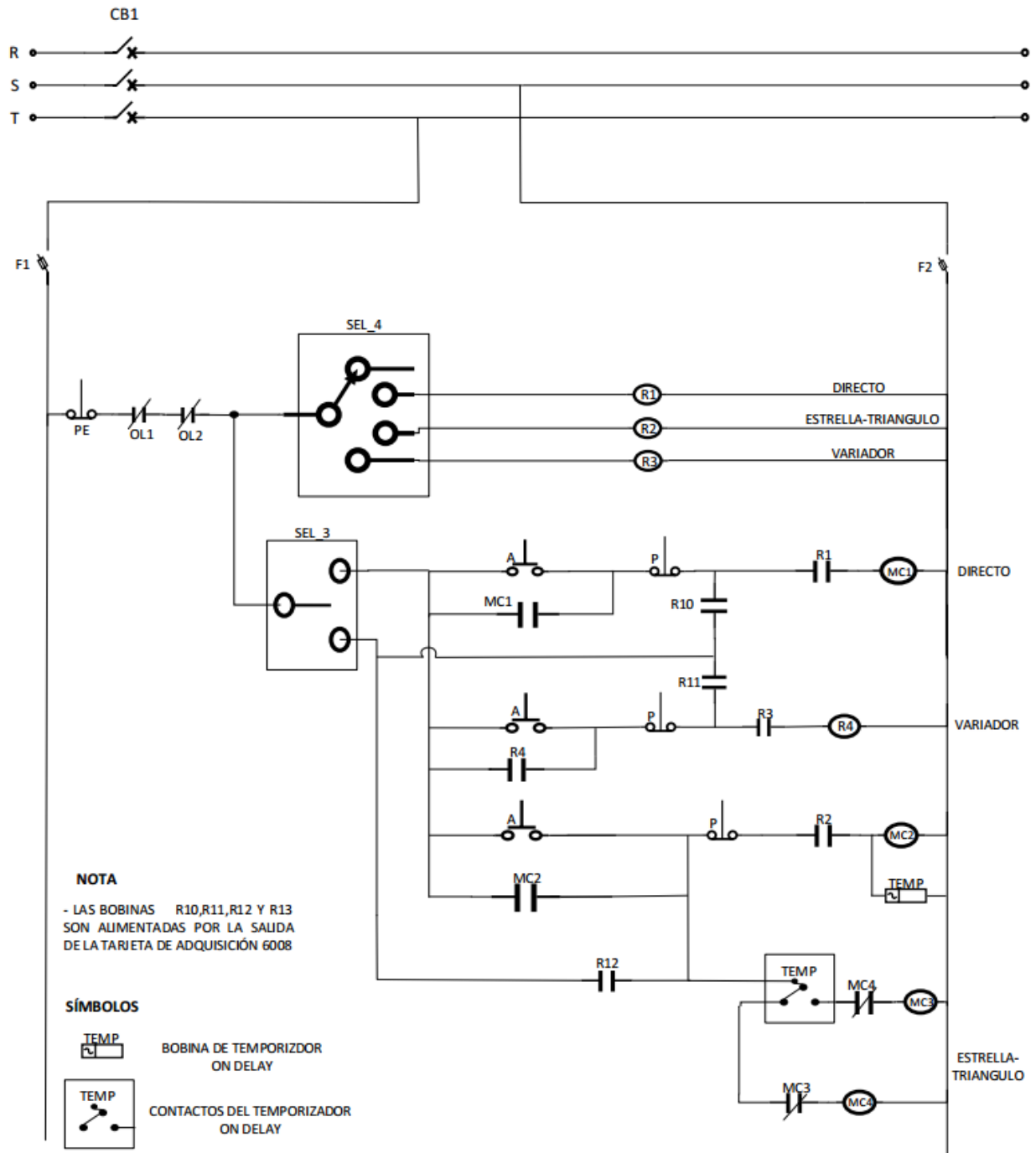
Figura 42 Circuito de potencia



Fuente: Los Autores

13.2. Planos de control

Figura 43. Circuito de control



Fuente: Los Autores

ANEXO A. PRÁCTICA DE LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS

Autores:

Eduardo Andrés Rincón Contreras
Cristhian Danilo Esparragoza Gómez
Andrés Felipe Torres Prada

1. Introducción

Actualmente existen diversas maneras de arrancar un motor de inducción trifásico jaula de ardilla, especialmente si los motores son de potencias altas porque esto implica también corrientes altas de arranque.

Además del arranque directo, es común encontrar como mecanismo de arranque un juego de contactores que permiten arrancar el motor a baja tensión (Conexión estrella en las bobinas del estator) para después de un tiempo específico, cuando el transitorio de la corriente haya pasado, alimentar el motor a una tensión mayor (Conexión delta en las bobinas del estator). En esta práctica de laboratorio, además de estudiar los dos tipos de arranque antes mencionados, se verá el funcionamiento de un variador de velocidad utilizado como un tipo de arranque o arrancador suave.

Práctica N°1. Banco de pruebas dinámica (Tipos de arranque)

1.1 Objetivos

- Conectar el banco de pruebas dinámico a la red eléctrica.
- Realizar cada uno de los arranques teniendo la debida precaución en la conexión.

- Determinar qué ventajas tiene un arranque directo, un arranque estrella-triángulo y un arranque con variador de frecuencia.

1.2 Equipos requeridos

- Cables para *plug* de 24,3 mm

1.3 Procedimiento para la realización de la práctica

- 1) Estudie y analice los planos de potencia y control del banco de pruebas dinámico.
- 2) Conecte el banco de pruebas dinámico a la red eléctrica. Corrobore que las fases correspondan a las denotadas por R, S y T.
- 3) Una vez conectado el banco, abra el tablero y suba los interruptores principales denominados CB1, CB2 y CB3.
- 4) Se efectuarán los 3 tipos de arranque permitidos por el banco. Primeramente de modo local y después, de modo remoto.

Operación del banco en Modo local

- 5) Con el tablero aún abierto, seleccione en el panel frontal del tablero modo LOCAL en el selector de 3 posiciones (SEL_3) y elija el tipo de arranque por el que desea empezar en el selector de 4 posiciones (SEL_4).
- 6) Después de seleccionar un tipo de arranque, proceda a realizar la conexión del mismo en el panel lateral del banco.
- 7) En el panel frontal del tablero y en la estación arranque-parada del tipo de arranque seleccionado, oprima el pulsador de arranque para energizar el motor.

- 8) Los pasos 5, 6 y 7 se repiten para cada uno de los tipos de arranque. Después de visualizar el accionamiento de cada uno de los arranques, se procede a hacer mediciones en modo remoto.

Operación en Modo remoto

- 9) Saque el computador del banco dinámico de pruebas y abra el software LabView.
- 10) En el escritorio se encuentra el archivo de nombre *Práctica_de_Accionamientos*.
- 11) Verá la siguiente interfaz que se presenta en la figura 43.

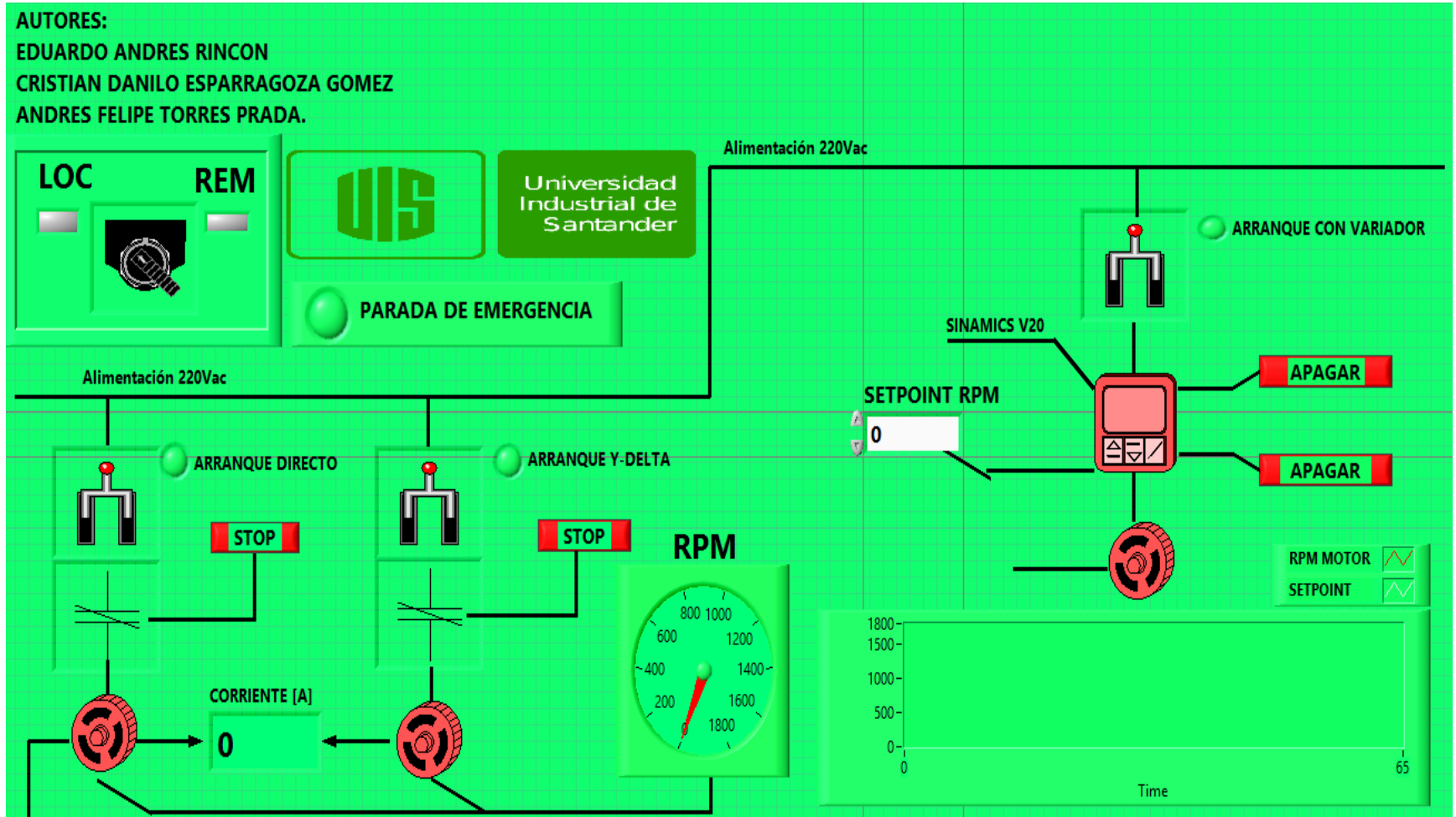
Actividad posterior a la práctica

Comparar los conceptos de los diferentes tipos de arranque vistos en la clase

- teórica con lo visto en la práctica de laboratorio.
- Verificar cuáles fueron las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de arranque.

Conclusiones

Figura 44 Panel frontal para realizar practica de laboratorio



Fuente: Los Autores

