

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

## **CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MOTORES ELÉCTRICOS**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la  
obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:  
Pablo Rodrigo Narváez Irua

Director:  
PhD. José Alex Restrepo Zambrano

Ibarra – Ecuador  
2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO    |  |                 |            |
|----------------------|--|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 171929401-7  |                 |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Narváez Irua Pablo Rodrigo                                     |                 |            |
| DIRECCIÓN:           | Carrera Abraham Herrera y Olmedo El Ángel - Carchi             |                 |            |
| EMAIL:               | <a href="mailto:pnarvaezi@utn.edu.ec">pnarvaezi@utn.edu.ec</a> |                 |            |
| TELÉFONO FIJO:       | 062978167  | TELÉFONO MÓVIL: | 0985846822 |

| DATOS DE LA OBRA        |  |
|-------------------------|--|
| TÍTULO:                 | CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MOTORES ELÉCTRICOS |
| AUTOR (ES):             | Pablo Rodrigo Narváez Irua   |
| FECHA: DD/MM/AAAA       | 20/05/2019   |
| PROGRAMA:               | PREGRADO   |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO                                   |
| ASESOR /DIRECTOR:       | Dr. José Alex Restrepo Zambrano  |

**2. CONSTANCIAS**

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

Ibarra, a los 20 días del mes de mayo de 2019.

EL AUTOR:

(Firma)...

Nombre: Pablo Rodrigo Narváez



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DECLARACIÓN**

Yo, Narvárez Irua Pablo Rodrigo, con cédula de identidad N°. 171929401-7, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de autoría; y que este no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de la Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 20 de mayo de 2019.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Pablo Rodrigo Narvárez Irua', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and cursive.

Narvárez Irua Pablo Rodrigo

C.I.: 171929401-7



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN**

Que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico con el tema: **CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MOTORES ELÉCTRICOS** ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por el Sr. Narváez Irua Pablo Rodrigo, con cédula de identidad: 171929401-7, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Alex Restrepo Zambrano', is written over a horizontal dotted line.

Dr. José Alex Restrepo Zambrano

**DIRECTOR (A)**

## DEDICATORIA

*A Dios Padre Todopoderoso por regalarme la dicha tan anhelada de cumplir mi sueño de ser un profesional; por ayudarme a no decaer en el intento hasta culminar este largo camino.*

*A mi madre CARMEN con todo el cariño y respeto del mundo, quien fue y es el pilar fundamental en mi vida; a mi hermano CRISTIAN para que sirva de ejemplo para no decaer en sus estudio; a mi esposa PATY con gratitud por su sacrificio, por ser mi apoyo incondicional día tras día y con sus muestras de afecto hacerme comprender que no existe meta imposible; a mi pequeña hija DARLYTA AMELI quien es mi motor y motivo, inspiración e impulso para jamás decaer y para que ella se sienta orgullosa de su padre.*

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, a todos los docentes que durante los semestres de estudio me empaparon de todos los conocimientos necesarios para salir al campo laboral.*

*A mi tutor el Dr. José Alex Restrepo por ser el guía de estudio y guía del desarrollo de trabajo de grado, a mis opositores el MSc. Jhonny Barzola y a la Ph.D. Ana Cabrera por su ayuda al mejoramiento del presente estudio desarrollado, a mis compañeros y amigos por todas las oportunidades de compartir juntos esta carrera educativa.*

## TABLA DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD<br>TÉCNICA DEL NORTE..... | ii   |
| DECLARACIÓN.....  | iii  |
| CERTIFICACIÓN.....  | iv   |
| DEDICATORIA.....  | v    |
| AGRADECIMIENTO.....   | vi   |
| TABLA DE CONTENIDO.....   | vii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | x    |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | xiii |
| RESUMEN.....  | xiv  |
| ABSTRACT.....   | xv   |
| INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| El problema de investigación.....   | 2    |
| Antecedentes.....   | 2    |
| Planteamiento del Problema.....   | 3    |
| Formulación del Problema.....   | 3    |
| Delimitación.....   | 3    |
| Delimitación espacial.....  | 3    |
| Delimitación temporal.....  | 3    |
| Situación problemática.....   | 4    |
| Objetivos.....  | 5    |
| Objetivo General.....   | 5    |
| Objetivos Específicos.....  | 5    |
| Justificación.....  | 5    |
| CAPITULO 1.....   | 7    |
| Marco Teórico.....  | 7    |
| 1.- Fundamentación teórica.....   | 7    |
| 1.1.- Introducción a Motores.....   | 7    |
| 1.1.1.- Invención del Motor Eléctrico.....  | 7    |
| 1.1.2.- Diferencias entre los motores de CA y CC.....                                 | 8    |
| 1.2.- Tipos de motores de corriente alterna.....                                      | 8    |
| 1.2.1.- Generalidades del motor de Corriente Alterna.....                             | 10   |
| 1.2.2.- Partes de un motor de Corriente Alterna.....                                  | 10   |
| 1.3.- Principio de funcionamiento del motor eléctrico.....                            | 12   |
| 1.3.1.- Diseño de estructura y construcción.....                                      | 13   |
| 1.3.2.- Trabajo y desempeño.....  | 14   |
| 1.4.- Arranque del Motor de CA.....   | 14   |
| 1.4.1.- Factores que actúan dentro del Motor de CA.....                               | 15   |

|   |    |
|---|----|
| 1.4.2.- Deslizamiento y velocidad.....                  | 15 |
| 1.4.3.- Potencia.....                                   | 17 |
| 1.4.3.1.- Potencia de un motor.....                     | 17 |
| 1.5.- Fallas más comunes en los motores eléctricos..... | 18 |
| 1.6.- Mantenimiento de máquinas eléctricas.....         | 19 |
| 1.6.1.- Mantenimiento predictivo.....                   | 20 |
| 1.6.2.- Mantenimiento correctivo.....                   | 20 |
| 1.6.3.- Mantenimiento preventivo.....                   | 20 |
| 1.7.- Variador de frecuencia.....                       | 21 |
| 1.7.1.- Funcionamiento del variador de frecuencia.....  | 21 |
| 1.7.2.- Convertidores de Frecuencia modelo CFW500.....  | 22 |
| 1.7.2.1. HMI y Programación básica.....                 | 25 |
| 1.8.- Tarjeta DAQ.....                                  | 25 |
| 1.8.1.- Tarjeta DAQ USB 6009.....                       | 26 |
| 1.9.- Sistemas de medida.....                           | 27 |
| 1.9.1.- Transductores, sensores y acondicionadores..... | 28 |
| 1.9.2.- Tipos de sensores.....                          | 28 |
| 1.10.- Sensor LM 335.....                               | 29 |
| 1.11.- Sensor Vibra Tab 605 – 0004.....                 | 30 |
| 1.12.- Equipos eléctricos.....                          | 30 |
| 1.12.1.- El contactor eléctrico.....                    | 30 |
| 1.12.2.- Botoneras, pulsadores de arranque y paro.....  | 32 |
| 1.13.- LabVIEW.....                                     | 32 |
| CAPITULO 2.....   | 34 |
| DESARROLLO.....   | 34 |
| 2.1.- Introducción previa al desarrollo.....            | 34 |
| 2.2.- Diagramación en LabVIEW.....                      | 34 |
| 2.2.1.- Prueba de vibración.....                        | 35 |
| 2.2.2.- Prueba de temperatura.....                      | 41 |
| 2.2.3.- Prueba de par de régimen.....                   | 44 |
| 2.3.- Diagramas de control.....                         | 49 |
| 2.3.1.- Diagrama de potencia o fuerza.....              | 49 |
| 2.3.2.- Diagrama de control.....                        | 50 |
| 2.3.3.- Filtros y placas de mejoramiento.....           | 51 |
| 2.3.3.1.- Placa sensor de temperatura.....              | 51 |
| 2.3.3.2.- Placa sensor de vibración.....                | 52 |
| 2.3.4.- Plano de conexión tarjeta Daq.....              | 52 |
| 2.4.- Montaje módulo de pruebas.....                    | 53 |
| 2.4.1.- Montaje de equipos de eléctricos.....           | 53 |



|  |    |
|--|----|
| CAPITULO 3.....  | 55 |
| RESULTADOS .....   | 55 |
| 3.1.- Descripción de motores a prueba .....              | 55 |
| 3.1.1.- Características de los motores eléctricos.....   | 55 |
| 3.1.1.1.- Motor a prueba 1 .....                         | 55 |
| 3.1.1.2.- Motor a prueba 2 .....                         | 56 |
| 3.2.- Arranque de pruebas a los motores eléctricos ..... | 56 |
| 3.3.- Pruebas al MOTOR 1 .....                           | 56 |
| 3.3.1.- Prueba de vibración MOTOR 1 .....                | 57 |
| 3.3.2.- Prueba de temperatura MOTOR 1 .....              | 59 |
| 3.3.3.- Prueba de par de régimen MOTOR 1 .....           | 61 |
| 3.4.- Pruebas al MOTOR 2 .....                           | 63 |
| 3.4.1.- Prueba de vibración MOTOR 2.....                 | 63 |
| 3.4.2.- Prueba de temperatura MOTOR 2 .....              | 64 |
| 3.4.3.- Prueba de par de régimen MOTOR 2 .....           | 66 |
| Conclusiones .....                                       | 69 |
| Recomendaciones .....                                    | 70 |
| Referencias .....  | 71 |
| Anexos .....   | 72 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figuras 1. Universo tecnológico de Motores Eléctricos .....  | 9  |
| Figuras 2. Motor de Inducción .....  | 11 |
| Figuras 3. Principio de funcionamiento de una maquina asíncrona.....   | 13 |
| Figuras 4. Método electromagnético para medida del deslizamiento de un motor<br>asíncrono .....                    | 17 |
| Figuras 5. Circuito de principal de un variador de frecuencia .....  | 21 |
| Figuras 6. Modulación por ancho de pulso .....   | 22 |
| Figuras 7. Diagrama general del convertidor de frecuencia WEG CW500.....   | 23 |
| Figuras 8. Diagrama de Potencia, Control y Plug-in Estándar.....   | 24 |
| Figuras 9. Uso de la HMI para operación del convertidor.....   | 25 |
| Figuras 10. Elementos de la tarjeta DAQ USB 6009.....  | 26 |
| Figuras 11. Entradas/salidas analógicas del borne 1 al 16 .....  | 27 |
| Figuras 12. Entradas/salidas digitales, +5V y tierra del borne 17 al 32.....                                       | 27 |
| Figuras 13. Estructura general de un sistema de medida y control .....   | 28 |
| Figuras 14. Sensor LM335.....  | 29 |
| Figuras 15. Sensor Vibra Tab 605 – 0004.....   | 30 |
| Figuras 16. Contactor eléctrico .....  | 31 |
| Figuras 17. Estructura y accionamientos del contactor eléctrico.....   | 31 |
| Figuras 18. Botoneras y pulsadores eléctricos.....   | 32 |
| Figuras 19. Panel frontal prueba de vibración .....  | 35 |
| Figuras 20. Botoneras de Control Panel frontal prueba de vibración .....   | 36 |
| Figuras 21. Slicer y Display de control y visualización prueba de vibración.....                                   | 36 |
| Figuras 22. Obtención de datos en forma de tabla prueba de vibración.....  | 37 |
| Figuras 23. Diagramación prueba de vibración.....  | 38 |
| Figuras 24. Configuración de slider, displays y contadores prueba de vibración .....                               | 39 |
| Figuras 25. Parametrización de slider con ecuación para ingreso de señal a tarjeta Daq<br>prueba de vibración..... | 39 |
| Figuras 26. Filtros para mejorar la señal prueba de vibración .....  | 40 |
| Figuras 27. Conexión salida de tarjeta Daq hasta display prueba de vibración.....                                  | 40 |
| Figuras 28. Configuración para obtención grafica de información de la prueba de<br>vibración.....                  | 41 |
| Figuras 29. Panel frontal prueba de temperatura.....   | 42 |
| Figuras 30. Diagramación prueba de temperatura .....   | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Figuras 31. Diagrama de conexión de tarjeta Daq al display .....                              | 43 |
| Figuras 32. Configuración para obtención grafica de información de temperatura del motor..... | 43 |
| Figuras 33. Panel frontal prueba de torque.....   | 44 |
| Figuras 34. Botoneras generales de prueba de torque.....                                      | 45 |
| Figuras 35. Display de visualización de señales de la prueba de torque.....                   | 45 |
| Figuras 36. Obtención de datos en formas de tabla de la prueba de torque.....                 | 46 |
| Figuras 37. Diagramación prueba de torque.....  | 47 |
| Figuras 38. Ecuación par de régimen o torque en la diagramación.....                          | 48 |
| Figuras 39. Configuración para obtención grafica de información del torque del motor.....     | 48 |
| Figuras 40. Configuración de alarmas en la prueba de torque del motor .....                   | 49 |
| Figuras 41. Diagrama de fuerza del módulo de pruebas del motor eléctrico .....                | 50 |
| Figuras 42. Diagrama de control del módulo de pruebas del motor eléctrico .....               | 51 |
| Figuras 43. Placa sensor de temperatura LM35 .....  | 52 |
| Figuras 44. Placa sensor de vibración Vibra Tab 605-004.....                                  | 52 |
| Figuras 45. Pines de conexión Tarjeta Daq .....   | 53 |
| Figuras 46. Caja y mesa metaliza para montaje de equipos.....                                 | 53 |
| Figuras 47. Montaje, cableado y conexiones externas del módulo de pruebas.....                | 54 |
| Figuras 48. MOTOR 1 Placa característica.....   | 55 |
| Figuras 49. MOTOR 2 Placa característica .....  | 56 |
| Figuras 50. Prueba de vibración MOTOR 1 con 0 rpm .....                                       | 57 |
| Figuras 51. Prueba de vibración MOTOR 1 con 400 rpm.....                                      | 58 |
| Figuras 52. Prueba de vibración MOTOR 1 con 800 rpm.....                                      | 58 |
| Figuras 53. Prueba de temperatura MOTOR 1 con 0 rpm.....                                      | 59 |
| Figuras 54. Prueba de temperatura MOTOR 1 con 0 rpm.....                                      | 60 |
| Figuras 55. Prueba de temperatura MOTOR 1 con 800 rpm .....                                   | 60 |
| Figuras 56. Valores en tabla Prueba de Torque MOTOR 1, rendimiento y factor de potencia.....  | 61 |
| Figuras 57. Valores de crecimiento en figura y tabla prueba de torque en el MOTOR 1 .....     | 62 |
| Figuras 58. Prueba final de torque MOTOR 1 .....  | 62 |
| Figuras 59. Prueba de vibración MOTOR 2 con 200 rpm.....                                      | 63 |
| Figuras 60. Prueba de vibración MOTOR 2 con 600 rpm.....                                      | 64 |
| Figuras 61. Prueba de vibración MOTOR 2 con 800 rpm.....                                      | 64 |
| Figuras 62. Prueba de temperatura MOTOR 2 con 0 rpm.....                                      | 65 |

|  |    |
|--|----|
| Figuras 63. Prueba de temperatura MOTOR 2 con 400 rpm .....                                  | 65 |
| Figuras 64. Prueba final de temperatura MOTOR 2 .....  | 66 |
| Figuras 65. Valores en tabla Prueba de Torque MOTOR 2, rendimiento y factor de potencia..... | 67 |
| Figuras 66. Valores de crecimiento en figura y tabla prueba de torque en el MOTOR 2 .....    | 67 |
| Figuras 67. Prueba final de torque MOTOR 2 .....   | 68 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación de los motores eléctricos.....             | 10 |
| Tabla 2. Fallas más comunes, causas y correcciones posibles ..... | 19 |
| Tabla 3. Clasificación de los sensores .....                      | 29 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                  |    |
|------------------|----|
| Ecuación 1.....  | 15 |
| Ecuación 2.....  | 16 |
| Ecuación 3.....  | 16 |
| Ecuación 4.....  | 16 |
| Ecuación 5.....  | 16 |
| Ecuación 6.....  | 16 |
| Ecuación 7.....  | 17 |
| Ecuación 8.....  | 17 |
| Ecuación 9.....  | 18 |
| Ecuación 10..... | 22 |
| Ecuación 11..... | 39 |
| Ecuación 12..... | 47 |

## RESUMEN

El presente trabajo de construcción de un módulo de pruebas para motores eléctricos con diseño de interfaz hombre maquina fue creado con la intención de facilitar el estudio de máquinas eléctricas a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

La construcción del módulo didáctico de pruebas llevo a analizar varias características que desarrollan los motores en pleno uso; se tomaron tres aspectos a ser analizados que son el par de régimen, la temperatura y la vibración. El estudio en mención dará una idea de los temas analizados matemáticamente en el aula de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

La interfaz fue desarrollado en el programa labVIEW que es una aplicación para dar comunicación hombre máquina y poder manejar todo un sistema de control y fuerza desde un computador. La programación muestra un sistema básico, manejable y didáctico para manipulación y con ello controlar los diferentes comandos.

Con la construcción del módulo de pruebas y la interfaz de comunicación se logra controlar a motores eléctricos trifásicos y conocer sus diferentes características. Estas características son mostradas en forma de gráfica y tabla de valores; los datos recolectados pueden ser adquiridos en Microsoft Excel para su mejor manejo.

El estudio en mención muestra el desarrollo de las diferentes pruebas en dos motores trifásicos; en cada uno de ellos fueron analizadas sus características generales. Los dos motores fueron examinados al vacío y sin carga de trabajo. El módulo de pruebas cuenta con las conexiones necesarias para montaje y desmontaje de los sensores de vibración y temperaturas así como también los puertos de conexión de los motores.

Al finalizar el documento se encuentran los resultados que son las imágenes de cada una de las pruebas con cada uno de los motores. El desarrollo general del presente documento y la construcción del módulo de pruebas para motores trifásicos viene dado en capítulos dependiendo de la investigación y el paso a paso de la construcción.

## **ABSTRACT**

The present work of construction of a module of tests for electric motors with design of human machine interface was created with the intention of facilitating the study of electrical machines to the students of the Electrical Maintenance Engineering career of the Universidad Técnica del Norte.

The construction of the didactic module of tests took to analyze several characteristics that develop the engines in full use; three aspects to be analyzed were taken: regime torque, temperature and vibration. The aforementioned study will give an idea of the subjects analyzed mathematically in the classroom of the students of the Electrical Maintenance Engineering career.

The interface was developed in the LabVIEW program that is an application to give man machine communication and be able to manage a whole control system and force from a computer. The programming shows a basic, manageable and didactic system for manipulation and thus control the different commands.

With the construction of the test module and the communication interface it is possible to control three-phase electric motors and know their different characteristics. These characteristics are shown in the form of a graph and a table of values; the data collected can be acquired in Microsoft Excel for better management.

The study in question shows the development of the different tests in two three-phase motors; in each of them, their general characteristics were analyzed. The two engines were examined under vacuum and with no workload. The test module has the necessary connections for mounting and dismounting the vibration and temperature sensors as well as the connection ports of the motors.

Al finalizar el documento se encuentran los resultados que son las imágenes de cada una de las pruebas con cada uno de los motores. El desarrollo general del presente documento y la construcción del módulo de pruebas para motores trifásicos viene dado en capítulos dependiendo de la investigación y el paso a paso de la construcción.

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fue desarrollado para tener los conocimientos necesarios e indispensables para estar al tanto sobre motores eléctricos, su funcionalidad, desarrollo de trabajo y algunas pruebas a las cuales pueden ser sometidos; todo esto con una interfaz en LabVIEW para la obtención de datos.

- **Introducción.-** En este capítulo se detalla la problemática de forma clara con los antecedentes; con ello se formula el problema general, la delimitación del problema, los objetivos y se justifica dicho estudio a iniciar.
- **Capítulo I.-** Aquí se presenta los principios fundamentales teóricos de funcionalidad, conceptos y desarrollo de máquinas eléctricas; dispositivos electrónicos de control, sus características, ecuaciones y formulas.
- **Capitulo II.-** Aquí se encuentra la parte más importante del presente trabajo de estudio, diseño y construcción del módulo didáctico de pruebas; ya que se desarrolla todos los sistemas de control y se pone a prueba el diseño del programa de LabVIEW para lograr obtener datos.
- **Resultados.-** En este capítulo se encuentran las diferentes pruebas que se pueden desarrollar en el módulo; sus especificaciones, guías de desarrollo y la funcionalidad del mismo.
- **Conclusiones.-** En este capítulo se demuestran los diferentes objetivos planteados, las afirmaciones y experiencias reales.
- **Recomendaciones.-** En esta sección se brindan ideas y posibles soluciones para el uso ideal del módulo y lograr obtener las visualizaciones.
- **Referencias.-** Aquí se encuentra la bibliografía y todas las citas utilizadas para poder llegar a dar funcionalidad al módulo de pruebas.
- **Anexos.-** En esta parte final encontramos las imágenes del desarrollo general de construcción del módulo con sus diferentes pruebas y la funcionalidad general.



## **El problema de investigación**

### **Antecedentes**

En la actualidad todas las empresas a nivel mundial tienen el problema de fallas comunes en los motores y dificultades de trabajo ya que no llegan a cumplir sus expectativas por fuerza de causa mayor siendo el principal afectado el consumidor. Las empresas al caer las ventas de los servicios que entregan pierden grandes sumas de dinero por la paralización de procesos o maquinaria.

La mayoría de fallas de los motores logran perturbar a la industria y afectar a la economía; pero el problema más preocupante es la falta de pruebas que se le brinda a los motores durante su vida útil ya que al ofrecerles un chequeo y revisión se lograría reducir el índice de fallas y daños; cumpliendo con los requisitos establecidos en la industria con ensayos de vibración, par de régimen, temperatura, entre otros; se mantendría en completo funcionamiento a dichas máquinas.

En el transcurso de los años a nivel nacional se ha hecho cada vez más indispensable el estudio y análisis de las diferentes circunstancias por las cuales existe el deterioro de máquinas eléctricas; por las variables físicas que se encuentran en el entorno, por el lugar de montaje, el tipo de mantenimiento, el lugar de procedencia y hasta por el operador; se ha ampliado el campo de estudio para que no se den este tipo de eventualidades con la ayuda de equipos operacionales, software, escáner y todo tipo de aparatos eléctricos u electrónicos según sea la necesidad.

En la Universidad Técnica del Norte; con el afán de que los estudiantes se relacionen con situaciones que se presentan en la industria o campo de trabajo; se realizan proyectos en cada área de la especialidad por lo cual se hace imprescindible construir un módulo didáctico para pruebas en motores para el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico para control de los mismos; las pruebas que consten en este módulo serán algunas de las necesarias para que un motor de trabaje y brinde las características de uso ideal.

En el mencionado módulo se plantea la creación de un tablero didáctico de pruebas el cual consta de elementos de mediciones, circuito de fuerza y control, protección, indicadores de funcionamiento, terminales de conexión, etc. El porqué de este proyecto va enfocado al estudio de varios problemas de los motores eléctricos y

para realización de diferentes prácticas en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

### **Planteamiento del Problema**

Actualmente, los Laboratorios de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento Eléctrico de la UTN no disponen de un módulo didáctico para realizar pruebas para motores eléctricos. Será indispensable para desarrollar experiencia y seguridad; por lo que despierta el interés de los estudiantes para investigar conceptos, funcionamiento y operación de los elementos y equipos a utilizarse; así también el módulo será apropiado para lograr examinar y determinar posibles agentes que dañen a las máquinas eléctricas.

### **Formulación del Problema**

¿Cómo construir un módulo didáctico para pruebas en motores eléctricos?

### **Delimitación**

#### **Delimitación espacial**

La investigación se desarrollará en la provincia de Imbabura, Cantón Ibarra, Parroquia el Sagrario, en la “Universidad Técnica del Norte” Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

#### **Delimitación temporal**

El presente trabajo de grado se desarrollará durante el periodo académico 2018 - 2019.

## **Situación problemática**

Al momento de hablar de problemas o inconvenientes que puedan darse en las máquinas eléctricas rotativas se toma en cuenta todas las acciones que conlleven al mal desarrollo de las mismas. Los motores eléctricos al igual que cualquier instrumento o equipo de trabajo pueden sufrir cualquier clase de problemas y es por ello que lo más importante es realizarles pruebas para ver su estado.

Las fallas o averías, suelen darse desde lo más pequeño como el polvo hasta lo más delicado caídas o golpes. Todo tipo de errores mínimos conllevan al daño de estos aparatos; al igual que cualquier fallo de la red o línea de alimentación también pueden ser los causantes de todos los inconvenientes de trabajo.

Cuando la máquina esta sobrecargada, la capacidad de trabajo no será la misma para la cual está diseñada; sus parámetros de trabajo serán reducidos. Esta eventualidad sucede cuando no se conoce la capacidad de trabajo del aparato o a pesar de conocerla sobrecargamos al equipo eléctrico.

Si a la máquina eléctrica o a la red de la cual está alimentada se le va una fase; se tendrá inconvenientes de labor y esto hará que pierda sus capacidades ideales de trabajo; si a pesar de eso se llega a forzar al equipo tal vez llegará a cumplir lo solicitado, pero por el contrario empezará a fallar sus características de funcionamiento y se volverá una pieza obsoleta si no se soluciona su problema inicial realizando pruebas y encontrar el daño causado.

Cuando el rotor se encuentra desalineado o los rodamientos ya se encuentran desgastados; puede ser este un gran inconveniente porque puede causar recalentamiento dañando aislamientos, cubiertas y hasta causar cortocircuitos porque desaparecería el material aislante; los daños más comunes suelen ser estos según estudios realizados por SIMEL S.A. (empresa constructora de motores y generadores eléctricos) en el año 2003.

Otra de las causas podría ser que las máquinas eléctricas se encuentren montadas o situadas en un lugar poco estratégico en donde la temperatura del lugar no sea la ideal, el recubrimiento en donde esté ubicada la máquina no sea óptima y se encuentre a la intemperie dañando su estructura; hasta la sujeción sobre la cual este

estructurada la máquina puede ser el causante para que sufra daños por las vibraciones que pueden causar caídas o golpes.

Estas son algunos casos por los que es más importante que necesario realizar una serie de pruebas, monitoreo y mantenimientos a las máquinas eléctricas para disminuir los costos de pérdidas, aumentar la economía de la industria, aumentar la vida útil de la máquina y hasta preservar la vida de operarios los cuales manipulan más de cerca estos aparatos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Otorgar a los estudiantes un módulo didáctico para pruebas en motores eléctricos para el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

### **Objetivos Específicos**

- Construir un módulo didáctico para pruebas de aprendizaje en motores eléctricos.
- Mostrar los planos eléctricos de la funcionalidad del módulo y sus diferentes pruebas.
- Realizar un interfaz hombre máquina para visualización de resultados.

## **Justificación**

Con el transcurso de los años se ha hecho cada vez más indispensable el estudio y análisis de las diferentes circunstancias por las cuales existe el deterioro de máquinas eléctricas; por las variables físicas que se encuentran en nuestro alrededor, por el lugar de montaje, el tipo de mantenimiento, el lugar de procedencia y las características del equipo; y es por ello que se ha ampliado el campo de estudio para que se den este tipo de eventualidades.

Dicho módulo de pruebas de trabajo será la aplicación apropiada para los estudiantes de la carrera; este desempeño práctico lograra reducir costos de reparación

y mantenimiento de los motores, preservar la vida útil y aumentar la capacidad de trabajo continuo del mismo. El campo de mantenimiento y utilización de motores es sumamente amplio y ayudará al estudio de máquinas eléctricas, estructuración de prácticas, corrección de fallas y mejoramiento de la capacidad de trabajo productivo de las mismas.

Al incorporar este módulo práctico en el laboratorio de electricidad se mejorará notablemente el estudio de comportamiento de los motores trifásicos en la industria porque la mayor pérdida de recursos económicos y de producción se los observa cuando una máquina detiene su trabajo o deja de funcionar.

La tecnología sorprende cada vez más y es por ello que las máquinas no requieren únicamente una revisión general visual sino un escaneo de su funcionamiento interno y es por ello que haciendo uso labVIEW una plataforma informática creada para visualización de datos de todo tipo de circuitos eléctricos, electrónicos y equipos que sincronizados logran desarrollar un trabajo específico.

La adquisición se la desarrollará con una tarjeta DAQ que es una tarjeta que nos brinda la gran ayuda de asociar los resultados de una serie de pruebas de aparatos eléctricos hacia un PC; la visualización de datos por medio de labVIEW ayudará a lograr apreciar las características de las diferentes pruebas del módulo ya descrito.

Con el uso de aparatos y equipos eléctricos y electrónicos como variador de frecuencia, contactores, tarjeta DAQ y circuitos eléctricos se lograra poner a prueba motores eléctricos además de los diferentes sistemas de control y fuerza que ofrece dicho módulo.

# **CAPITULO 1**

## **Marco Teórico**

### **1.- Fundamentación teórica**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo incentivar al estudiante que conozca a los motores eléctricos trifásicos mediante el uso de un módulo de pruebas con el estudio aula-taller. Esto servirá como instrumento de apoyo y trabajo para afianzar y fortalecer los conocimientos de los estudiantes de la especialidad de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

En cualquier lugar donde exista desarrollo la presencia del motor eléctrico es imprescindible; es decir desempeña un importante papel en la industria. Los motores son el corazón de la maquinaria avanzada moderna que mueven el proceso de producción y operación de todo tipo de ingreso; por esa razón es necesario conocer sus principios fundamentales de funcionamiento desde la construcción, las aplicaciones y aún más la verdadera utilidad de estos.

### **1.1.- Introducción a Motores**

#### **1.1.1.- Invención del Motor Eléctrico**

La gran mayoría de máquinas eléctricas utilizadas en el micro o macro industria son movidas por motores con alimentación trifásica; esta es la principal fuerza que pone a producción todo tipo de mercadería en los diferentes campos y sus diferentes áreas. Las máquinas eléctricas conforman el pilar fundamental dentro de la historia del hombre porque realizan un trabajo constante de calidad. El trabajo constante de las máquinas es eliminar la fuerza física del hombre.

La invención del motor se basa a un primer prototipo creado para dar facilidad de trabajo con eficacia y sin la manipulación directa del hombre; este trabajo ayudaría principalmente a la industria y pasa por varios estados de tecnología que con el tiempo han ayudado a que estos aparatos nos favorezcan con el confort y comodidad industrial y domiciliaria.

El motor eléctrico fue creado para que la fuerza eléctrica sea convertida en energía mecánica por la acción de los campos magnéticos en las bobinas al generar una rotación por el rotor sobre un estator.

### **1.1.2.- Diferencias entre los motores de CA y CC**

Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica en forma de par de torsión (energía de rotación). Hay dos tipos de motores: los de corriente continua (CC) y de corriente alterna (CA), que difieren tanto en el tipo de energía eléctrica que utilizan y en cómo generan el par de torsión. Los motores de corriente continua se inventaron antes, pero se usan con menos frecuencia hoy en día. Los motores de corriente alterna tienen un diseño más simple y se utilizan en la mayoría de los aparatos y equipos industriales.

Los motores de corriente alterna (CA) funcionan mejor o se los encuentra en aplicaciones que requieran rendimiento de potencia durante largo tiempo; mientras que los motores de corriente continua (CC) se los encuentra generalmente en aplicaciones en las cuales la velocidad se la hace externamente del motor.

La aplicación de los motores de corriente alterna (CA) se la da por la economía en los precios de los mismos; los motores de CA son mucho más accesibles y remplazan a los motores de corriente continua añadiéndoles un controlador electrónico de velocidad más conocidos como variadores de frecuencia.

Los motores de corriente alterna (CA) pueden ser monofásicos o trifásicos según la necesidad de uso o trabajo; mientras que los motores de corriente continua (CC) todos sin excepción son monofásicos.

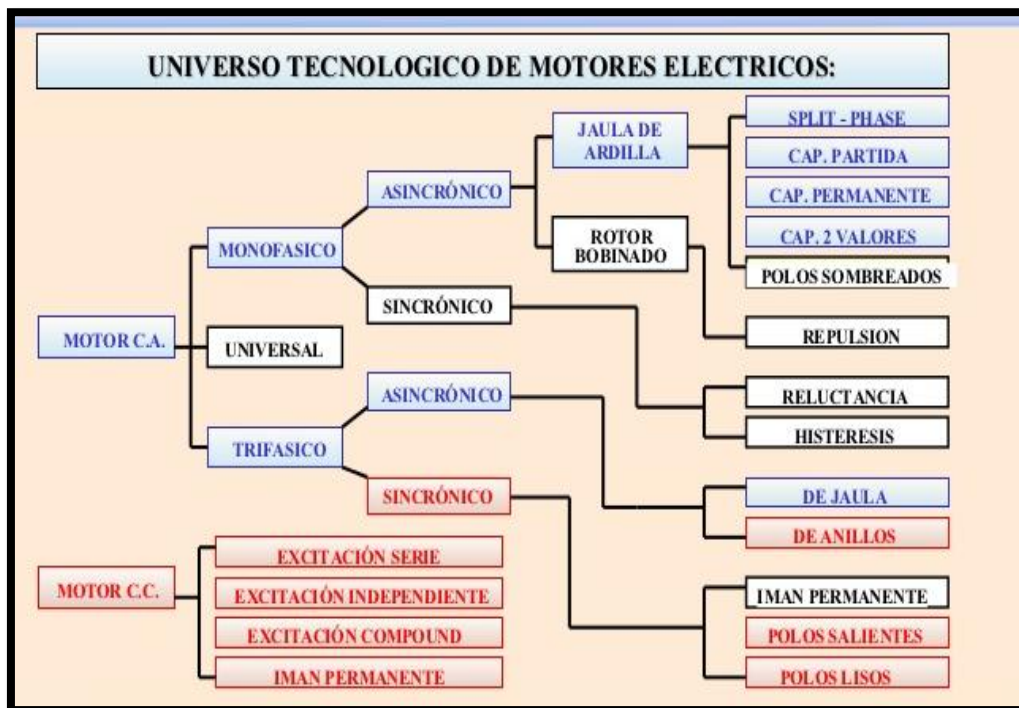
### **1.2- Tipos de motores de corriente alterna**

Los tipos de motores de corriente alterna dependerán básicamente de la estructuración interna de la máquina y de factores de necesidad para los campos de aplicación.

Son los más utilizados, porque la distribución de energía eléctrica es hecha normalmente en corriente alterna. Los principales tipos son:

**Motor síncrono:** Funciona con velocidad fija, o sea, sin interferencia del deslizamiento; utilizado normalmente para grandes potencias (debido a su alto costo en tamaños menores).

**Motor de inducción:** Funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez y bajo costo, es el motor más utilizado de todos, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas accionadas, encontradas en la práctica. Actualmente es posible el control de la velocidad de los motores de inducción con el auxilio de convertidores de frecuencia. [1, p. 6] En la Fig. 1 se muestra el universo tecnológico de los motores eléctricos.



Figuras 1. Universo tecnológico de Motores Eléctricos

Fuente: [1]

Los motores de inducción son más versátiles para proyectos de producción electromecánica tanto para pruebas mecánicas y eléctricas; sus características son ideales y con ello el costo beneficio es realmente adecuado para pruebas de laboratorio e industria.



Según los estándares de motores eléctricos existen varias clasificaciones dependiendo las necesidades y aplicaciones; la estructura de estas máquinas ayuda a realizar prácticas y un trabajo adecuado. Para facilidad de utilidad en las áreas; la clasificación más descifrable es por su velocidad de giro, por el tipo de rotor y por el número de fases de alimentación así como se muestra en la TABLA 1.

Tabla 1. Clasificación de los motores eléctricos

| CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS |   |   |
|---|---|---|
| Por su velocidad de giro:               | Por el tipo de rotor:                                   | Por el número de fases de alimentación: |
| Síncronos<br>Asíncronos                 | De anillos rosantes<br>Con colector<br>Jaula de ardilla | Monofásicos<br>Bifásicos<br>Trifásicos  |

### 1.2.1.- Generalidades del motor de Corriente Alterna

La base del funcionamiento de las máquinas eléctricas rotativas se encuentra en los tres principios fundamentales de la inducción electromagnética:

1. Una corriente eléctrica que circula por un conductor arrollado en un núcleo metálico de acero o hierro hace que este tenga comportamiento magnético, es decir, que se comporte como un imán.
2. Se dan fuerzas a distancia entre dos conductores por los que circulan corrientes eléctricas.
3. Cuando un conductor se mueve en el seno de un campo magnético, se produce en él una corriente eléctrica [2, p. 2].

### 1.2.2.- Partes de un motor de Corriente Alterna

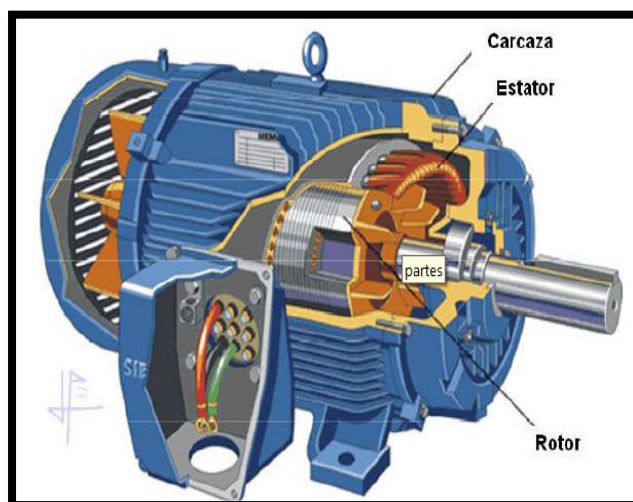
Dado que la mayoría de las máquinas utilizadas en la industria están movidas por motores asíncronos alimentados por corriente alterna trifásica, en este apartado daremos unas ideas muy generales y básicas de este tipo de motores.

Como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos constan de dos partes fundamentales y distintas:

**El estator.-** Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está

fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina.

**El rotor.**- Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son: Rotor de jaula de ardilla y de Rotor bobinado [2, p. 2]. En la Fig. 2 se muestra el modelo de un motor de inducción.



Figuras 2. Motor de Inducción

Fuente: [2, p. 2]

El rotor y el estator son las partes principales en un motor de inducción ya que en ellos se desenvuelve el principio básico de funcionamiento; pero además de estos componentes existen otros más que forman parte de la máquina como son el eje, las bobinas, los rodamientos siendo de tal importancia para que la máquina giratoria tenga una funcionalidad correcta.

Los bobinados o devanados son paquetes de espiras o vueltas de alambre de cobre las cuales son ubicados en el estator y el rotor. Las bobinas del estator cumplen con el objetivo de producir un campo magnético en el entrehierro; este es un único paquete de espiras.

El bobinado del rotor por el contrario son varios paquetes de espiras que se conectan a las delgas del colector; la forma de conexión de las espiras determinará el

número de ramas en paralelo en que se divide la corriente del rotor. Cada uno de estos paquetes está conectado independientemente uno del otro y aislado al rotor.

El eje de los motores eléctricos forma la parte móvil visible la cual está sentada sobre los rodamientos y anclado directamente a otras máquinas o aparatos mecánicos el cual le puede dar movimiento; los cojinetes o rodamientos son las partes giratorias del motor los cuales se utilizan para fijar los ejes mecánicos en este caso el eje; contribuye a que no exista fricción o pérdida de potencia en el trabajo.

La parte que alimenta al motor se denomina caja de conexión o caja de bornes ya que aquí se suministrara la energía para alimentar al motor; esta caja de bornes protege a los conductores eléctricos y se logre una conexión directa; de igual manera protege el interior de la máquina eléctrica de cortocircuitos o manipulaciones.

Todos estos componentes se encuentran ensamblados y protegidos con una carcasa de hierro la cual puede soportar golpes, temperaturas altas o bajas dependiendo del uso y la economía de construcción. Por lo general todo tipo de motores llevan sobre ellos una placa de características las cuales los datos más importantes son: potencia, tensión nominal, frecuencia, entre otros.

### **1.3.- Principio de funcionamiento del motor eléctrico**

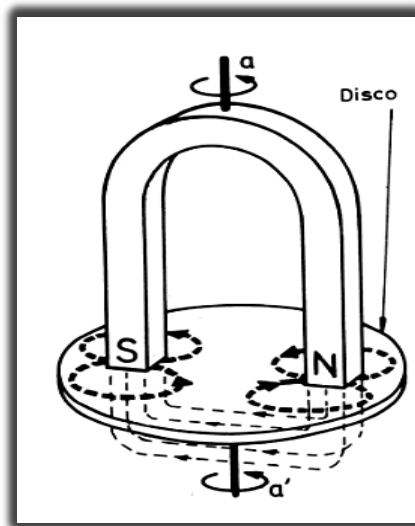
El dispositivo de la Fig. 3 está constituido por un imán, solidario con un eje central  $a$ , que puede girar libremente, y un disco metálico de cobre, hierro o aluminio solidario de otro eje  $a'$  que, como el anterior puede también girar. Si imprimimos al imán un movimiento de rotación, por ejemplo como en el sentido indicado por la flecha, se observa un curioso fenómeno: el disco metálico inicia un movimiento circular cuyo sentido es el mismo del imán, que se mantendrá hasta que cese la rotación del mismo. Al cortar el disco las líneas magnéticas del imán en movimiento, se inducen unas corrientes parasitas que a su vez se encuentran inmersas en un campo magnético en movimiento (el del imán).

En virtud de la ley de Lenz (todo fenómeno eléctrico se opone a la causa que lo produce) la dirección de la fuerza que aparece entre las corrientes parasitas del disco y el campo magnético que las origina es tal que el disco tiende a seguir al imán en su movimiento de rotación, para que no exista movimiento

entre ambos y, por tanto, no se induzcan las mencionadas corrientes (ley de Lenz).

Del fenómeno en cuestión se deduce que, a partir del movimiento del imán e produce una generación de corrientes y una acción motriz que obliga a estas corrientes a seguir la dirección del campo inductor.

En realidad el dispositivo descrito es un motor elemental, en el que el imán es el inductor y el disco el inducido, aunque, a diferencia de los de corriente continua, las corrientes se originan en el inducido, en lugar de llevarse a él, mediante escobillas, desde la línea de alimentación exterior [3, pp. 17,18]. En la Fig. 3 se muestra el principio de funcionamiento de una máquina asíncrona.



*Figuras 3. Principio de funcionamiento de una máquina asíncrona*

Fuente: [3, p. 18]

### **1.3.1- Diseño de estructura y construcción**

El diseño de una máquina eléctrica y su utilidad va directamente relacionada con la necesidad de rendimiento de trabajo; esto significa que existirá una máquina independientemente de los prerrequisitos para el trabajo. Las características del motor de corriente alterna van llanamente especificadas con la fuerza del mismo el cual se lo mide el hp (caballos fuerza), las rpm (revoluciones por minuto) y la frecuencia de trabajo.

La corriente alterna trifásica se conecta al motor por las bobinas inductoras del estator para generar el campo magnético que en este caso es giratorio; en los conductores que forman el rotor aparecen corrientes eléctricas inducidas como consecuencia del campo magnético giratorio. En cada bobina se crea un campo que crece y disminuye en cada bobina desfasada; en consecuencia se crea un campo variable que va girando.

### **1.3.2.- Trabajo y desempeño**

El rendimiento de los motores de corriente alterna depende directamente de tres componentes que son la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente; esto dependerá de las características de la máquina eléctrica.

La potencia activa o absorbida es la que representa la capacidad de un circuito a transformar la energía eléctrica en trabajo; dicho trabajo lo realiza la máquina por medio del consumo de energía de los elementos resistivos.

La potencia reactiva aparece cuando existen bobinas o condensadores; no produce trabajo útil o alguno y no consume energía eléctrica, es la que da inicio a los campos magnéticos y eléctricos.

La potencia aparente o compleja es la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva; es la energía que disipa el circuito en forma de temperatura o trabajo. Esta potencia se la obtiene juntando la potencia útil producida y la potencia de pérdida o sin utilidad.

### **1.4.- Arranque del Motor de CA**

Para reducir las corrientes en el momento de la puesta en marcha de un motor de corriente alterna se emplea algunos métodos de arranque tomando en cuenta algunas características que dependerán del par de arranque, tiempo de arranque, aceleración, caída de tensión, calentamiento, entre otros; y dependiendo de ello se conoce los siguientes métodos:

- Arranque directo.
- Arranque mediante resistencia en serie con el motor.

- Arranque mediante autotransformador.
- Arranque mediante conmutación estrella – triángulo.
- Arranque mediante inserción de resistencias en serie con el rotor.
- Arranque con dispositivos en la transmisión mecánica.
- Arranque con arrancadores estáticos.

A continuación se presenta un estudio de los arrancadores automáticos de motores de c.a. en general, puede decirse que la mayoría de ellos son del tipo en bucle abierto (en vez de un bucle cerrado), empleando aceleración de tiempo fijo. La mayor parte de arrancadores de motores de c.a. contienen relés de c.a. que funcionan bajo los mismos principios que los relés de c.c.

Los arrancadores para motores de c.a., tanto monofásicos como polifásicos que tienen tensiones nominales de 220 V o más, suelen usar transformadores para conseguir una tensión para conseguir inferior (generalmente 115 V) para los circuitos de control de c.a. o c.c [4, p. 97].

#### **1.4.1.- Factores que actúan dentro del Motor de CA**

Los parámetros eléctricos de un motor son exclusivamente los que ayudan a definir las características de un motor; que rindan de manera óptima o de calidad; de estos factores se hablara a continuación detallando la importancia, determinación y cálculos y sus inicios.

#### **1.4.2.- Deslizamiento y velocidad**

El devanado de los motores asíncronos da origen a un campo magnético giratorio cuya velocidad, (N), es, en general

$$N = 120 \frac{f}{P} \qquad \text{Ecuación 1}$$

siendo  $f$  la frecuencia en  $Hz$  y  $P$  el número de polos.  $N$  es la llamada velocidad asíncrona del motor.

La diferencia de velocidad entre el campo giratorio y el inducido es el deslizamiento.

Si  $N$  es la velocidad del campo magnético y  $Ni$  la de rotación del inducido, el deslizamiento ( $\delta$ ) será

$$\delta = N - Ni \quad \text{Ecuación 2}$$

Suele expresarse en relación a la velocidad síncrona, es decir

$$\delta = \frac{N - Ni}{N} \quad \text{Ecuación 3}$$

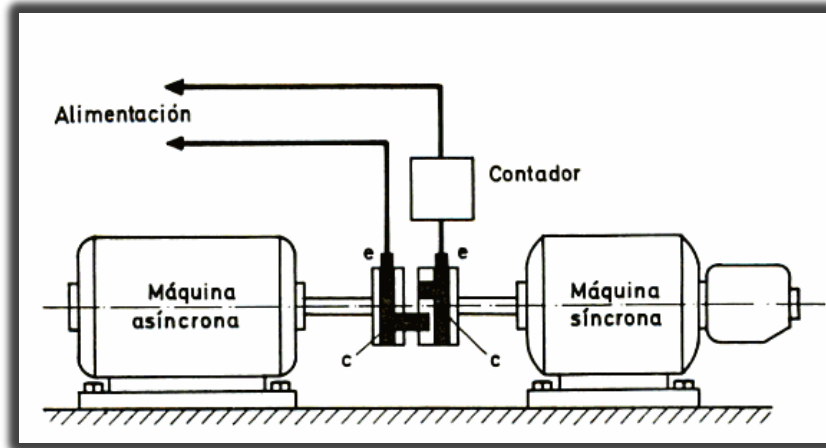
pudiendo también expresar la velocidad del inducido en función del deslizamiento

$$N \delta = N - Ni \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Ni = N - N\delta \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Ni = N(1 - \delta) \quad \text{Ecuación 6}$$

El deslizamiento puede medirse por un método electromagnético muy simple, consiste en colocar un cilindro de material aislante sobre el árbol del motor asíncrono, dispuesto frente a otro cilindro de iguales características montado en el eje de un motor síncrono auxiliar que se hace girar a la velocidad del campo magnético del asíncrono. En estos cilindros van colocados unos anillos colectores,  $c$ , sobre los que se apoyan unas piezas de contacto y sendas escobillas  $e$ . Al girar el eje del motor síncrono a la velocidad del campo giratorio del asíncrono, cuando el rotor de este pierda una revolución por deslizamiento, las piezas del contacto cerraran un circuito, en el que puede estar insertado un contador magnético que indicara cuantas veces sucede esta circunstancia [3, pp. 26 - 27 - 28]. En la Fig. 4 se muestra el método electromagnético para medida del deslizamiento de un motor asíncrono.



Figuras 4. Método electromagnético para medida del deslizamiento de un motor asíncrono

Fuente: [3, p. 28]

### 1.4.3.- Potencia

Potencia es la capacidad de realizar un trabajo. Está dada por la ecuación:

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$P$  = Potencia [W]

$W$  = Trabajo realizado [J]

$T$  = Tiempo en que se realiza el trabajo [s]

La unidad de potencia es el watt (W). a menudo se utiliza el kilowatt (kW), que es igual a 1000 W. en ocasiones, el rendimiento o eficacia de potencia de los motores se expresa en unidades de caballo de fuerza (hp). Un caballo de fuerza es igual a 746 W. Corresponde al rendimiento de potencia promedio de un caballo de tiro [5, p. 52]

#### 1.4.3.1.- Potencia de un motor

El rendimiento o eficiencia de la potencia mecánica de un motor depende de su velocidad de rotación y del momento de torsión o par que desarrolla. La potencia está dada por:

$$P = \frac{nP}{9.55} \quad \text{Ecuación 8}$$



Donde:

$P$ = Potencia mecánica [W]

$T$ = Momentos de torsión o par [N.m]

$n$ = Velocidad de rotación [r/min]

9.55= Una constante para el ajuste de las unidades (valor exacto =  $30/\pi$ )

El momento de torsión viene dado por la ecuación:

$$T = Fr \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$T$ = Momentos de torsión en [N.m]

$F$ = Fuerza en [N]

$r$ = Radio en [m]

[5, p. 52].

### 1.5.- Fallas más comunes en los motores eléctricos

Como se mencionó anteriormente; el motivo de las fallas suele ser por varias circunstancias las cuales pueden ser desde polvo hasta problemas de alimentación; esto conlleva a un sinnúmero de problemas las cuales pueden afectar directamente al motor y pueden ir dañando a la máquina rotativa o desgastar las partes la misma.

En la TABLA 2 se detallan las fallas más comunes de los motores, la posible causa para el daño y la posible solución que se debe brindar a los motores eléctricos.

Tabla 2. Fallas más comunes, causas y correcciones posibles

| ANORMALIDAD  | POSIBLE CAUSA  | POSIBLE SOLUCION  |
|--|--|---|
| Marcha ruidosa   | Verificar los rodamientos.<br>Correas averiadas.<br>Falta de fase.<br>Soportes de base.  | Recambio.<br>Reemplazo.<br>Verificar térmicos.<br>Verificar ajustes bulones.  |
| El motor no arranca  | Verificar alimentación.<br>Escobillas flojas.<br>Bobinado interrumpido.<br>Baja tensión lineal.<br>Contactos a masa.<br>Dispositivo de arranque. | Revisar circuito.<br>Ajustar o cambiar.<br>Medir continuidad.<br>Investigar causa.<br>Verificar con instrumentos.<br>Revisar dispositivo. |
| Arranque con golpes.   | Dispositivo de arranque.   | Verificar instalación.  |
| Motor arranca con dificultad y disminuye la velocidad con la carga.                      | Baja tensión.<br>Caída de tensión excesiva.<br>Caída de tensión excesiva.<br>Conexionado en la bomerá.   | Regular autotransformador.<br>Investigar causa.<br>Verificar bomerá.  |
| Motor trifásico produce zumbido intermitente y fluctuaciones en la corriente estatónica. | Verificar estado del rotor jaula de ardilla.<br>Soldaduras mal.  | Verificar continuidad con instrumental.   |
| El motor trifásico arranca con dificultad o no arranca estrella.                         | Carga excesiva.<br>Baja tensión de red.<br>Bornes del arrancador estrella – triangulo mal conectadas.  | Verificar potencia del motor.<br>Verificar circuito y hacer mediciones.<br>Verificar conexiones.  |

Fuente: [6, p. 171]

## 1.6.- Mantenimiento de máquinas eléctricas

Al conocer que toda máquina eléctrica con el pasar del tiempo sufre algún tipo de daño; es necesario brindarle un soporte técnico o tecnológico según sea la necesidad de la misma. Existen algunos caminos según el estado de daño de la

máquina para lograr estabilizar su trabajo o realizar las correcciones necesarias. Los mantenimientos que se brinda a los aparatos eléctricos será la forma más viable para la vida útil; para ello existen mantenimientos que son los predictivo, correctivo y preventivo de los cuales se hablará a continuación.

#### **1.6.1.- Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo es la forma más clara de evitar el paro definitivo de una máquina o el aumento del daño del aparato en mención; para lograr que no exista un paro definitivo o una avería que deje sin funcionamiento produciendo un impacto negativo económico por los tiempos muertos; es ideal que se realice una revisión objetiva y subjetiva para determinar daños o posibles paros. Al lograr determinar el o los daños antes de un paro definitivo es la forma más clara de manejar la situación porque un mantenimiento es notablemente más económico que el cambio de piezas o el cambio general del aparato que sufrió el daño.

#### **1.6.2.- Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es el modelo de mantenimiento más común en la pequeña y mediana empresa y aunque es el que tradicionalmente se ha venido empleando, impera desde hace algún tiempo la introducción de programas de mantenimiento preventivo cuyos resultados a largo plazo son mucho más eficaces. El mantenimiento correctivo se basa en la intervención en el caso de avería, manifestada como el colapso de un equipo o instalación, es decir, la interrupción súbita de la producción. Dentro del mantenimiento correctivo se puede distinguir dos variedades:

#### **1.6.3.- Mantenimiento preventivo**

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del anterior, la situación de las piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, determinada mediante criterios estadísticos. Así la situación de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo pre programado, o al producirse una avería, si esta ocurre antes (Manéz Fernández Cabanas, Manuel García Melero, Gonzalo Alonso Orcajo, José Manuel, Cano Rodríguez, Juan Solares Sariago, 1998, p. 9).

El mantenimiento preventivo habitualmente comprende una serie de actividades características:

- Limpieza y revisión periódicas.
- Conservación de equipos y protección contra los agentes ambientales.
- Control de la lubricación.
- Reparación y recambio de los puntos del sistema identificados como puntos débiles.
- Reparación y recambios planificados.

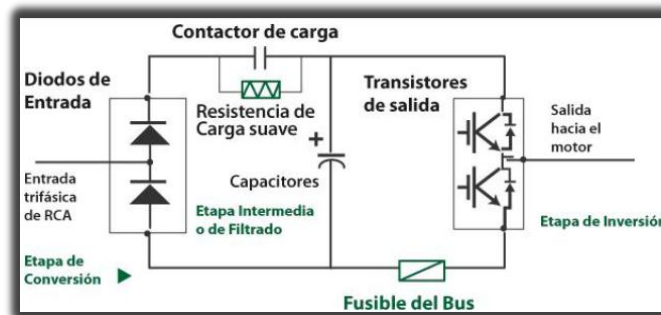
[7, p. 10]

### 1.7.- Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia o variador de velocidad es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna y esto se lo da por medio del control de frecuencia de alimentación suministrada por el motor.

#### 1.7.1.- Funcionamiento del variador de frecuencia

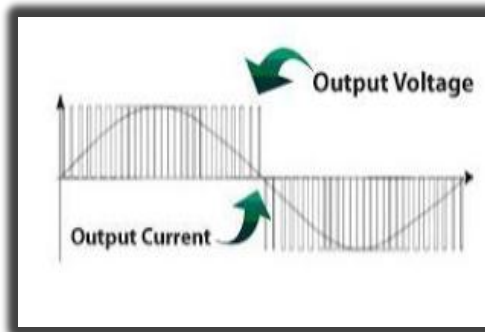
Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones de señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a una frecuencia constante, y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor. En la Fig. 5 se muestra el circuito principal de un variador de frecuencia.



Figuras 5. Circuito de principal de un variador de frecuencia

Fuente: [8, p. 2]

El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM “Pulse Width Modulation” modulación por ancho de pulsos. En la Fig. 6 se muestra la modulación por ancho de pulsos.



Figuras 6. Modulación por ancho de pulso

Fuente: (Luis Araya, 2011, p. 2)

Al tener control en la frecuencia de la onda de corriente podemos también controlar la velocidad del motor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Nm = 120 \times (1-s) P$$

Ecuación 10

Donde:

Nm= Velocidad mecánica (rpm) f= Frecuencia de alimentación (Hz) s= Deslizamiento (adimensional) P= Número de polos [8, p. 2].

### 1.7.2.- Convertidores de Frecuencia modelo CFW500

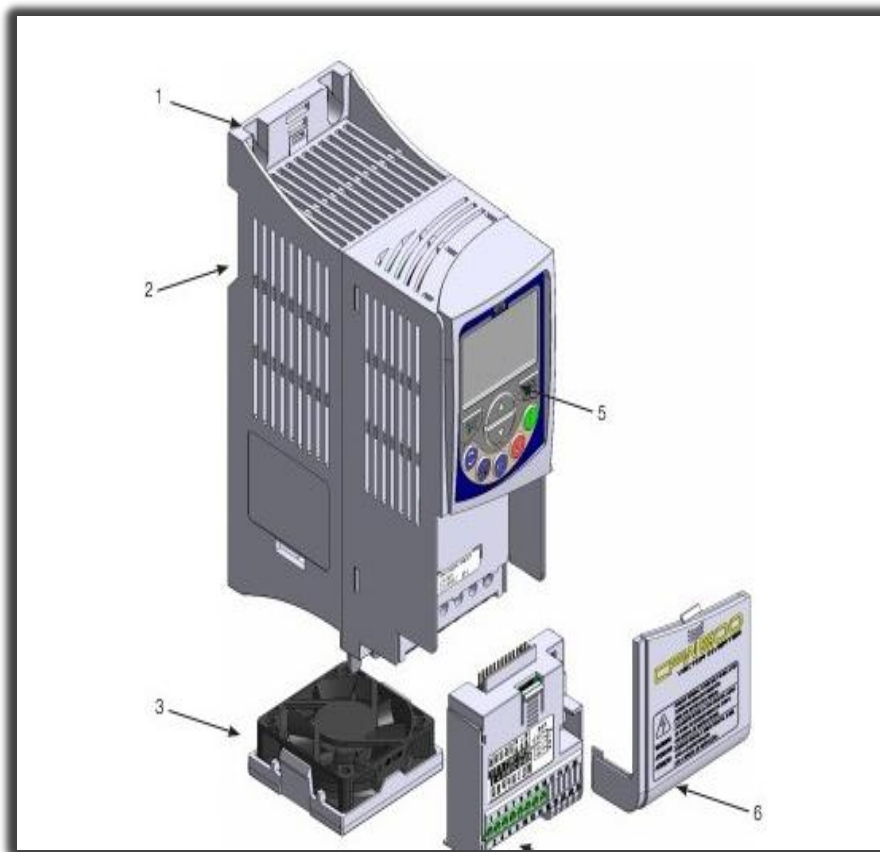
El convertidor de frecuencia CFW500 es un producto de alta performance que permite el control de velocidad y torque de motores de inducción trifásicos. Este producto proporciona al usuario las opciones de control vectorial (VVW) o escalar (V/f), ambos programables de acuerdo con la aplicación.

En modo vectorial, la operación es optimizada para el motor en uso, obteniéndose un mejor desempeño en términos de torque de regulación de velocidad. La función “Autoajuste”, disponible para el control vectorial, permite ajuste automático de los reguladores y parámetros de control, a partir de la identificación (también automática) de los parámetros del motor.

El modo escalar (V/f) es recomendado para aplicaciones más simples como el accionamiento de la mayoría de las bombas y ventiladores. En estos casos es posible reducir las pérdidas en el motor y en el convertidor, ajustando la curva V/f a través de los parámetros por aproximación de curva cuadrática de la relación V/f, lo que resulta en ahorro de energía. El modo V/f también es utilizado cuando más de un motor es accionado por un convertidor simultáneamente (aplicaciones multimotores).

El convertidor de frecuencia CFW500 también posee funciones de CLP (Controlador Lógico Programable) a través del recurso SoftPLC (integrado) [9, pp. 3-1].

El variador de frecuencia WEG CFW500, cuenta con todas las características necesarias para lograr optimizar a máquinas eléctricas dependiendo la utilidad o trabajo; el plano característico según las entradas del variador son las siguientes y se muestran en la Fig. 7.



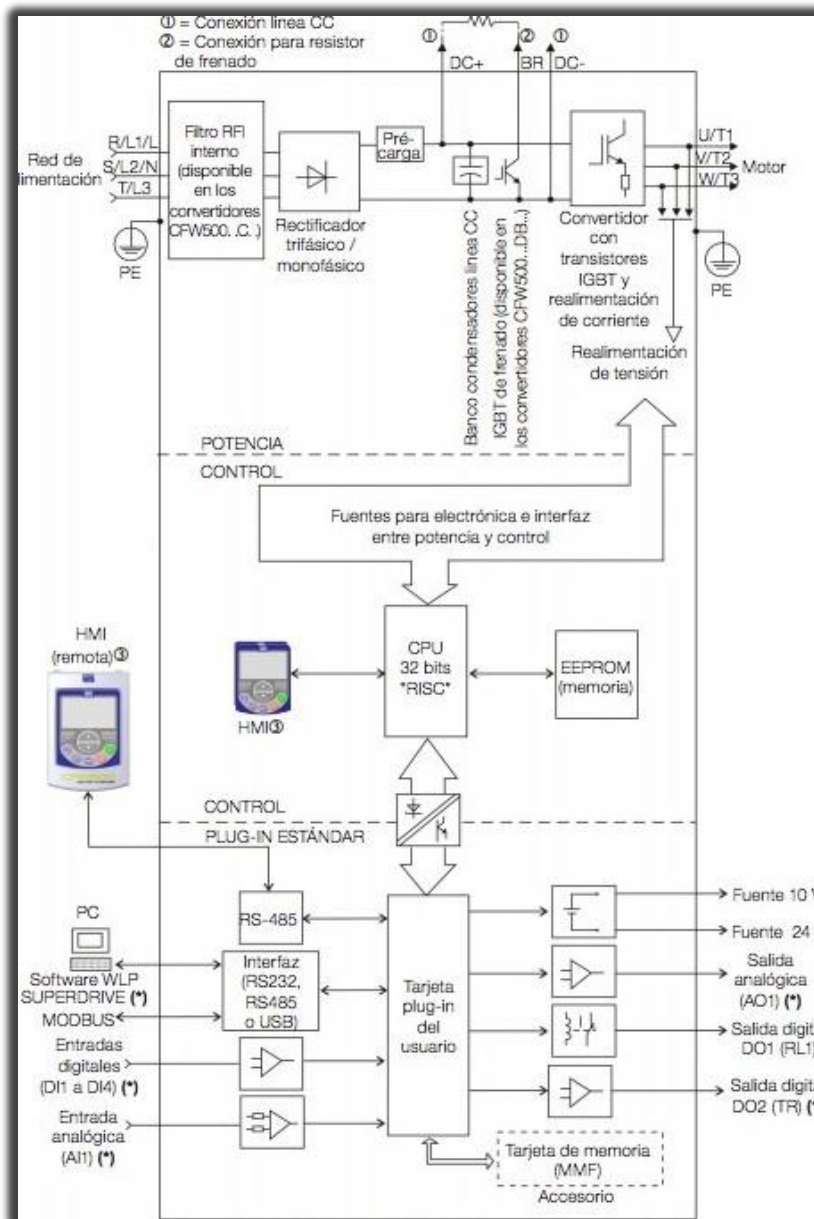
Figuras 7. Diagrama general del convertidor de frecuencia WEG CW500

Fuente: [9, pp. 3-1]

1.- Soporte de fijación (para montajes en superficie)

- 2.- Soporte de fijación (para montaje en riel DIN)
- 3.- Ventilador con soporte de fijación
- 4.- Modulo plug-in
- 5.- HMI
- 6.- Tapa frontal

El variador de frecuencia CW500 tiene una configuración interna la cual brinda una variedad de entradas analógicas y digitales las cuales se muestran en el siguiente Fig. 8:



Figuras 8. Diagrama de Potencia, Control y Plug-in Estándar

Fuente: [9, pp. 3-2]

### 1.7.2.1. HMI y Programación básica

Las pantallas HMI están diseñadas para mostrar datos generales o específicos para información o transmisión visual; en la HMI del variador de frecuencia de igual forma se logra visualizar datos y parámetros para modificarlos. En la pantalla HMI las teclas varían de acuerdo con el modo de operación o la necesidad. La variación de parámetros está dividido en tres niveles como se muestra en la Fig. 9:



Figuras 9. Uso de la HMI para operación del convertidor

Fuente: [9, pp. 3-5]

### 1.8.- Tarjeta DAQ

La tarjeta DAQ es un dispositivo electrónico el cual cumple con las especificaciones de adquirir datos y transmitirla a un PC el cual tenga algún software para visualizar dicha información. Las aplicaciones más comunes de este equipo

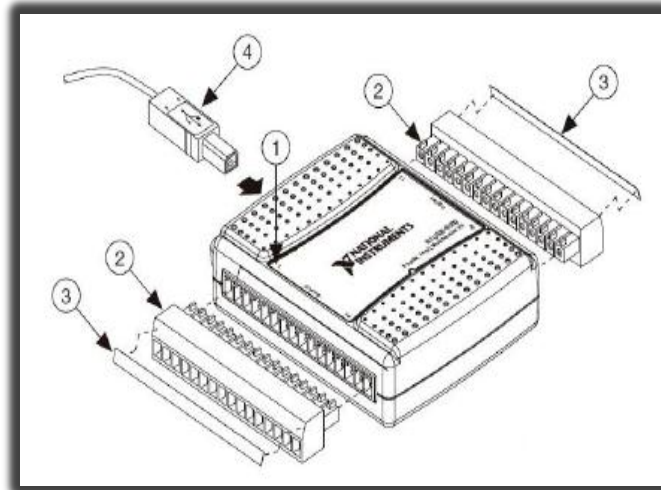


electrónico son registros de datos, medidas portátiles y experimentos de laboratorio. Para el uso de laboratorio es de gran ayuda para simulación, medida y automatización.

Las tarjetas DAQ son de uso también para muestreo avanzado, medidas precisas, soporte para calibración ya que cuenta con un mayor número de canales y esto varia la amplia gama de tarjetas.

### 1.8.1.- Tarjeta DAQ USB 6009

La tarjeta está compuesta de tres elementos, el elemento principal de la DAQ (de aquí en adelante la DAQ se refiere a la tarjeta NI USB - 6009) y dos grupos de borneras, tal como se observa a continuación en la Fig. 10:



Figuras 10. Elementos de la tarjeta DAQ USB 6009

Fuente: [10, p. 2]

- 1.- Etiqueta superior con indicadores de bornes.
- 2.- Borneras.
- 3.- Etiquetas de bornes.
- 4.- Cable USB.

Un grupo de borneras corresponden a las entradas y salidas analógicas y el grupo opuesto corresponden a las entradas y salidas digitales, entradas de trigger o controlador, +5V y tierra, como se indica a continuación: [9, pp. 2 - 3]

|     |       |     |       |     |       |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 2     | 3   | 4     | 5   | 6     | 7   | 8     | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  |
| GND | +AI0- | GND | +AI1- | GND | +AI2- | GND | +AI3- | GND | AO0 | AO1 | GND |     |     |     |     |
| GND | AI0   | AI4 | GND   | AI1 | AI5   | GND | AI2   | AI6 | GND | AI3 | AI7 | GND | AO0 | AO1 | GND |

Figuras 11. Entradas/salidas analógicas del borne 1 al 16

Fuente: [10, p. 2]

|     |     |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 32  | 31  | 30    | 29   | 28   | 27   | 26   | 25   | 24   | 23   | 22   | 21   | 20   | 19   | 18   | 17   |
| GND | +5V | +2.5V | PF10 | P1.3 | P1.2 | P1.1 | P1.0 | P0.7 | P0.6 | P0.5 | P0.4 | P0.3 | P0.2 | P0.1 | P0.0 |

Figuras 12. Entradas/salidas digitales, +5V y tierra del borne 17 al 32

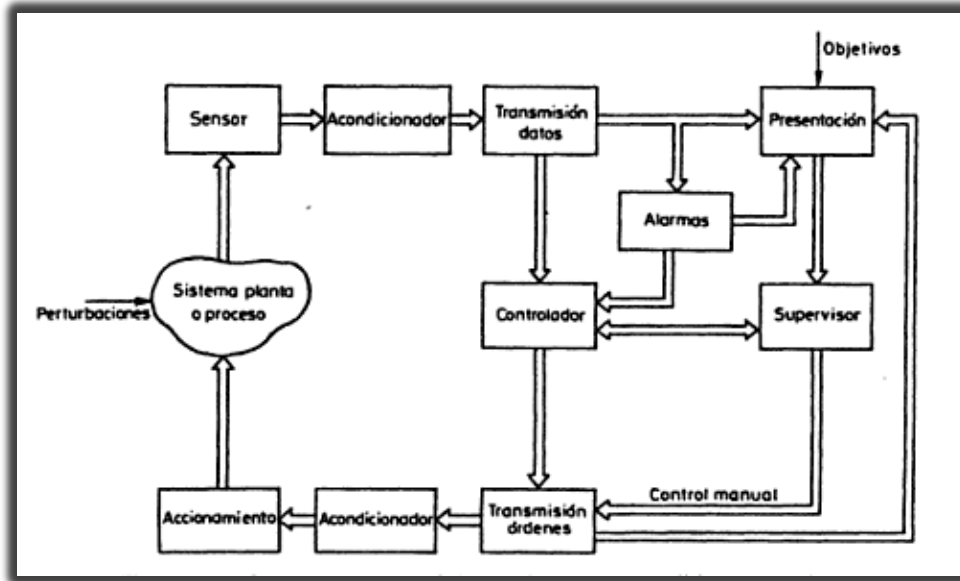
Fuente: [10, p. 2]

### 1.9.- Sistemas de medida

Se denomina sistema a la combinación de dos o más elementos, subconjuntos y partes necesarias para realizar una o varias funciones. En los sistemas de medida, esta función es la asignación objetiva y empírica de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento, de tal forma que la describa. Es decir, el resultado de la medida debe ser; independiente del observador (objetiva), basada en la experimentación (empírica), y de tal forma que exista una correspondencia entre las relaciones numéricas y las relaciones entre las propiedades descritas.

Los objetivos de la medida pueden ser: la vigilancia o seguimiento de procesos, como es el caso de la medida de la temperatura ambiente, de los contadores de gas y agua, de la monitorización clínica, etc.; el control de un proceso, como en el caso de un termostato o el control de nivel en un depósito; y también puede ser una necesidad de la ingeniería experimental, como sucede con el estudio de la distribución de temperaturas en el interior de una pieza irregular, o de las fuerzas sobre el conductor simulado de un vehículo cuando este choca contra un objeto [11, p. 1].

Todo sistema de control cuenta con la estructura general del sistema de medida de pruebas para transmitir la información sea local o a distancia con sistema remoto de recolección de datos; los sensores o transductores deben tener un sistema estructural para que de una visión al trabajo que estos equipos vayan a cumplir. A continuación se muestra en la Fig. 13 un sistema general de visión de los sensores.



Figuras 13. Estructura general de un sistema de medida y control

Fuente: [11, p. 2]

### 1.9.1.- Transductores, sensores y acondicionadores

Se denomina transductor, en general, a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir, una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide solo la otra componente.

Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas), cualquier dispositivo que convierta una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser cualquier forma física útil [11, p. 2].

### 1.9.2.- Tipos de sensores

Los sensores son utilizados según la necesidad, según el estudio en mención, características físicas, etc., al recoger todos los criterios de clasificación de sensores se puede llegar a la conclusión del siguiente gráfico pero tomando aclarando que esta clasificación es exhaustiva. En la TABLA 3 se muestra una clasificación de sensores.

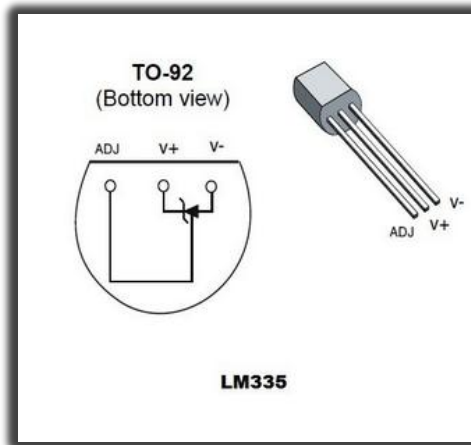
Tabla 3. Clasificación de los sensores

| CRITERIO          | CLASES                         | EJEMPLOS  |
|-------------------|--------------------------------|---|
| Aporte de energía | Modulares<br>Generadores       | Termistor<br>Termopar                           |
| Señal de salida   | Analógicos<br>Digitales        | Potenciómetro<br>Codificación de posición       |
| Modo de operación | De deflexión<br>De comparación | Acelerómetro de deflexión<br>Servo acelerómetro |

Fuente: [11, p. 7]

### 1.10.- Sensor LM 335

El sensor LM335 es un integrado para medir temperatura; es un dispositivo de precisión con fácil calibración y montaje. Este funciona como un zener de dos terminales, cuenta con una tensión de ruptura de directamente proporcional a la temperatura absoluta a  $10 \text{ mV} / ^\circ\text{K}$ . El LM335 funciona en un lapso de corriente de 400  $\mu\text{A}$  a 5  $\text{mA}$  y esto con menos de 1 ohmio de impedancia dinámica. En la Fig. 14 se muestran los pines del sensor LM 335 y su configuración.



Figuras 14. Sensor LM335

Fuente: [www.electronicoscaldas.com](http://www.electronicoscaldas.com)

Características:

- Calibrado en grados Kelvin
- Funciona a partir de 400  $\mu\text{A}$  a 5  $\mu\text{A}$
- Menos de 1 ohmio de impedancia dinámica
- Rango amplio de temperatura y fácil calibración

### 1.11.- Sensor Vibra Tab 605 – 0004

El Vibra Tab 605 – 0004 es un sensor diseñado para vibración o interruptor flexible o también como dispositivo de respuesta de frecuencia. Este dispositivo creado por Measurement Specialties fue creado con la característica de que su funcionamiento se lo logre visualizar en software electrónicos. En la Fig. 15 se muestra la imagen del Sensor Vibra Tab 605 – 004.



Figuras 15. Sensor Vibra Tab 605 – 0004

Fuente: [www.parallax.com](http://www.parallax.com)

### 1.12.- Equipos eléctricos

Los equipos eléctricos son aparatos que se alimentan de energía eléctrica, ayudan a producirla o también a transmitirla. Cada equipo eléctrico cumple una tarea en específico, cada elemento está diseñado y acoplado para brindar un soporte de ayuda dentro de planos, estructuras, tecnología, en fin todo tipo de necesidad eléctrica o electrónica.

#### 1.12.1.- El contactor eléctrico

Es un mecanismo auxiliar de mando cuya misión es la de cerrar unos contactos y abrir otros para permitir el paso de la corriente a través de estos; esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

El contactor eléctrico básicamente funciona como un interruptor de corriente el cual cumple con la característica especial de ser activado o desactivado a distancia con ciertos mecanismos electromagnéticos. En la Fig. 16 se muestra la forma real de un contactor eléctrico.

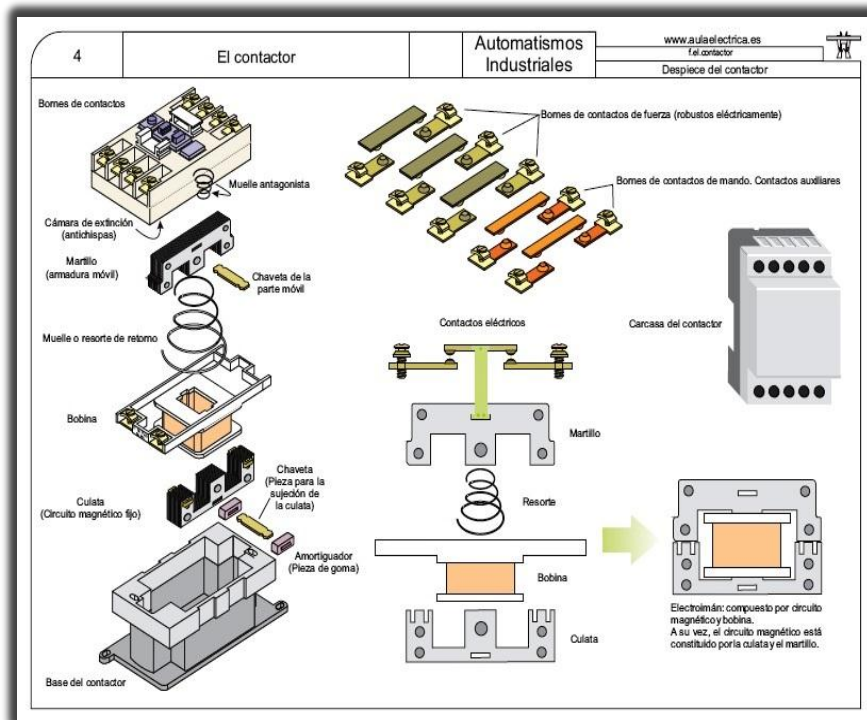


Figuras 16. Contactor eléctrico

Fuente: [www.nationalinstruments.com](http://www.nationalinstruments.com)

Las partes principales son la carcasa quien brinda la seguridad y protección a todo el equipo, el electroimán el cual transforma la energía eléctrica en magnetismo para lograr la apertura o cierre de los contactos.

Además de ello también está compuesto internamente de la bobina, el núcleo y la armadura, los cuales son montados como se muestran en la Fig. 17:



Figuras 17. Estructura y accionamientos del contactor eléctrico

Fuente: [www.dinoalatele.com](http://www.dinoalatele.com)

### 1.12.2.- Botoneras, pulsadores de arranque y paro

Un botón o pulsador es un dispositivo utilizado para realizar cierta función. El funcionamiento básico de una botonera por lo general es como la de un interruptor eléctrico, es decir permite encender o apagar cierto equipo. El trabajo de estos aparatos eléctricos es permitir el paso de la corriente eléctrica o interrumpirla. En la Fig. 18 se muestra una variedad de botoneras y pulsadores eléctricos.



Figuras 18. Botoneras y pulsadores eléctricos

Fuente: [www.cjniemann.com](http://www.cjniemann.com)

El funcionamiento consiste en dos contactos; al ser accionado uno de estos se realizara un trabajo de doble sentido; es decir; cuando uno esté cerrado el otro estará abierto y viceversa.

### 1.13.- LabVIEW

LabVIEW son las abreviaturas y siglas de “Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench” esta es una plataforma que ayuda al diseño de sistemas de pruebas simuladas para el control de un circuito electrónico, eléctrico o mixto. LabVIEW ayuda a la industria con todo tipo de pruebas para equipos dando productividad y disminuyendo perdidas; el lenguaje que utiliza este Software es el “G” que significa un lenguaje Grafico.

Esta plataforma fue creada por “National Instruments” en 1976; existen varias versiones las cuales van siendo actualizadas con el pasar de los años y puedan ser utilizadas por estudiantes, ingenieros, laboratorios de pruebas y la industria en general.

La comunicación directa que tiene el programa es con tarjetas de adquisición de datos para lograr obtener información de los equipos; los programas creados en esta plataforma se los denomina Instrumentos Virtuales (VIs). Esta herramienta gráfica muestra el desarrollo de pruebas las cuales son programadas en forma de dibujo para facilitar la comprensión.

Cada VI consta de dos partes principales que son el panel de control que es la interfaz del usuario; es decir se muestra en tiempo real los acontecimientos de los equipos como al realizar pruebas de torque mirando las fluctuaciones y los tiempos mientras sucede esto. El diagrama de bloques por el contrario es donde se define la gráfica de programación de los equipos; es decir la funcionalidad que tienen que realizar y las pruebas deseadas por el usuario. Cada icono va incorporado al otro por líneas que simbolizan la continuidad de la prueba de un lugar a otro.



# CAPITULO 2

## DESARROLLO

### 2.1.- Introducción previa al desarrollo

El presente desarrollo cuenta con varios puntos a demostrarse con el avance de la construcción del módulo didáctico de pruebas mecánicas y de aislamiento en motores trifásicos; se detallará cual fue la programación en la plataforma de visualización LabVIEW para proceder a la construcción de planos con la utilización de fórmulas, ecuaciones, conceptualizaciones y demás herramientas.

El módulo en mención fue diseñado pensando en la utilidad de los estudiantes de la carrera de ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte; por ello se desarrollan varias pruebas como son la de vibración, par de régimen, temperatura y aislamiento de un motor eléctrico trifásico independientemente una de otra pero basadas en similar utilidad o funcionamiento.

Las pruebas podrán ser manipuladas independientemente de la necesidad de uso y adicional a ello se logrará obtener datos en tiempo real y con la facilidad de almacenamiento según la necesidad.

Los equipos y aparatos eléctricos u electrónicos a analizar fueron ya detallados anteriormente y en este capítulo se mostrara su funcionamiento. Los planos eléctricos y las ecuaciones utilizadas para el funcionamiento de las diferentes pruebas serán mencionados paulatinamente y se demostrara por escrito la funcionalidad del módulo de pruebas mecánicas y de aislamiento de un motor trifásico.

A continuación se mostrará detalladamente los alcances obtenidos en la primera etapa de la construcción de módulo de pruebas; se da inicio en la programación del circuito en la plataforma de LabVIEW para obtener de forma clara resultado en cada una de las pruebas.

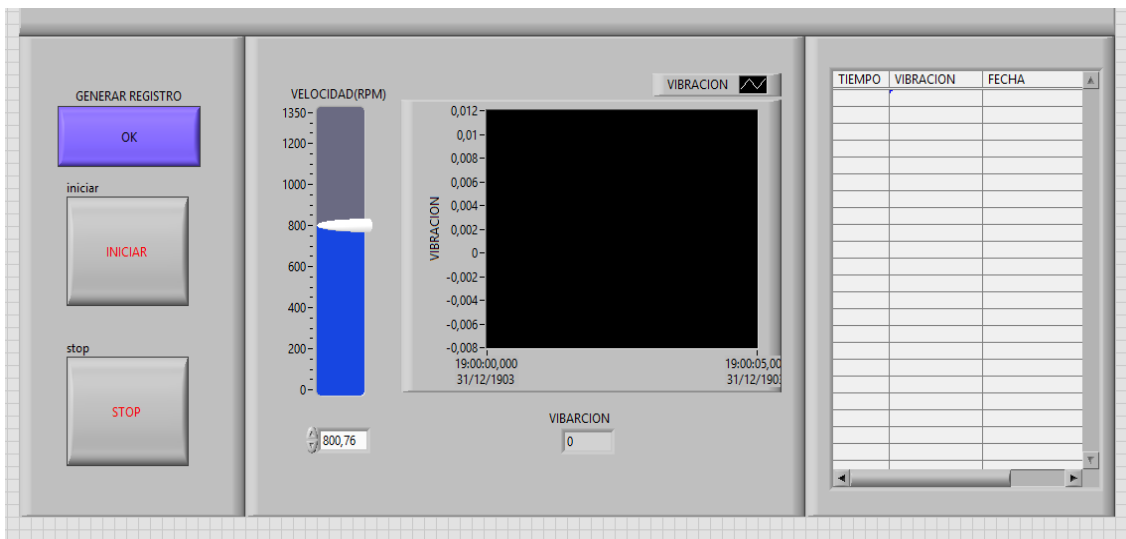
### 2.2.- Diagramación en LabVIEW

Con el conocimiento previo de que LabVIEW es una plataforma de visualización que ofrece un enfoque gracias a la programación gráfica y ayuda a diseñar interfaces

de uso personalizado; se logró independizar varias pruebas de un motor eléctrico. La programación se desarrolló así:

### 2.2.1.- Prueba de vibración

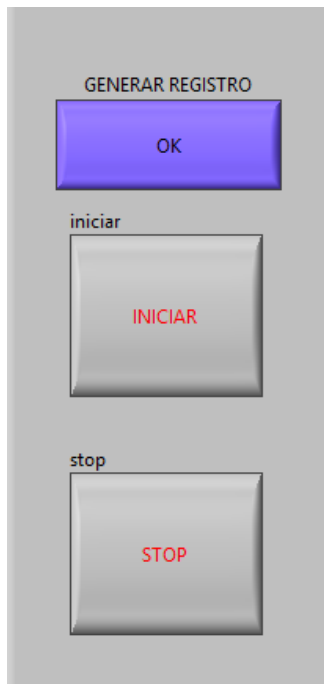
La prueba de vibración se realizó con el uso del sensor Vibra Tab 605-0004 como origen principal y con ello se configuró la prueba quedando de la siguiente manera. En la Fig. 19 se muestra el panel frontal de la prueba de vibración el cual consta de varios elementos que se describen a continuación:



Figuras 19. Panel frontal prueba de vibración

Fuente: Autor

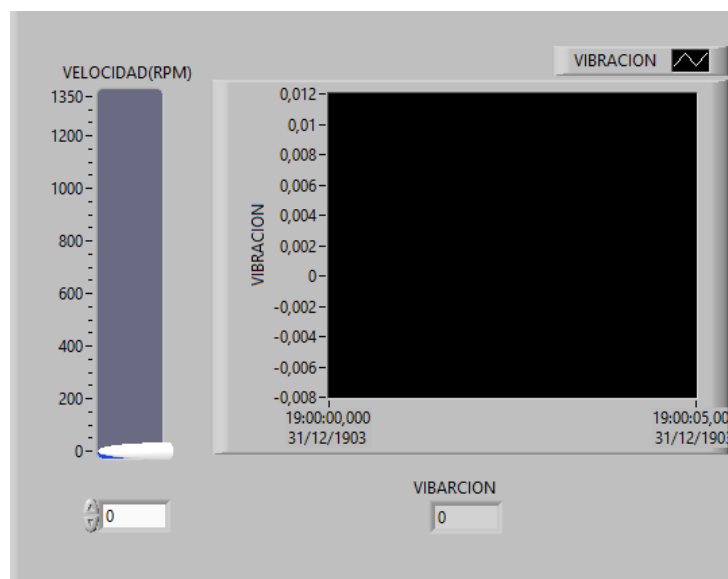
La primera parte del panel frontal consta de tres botoneras los cuales están comprendidos de la siguiente manera: INICIAR es el pulsador el cual envía a correr la configuración para que toda la diagramación empiece a funcionar; STOP es la botonera que termina la funcionalidad de la prueba y OK – GENERAR REGISTRO es la botonera la cual permite obtener datos de la prueba en mención; en la Fig. 20 se muestran las botoneras de control del panel frontal.



Figuras 20. Botoneras de Control Panel frontal prueba de vibración

Fuente: Autor

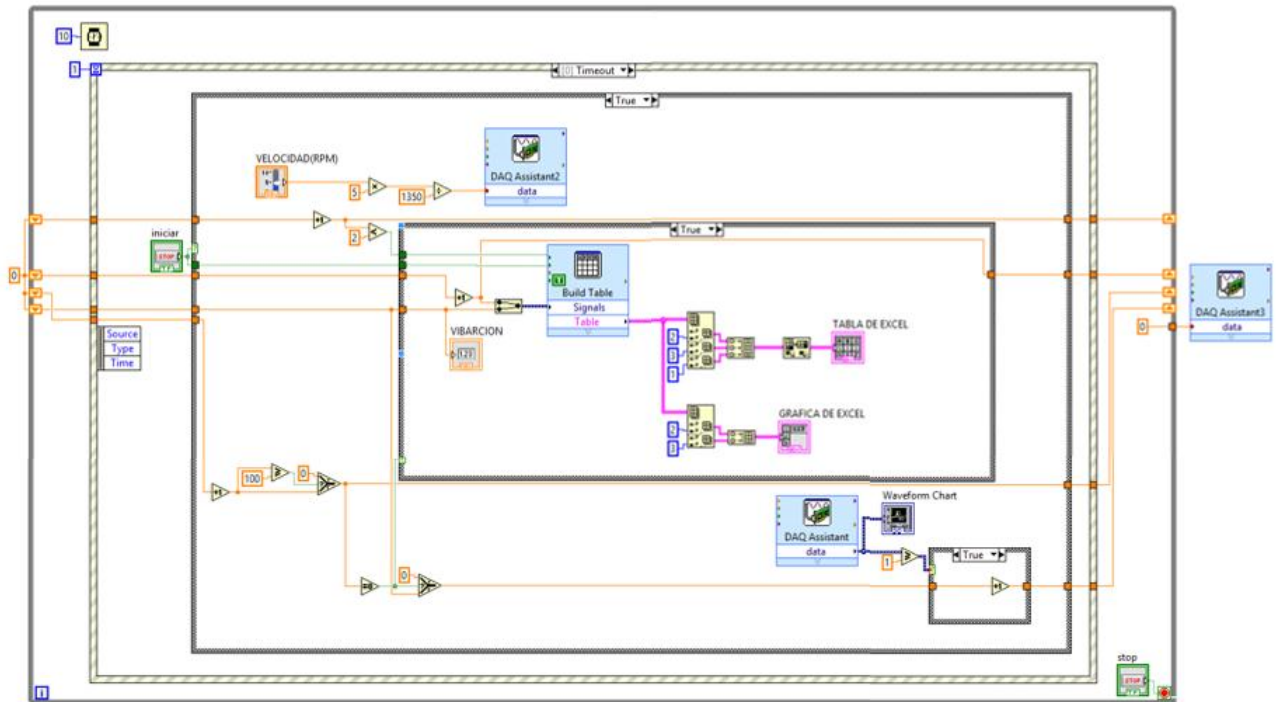
La parte central del panel frontal consta con dos tipos de visualización que son un slicer (botonera de ampliación y disminución de señal) el cual permite forma manual o de forma escrita aumentar o disminuir la velocidad a la cual se pretende que gire el motor eléctrico; adicional consta de un display (pantalla grafica) el cual muestra las ondas de vibración que en tiempo real está teniendo el motor. En la Fig. 21 se muestran un slicer y display de control y visualización.



Figuras 21. Slicer (ampliación y disminución de señal) y Display (pantalla de muestreo) de control y visualización prueba de vibración

Fuente: Autor





Figuras 23. Diagramación prueba de vibración

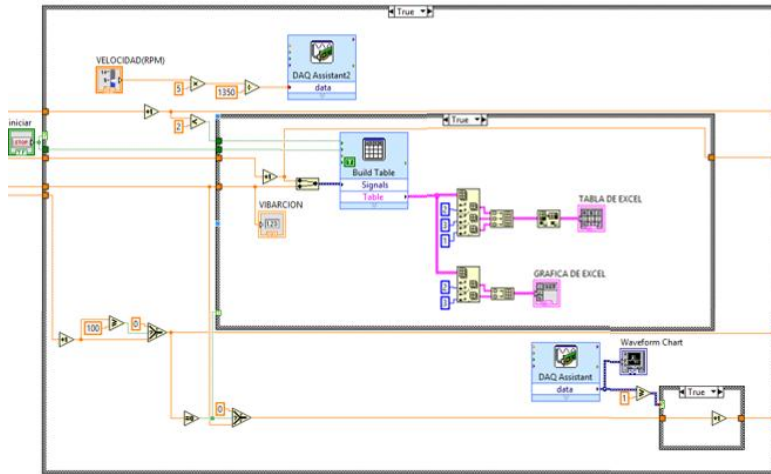
Fuente: Autor

En el diagrama de bloques de la prueba de vibración se encuentran varias ventanas que determinan estratégicamente las acciones a seguir en dicha prueba; se encuentra primero una ventana while loop que es en la cual se encuentran todas las ordenes a seguir.

En la parte superior izquierda cuenta con un icono de tiempo (Wait ms) que es la velocidad de comunicación en milisegundos y en la parte inferior derecha un paro general de toda la configuración. Adicional a esto en la parte derecha están las configuraciones de la tarjeta Daq que es el fin de la comunicación de datos.

En la siguiente ventana que es una event structure se define los datos de fuente, tamaño y tiempo; en si define el tipo de variables a utilizar.

En la Fig. 24 se indica la programación de las diferentes botoneras y equipos de visualización con el panel frontal; las gráficas de programación como el slider, display y contadores están acopladas a partir de esta ventana.



Figuras 24. Configuración de Slicer (ampliación y disminución de señal) y Display (pantalla de muestreo y contadores prueba de vibración)

Fuente: Autor

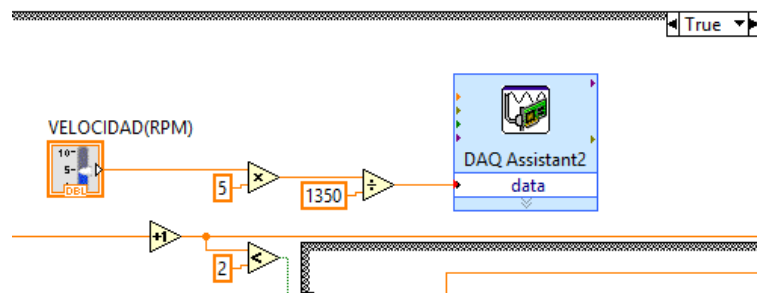
La velocidad del motor es controlada por el slider del panel frontal de la programación general; el rango máximo para la velocidad es de hasta 1350 RPM (revoluciones por minuto) y el voltaje a trabajar es de 5 Voltios.

Para realizar la prueba de vibración se debe tomar en cuenta la relación de velocidad del motor con la ayuda del sensor de vibración Vibra Tab 605-0004 todo esto con la ecuación de trabajo que se detalla a continuación:

$$Vr = \frac{V \times 5}{1350} \quad \text{Ecuación 11}$$

Con la Ecuación. 12 se pretende controlar el voltaje que ingrese hasta la tarjeta Daq ya que si los parámetros superan a la configuración inicial de igual forma se debería aumentar el coeficiente fijo de división.

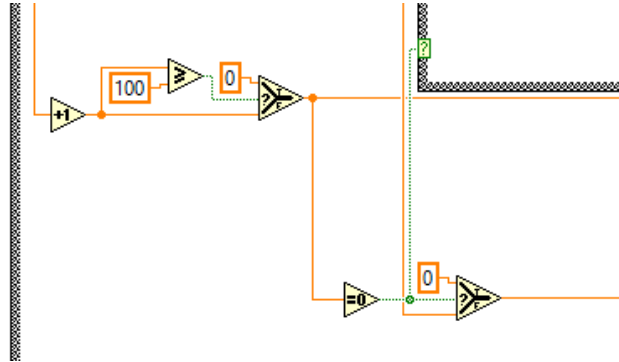
En la Fig. 25 se muestra la configuración del slider con la ecuación para que ingrese la señal hasta la tarjeta como se manifestó anteriormente.



Figuras 25. Parametrización de Slicer (ampliación y disminución de señal) y Display con ecuación para ingreso de señal a tarjeta Daq prueba de vibración

Fuente: Autor

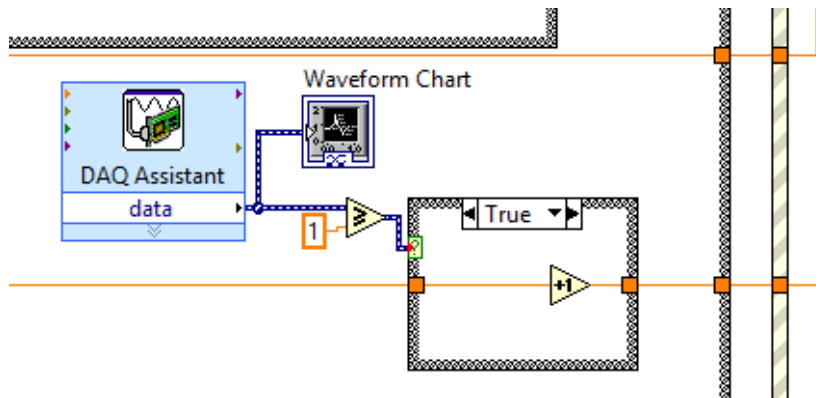
Para eliminar las perturbaciones y que las señales sean lo más puras posibles; se ha incrementado en la programación filtros como se muestra en la Fig. 26.



Figuras 26. Filtros para mejorar la señal prueba de vibración

Fuente: Autor

Para poder visualizar las ondas de fluctuación de vibración se hace uso de las salidas de la tarjeta Daq hasta un display que muestra la forma de onda dependiendo de la velocidad que tenga el motor eléctrico o las perturbaciones que tenga el mismo. Esta configuración se condiciona únicamente pidiendo que muestre resultados si es mayor a 1 la vibración; este valor siempre se contemplara ya que desde el arranque del motor se obtiene vibración.

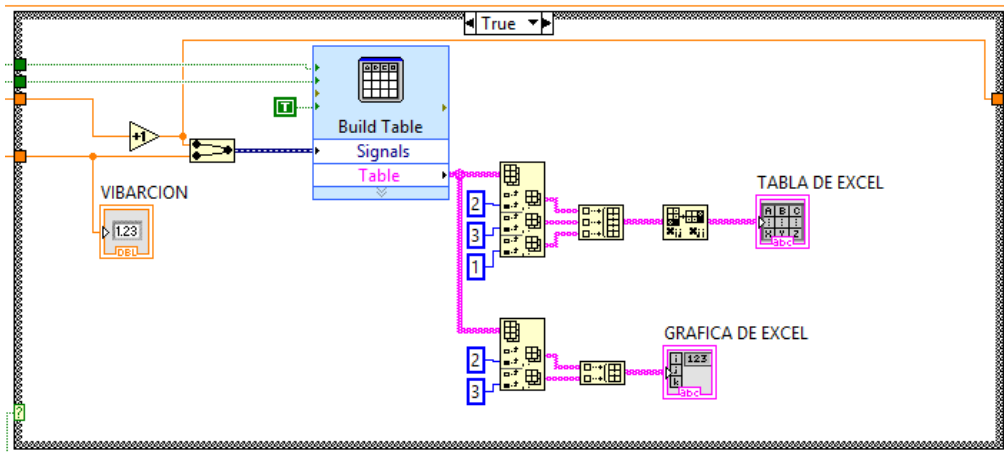


Figuras 27. Conexión salida de tarjeta Daq hasta Display (pantalla de muestreo prueba de vibración)

Fuente: Autor

La parte más atractiva de esta prueba y de las demás que se puede realizar en el presente módulo para pruebas de motores trifásicos es la obtención de datos en tiempo real y adicional de ello generar un registro de datos en la plataforma Excel. Esta información se encuentra vinculada a Microsoft Excel para lograr un muestreo en tabla y de forma gráfica.

En la Fig. 28 se muestra un contador analógico que es digitable para el muestreo de las ondas vibratorias; esta relación de ondas es configurada con un merge signals que brinda señales de función para ingresarlas a una build table que gracias a las señales analógicas logra generar tablas gráficas. Con las señales de la build table se crean dos index array que independientemente con el uso de matrices se configura las tablas y gráficas para la obtención de datos.



Figuras 28. Configuración para obtención grafica de información de la prueba de vibración

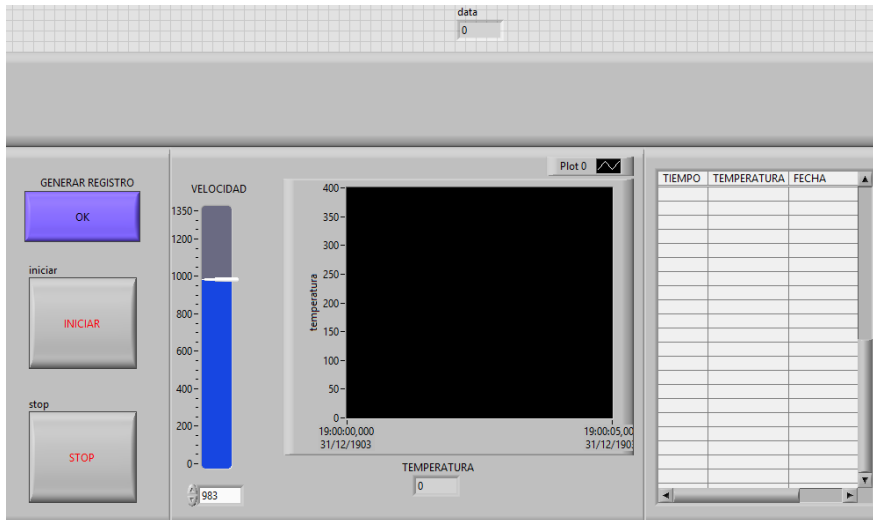
Fuente: Autor

## 2.2.2.- Prueba de temperatura

Para la prueba de temperatura se utilizó el sensor LM 355 como origen principal. Al igual que la prueba de vibración; el panel frontal está diseñado en iguales condiciones para la manipulación didáctica.

En la Fig. 29 se muestra el panel frontal de la prueba de temperatura el cual consta de tres partes principalmente: la primera parte indica los pulsadores para INICIAR y STOP que son los que dan inicio y alto a toda la prueba; el pulsador de OK – GENERAR REGISTRO es el que envía los datos medidos a Microsoft Excel. En la parte central se encuentra un slicer que permite aumentar o disminuir la velocidad del motor y adicional de ello consta de un display que muestra la señal de onda de la temperatura. En la parte final se encuentra un diseño de tabla el cual muestra el tiempo, la temperatura y la fecha de que fue realizada la prueba en mención.

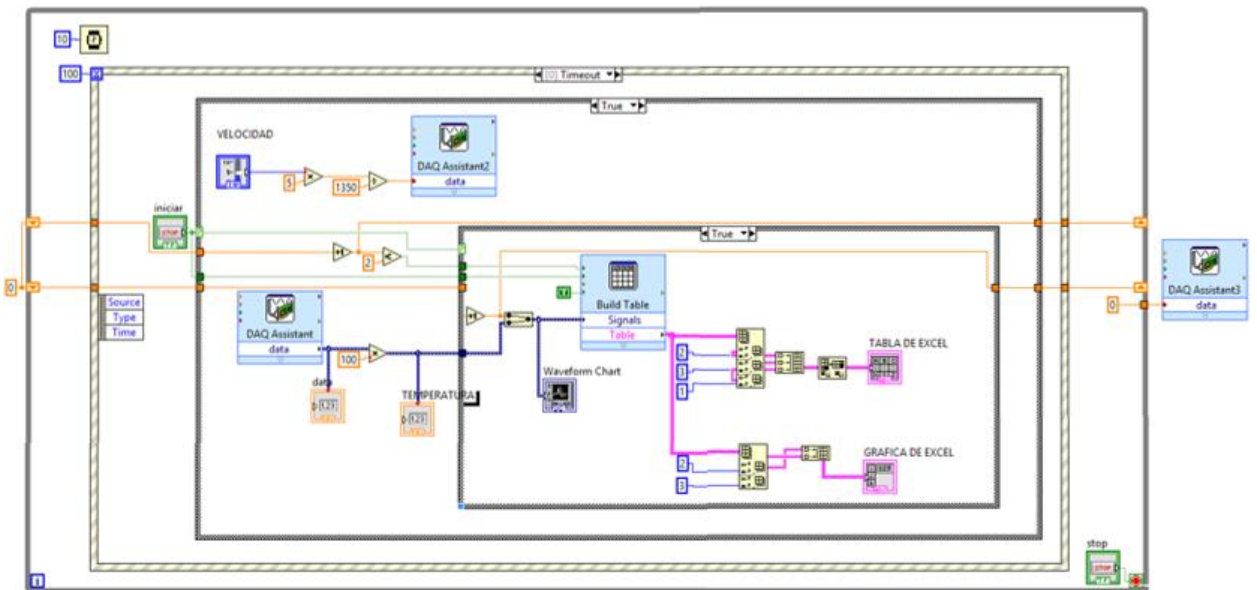




Figuras 29. Panel frontal prueba de temperatura

Fuente: Autor

La prueba de temperatura consta de una programación similar a la prueba de vibración utilizando pantallas y ventanas ya descritas anteriormente. En la Fig. 30 se muestra la diagramación general de la prueba de temperatura.



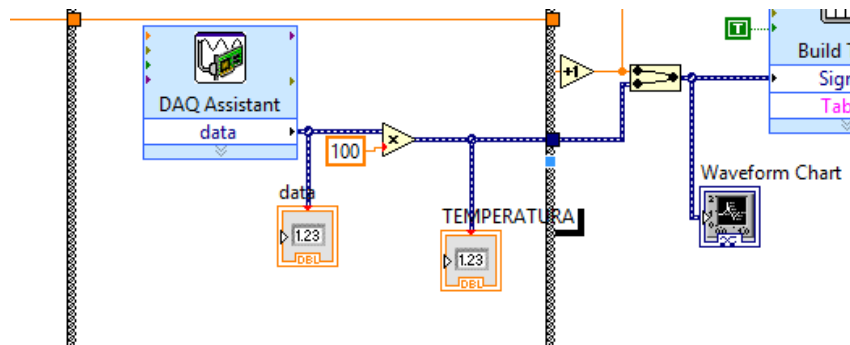
Figuras 30. Diagramación prueba de temperatura

Fuente: Autor

Para la construcción de las diferentes pruebas se utilizó un lenguaje similar en programación; los iconos exteriores son los mismos ya descritos anteriormente en la prueba de vibración. Estos iconos cumplen las funciones de arranque de prueba y forman parte del trabajo continuo del mismo.

De igual forma que en la Fig. 27 se muestra la primera condición de trabajo de la velocidad del motor controlada por el slicer con la señal analógica hacia la tarjeta Daq. Se cumple con la misma condición de la Ecuación. 12 para manejar un voltaje de máximo 5 Voltios ingresados a dicha tarjeta.

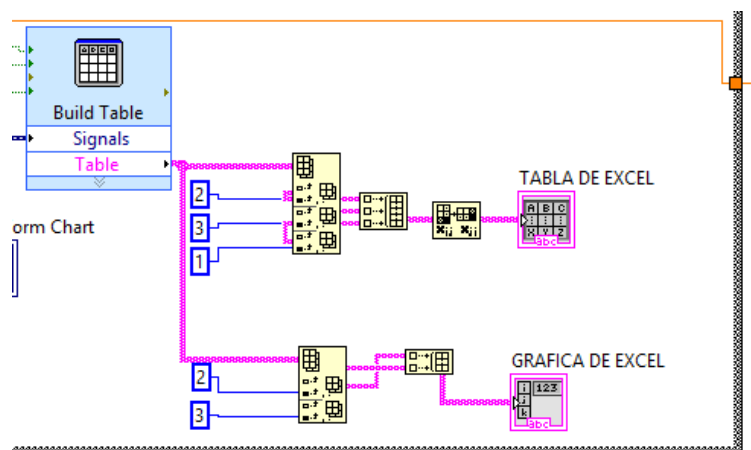
Para lograr observar las ondas de temperatura en el display se utiliza las salidas de la tarjeta Daq; estos datos primero son reflejados en la pantalla de dígitos del display y luego ingresan a un merge signals para ser visualizados en forma de ondas como se muestra en la Fig. 31.



Figuras 31. Diagrama de conexión de tarjeta Daq al Display (pantalla de muestreo)

Fuente: Autor

Las mismas señales que ayudan a mostrar los datos de forma gráfica serán los utilizados para crear las tablas y graficas en Microsoft Excel. Como se muestra en la Fig. 32 y con la ayuda de los iconos merge signals, build table e index array se configura las tablas y gráficas para la obtención de datos.

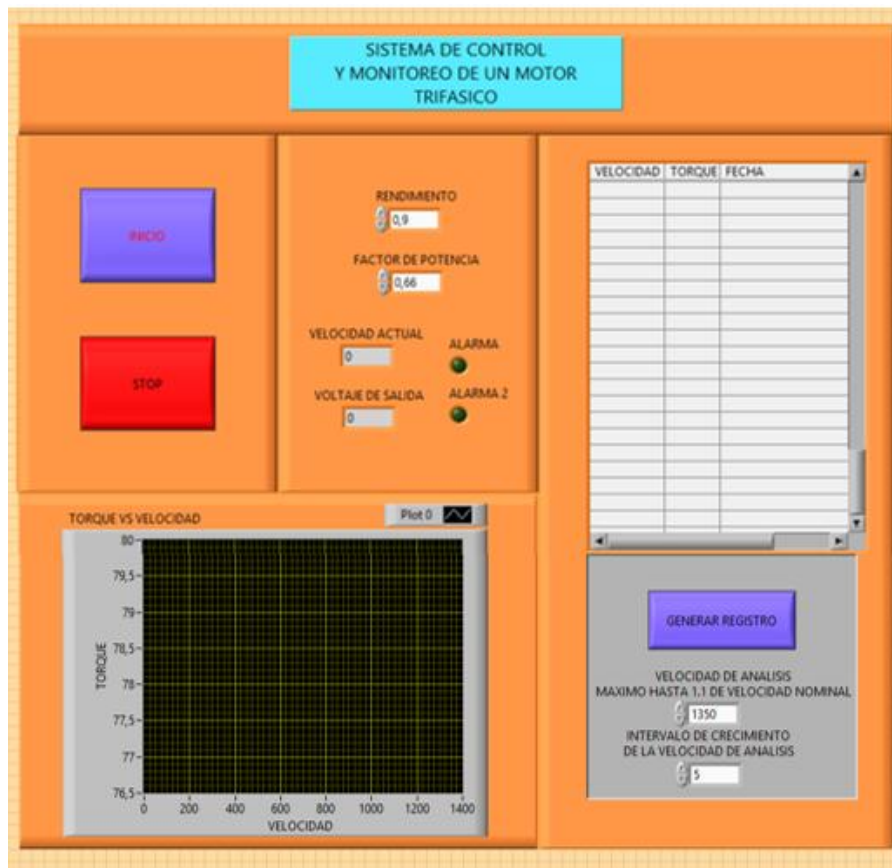


Figuras 32. Configuración para obtención grafica de información de temperatura del motor

Fuente: Autor

### 2.2.3.- Prueba de par de régimen

Para iniciar con la prueba de torque se diseña un panel frontal en el cual está constituido en tres bloques principalmente como se muestra en la Fig. 33. En las pruebas de vibración y temperatura se utilizó un panel frontal similar ya que dichas pruebas utilizan como parte básica el manejo a sensores.



Figuras 33. Panel frontal prueba de par de régimen

Fuente: Autor

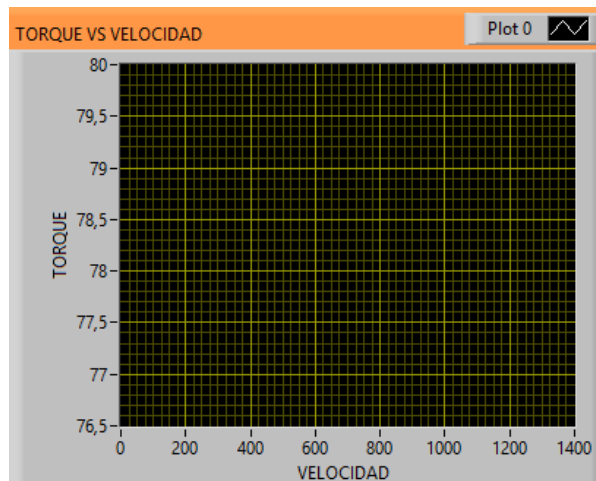
Dentro del panel frontal se encuentra el primer bloque que es el principal para iniciar con la prueba de par de régimen; consta con un botón de INICIO y STOP para controlar el encendido y apagado general de la prueba. Las botoneras de RENDIMIENTO y FACTOR DE POTENCIA pueden ser digitados según la necesidad de la prueba sin olvidar de que en el mejor de los casos podrá llegar a uno. La VELOCIDAD ACTUAL y el VOLTAJE DE SALIDA son los elementos que la configuración mostrara dependiendo del nivel en el que se avanza la prueba; cada uno de estos valores tiene conectada una alarma de alerta si existiera un elevado margen de trabajo. En la Fig. 34 se muestra las botoneras de control general de la prueba de par de régimen.



Figuras 34. Botoneras generales de prueba de par de régimen

Fuente: Autor

En la Fig. 35 se muestra un display en el cual en las pruebas se lograra visualizar la progresión del torque con relación a la velocidad. En este display se logrará la visualización gracias a las salidas analógicas que proporciona la tarjeta Daq con utilización de un build table para el muestreo de información pasado a señales gráficas.

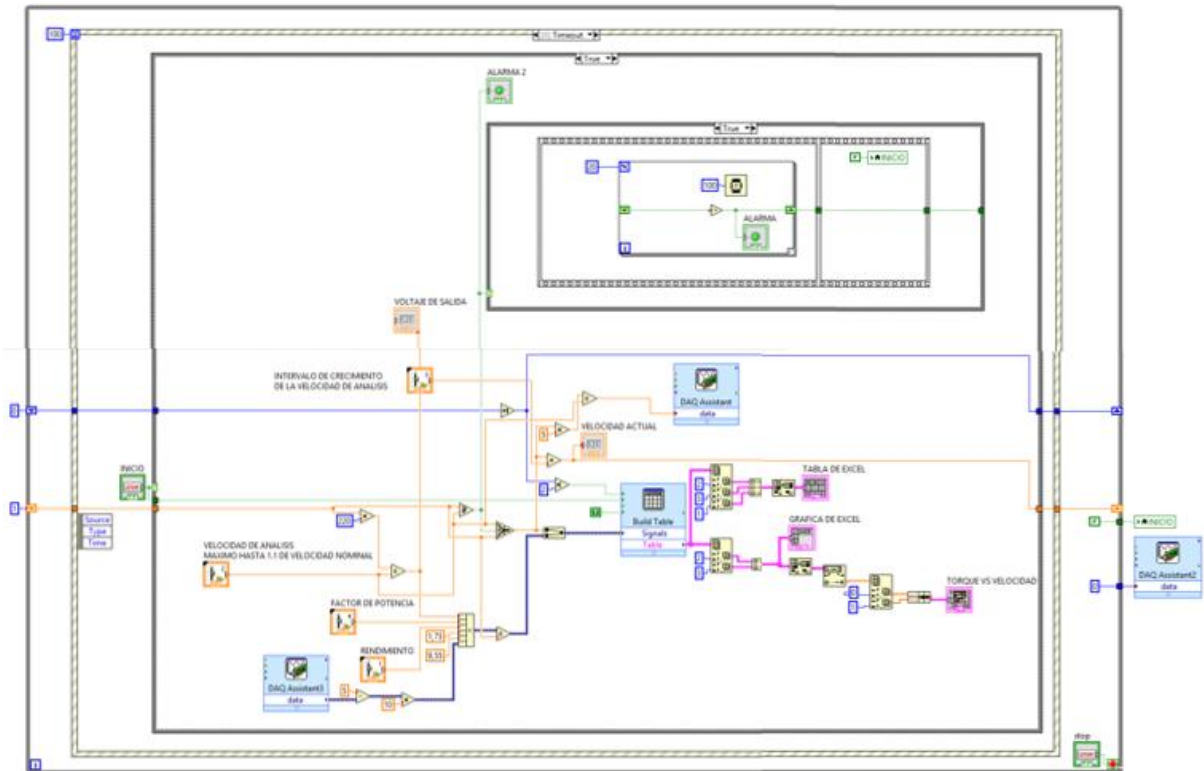


Figuras 35. Display de visualización de señales de la prueba de par de régimen

Fuente: Autor

En el panel frontal también se encuentran las tablas de datos las cuales son las progresiones antes mencionadas del torque con respecto a la velocidad; es son los mismos valores que muestra el display de la Fig. 35 pero en valores numéricos. Adicional a ello se encuentra dos botoneras para modificar la velocidad de análisis hasta un cierto valor de medición en rpm (revoluciones por minuto) y también los intervalos de





Figuras 37. Diagramación prueba de par de régimen

Fuente: Autor

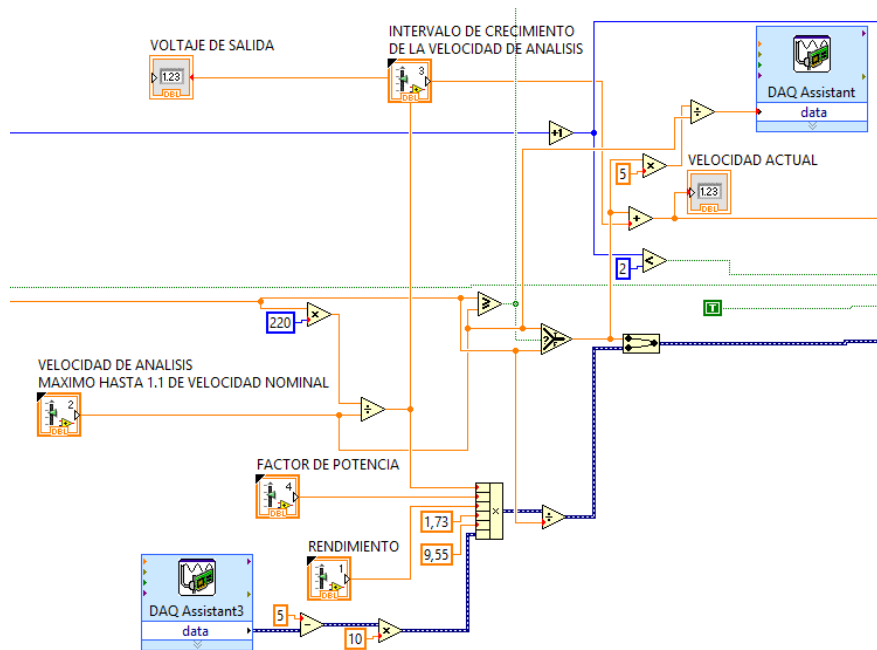
Para la ejecución de la prueba de par de régimen se utilizó la Ecuación. 13 la cual con la utilización de varios parámetros se logra ingresarlos a una Compound Arithmetic para obtener un valor para muestreo. La Ecuación 13 está compuesta de:

$$Mn = \frac{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi \times \eta \times 9.55}{n} \quad \text{Ecuación 12}$$

En donde:

- $Mn$ = Par de régimen
- $U$ = Tensión en V
- $I$  = Intensidad en A
- $\cos\varphi$ = Factor de potencia
- $\eta$ = Rendimiento
- $n$ = Velocidad

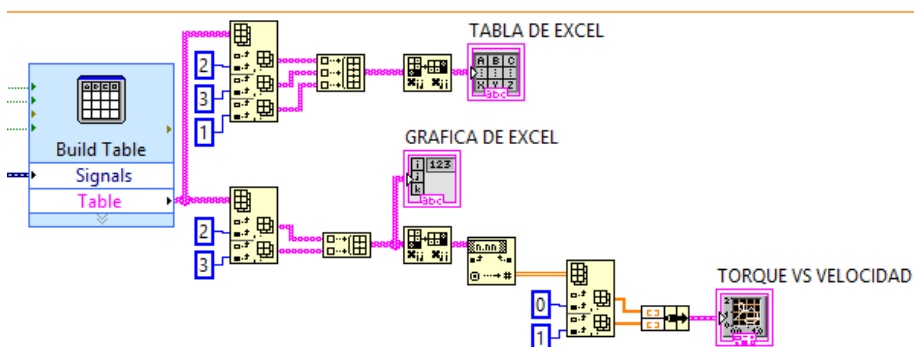
Dentro de la Ecuación. 13 también se encuentran los valores de  $\sqrt{3}$  que hacen referencia a líneas trifásicas y el valor de 9.55 hace referencia a una constante de equilibrio de carga en la Fig. 38 se muestra la ecuación de par de régimen con las variables mencionadas.



Figuras 38. Ecuación par de régimen en la diagramación

Fuente: Autor

Con las operaciones antes indicadas se logra obtener datos los cuales pueden ser mostrados utilizando las salidas de la tarjeta Daq. Todas las pruebas mencionadas tiene la utilidad de mostrar datos en forma gráfica y en forma de tabla. Los valores a mostrar pasan por indicadores los cuales reflejan en tiempo real la información. En la Fig. 39 se muestra la configuración para obtención gráfica de información del par de régimen del motor.

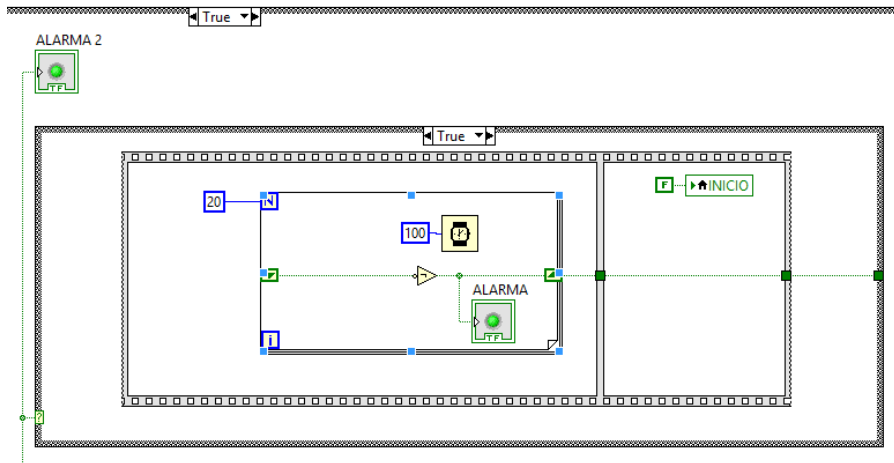


Figuras 39. Configuración para obtención grafica de información de par de régimen del motor

Fuente: Autor

En la programación de prueba de torque se encuentran conectadas dos alarmas que realizan la función de comunicar de forma visual cuando un parámetro está en su valor máximo. Las alarmas comunicarán cuando el motor llegue a finalizar la prueba. La

velocidad actual encenderá su alarma cuando adquiera la velocidad máxima configurada y la alarma de voltaje de salida encenderá su alarma cuando llegue a medir 220 V. En la Fig. 40 se muestra la configuración de luz piloto de alarmas de la velocidad actual y el voltaje de crecimiento.



Figuras 40. Configuración de alarmas en la prueba de Par de régimen del motor

Fuente: Autor

## 2.3.- Diagramas de control

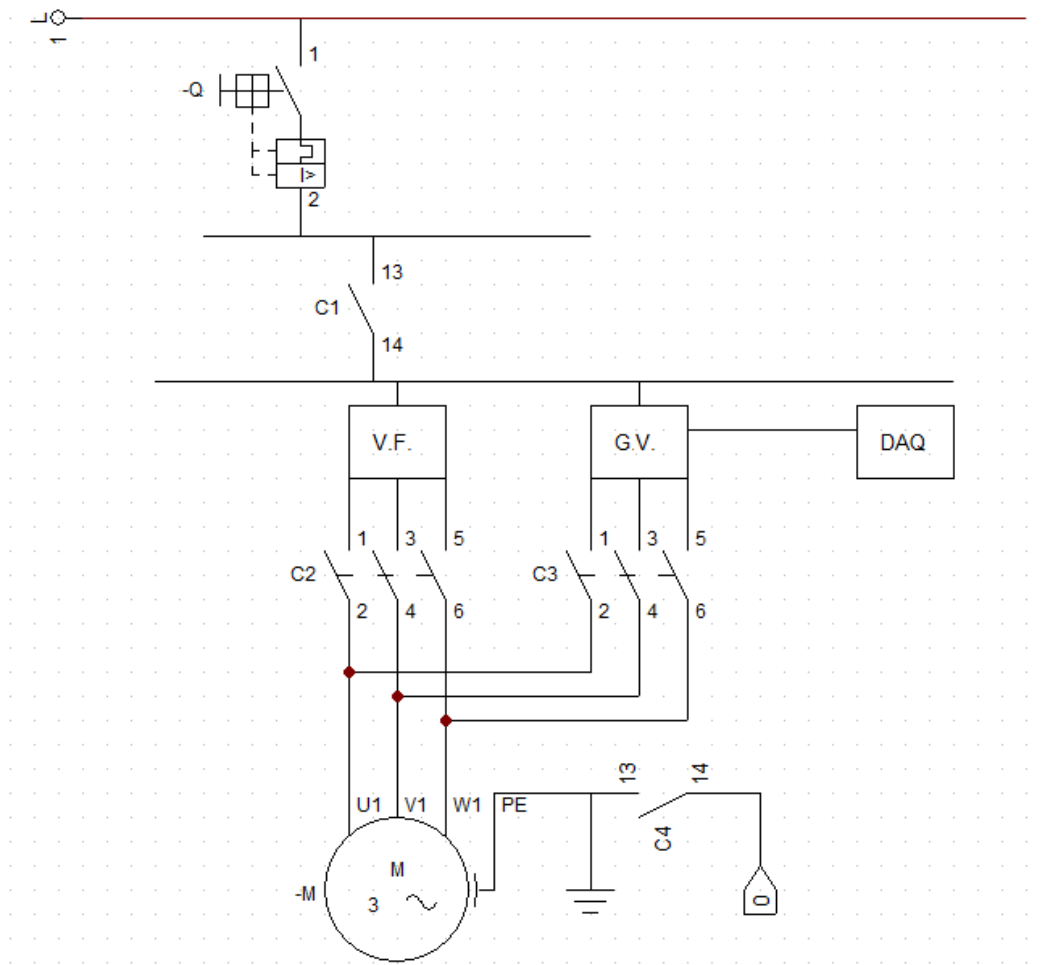
Para lograr controlar todos los circuitos para las diferentes pruebas; se ha diseñado los planos o diagramas que indiquen la configuración tanto de fuerza como de control.

### 2.3.1.- Diagrama de potencia o fuerza

El diagrama de fuerza del módulo didáctico de pruebas de par de régimen, temperatura y vibración; consta de seis partes fundamentales que son: la protección, los contactores, el variador de frecuencia y la tarjeta Daq.

La protección general cumple la función de cuidar todo el circuito y cuidar los equipos del módulo de pruebas. Los contactores conectan y enclavan cada parte del circuito para energizar el variador de frecuencia y este lograr modificar la velocidad. En la Fig. 41 se muestra el diagrama de fuerza del módulo de pruebas.



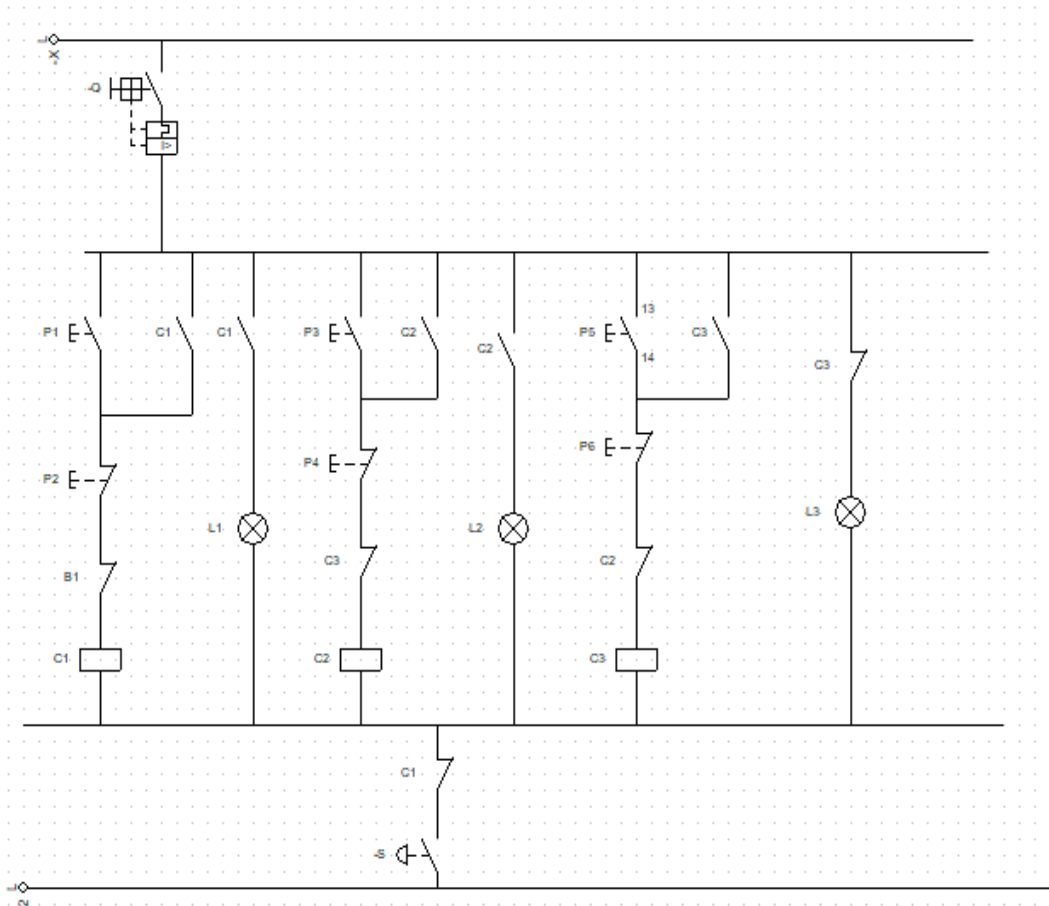


Figuras 41. Diagrama de fuerza del módulo de pruebas del motor eléctrico

Fuente: Autor

### 2.3.2.- Diagrama de control

Dentro del diagrama de control del módulo de pruebas se muestra los enclavamientos de los contactores con las bobinas y las botoneras al momento de seleccionar cada prueba; todo esto con la protección y el contacto de paro de emergencia. En la Fig. 42 se muestra el diagrama de control del módulo de pruebas.



Figuras 42. Diagrama de control del módulo de pruebas del motor eléctrico

Fuente: Autor

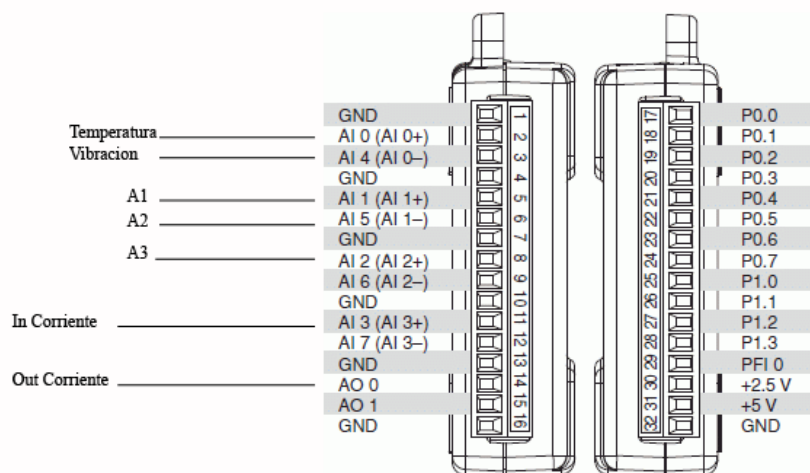
### 2.3.3.- Filtros y placas de mejoramiento

Para la obtención de datos en las diferentes pruebas del módulo se diseñan placas que cumplen la función de filtrar la información y forman parte del arranque ideal de cada prueba. A continuación se muestran las diferentes placas creadas para el mejoramiento de las señales a visualizar.

#### 2.3.3.1.- Placa sensor de temperatura

El sensor de temperatura que es un LM35 tiene su datashit de conexión utilizando una resistencia y un capacitor como se muestra en la Fig. 43.





Figuras 45. Pines de conexión Tarjeta Daq

Fuente: Autor

## 2.4.- Montaje módulo de pruebas

Con los equipos descritos anteriormente y los diagramas de control y fuerza se procede al montaje del módulo de pruebas para motores eléctricos trifásicos. Para el montaje general se utiliza una caja metálica de revisión con seguro y una base metálica en forma de mesa para montaje y sujeción de equipos como se muestra en la Fig. 46.



Figuras 46. Caja y mesa metálica para montaje de equipos

Fuente: Autor

### 2.4.1.- Montaje de equipos de eléctricos

Para el funcionamiento de las diferentes pruebas se acoplan los equipos en la caja metálica de forma adecuada y ordenada para su correcto cableado y conexión. En la Fig. 47 se muestra los avances de montaje, cableado y conexiones externas del módulo de pruebas para motores eléctricos trifásicos.



*Figuras 47. Montaje, cableado y conexiones externas del módulo de pruebas*

Fuente. Autor

# CAPITULO 3

## RESULTADOS

### 3.1.- Descripción de motores a prueba

Para el estudio o desarrollo de las pruebas mencionadas en el capítulo 2; se analiza dos motores trifásicos los cuales serán detallados a continuación. Los motores en mención serán analizados al vacío o si carga; las pruebas a desarrollarse determinan las características iniciales de arranque o trabajo.

#### 3.1.1.- Características de los motores eléctricos

Para la ejecución de las pruebas y sus resultados se utiliza dos motores eléctricos trifásicos los cuales son nombrados o numerados según la utilidad de trabajo.

##### 3.1.1.1.- Motor a prueba 1

Se utiliza el primer motor que se lo denomina MOTOR 1 como se muestra en la Fig. 46 con su placa característica de información.



Figuras 48. MOTOR 1 Placa característica

Fuente: Autor

El MOTOR 1 es de la casa comercial MOTIVE. Estos motores son de procedencia Italiana y tiene como característica principal la construcción de motores eléctricos universales con frecuencia de 50 y 60 Hz.

El arranque viene dado internamente con la forma de arranque en delta; la numeración de este motor motive es la TYPE 56B-4.

### 3.1.1.2.- Motor a prueba 2

Para la segunda prueba se utiliza un motor diferente que se lo denomina MOTOR 2 como se muestra en la Fig. 47 con su placa característica de información.



Figuras 49. MOTOR 2 Placa característica

Fuente: Autor

El MOTOR 2 no tiene denominación de marca ya que es un motor rebobinado. Este motor es de propiedad de la Universidad Técnica del Norte ya que se encuentra en los laboratorios de la institución en mención.

### 3.2.- Arranque de pruebas a los motores eléctricos

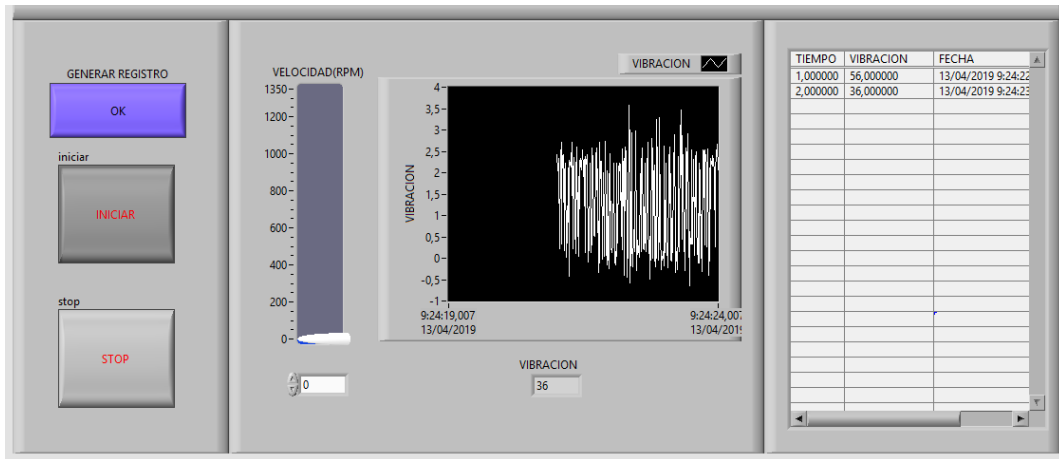
Para iniciar las pruebas a cada uno de los motores es indispensable la utilización el módulo de pruebas mecánicas en motores eléctricos que fue diseñado y construido por el autor; el modulo tiene borneras de conexión para la colocación o montaje de los sensores de vibración y temperatura y también las líneas de alimentación para los motores eléctricos.

### 3.3.- Pruebas al MOTOR 1

Para realizar un control general al MOTOR 1 de la Fig. 48; se realizaran tres pruebas que son las de vibración, temperatura y par de régimen. En cada una de las pruebas se muestra el display de las curvas características como también los valores de las tablas según la medición de los sensores y la aplicación de la ecuación en la prueba de par de régimen.



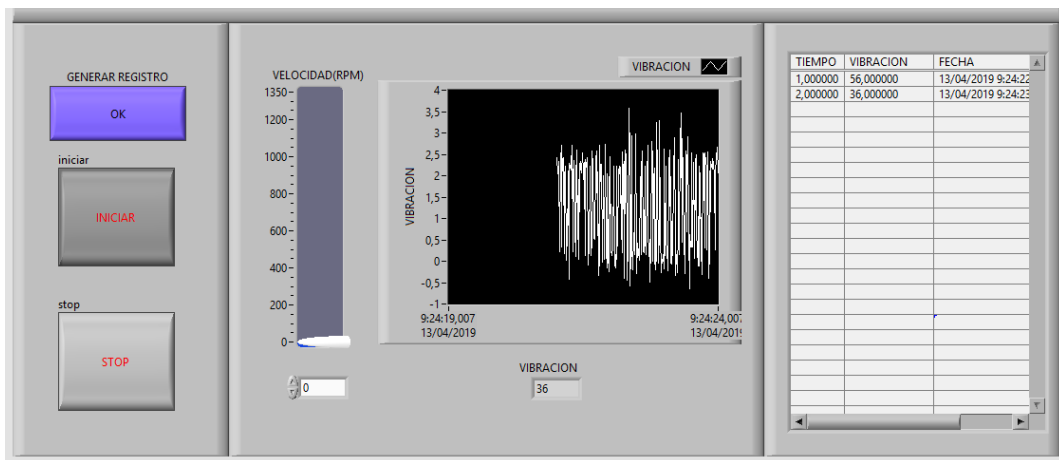




Figuras 51. Prueba de vibración MOTOR 1 con 400 rpm

Fuente: Autor

Se finaliza la prueba de vibración en el MOTOR 1 llegando a aumentar las rpm (revoluciones por minuto) hasta 800. La configuración de la interfaz hombre maquina está diseñada para alcanzar las 1350 rpm pero esto dependerá del motor que se analizado. En este caso se pierde comunicación al sobrepasar las 800 rpm. En la Fig. 52 se muestra la vibración obtenida a las 800 rpm.



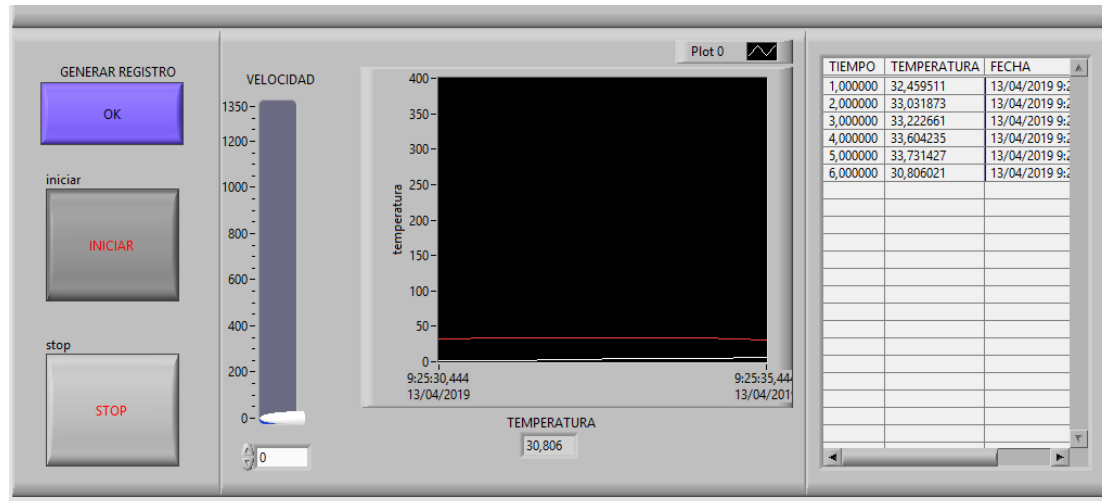
Figuras 52. Prueba de vibración MOTOR 1 con 800 rpm

Fuente: Autor

En cada una de las mediciones con las diferentes rpm (revoluciones por minuto) se mira la tabla de valores al costado derecho; los tiempos son seteados y muestran la vibración; estos valores no tienen mayor rango de variación por el trabajo del motor al vacío o sin carga.

### 3.3.2.- Prueba de temperatura MOTOR 1

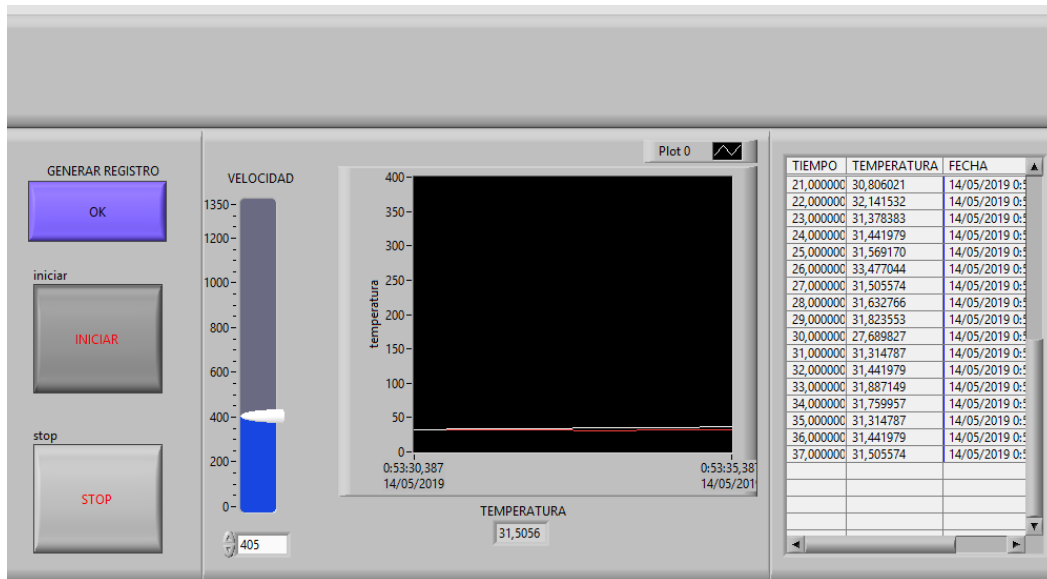
La prueba de temperatura del MOTOR 1 se la realiza sin aplicar velocidad en rpm (revoluciones por minuto). Se analizara la temperatura sin movimiento del motor obteniendo el valor de 32 grados centígrados; más adelante se analizará con un incremento de velocidad. En la Fig. 53 se muestra la prueba de temperatura sin rpm.



Figuras 53. Prueba de temperatura MOTOR 1 con 0 rpm

Fuente: Autor

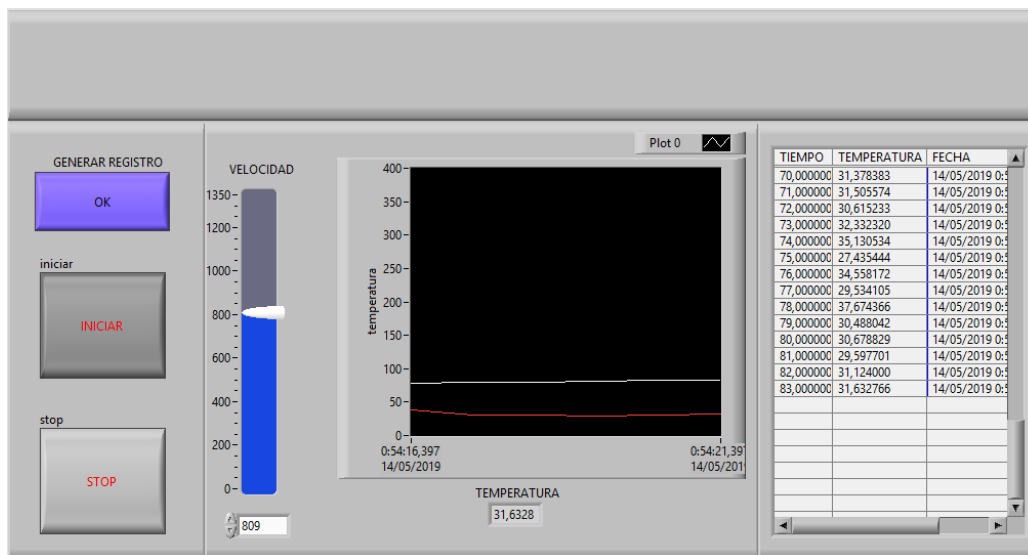
Se incrementa el valor de la velocidad a 400 rpm (revoluciones por minuto) en la siguiente prueba al MOTOR 1. Con esta nueva velocidad se estabiliza la temperatura obteniendo 31 grados centígrados; es decir reduce 1 grado de temperatura con relación de la prueba anterior. La diferencia no es considerable ya que el motor no tiene un tiempo de trabajo alargado ya que lo que se pretende es el aprendizaje. En la Fig. 54 se muestra la prueba de temperatura del MOTOR 1 a 400 rpm.



Figuras 54. Prueba de temperatura MOTOR 1 con 0 rpm

Fuente: Autor

Para finalizar la prueba de temperatura del MOTOR 1 se eleva la velocidad a 800 rpm (revoluciones por minuto) y se analiza la temperatura si existe una elevación considerable. Por ser una prueba de corto tiempo y con el motor al vacío no se genera aumento y se mantiene la temperatura de la prueba anterior. En la Fig. 55 se muestra la finalización de la prueba de temperatura en el MOTOR 1.



Figuras 55. Prueba de temperatura MOTOR 1 con 800 rpm

Fuente: Autor

### 3.3.3.- Prueba de par de régimen MOTOR 1

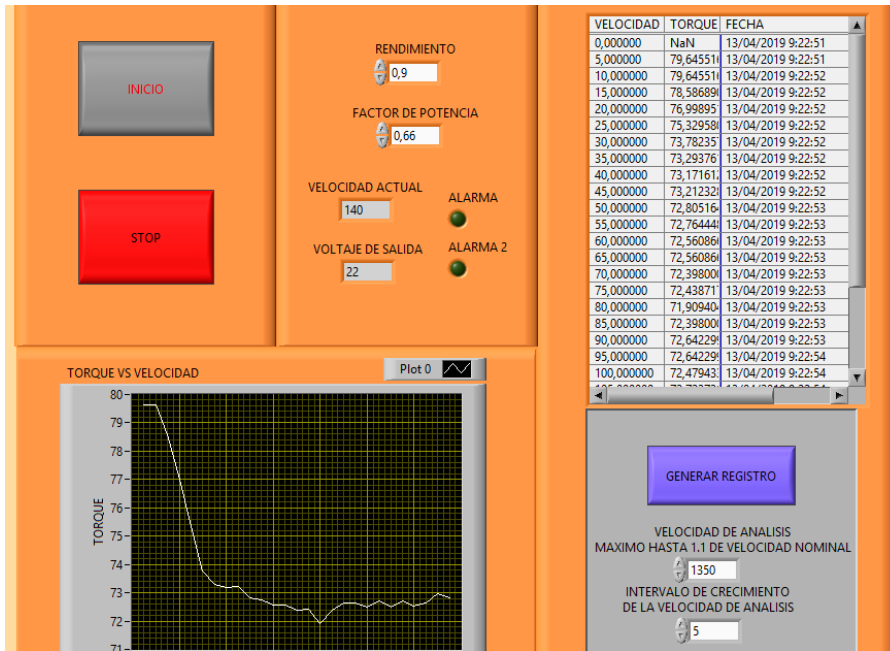
Para la prueba de par de régimen se analizará la curva característica de arranque del MOTOR 1. Esta prueba depende de la Ecuación. 13 la cual fue expuesta anteriormente; esta prueba será sometida al crecimiento de las rpm (revoluciones por minuto) en intervalos de 5. Los intervalos pueden ser modificados dependiendo de la utilidad. El crecimiento llega a 0.9 ya que lo ideal sería 1, el factor de potencia de igual forma será 0.66 como se muestra en la figura. A continuación EN LA Fig. 56 se observa la parte final del análisis al llegar a las 1355 rpm (revoluciones por minuto) con un voltaje de salida de 220 V.



Figuras 56. Valores en tabla Prueba de par de régimen MOTOR 1, rendimiento y factor de potencia

Fuente: Autor

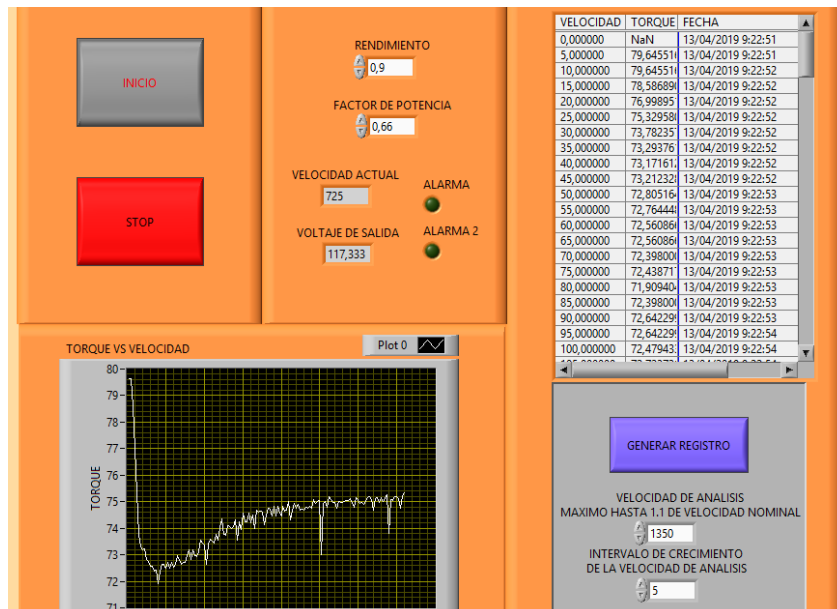
Al analizar la curva de arranque del motor se aprecia que el par de régimen inicia en 79 y al descender hasta llegar a un valor mínimo de 72 para empezar a estabilizarse. En la Fig. 57 se puede mirar también que hasta la velocidad de 140 rpm (revoluciones por minuto) se tiene un voltaje de 22 V; con el aumento de las rpm y el voltaje también asciende la curva característica. Los valores de la tabla aumentan hasta que la prueba llegue hasta las 1355 rpm.



Figuras 57. Valores de crecimiento en figura y tabla prueba de par de régimen en el MOTOR 1

Autor: fuente

Al terminar la prueba de par de régimen en el MOTOR 1 se determina la curva final de arranque del MOTOR 1. Esta curva característica muestra los mismos valores de forma numérica. En la Fig. 58 se muestra la prueba final de par de régimen del MOTOR 1.



Figuras 58. Prueba final de par de regimen MOTOR 1

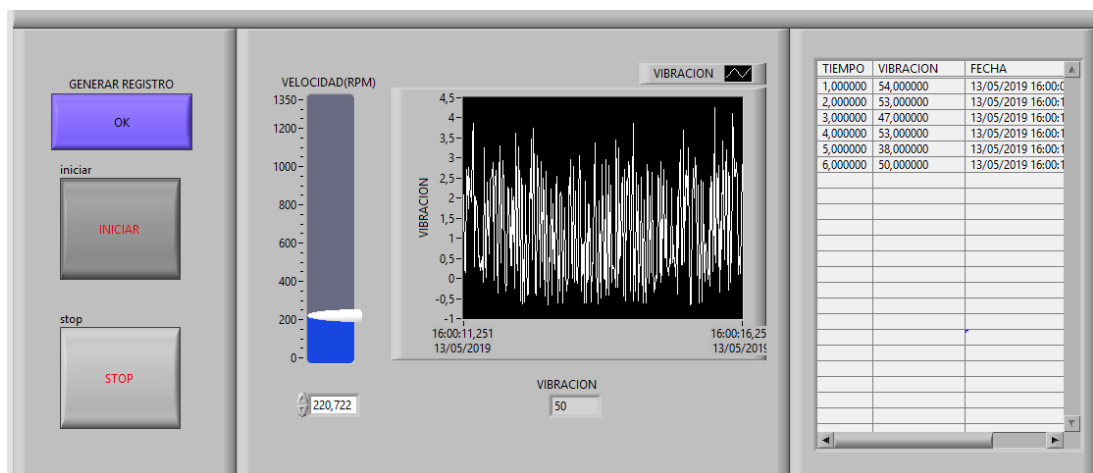
Fuente: Autor

### 3.4.- Pruebas al MOTOR 2

El MOTOR 2 de igual forma que el MOTOR 1 será sometido a tres diferentes pruebas que son la de vibración, temperatura y par de régimen. La ecuación para medir el par de régimen es la misma de la prueba anterior; las gráficas muestran los valores según el análisis o los valores aplicados.

#### 3.4.1.- Prueba de vibración MOTOR 2

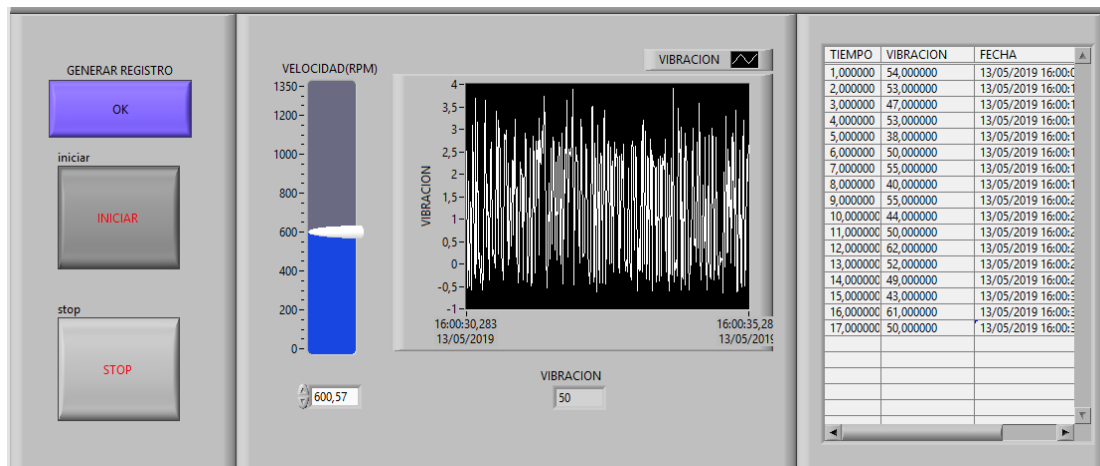
Para iniciar la prueba de vibración del MOTOR 2 se aplican 200 rpm (revoluciones por minuto); con estas rpm se obtiene una curva de vibración haciendo relación con el tiempo de seteo. La vibración al iniciar la prueba tiene un valor de 54 y empieza a variar según el desarrollo del motor. En la Fig. 59 se muestra el inicio de la prueba de vibración al MOTOR 2.



Figuras 59. Prueba de vibración MOTOR 2 con 200 rpm

Fuente: Autor

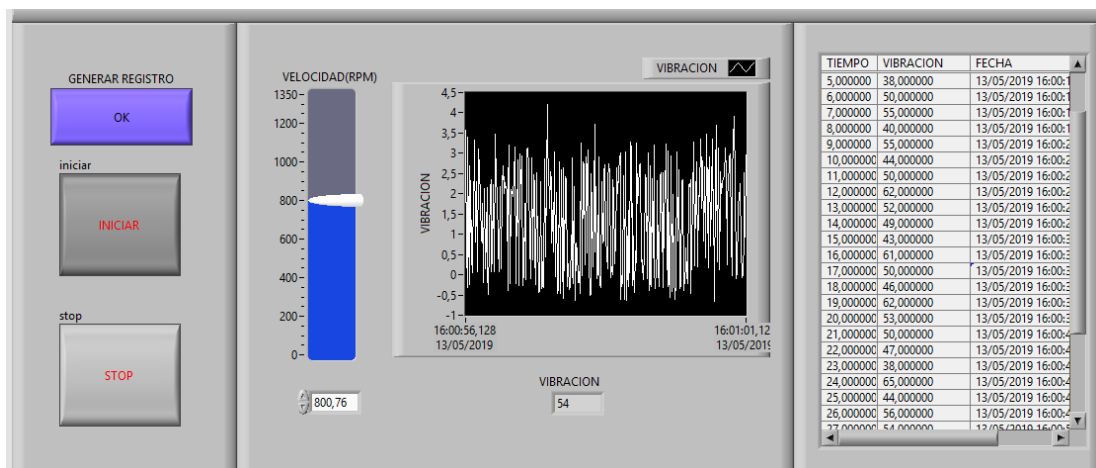
Como valor intermedio de rpm (revoluciones por minuto) para el MOTOR 2 en la prueba de vibración; se analiza el motor a 600 rpm obteniendo un valor de 50 que es un valor referencial que va estabilizando según el rango de tiempo. En la Fig. 60 se muestra el aumento de rpm para visualización de valores en gráfica y numérico.



Figuras 60. Prueba de vibración MOTOR 2 con 600 rpm

Fuente: Autor

La prueba de vibración de MOTOR 2 finaliza con 800 rpm (revoluciones por minuto); el análisis alcanza las 800 rpm ya que la comunicación se puede perder por que los motores son de gama media y no llegan a cumplir todas las especificaciones de fábrica. En la Fig. 61 se muestra la finalización de la prueba de vibración con 800 rpm.

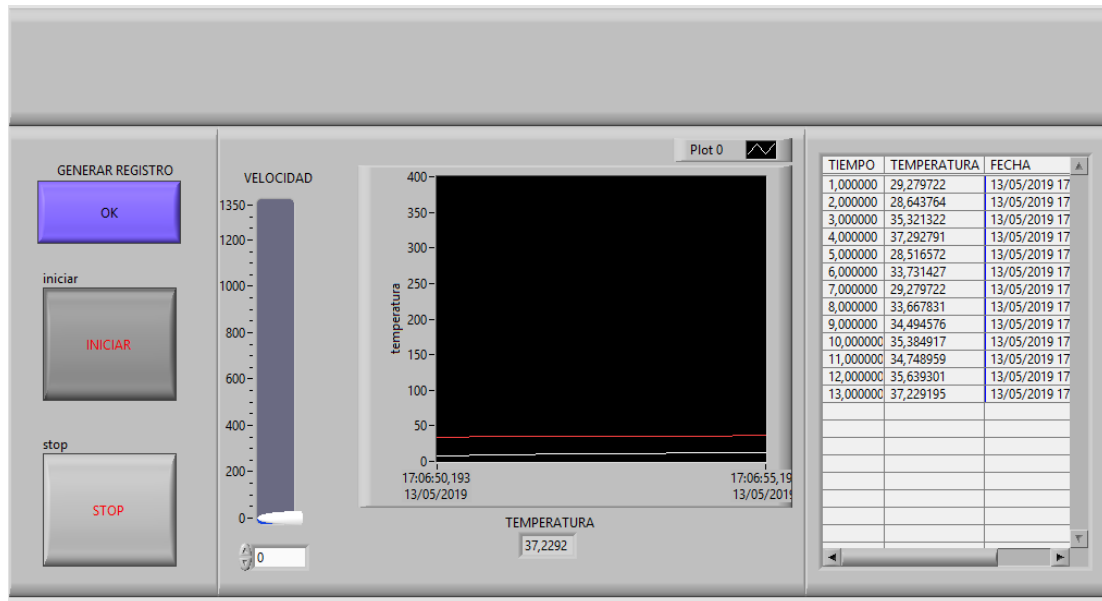


Figuras 61. Prueba de vibración MOTOR 2 con 800 rpm

Fuente: Autor

### 3.4.2.- Prueba de temperatura MOTOR 2

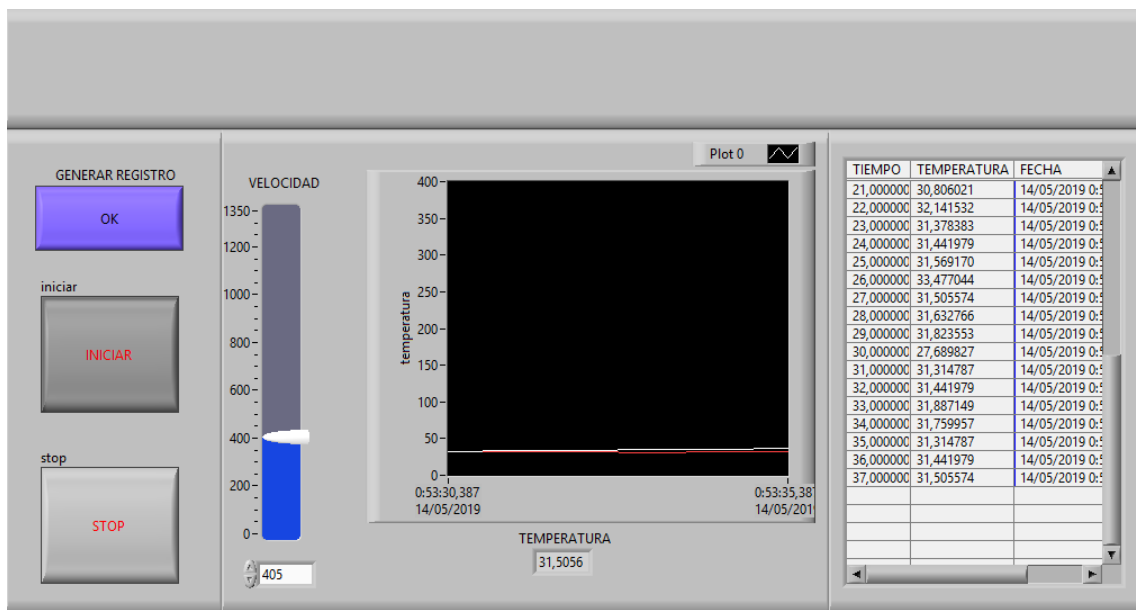
La prueba de temperatura realizada al MOTOR 2 muestra que la prueba fue ejecutada con cero rpm (revoluciones por minuto) y se determina una temperatura de 29 grados centígrados y este valor va aumentando según los tiempos y la estabilidad del sensor. En la Fig. 62 muestra el inicio de la prueba de temperatura sin rpm.



Figuras 62. Prueba de temperatura MOTOR 2 con 0 rpm

Fuente: Autor

Para controlar una nueva velocidad y las características que esta pueda dar; se aumenta las rpm (revoluciones por minuto) a 400 y se observa que la temperatura no varía. El cambio o la variación no son notorios ya que el motor está trabajando al vacío. En la Fig. 63 se muestra la temperatura del MOTOR 2 con 400 rpm.



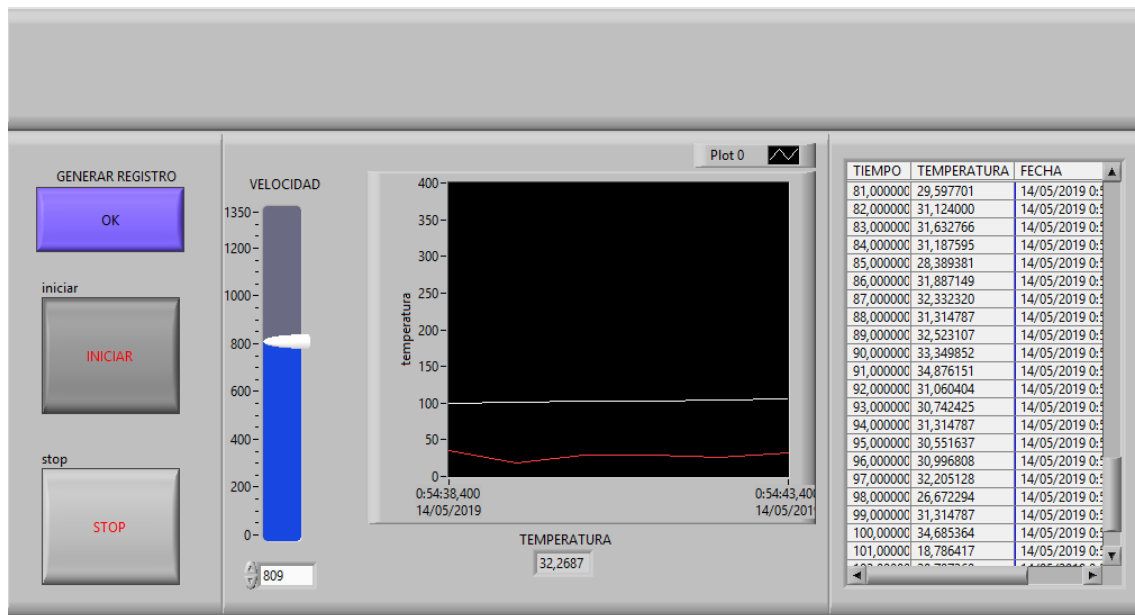
Figuras 63. Prueba de temperatura MOTOR 2 con 400 rpm

Fuente: Autor

Para finalizar la prueba de temperatura en el MOTOR 2 se aplica 800 rpm al slicer para analizar el posible incremento de temperatura. La variación de temperatura



se da en aumento 1 grado con respecto a la anterior prueba y esto se debe al aumento de trabajo de la máquina rotativa. En la Fig.64 se muestra la prueba final de temperatura en el MOTOR 2.

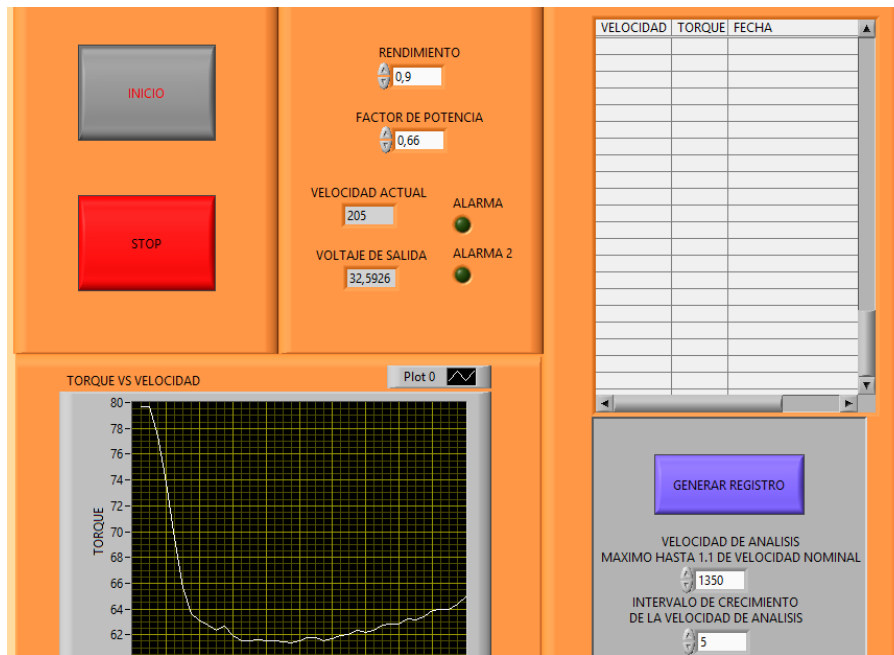


Figuras 64. Prueba final de temperatura MOTOR 2

Fuente: Autor

### 3.4.3.- Prueba de par de régimen MOTOR 2

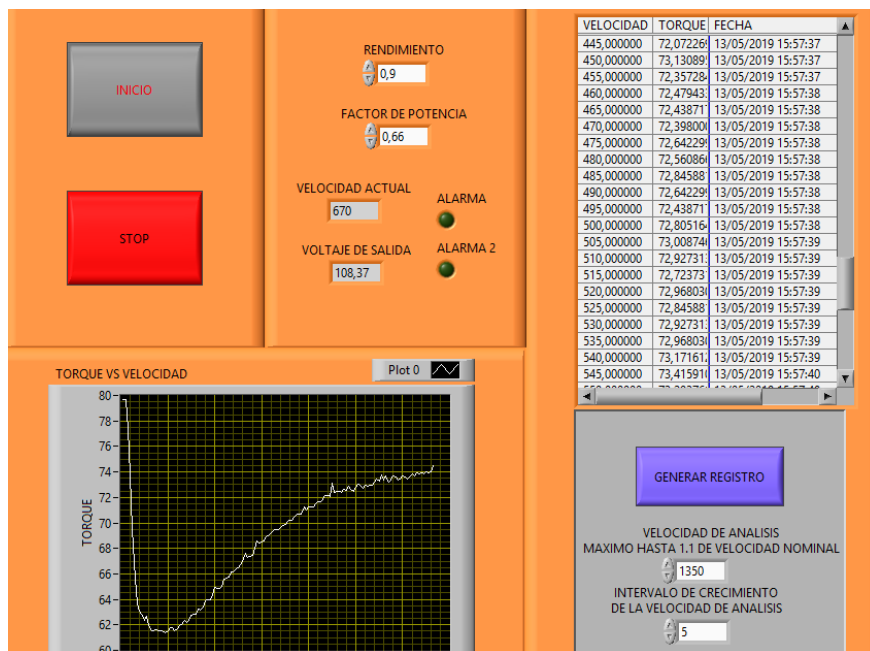
El inicio de la prueba de par de régimen del MOTOR 2 muestra un valor pico máximo de arranque con un valor de 80 y un valor pico mínimo de 61. Este análisis está dado con una velocidad actual de 205 rpm y 32 V; la curva muestra una leve estabilidad con tendencia a seguir creciendo. En la Fig. 65 se muestra la parte inicial de la prueba de par de régimen del MOTOR 2.



Figuras 65. Valores en tabla Prueba de par de régimen MOTOR 2, rendimiento y factor de potencia

Fuente: Autor

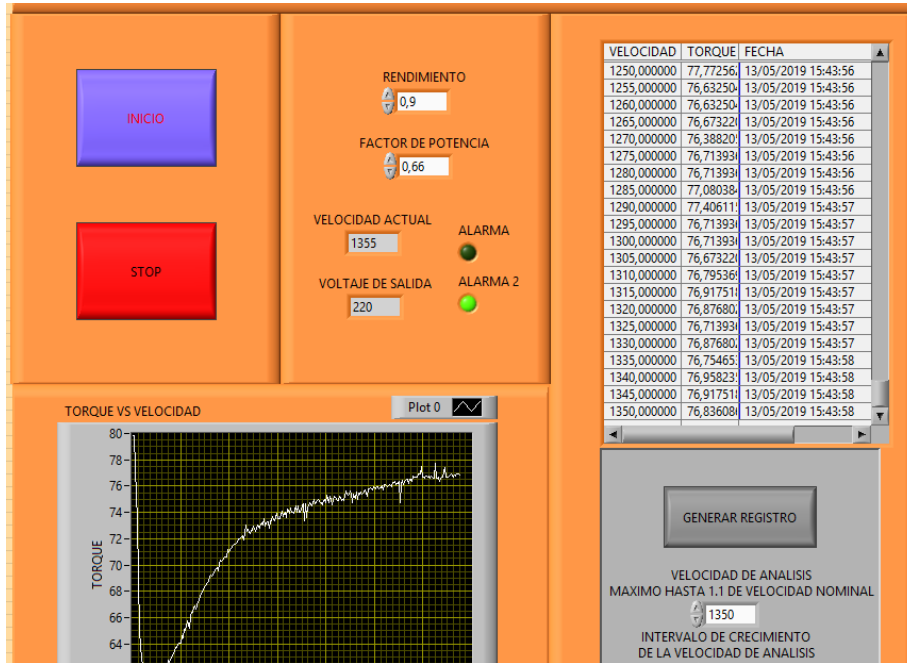
La curva característica del MOTOR 2 al tener una velocidad actual de 670 rpm (revoluciones por minuto) y un voltaje de salida de 108 V; muestra una tendencia de crecimiento y una posible estabilidad en el valor de 74, si el aumento de las variable se generan no bordearán un índice elevado. En la Fig. 66 se muestra los valores de crecimiento en figura y tabla en la prueba de par de régimen en el MOTOR 2



Figuras 66. Valores de crecimiento en figura y tabla prueba de par de régimen en el MOTOR 2

Fuente: Autor

En la parte final de la prueba de par de régimen del MOTOR 2 se observa la curva característica final de arranque. Los valores de velocidad actual y voltaje de salida llegan a topar su valor máximo. En la Fig. 67 se muestra la Prueba final de par de régimen MOTOR 2.



Figuras 67. Prueba final de par de régimen MOTOR 2

Fuente: Autor

## Conclusiones

- Se construyó un módulo didáctico para pruebas de aprendizaje en motores eléctricos trifásicos para el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.
- En el documento se muestran los planos eléctricos de la funcionalidad del módulo y sus diferentes pruebas con dos motores trifásicos.
- Se realizó la interfaz con hombre máquina para visualización de resultados del módulo de pruebas mecánicas para motores eléctricos.
- El variador de frecuencia tiene un margen de trabajo de hasta 1hp en condiciones ideales. El módulo de pruebas alcanza a someter motores trifásicos de un rango que no alcance dicha potencia.
- La tarjeta de adquisición de datos de national instruments brinda la comunicación con cualquier PC; la configuración fue realizada para manejar hasta 1350 revoluciones por minuto en todas las pruebas. La prueba de par de régimen no emite ningún error de comunicación pero las pruebas de temperatura y vibración alcanzan a entregar datos de hasta 800 revoluciones por minuto por ser sensores de rango de trabajo bajo.

## Recomendaciones

- Se recomienda para tener una correcta funcionalidad del módulo asegurarse de que la conexión de la tarjeta Daq con el computador sea la ideal para no tener después problemas e conexión y reinicio general.
- Se recomienda también cargar el programa labVIEW con la prueba a realizar y correr la programación para cerciorarse de que no exista alguna falla.
- Otra recomendación es arrancar primero el sistema de control seguido del sistema de fuerza ya que al energizar se produce la conexión directa de todos los equipos.
- Al darse el caso de no tener una buena comunicación entre el módulo de pruebas y el computado por medio de la tarjeta Daq; se recomienda setear el selector del variador de frecuencia o apagar de forma interna el variador de frecuencia para que al reiniciar el sistema logre existir una nueva comunicación.

## Referencias

- [1] Grupo WEG, Motores Electricos - Guia de especificacion., Jaraguá do Sul - SC - Brasil, 2014.
- [2] J. Garrigós, Sistemas automaticos de Produccion Alimentaria, 2011.
- [3] Juan María Ortega Plana , José Ramirez Vázquez, Maquinas de corriente alterna, Barcelona: Ceac S.A., 1999.
- [4] Kosow, Irving L., Control de máquinas eléctricas, Barcelona: Reverté S.A., 2006.
- [5] Theodore Wildi, Maquinas eléctricas y sistemas de potencia., Monterrey Mexico: Pearson - Educación, 2007.
- [6] Ing. Juan Carlos Calloni, Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas y medianas empresas., Argentina: Nobuko, 2007.
- [7] Manéz Fernandez Cabanas, Manuel García Melero, Gonzalo Alonso Orcajo, José Manuel, Cano Rodríguez, Juan Solares Sariago, Técnicas para el mantenimiento y diagnostico de maquinas eléctricas rotativas, Barcelona: MARCOMBO S.A., 1998.
- [8] Luis Araya, «L Araya Ingeniería,» 9 Febrero 2011. [En línea]. Available: <http://www.arayaingenieria.blogspot.com>. [Último acceso: 12 Octubre 2015].
- [9] WEG, «Convertidor de Frecuencia CFW500,» *Manual de programacion* , pp. 3-1, 2013.
- [10] Luis Echeverria Yáñez, «La arjeta NI USB 6009,» *Conexiones, configuraciones y ejemplos.*, p. 2.
- [11] Ramón Pallás Areny, Sensores y acondicionadores de señal, Barcelona España: Marcombo, 2003.

## Anexos



