



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MONITOREO, PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE UN MOTOR
ELÉCTRICO ASÍNCRONO TRIFÁSICO DE 3 HP, EN EL
LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN
LATACUNGA.**

AUTORES: COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS

TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS

DIRECTOR: ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO, PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE UN MOTOR ELÉCTRICO ASÍNCRONO TRIFÁSICO DE 3 HP, EN EL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” fue realizado por los señores **COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS** y **TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditarlo y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 30 de enero del 2019

ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS**, con cédula de ciudadanía N°0503626699, y **TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS** con cédula de identidad N°0503622714, declaramos que el presente trabajo de titulación "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO, PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE UN MOTOR ELÉCTRICO ASÍNCRONO TRIFÁSICO DE 3 HP, EN EL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando todos los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 30 de enero del 2019

COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS

C.C.: 0503626699

TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS

C.C.: 0503622714



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS** y **TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO, PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE UN MOTOR ELÉCTRICO ASÍNCRONO TRIFÁSICO DE 3 HP, EN EL LABORATORIO DE CONTROL ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 30 de enero del 2019

COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS

C.C.: 0503626699

TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS

C.C.: 0503622714

DEDICATORIA

Con todo cariño este logro va dedicado a la VIRGENCITA DEL CISNE, quien fue quien me dio fuerza para poder culminar mi vida académica, me guio en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis amados padres Leonidas y Roció, quienes fueron mi sustento en toda mi carrera, mi pilar fundamental y con su amor infinito e incondicional amos me supieron guiar y más con toda su paciencia que supieron perdonar mis faltas que cometía en el transcurso de mi vida estudiantil.

A mis hermanos Ledy y Javier, que fueron mis cómplices mis amigos que siempre me apoyaron en los malos y buenos momentos, que me solapaban mis faltas ante mi padre.

A mis estimados amigos que siempre estuvieron ahí que son la familia que uno no escoge por las malas noches han apoyado desinteresadamente pensando siempre en verme como un profesional honesto y responsable en servicio de la colectividad.

Andrés

A Dios por haberme dado la oportunidad de compartir momentos únicos junto a una maravillosa familia.

El presente trabajo se lo dedico a mis Padres César y Sonia, quienes con su amor infinito me han brindado día a día un apoyo incondicional en este largo y hermoso camino que es la formación académica.

A mis queridos hermanos Fabián, Jhoana, Silvana y Maribel con quienes he tenido la dicha de compartir una hermosa hermandad y de quienes he aprendido a que se debe ser mejor cada día sin importar lo que la vida nos tenga preparada.

A mi esposa e hijo Mayra y Jeremy mis amados compañeros fieles con los que compartiré toda una vida y ser siempre una hermosa familia.

Moisés

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a la VIRGENCITA DEL CISNE, por darme lo más valioso que es tener vida, salud y guiarme siempre para ser una persona humilde, respetuosa y responsable en cada una de mis actividades.

A mi familia y amigos por ser las personas que la virgen puso en mi camino con amor, paciencia y sabiduría me guiaron día a día para seguir adelante y alcanzar las metas propuestas en mi vida.

A mis profesores universitarios por todo el conocimiento que me han transmitido durante mi vida académica por esta prestigiosa institución de manera especial al Ing. Washington Freire por su dirección y apoyo en el desarrollo y ejecución de este trabajo de titulación.

Andrés

Al Ingeniero Washington Freire en calidad de asesor por su interés y dedicación día a día para que se pueda cumplir todos los objetivos planteados en la culminación de este trabajo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por ser mi segundo hogar y acogerme durante todo este tiempo en mi formación profesional.

A mis amigos de la Unidad Educativa Jatari Unancha Centro Zumbahua, por formar parte de vida, ser partícipes de mis logros, a nunca rendirme y enseñarme a ser un mejor profesional cada día.

Moisés

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLA	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema.	1
1.1.1	Formulación del problema.....	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación e importancia.	3
1.4	Importancia.	3
1.5	Objetivos.....	4
1.5.1	Objetivo General	4
1.5.2	Objetivos Específicos.....	4

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1	Antecedentes investigativos.....	5
2.2	Fundamentación teórica.....	8
2.2.1	Generalidades del motor de inducción.....	8
2.2.2	Descripción del modelamiento transitorio de la máquina de inducción.....	14
2.2.3	Variables en estado dinámico.....	20
2.2.4	Curvas características en arranques de motores en condiciones transitorias.....	21
2.2.5	Sistema de adquisición de datos.....	27
2.2.6	Plataforma Labview.....	38
2.3	Fundamentación legal.....	40
2.3.1	Normas y reglamentaciones.....	40
2.3.2	Norma IEC 947-4.....	42
2.3.3	Norma IEC 60034-30.....	43
2.3.4	Norma IEC 60898-1.....	45
2.3.5	Normas para el diseño de motores eléctricos.....	46
2.4	Sistemas de variables.....	47
2.4.1	Variable dependiente.....	47
2.4.2	Variable independiente.....	47
2.5	Hipótesis.....	47
2.6	Operacionalización de variables.....	48

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1	Modalidad de la investigación	50
3.2	Tipos de investigación.....	51
3.3	Niveles de investigación.....	52
3.4	Población y muestra.	52
3.5	Técnicas de recolección de datos.....	53
3.6	Instrumento(s).....	54
3.7	Valides y confiabilidad	54
3.8	Técnicas de análisis de datos.	54
3.9	Técnicas de comprobación de hipótesis.	55

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.	Análisis de los resultados.....	56
4.1.1.	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.....	56
4.1.2.	Análisis de las preguntas realizadas en la encuesta.....	57
4.1.2.	Validación de la propuesta.....	61
4.2.	Comprobación de hipótesis.....	61
4.2.1.	Planeamiento de hipótesis	61

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1.	Tema de la propuesta	63
5.2	Datos Informativos	63
5.2.1	Beneficiarios	63
5.3	Objetivos.....	63

5.3.1	Objetivo general.....	63
5.3.2	Objetivos específicos	64
5.4	Justificación de la propuesta.....	64
5.5	Fundamentación de la propuesta.....	64
5.6	Diseño de la propuesta.	65
5.6.1	Resumen.....	65
5.6.2	Arquitectura del proyecto	66
5.6.3	Diagrama de mando y control del motor.	67
5.6.4	Diagrama de mando y control del motor.	67
5.7	Selección de los componentes.	68
5.7.1	Selección de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ).	68
5.7.2	Selección de la placa de control.	70
5.7.3	Criterios de selección de TC'S y TP'S	71
5.7.4	Criterio de selección de la interfaz de comunicación	71
5.7.5	Criterio de selección del programa para la interfaz para la comunicación con él ordenador.	72
5.8	Metodología para la ejecución de la propuesta.....	72
5.8.1	Diagrama esquemático de los componentes electrónicos y electrónicos.....	72
5.8.2	interfaz entre el módulo DAQ con la PC	73
5.9	Programación de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ).	74
5.10	Creación de la base de datos	75
5.10.1	Creación del entorno en LabVIEW.....	75
5.11	Pruebas del módulo de medición.....	81
5.11.1	Prueba de medición de voltaje.....	81
5.11.2	Prueba de medición de corriente	81
5.11.3	Prueba de medición de arranque doble "Y"	82
5.11.4	Prueba de medición de arranque "Y" larga	84

5.11.5	Prueba de medición de arranque doble “Y” a “Y” larga.....	86
5.11.6	Prueba de medición de arranque “Y” larga a doble “Y”	87
5.11.7	Prueba de medición de inversión de giro arranque doble “Y”	89
5.11.8	Prueba de medición de inversión de giro arranque “Y” larga	90
5.11.9	Prueba de medición de arranque doble “Y” con carga.....	91
5.11.10	Prueba de medición de arranque “Y” larga con carga	92
5.11.11	Prueba de medición de inversión de giro arranque “Y” larga con carga	94
5.6	Análisis de los parámetros obtenidos.....	96

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.....	98
6.2	Recomendaciones.....	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	101
	ANEXOS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un motor asíncrono jaula de ardilla.	9
Figura 2. Estator de la máquina de inducción.....	10
Figura 3. Rotor bobinado de la máquina de inducción.	10
Figura 4. Deformación de las líneas de campo en el entrehierro	11
Figura 5. Curvas características del arranque de un motor.....	20
Figura 6. Estabilidad del motor al momento de arranque.....	21
Figura 7 Curva torque – deslizamiento en las regiones de frenado, motor y generador	24
Figura 8. Curva (a) torque vs velocidad y (b) corriente vs velocidad en el arranque directo de un motor.	25
Figura 9. Curva (a) Conexión en estrella y (b) Conexión en triángulo.....	25
Figura 10. Curva (a) Baja carga y (b) Alta carga.	26
Figura 11. Curva (a) Corriente vs velocidad con baja carga y (b) Corriente velocidad con alta carga.....	26
Figura 12. Transformador de potencial (TP).....	27
Figura 13. Transformador corriente (TC).....	29
Figura 14. Estructura de un sistema de adquisición y validación de datos.....	31
Figura 15. Tarjeta de adquisición de datos.....	35
Figura 16. Etiqueta de Número de Terminal (1), Etiqueta de Nombre de Señal de Una Sola Terminal (2), Etiqueta Diferencial de Nombre (3) y Etiqueta Personalizada Definida por el Usuario (4)..	35
Figura 17. Encoder	36
Figura 18. Encoder incremental.....	37
Figura 19. Encoder absoluto.....	37
Figura 20. Software LabVIEW	40
Figura 21. Curvas de funcionamiento definidas por IEC 60898-1.	46
Figura 22. Análisis estadístico del valor de la corriente.....	57
Figura 23. Análisis estadístico de los arranques de un motor.	58
Figura 24. Análisis estadístico de los transitorios.....	58
Figura 25. Análisis estadístico de los elementos de medición.....	59
Figura 26. Análisis estadístico de las ondas de corriente y velocidad.....	60
Figura 27. Análisis estadístico de la implementación del sistema.	60

Figura 28. Diagrama de conexión del sistema de monitoreo.....	66
Figura 29. Diagrama de potencia.	67
Figura 30. Diagrama de control.	68
Figura 31. (DAQ USB-6210).....	69
Figura 32. Arduino UNO	70
Figura 33. Diagrama esquemático de los componentes electrónicos y electrónicos.	73
Figura 34. Interfaz entre el módulo DAQ con la PC.....	73
Figura 35. Programación de la DAQ.....	74
Figura 36. Programación para la señal de corriente.....	74
Figura 37. Programación para las señales de velocidad, corriente vs velocidad, torque.	75
Figura 38. Iconos de inicialización.....	75
Figura 39. Graficas de corriente, velocidad, corriente vs velocidad y torque...	75
Figura 40. Medidor de voltaje y corriente en AC.....	76
Figura 41. Medidor de voltaje y corriente en DC	76
Figura 42. Mando de graficas de corriente y voltaje	77
Figura 43. Curvas de voltaje.....	78
Figura 44. Curvas de corriente	79
Figura 45. Diagrama de fase	79
Figura 46. Panel para la visualización de Armónicos	80
Figura 47. Osciloscopio en LabView	80
Figura 48. Gráfica del voltaje trifásico del motor.....	81
Figura 49. Gráfica de corriente trifásica del motor.....	81
Figura 50. Gráfica de corriente en arranque doble “Y”	82
Figura 51. Gráfica de corriente en arranque doble “Y”	82
Figura 52. Gráfica de velocidad arranque doble “Y”	83
Figura 53. Gráfica corriente vs velocidad arranque doble “Y”	83
Figura 54. Gráfica de corriente arranque “Y” larga	84
Figura 55. Gráfica de corriente arranque “Y” larga	84
Figura 56. Gráfica de velocidad arranque “Y” larga	85
Figura 57. Gráfica corriente vs velocidad arranque “Y” larga	85
Figura 58. Gráfica de corriente arranque doble “Y” a “Y” larga.....	86
Figura 59. Gráfica velocidad arranque doble “Y” a “Y” larga	86

Figura 60. Gráfica de corriente vs velocidad arranque doble “Y” a “Y” larga ...	87
Figura 61. Gráfica de corriente arranque “Y” larga a doble “Y”	87
Figura 62. Gráfica de velocidad arranque “Y” larga a doble “Y”	88
Figura 63. Gráfica de corriente vs velocidad arranque “Y” larga a doble “Y” ...	88
Figura 64. Gráfica de corriente inversión de giro arranque doble “Y”	89
Figura 65. Gráfica de velocidad inversión de giro arranque doble “Y”	89
Figura 66. Gráfica de corriente inversión de giro arranque “Y” larga	90
Figura 67. Gráfica de velocidad inversión de giro arranque “Y” larga.....	90
Figura 68. Gráfica de corriente arranque doble “Y” con carga.....	91
Figura 69. Gráfica de velocidad arranque doble “Y” con carga	91
Figura 70. Gráfica de corriente vs velocidad arranque doble “Y” con carga	92
Figura 71. Gráfica de corriente arranque “Y” larga con carga	93
Figura 72. Gráfica de velocidad arranque “Y” larga con carga	93
Figura 73. Gráfica de corriente vs velocidad arranque “Y” larga con carga.....	93
Figura 74. Gráfica de corriente inversión de giro arranque “Y” larga con carga	94
Figura 75. Gráfica de velocidad inversión de giro arranque “Y” larga con carga	95
Figura 76. Gráfica de corriente vs velocidad inversión de giro arranque “Y” larga con carga.....	95

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 <i>Características de fallas de motores asíncronos jaula de ardilla.</i>	12
Tabla 2 <i>Comparación de tecnologías para censado de corriente.</i>	29
Tabla 3 <i>Características de operación tiempo vs corriente IEC 60898-1</i>	45
Tabla 4 <i>Cuadro operacionalización variable independiente</i>	48
Tabla 5 <i>Cuadro de operacionalización variable dependiente</i>	48
Tabla 6 <i>Técnicas de recolección de datos</i>	53
Tabla 7 <i>Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica</i>	56
Tabla 8 <i>Placas de control</i>	70
Tabla 9 <i>Características de la USB2HAB6</i>	71
Tabla 10 <i>Calibración de voltaje con el fluke y placa electrónica</i>	77
Tabla 11 <i>Calibración de voltaje con el fluke y placa electrónica</i>	78

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación se centrará principalmente en el acondicionamiento de las variables electromecánicas para condiciones transitorias de un motor trifásico de 3 HP modelo EM3611T de la marca Baldor, implementándose un sistema de adquisición de datos en el que se podrá almacenar e interpretar señales obtenidas en tiempo real de sensores eléctricos y mecánicos como: velocidad (Encoder), transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial (TP), y así poder analizar mediante aplicaciones programadas gráficas el comportamiento de variables electromecánicas como: corriente de arranque en función del tiempo, corriente de arranque en función de la velocidad, potencia generada y torque en los motores eléctricos asíncronos. La obtención de estas señales electromecánicas se validará y transmitirán mediante una interfaz entre la tarjeta de adquisición de datos DAQ USB 6210 – 250 Ks/s y el ordenador PC que servirá como medio de comunicación para analizar, interpretar y graficar las formas de onda en corriente alterna del motor y en corriente continua del generador, los transitorios obtenidos se los analizó mediante un desarrollo de programación en la plataforma LabVIEW para observar el momento de arranque, inversión de giro, cambios de arranque de alta a baja tensión y arranque con cargas a los que se encuentra sometido el motor para las pruebas de monitoreo.

PALABRAS CLAVE

- **VARIABLES ELECTROMECAÑICAS**
- **MOTORES ASÍNCRONO**
- **TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**
- **ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS**

ABSTRACT

The following research work will focus mainly on the conditioning of the electromechanical variables for transient conditions of a three-phase motor of 3 HP model EM3611T Baldor brand, implementing a data acquisition system in which you can store and interpret signals obtained in real time of electrical and mechanical sensors such as: speed (Encoder), current transformers (CT) and potential transformers (TP), and thus be able to analyze the behavior of electromechanical variables such as: starting current as a function of time , starting current as a function of speed, power generated and torque in asynchronous electric motors. The obtaining of these electromechanical signals will be validated and transmitted through an interface between the USB DAQ data acquisition card 6210 - 250 Ks / s and the PC computer that will serve as a means of communication to analyze, interpret and graph the waveforms in alternating current of the motor and in direct current of the generator, the transients obtained were analyzed by means of a programming development in the LabVIEW platform to observe the moment of start, reversal of rotation, changes of starting from high to low voltage and start with loads to which The motor is subjected to the monitoring tests.

KEYWORDS

- **ELECTROMECHANICAL VARIABLES**
- **ASYNCHRONOUS MOTORS**
- **DATA ACQUISITION CARD**
- **STARTING OF ELECTRIC MOTORS**

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Hoy en día a nivel mundial existen muchas empresas industriales que requieren en sus procesos una mejora en cuanto se refiere en su confiabilidad y calidad de energía del sistema, esto se lo puede lograr analizando los motores eléctricos, ya que éstos son de suma importancia para el desarrollo tecnológico y social de la población, es por esta misma razón que se requiere de un monitoreo constante de los motores ya sea en estado estable o en estado transitorio.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga el laboratorio de Control Eléctrico consta con un módulo didáctico para realizar ensayos a motores eléctricos asíncronos para determinar variables electromecánicas en estado estable, pero no dispone de una sistema para poder analizar el comportamiento de las variables en estado dinámico, para lo cual es importante desarrollar nuevos métodos para monitorear el comportamiento de los motores eléctricos asíncronos en diversas aplicaciones en los que se pueden encontrar en la industria.

1.1.1 Formulación del problema.

¿Cuáles pueden ser los beneficios para los docentes y estudiantes que se pueden obtener al realizar un diseño e implementación de un sistema de monitoreo aplicando programación gráfica, para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 hp, en el laboratorio de control eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga?

1.2 Antecedentes

En el laboratorio de Control Eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, se cuenta con un módulo para ensayos de motores eléctricos asíncrono trifásico que permite a los estudiantes interactuar y desarrollar prácticas de laboratorio para determinar variables en condiciones de estado estable como: Voltaje, Corriente, Velocidad, Torque, Factor de Potencia y Eficiencia con sus respectivas visualizaciones de sus curvas características. En los motores asíncronos antes de llegar a su régimen permanente pasa por un periodo de transición en donde las tensiones y corrientes varían hasta llegar a la condición de equilibrio impuesta por la red. Por lo general en cualquier proceso de arranque, frenado, desconexión de una fase, pueden provocar que existan fenómenos transitorios, aunque por lo general estos eventos son muy rápidos ya que se encuentran en el rango de los milisegundos y a simple vista no se puede observar los problemas serios en el funcionamiento de las máquinas.

En diversos procesos industriales donde el uso de motores eléctricos es de vital importancia para el desarrollo productivo, es necesario un análisis de variables electromecánicas para poder determinar el comportamiento que abarcan estas máquinas en su estado dinámico, pero la obtención de estos datos están basados en altas distorsiones con la que arrancan y para ello es muy indispensable la utilización de elementos tecnológicos como TC y TP que midan valores de corriente y voltaje a altas velocidades de adquisición. Es por eso que este trabajo de titulación pretende demostrar y analizar de forma clara e integra las curvas que se obtendrán mediante la aplicación de programación gráfica al momento del arranque de estas máquinas rotativas.

1.3 Justificación e importancia.

En la industria mundial los motores asíncronos son los más empleados para realizar procesos de producción, por la misma razón es necesario conocer las características del régimen transitorio y los problemas que ocasiona los motores al momento de su arranque. Mediante el módulo didáctico a instalar se desea monitorear y visualizar las curvas de las variables electromecánicas cuando éstas cambien de su estado estacionario a su estado dinámico, para poder efectuar un análisis de operación de los motores eléctricos trifásicos, y de esta manera se pueda aumentar el desempeño del motor, condiciones de operación, calidad de energía y eficiencia de trabajo en los diferentes tipos de procesos industriales en el cual se encuentran involucrados.

La implementación de este módulo didáctico beneficiará a los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica con nuevas aplicaciones enfocadas en el estudio de motores eléctricos asíncronos. Es así que se justifica la importancia de implementar el presente trabajo de titulación.

1.4 Importancia.

El siguiente proyecto de investigación está enfocado al monitoreo de motores trifásicos asíncronos mediante la obtención de datos en tiempo real en su estado dinámico como: arranques, frenado y fallas; para así poder apreciar las curvas características de variables electromecánicas como: corriente, voltaje, velocidad y torque que varían en relación al tiempo, siendo necesario que con estos datos obtenidos se pueda dar respuesta a necesidades al momento de realizar un plan de mantenimiento o reparación de estas máquinas rotativas y así poder mejorar la confiabilidad y calidad de energía del sistema

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General

Diseñar e Implementar un sistema de monitoreo aplicando programación gráfica, para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 HP, en el Laboratorio de Control Eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los elementos necesarios para el sistema de monitoreo de variables electromecánicas en estado dinámico.
- Diseñar e implementar las componentes pertenecientes al sistema de monitoreo para la adquisición de variables electromecánicas en estado dinámico.
- Adquirir la medición de las magnitudes de las variables electromecánicas: corrientes de líneas, voltajes de entrada, velocidad del motor, potencia y torque de la máquina.
- Acondicionar, procesar y programar las variables electromecánicas obtenidas para el adecuado ingreso a la DAQ.
- Visualizar, interpretar y analizar las curvas características adquiridas de la máquina en funcionamiento en estado dinámico.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Antecedentes investigativos.

El presente trabajo de titulación se basa en el monitoreo y análisis de las máquinas de inducción al ser las más comúnmente empleadas en sistemas eléctricos en pequeñas y medianas industrias, razón por la cual resulta necesario simular el comportamiento transitorio de la máquina durante su funcionamiento, debido a las altas corrientes de arranque, fallas de fase y frenados que ocurren en la operación. Por otra parte, la electrónica de potencia ha posibilitado llevar a cabo el control automático de la máquina de inducción, lo que requiere el desarrollo de modelos de régimen transitorio para poder analizar variables en tiempo real como: corriente, voltaje, potencia, velocidad y torque que varían en relación al tiempo y dependiendo de la aplicación que estas se encuentren sometidas.

Existen proyectos de titulación realizados en base al monitoreo y análisis de los motores asíncronos en régimen transitorio que aportan con una valiosa fuente de investigación para desarrollar este estudio.

“En la tesis realizada por los señores Puco Toaquiza & Sánchez Cruz postulantes de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga, realizaron su trabajo de titulación el cual se basa en la necesidad de generar el análisis de la operación de motores trifásicos mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para ensayo de motores eléctricos asíncronos trifásicos de 2,2 KW con adquisición automática de variables electromecánicas para el laboratorio de control industrial de la Universidad de las

Fuerzas Armadas”, expresan que El módulo permitirá visualizar de una manera simple y rápida las curvas de torque, velocidad, potencia activa, corriente, eficiencia y factor de potencia para cada porcentaje de carga aplicada al motor de inducción en ensayo, este módulo didáctico servirá de base fundamental para el desarrollo académico de los estudiantes universitarios”. (Puco. & Sánchez., 2017)

“En la tesis realizada por los señores Chacón Quistan & Velasco Tonato, postulantes de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga, realizaron su trabajo de titulación el cual se basa en la necesidad de generar el diseño y construcción de un módulo didáctico de adquisición de datos del sistema de entrenamiento electromecánico para el laboratorio de control eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas, expresan que El módulo permitirá visualizar las señales de Voltaje y Corriente en para metros eléctricos como: Frecuencia, Angulo del vector fundamental, Voltaje RMS, Corriente RMS, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, Parámetros de Energía, Espectro de Frecuencia, Diagramas de Fase y Armónicos, este módulo didáctico servirá de base fundamental para el desarrollo académico de los estudiantes universitarios”. (Velasco. & Chacón., 2018)

“En la tesis realizada por los señores Cortez Fernández, Guevara Ganchozo, & Rodríguez Enríquez, postulantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, realizan el correspondiente diseño e implementación de un banco de prueba para una máquina asíncrona trifásica (motor de inducción trifásico, marca: Hampden, modelo: WRM – 300, rotor tipo jaula y devanado) para el laboratorio de máquinas eléctricas de la UPS - GUAYAQUIL, quienes al ejecutar las prácticas pertinentes del trabajo de titulación expresan que “Realizar el estudio por medio de la inducción completa del proyecto utilizando los

elementos que lo conformaban, permitió demostrar que el comportamiento del motor de inducción tipo jaula de ardilla permite entender de igual manera a los motores asíncronos trifásicos en sus diferentes variantes en estado transitorio". (Cortez. Guevara & Rodriguez, 2015)

“En la tesis realizada por los señores Cordova Mendiburo, & Cardenas Villacres, postulantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, realizan el correspondiente análisis del régimen dinámico de un motor de inducción trifásico usando un software de simulación, quienes al ejecutar las prácticas pertinentes del trabajo de titulación expresan que “la utilización de softwares como Simulink y Labview para obtener datos y Matlab para obtener parámetros y simulación consiste en determinar los parámetros eléctricos de una máquina de inducción basados en dos indicadores instantáneos (impedancia y potencia) en estado transitorio, permitió demostrar que la adquisición y procesamiento de datos los convierten en vectores espaciales utilizando algoritmos matemáticos y comprobar las curvas características de la máquina” (Cardenas. & Cordova, 2014)

“En la tesis presentada por el señor Alejandro García Álavez, postulantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizan el correspondiente análisis transitorio de un motor de inducción utilizando el método del elemento finito, quien al ejecutar las prácticas pertinentes del trabajo de titulación expresan que El método del elemento finito para realizar la simulación transitoria de la máquina de inducción acoplada a circuitos externos de alimentación, considerando la ecuación de oscilación. El modelo de campo acoplado a circuitos se utiliza para modelar el arranque sin carga del motor (condición transitoria) con gran precisión. El modelo numérico está basado en la técnica del elemento finito, la cual se utiliza generalmente para resolver ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de

diversos problemas físicos, conocidos como problemas de valor a la frontera.” (Gacia, 2011)

2.2 Fundamentación teórica.

2.2.1 Generalidades del motor de inducción.

El motor asincrónico de jaula de ardilla es el más empleado en cualquier aplicación industrial debido a su construcción robusta y simple, aparte de ser la solución más económica tanto en términos de motores como de comando y protección.

Esta clase de motores representan aproximadamente el 80% de los motores eléctricos industriales, estando en cabeza en cuanto a consumidores de energía eléctrica cuando se refiere a Industria.

Estos motores pueden tener fallos que generan diversos problemas en las plantas industriales tales como paros de la cadena de producción con su correspondiente gasto económico. Debido a esto, en los últimos años se viene investigando en esta materia con el objetivo de reducir tiempos y costes en las líneas de producción de las diferentes empresas. (Granados., 2017)

2.2.1.1 Motores de rotor de jaula de ardilla.

Este tipo de rotor es el que más se usa en la industria debido a su robustez, sencillez, bajo costo y facilidad de mantenimiento. Consiste en una serie de barras, generalmente de aluminio o cobre, selladas en sus extremos a dos anillos generando cortocircuito en ellos. Actualmente en las máquinas de menor potencia se utiliza un sistema de fundición de aluminio para construir simultáneamente las barras conductoras y los dos anillos. (Granados., 2017)

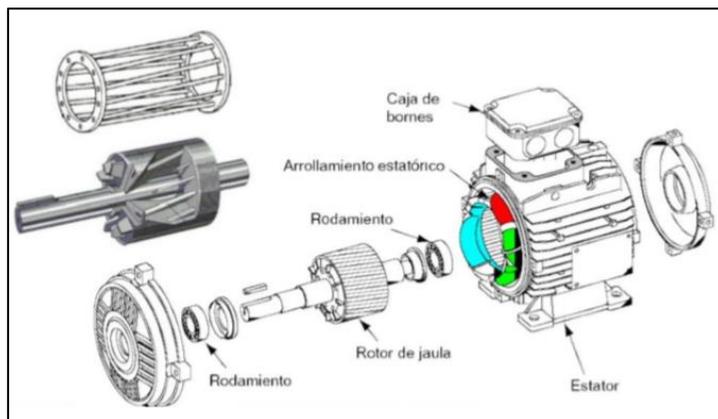


Figura 1. Estructura de un motor asínrono jaula de ardilla.

Fuente: (Granados., 2017)

2.2.1.2 Aspectos constructivos de la máquina de inducción.

Los motores de inducción o asínronos están contruidos por dos armaduras con campos giratorios coaxiales denominadas estator y rotor. El estator es la parte fija y en su interior está alojado el rotor que es la parte móvil que gira en torno a un eje. Tanto el estator como el rotor están formados por dos circuitos, uno eléctrico y otro magnético. (Granados., 2017)

En el circuito eléctrico, el estator está constituido por tres devanados que se pueden conectar en triángulo o en estrella formando un devanado trifásico y el rotor está formado por un devanado trifásico.

El circuito magnético consiste en un conjunto de láminas apiladas de acero con forma de cilindro en el rotor y de anillo en el estator cuyo objetivo es el de disminuir las pérdidas existentes en los conductores de los devanados trifásicos situados en una especie de ranuras localizadas en la superficie interior del circuito magnético del estator.

Entre el estator y el rotor existe un espacio formado por aire denominado entrehierro cuyo objetivo es el de permitir que la máquina realice el giro. (Granados., 2017)

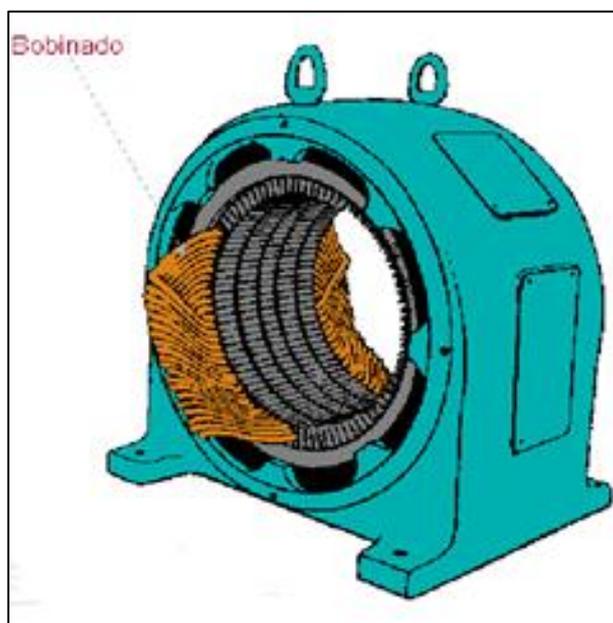


Figura 2. Estator de la máquina de inducción.

Fuente: (Granados., 2017)

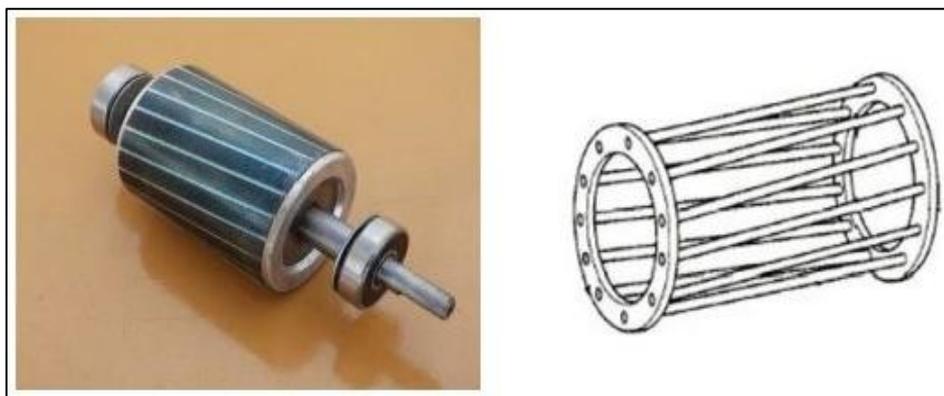


Figura 3. Rotor bobinado de la máquina de inducción.

Fuente: (Granados., 2017)

2.2.1.3 Principio de funcionamiento de un motor de inducción.

Está basado en la acción del flujo giratorio que el circuito del estator genera sobre las corrientes inducidas por el flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio generado por el bobinado del estator la cual realiza el corte de los conductores del rotor, debido a esto, se crea una serie de fuerzas electromotrices inducidas. Cuando el bobinado del rotor está cerrado, las corrientes eléctricas recorren sus conductores. (Granados., 2017)

La acción que se genera entre las corrientes que existen en los conductores del rotor y el flujo giratorio producen fuerzas electrodinámicas sobre dichos conductores arrastrando al rotor y obligándolo a girar en el mismo sentido que gira el campo debido a la ley de Lenz. En los motores asíncronos, la velocidad de rotación del rotor nunca será superior a la velocidad del flujo giratorio (velocidad síncrona) porque si lo lograra se anularían todas las fuerzas electromotrices. Para que en los conductores del rotor se origine una fuerza electromotriz es necesario que exista un movimiento relativo entre el flujo giratorio y los conductores. A esta diferencia de velocidad se le denomina deslizamiento. (Granados., 2017)

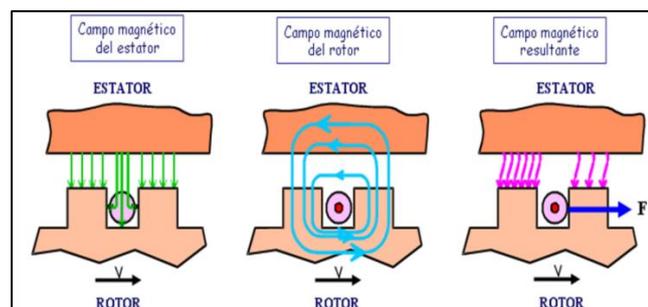


Figura 4. Deformación de las líneas de campo en el entrehierro

Fuente: (Granados., 2017)

En la tabla 1 se muestran las características de fallas de motores asíncronos jaula de ardilla. (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, 2015)

Fallas en los motores asíncronos jaula de ardilla.

Se entiende como falla al comportamiento anormal de la máquina al momento de su funcionamiento, siendo estas producidas por varias condiciones adversas las cuales pueden ser: Véase tabla 1

Tabla 1

Características de fallas de motores asíncronos jaula de ardilla.

Condiciones adversas	Efectos	Protección
Bajo voltaje	Esta condición puede causar que el motor trabaje forzado o se detenga y cause sobrecalentamiento. Esto induce que el motor se deteriore o se queme.	El relé de bajo voltaje desconecta el motor de la fuente de energía, con la capacidad de restablecer el suministro cuando el voltaje vuelva a su condición normal.
Recierre automático del sistema de distribución, después de la pérdida inicial.	Esta condición es especialmente peligrosa para los motores que operan cargas de compresores. Porque la reenergización de los motores con cargas pesadas puede ocasionar sobrecalentamiento, lo cual induce una disminución en la vida útil del motor o provoca que se queme	Un relé temporizado podría prevenir la reenergización del motor, cuando se restablece el suministro de energía eléctrica. Este relé debe ser ajustado en el tiempo de tal manera que el compresor regrese a su condición de operación adecuada, antes de que reinicie su operación

CONTINUA



<p>Desbalance en el nivel de tensión.</p>	<p>Esta condición ocasiona que la temperatura se incremente en el embobinado del motor, lo que causa una disminución en la vida útil y desperdicio de energía</p>	<p>Un relé de desbalance trifásico (relé de secuencia negativa) para desconectar la fuente. El ajuste y calibración de este relé requiere de ayuda profesional</p>
<p>Pérdida de una fase del sistema.</p>	<p>Esta es la peor condición de un desbalance de fase. Puede ocurrir cuando un fusible se quema. Esta condición puede causar sobre calentamiento, lo que induce un deterioro en la vida útil del motor.</p>	<p>Relé de pérdida de fase para desconectar la fuente, hasta que las condiciones vuelvan a la Normalidad</p>
<p>Inversión de la fase.</p>	<p>Esta condición ocasiona que los motores roten en dirección opuesta, lo cual puede causar lesiones al personal de operación y desperfectos al equipo</p>	<p>Relé de protección de inversión de fase para desconectar la fuente</p>
<p>Sobrecorriente.</p>	<p>Corrientes excesiva en el circuito provocan sobrecalentamiento y deterioro en la vida útil del motor</p>	<p>Relé de sobre corriente para dar una alarma o desconectar el motor de la fuente, hasta que las condiciones vuelvan a la normalidad</p>

Fuente: (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, 2015)

2.2.2 Descripción del modelamiento transitorio de la máquina de inducción.

La constante de tiempo del enlace de flujo del rotor, puede ser bastante larga, especialmente en máquinas de inducción grandes o de alta eficiencia. Para transitorios relativamente pequeños, puede ser aceptable usar un modelo transitorio más simple que se obtiene suponiendo que el enlace de flujo del devanado del rotor permanece esencialmente constante durante el breve período del transitorio. Tal modelo se usa en programas de estabilidad transitoria para representar cargas de motores de inducción.

Comenzamos la derivación del modelo transitorio simple considerando una perturbación de las variables en las siguientes expresiones de los enlaces de flujo del estator y los devanados del rotor en rotación sincronizada

$$\begin{aligned}
 \lambda_{qs}^e &= L_s i_{qs}^e + L_m i_{qr}^{re} \\
 \lambda_{ds}^e &= L_s i_{ds}^e + L_m i_{dr}^{re} \\
 \lambda_{qr}^e &= L_r i_{qs}^e + L_m i_{qs}^e \\
 \lambda_{dr}^e &= L_r i_{ds}^e + L_m i_{ds}^e
 \end{aligned} \tag{1}$$

Con las perturbaciones en las corrientes del estator y del rotor, las expresiones del estator perturbado y los enlaces de flujo del rotor son

$$\begin{aligned}
 \lambda_{qso}^e + \Delta \lambda_{qs}^e &= L_s (i_{qso}^e + \Delta i_{qs}^e) + L_m (i_{qro}^e + \Delta i_{qr}^e) \\
 \lambda_{dso}^e + \Delta \lambda_{ds}^e &= L_s (i_{dso}^e + \Delta i_{ds}^e) + L_m (i_{dro}^e + \Delta i_{dr}^e) \\
 \lambda_{qro}^e + \Delta \lambda_{qr}^e &= L_r (i_{qso}^e + \Delta i_{qs}^e) + L_m (i_{qro}^e + \Delta i_{qr}^e) \\
 \lambda_{dro}^e + \Delta \lambda_{dr}^e &= L_r (i_{dso}^e + \Delta i_{ds}^e) + L_m (i_{dro}^e + \Delta i_{dr}^e)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Donde los cambios se denotan por Δ y los valores nominales o predisturbancia se denotan por un subíndice adicional, o. Si los vínculos del flujo del rotor, λ'_{qr} y λ'_{dr} , e se supone que permanecerá sin cambios por la perturbación, es decir los componentes, $\Delta\lambda'_{qr}$ y $\Delta\lambda'_{dr}$, son cero.

$$\Delta\lambda'_{qr} = L'_r\Delta i'_{qr} + L_m\Delta i^e_{qs} = 0 \quad (3)$$

$$\Delta\lambda'_{dr} = L'_r\Delta i'_{dr} + L_m\Delta i^e_{ds} = 0$$

La relación anterior entre los cambios en las corrientes de qd del estator y del rotor puede entonces volver a estar sustituida en las expresiones del enlace de flujo del estator de la Ecuación. (2) para obtener

$$\lambda^e_{qso} + \Delta\lambda^e_{qs} = L_s i^e_{qso} + L_m i^e_{qro} + \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r}\right) \Delta i^e_{qs} \quad (4)$$

$$\lambda^e_{dso} + \Delta\lambda^e_{ds} = L_s i^e_{dso} + L_m i^e_{dro} + \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r}\right) \Delta i^e_{ds}$$

El flujo y las corrientes también satisfacen la Ecuación (1) y (4) se puede simplificar para proporcionar las siguientes relaciones entre los cambios en los enlaces de flujo del estator y los cambios en las corrientes del estator cuando los enlaces de flujo del rotor permanecen constantes:

$$\Delta\lambda^e_{qs} = \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r}\right) \Delta i^e_{qs} = L'_s \Delta i^e_{qs} \quad (5)$$

$$\Delta\lambda^e_{ds} = \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r}\right) \Delta i^e_{ds} = L'_s \Delta i^e_{ds}$$

Donde L'_s es conocida como la inductancia transitoria del estator. Vamos a definir los voltajes de los componentes qd detrás del estator

$$E'_{qs} = \omega_e (\lambda^e_{ds} - L'_s i^e_{ds}) \quad (6)$$

$$E'_{ds} = -\omega_e(\lambda_{qs}^e - L'_s i_{qs}^e)$$

Usando las ecuaciones (1) y (5), podemos demostrar que estos componentes de voltaje detrás de la inductancia transitoria del estator son proporcionales a los enlaces de flujo del rotor, es decir

$$E'_{qs} = \omega_e(\lambda_{ds}^e - L'_s i_{ds}^e) \quad (7)$$

$$E'_{qs} = \omega_e(L_s i_{ds}^e + L_m i_{dr}^e - L'_s i_{ds}^e)$$

$$E'_{qs} = \omega_e \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e$$

$$E'_{ds} = -\omega_e(\lambda_{qs}^e - L'_s i_{qs}^e)$$

$$E'_{ds} = -\omega_e(L_s i_{qs}^e + L_m i_{qr}^e - L'_s i_{qs}^e)$$

$$E'_{ds} = -\omega_e \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e$$

Por lo tanto, cuando los enlaces de flujo del rotor son constantes, los voltajes recientemente definidos detrás de la inductancia transitoria, E'_{qs} y E'_{ds} , serán constantes. Considere ahora las siguientes ecuaciones de voltaje del estator qtl en el cuadro que gira sincrónicamente:

$$\frac{d\lambda_{qs}^e}{dt} = v_{qs}^e - r_s i_{qs}^e - \omega_e \lambda_{ds}^e \quad (8)$$

$$\frac{d\lambda_{ds}^e}{dt} = v_{ds}^e - r_s i_{ds}^e + \omega_e \lambda_{qs}^e$$

Usando la Ecuación (6) para reemplazar los términos de voltaje de velocidad en el lado derecho de la Ecuación. (8), obtenemos el conjunto deseado de ecuaciones de voltaje del estator del modelo transitorio simple para las condiciones de operación en las que se puede asumir que los enlaces de flujo del rotor permanecen constantes:

$$\frac{d\lambda_{qs}^e}{dt} = v_{qs}^e - r_s i_{qs}^e - E'_{qs} + \omega_e \lambda_{ds}^e \quad (9)$$

$$\frac{d\lambda_{ds}^e}{dt} = v_{ds}^e - r_s i_{ds}^e - E'_{ds} - \omega_e \lambda_{qs}^e$$

Para la condición de estado estable, podemos poner la Ecuación anterior en la forma de fasor de tiempo correspondiente. Estableciendo los términos derivados de tiempo a la izquierda en cero para estado estacionario,

Multiplicando la Ecuación *d* de la Ecuación (9) por $-j$ y agregando que a la Ecuación *q*, y reagrupando términos, obtenemos

$$(v_{qs}^e - jv_{ds}^e) = (r_s + j\omega_e L'_s)(i_{qs}^e - ji_{ds}^e) + (E'_{qs} - jE'_{ds}) \quad (10)$$

En notación fasorial la Ecuación (10) se convierte

$$V_{as} = (r_s + j\omega_e L'_s)I_{as} + E' \quad (11)$$

Consiste en una tensión monofásica, E' , detrás de la impedancia transitoria, $Z' = r_s + jx'$. En un análisis transitorio simplificado de la máquina de inducción, el valor de E' antes de la perturbación se puede determinar a partir de la condición de funcionamiento justo antes de la perturbación, es decir, E' se puede calcular a partir de

$$E' = V_{aso} - (r_s + jx')I_{aso} \quad (12)$$

Donde V_{aso} y I_{aso} son los valores de fasores justo antes de la perturbación. Este modelo transitorio simplificado también se puede utilizar para estudiar el comportamiento de una máquina de inducción durante un breve período después de un cambio en las condiciones de funcionamiento del estator, como una desconexión del suministro o un cortocircuito en el terminal. En cada uno de estos casos, se puede suponer que el enlace del flujo del rotor inmediatamente después de la perturbación

es el mismo que el anterior a la perturbación. La disminución posterior del enlace de flujo del rotor atrapado es a una velocidad que depende de la relación L / R de la impedancia efectiva vista por la corriente del rotor. En el caso de un motor desconectado de su suministro, el enlace de flujo del rotor se descompondrá a una velocidad correspondiente a la determinada por la constante de tiempo de circuito abierto:

$$T_0' = \frac{x_{lr}' + x_m}{\omega_e r_r'} \quad (13)$$

Cuando los terminales del estator están en cortocircuito entre sí, la constante de tiempo correspondiente del enlace de flujo del rotor se conoce como la constante de tiempo transitorio de cortocircuito. Está dado por

$$T' = \left(x_{lr}' + \frac{x_{ls} x_m}{x_{ls} + x_m} \right) \frac{1}{\omega_e r_r'} \quad (14)$$

Para estudios de tiempo prolongado, la tolerancia para cambios en el valor del enlace de flujo del rotor, y E' para una conexión de circuito abierto o una falla de cortocircuito en los terminales del estator, se puede aproximar mediante una disminución exponencial de las constantes de tiempo, T_0' o T' , respectivamente. Por ejemplo, la forma de E' siguiendo un circuito abierto puede ser aproximada por

$$E'(t) = E'(0) e^{-\frac{t}{T_0'}} \quad (15)$$

Donde $t = 0$ es el tiempo en el que ocurre la perturbación. La forma fasorial del modelo transitorio simplificado que se muestra en la figura 6.13 también se puede derivar directamente al perturbar la Ecuación de voltaje del fasor del estator dada en la Ecuación (9). Con las perturbaciones en las variables eléctricas, la Ecuación de voltaje fasorial del estator puede expresarse como

$$V_{aso} + \Delta V_{as} = \left(r_s + j \frac{\omega_e}{\omega_b} (x_{ls} + x_m) \right) (I_{aso} + \Delta I_{as}) + j \frac{\omega_e}{\omega_b} x_m (I'_{aro} + \Delta I_{ar}) \quad (16)$$

$$\psi'_{aro} = (x'_{lr} + x_m) I'_{aro} + x_m I_{aso} \quad \Delta \psi'_{ar} = 0$$

$$\psi'_{aro} + \Delta \psi'_{ar} = (x'_{lr} + x_m) (I'_{aro} + \Delta I_{ar}) + x_m (I_{aso} + \Delta I_{as}) \quad (17)$$

Podemos determinar que el cambio en la corriente del rotor es

$$\Delta I'_{ar} = \frac{-x_m}{x'_{lr} + x_m} \Delta I_{as} \quad (18)$$

Usando las relaciones anteriores para reemplazar $(I'_{aro} + \Delta I_{ar})$ en la Ecuación de voltaje del estator perturbado, la Ecuación (16) se puede simplificar a

$$V_{aso} + \Delta V_{as} = \left(r_s + j \frac{\omega_e}{\omega_b} \left(\frac{x_{ls} + x_m - x_m^2}{x'_{lr} + x_m} \right) \right) (I_{aso} + \Delta I_{as}) + j \frac{\omega_e}{\omega_b} \left(\frac{x_m}{x'_{lr} + x_m} \right) \psi'_{aro} \quad (19)$$

Denotando la reactancia transitoria del estator por x' el voltaje detrás de la impedancia transitoria del estator x' por E' , eso es

$$x' = x_{ls} + x_m - \frac{x_m^2}{x'_{lr} + x_m} \quad (20)$$

$$E' = j \frac{\omega_e}{\omega_b} \left(\frac{x_m}{x'_{lr} + x_m} \right) \psi'_{aro} \quad (21)$$

La Ecuación de tensión del estator cuando el enlace del flujo del rotor puede suponerse constante puede expresarse como

$$V_{as} = (r_s + jx') I_{as} + E' \quad (22)$$

2.2.3 Variables en estado dinámico.

El motor eléctrico posee dos comportamientos diferentes. El primero sucede en el arranque (durante el régimen transitorio) y el otro en el estado estable (durante el régimen permanente). Como es lógico, las características de ambos estados no son iguales. En el régimen transitorio, no se puede pasar de una forma de energía a otra de manera instantánea y la energía total del sistema formado por la máquina y el motor, no puede variar de forma brusca. Debido a esto, un “Transitorio Eléctrico” se define como un convertidor electromecánico cuando la energía cambia temporal y rápidamente y solo se almacena en sus campos eléctricos y magnéticos, conservando la energía cinética constante. En cambio, si la variación de energía posee una alteración permanente o temporal de la energía cinética se define el fenómeno como un “Transitorio Dinámico”. (Granados., 2017)

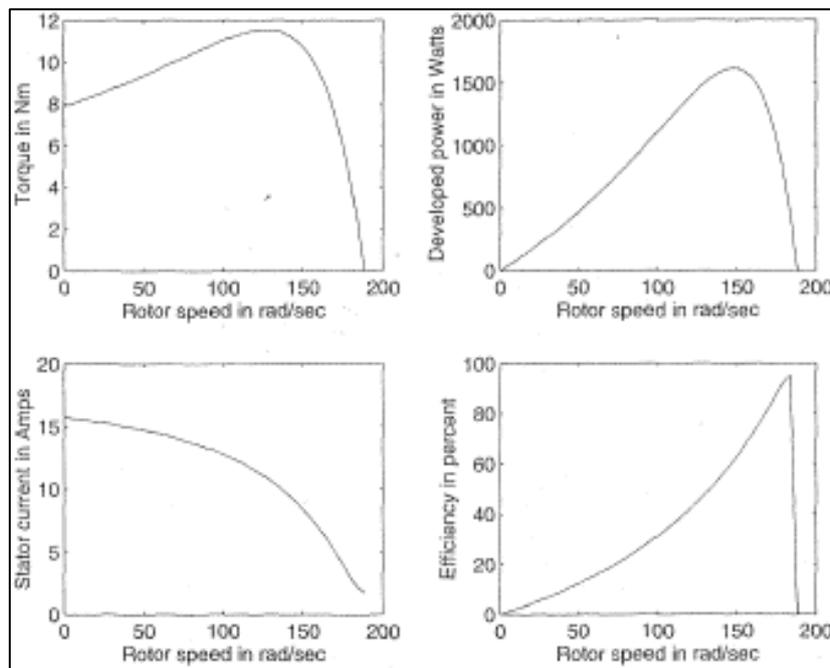


Figura 5. Curvas características del arranque de un motor.

Fuente: (Valencia., 2002)

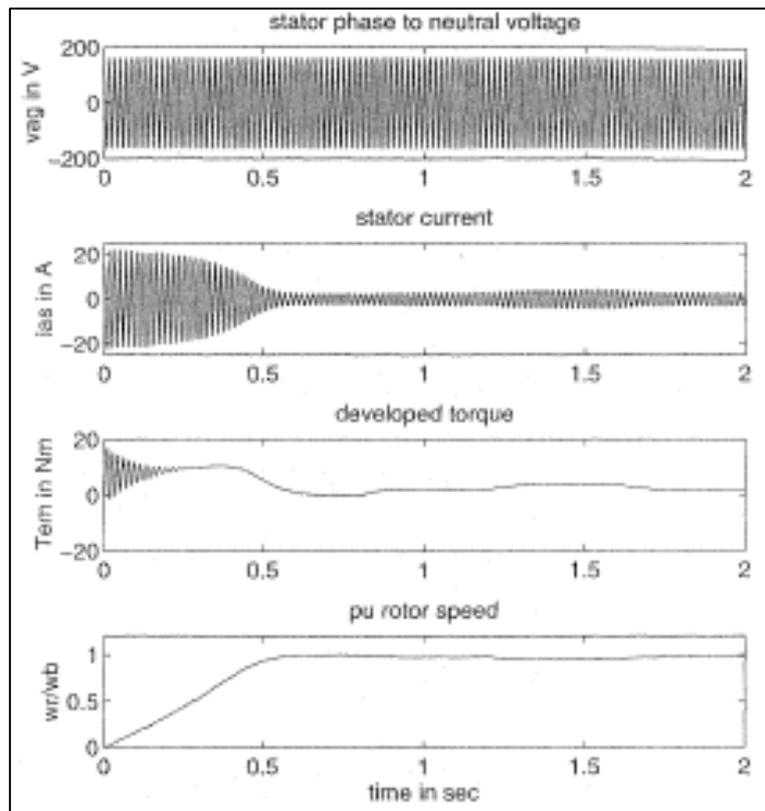


Figura 6. Estabilidad del motor al momento de arranque.

Fuente: (Valencia., 2002)

2.2.4 Curvas características en arranques de motores en condiciones transitorias.

El arranque de los motores de inducción provoca un gran impulso de corriente sobre la red de alimentación y como consecuencia, una caída de tensión excesiva que produce perturbaciones en los equipos conectados a la red, así como: reducción del brillo de las lámparas, mal funcionamiento de otros motores y de equipos electrónicos sensibles a las variaciones del voltaje. (Valencia., 2002)

El arranque de los motores de inducción se caracteriza por dos magnitudes esenciales, torque de arranque y corriente de arranque. Estos dos parámetros, junto con el torque de carga determinan el tiempo de arranque. Debido a la elevada corriente de arranque, la caída de tensión y la correspondiente tensión reducida en la

línea existe la posibilidad de que el motor que está arrancando no desarrolle el torque suficiente para acelerar la carga, como consecuencia se tienen corrientes excesivas tanto en el rotor como en el estator, que si se repite varias veces se produce deterioro del aislamiento, acortando la vida útil del motor, por esta razón es necesario tener un método de arranque a fin de limitar la corriente de arranque. (Valencia., 2002)

Una forma de reducir la corriente de arranque es reducir el voltaje aplicado al estator del motor, pero con ello se consigue reducir el torque de arranque en una proporción mayor, y en el caso que el motor tenga conectada una fuerte carga mecánica, el torque de arranque es menor que el torque de carga, lo que puede producir daños en el eje del motor y el motor arrancará con dificultad o no podrá arrancar. Por otro lado, si el motor arranca sin carga, la reducción del torque puede no ser tan grave y la reducción de la corriente resulta ventajosa. (Valencia., 2002)

Por estas razones la elección del tipo de arranque y a veces también del tipo de construcción del motor, está en función del torque de carga y de la potencia de la red. En todo momento, el torque del motor debe ser mayor que el torque de carga ya que de la diferencia resulta el torque de aceleración necesario para la operación del motor. (Valencia., 2002)

Existen tres regiones de operación:

1. Al funcionar como motor. - en el funcionamiento normal del motor, el rotor gira en la dirección de la rotación del campo magnético que producen las corrientes del estator, la velocidad queda entre cero y la velocidad sincrónica, y el deslizamiento correspondiente queda entre 1 y 0. Para el arranque del motor el deslizamiento es uno ($s = 1$). (Valencia., 2002)

2. Región de frenado. - Esto es posible si el deslizamiento es mayor que uno. Para conseguir esto, el motor se debe impulsar hacia atrás, contra la dirección de rotación de su campo magnético, mediante una fuente de potencia mecánica capaz de contrarrestar el torque interno T . La utilidad práctica principal de esta región es la de detener rápidamente a los motores con un método que se llama inversión de secuencia. Intercambiando dos terminales del estator en un motor trifásico, se cambia súbitamente la secuencia de fases y por lo tanto la dirección de rotación del campo magnético; el motor se detiene por la influencia del torque T y se desconecta de la línea antes de que comience a girar en sentido contrario. Dado que s es mayor que 1, las corrientes en el motor son altas pero el torque motor desarrollado es pequeño. La energía debido al frenado debe disiparse dentro del motor, lo que provoca un calentamiento excesivo, por lo que este método de frenado no es recomendable. (Valencia., 2002)
3. Región de Generador. - En esta región la velocidad del motor es mayor que la velocidad sincrónica y el deslizamiento es negativo. Esto se consigue impulsando al motor a una velocidad mayor que la sincrónica mediante una máquina conectada al motor. La fuente determina la velocidad sincrónica y suministra el consumo de potencia reactiva necesaria para excitar al campo magnético del entrehierro. El motor devuelve la potencia al sistema de alimentación. En esta región la característica de torque motor - velocidad es similar a la región de motor, pero con un valor negativo para el torque motor. (Valencia., 2002)

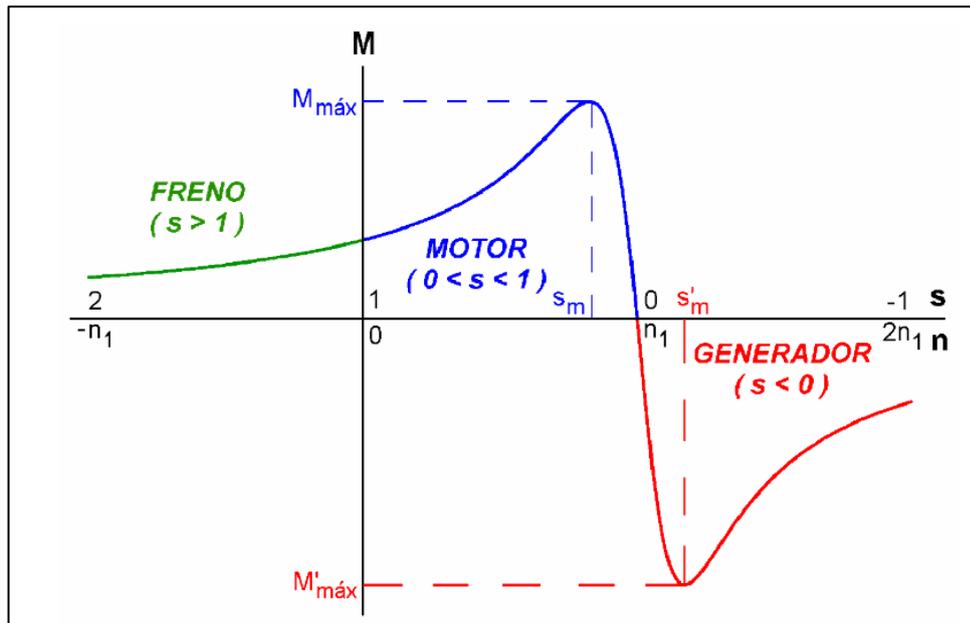


Figura 7. Curva torque – deslizamiento en las regiones de frenado, motor y generador.

Fuente: (Valencia., 2002)

2.2.4.1 Arranque directo.

El valor exacto de la corriente de arranque dependerá del diseño del motor. En general, en los motores más modernos la tendencia es que esta corriente sea mayor dado que la resistencia de los bobinados es menor. En un arranque directo el torque inicial es muy elevado y en la mayoría de las aplicaciones es mucho mayor a lo que se necesita. Esto es un problema ya que causa un alto estrés mecánico tanto en el sistema de transmisión (correas, acoples, manchones) como en la carga misma. (Caputo, 2015)

Otra desventaja es que la única forma de detener el motor es en una parada libre, sin control. En muchos casos este método de arranque funciona perfectamente y es el más recomendado, pero en ocasiones es necesario recurrir a otros métodos de arranque. (Caputo, 2015)

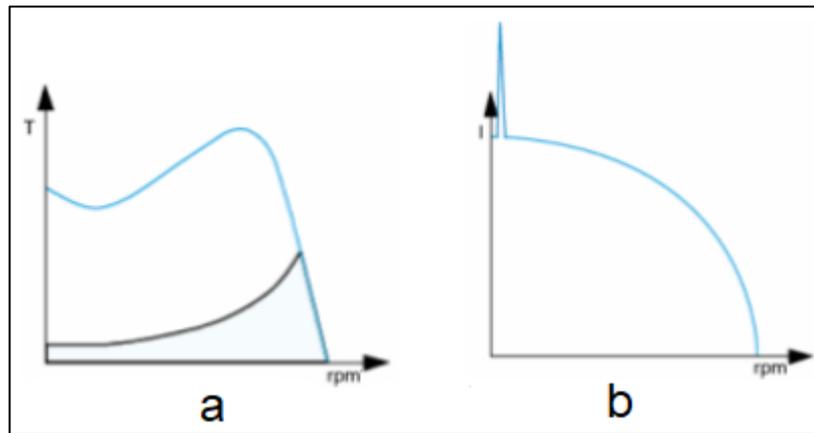


Figura 8. Curva (a) torque vs velocidad y (b) corriente vs velocidad en el arranque directo de un motor.

Fuente: (Caputo, 2015)

2.2.3.1 Arranque estrella – triángulo

Un arranque estrella-triángulo consiste en que durante la primera etapa de aceleración el motor se conecta en estrella tomando una corriente reducida, y luego de un tiempo preestablecido se hace la conmutación a triángulo, donde el motor absorbe toda la corriente de la red y el torque es máximo. (Caputo, 2015)

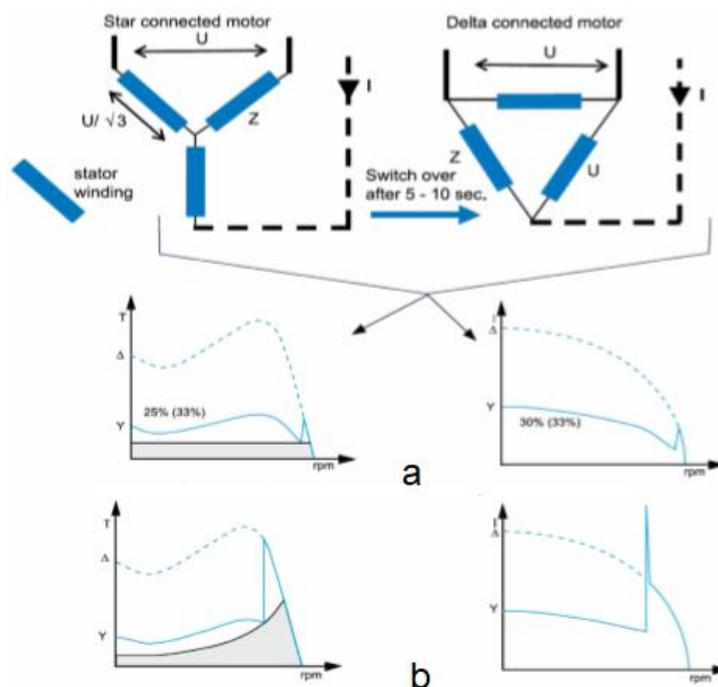


Figura 9. Curva (a) Conexión en estrella y (b) Conexión en triángulo.

Fuente: (Caputo, 2015)

2.2.3.2 Arranque suave.

Un arrancador suave no modifica la frecuencia ni la velocidad de un motor como lo hace el variador. Lo que hace es incrementar gradualmente la tensión aplicada al motor desde un valor inicial determinado hasta la tensión nominal. Inicialmente la tensión aplicada es muy baja y luego al ir incrementándose paulatinamente comienza a haber mayor torque disponible hasta que logra vencer al torque de la carga y el motor comienza a acelerar. Uno de los beneficios de este método es que permite ajustar el torque necesario según el motor esté cargado o no. (Caputo, 2015)

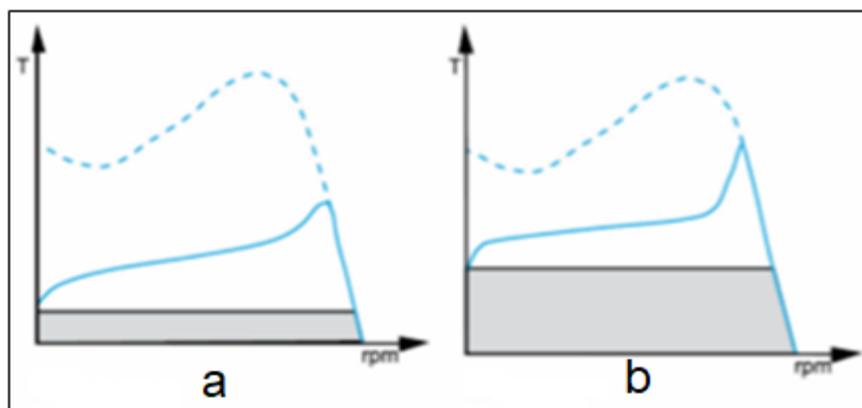


Figura 10. Curva (a) Baja carga y (b) Alta carga.
Fuente: (Caputo, 2015)

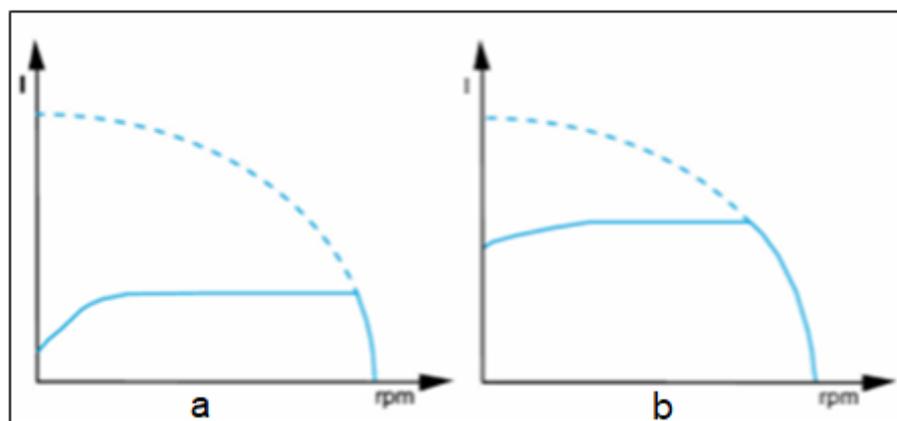


Figura 11. Curva (a) Corriente vs velocidad con baja carga y (b) Corriente vs velocidad con alta carga.
Fuente: (Caputo, 2015)

2.2.5 Sistema de adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos se basa en el sensor de corriente y el sensor de tensión, éstos admiten tomar las señales analógicas de corriente y de voltaje, pudiendo de esta manera el usuario evaluar el comportamiento de una carga, y para interpretar estos datos se debe integrar una tarjeta de adquisición la cual estudia este comportamiento de las variables eléctricas en tiempo real. (Chamba, 2014)

2.2.5.1 Transformadores de potencial (T.P.)

El transformador de tensión es necesario para medir las variables de energía eléctrica, además este brinda seguridad ya que no se requiere tener contacto con la red de 120V, el transformador nos proporciona un aislamiento entre la alta tensión y baja tensión. Los transformadores de voltaje pueden venir de diferentes tensiones nominales lo cual depende del diseño, material y construcción. (Chamba, 2014)

La tensión que se mide no varía significativamente, aproximadamente de 108V a 132V, las variaciones de fase son insignificantes. En todo caso se realizará una corrección de fase mediante software para tener una elevada precisión en la medición del consumo de energía. (Chamba, 2014)



Figura 12. Transformador de potencial (TP).
Fuente: (National.Instruments., 2018)

2.2.5.2 Transformadores de corriente (T.C.)

Debido al amplio rango de variación de la corriente, se hace necesario desarrollar sensores que detecten el más leve cambio de esta. El sensor de corriente que se requiere debe tener un rango dinámico de medición y ancho de banda amplio, debido al contenido de armónicos de la onda de corriente. (Robayo, 2016)

La variedad de sensores de corriente es amplia, así como los principios de funcionamiento con los cuales operan. Las tecnologías para medición industrial de corrientes más comunes son:

- Shunt de corriente de baja resistencia.
- Transformador de corriente.
- Sensor de efecto Hall.
- Bobina Rogowski.

El Transformador de Corriente (TC) usa el principio de un transformador para convertir la alta corriente del primario, a una corriente de secundario de menor valor. Es el sensor más común entre la gran cantidad de los actuales medidores de energía de estado sólido de alta corriente, porque consume muy poca energía y porque no necesita circuitos adicionales para su control. (Robayo, 2016)

Debido a la corriente de magnetización, tiene típicamente un pequeño torque de fase asociado, de $0,1^\circ$ a $0,3^\circ$. Si está descalibrado, dará lugar a un notable error con factores de potencia bajos. Además, el núcleo de ferrita puede saturarse con alta corriente. Una vez magnetizado, el núcleo presenta histéresis y la exactitud se degrada, a menos que se desmagnetice de nuevo. (Robayo, 2016)



Figura 13. Transformador corriente (TC).

Fuente: (National.Instruments., 2018)

La saturación de un transformador de corriente se puede presentar por ondas de corriente mayores que la nominal o por presencia de una sustancial componente DC en la corriente (por ejemplo, cuando se maneja una gran carga con rectificación de media onda). (Robayo, 2016).

En la tabla 2 se muestran los tipos de sensores de corriente. **(Robayo, 2016)**

Tabla 2

Comparación de tecnologías para censado de corriente.

TIPO DE SENSOR DE CORRIENTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistivo Shunt	Bajo costo y buena linealidad en medición.	Ante altas corrientes pobre respuesta, offset dc e inductancias parásitas, no ofrece aislamiento entre las etapas de alta tensión y baja tensión.
	Buena respuesta ante altas corrientes, bajo consumo de potencia. Aislamiento entre	Histéresis, saturación dc a altas corrientes, cambio de fase de la variable sensada

CONTINUA



Transformador de corriente	etapa de potencia y etapa de control.	por efectos de la inductancia, susceptibles a campos magnéticos externos.
Sensor de Efecto Hall	Buen desempeño ante altas corrientes, amplio rango dinámico.	Histéresis, saturación, alto costo y vulnerable a cambios de temperatura
Bobina de Rogowski	Bajo costo, no tiene límite de saturación, bajo consumo de potencia, inmune a Offset dc, amplio rango dinámico.	La salida es una derivada del voltaje de entrada, por lo que es necesario un integrador análogo o digital. Sensible a interferencias electromagnéticas (EMI).

Fuente: (Robayo, 2016)

2.2.5.3 Dispositivo de Adquisición de Datos DAQ.

La adquisición de datos (DAQ) que se puede obtener es un proceso de medir con una PC distintas variables y fenómenos eléctricos o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con otros tipos de sistemas de medidas eléctricas, los sistemas DAQ interconectados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la visualización, productividad y las habilidades de poderse conectar fácilmente con las PCs estándares en el ámbito industria proporcionando una solución de medidas más flexible, rentables y potentes. (National.Instruments., 2018)



Figura 14. Estructura de un sistema de adquisición y validación de datos.
Fuente: (Veto., 2016)

Ventajas de un sistema DAQ

El uso de estos sistemas se ha masificado ampliamente en sectores industriales por la gran aplicación que ofrecen en relación con otros dispositivos: (Veto., 2016)

- Facilitan el trabajo de análisis y acceso a la información, particularmente cuando se trata de grandes volúmenes de datos.
- Posibilitan un mayor nivel de seguridad sobre los datos, los que pueden ser respaldados en uno o más dispositivos y luego ser consultados rápidamente.
- Otorgan una mayor facilidad de control y monitoreo, ya que pueden operar con varios sensores ubicados físicamente en lugares distintos.
- Permiten un importante ahorro en los costos; además, cada uno de los componentes antes señalados puede ser renovado en forma independiente.

El sensor.

Es una medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor. Un sensor, también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo

eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ. (National.Instruments., 2018)

Dispositivo DAQ.

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos. Por ejemplo, los convertidores digitales-analógicos (DACs) envían señales analógicas, las líneas de E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales. (National.Instruments., 2018)

- **Acondicionamiento de Señales.**

Las señales de los sensores o del mundo exterior pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para medirse directamente. El circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal de tal forma que es apropiado para entrada a un ADC. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores. (National.Instruments., 2018)

- **Convertidor Analógico Digital (ADC)**

Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por el equipo digital como una PC. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un ADC realiza "muestras" periódicas de la señal a una razón predefinida. Estas muestras son transferidas a una PC a través de un bus, donde la señal original es reconstruida desde las muestras en software. (National.Instruments., 2018)

- **Bus de la PC**

Los dispositivos DAQ se conectan a una PC a través de una ranura o puerto. El bus de la PC sirve como la interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y la PC para pasar instrucciones y datos medidos. Los dispositivos DAQ se ofrecen en los buses de PC más comunes, incluyendo USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Recientemente, los dispositivos DAQ han llegado a estar disponibles para 802.11 Wi-Fi para comunicación inalámbrica. Hay varios tipos de buses y cada uno de ellos ofrece diferentes ventajas para diferentes tipos de aplicaciones. (National.Instruments., 2018)

PC y Software.

- **Software Controlador**

El software controlador ofrece al software de aplicación la habilidad de interactuar con un dispositivo DAQ. Simplifica la comunicación con el dispositivo DAQ al abstraer comandos de hardware de bajo nivel y programación a nivel de registro.

Generalmente, el software controlador DAQ expone una interfaz de programación de aplicaciones (API) que es usada en un entorno de programación para construir software de aplicación. (National.Instruments., 2018)

- **Software de Aplicación**

El software de aplicación facilita la interacción entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas. Puede ser una aplicación pre-construida con funcionalidad predefinida o un entorno de programación para construir aplicaciones con funcionalidad personalizada. Las aplicaciones personalizadas generalmente son usadas para automatizar múltiples funciones de un dispositivo DAQ, realizar algoritmos de procesamiento de señales y mostrar interfaces de usuario personalizadas. (National.Instruments., 2018)

TARJETA DAQ USB 6210

Es un dispositivo DAQ multifunción. Ofrece entrada analógica, entrada digital, salida digital y dos contadores de 32 bits. El dispositivo proporciona un amplificador integrado diseñado para configuraciones rápidas a altas velocidades de escaneado. También cuenta con la tecnología NI Signal Streaming que permite la transferencia de datos bidireccional a alta velocidad parecida a DMA a través del bus USB. El dispositivo es ideal para aplicaciones de prueba, control y diseño, entre ellas, registro de datos portátil, monitoreo de campo, OEM embebidas, adquisición de datos del vehículo y aplicación académica. (National.Instruments., 2018)



Figura 15. Tarjeta de adquisición de datos.

Fuente: (National.Instruments., 2018)

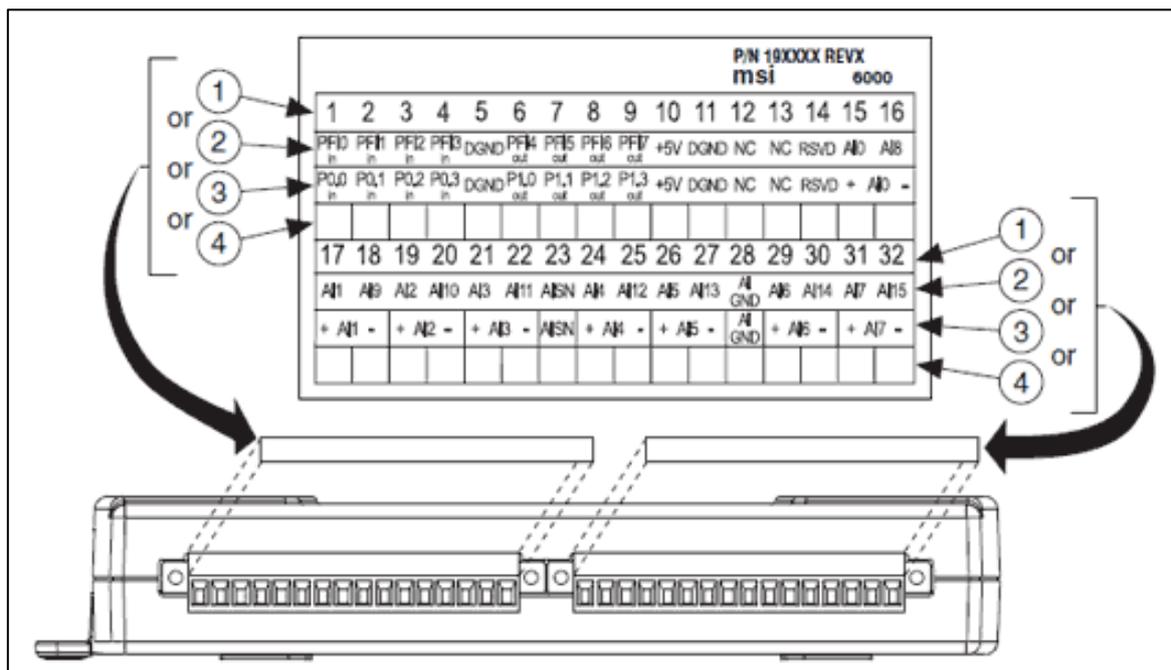


Figura 16. Etiqueta de Número de Terminal (1), Etiqueta de Nombre de Señal de Una Sola Terminal (2), Etiqueta Diferencial de Nombre (3) y Etiqueta Personalizada Definida por el Usuario (4).

Fuente: (National.Instruments., 2018)

2.2.5.4 Encoder.

Los Encoders son sensores que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranajes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición. Las señales eléctricas de rotación pueden ser elaboradas mediante controles numéricos (CNC), controles lógicos programables (PLC) y sistemas de control. (Oñate. C. & Pinta. Y., 2013)



Figura 17. Encoder

Fuente: (Oñate. C. & Pinta. Y., 2013)

- **Encoder incremental**

Este tipo de encoder se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz, es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje. (Oñate. C. & Pinta. Y., 2013)

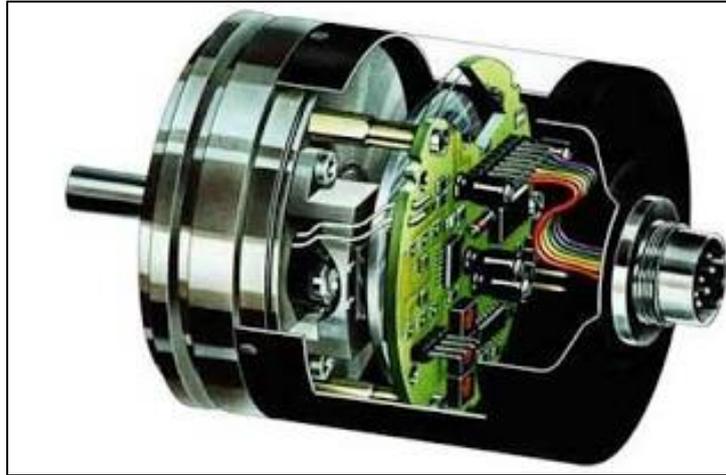


Figura 18. Encoder incremental

Fuente: (Oñate. C. & Pinta. Y., 2013)

- **Encoder absoluto**

En el encoder absoluto, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray. (Oñate. C. & Pinta. Y., 2013)



Figura 19. Encoder absoluto

Fuente: (Oñate. C. & Pinta. Y., 2013)

2.2.6 Plataforma LabVIEW.

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench y fue creado por National Instruments en 1976 para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986 y ahora está disponible para múltiples plataformas tales como Windows, UNIX, MAC y Linux. LabVIEW es un programa para el desarrollo de aplicaciones de propósito general que National Instruments (NI) ha creado para facilitar la programación de instrumentos virtuales (VI's). LabVIEW se encarga de gestionar los recursos de la computadora a través de un entorno sencillo, rápido y eficiente. (Pérez., 2011)

Los programas hechos en LabVIEW se llaman Virtual Instruments (VI), lo que da una perspectiva de uso en origen: el control de instrumentos. El slogan de LabVIEW es: "La potencia está en el Software". Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no solo en ámbitos de prueba, control y diseño) y el permitir la entrada a la informática a programadores inexpertos. (Pérez., 2011)

Además de la distribución del software, National Instruments también fabrica hardware para asociarlo con su software, desarrolla hardware como tarjetas de adquisición de datos, controlador de automatización programable (PAC), Visión (cámaras, inteligencia artificial), y acopla hardware de otras empresas. (Pérez., 2011)

Principales usos y características de LabVIEW

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos y análisis matemático.
- Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante.

- Automatización industrial y programación de controladores de automatización programable.
- Diseño de controladores: simulación, prototipaje rápido, hardware-en-el-ciclo (HIL) y validación.
- Diseño embebido de micros y chips
- Control y supervisión de procesos
- Visión artificial y control de movimiento
- Robótica.
- Domótica y redes de sensores inalámbricos.

Características de la herramienta de programación gráfica.

- Entorno de desarrollo grafico; desaparece el código en formato de texto que estamos acostumbrados a utilizar, con esto se consigue una forma de programación más intuitiva.
- Diseño de interfaz gráfica del instrumento virtual utilizando elementos (controles numéricos, graficas, etc.) prediseñados.
- Gestión automática en la creación de hilos de ejecución.
- Herramientas convencionales para la depuración de los programas, ejecución paso a paso, puntos de ruptura, flujo de datos.
- Programación modular
- Interfaces de comunicación: Puerto Serial (RS-232, RS422, RS485), puerto paralelo, protocolo GPIB, PXI, VXI, puerto infrarrojo, bluetooth, Usb, TCP/IP, UDP y Data Socke.
- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones
- Visualización y manejo de gráficos con datos dinámicos

- Adquisición y tratamiento de imágenes
- Control de movimiento
- Tiempo real
- Sincronización entre varios dispositivos



Figura 20. Software LabVIEW

Fuente: (Pérez., 2011)

2.3 Fundamentación legal.

“Según el artículo 387, número 2 de la Constitución de la República del Ecuador establece que es responsabilidad del Estado promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica para así contribuir a la realización del buen vivir, al “Sumak Kawsay”.” (Asamblea Nacional, 2008)

“En el Art. 350 de la Constitución de la República del Ecuador señala que el Sistema de Educación Superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo.” (Asamblea Nacional, 2008).

2.3.1 Normas y reglamentaciones

La norma internacional IEC/EN 60 947-4-1 indica en su apartado 3.2.1 la siguiente definición “un arrancador de motor es la combinación de todos los medios necesarios

para arrancar y parar un motor en combinación con la protección adecuada contra las sobrecargas”. Y en la misma norma, en el apartado 3.2.7 especifica lo siguiente “un arrancador combinado está compuesto por un arrancador, un dispositivo de conexión accionado externamente a mano y un equipo de protección contra cortocircuitos, las características de diseño, propiedades funcionales y ensayos requeridos para aparatos de conexión de baja tensión.

Los interruptores automáticos protegen a los motores que cumplan los requerimientos de IEC/EN 60 947 (Normas generales), IEC/EN 60 947-4-1 (Arrancadores de motor y contactores electromecánicos), IEC/EN 60 947-2 (Interruptores automáticos).

Términos empleados en las normas

Las definiciones y explicaciones que se dan a continuación tienen como objetivo facilitar una mayor comprensión de los conceptos establecidos en la norma IEC/EN 60947. Eaton Industries (Spain) S.L. no asume ninguna responsabilidad por las posibles interpretaciones divergentes de los textos. En todo caso el texto que prevalece es el indicado en la propia norma IEC/EN 60947.

- **Corriente asignada ininterrumpida I_u .** Es la corriente que el interruptor automático protector de motor puede conducir en un funcionamiento ininterrumpido.
- **Poder asignado de corte límite en cortocircuito I_{cu} .** Es la corriente de cortocircuito máxima que un interruptor automático es capaz de interrumpir. Después de la interrupción de este valor de corriente de cortocircuito, el interruptor automático debe ser capaz de desconectar en caso de una

sobrecarga, pero a un nivel de tolerancias más elevado (test de acuerdo con IEC/EN 60947-2).

- **Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito I_{cs} .** Es la corriente de cortocircuito eventual que, dependiendo de la tensión asignada de empleo, un interruptor automático es capaz de cortar repetidamente. Después de la interrupción de este valor de corriente de cortocircuito, el interruptor automático debe ser capaz de continuar conduciendo y desconectar en caso de sobrecarga la intensidad asignada ininterrumpida (test de acuerdo con IEC/EN 60947-2).
- **Corriente asignada de cortocircuito condicional I_q .** Es la corriente de cortocircuito que un aparato de conexión (p.e. un contactor) protegido mediante un aparato protector contra cortocircuito (p.e. un interruptor automático protector de motor), puede resistir durante el tiempo de retardo del disparo del aparato protector (test de acuerdo con IEC/EN 60947-4-1).
- **Sensibilidad a defecto de fase.** Es la capacidad de los relés de sobrecarga (tales como los interruptores automáticos protectores de motor) de proteger un motor cuando falla la alimentación de una fase (p.e. rotura de un cable), lo que ocasiona una sobrecarga en las 2 fases restantes. Con esta característica el disparo se produce antes de alcanzar sobrecargas peligrosas y perjudiciales para los devanados del motor.

2.3.2 Norma IEC 947-4

Esta norma define en el marco de una utilización normal de los contactores, las condiciones de establecimiento y corte de la corriente en función de la corriente asignada de empleo I_e y de la tensión asignada de empleo U_e .

Categorías de empleo de los contactores en AC.

- AC-1: Cargas no inductivas o ligeramente inductivas, hornos de resistencia. $\cos \phi \geq 0,95$.
- AC-2: Motores de anillos: arranque, frenado a contracorriente y funcionamiento por sacudidas.
- AC-3: Motores de jaula, arranque, corte del motor lanzado,
- AC-4: Motores de jaula: arranque, frenado a contracorriente y funcionamiento por sacudidas.
- AC-5a: Mando de lámparas de descarga
- AC-5b: Mando de lámparas incandescentes
- AC-6a: Mando de transformadores.
- AC-6b: Mando de condensadores
- AC-8a: Mando de compresores herméticos de refrigeración con rearme manual de los disparadores de sobrecarga

2.3.3 Norma IEC 60034-30

“Esta norma define, estandariza y especifica los niveles de eficiencia energética para motores de inducción eléctricos trifásicos de 50 y 60 Hz, de velocidad única, de jaula de ardilla con 2, 4 o 6 polos, la clasificación de rendimiento se norman en 3 niveles IE1 (estándar), IE2 (high) e IE3 (premium), para los motores de corriente trifásico, baja tensión, en todo el mundo. Este sistema maneja los códigos IP, IM e IC los cuales se utilizan desde hace mucho tiempo en la construcción de máquinas eléctricas.”

Eficiencia energética.

En la norma IEC 60034-30 se han definido nuevas clases de eficiencia (o rendimiento) para los motores de inducción (IE = International Efficiency) siendo estos los siguientes:

- IE1 Eficiencia Estándar.
- IE2 Alta Eficiencia.
- IE3 Eficiencia Premium

Eficiencia Estándar IE1

Es el estándar general y básico empleado en la construcción de motores eléctricos trifásicos los cuales en la actualidad presentan las siguientes consideraciones:

- Mayor potencia de consumo.
- Mayor consumo energético.
- Menor eficiencia en relación a su precursor (IE2, IE3)

Eficiencia Premium IE3

Es una nueva clase de eficiencia para motores eléctricos, esta clase presenta nuevos y mejorados estándares para su construcción; de sus principales ventajas y beneficios se pueden señalar los siguientes:

- Se reduce considerablemente el aumento de temperatura del motor, factor determinante en su vida útil.
- Por tener factores de servicio superiores, permite operaciones en regímenes intermitentes, con picos de carga superiores al nominal.
- Menor potencia de consumo.

- Tienen mayor reserva de potencia para operar en ambientes con temperaturas superiores a 40°C y en zonas de altitudes superiores.
- Son más adecuados en las aplicaciones con variadores de frecuencia.
- Reducido costo de mantenimiento

2.3.4 Norma IEC 60898-1

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) define que IEC 60898 - 1 ("Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecorrientes"). Aplica sobre interruptores de corte en aire para corriente alterna (50 ó 60 Hz), de tensión nominal no mayor a los 440 V (fase-fase), corriente nominal no mayor a 125 A y capacidad de ruptura no mayor a 25 kA.

En la tabla 3 se muestran las características comparativas entre los sistemas neumático e hidráulico

Tabla 3

Características de operación tiempo vs corriente IEC 60898-1

Ensayo	Tipo	Corriente	Condición Inicial	Límites de tiempo de disparo y no disparo	Resultado a obtener
a	B,C,D	1,13 I _n	Frío	t ≥ 1h (I _n ≤ 63 A) t ≥ 2h (I _n > 63 A)	No disparo
b	B,C,D	1,45 I _n	Inmediato al ensayo a	t < 1h (I _n ≤ 63 A) t < 2h (I _n > 63 A)	Disparo
c	B,C,D	2,55 I _n	Frío	1s < t < 60s (I _n ≤ 32 A) 1s < t < 120s (I _n > 32 A)	Disparo
d	B C D	3 I _n 5 I _n 10 I _n	Frío	t ≥ 0,1 s	No disparo
e	B C D	5 I _n 10 I _n 50 I _n	Frío	t < 0,1 s	Disparo

Fuente: (Correa., 2010)

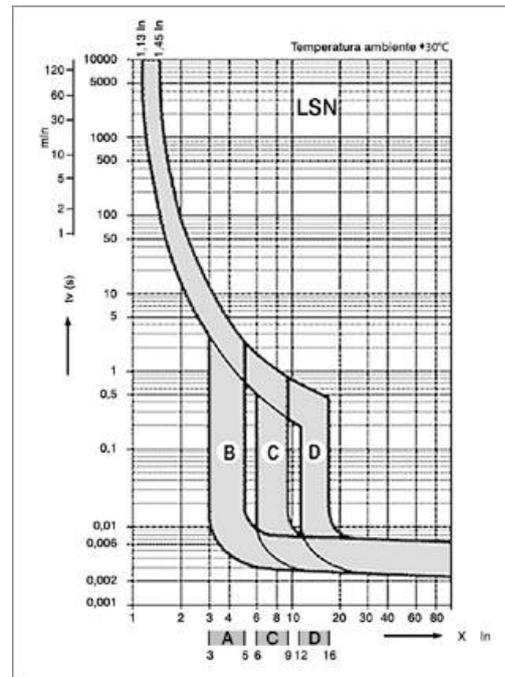


Figura 21. Curvas de funcionamiento definidas por IEC 60898-1.

Fuente: (Correa., 2010)

2.3.5 Normas para el diseño de motores eléctricos.

Muchos de los estándares de motores existentes en la actualidad han sido establecidos a través de organizaciones tales como:

- National Eléctrica Manufacturera Association (NEMA).
- IEEE es otra institución técnica que ha establecido estándares de prueba para la fabricación de motores.
- International Electrotechnical Commission (IEC)
- Canadian Standard Association, (CSA)
- Japanese Standards (JEC)
- Underwriters' Laboratories (UL) es una organización de prueba independiente la cual fija estándares para motores y otros equipos eléctricos.

Estas agencias reguladoras asisten en la apropiada selección y aplicación de motores. Los estándares incluyen definiciones, clasificaciones, dimensiones, pruebas y rendimiento, datos de aplicación y seguridad, como se muestra a continuación: (Valencia., 2002).

Estos acuerdos legales para todos los elementos eléctricos que se utilizan en el desarrollo y aplicación de grandes procesos industriales son validados y realizados pruebas bajo las normas establecidas y de esta forma poder mantener la seguridad y calidad de los mismos.

2.4 Sistemas de variables.

2.4.1 Variable dependiente.

Obtención de las curvas características de variables electromecánicas de los motores trifásicos asíncronos en estado dinámico.

2.4.2 Variable independiente.

Implementación de un sistema de monitoreo didáctico.

2.5 Hipótesis.

Se podrá detectar las curvas características de variables electromecánicas de motores trifásicos asíncronos en estado dinámico, para el análisis de comportamiento del sistema en tiempo real para el laboratorio de Control Eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

2.6 Operacionalización de variables.

En la tabla 4 y 5 se muestran las variables, definición conceptual y operacional en las que se pueden analizar cada una de estas variables al momento de validar los datos obtenidos por cada elemento de medición eléctrica directa (elementos de medida) o de forma indirecta (cálculos matemáticos).

Tabla 4

Cuadro operacionalización variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional		Técnicas
		Dimensiones	Indicadores	
Implementación de un sistema de monitoreo didáctico.	La implementación de un sistema de monitoreo consiste en analizar y validar variables electromecánicas en los motores eléctricos en su estado dinámico	Implementación del sistema de monitoreo	100 %	Cálculos Modelamiento Planos
		Validación de la implementación del sistema	100%	Encuestas
		Obtención de parámetros eléctricos y mecánicos	100%	Tabla de datos Ecuaciones matemáticas

Tabla 5

Cuadro de operacionalización variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional		Técnicas
		Dimensiones	Indicadores	
Obtención de las curvas características	El sistema de monitoreo permite obtener datos de las	Curvas características	Milisegundos	Pantalla software Labview

CONTINUA



de variables electromecánicas de los motores trifásicos asíncronos en estado dinámico.	variables electromecánicas en tiempo real y mediante una interfaz poder visualizar el comportamiento del motor en estado dinámico	Tiempo de arranque	de	Milisegundos	Tablas de datos	de
--	---	--------------------	----	--------------	-----------------	----

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo pretende realizar la medición de variables automáticas eléctricas, utilizando para la adquisición de datos el sensor (TP) para la medición de voltaje alterno, el sensor (TC) para la medición de la corriente alterna, un encoder (incremental) que se empleara para la medición de la velocidad, para la obtención de datos para determinar los valores de torque.

3.1 Modalidad de la investigación

Las modalidades utilizadas en la presente investigación son: bibliográficas y de campo, producto de ello se presenta la solución al problema que beneficia directamente a la adquisición de variables eléctricas mediante un módulo de ensayo para motores asíncronos trifásicos.

De campo

La investigación se realiza en la ciudad de Latacunga en el laboratorio de control eléctrico de la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga.

Bibliográfica

Los estudios se fundamentan en los estudios técnicos referentes al diseño y construcción de módulos para la adquisición de variables eléctricas de motores asíncronos trifásicos y respaldados en fuentes confiables que contribuyen a la mejor guía en la ejecución del proceso investigativo.

3.2 Tipos de investigación.

Cuantitativo

Para la medición de los datos obtenidos se realiza pruebas de adquisición de datos de voltaje y corriente mediante sensores (Tc, Tp) y para poder adquirir la variable de velocidad la utilización de un encoder incremental.

Diseño de la investigación

El trabajo pretende realizar la medición de voltaje y corriente del motor asíncrono trifásico de 3 HP, utilizar los sensores (TC TP) para determinar los valores en el arranque y cómo se comporta en el tiempo utilizando el software LabVIEW para su visualización

Para ello se utiliza el enfoque Empirista-Inductivo, que consta de:

Método de hallazgo: inductivo. – Se trata del análisis, donde al adquirir los valores de voltaje y corriente mediante los sensores (Tc y Tp), permite establecer los parámetros del diseño del módulo de adquisición de variables eléctricas.

Método de contrastación: Experimental. – Para determinar los parámetros de diseño del módulo de variables eléctricas, se debe experimentar en la adquisición de los datos de las variables eléctricas de los motores asíncronos trifásicos.

Una vez determinada las variables eléctricas de los motores los cuales son: voltaje, corriente, velocidad y torque se procede a diseñar el módulo de adquisición de las variables, que permiten satisfacer las necesidades de adquisición de datos del laboratorio de Control Eléctrico, al tratarse de diseño en este caso se utiliza el enfoque Racionalista – deductivo el cual consta de:

Método de hallazgo: Deductivo. – debido a que se procede de la necesidad de adquisición de variables eléctricas de voltaje, corriente, velocidad, torque se procede a obtener estos datos mediante los sensores y ecuaciones de cálculo respectivas

Método de contrastación: Experimental. – para determinar el correcto diseño del módulo de adquisición de los datos de las variables eléctricas de los motores asincrónicos trifásicos, se debe medir en condiciones normales el motor de 3HP con sus diferentes cargas para visualizar mediante el software de LabVIEW el comportamiento de las variables de un motor asincrónico trifásico.

3.3 Niveles de investigación.

Exploratorio

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de la ciudad de Latacunga no se dispone de un módulo didáctico para ensayos de motores eléctricos asíncronos trifásicos de 3HP para la adquisición de variables eléctricas en el Laboratorio de Control Eléctrico.

Descriptiva

En la investigación se recolecta datos, aspectos, medidas y características de la problemática a estudiar de forma independiente, relacionando con los conceptos de voltaje y corriente de arranque de un motor asíncrono trifásico de 3HP.

3.4 Población y muestra.

Para este presente trabajo se considerará como población a los alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica de los cuales la muestra se realiza a partir de los alumnos que ya tienen conocimiento de máquinas eléctricas

3.5 Técnicas de recolección de datos.

Será necesaria contar con suficiente información como se detalla en la tabla.

Tabla 6

Técnicas de recolección de datos

PREGUNTAS BASICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para investigar la percepción del personal respecto a la adquisición automática de variables eléctricas.
2. ¿De qué personas u objetos?	De equipos de medida voltaje, corriente, velocidad.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Estudio de variables eléctricas
4. ¿Quién? ¿Quiénes?	Investigador
5. ¿Cuándo?	2018
6. ¿Dónde?	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
7. ¿Cuántas veces?	Una vez
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Mediciones
9. ¿Con que?	Bitácora
10. ¿En qué situación?	Normal

3.6 Instrumento(s)

Los instrumentos utilizados para registrar la información durante la ejecución del presente proyecto fueron de tipo estadístico se representaron en tablas que fueron registrados en bitácoras. Para el soporte estadístico se utiliza: las mediciones de voltaje y corriente con los sensores (Tc y Tp) y la velocidad con un encoder.

3.7 Valides y confiabilidad

Para el procesamiento de la información se seguirá varios procedimientos en base a criterios establecidos como:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no permitente, etc.
- Repetición de la recolección, en ciertos casos individuales, para corregir de medición.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, etc.
- Manejo de información (mediante gráficos y diagramas que asocian a las variables y a los parámetros de herramientas, y utilizando también tablas explicativas) con el apoyo de herramientas informáticas.
- Estudio estadístico de los datos para la presentación de resultados.

3.8 Técnicas de análisis de datos.

- Para el procesamiento de la información se seguirá varios procesos en base a criterios establecidos como:
- Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.

- Repetición de la recolección, en ciertos casos individuales, para corregir fallas de contestación.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadros con cruce de variables, etc.
- Manejo de información (mediante gráficas y diagramas que asocian a las variables y a los parámetros involucrados, y utilizando también tablas explicativas) con el apoyo de herramientas informáticas.

3.9 Técnicas de comprobación de hipótesis.

- Análisis de los resultados estadísticos, destacados tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Interpretación de los resultados, en el aspecto pertinente.
- Comprobación de la hipótesis planteada.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos de la investigación.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Análisis de los resultados

Una vez realizada las encuestas se obtuvo el registro de datos, los cuales se deben someter a un proceso de análisis que permita precisar las causas que llevaron a tomar la decisión de realizar el proyecto.

4.1.1. Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

Tabla 7

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica

NIVEL	ESTUDIANTES
SEXTO	7
SÉPTIMO	25
OCTAVO	15
NOVENO	16
TOTAL	63

Se ha considerado a los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica desde sexto nivel, ya que son los que tienen un conocimiento previo a la asignatura de máquinas eléctricas. Teniendo así un universo de 63 estudiantes encuestados.

4.1.2. Análisis de las preguntas realizadas en la encuesta.

PREGUNTA 1.

¿Cuál es el valor de la corriente al momento del arranque de un motor?

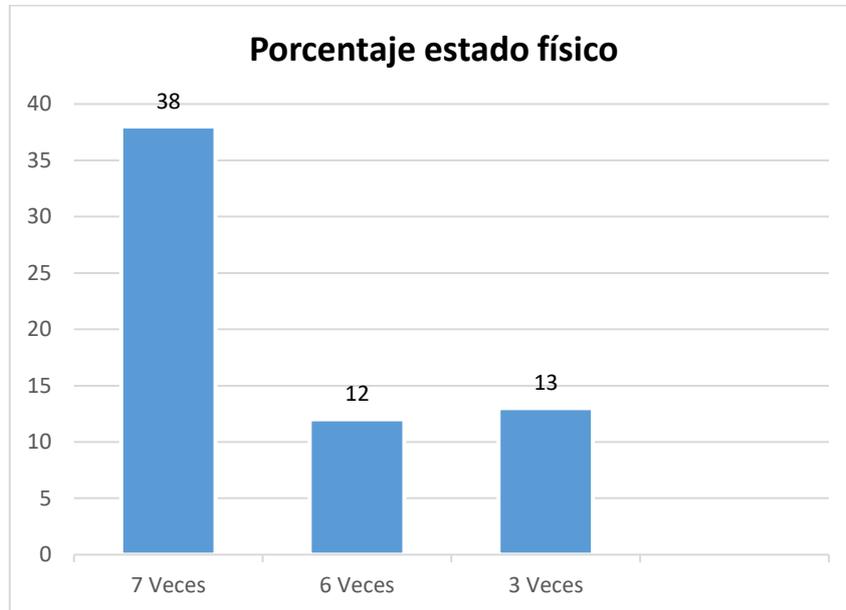


Figura 22. Análisis estadístico del valor de la corriente.

Se deduce que 38 estudiantes que corresponde al 60,31 % asegura que el arranque de un motor es 7 veces la nominal, 12 estudiantes que corresponde al 20,63% contesta que la corriente de arranque del motor es 3 veces la nominal y 13 estudiantes que es el 19,04% responde que la corriente en el momento de arranque es de 6 veces la nominal.

PREGUNTA 2.

¿Seleccione cuáles son los tipos de arranques que usted ha realizado en el laboratorio de máquinas eléctricas?

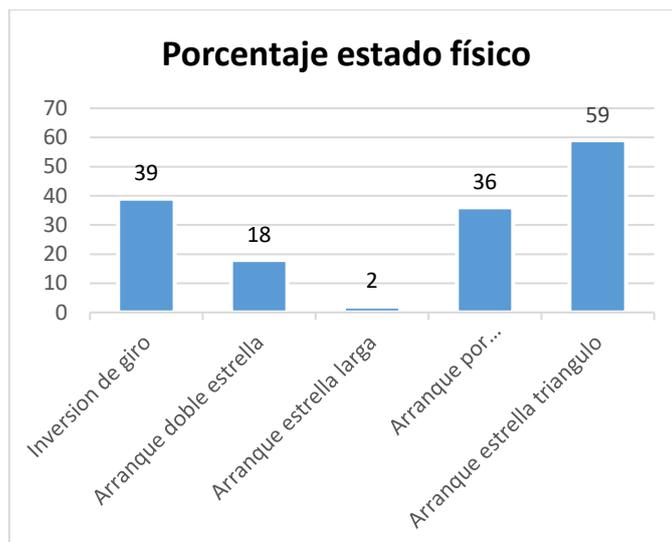


Figura 23. Análisis estadístico de los arranques de un motor.

Se puede notar que la conexión del esquema estrella – triangulo es la más conocida por 59 estudiantes que corresponde al 93,65 % y solo 2 estudiantes que corresponde al 3,17 % responde que conocen el circuito de un arranque estrella larga.

PREGUNTA 3.

¿Sabe usted que es un transitorio?

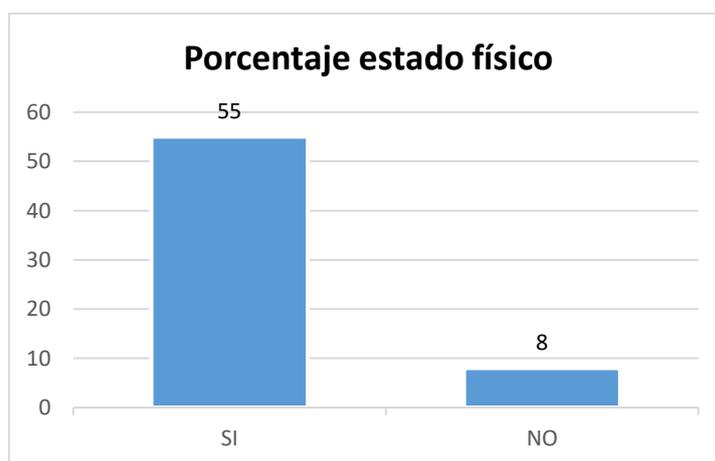


Figura 24. Análisis estadístico de los transitorios.

Se puede concluir que 55 estudiantes que corresponde al 87,30 % saben la definición y fenómenos por los cuales se producen los transitorios y 8 estudiantes que

corresponde al 12,69 % responden que no conocen que es un transitorio ni las causas que las provocan.

PREGUNTA 4.

¿Conoce usted para que sirve los siguientes elementos de medida?

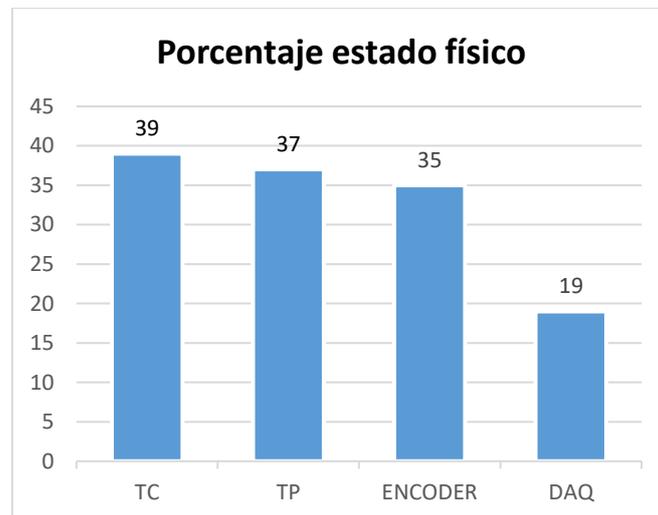


Figura 25. Análisis estadístico de los elementos de medición.

Se puede concluir que el 61,90 % conocen la utilización de sensores de corriente y potencial ya que son elementos de mediciones eléctricas que se encuentran en el diario vivir de los electromecánicos, en cambio el 69,84 % responde que no conocen que es una DAQ ya que son elementos electrónicos y en la universidad no se ha podido realizar prácticas con estos elementos.

PREGUNTA 5.

¿Ha tenido la oportunidad de visualizar las formas de onda de corriente y velocidad del arranque de un motor en tiempo real?

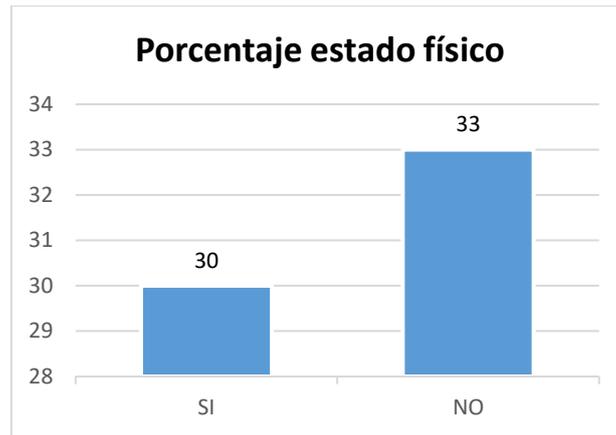


Figura 26. Análisis estadístico de las ondas de corriente y velocidad.

Se puede concluir que 33 estudiantes que corresponde al 52,38 % ha tenido la oportunidad de poder visualizar las ondas de corriente y velocidad de un motor al momento de un arranque, cabe recalcar que las visualizaciones de esta forma de ondas has sido posibles en programas computacionales y simulaciones en softwares como Matlab - Simulink, por otra parte 30 estudiantes que es el 47,61 % no ha tenido la oportunidad de visualizar estas curvas características de un motor.

PREGUNTA 6.

¿Cree usted que sería factible implementar un módulo didáctico donde se pueda visualizar todas las formas de onda eléctrica de un motor al momento de su funcionamiento?

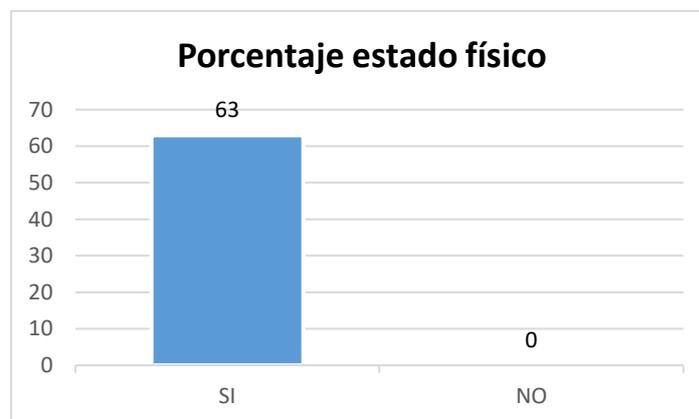


Figura 27. Análisis estadístico de la implementación del sistema.

Se puede concluir que el 100% de estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica impulsa a la implementación de un sistema de monitoreo didáctico para poder analizar y visualizar las variables eléctricas en estado transitorio de un motor eléctrico trifásico.

4.1.2. Validación de la propuesta.

Analizando los datos obtenidos por los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica, llegamos a la conclusión que la implementación de un sistema de monitoreo para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono de 3HP es factible para la enseñanza y aprendizaje de los docentes y estudiantes de la misma.

4.2. Comprobación de hipótesis

La comprobación de la hipótesis del proyecto planteado es lo que facultará la viabilidad del mismo para saber si será o no rechazada la hipótesis planteada.

Para lo cual se recomienda los siguientes pasos:

a) Plantear la hipótesis

- ✓ Hipótesis Nula
- ✓ Hipótesis Alternativa

b) Estadístico de prueba

4.2.1. Planeamiento de hipótesis

a) Hipótesis nula

No se puede implementar un sistema de monitoreo para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 hp.

b) Hipótesis alternativa

Se puede implementar un sistema de monitoreo para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 hp.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1. Tema de la propuesta

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo, para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 HP, en el laboratorio de control eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga.

5.2 Datos Informativos

Nombre de la empresa: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga Laboratorio de Control Eléctrico.

Dirección: Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Laboratorio de Control Eléctrico.

5.2.1 Beneficiarios

Estudiantes pertenecientes a las carreras técnicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga que hagan uso de las instalaciones del Laboratorio de Control Eléctrico.

5.3 Objetivos

5.3.1 Objetivo general

Diseñar e Implementar un sistema de monitoreo aplicando programación gráfica, para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 HP, en el laboratorio de control eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga.

5.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los elementos necesarios para el sistema de monitoreo de variables electromecánicas en estado dinámico.
- Diseñar e implementar las componentes pertenecientes al sistema de monitoreo para la adquisición de variables electromecánicas en estado dinámico.
- Adquirir la medición de las magnitudes de las variables electromecánicas: corrientes de líneas, voltajes de entrada, velocidad del motor, potencia y torque de la máquina.
- Acondicionar, procesar y programar las variables electromecánicas obtenidas para el adecuado ingreso a la DAQ.
- Visualizar, interpretar y analizar las curvas características adquiridas de la máquina en funcionamiento en estado dinámico.

5.4 Justificación de la propuesta

Con la ayuda del módulo didáctico que se va a implementar se desea visualizar las curvas de las variables eléctricas cuando el motor inicializa su funcionamiento cambiando de estado estacionario a dinámico, con lo cual se logrará analizar el funcionamiento del motor eléctrico trifásico de 3HP y de esta manera se podrá visualizar el efecto dinámico o transitorio que sufre el motor al momento de su arranque, inversión de giro, cambio de arranque, etc.

5.5 Fundamentación de la propuesta

En el siguiente capítulo se mostrará la propuesta de implementación de un módulo didáctico el cual estará conformado por: un motor eléctrico de 3HP de potencia, tarjeta de adquisición de datos (DAQ), transformadores de potencia, transformadores de

corriente, sensor de velocidad (encoder). Al momento de arrancar el motor los sensores de corriente, voltaje y velocidad, con la ayuda de la tarjeta de adquisición de datos DAQ, se podrá visualizar la variación de corriente, velocidad, corriente vs velocidad, dichas señales serán visibles en un computador esto será posible a través de la interfaz entre la tarjeta DAQ y la PC con la ayuda del software LabVIEW el cual permite visualizar las gráficas en tiempo real, al mismo tiempo que se genera una base de datos de las señales analizadas.

5.6 Diseño de la propuesta.

5.6.1 Resumen

En este capítulo se realizará el procedimiento que se va a ejecutar para la realizar la propuesta.

- **Selección de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ):** Para la selección del rango de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) tomamos en cuenta la capacidad de adquisición y almacenamiento de datos medidas a través del sensor de corriente y voltaje, medida del sensor de velocidad para lo es necesario considerar la máxima velocidad que el motor alcanza, para lo cual considerar la resolución que el encoder pose que indica el número de puntos por vuelta.

- **Generación del corriente y voltaje:** A través de la aplicación de carga mecánica por medio del acople existente entre el motor y generador, y mediante la aplicando de carga por medio de resistencias, considerando el doble arranque del motor se podrá verificar la variación de corriente y voltaje.

- **Obtención de medidas:** Las señales que envía el circuito de acondicionamiento hacia la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), la cual procesa las

señales electromecánicas y mecánica son remitidas hacia el ordenador para poder ser visualizadas a través del software LabVIEW y poder realizar el respectivo análisis.

- **Procesamiento de señal:** A través de un controlador se recepta las señales del circuito de acondicionamiento de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) y traducirlas en unidades convencionales de voltaje.

- **Comunicación con el ordenador:** A través de un protocolo de comunicación con el software LabVIEW, se realizará el desarrollo del entorno gráfico y con esto se podrá realizar la interfaz de comunicación entre el módulo DAQ y la PC.

- **Resultado final:** Visualización las señales eléctricas y magnitudes físicas: voltaje, corriente, potencias, velocidad y torque.

5.6.2 Arquitectura del proyecto

En la Figura 28 se indica el diagrama de conexión del sistema de monitores para realizar el procesamiento y visualización de las señales eléctricas obtenidas de los sensores TC's, TP's y encoder.

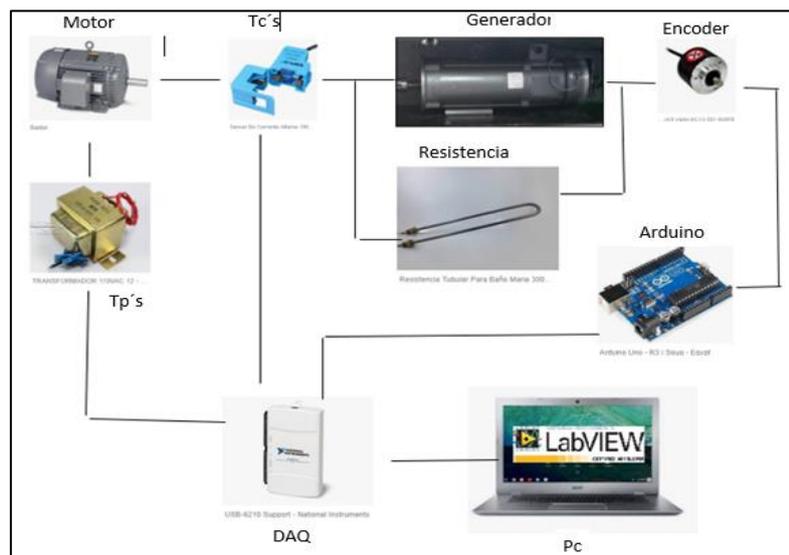


Figura 28. Diagrama de conexión del sistema de monitoreo.

5.6.3 Diagrama de mando y control del motor.

En la figura se muestra la conexión del circuito de potencia para el arranque de un motor en doble Y, Y larga e inversión de giro, con la utilización de contactores AC3 de 18 A.

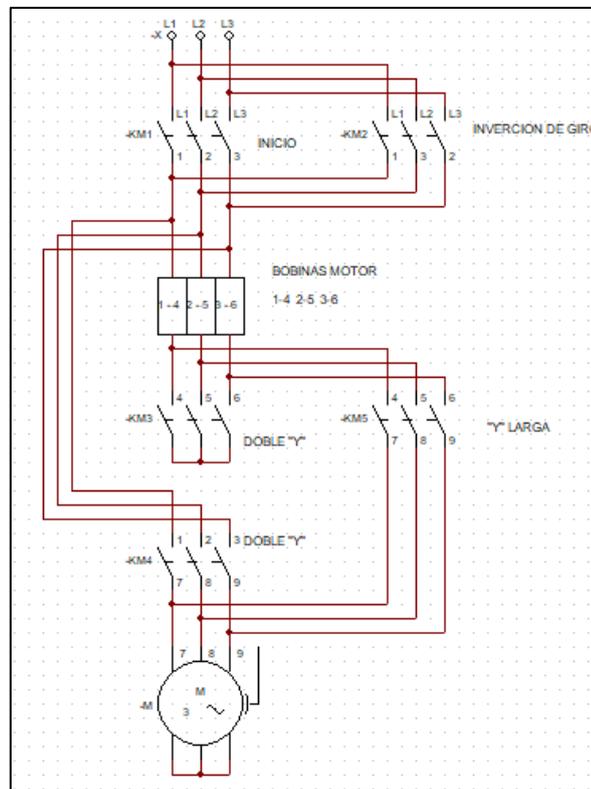


Figura 29. Diagrama de potencia.

5.6.4 Diagrama de mando y control del motor.

En la figura se muestra la conexión del circuito de control para los cambios de estado en los diferentes tipos de arranques.

Funcionamiento:

- Al pulsar S1 se da inicio al funcionamiento de la máquina para iniciar con cualquier tipo de arranque.
- Los pulsadores S2 y S3 arrancan el motor en conexión doble Y o Y larga correspondientemente.
- El pulsador S4 invierte el giro del motor.

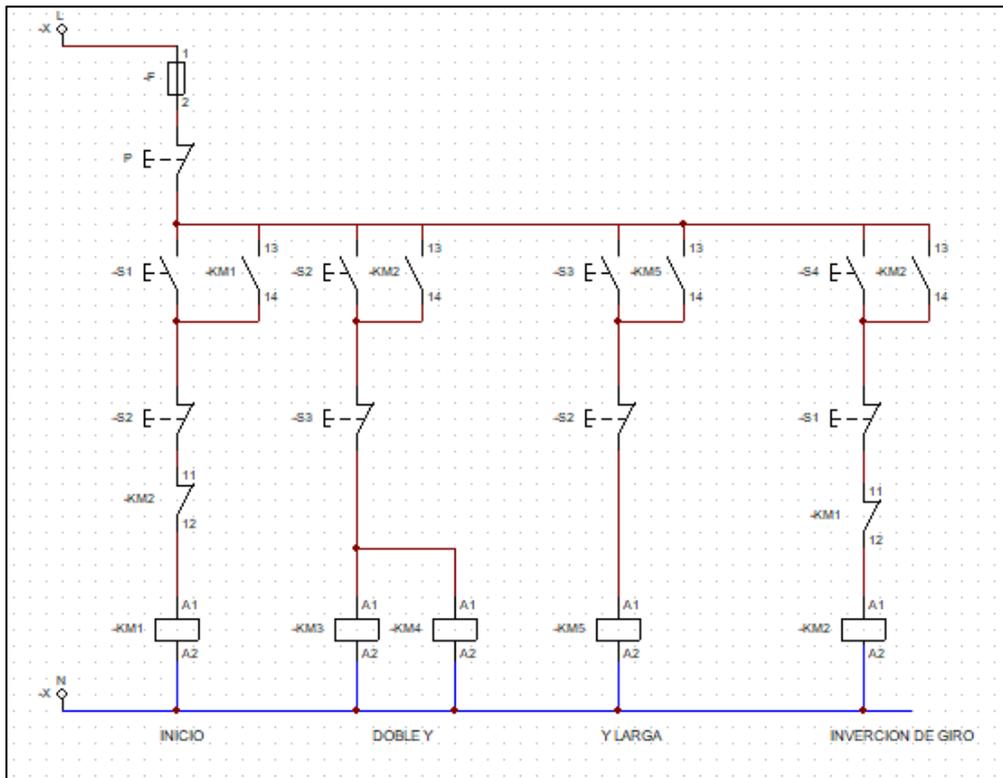


Figura 30. Diagrama de control.

5.7 Selección de los componentes.

Para seleccionar los elementos requeridos para en módulo DAQ se realizó una comparación de las características de operación tanto mecánicas como eléctricas, considerando el voltaje de entrada, capacidad de corriente compatibilidad con la tarjeta DAQ los cuales van a establecer los parámetros de diseño

5.7.1 Selección de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

Para la selección de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) se debe tomar en consideración la transferencia de datos bidireccional a alta velocidad a través del bus USB, control y diseño, entre ellas, registro de datos portátil, monitoreo de voltaje, corriente, velocidad y torque para lo cual la adecuada tarjeta de adquisición de datos es la DAQ USB-6210 ya que se requiere una adquisición de datos a una velocidad real de 250 Ks/s.

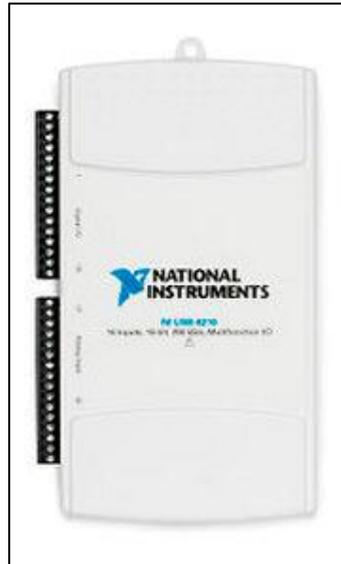


Figura 31. (DAQ USB-6210).

Justificación.

Se tomó en consideración la tarjeta de adquisición de datos DAQ la cual fue seleccionada debido al número de almacenamiento y adquisición que la DAQ puede realizar con una velocidad de 250Ks/s la cual es necesaria para poder recolectar la cantidad de valores necesarios para formar las gráficas necesarias para el análisis del proyecto.

Ya que con otras tarjetas la velocidad de recolección y almacenamiento de datos es muy lenta y no permite visualizar correctamente las ondas necesarias para el análisis del proyecto.

5.7.2 Selección de la placa de control.

Para la selección de la placa controladora, la cual sirve para el acondicionamiento de velocidad se consideró las siguientes variables que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8
Placas de control

Modelo	Arduino
Voltaje de alimentación	5V
Procesador	ATMega 328
Puerto USB	1
Velocidad	16MHz
RAM	2KB

a. Selección del controlador para la señal de velocidad

La señal de velocidad angular que envía el encoder (componente del sensor de velocidad) es procesada por medio de la placa de control Arduino Uno.



Figura 32. Arduino UNO

Justificación.

Se ha tomado el Arduino Uno ya que procesará la señal de alta frecuencia que emite el encoder hacia el sensor, debido a que se necesita una alta velocidad de procesamiento en dicha señal, por lo cual se ha escogido este controlador.

5.7.3 Criterios de selección de TC'S y TP'S

Se toma en consideración los niveles de voltaje y corriente los cuales están dados por el dato de placa del motor, teniendo en consideración la conexión con la tarjeta de adquisición de datos para obtener las señales de corriente y voltaje

5.7.4 Criterio de selección de la interfaz de comunicación

En la Tabla 9 se indican las características de la interfaz de comunicación USB2HAB6

Tabla 9
Características de la USB2HAB6

Protocolo de comunicación	USB2HAB6
Velocidad de transferencia	489MbP/s
Puerto	USB

Justificación.

El protocolo de comunicación 480 Mbps es un elemento compatible con los ordenadores y es utilizado en la Tarjeta de Adquisición de Datos (DAC). Este protocolo es propio de la Tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ), la interfaz de comunicación se realizará a través de los cambios de voltaje que irán en un rango de 0 a 5 V ya que el puerto USB es compatible con dichos valores de voltaje.

5.7.5 Criterio de selección del programa para la interfaz para la comunicación con el ordenador.

- Descubra y documente instrumentación
- Comience con ejemplos guiados y específicos de instrumentos
- Reutilice pruebas y funciones
- Diseñe interfaces de usuario
- Explore datos de ingeniería
- Crear bibliotecas escalables e implementaciones de sistemas
- Visualizar resultados desde cualquier lugar

Justificación.

El software LabVIEW es seleccionado ya que es compatible con la Tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ). LabVIEW es de fácil programación y nos permite diseñar una aplicación en el entorno gráfico que se empleará para poder procesar y monitorear las señales a medir.

5.8 Metodología para la ejecución de la propuesta

5.8.1 Diagrama esquemático de los componentes electrónicos y electrónicos.

A continuación, en la Figura 33 se indica el diagrama esquemático de conexión de los dispositivos electrónicos los cuales serán empleados en el módulo de medición de voltaje, corriente y velocidad. El plano eléctrico se verá en el Anexo.

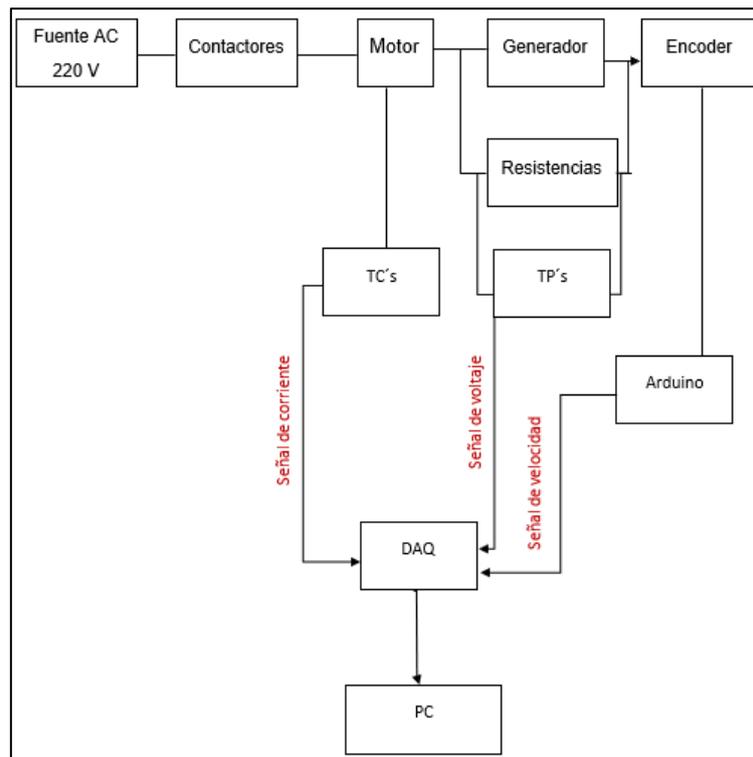


Figura 33. Diagrama esquemático de los componentes electrónicos y electrónicos.

5.8.2 interfaz entre el módulo DAQ con la PC

Para establecer la interfaz de comunicación entre el módulo DAQ y el ordenador es necesario que ordenador disponga de una gran capacidad de velocidad de procesamiento de datos para realizar la ejecución del software LabVIEW.

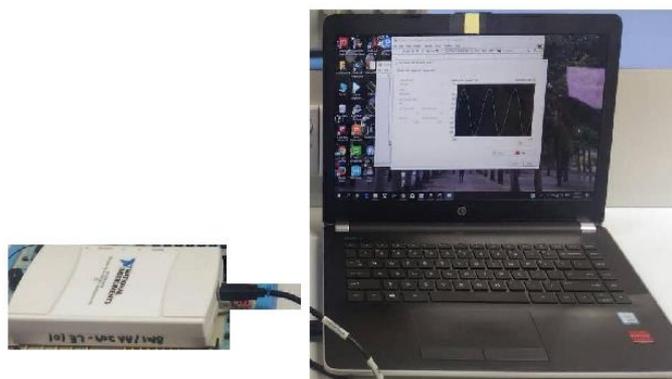


Figura 34. Interfaz entre el módulo DAQ con la PC

5.9 Programación de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

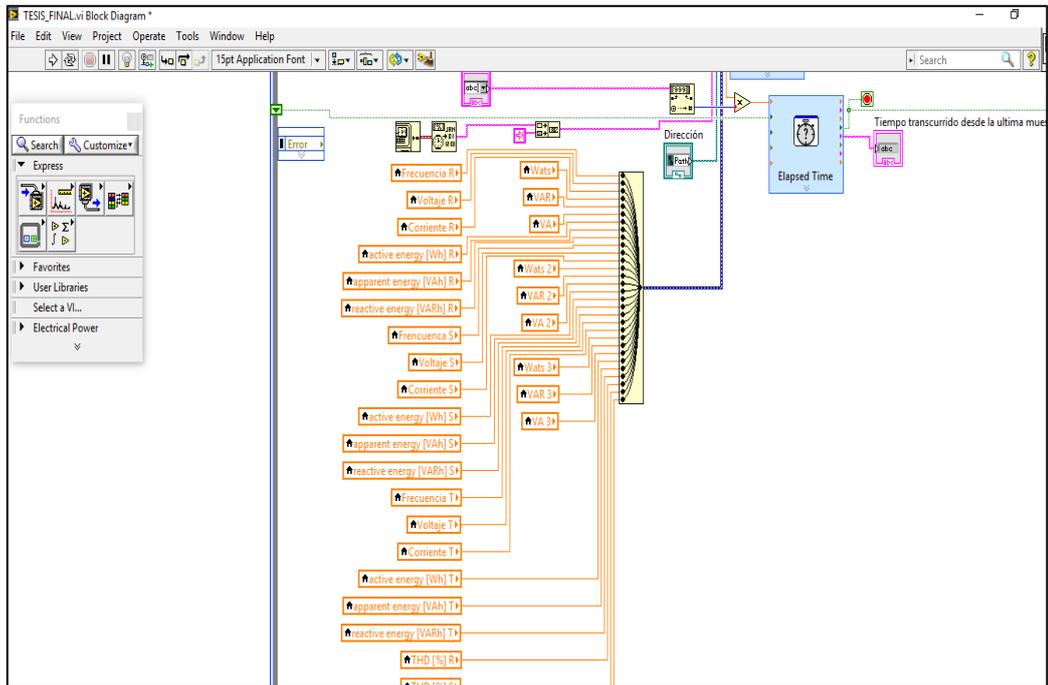


Figura 35. Programación de la DAQ

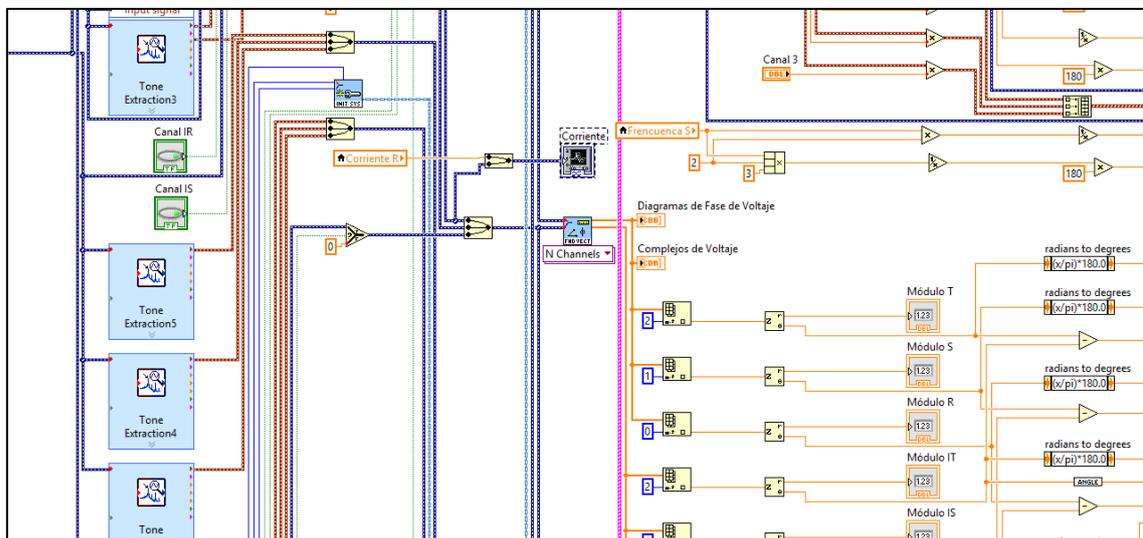


Figura 36. Programación para la señal de corriente

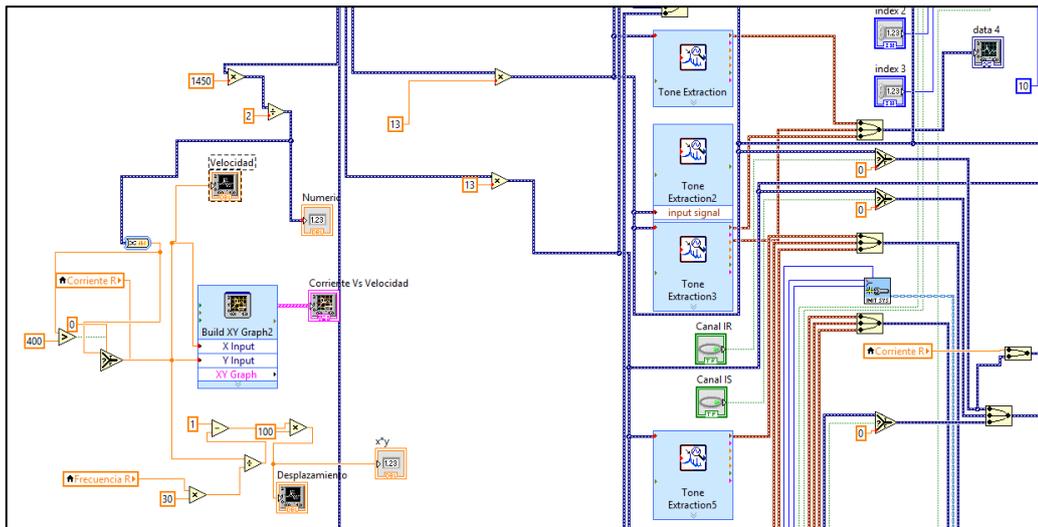


Figura 37. Programación para las señales de velocidad, corriente vs velocidad, torque.

5.10 Creación de la base de datos

5.10.1 Creación del entorno en LabVIEW

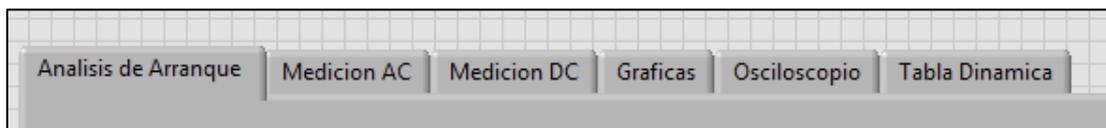


Figura 38. Iconos de inicialización

Análisis de Arranque: despliega la pantalla de gráficas a analizar

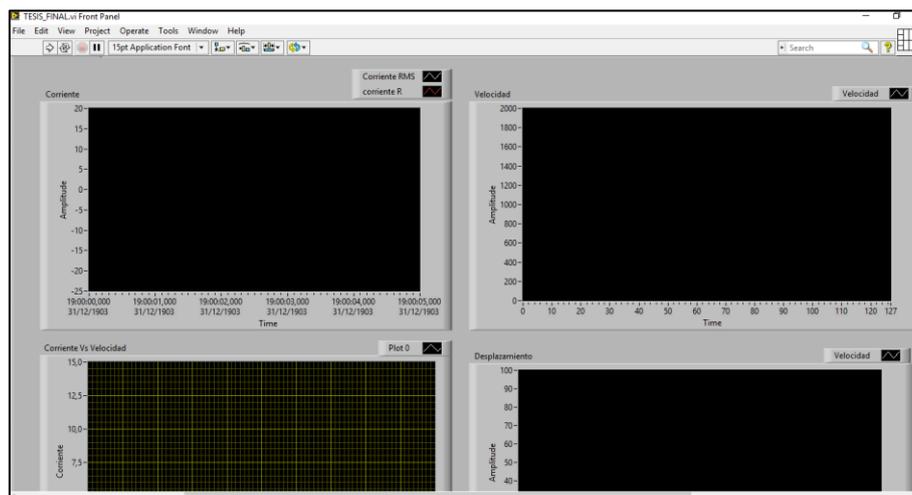


Figura 39. Graficas de corriente, velocidad, corriente vs velocidad y torque

Medición AC: despliega las gráficas de los voltímetros, amperímetros y frecuencímetros del proyecto



Figura 40. Medidor de voltaje y corriente en AC

Medición DC: despliega las gráficas de los voltímetros, amperímetros del generador

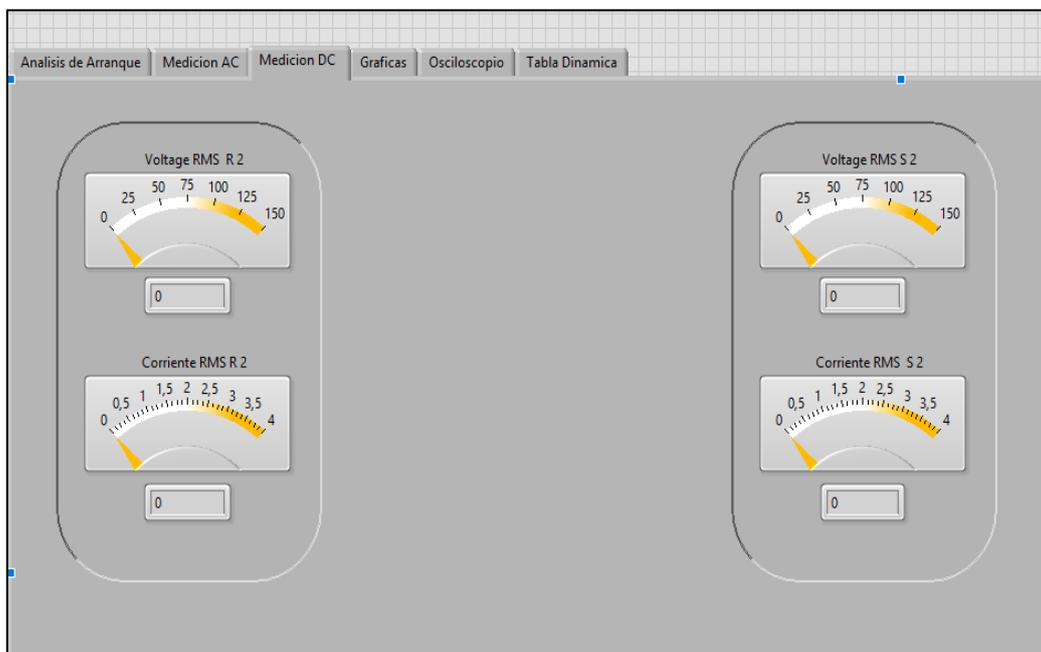


Figura 41. Medidor de voltaje y corriente en DC

Graficas: despliega las gráficas de voltaje y corriente AC

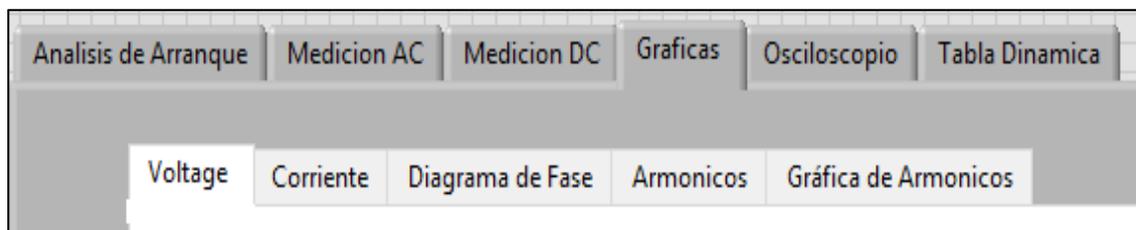


Figura 42. Mando de graficas de corriente y voltaje

En el menú establecido en la figura 37 se observa el mando y la selección de las formas de onda como el voltaje, corriente, diagrama fasorial, armónicos y tablas dinámicas de los diferentes tipos de arranque que se establecen en la programación y conexión.

Acondicionamiento de las curvas de voltaje.

Las curvas de voltaje de la red trifásica (R, S, T) se las obtiene mediante la implementación de una placa electrónica que recepta y acondiciona el valor del voltaje de la línea con el neutro. En el software LabVIEW esta señal la acondicionaremos como valor RMS llegando a un voltaje por fase de 180 V.

Tabla 10

Calibración de voltaje con el fluke y placa electrónica

MEDICIONES	FLUKE	PLACA ELECTRÓNICA
1	128	122
2	127	124
3	128	124
4	126	127
5	128	127

En las mediciones de la tabla 5 se puede notar un error entre lo medido en la placa realizada y el medidor Fluke del 0,78%

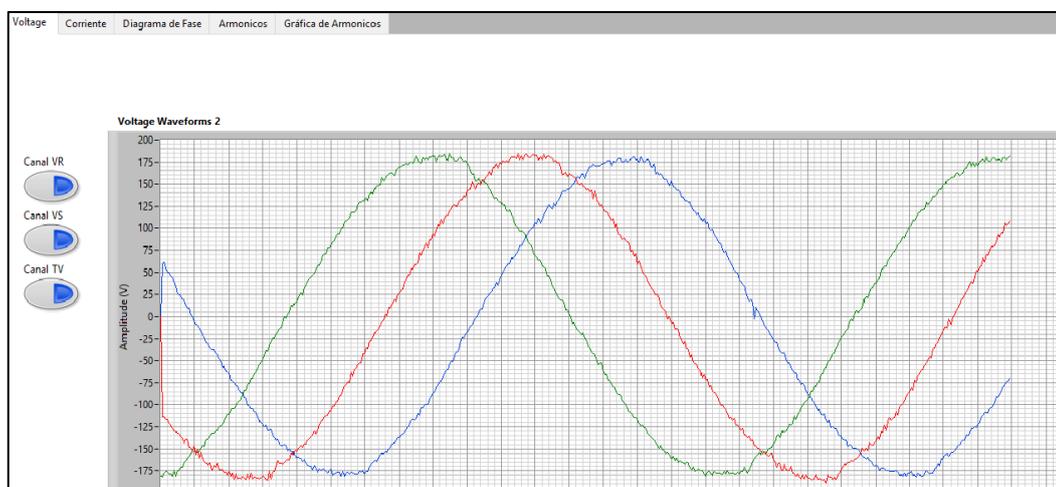


Figura 43. Curvas de voltaje

Acondicionamiento de las curvas de corriente.

Las curvas de corriente de la red trifásica (R, S, T) se las obtiene mediante la implementación de sensores TC SCT013 los cuales son encargados de recibir y acondiciona el valor de la corriente de línea. En el software LabVIEW esta señal la acondicionaremos para la validación como valor RMS llegando a un amperio por fase.

Tabla 11
Calibración de voltaje con el fluke y placa electrónica

MEDICIONES	PINZA AMPERIMÉTRICA	TC SCT013
1	0,93	0,67
2	0,91	0,73
3	0,90	0,75
4	0,92	0,78
5	0,92	0,80

En las mediciones de la tabla 5 se puede notar un error entre el TC implementado y la pinza amperimétrica del laboratorio del 13,04%

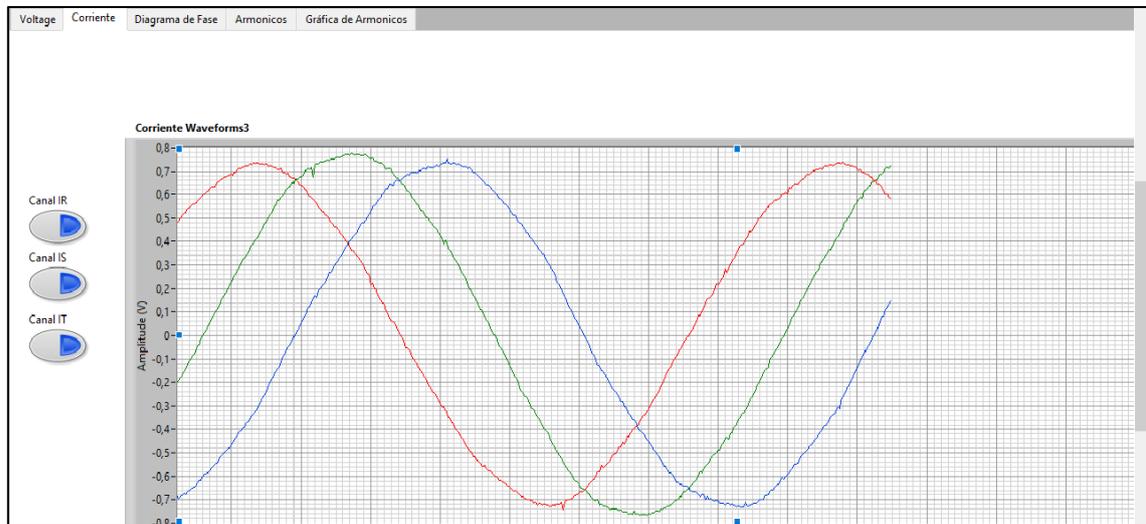


Figura 44. Curvas de corriente

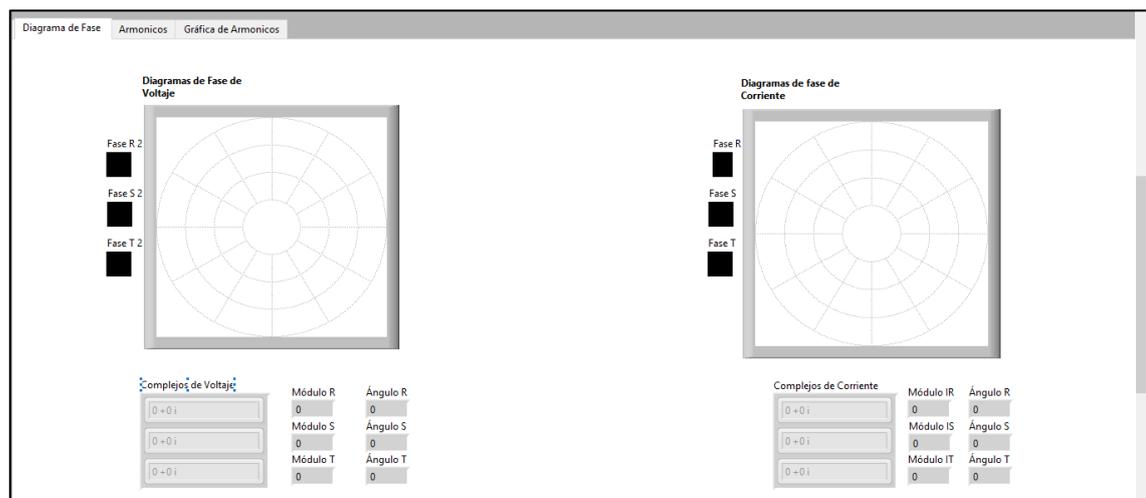


Figura 45. Diagrama de fase

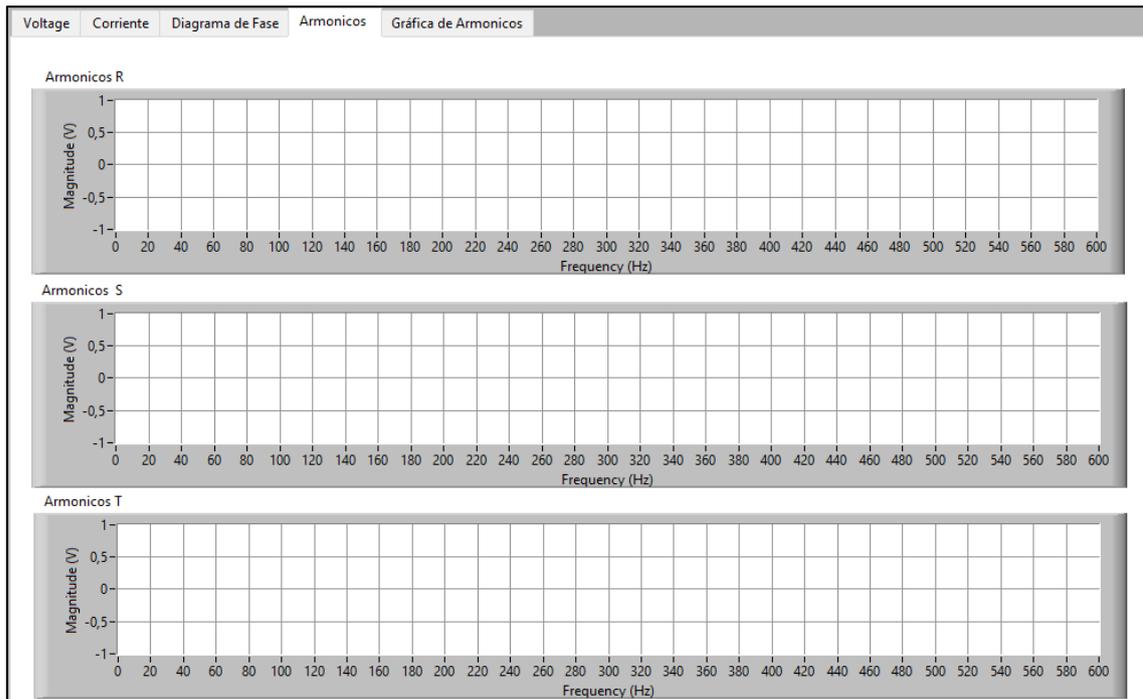


Figura 46. Panel para la visualización de Armónicos

Osciloscopio: despliega la pantalla del osciloscopio donde se puede verificar los voltajes y corrientes en tiempo real

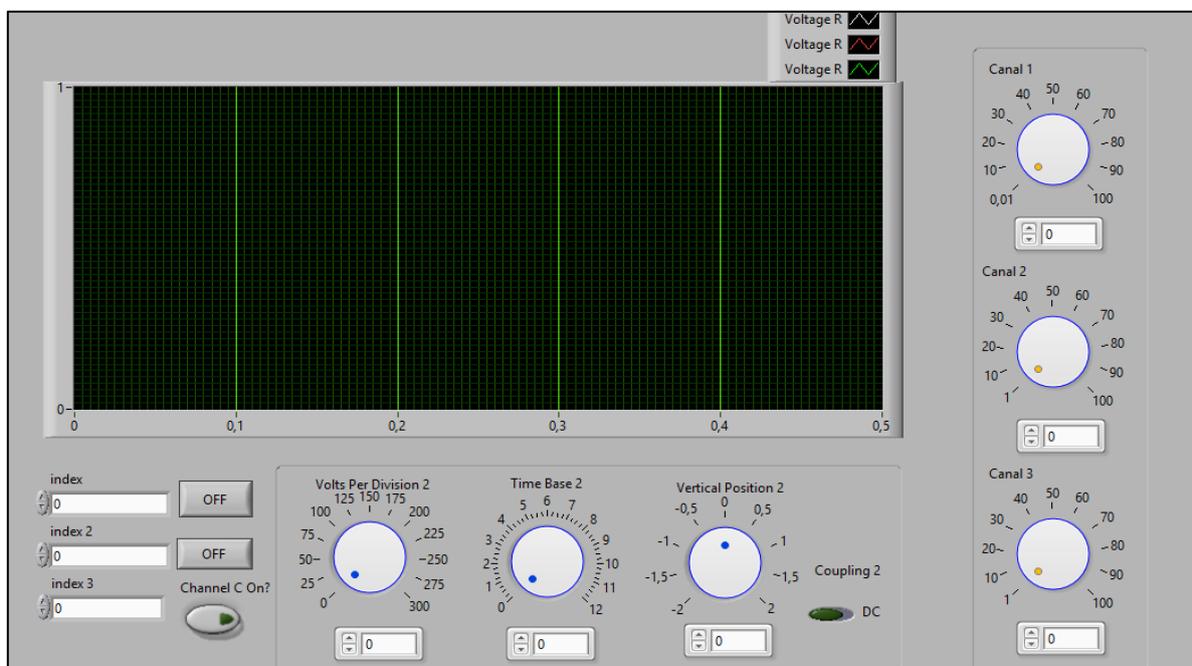


Figura 47. Osciloscopio en LabVIEW

5.11 Pruebas del módulo de medición

5.11.1 Prueba de medición de voltaje



Figura 48. Gráfica del voltaje trifásico del motor.

5.11.2 Prueba de medición de corriente

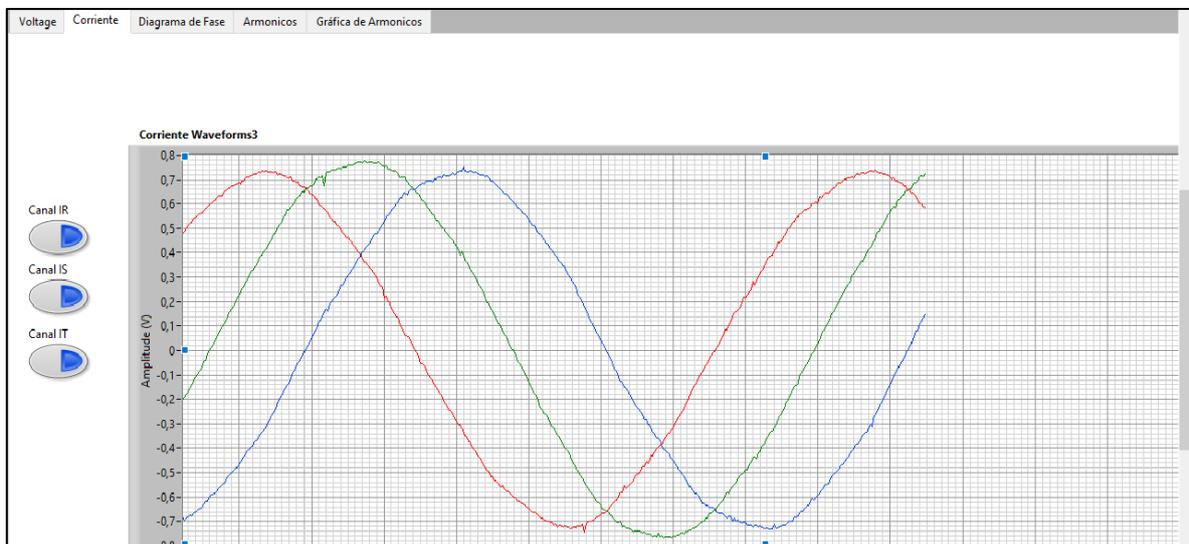


Figura 49. Gráfica de corriente trifásica del motor

5.11.3 Prueba de medición de arranque doble “Y”

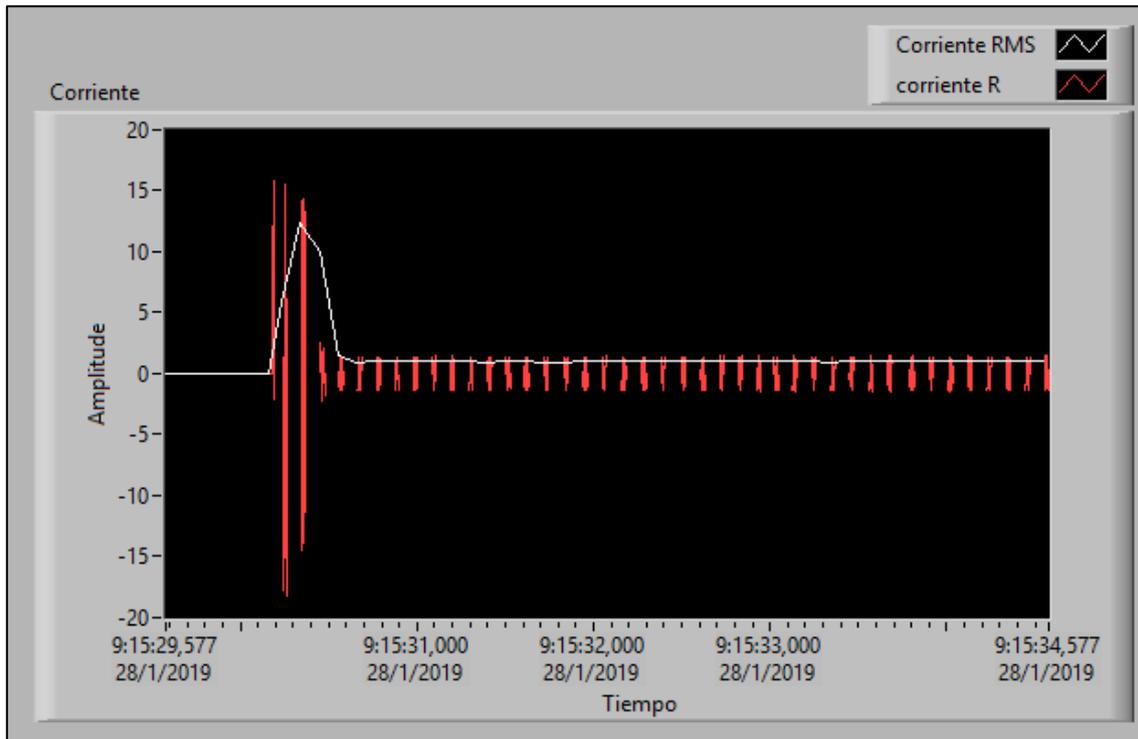


Figura 50. Gráfica de corriente en arranque doble “Y”

Se puede notar que la estabilidad de la corriente en el arranque doble Y es en un tiempo de 500 milisegundos hasta alcanzar su pico de corriente máximo que es de 12 amperios y su velocidad nominal de 1775 rpm.



Figura 51. Gráfica de corriente en arranque doble “Y”

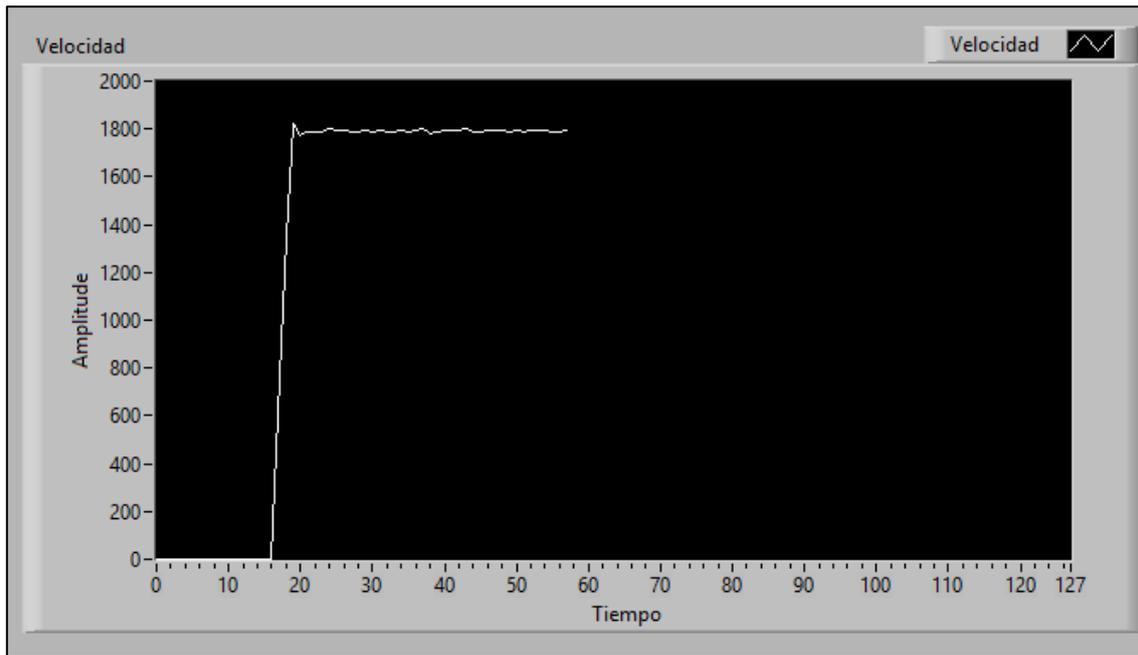


Figura 52. Gráfica de velocidad arranque doble "Y"

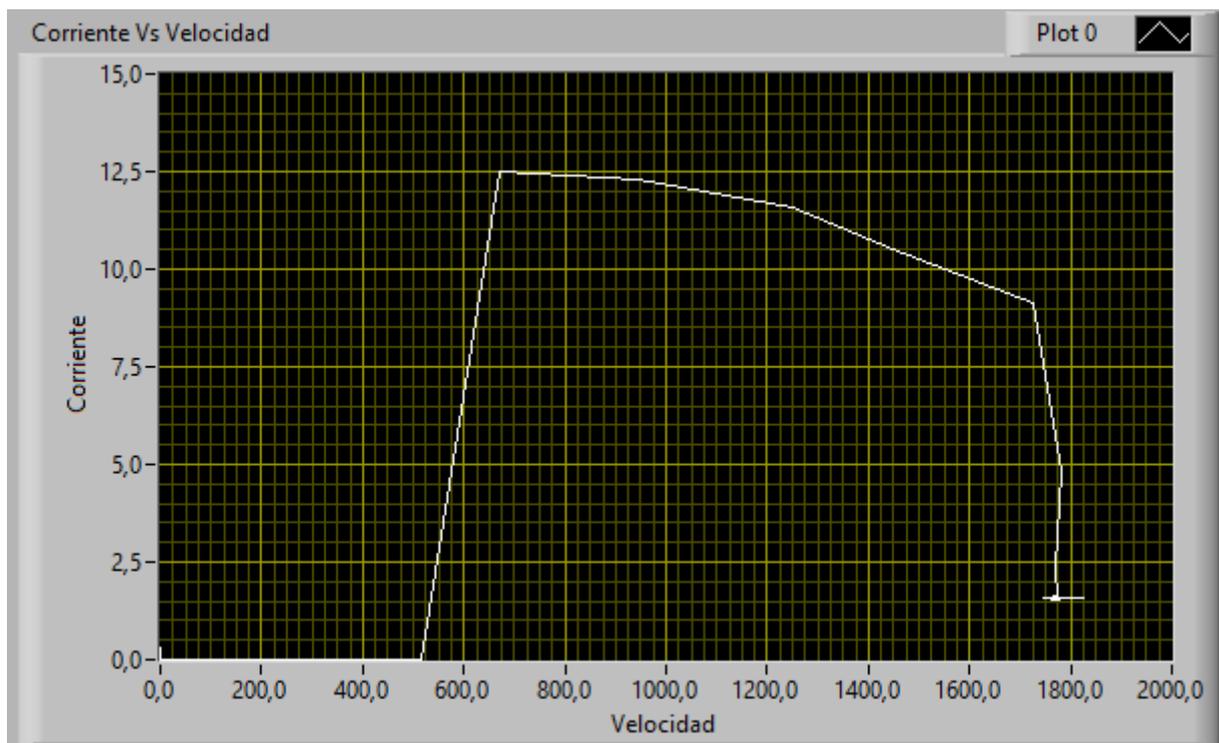


Figura 53. Gráfica corriente vs velocidad arranque doble "Y"

5.11.4 Prueba de medición de arranque “Y” larga

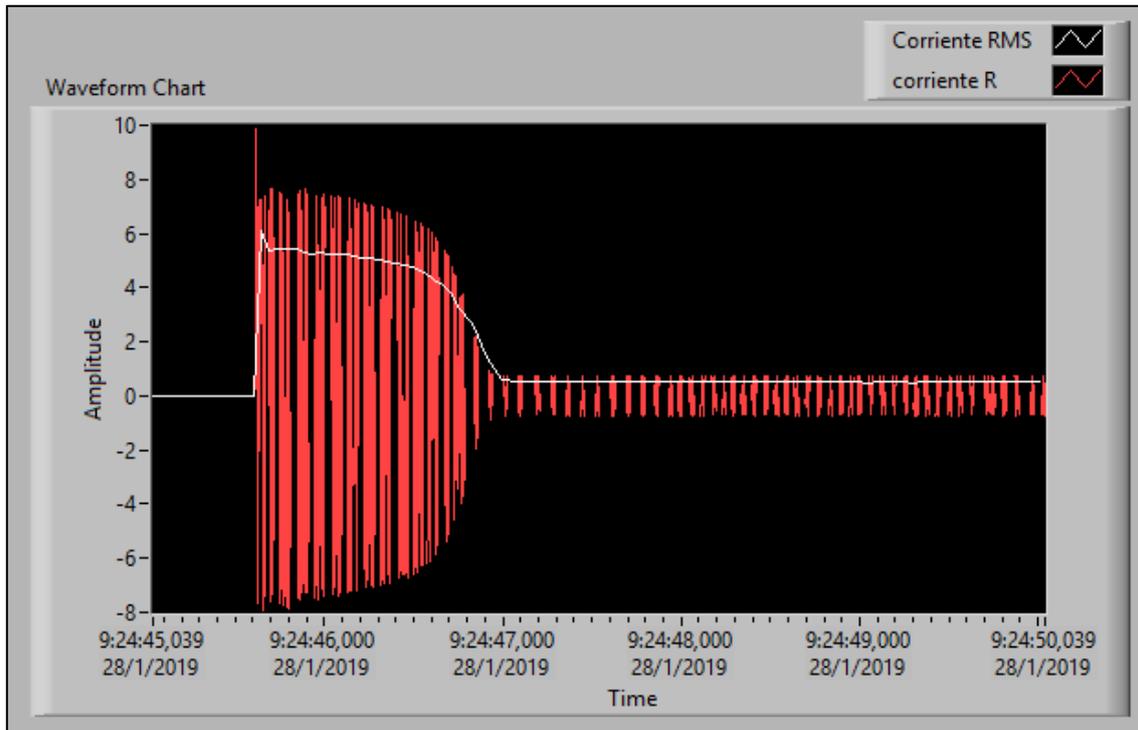


Figura 54. Gráfica de corriente arranque “Y” larga

Se puede notar que la estabilidad de la corriente en el arranque doble Y es en un tiempo de 1500 milisegundos hasta alcanzar su pico de corriente máximo que es de 6 amperios y su velocidad nominal de 1775 rpm.

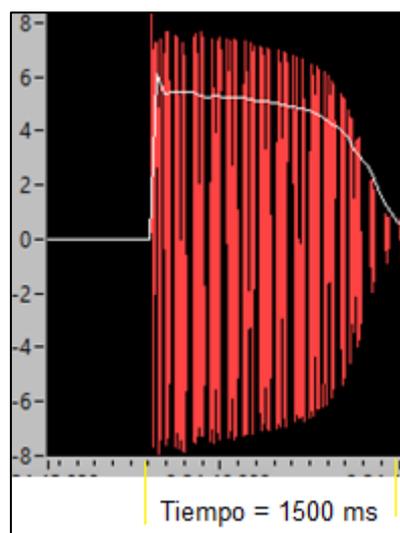


Figura 55. Gráfica de corriente arranque “Y” larga

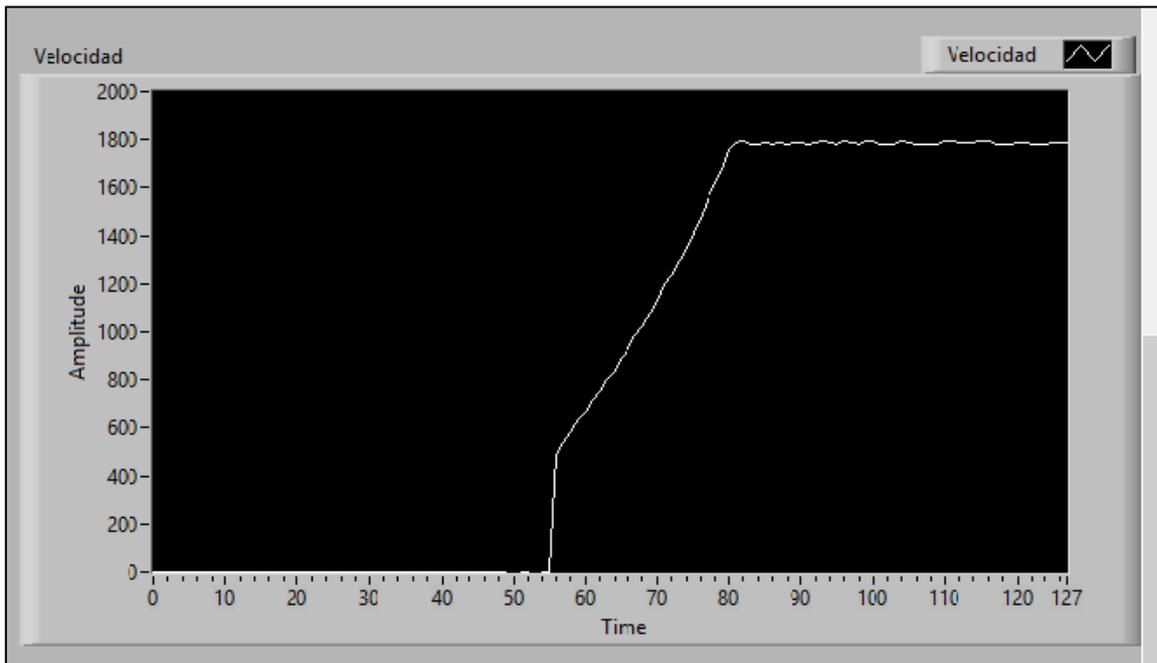


Figura 56. Gráfica de velocidad arranque "Y" larga

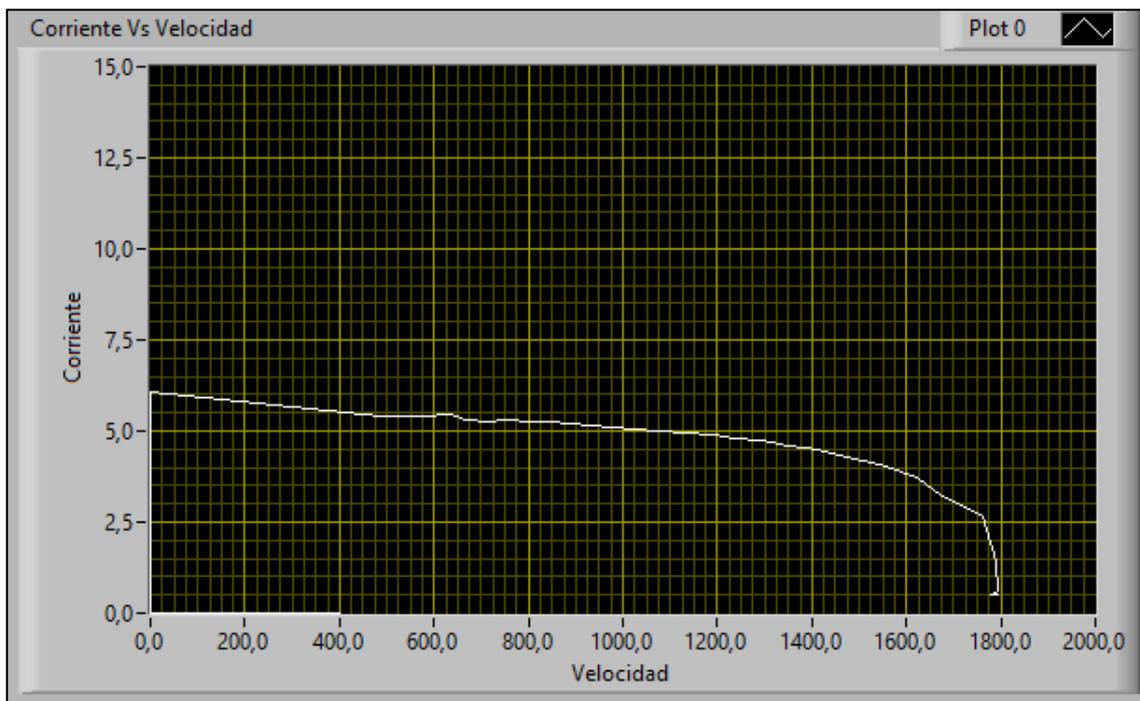


Figura 57. Gráfica corriente vs velocidad arranque "Y" larga

5.11.5 Prueba de medición de arranque doble “Y” a “Y” larga

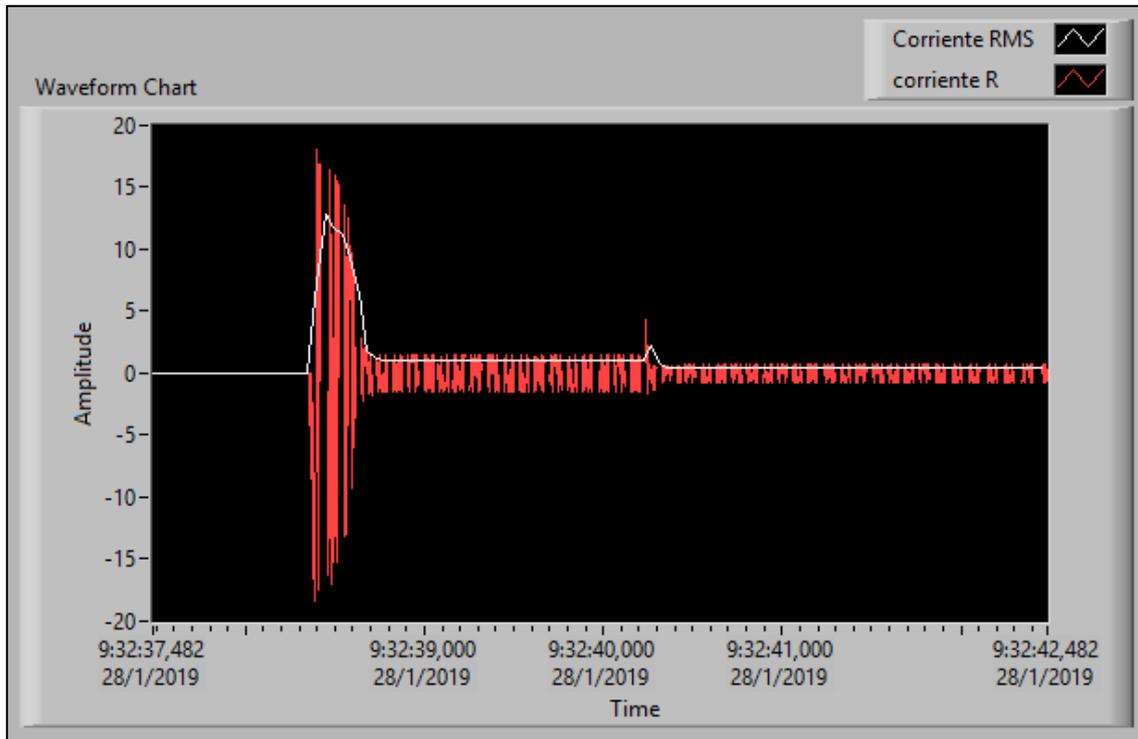


Figura 58. Gráfica de corriente arranque doble “Y” a “Y” larga

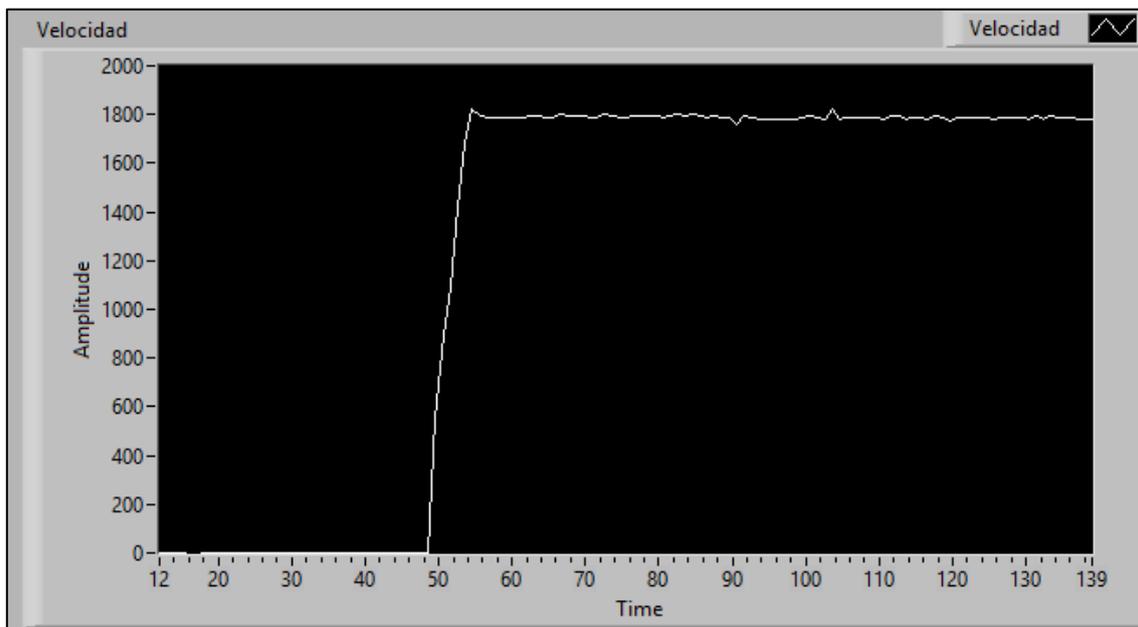


Figura 59. Gráfica velocidad arranque doble “Y” a “Y” larga

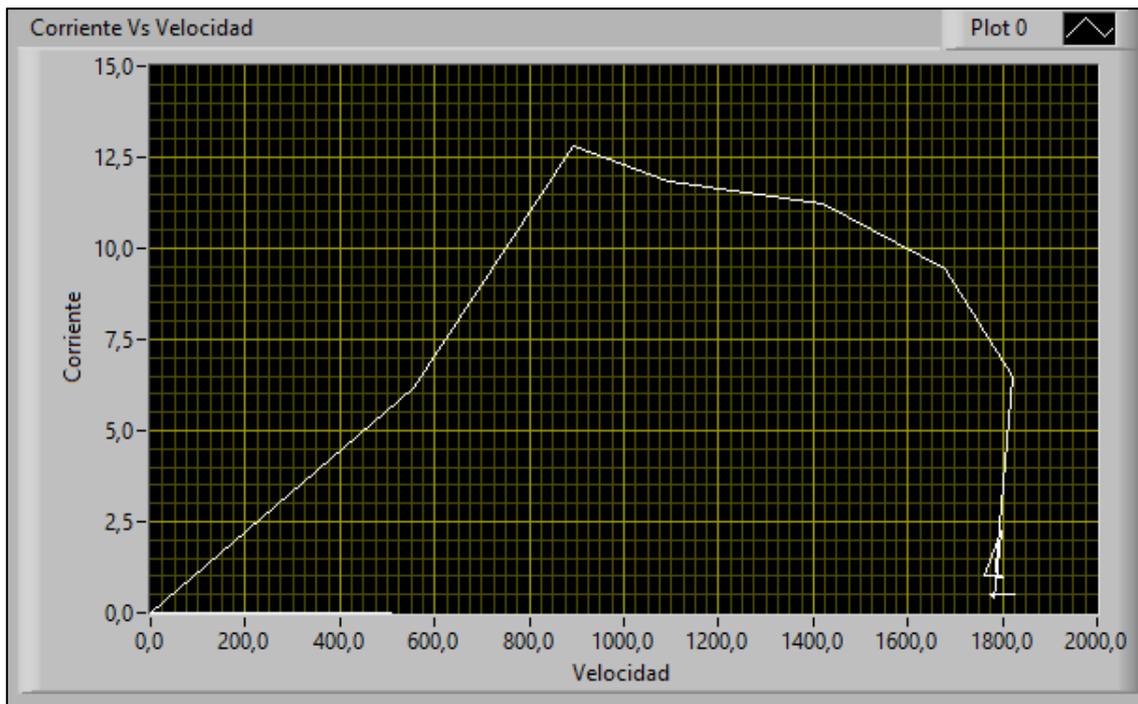


Figura 60. Gráfica de corriente vs velocidad arranque doble "Y" a "Y" larga

5.11.6 Prueba de medición de arranque "Y" larga a doble "Y"

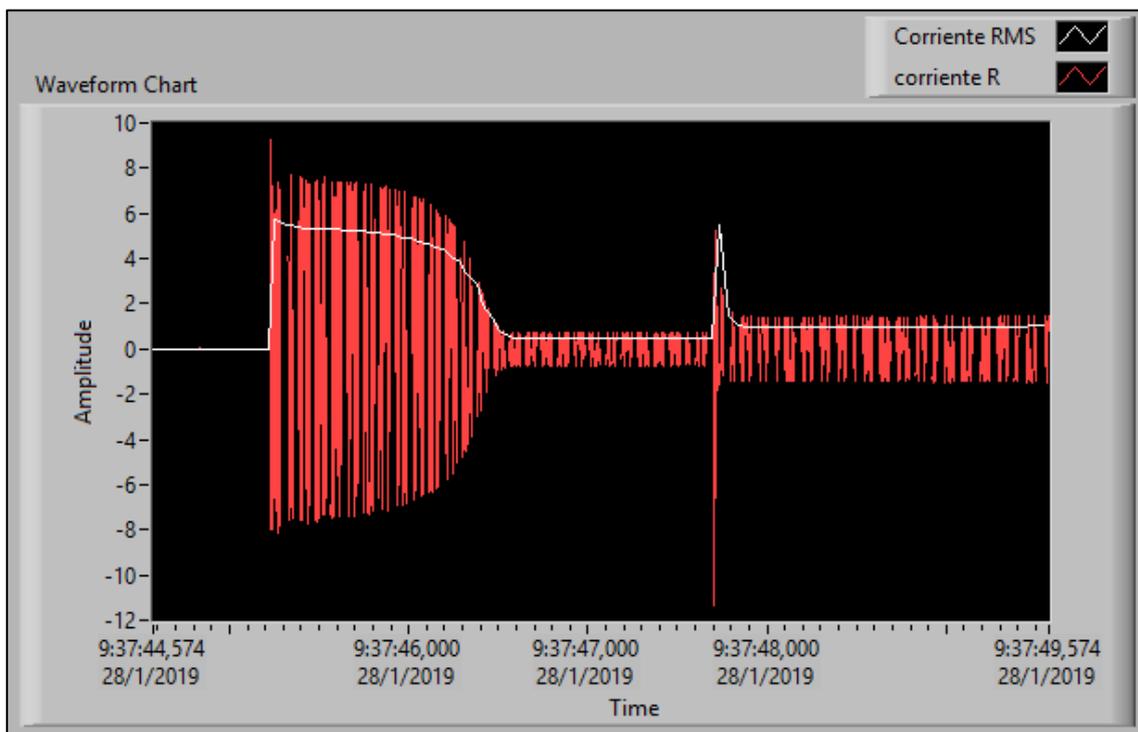


Figura 61. Gráfica de corriente arranque "Y" larga a doble "Y"

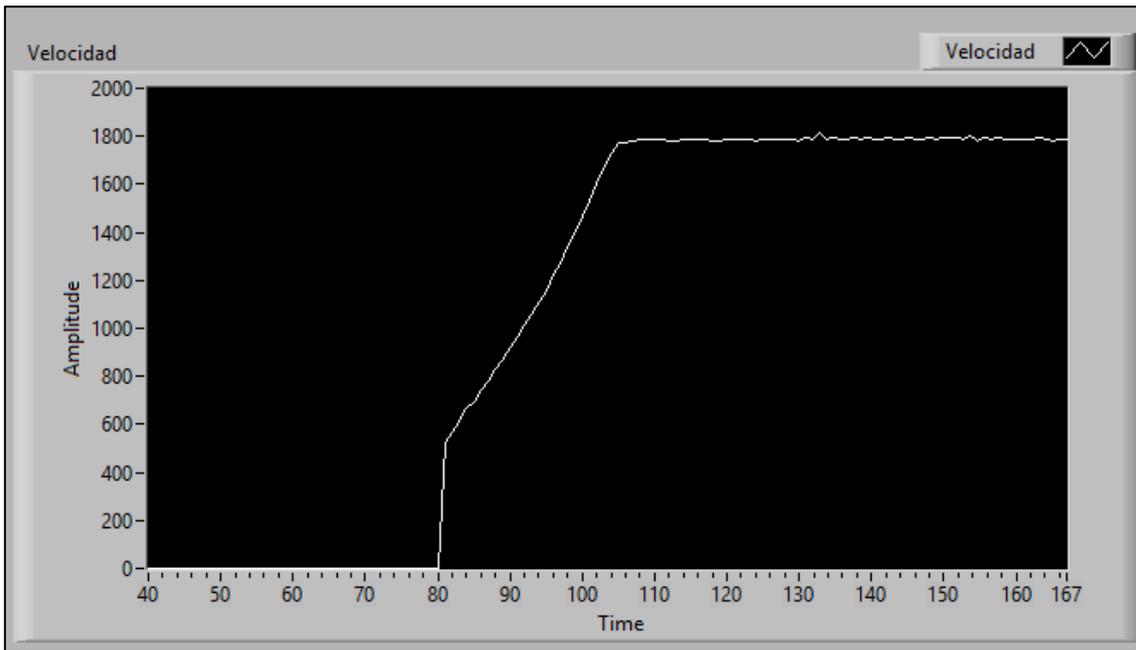


Figura 62. Gráfica de velocidad arranque "Y" larga a doble "Y"

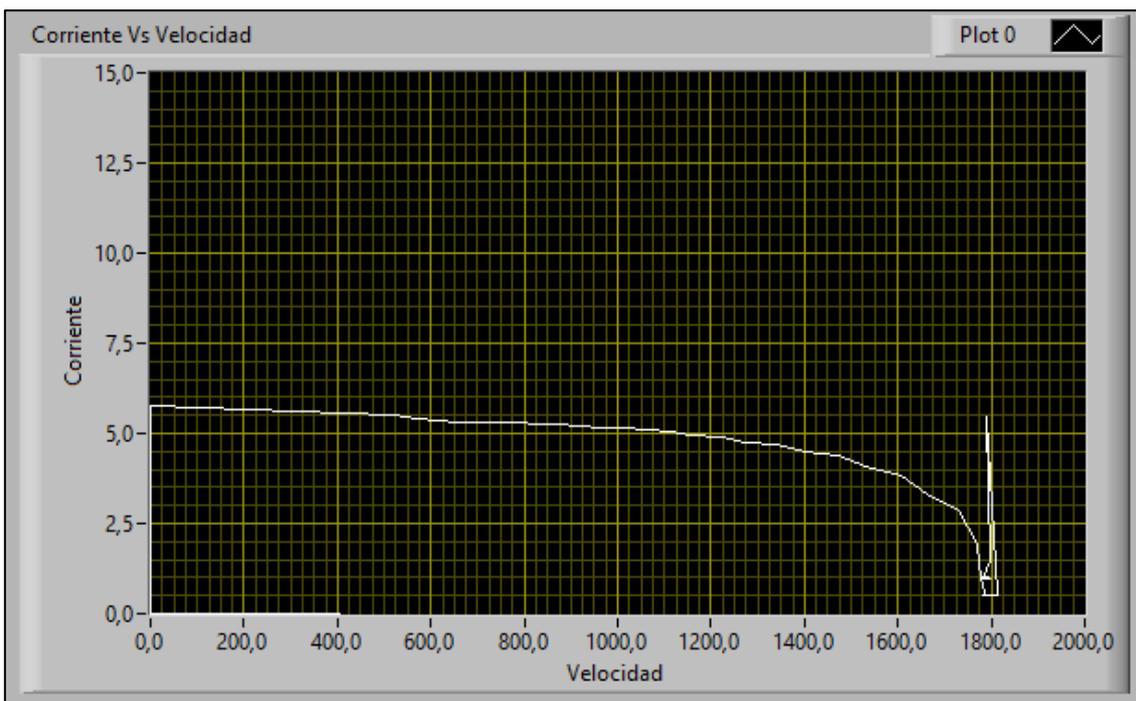


Figura 63. Gráfica de corriente vs velocidad arranque "Y" larga a doble "Y"

5.11.7 Prueba de medición de inversión de giro arranque doble “Y”

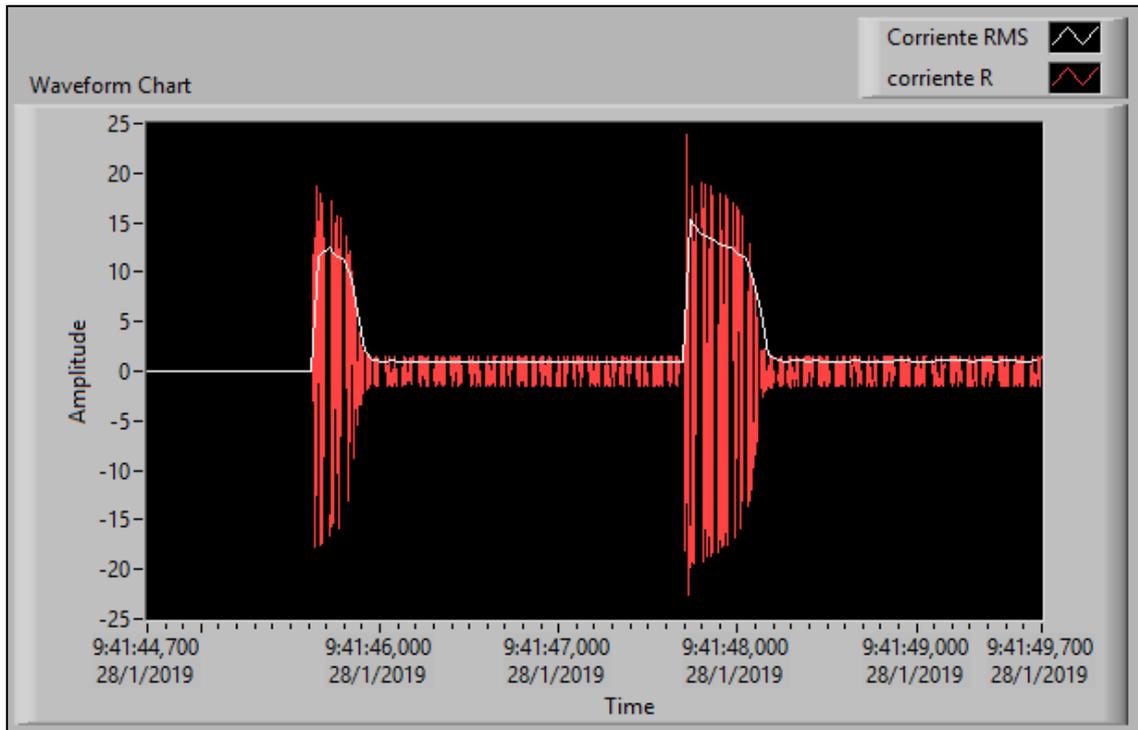


Figura 64. Gráfica de corriente inversión de giro arranque doble “Y”

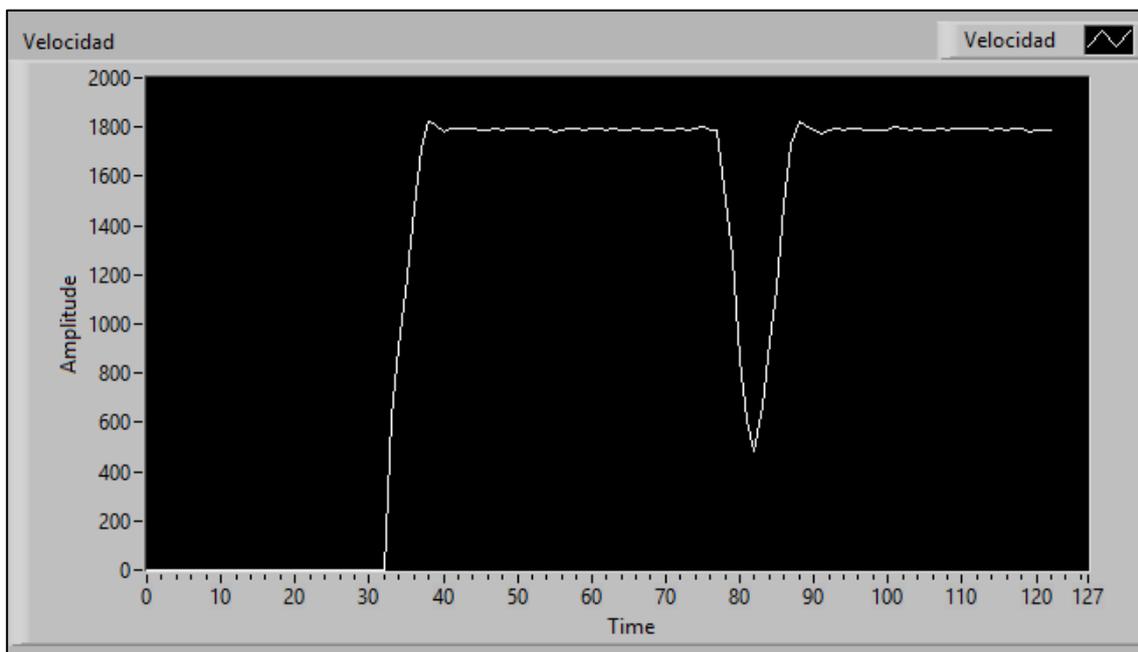


Figura 65. Gráfica de velocidad inversión de giro arranque doble “Y”

5.11.8 Prueba de medición de inversión de giro arranque “Y” larga

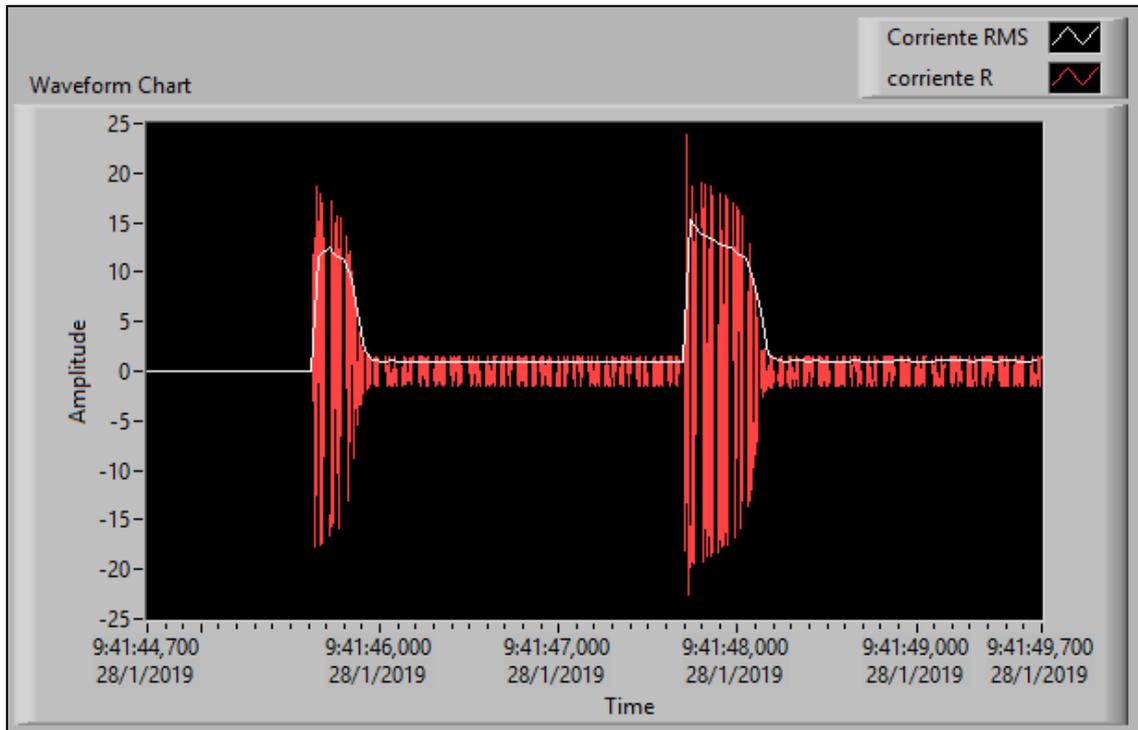


Figura 66. Gráfica de corriente inversión de giro arranque “Y” larga

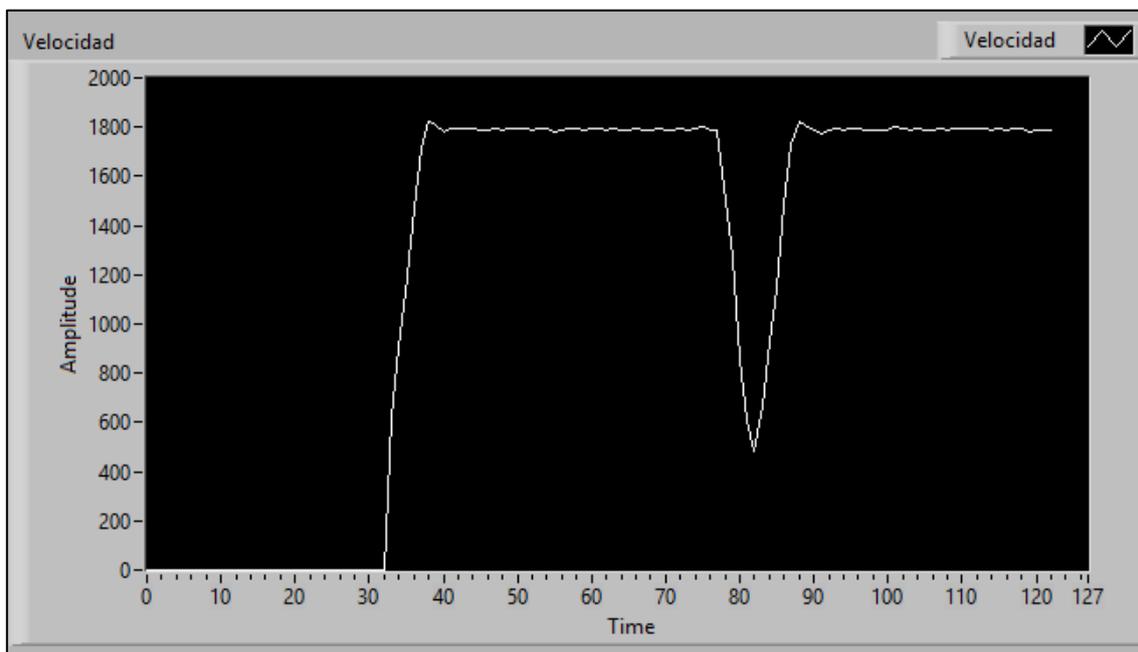


Figura 67. Gráfica de velocidad inversión de giro arranque “Y” larga

5.11.9 Prueba de medición de arranque doble “Y” con carga

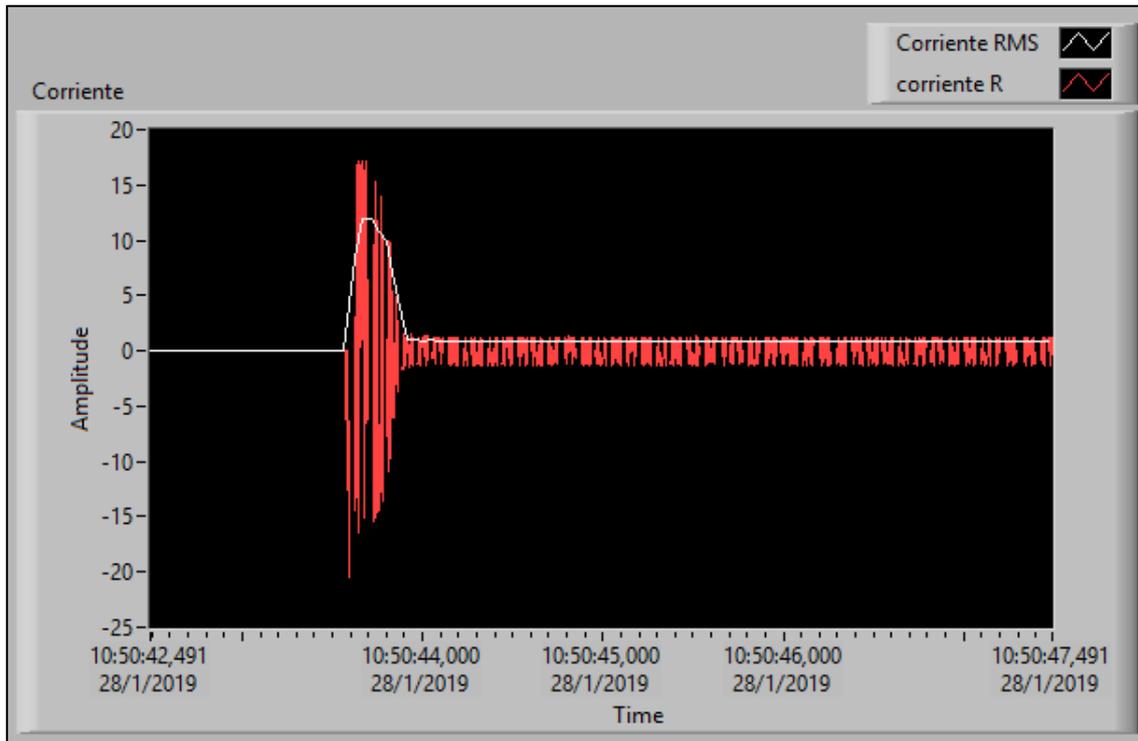


Figura 68. Gráfica de corriente arranque doble “Y” con carga

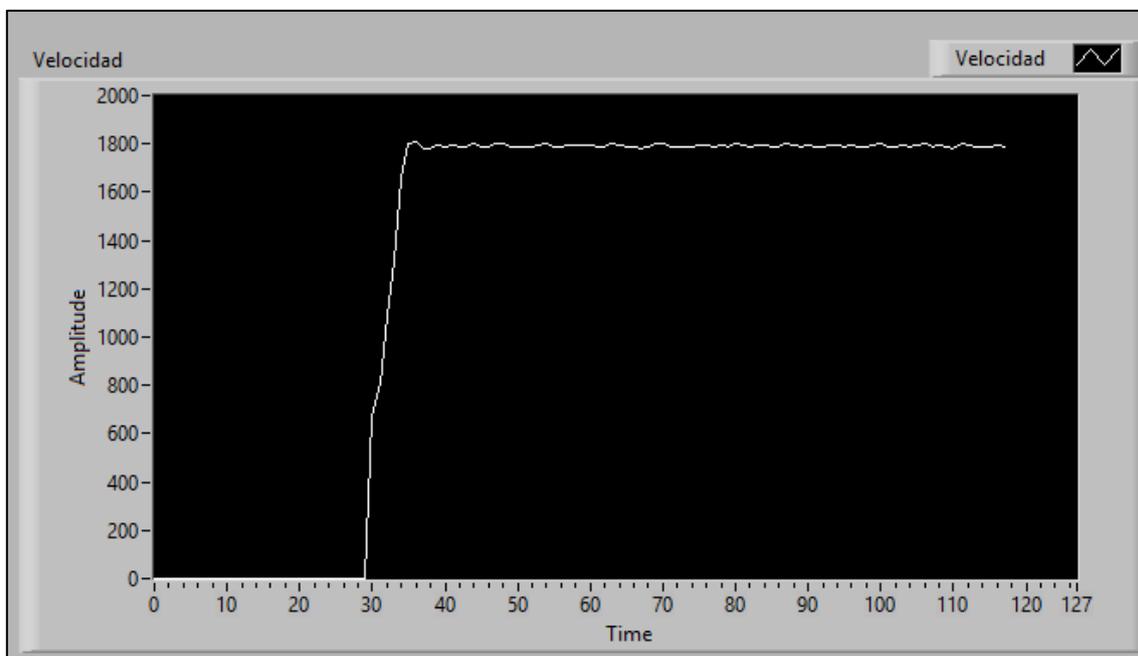


Figura 69. Gráfica de velocidad arranque doble “Y” con carga

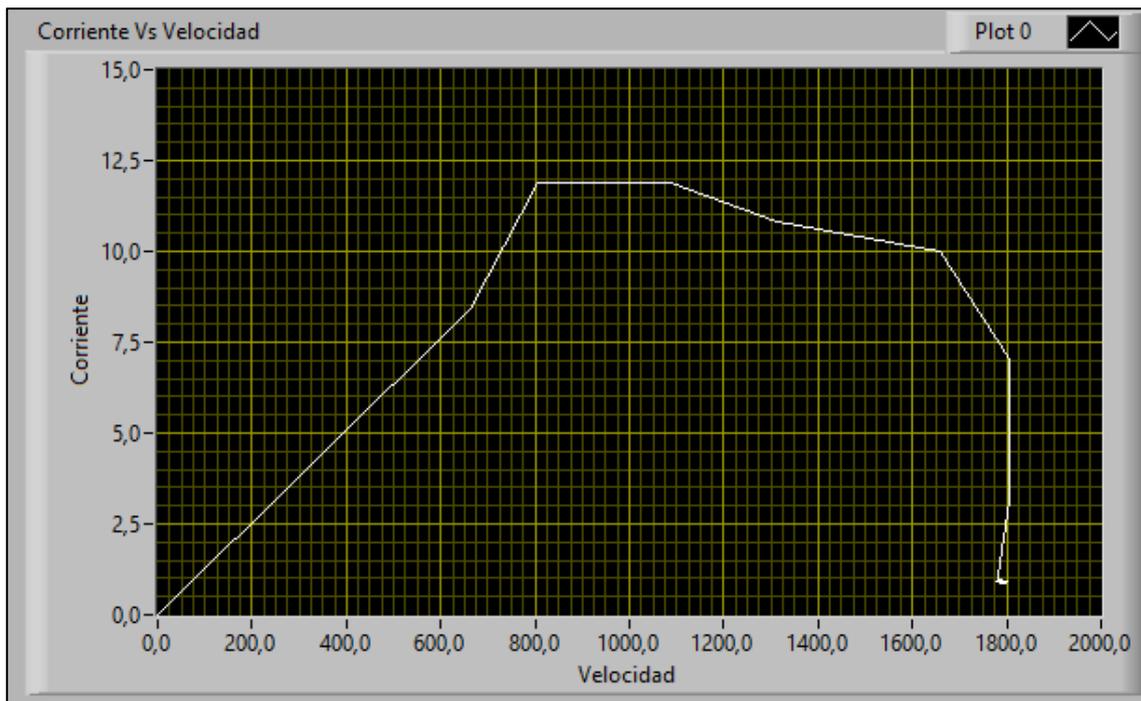


Figura 70. Gráfica de corriente vs velocidad arranque doble “Y” con carga

5.11.10 Prueba de medición de arranque “Y” larga con carga

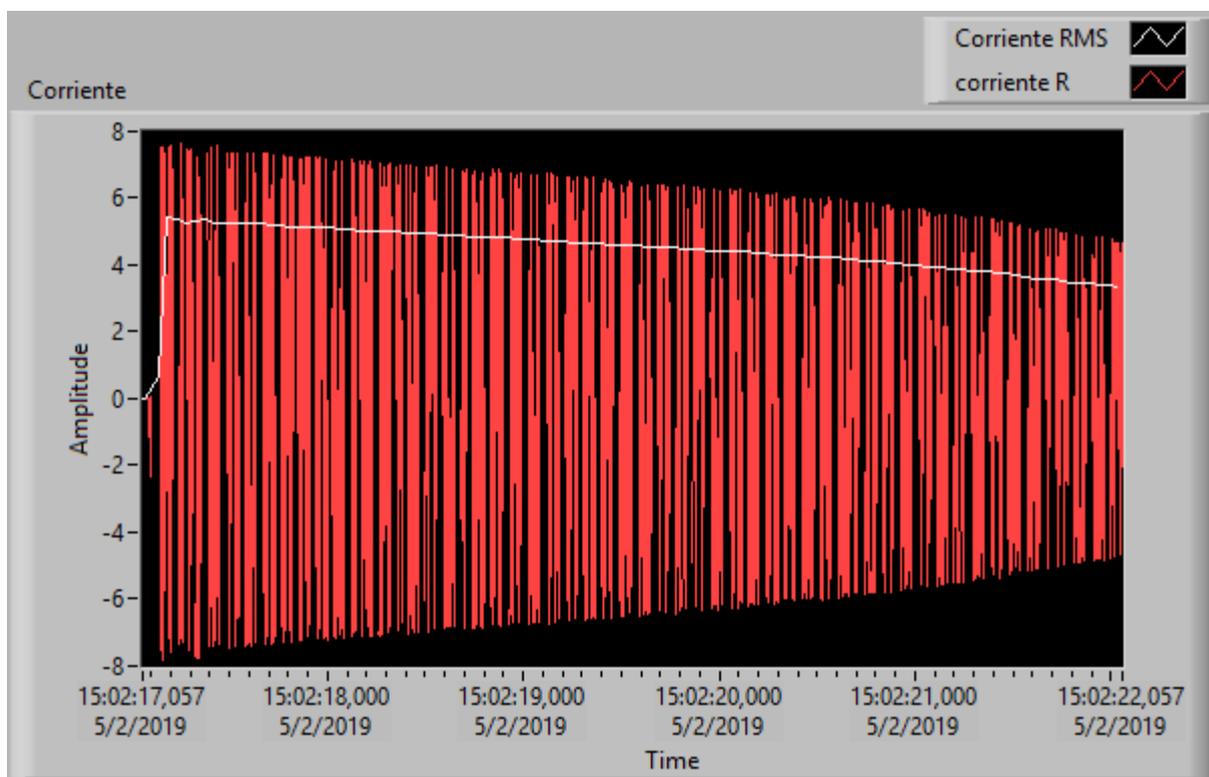


Figura 71. Gráfica de corriente arranque “Y” larga con carga

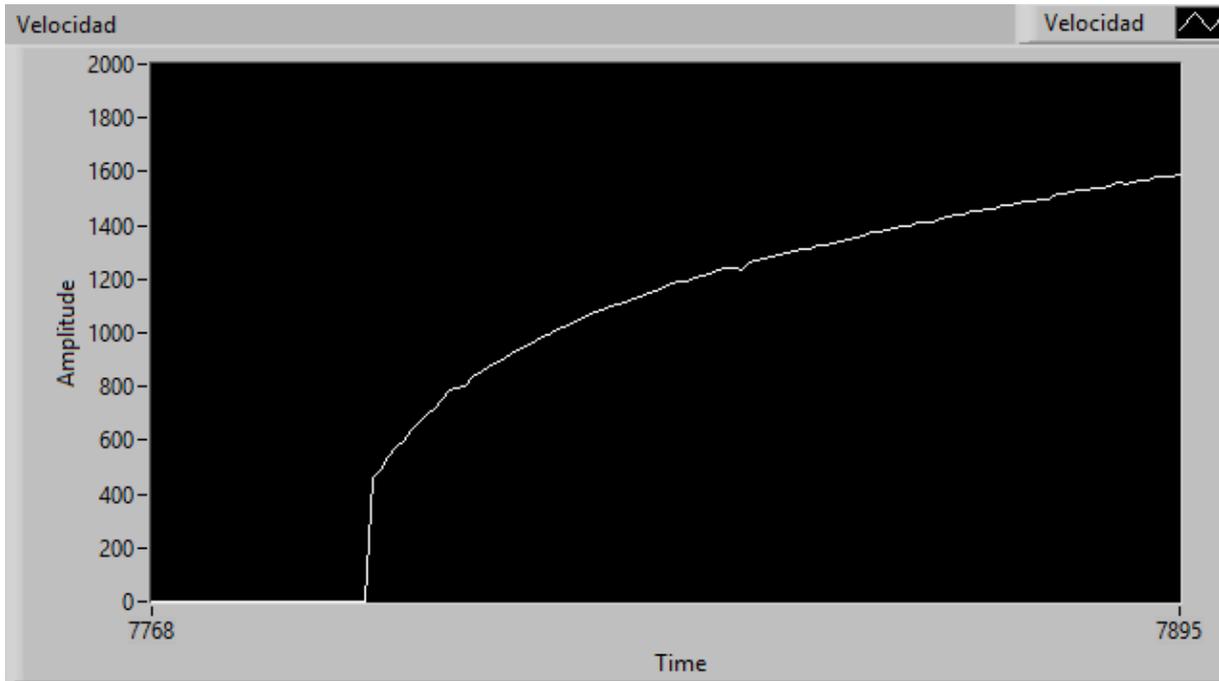


Figura 72. Gráfica de velocidad arranque “Y” larga con carga

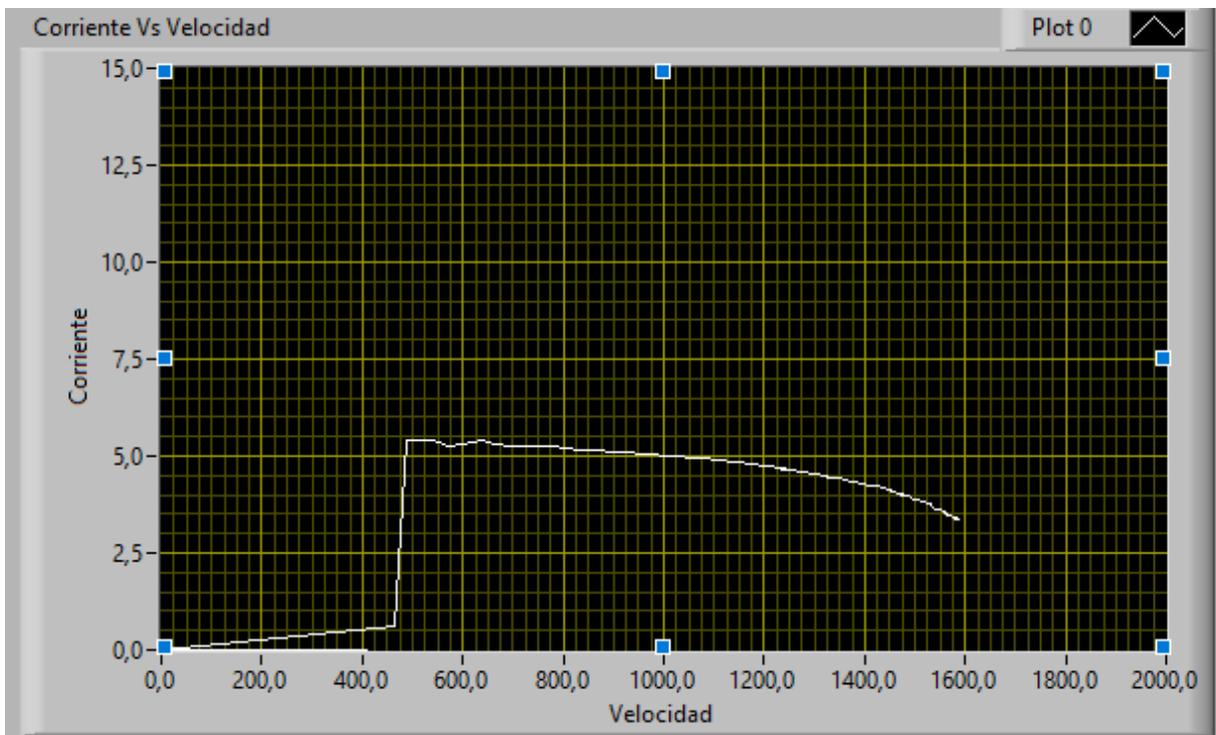


Figura 73. Gráfica de corriente vs velocidad arranque “Y” larga con carga

5.11.11 Prueba de medición de inversión de giro arranque “Y” larga con carga

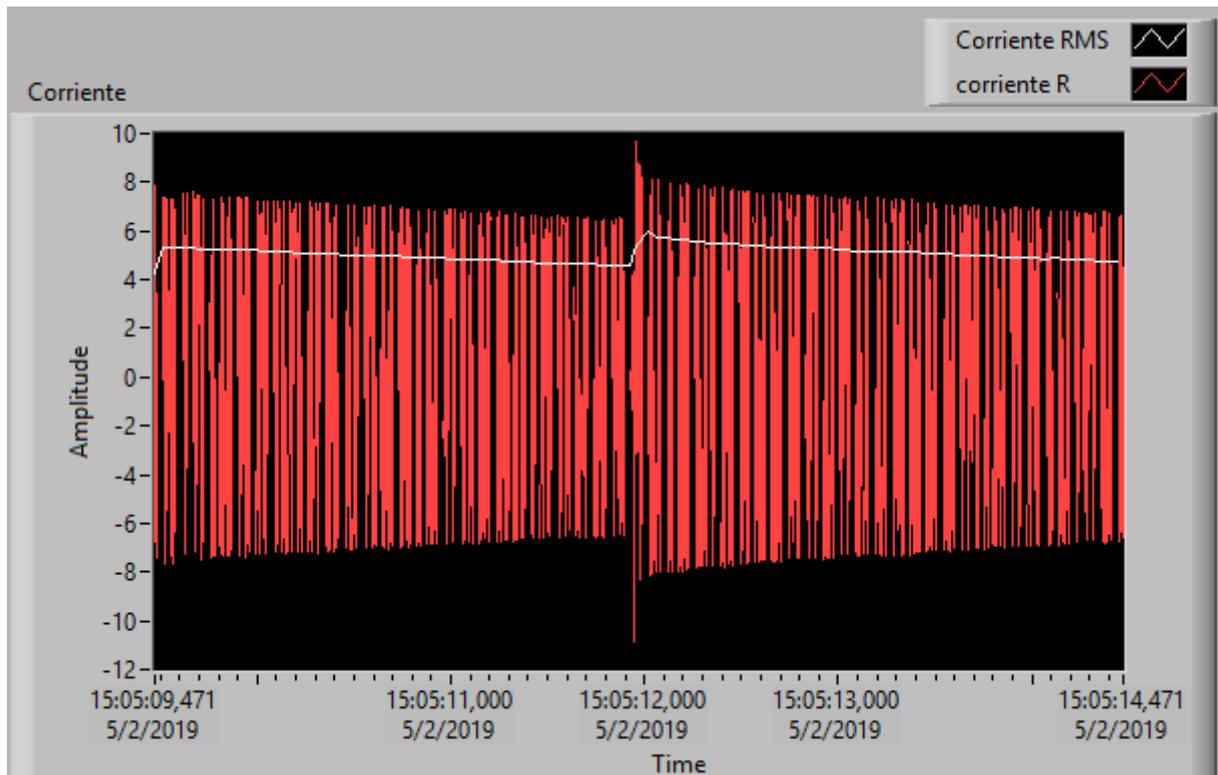


Figura 74. Gráfica de corriente inversión de giro arranque “Y” larga con carga

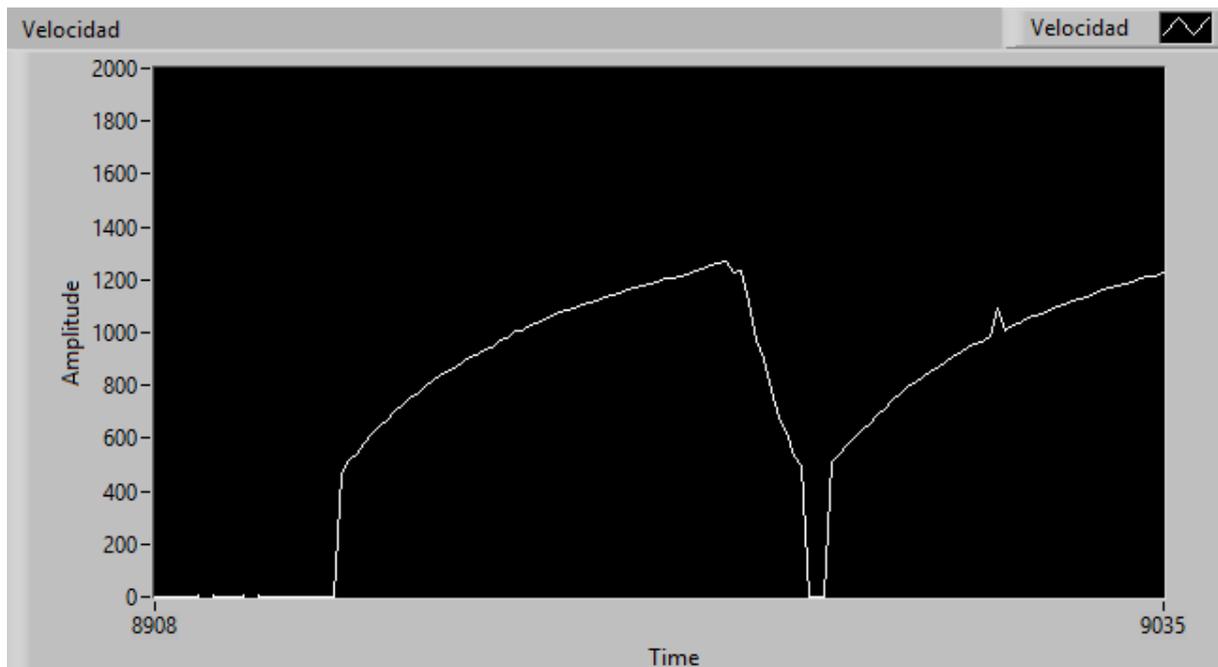


Figura 75. Gráfica de velocidad inversión de giro arranque “Y” larga con carga

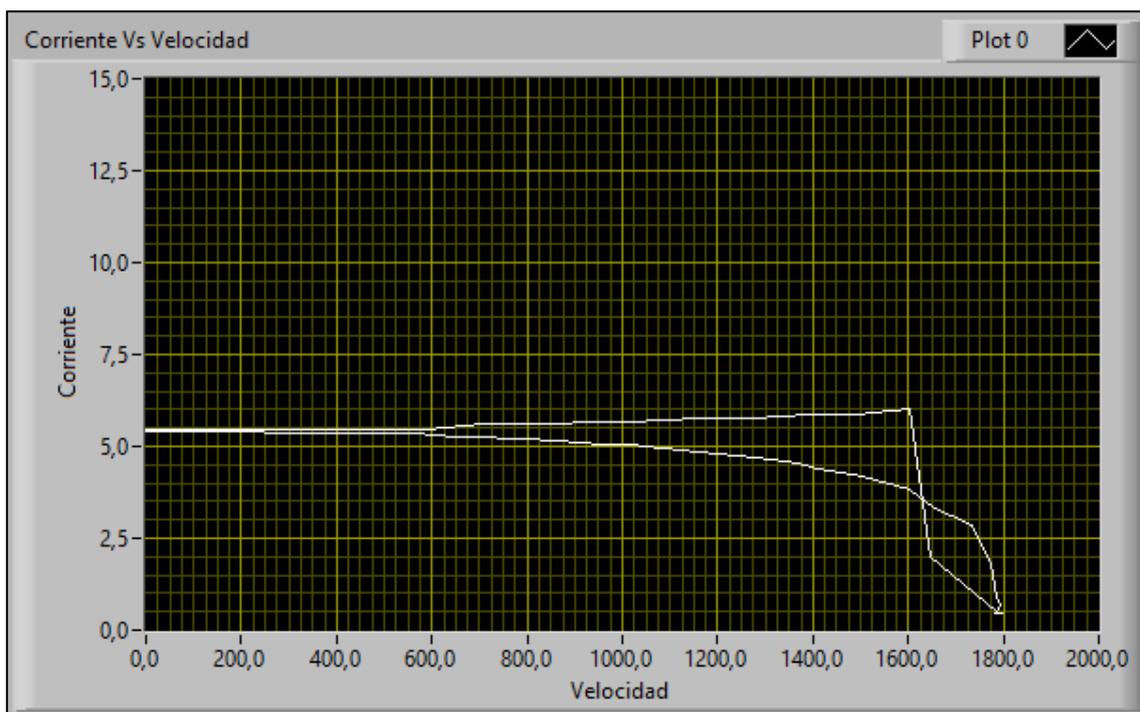


Figura 76. Gráfica de corriente vs velocidad inversión de giro arranque “Y” larga con carga

5.6 Análisis de los parámetros obtenidos

Al tomar en cuenta los datos adquiridos al momento del desarrollo de la ejecución de los arranques e implementación de la carga resistiva, se pueden obtener las gráficas de corriente, velocidad, corriente vs velocidad y torque las cuales nos facilitan para el análisis del estado transitorio o dinámico, que sufre el motor al momento de poner en marcha el motor ya sea al momento de invertir de giro, incremento de carga, paso de doble “Y” a “Y” larga, se puede observar que el fenómeno transitorio dura más cuando el motor arranca con carga mientras que si el motor arranca sin carga el fenómeno transitorio se estabiliza en un periodo de tiempo mucho menor esto se puede visualizar en la figura 74.

Tomando en consideración las figuras 56 – 72 correspondientes a la gráfica de velocidad de “Y” larga, cuando el motor se pone en marcha en vacío y con carga respectivamente, se puede visualizar el fenómeno transitorio que es muy notorio ya que la velocidad alcanza su valor nominal en un lapso de tiempo mayor a cuando el motor arranca sin carga.

Tomando en consideración el arranque de “Y” larga para el análisis de las corrientes es mucho más visible lo que sucede en el estado transitorio o dinámico en la corriente ya que al momento de invertir el giro se produce una mayor duración del estado transitorio del motor, ya que al momento de la inversión de giro el motor necesita o se produce una corriente negativa lo cual hace que se prolongue el estado transitorio lo cual se puede observar en la gráfica de inversión de giro arranque “Y” larga esto es visible en la figura 75.

Analizando la gráfica de velocidad es más visible el estado transitorio o dinámico, al momento de realizar la inversión de giro ya sea en el arranque doble “Y” o “Y” largo, Figura 46 – Figura 70 ya sea si el motor está trabajando con carga o sin carga ya que la caída de velocidad del motor es mucho más visible. Realizando la comparación entre la gráfica de velocidad de arranque doble “Y” y “Y” largo se puede decir que al momento de realizar la inversión de giro en el arranque doble “Y” el motor lo realiza con mayor rapidez debido a que el motor trabaja a voltaje alto, teniendo una reacción inmediata haciendo que el estado transitorio sea más corto pero a la maniobra es muy brusca y peligrosa para el motor tanto en la parte eléctrica como en la parte mecánica en este caso sería para los acoples mecánicos que tiene el motor y el generador, tomando en consideración la inversión de giro en el arranque “Y” largo se podrá percibir con mayor facilidad que el motor tiene una desaceleración por lo cual una caída de velocidad es visible y el tiempo del transitorio es mucho más extenso para alcanzar la estabilización del sistema.

Si comparamos las figuras 53 y figura 57 se podrá observar como la corriente varía con respecto a la velocidad tomando en consideración el tipo de arranque este sea doble “Y” donde la corriente alcanza un pico de 12.5 A y el pico máximo que la corriente alcanza en el arranque “Y” largo llega a ser de 5.5 A.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En el proyecto se logró implementar varios componentes eléctricos como electrónicos los cuales sirvieron para poder realizar el monitoreo de las variables electromecánicas en estado transitorio o dinámico del motor cuando trabaja con carga o sin carga, cuando se realiza una inversión de giro o cuando el motor realiza un cambio de arranque.
- Se logró adquirir las señales electromecánicas: corriente de línea, voltaje de entrada, velocidad del motor, las cuales fueron necesarias para realizar los diferentes análisis de corriente, velocidad, torque, corriente vs velocidad las cuales a través de las gráficas se puede interpretar el estado transitorio o dinámico del motor y poder comprender que sucede cuando el motor arranca o invierte de giro así como cuando el motor sufre un salida de carga o cuando el motor tiene carga excesiva.
- Se evidencia que la corriente de arranque medida es 1,39 veces más que la corriente de arranque de placa del motor en la conexión doble Y a un voltaje de 220 V, en cambio la corriente de arranque medido es de 1,36 veces más que la corriente de arranque de placa del motor en la conexión Y larga a un voltaje de 220 V.
- Se pudo realizar el acondicionamiento para poder obtener los valores de las variables electromecánicas a través de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), se realizó el acondicionamiento para receptar la señal mecánica (velocidad) a través de un Arduino que procesa dicha señal a alta frecuencia

para acondicionar a la tarjeta DAQ y así poder procesar y programar la velocidad de la máquina en cualquier tipo de arranque con carga o sin carga.

- Se logró visualizar las curvas correspondientes en estado transitorio o dinámico del motor cuando sufre diferentes cambios de estado como: arranque en doble “Y”, arranque “Y” larga, inversión de giro de arranque doble “Y” a arranque “Y” larga o inversamente de; “Y” larga a doble “Y”, dichas operaciones nos permite visualizar lo que sucede con el estado transitorio en la corriente, velocidad y voltaje del motor ya sea si arranca con carga o sin carga.
- Se logró evidenciar que la estabilidad de la corriente en arranque sin carga es más veloz en el arranque doble Y con un tiempo de estabilización en 500 milisegundos, con respecto a los 1500 milisegundos que necesita la conexión Y larga para estabilizar la corriente.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda a los estudiantes a futuro investigar más sobre esta forma de adquisición de datos y se pueda implementar una forma de encontrar la forma de graficar la curva de saturación de la máquina en estado dinámico.
- Es recomendable realizar la variación del tipo de simulador de carga que se emplea en el proyecto didáctico que es utilizado para la adquisición de variables eléctricas y electromecánicas de los motores asincrónicos
- Es recomendable realizar la inversión de giro solo con el arranque “Y” largo ya que si se lo realiza con el arranque doble “Y” el motor y los acoples mecánicos podrían sufrir daños ya que la potencia y la velocidad del motor es muy alta y no existe tiempo suficiente para que el motor disminuya la velocidad cuando se lo realiza en el arranque doble “Y” ya que si se lo realiza de forma inmediata podría ocasionar ruptura de los acoples.
- Se recomienda realizar las prácticas solo con 3 resistencias ya que si se pone en funcionamiento las 5 resistencias existentes en el módulo DAQ, el nivel de corriente supera los 10 amperios que los medidores de corriente soportan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Asamblea Nacional, A. (20 de Febrero de 2008). *Sistema de Educacion Superior*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2018, de http://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Normas_constitucionales.pdf
- Caputo, R. (15 de Abril de 2015). Motores, conceptos básicos y métodos de arranque. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018, de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie297_caputo_motores_conceptos_basicos.pdf.
- Cardenas. & Cordova. (2014). *Análisis del régimen dinámico de un motor de inducción trifásico usando un software de simulación*. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15449/1/UPS-CT007589.pdf>
- Chamba, J. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGIA ELECTRICA INTELIGENTE PARA USO DOMÉSTICO*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sJx02TkSZp0J:dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11420/1/Chamba%2520Loaiza%2520C%2520Jos%25C3%25A9%2520David.pdf+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- Cortez. Guevara & Rodriguez. (2015). *Diseño e implementación de un banco de prueba para una máquina asíncrona trifásica (motor de inducción trifásico, marca: Hampden, modelo: WRM – 300, rotor tipo jaula y devanado) para el laboratorio de máquinas eléctricas de la UPS - GUAYAQUIL*. Recuperado el 23 de septiembre de 2018, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7383/1/GT000686.pdf>
- Creus, A. (2007). *Neumatica e hidráulica*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Granados., R. (Julio de 2017). *Diagnóstico de fallos en el rotor de motores eléctricos en estado transitorio mediante técnicas estadísticas*. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <https://core.ac.uk/download/pdf/132345465.pdf>

- National.Instruments., I. (20 de Enero de 2018). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Oñate. C. & Pinta. Y. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA EL PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE PIEZAS CONTROLADO MEDIANTE UN PLC SIEMENS S7-120*. Obtenido de dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2898/1/108T0061.pdf
- Pérez., C. (Junio de 2011). *MONITOREO Y ADQUISICION DE DATOS DE UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA DE IMANES PERMANENTES*. Recuperado el 28 de Octubre de 2018, de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/14474/1/SEPI-ESIME-UA.pdf>.
- Puco. & Sánchez. (2017). *análisis de la operación de motores trifásicos mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para ensayo de motores eléctricos asíncronos trifásicos de 2,2 KW con adquisición automática de variables electromecánicas para el laborator*. Obtenido de repositorio.espe.edu.ec:8080/handle/21000/13101?mode=full
- Robayo, C. (ENERO de 2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y SUPERVISIÓN DOMÉSTICO PARA MEDICIÓN DE ENERGIA ACTIVA EN SISTEMAS MONOFÁSICOS*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2018, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/3462/RobayoChristian2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. (2015). *Maquinas asíncronas*. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de [Fallas y mantenimiento de motores: https://es.scrib.com/doc/37568055/Fallas-de-Motores-Asincronos](https://es.scrib.com/doc/37568055/Fallas-de-Motores-Asincronos)
- Valencia., B. (Febrero de 2002). Selección del control de motores de inducción de corriente alterna. Quito.
- Velasco. & Chacón. (2018). *Diseño y construcción de un módulo didáctico de adquisición de datos del sistema de entrenamiento electromecánico para el*

laboratorio de control eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas.
Obtenido de repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/14032?show=full

Veto., C. (AGOSTO de 2016). *SISTEMAS DAQ*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2018, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3286&xit=que-son-los-sistemas-daq>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de Investigación fue desarrollado por los señores COBA GUANOCHANGA, CARLOS ANDRÉS y TENORIO CHANGO, CARLOS MOISÉS.

En la ciudad de Latacunga, a los 25 días del mes de Enero del 2019.

Aprobado por:

ING. WASHINGTON FREIRE
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. KATYA TORRES VASQUEZ
DIRECTORA DE CARRERA

DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO