



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 MÓDULO DIDÁCTICO
PARA LA MEDICIÓN DE TORQUE ROTACIONAL EN MOTORES
ELÉCTRICOS DE POTENCIA FRACCIONAL, PARA EL LABORATORIO
DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA.**

AUTORES: LAURA TELENCHANA, EDGAR DANILO

RONQUILLO PINTO, CARLOS HIPÓLITO

DIRECTOR: ING. JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO

LATACUNGA

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA MEDICIÓN DE TORQUE ROTACIONAL EN MOTORES ELÉCTRICOS DE POTENCIA FRACCIONAL, PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por los señores **LAURA TELENCHANA, EDGAR DANILO y RONQUILLO PINTO, CARLOS HIPOLITO** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlos y autorizar a los señores **LAURA TELENCHANA, EDGAR DANILO y RONQUILLO PINTO, CARLOS HIPOLITO** para que los sustente públicamente.

Latacunga, 25 de enero del 2019.

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Mario Jiménez León'.

Ing. Mario Jiménez León

C.C.: 0501519326



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **LAURA TELENCHANA, EDGAR DANILO y RONQUILLO PINTO, CARLOS HIPÓLITO**, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA MEDICIÓN DE TORQUE ROTACIONAL EN MOTORES ELÉCTRICOS DE POTENCIA FRACCIONAL, PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS 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 los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 25 de enero del 2019.



Laura Telenchana, Edgar Danilo

C.C.: 1804624599



Ronquillo Pinto, Carlos Hipólito

C.C.: 1804648309



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **LAURA TELENCHANA, EDGAR DANILO y RONQUILLO PINTO, CARLOS HIPÓLITO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA MEDICIÓN DE TORQUE ROTACIONAL EN MOTORES ELÉCTRICOS DE POTENCIA FRACCIONAL, PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA.”** Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 25 de enero del 2019.

Laura Telenchana, Edgar Danilo

C.C.: 1804624599

Ronquillo Pinto, Carlos Hipólito

C.C.: 1804648309

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación quiero dedicarle al Divino Niño por guiarme e iluminarme en toda la etapa académica, a mis padres Aníbal y Adelaida por brindarme todo su apoyo en cada momento y por ser un ejemplo de perseverancia, a mis hermanas, cuñados y sobrinos por estar siempre pendientes de mí y por todo su apoyo incondicional.

Danilo

Dedicado a mi familia, guía fundamental de mi vida quienes han sido mí apoyo en este largo y complicado camino.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Divino Niño por todas las bendiciones recibidas, a mis padres Segundo Aníbal y María Adelaida por cuidarme y darme todo su amor en toda la formación académica, a mis hermanas Nancy, Rosa, Yolanda, Blanca y Cristina que día a día siempre me han demostrado todo su apoyo, confianza y cariño, a mis cuñados y sobrinos por estar en momentos de tristeza y felicidad.

Al Ing. Mario Jiménez por toda la ayuda brindada para el desarrollo de este proyecto de titulación y a Carlos por todo el esfuerzo dedicado para poder culminar el proyecto de titulación.

Danilo

A todos quienes forman parte de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga en cuyas aulas además de nutrirme con conocimiento pude compartir con grandes seres humanos.

A mis amigos quienes fueron parte de este trayecto con sus buenos y malos momentos pero siempre con la alegría y confianza de que llegaríamos a la culminación de esta meta.

Al Ing. Mario Jiménez quien supo ser la guía y el apoyo para poder culminar este proyecto de titulación.

Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA

1.1	Planteamiento del Problema	1
1.2	Antecedentes	1
1.3	Justificación e Importancia	2
1.4	Objetivos	3
1.4.1	Objetivo general	3
1.4.2	Objetivos específicos	3

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1	Motor de potencia fraccional	4
2.1.1	Motores de corriente continua	4
2.1.2	Motores de corriente alterna	5
a.	Motores de inducción trifásicos fraccionarios.....	6
b.	Potencia mecánica del motor eléctrico.....	6

c.	Velocidad síncrona.....	6
d.	Velocidad en el rotor	7
e.	Par	7
f.	Eficiencia en motores eléctricos.....	8
g.	Curvas de carga.....	9
2.2	Medición de torque rotacional	9
2.2.1	Sistemas para la medición de torque rotacional.....	10
a.	Celda de carga.....	12
2.3	Sistemas para la medición de velocidad angular	12
2.3.1	Encoder.....	13
2.3.2	Dinamo tacométrico	13
2.3.3	Alternador tacométrico	14
2.4	Sistema de obtención de datos	14
2.5	Sensor de torque rotacional	15
2.5.1	Principio para la medición del sensor de torque rotacional	16
2.5.2	Proceso de fabricación.....	17
2.5.3	Configuración de un sensor de torque rotacional.....	18
2.5.4	Obtención de la señal eléctrica en un sensor de toque rotacional	20
2.5.5	Factores para la selección de un sensor de torque rotacional	21
2.5.6	Aplicaciones de los sensores de torque rotacional	21
2.6	Encoder.....	22
2.6.1	Tipos de encoder	23
a.	Encoder incremental	23
b.	Encoder Absoluto.....	25
c.	Encoder Sinusoidal	26
2.6.2	Aplicaciones	26
2.7	Sensor de corriente.....	27
2.8	Sistemas de freno mecánico.....	28
2.8.1	Freno de tambor.....	28
2.8.2	Freno de disco.	29

a.	Partes del freno de disco.....	30
b.	Disco de freno.....	31
2.9	Acoples entre ejes.....	32
2.9.1	Tipos de acoples.....	33
a.	Acople flexible dentado.....	34
2.10	Caja reductora.....	34
2.10.1	Parámetros de una caja reductora.....	34
a.	Relación de transmisión.....	34
b.	Par requerido.....	35
c.	Par nominal.....	35
d.	Par transmitido.....	35
e.	Potencia de entrada.....	36
f.	Factor de servicio.....	36
2.11	Proceso de acondicionamiento de una señal.....	36
2.11.1	De filtrado.....	37
2.11.2	De amplificación.....	37
2.11.3	De comparación.....	37
2.11.4	De conversión por opto-acopladores.....	37
2.11.5	De transformación.....	38
2.11.6	De excitación.....	38
2.12	Placas de control para sensores.....	38
2.12.1	Principales ventajas de un Arduino.....	39
2.12.2	Estructura física de un Arduino.....	41
2.12.3	Software Arduino.....	41
2.13	Interfaz hombre máquina.....	42
2.14	Protocolos de comunicación con la PC.....	43
2.14.1	Comunicación serial.....	44
2.15	Hipótesis.....	44
2.16	Variables de la investigación.....	45

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Antecedentes Investigativos.....	47
3.2	Modalidad de la Investigación.....	48
3.3	Tipos de investigación.....	49
3.3.1	Investigación Bibliográfica.....	49
3.3.2	Campo de investigación.....	49
3.3.3	Despliegue de la función de la calidad (QFD).....	49
3.4	Diseño de la investigación.....	50
3.5	Niveles de la investigación.....	50
3.5.1	Exploratoria.....	50
3.5.2	Descriptiva.....	51
3.5.3	Investigación explicativa.....	51
3.6	Población y muestra.....	51
3.7	Técnica de recolección de datos.....	52
3.7.1	Observación de Laboratorio.....	52
3.7.2	Instrumentos.....	52
3.8	Técnica de análisis de datos.....	53
3.9	Técnicas de comprobación de hipótesis.....	53

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Análisis de resultados.....	56
4.1.1	Medición de torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos. ...	56
4.1.2	Motor eléctrico.....	56
4.1.3	Mediciones de parámetros del motor de potencia fraccional.	56
4.2	Casa de la calidad.....	58
4.2.1	La voz del usuario.....	58
4.2.2	La voz del ingeniero.....	58
4.2.3	Desarrollo de la matriz QFD.....	58

		xi
a.	La voz del usuario en el desarrollo del módulo	59
b.	La voz del ingeniero para el desarrollo del módulo.....	59
4.2.4	Conclusión de la matriz QFD.	60
4.3	Comprobación de hipótesis.....	61
a.	Hipótesis nula.....	61
b.	Hipótesis alternativa.....	61
4.3.1	Estadístico de prueba.....	61

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1	Tema de la propuesta	63
5.2	Datos Informativos	63
5.2.1	Beneficiarios.....	63
5.3	Objetivos	64
5.3.1	Objetivo general	64
5.3.2	Objetivos específicos	64
5.4	Justificación de la propuesta	64
5.5	Fundamentación de la propuesta.....	65
5.6	Diseño de la propuesta.	65
5.6.1	Resumen.....	65
5.6.2	Arquitectura del proyecto	66
5.7	Selección de los dispositivos electrónicos y mecánicos.....	67
5.7.1	Selección de sensor de torque rotacional.	67
5.7.2	Selección del controlador.....	70
a.	Selección de la placa de control para la señal de velocidad	71
b.	Selección de la placa de control principal	72
5.7.3	Criterios de selección del convertidor de Corriente a Voltaje.....	73
5.7.4	Selección del HMI	74
5.7.5	Criterio de selección del protocolo de comunicación	75
5.7.6	Criterio de selección del sensor de corriente	76

5.7.7	Criterio de selección del software para la comunicación con el ordenador...	77
5.8	Metodología para la ejecución de la propuesta.....	78
5.8.1	Diseño mecánico del módulo.	78
5.8.2	Esquema del conexionado de los componentes electrónicos.....	79
5.8.3	Comunicación del módulo con el Ordenador	80
5.9	Selección del freno mecánico.	80
5.10	Selección de la caja reductora	84
5.11	Análisis computacional de los componentes mecánicos.....	87
5.11.1	Análisis de los acoples.....	87
a.	Selección y análisis de los acoples 1 y 2.	88
b.	Selección y análisis del acople 3.....	90
5.11.2	Análisis estructural.	91
5.12	Programación de las placas de control.	93
5.12.1	Programación del Arduino Uno	93
a.	Esquema inicial.	93
b.	Configuración inicial de variables.....	94
5.12.2	Programación del Arduino MEGA	94
a.	Esquema inicial.	94
b.	Configuración inicial de variables.....	95
5.13	Creación de la base de datos.....	96
5.14	Programación de la interfaz grafica.....	97
5.14.1	Creación del entorno en Nextion.....	97
a.	Comunicación con Arduino	100
5.14.2	Creación del entorno en Visual Basic	100
a.	Esquema inicial.	100
b.	Interfaz Grafica.....	103
c.	Comunicación con Arduino	104
5.15	Pruebas de medición del módulo.	104
5.16	Pruebas de registro de magnitudes.	106
5.17	Análisis de los parámetros obtenidos.....	106

xiii

CONCLUSIONES..... 110

RECOMENDACIONES 111

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113

ANEXOS116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de carga	9
Figura 2. Esquema del sistema de medición de torque rotacional.....	10
Figura 3. Configuración de puente de Wheatstone.....	12
Figura 4. Encoder	13
Figura 5. Dinamo tacométrico.....	13
Figura 6: Sensor de torque rotacional.....	15
Figura 7. Eje giratorio a torsión.....	17
Figura 8. Galgas extensiométricas acopladas a un eje a torsión.....	17
Figura 9. Partes de un sensor de torque rotacional.	19
Figura 10. Puente de Wheatstone montado en el eje.....	20
Figura 11. Partes de un encoder.	22
Figura 12. Encoder incremental.....	24
Figura 13. Señales generadas en un encoder incremental.	25
Figura 14. Componentes de un encoder absoluto.	25
Figura 15. Transformador de corriente	28
Figura 16. Acople flexible.....	34
Figura 17. Componentes de una placa Arduino.....	41
Figura 18. Software Arduino	42
Figura 19. HMI marca Nextion.	43
Figura 20. Curvas de carga	57
Figura 21. Esquema de conexionado de los componentes de módulo.....	67

Figura 22. Placa de control.....	71
Figura 23. Controlador Arduino MEGA	72
Figura 24. Pantalla Nextion.....	75
Figura 25. Ensamble de los componentes mecánicos.....	79
Figura 26. Esquema del conexionado.	79
Figura 27. Conexión entre el modulo y el ordenador	80
Figura 28. Componentes mecánicos del modulo.....	87
Figura 29. Análisis computacional Love joy L075	89
Figura 30. Análisis Love joy L150	91
Figura 31. Peso de los componentes mecánicos	92
Figura 32. Análisis computacional de la base.....	92
Figura 33. Diagrama de flujo para el Arduino Uno.....	93
Figura 34. Configuración inicial.....	94
Figura 35. Diagrama de flujo del Arduino Mega.....	95
Figura 36. Declaración de variables del Arduino Mega	96
Figura 37. Variables para la creación de la base de datos	97
Figura 38. Ventana de inicio de la interfaz grafica	98
Figura 39. Ventana de opciones de la interfaz gráfica	98
Figura 40. Ventana de visualización de variables de la interfaz gráfica.....	99
Figura 41. Ventana de registro de magnitudes	99
Figura 42. Variables visualizadas a través de la interfaz grafica	100
Figura 43. Esquema inicial de la ventana principal.....	101
Figura 44. Esquema de la ventana menú.	101

Figura 45. Esquema de la ventana de visualización de magnitudes	102
Figura 46. Esquema de la ventana registro de magnitudes.....	103
Figura 47. Interfaz gráfica del ordenar.....	104
Figura 48: Registro de datos	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Motores de corriente alterna.	5
Tabla 2	Métodos para la medición de torque rotacional.....	11
Tabla 3	Partes del freno de disco.....	30
Tabla 4	Tipos de acoples	33
Tabla 5	Placas de control para sensores	39
Tabla 6	Protocolos de comunicación serial.....	44
Tabla 7	Operacionalización de la variable independiente	45
Tabla 8	Operacionalización de variable dependiente.....	46
Tabla 9	Preguntas.....	52
Tabla 10	Mediciones realizadas.....	57
Tabla 11	Variables de la investigación	61
Tabla 12	Cuestionario de las variables.	62
Tabla 13	Opciones de sensores de torque rotacional.	68
Tabla 14	Características del módulo de acondicionamiento QF-50B.....	69
Tabla 15	<i>Características de controladores</i>	70
Tabla 16	Convertidor de corriente a voltaje.....	73
Tabla 17	Opciones de HMI.....	74
Tabla 18	Protocolo SERIAL TTL.	75
Tabla 19	Sensor de corriente.	76
Tabla 20	Opciones de tipos de freno	81
Tabla 21	Datos técnicos de la caja reductora.	84

	xviii
Tabla 22 Opciones de acoples flexibles	88
Tabla 23 Opciones de acoples flexibles	90
Tabla 24 Pruebas de medición de magnitudes.	105
Tabla 25 Porcentaje de error de torque.	107
Tabla 26 Porcentaje de error de velocidad.....	108
Tabla 27 Porcentaje de error de corriente.....	109

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el diseño e implementación de un medidor de torque rotacional y velocidad angular. Este sistema consiste básicamente de un sensor de torque rotacional que se encuentra acoplado entre la máquina eléctrica y un sistema de freno mecánico, mientras que para la visualización de estas magnitudes se dispone de una interfaz gráfica la cual recibe una señal previamente acondicionada proveniente del sensor. El sensor de torque rotacional en conjunto con el motor eléctrico y el freno mecánico deben estar acoplados de manera que al girar lo hagan simultáneamente. Un sistema para la creación de una base de datos permite almacenar los datos del comportamiento bajo carga de las magnitudes durante el desarrollo de la práctica y posteriormente descargarlas.

PALABRAS CLAVE:

- ◆ **MEDIDOR DE TORQUE ROTACIONAL**
- ◆ **MOTORES ELÉCTRICOS**
- ◆ **SISTEMA DE FRENO DE DISCO**

ABSTRACT

The present project details the design and implementation of a rotational torque and angular velocity meter. This system basically consists of a rotational torque sensor that is coupled between the electrical machine and a mechanical brake system, while for the visualization of these magnitudes there is a graphical interface which receives a previously conditioned signal from the sensor. The rotational torque sensor together with the electric motor and the mechanical brake must be coupled in such a way that when they rotate they do so simultaneously. A system for the creation of a database allows to store the data of the behavior under load of the magnitudes during the development of the practice and then download them.

KEYWORDS:

- ◆ **ROTATIONAL TORQUE METER**
- ◆ **ELECTRIC MOTORS**
- ◆ **DISC BRAKE SYSTEM**

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga existen motores eléctricos de 1 HP en los cuales no se puede realizar un análisis de potencia de salida bajo ciertas condiciones de carga, ya que no existe un sistema que permita medir las magnitudes de torque rotacional y velocidad angular, por dicha razón se ve necesario implementar un mecanismo que permita realizar el frenado del motor eléctrico y medir dichas magnitudes en diferentes valores de carga aplicada.

1.2 Antecedentes

En el laboratorio de Accionamientos Eléctricos del Campus Latacunga de la Universidad de las Fuerzas Armadas, los motores de 1 HP actualmente son operados solamente en vacío. No se cuenta con un sistema que permita operar bajo condiciones de carga, por lo que las prácticas implementadas en un motor eléctrico imposibilitan conocer las características de estos motores bajo carga; como por ejemplo su potencia de salida. Para determinar esta potencia mecánica se debe medir el torque rotacional y velocidad angular.

Resulta de gran importancia para el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga registrar, visualizar y

analizar de manera fidedigna las variables adquiridas partiendo de la medición de las variables mecánicas: torque rotacional y velocidad angular al aplicar un frenado mecánico, con la finalidad de evaluar las características de operación en los motores eléctricos.

Es necesario para fomentar el conocimiento en los estudiantes el realizar un estudio de las diferentes condiciones de funcionamiento que se pueden presentar en motores eléctricos al aplicar un frenado mecánico con la finalidad de obtener la potencia de salida presente bajo dichas condiciones de funcionamiento.

La importancia de estos sistemas de medición de torque rotacional y velocidad angular radica en que posibilitan realizar las tareas de medición, cuantificación y acondicionamiento de las magnitudes físicas en variables eléctricas permitiendo visualizar y analizar las condiciones de funcionamiento del motor eléctrico durante un determinado proceso. A través de las pruebas realizadas se puede establecer los parámetros del motor eléctrico así como su comportamiento al ser sometido a una carga.

1.3 Justificación e Importancia

El proyecto a ser implementado busca medir las variables como torque rotacional y velocidad angular al aplicar un frenado mecánico, lo cual permite fomentar el conocimiento del principio de funcionamiento del sensor de torque rotacional y velocidad angular así como técnicas de acondicionamiento de señal y visualización de dichas variables los cuales van a ser aplicadas para el desarrollo del presente proyecto.

Con el presente proyecto se consigue desarrollar un módulo que permita el aprendizaje en los estudiantes, así como tutorías en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; haciendo énfasis a la carrera de ingeniería en Electromecánica, esto es de vital importancia ya que el Ingeniero Electromecánico debe tener conocimientos de distintos tipos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo didáctico que permita medir el torque rotacional y la velocidad angular en motores eléctricos de potencia fraccional.

1.4.2 Objetivos específicos

- ◆ Realizar el levantamiento de la información para obtener la base teórica necesaria para el desarrollo del módulo didáctico.
- ◆ Identificar los componentes que interfieren en el diseño del módulo didáctico para la medición de torque rotacional.
- ◆ Diseñar e implementar el módulo didáctico para la medición de torque rotacional junto con el sistema de frenado mecánico para la operación de motores eléctricos bajo carga.
- ◆ Desarrollar un programa que permita la lectura, procesamiento de datos y comunicación con la interfaz gráfica, para obtener la potencia de salida de un motor eléctrico.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Motor de potencia fraccional

Son llamados motores de potencia fraccional aquellos motores cuya potencia representa una fracción de 1 hp. Debido a lo múltiples requerimientos que presentan los motores fraccionarios en los diferentes procesos de producción, se ha dado lugar a una gran variedad de topologías de acuerdo a sus características constructivas y de funcionamiento.

Los motores de corriente continua, al igual que los motores trifásicos presentan características similares a los motores de alta potencia, únicamente viéndose reducidas sus respectivas dimensiones; a diferencia de los motores monofásicos que necesitan métodos especiales para su arranque y puesta en marcha. A continuación se presenta una descripción general de los diferentes tipos de motores de potencia fraccional con sus características más resaltantes. (Janeta, 2000)

2.1.1 Motores de corriente continúa

Los motores de corriente continua pueden ser conectados en la configuración derivación, serie o compound. En derivación el motor puede funcionar sin control de campo para generar una velocidad constante, al contrario puede presentar control de campo para producir una velocidad variable. Es utilizado en configuración serie cuando se requiere potencias bajas al disponer solo de corriente continua. (Janeta, 2000)

2.1.2 Motores de corriente alterna

Los motores eléctricos de corriente alterna de potencia fraccional reciben este nombre ya que su potencia se encuentra dada como una fracción de la medida de potencia en HP. En la Tabla 1 se muestra los diferentes tipos de motores de corriente alterna.

Tabla 1

Motores de corriente alterna.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	CARACTERÍSTICAS
Motores de inducción trifásicos.	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Posee moderada capacidad de sobrecarga. ✦ Empleado cuando se requiere de velocidad constante para carga variable. ✦ Diseñadas para potencias entre 1/6 y 3/4 de HP.
Motores de fase partida	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Usado comúnmente en aplicaciones que requieren de una potencia comprendida entre 1/20 y 1/3 de HP.
Motores con condensadores.	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Usados generalmente en aplicaciones que requieran desde 1/20 hasta 3/4 de HP.
Motores de polo partido con espira auxilia.	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Su velocidad varía según la carga. ✦ Diseñado en potencias que varían desde 1/8 hasta 3/4 de HP.
Motores tipo repulsión.	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Utilizados en aplicaciones donde la carga este acoplada directamente al motor. ✦ Diseñados para potencias desde el 1/8 hasta el 1/2 HP.
Motores universales.	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Puede sufrir del fenómeno de embalamiento si funciona con reducidas cargas. ✦ Posee una gama de potencias que van desde 1/150 hasta 1 HP.
Motores sincrónicos.	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Semejante en diseño a un motor de inducción.

Fuente:(Janeta, 2000)

a. Motores de inducción trifásicos fraccionarios

Es un motor usado comúnmente al poseer corriente trifásica y cuando se requiere de una velocidad constante para carga variable, su capacidad de potencia puede estar comprendida desde 1/6 hasta 3/4 de HP. (Janeta, 2000)

b. Potencia mecánica del motor eléctrico

La potencia mecánica desarrollada por un motor está directamente ligada a su velocidad angular y así como también al par de torsión que entrega el motor. Esta expresión queda manifestada por la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{nT}{9.55} \quad (1)$$

Dónde:

P_m : Potencia mecánica [W]

T: Par o momento de torsión. [Nm]

n: Velocidad angular. [rpm]

9.55: Valor exacto $30/\pi$. Valor necesario para arreglo de unidades. (Wildi, 2007)

c. Velocidad síncrona

Esta magnitud depende del número de polos que posee el motor y por la frecuencia que esta proporcionada al estator de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_s = (120 \times f)/p \quad (2)$$

Donde

N_s : Velocidad síncrona.

p: Número de pares de polos.

f : Frecuencia. (Janeta, 2000)

d. Velocidad en el rotor

La velocidad en el rotor está ligada al deslizamiento, mientras menor sea el deslizamiento la velocidad del rotor estará girando más cerca a la velocidad síncrona del campo magnético giratorio, el deslizamiento no puede ser mayor al 15%. La velocidad del rotor jamás será superior a la velocidad síncrona, esta relación esta expresada por la ecuación 3. (Obregon, 2005)

$$N_r = N_s(1 - S) \quad (3)$$

Donde:

N_r : Velocidad del rotor.

N_s : Velocidad síncrona.

S : Deslizamiento.

e. Par

En un motor eléctrico el torque producido por una fuerza en relación a un eje es el producto entre la fuerza por la distancia del punto de aplicación de la fuerza respecto al eje. El torque nominal entregado a un eje se determina utilizando la ecuación 4:

$$T = 9.55 * \frac{P_m}{n} \quad (4)$$

Dónde:

P_m : Potencia mecánica [W]

T : Par o momento de torsión. [Nm]

n : Velocidad angular. [rpm]

Para la medición del momento de torsión existen los métodos: en línea y reacción. Para medir el momento de torsión utilizando el método en línea se acopla un transductor de par entre el cuerpo giratorio y una carga, mientras para realizar la determinación de par por reacción se utiliza la tercera ley de Newton, la misma que establece que para toda acción, hay una reacción de igual magnitud y de dirección opuesta. Al momento de realizar la determinación de un par de reacción, la magnitud medida no es la que está ejerciendo el cuerpo giratorio, sino es la magnitud de par que se necesita para frenar el cuerpo giratorio.

Los transductores de par más utilizados en aplicaciones industriales son en línea, por lo cual, el sensor se acopla como elemento del eje giratorio. La desventaja que presenta este tipo de medición de par, es que en el sensor de par se debe acoplar elementos rotativos con elementos estáticos. (Durán, 2014)

f. Eficiencia en motores eléctricos

Se puede determinar el porcentaje de la eficiencia de un motor eléctrico mediante el uso de la siguiente ecuación: (Ferreira, 2009)

$$Eficiencia = \frac{P_m}{P_{elec}} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

P_m : Potencia mecánica.

P_{elec} : Potencia Eléctrica

g. Curvas de carga

El motor de inducción posee curvas características de carga en función del par en los que se puede interpretar el comportamiento del motor en vacío y bajo carga como se muestra en la Figura 1.

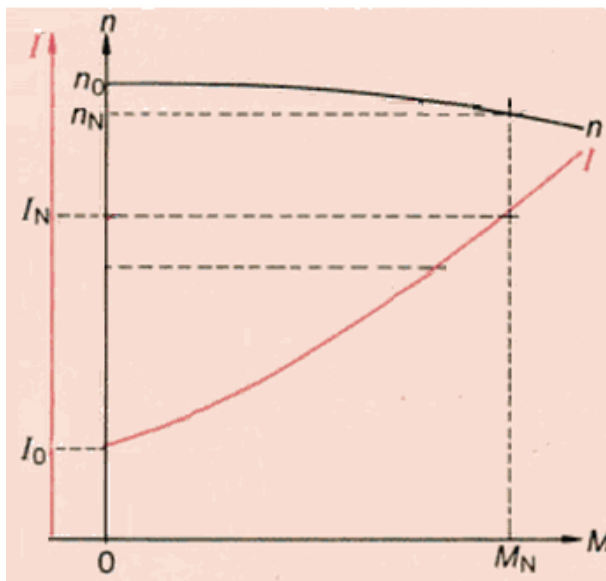


Figura 1. Curvas de carga

Fuente: (Muller, 1994)

En la Figura 1 se puede observar que la corriente se eleva conforme aumenta la carga en el motor, mientras que por el contrario la velocidad angular disminuye conforme aumenta la carga. (Muller, 1994)

2.2 Medición de torque rotacional

Una manera de obtener la magnitud del torque rotacional de un motor eléctrico es a través de la implementación de un sistema de freno mecánico. Para la medición del torque rotacional el sistema consiste básicamente de un sensor de torque y velocidad rotacional acoplado entre la máquina eléctrica y un sistema de freno mecánico, mientras

que para la visualización de estas magnitudes se dispone de una interfaz de visualización con su señal previamente acondicionada adquirida desde el sensor, como se muestra en la Figura 2.

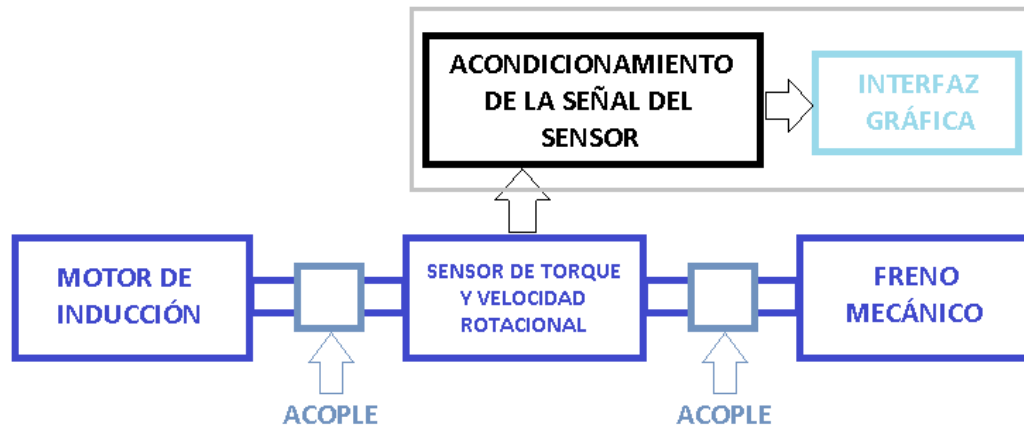


Figura 2. Esquema del sistema de medición de torque rotacional.

El sensor de torque y velocidad angular, el motor eléctrico y el freno mecánico tienen que estar acoplados de manera que al girar lo hagan simultáneamente. El sensor se encarga de enviar señales eléctricas las cuales son proporcionales al torque y velocidad rotacional.

Una vez obtenidas las señales de torque y velocidad rotacional, estos datos son enviados a un sistema de acondicionamiento de señal para posteriormente ser visualizados en una interfaz gráfica. (Gutiérrez & Corrales, 2008)

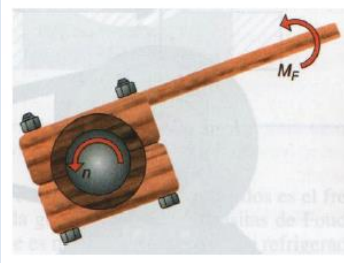
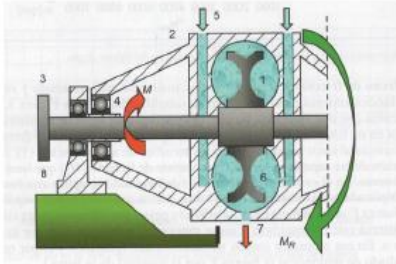
2.2.1 Sistemas para la medición de torque rotacional

Se presentan varias técnicas para la obtención de torque rotacional en los motores eléctricos, por tal razón se clasifican de acuerdo a su manera de adquisición de datos: método de adquisición directo y método de adquisición indirecto, siendo el método

directo el que presenta mayor precisión en comparación al indirecto, cuya precisión depende de los cálculos que se requieren realizar, en la tabla 2 se presenta los principales métodos para la medición de torque rotacional. (Cargua & Castelo, 2017)

Tabla 2

Métodos para la medición de torque rotacional

Sistemas para la medición de torque rotacional	Características	Esquema
Sistema directo por frenos de fricción	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Eje del motor acoplado directamente al freno. ◆ Las zapatas entran en contacto con el tambor produciendo fricción. ◆ Se aplica una fuerza de equilibrio al final del brazo. ◆ La fuerza de equilibrio aplicada al final del brazo por la longitud de la barra da como resultado el par del motor. 	
Sistema por freno hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El eje del motor está conectado a un rotor con alabes. ◆ Existe un estator alrededor del rotor. ◆ Utiliza agua como componente de fricción. ◆ El movimiento del agua se opone al giro del rotor. ◆ La resistencia del agua se traduce en fuerza de reacción que multiplicada por la longitud del brazo que soporta la fuerza de equilibrio da como resultado el par del motor. 	
Sistema por freno eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Utiliza un generador, el mismo que está unido al eje del motor. ◆ En este método la potencia absorbida produce corrientes parásitas, las cuales son disipadas al exterior en forma de energía calorífica. 	

CONTINÚA



Sistema por celda de carga

- ♦ Se basa en el principio piezo resistivo de una galga extensiométrica.
- ♦ La variación de la resistencia de la galga extensiométrica es proporcional a la deformación de la galga.



Fuente:(Cargua & Castelo, 2017)

a. Celda de carga

Es un transductor que a través de una configuración de galgas extensiométricas en puente de Wheatstone permite medir el torque rotacional o estático y traducir esta deformación en una señal eléctrica. En la Figura 3 se observa la configuración de galgas en puente de Wheatstone. (Coveñas, 2014)

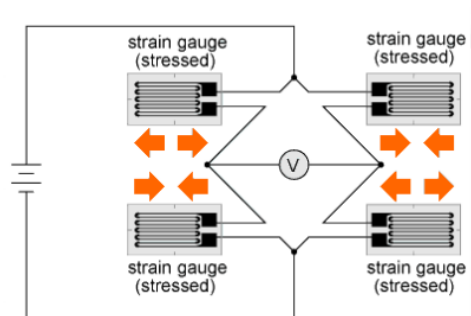


Figura 3. Configuración de puente de Wheatstone

Fuente: (Coveñas, 2014)

2.3 Sistemas para la medición de velocidad angular

Se presenta una extensa gama de sistemas a través de los cuales es posible la medición de la velocidad angular. Siendo los más utilizados los siguientes tipos:

2.3.1 Encoder

Es utilizado para la medición de la posición y velocidad angular proporcionando una señal digital en la salida. El encoder está compuesto por un disco acoplado a un eje, el disco cuenta con secciones opacas que permiten o bloquean el paso de la luz emitida por una fuente con lo cual se produce dicha señal digital como se muestra en la Figura 4. (Coveñas, 2014)

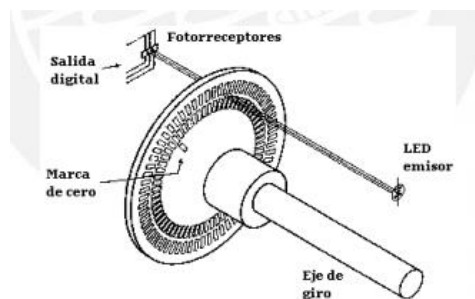


Figura 4. Encoder

Fuente: (Coveñas, 2014)

2.3.2 Dinamo tacométrico

Este sistema envía una señal a la salida en C.C. Presenta sensibilidad con un rango comprendido de 5 a 10 mV por cada rpm. Su rango de medición puede alcanzar hasta las 10000 revoluciones por minuto. (Coveñas, 2014)



Figura 5. Dinamo tacométrico

Fuente: (Coveñas, 2014)

2.3.3 Alternador tacométrico

Envía una señal alterna a la salida con amplitud y frecuencia directamente proporcional a la velocidad angular que se requiere medir, posee una sensibilidad con un rango comprendido de 2 a 10 mV por cada rpm. (Coveñas, 2014)

2.4 Sistema de obtención de datos

La etapa previa al manejo y análisis de señales se realiza en los equipos de obtención de datos, los mismos que adquieren señales medidas y ajustadas con el fin de ser analizadas y mostrar su resultado al usuario.

El sistema de medición de magnitudes que lleva a la visualización de las mencionadas señales se realiza de acuerdo al siguiente procedimiento:

- ◆ Interpretación de las señales obtenidas a través de los sensores.
- ◆ Acondicionamiento de la medida obtenida.
- ◆ Técnicas para la obtención de datos (hardware para la obtención).
- ◆ Interfaz gráfica.

En la actualidad se observa un sin número de equipos destinados a la obtención de datos, en los cuales existen características fundamentales que los diferencian, como puede ser el número de entradas y salidas de variables que tienen capacidad de ser analizadas, el tipo de datos a estudiar, rapidez y métodos de procesamiento de datos. (Boada, 2015)

2.5 Sensor de torque rotacional

El sensor de torque rotacional se define como un transductor, este dispositivo transforma el torque rotacional mecánico ingresado a una frecuencia eléctrica. El sensor de torque rotacional posee un elemento denominado celda de carga el cual transforma la fuerza en una señal eléctrica, esta señal puede ser en voltaje o corriente. La celda de carga posee en su interior una o más galgas extensiométricas, las galgas extensiométricas poseen la cualidad de variar su resistencia eléctrica cuando se aplica en ellas una fuerza mecánica. (Durán, 2014)



Figura 6: Sensor de torque rotacional

Fuente. (Quan Yuan, 2018)

El sensor de torque rotacional es un dispositivo que permite medir el torque rotacional presente, en un elemento giratorio, el cual posee acoplados a la entrada y a la salida los elementos de los cuales se desea saber el par y envía una señal eléctrica de los datos tomados. En la actualidad se dispone de una variedad de sensores de torque rotacional, de acuerdo al requerimiento y aplicación. (Muñoz, 2011)

Un sensor de torque rotacional posee cualidades favorables para efectuar medidas en el manejo de instrumentos y equipos. Estos sensores permiten un ensamble sin unión por lo que son prácticos para determinar el torque rotacional a velocidades relativamente altas. (Logicbus, 2018)

2.5.1 Principio para la medición del sensor de torque rotacional

El sensor de torque rotacional es usado para transformar una fuerza a una medida eléctrica. A través de un equipo mecánico, la fuerza que se desea calcular se transmite con el propósito de deformar una celda de carga, la cual puede estar constituida por una (cuarto de puente), dos (medio puente) o cuatro (puente completo de Wheatstone) galgas extensiométricas. Las galgas ubicadas dentro de la celda de carga poseen la propiedad de transformar la deformación o desplazamiento en señales eléctricas. (Pincay & Tigrero, 2013)

El principio de funcionamiento del sensor de torque rotacional hace uso de la tecnología de la galga extensiométrica, donde la galga extensiométrica esta acoplada a un eje. El diseño del eje giratorio de los sensores de torque rotacional está dado de acuerdo a la aplicación a ser utilizados, por lo que el diseño puede ser personalizado con el objetivo de obtener la señal eléctrica de salida máxima. (Measurements, 2004)

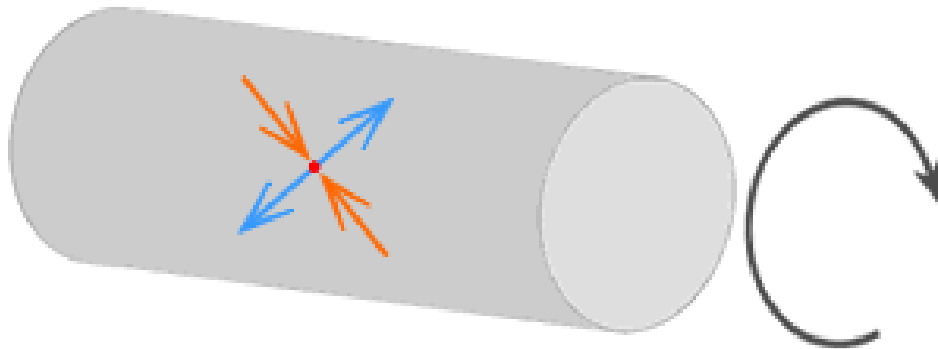


Figura 7. Eje giratorio a torsión

Fuente: (Measurements, 2004)

En las Figuras 7 y 8 se muestra un eje giratorio aplicado a torsión, al aplicar una fuerza contraria al sentido de giro del eje hace que en dicho eje se produzca una torsión, provocando que las galgas extensiométricas acopladas al eje sufran una deformación y transformen esta deformación en una señal eléctrica. (Measurements, 2004)

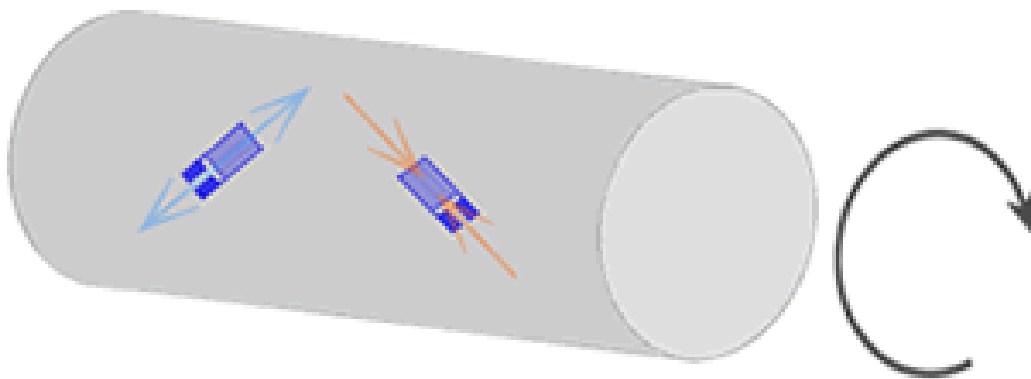


Figura 8. Galgas extensiométricas acopladas a un eje a torsión

Fuente: (Measurements, 2004)

2.5.2 Proceso de fabricación

El conjunto de técnicas implementadas a través del uso de galgas extensiométricas permite la fabricación de sensores de torque a través del procedimiento mostrado a continuación.

- ◆ Esquematización y construcción de un elemento de flexión utilizando cuerpos de elevada resistencia.
- ◆ Ensamble de galgas extensiométricas a las componentes más frágiles de la unidad de flexión.
- ◆ Unión de las galgas extensiométricas a través de una distribución de puente de Wheatstone teniendo en cuenta las repercusiones que puede presentar la temperatura en el transductor.
- ◆ Se establece el procedimiento de graduación con trazabilidad NIST (Instituto Nacional de Normalización y Tecnología). Se impone un par aplicando un freno mecánico el cual puede ser aplicado en sentido de las manecillas del reloj o contrario a las manecillas del reloj. Las galgas extensiométricas transforman la deformación mecánica en una variación en la resistencia eléctrica directamente ligada a la cantidad de carga sometida. (Logicbus, 2018)

2.5.3 Configuración de un sensor de torque rotacional

El sensor de torque rotacional está constituido por varios elementos como se muestra en la Figura 9.

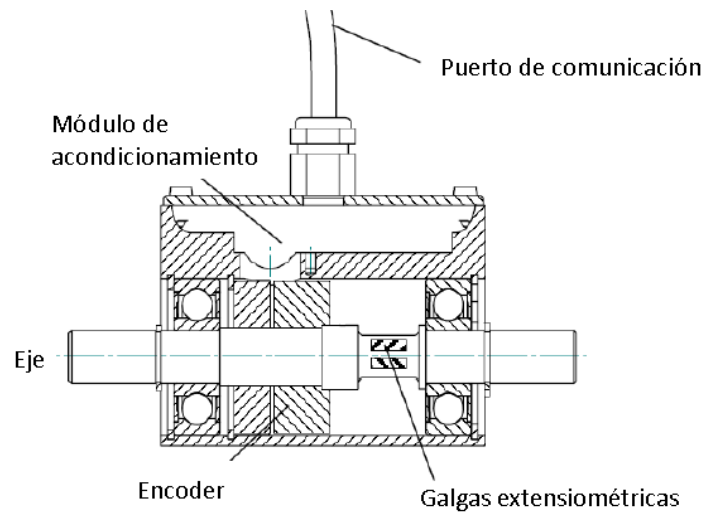


Figura 9. Partes de un sensor de torque rotacional.

Fuente: (Muñoz, 2011)

- ◆ **Puerto de comunicación:** es el conducto en el cual se encuentra todos los cables que proporcionan todas las señales de alimentación, velocidad y torque.
- ◆ **Galgas extensiométricas:** son las encargadas de proporcionar la medida de torque. Al aplicar una deformación de torsión en el eje en el cual se encuentran ubicadas las galgas se deforman en conjunto con el eje, la deformación provoca una variación en su resistencia la cual es proporcional al torque rotacional.
- ◆ **Módulo de acondicionamiento:** su función es establecer la relación que existe entre la variación de resistencia de la galga extensiométrica y el torque rotacional, por lo cual envía una señal acondicionada.
- ◆ **Encoder:** es el que se encarga de determinar el número de revoluciones realizadas por la rotación del eje. El encoder establece en número de revoluciones de acuerdo a un cierto número de pulsos generados.

- ◆ **Eje giratorio:** su función es transmitir la rotación ejercida por el motor acoplado en el extremo de transmisión, mientras que en otro extremo se acopla a un freno mecánico o a la carga. (Muñoz, 2011)

2.5.4 Obtención de la señal eléctrica en un sensor de toque rotacional

Por lo general, se presenta un puente completo de Wheatstone con elementos de compensación de temperatura que se encuentran en el circuito. La señal eléctrica se obtiene alimentando al puente y aplicando un par al eje giratorio, esta señal eléctrica es directamente proporcional al par aplicado al eje. El circuito del puente de Wheatstone es alimentado por una fuente Vdc de 5V hasta 18 V, como se muestra en la Figura 10.

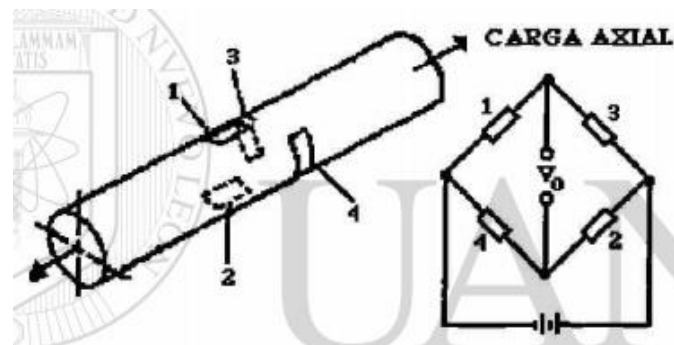


Figura 10. Puente de Wheatstone montado en el eje.

Fuente: (Measurements, 2004)

Es necesario que la medición proporcionada por el sensor de torque rotacional cuente con una calibración utilizando equipos que posean valores estandarizados de torque como referencia. Las señales eléctricas a la salida del sensor de torque rotacional se encuentran en el rango de milivoltios, por lo general, estas señales son procesadas por circuitos de acondicionamiento con el fin de generar una señal en voltajes más altos

(0 a 5V, 0 a 10V) o en corriente (0 a 20 mA, 4 a 20 mA) para posteriormente ser enviadas a un controlador. (Measurements, 2004)

2.5.5 Factores para la selección de un sensor de torque rotacional

Para la selección de un sensor de torque rotacional a utilizar se distinguen los siguientes factores:

- ◆ Velocidad máxima de rotación.
- ◆ Rango de torque rotacional.
- ◆ Tiempo de duración de la prueba.
- ◆ Acople mecánico.
- ◆ Entorno a realizar la medición. (Measurements, 2004)

2.5.6 Aplicaciones de los sensores de torque rotacional

Las diferentes variedades de sensores de torque rotacional que se dispone en el mercado son descritos a continuación:

- ◆ Transductor de torque rotacional para destornillador Hexagonal (el cual permite medir el torque rotatorio sin unión y aros para ser implementadas en línea y utilizables con encoder).
- ◆ Transductor de torque rotacional acoplado entre ejes (utilizado para medir torque rotatorio sin o con unión, ideal para ser implementadas en línea y utilizables con encoder).
- ◆ Transductor de torque rotacional de eje rectangular (utilizado para medir torque rotatorio sin unión, ideal para ser implementadas en línea y utilizables con encoder).

La utilización de transductores digitales ha ganado terreno en técnicas de control digital, debido a su sencilla obtención de datos para posteriormente ser analizados, así como también se destaca por la resistencia que posee frente a varias perturbaciones electromagnéticas. (Logicbus, 2018)

2.6 Encoder

Un Encoder es un dispositivo que convierte un movimiento rotacional en un conjunto de impulsos digitales. Dichos impulsos formados permiten el control de movimientos de tipo rotacional o lineal, en el momento que son utilizados en asociación con mecanismos como pueden ser cremalleras, discos de medición o ejes de motores, estos permiten medir desplazamientos lineales, velocidad y posición. (Oñate & Pinta, 2013). En la Figura 11 se identifican las partes de un encoder.

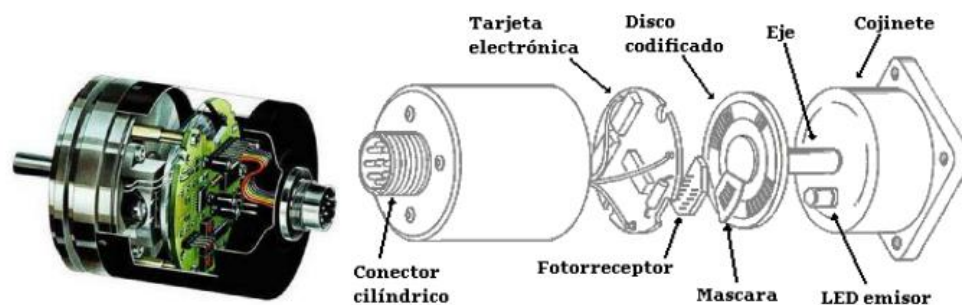


Figura 11. Partes de un encoder.

Fuente: (Oñate & Pinta, 2013)

Los encoder son utilizados primordialmente en la fabricación de materiales y en máquinas herramientas. En la mayoría de los encoder, la determinación de la cantidad de movimiento rotacional se fundamenta en el principio de inspección optoeléctrica. El procedimiento de interpretación se fundamenta en la revolución de un disco graduado el

cual posee un reticulado radial integrado por secciones opacas, alternadas con regiones transparentes. En este disco se proyecta un haz de luz de manera perpendicular por un emisor de rayos infrarrojos. El cual irradia de esta forma su imagen sobre el área de distintos receptores convenientemente enmascarados por otro reticulado el cual posee similar paso del anterior denominado colimador. La función de un receptor es determinar las variaciones de haz luz que se presentan con la rotación del disco interpretándolas como transiciones foto receptor eléctricas. (Muñoz, 2011)

Un impulso eléctrico detectado, para producir señales adecuadamente cuadradas y sin perturbaciones, debe ser filtrado electrónicamente. Para obtener una señal consistente y precisa, el proceso de interpretación se ejecuta habitualmente de forma diferencial, relacionando dos ondas similares, aunque con un desfase de 180° eléctricos. Su lectura se realiza de acuerdo a la diferencia de las dos señales, suprimiendo de esta forma las perturbaciones que puede interferir la señal que se desea interpretar. (Muñoz, 2011)

2.6.1 Tipos de encoder

Existen varios tipos de encoder: encoder incremental, encoder absoluto y encoder sinusoidal.

a. Encoder incremental

Un encoder incremental se distingue debido a que mide su posición valorando la cantidad de impulsos que se originan cuando un haz de luz es interrumpido por secciones opacas en el contorno de una rueda acoplada al eje de un dispositivo giratorio. (Oñate & Pinta, 2013), tal como se indica en la Figura 12.

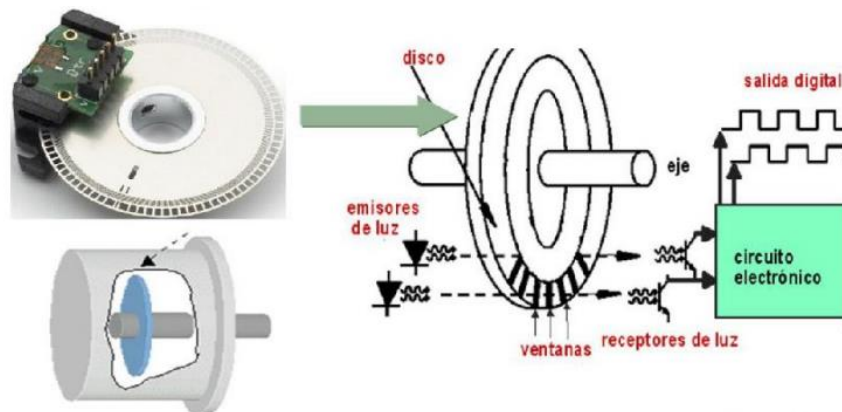


Figura 12. Encoder incremental.

Fuente: (Oñate & Pinta, 2013)

En el estator se ubican por lo general dos pares o más de fotorreceptores ópticos, graduados una cantidad entera de pasos más $\frac{1}{4}$ de paso. Cuando el rotor gira se origina una señal de onda cuadrada, el rango produce que las señales se desfasen $\frac{1}{4}$ de periodo cuando el rotor gira en un sentido y de $\frac{3}{4}$ si gira en dirección opuesta, la cual permite determinar el sentido de giro. En la Figura 13 se observan las señales generadas por un encoder incremental.

A través de un procedimiento lógico se puede establecer el número de revoluciones a partir de una posición inicial, se determina la cantidad de impulsos y a través del desfase entre las dos señales se establece el sentido de giro. Varios encoders poseen una señal adicional que generan un pulso por revolución con lo cual se consigue contabilizar la cantidad de revoluciones más la fracción de revolución que se puede originar. Un encoder tiene una resolución que es proporcional a la cantidad de pulsos por vuelta. (Oñate & Pinta, 2013)

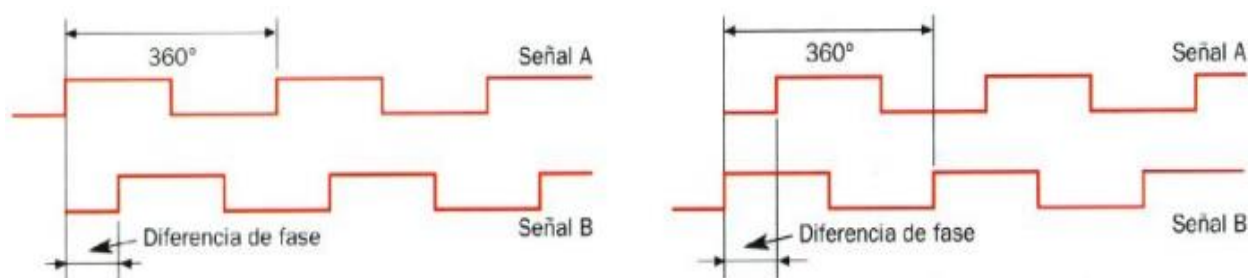


Figura 13. Señales generadas en un encoder incremental.

Fuente: (Oñate & Pinta, 2013)

b. Encoder Absoluto

La tecnología presente en el encoder absoluto es semejante al encoder incremental, el encoder absoluto consta de un disco que gira en conjunto con el eje en el cual se encuentra zonas transparentes y opacas interrumpiendo el paso de un haz de luz captado por foto receptores como se muestra en la Figura 14, estos fotoreceptores convierten los impulsos luminosos interrumpidos en impulsos eléctricos para posteriormente procesar la señal a través de un controlador. .

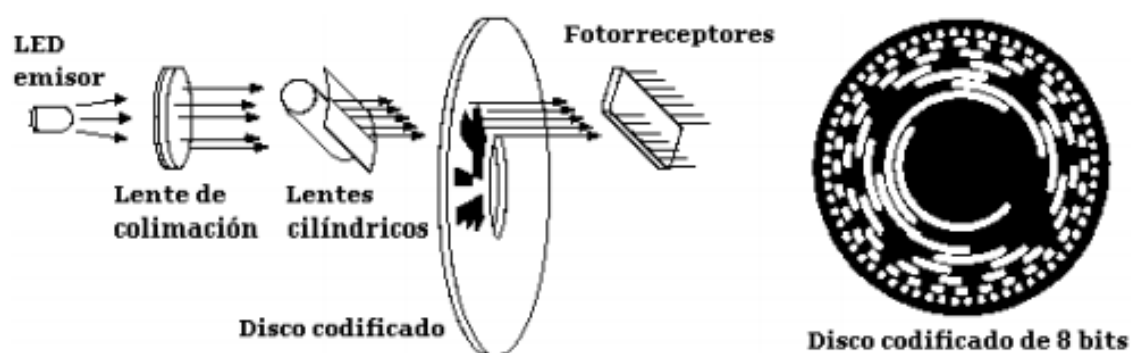


Figura 14. Componentes de un encoder absoluto.

Fuente: (Oñate & Pinta, 2013)

Dependiendo la ubicación del disco, el haz de luz proyectado por el emisor atravesará una región opaca o transparente.

- ♣ Si atraviesa una región opaca, el haz de luz se refleja y el receptor toma la señal.
- ♣ Si atraviesa una región transparente, el haz de luz atraviesa el disco y el receptor no toma la señal.

Las distintas agrupaciones posibles de las regiones en el disco producen un impulso de salida digital compuesta de cuatro bits la cual puede ser enviada a un microcontrolador. (Oñate & Pinta, 2013)

c. Encoder Sinusoidal

El encoder sinusoidal es un tipo de encoder incremental con una característica esencial, las señales que envía este encoder son de tipo analógico con onda sinusoidal. Este sensor ha sido desarrollado fundamentalmente con el fin de cubrir las necesidades en el área de motores eléctricos siendo utilizado como un transductor de retroalimentación instalado en conjunto con el motor.

Este encoder es utilizado cuando se requiere obtener un control preciso del motor para aplicaciones en las que se necesita obtener una retroalimentación con una gran cantidad de impulsos a bajo número de revoluciones del motor. (Oñate & Pinta, 2013)

2.6.2 Aplicaciones

Los encoder que se disponen son utilizados para distintas aplicaciones académicas e industriales. Son útiles como sensores de retroalimentación con el fin de controlar la

velocidad en motores eléctricos, como transductores para calibración, medición y validación.

Existen diversas aplicaciones de los encoder como pueden ser:

- ◆ Medidores de r.p.m.
- ◆ Módulos de accionamiento de puertas.
- ◆ Automatización.
- ◆ Impresoras plotter.
- ◆ Soldadura robotizada.
- ◆ Procesos de ensamblaje.
- ◆ CNC.
- ◆ Dispositivos médicos. (Oñate & Pinta, 2013)

2.7 Sensor de corriente

El sensor de corriente también denominado como transformador de corriente, es un dispositivo empleado para generar en el circuito secundario la corriente que circula por el circuito primario en una medida proporcional, conservando fundamentalmente la relación de fase. Este instrumento es sumamente usado en el campo de la industria ya que a través de este dispositivo es posible medir y controlar corrientes altas con instrumentos pequeños y precisos. (Muñoz J. , 2011). En la Figura 15 se observa un transformador de corriente.

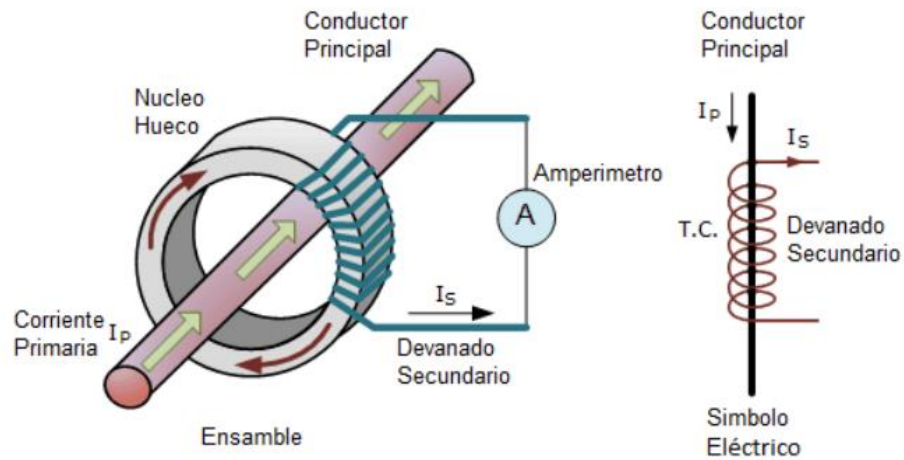


Figura 15. Transformador de corriente

Fuente: (Muñoz J. , 2011)

2.8 Sistemas de freno mecánico.

Un sistema de frenado se clasifica de acuerdo al componente metálico que se ubica asociado al elemento rotatorio en el cual fricciona la cubierta del freno, presentándose esta disposición del freno. Se encuentra dos tipos de freno: de tambor y de disco. (Tamayo, 2016)

2.8.1 Freno de tambor

Los frenos de tipo tambor están constituidos por los siguientes elementos:

- ◆ Un par de zapatas.
- ◆ Disco porta freno
- ◆ Resorte de restablecimiento.
- ◆ Tambor

Las dos zapatas se encuentran situadas en el disco porta frenos en el interior del tambor el cual a su vez está asociado al elemento rotatorio. Para activar este mecanismo es esencial un sistema de mando el cual puede ser mecánico, hidráulico, neumático, entre otros. Este sistema de mando producirá una fuerza sobre las zapatas trasladándolas con la finalidad de ejercer contacto con la superficie interna del tambor, el frenado se origina debido al rozamiento que se produce entre la cubierta de fricción y el tambor. Culminado el proceso de frenado y después de desactivar el sistema de mando, las zapatas se restituyen a su ubicación inicial debido a los resortes de restablecimiento. (Tamayo, 2016)

2.8.2 Freno de disco.

Es un sistema de frenado usado habitualmente en ruedas, luego de someterse a una alteración debido a la fricción de unos elementos de elevado coeficiente de rozamiento (comúnmente llamados pastillas de freno) los cuales aplican en ellos una fuerza lo bastante conveniente para convertir una parte o la totalidad de la energía cinética de rotación, en energía calorífica, disminuyendo su velocidad o hasta llegar al punto de detenerlo completamente. Toda esta medida de calor necesita ser dispersada con algún método en el menor tiempo factible. Este sistema de frenado es parecido en este sentido al sistema de freno de tambor, diferenciándose en que la superficie frenante es más reducida pero la dispersión de la energía calorífica producida es elevada, por lo que al final se observa un gran beneficio en la menor superficie frenante. (Mora & Gramal, 2013)

a. Partes del freno de disco.

En la Tabla 3, se presentan las principales características de los elementos que constituyen el sistema de freno de disco.

Tabla 3

Partes del freno de disco.

Partes	Características	Figura
Disco de freno	<ul style="list-style-type: none"> Los discos de frenos se presentan en distintos tipos. Varios son de acero compacto, en cambio otros se encuentran con superficies huecas o con agujeros que los traspasan. 	
Pastillas de freno.	<ul style="list-style-type: none"> Están encargadas de generar una elevada cantidad de rozamiento con el disco. Su material constituyente establecerá su vida útil, capacidad de frenado y su conducta en condiciones de funcionamiento críticas. 	
Mordaza.	<ul style="list-style-type: none"> Es la base sobre la que se encuentran ubicadas las pastillas y los pistones del sistema de frenado. Los pistones son fabricados comúnmente de hierro para posteriormente ser revestidos con un cromado. 	
Pistones y cilindros.	<ul style="list-style-type: none"> Los pistones poseen un soporte fijo el cual los rodea y arandelas de caucho para evitar la fuga de la presión producida por el líquido de frenos, el cual es el encargado de accionar los pistones. 	

CONTINÚA



Accionamiento hidráulico

Está compuesto por:

- ♣ Palanca de freno.
- ♣ Bomba de freno.
- ♣ Conducto.
- ♣ Líquido de freno.



Fuente:(Mora & Gramal, 2013)

b. Disco de freno.

El disco de freno es el elemento que permite reducir o frenar el movimiento al interactuar con las pastillas de freno. A través de este elemento se convierte la energía cinética de rotación en energía calorífica debido a la fricción que se produce en el momento de frenado, por lo cual este elemento debe poseer características favorables para la disipación de calor, con la finalidad de elevar la vida útil de los elementos del sistema de freno. Los discos de freno convencionales a velocidades bajas pueden disipar la energía calorífica de manera más eficiente conservando la vida útil de los elementos del sistema de frenado. (Carpio, 2018)

Para determinar la energía a disipada por el disco de freno a partir de la energía cinética que posee el sistema al encontrarse en movimiento se utiliza la ecuación 5. (Cáceres, 2015)

$$E_f = \frac{i \times m \times (V_0^2 - V_f^2)}{2} \quad (5)$$

Donde:

E_f : Energía a disipar. [J]

i : Factor para masas rodantes, adimensional. (Entre 1.05 y 1.5)

m : Masa del sistema. [Kg]

V_0 : Velocidad inicial. [m/s]

V_f : Velocidad final. [m/s]

Para determinar la variación de temperatura que se produce en el sistema de freno durante el proceso se utiliza la ecuación 6.

$$\Delta T = \frac{E_f}{m \times C_p} \quad (6)$$

Donde:

ΔT : Diferencia de temperatura en el disco de freno. [°C]

E_f : Energía a disipar. [J]

m : Masa del disco de freno. [Kg]

C_p : Calor específico del disco de freno. [J / Kg °C]

2.9 Acoples entre ejes

Los equipos para el acople entre ejes permiten la transmisión de movimiento rotacional, cuyas características principales son garantizar la transmisión de movimiento giratorio y suprimir las vibraciones que pueden presentarse entre dos ejes.

Las vibraciones se presentan debido a que los ejes no están perfectamente alineados. Existen desviaciones de forma angular o radial, en la mayoría de ocasiones se observa una combinación de ambos fenómenos. La relación de transmisión ideal es

igual a la unidad, pero en ciertas ocasiones se observa que un eje puede presentar mayor velocidad en un instante de tiempo que en otro.

Se puede realizar una analogía entre ciertos acoples mecánico con un fusible eléctrico ya que algunos de ellos tienen la capacidad de quebrarse en el momento que se supere un valor de par establecido. Con lo que se consigue proteger los elementos activos del sistema que poseen mayor valor económico. Esto se alcanza elaborando una sección del acoplamiento de un material más frágil el cual fallará en el momento que se produzca un elevado esfuerzo. (Jiménez & Sinchiguano, 2007)

2.9.1 Tipos de acoples

La clasificación de los acoplamientos se realiza de acuerdo a la posición geométrica de los ejes que se deseen acoplar. Los tipos de acoples pueden ser: rígidos y flexibles, en la Tabla 4 se resumen algunos tipos de acoples.

Tabla 4

Tipos de acoples

Tipos	Características	Subtipos
Rígidos	En este tipo de acople no existen desalineación.	De manguito. De manguito partido. De brida o de plato
Flexibles	Este tipo de acople permite desalineación.	Rígidos a torsión: ♦ Junta Cardan ♦ Juntas homocinéticas. ♦ Junta Oldham. Flexible dentado ♦ De cadena ♦ De barriletes.

Fuente: (Jiménez & Sinchiguano, 2007)

a. Acople flexible dentado.

Diseñados para transmitir torque, permiten un desalineamiento radial, axial y angular. La flexibilidad actúa cuando las dos piezas acopladas presentan un desalineamiento, este elemento permite que ambos ejes giren sin que se presente una resistencia. (Télles & Lezama, 2009). En la figura 16 se muestra un ejemplo de acople flexible.



Figura 16. Acople flexible

Fuente: (Télles & Lezama, 2009)

2.10 Caja reductora.

Los reductores son equipos empleados en diversas aplicaciones en el ámbito industrial, como pueden ser: bombas, máquinas herramientas, bandas transportadoras, ascensores, entre otros. Con el objetivo de disminuir su velocidad de manera confiable y eficaz. A través de un reductor se consigue reducir la velocidad e incrementar el par que posee un motor. (Doñu, 2008)

2.10.1 Parámetros de una caja reductora.

a. Relación de transmisión.

Es un valor sin dimensión, que relaciona la velocidad de entrada con la velocidad de salida y está dada por la siguiente ecuación: (Transtecno, 2017)

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (7)$$

b. Par requerido.

Es el torque necesario para poner en funcionamiento un determinado sistema y a partir de este se determinan las características necesarias que debe tener el motor. Este dato puede ser previamente conocido o ser calculado a partir de la aplicación a ser implementada. (Transtecno, 2017)

c. Par nominal

Es el torque que puede ser transmitido a la salida de la caja reductora, este valor puede ser determinado a través del producto del torque de salida (M_2) y el factor de servicio (sf). (Transtecno, 2017)

$$Mn_2 = M_2 \times sf \quad (8)$$

d. Par transmitido

Es el torque que se transmite a la salida de la caja reductora. Este valor puede ser calculado a partir de la ecuación 9. (Transtecno, 2017)

$$M_2 = \frac{9550 \times P_1 \times Rd}{n_2} \quad (9)$$

Dónde:

P_1 Potencia del motor instalado. [W]

Rd Rendimiento dinámico. El rendimiento dinámico medio en los reductores es del 94%.

n_2 Revoluciones a la salida. [rpm]

e. Potencia de entrada

Es la potencia que posee el motor y es transmitida a la entrada de la caja reductora.

Se determina a partir de la siguiente ecuación 10. (Transtecno, 2017)

$$P_1 = \frac{M_2 \times n_2}{9550 \times Rd} \quad (10)$$

f. Factor de servicio

Es un valor sin dimensión, el cual especifica la cantidad de sobredimensionamiento permisible para asegurar una larga vida útil de los elementos de la caja reductora. El valor del factor de servicio viene tabulado en catálogos del fabricante y en caso de presentarse una carga con un servicio constante es igual a 1. (Transtecno, 2017)

2.11 Proceso de acondicionamiento de una señal.

Hoy en día, un gran número de los sensores permiten enviar una señal en voltaje o corriente, con el fin de facilitar un procesamiento sencillo de la señal para posteriormente ser enviada a un equipo de obtención de datos.

Según el tipo de transferencia de señal del transductor, los equipos destinados para el procesamiento mayormente conocidos son:

2.11.1 De filtrado.

La finalidad del filtrado es eliminar o bloquear la transferencia de señales que se presentan sobre la frecuencia fundamental de operación, con lo que se consigue de esta manera apartar estas señales de los datos obtenidos y la llegada de las señales erróneas al sistema de obtención de datos.

2.11.2 De amplificación.

Se utiliza al observar que la señal adquirida del sensor es muy diminuta o reducida, por lo cual no es detectable por el equipo de obtención de datos. Estos valores deben ser elevados de forma que sus transiciones de valores sean visibles en el equipo de obtención de datos.

2.11.3 De comparación.

El uso básico de un comparador se aplica al presentarse una modificación de los datos y se necesita visualizar los valores únicamente en algunos rangos, utilizando una alimentación externa la cual debe poseer el rango de medidas requeridos para la siguiente etapa.

2.11.4 De conversión por opto-acopladores.

Al momento de proteger el equipo de medición de señales del equipo de obtención de datos, teniendo como objetivo impedir la utilización de masas comunes y bifurcación de corrientes por lo cual es aplicado un convertidor de señales análogas a digitales.

2.11.5 De transformación.

En vista que gran cantidad de sensores envían pulsos de corriente y voltaje, los cuales poseen cantidades que sobrepasan los valores admitidos por los equipos de obtención de datos, para lo cual es necesario transformar estos valores a una variación de voltaje o corriente que varíe de acuerdo al dato obtenido y se encuentre dentro de las cantidades permitidas por un equipo de obtención.

2.11.6 De excitación.

Ciertos transductores que ejecutan un reducido procedimiento con el dato obtenido, como puede ser los cambios de intensidad y voltaje los cuales están directamente relacionados a la dimensión a comparar, requiere de una excitación externa. (Boada, 2015)

2.12 Placas de control para sensores.

Las placas de control para sensores son dispositivos electrónicos con circuitos impresos que permiten la lectura, procesamiento de datos y control en un sin número de procesos y aplicaciones industriales. Estos dispositivos pueden ampliar su funcionalidad al instalarse dispositivos compatibles para extender sus capacidades.

Estos dispositivos permiten la configuración de entradas y salidas digitales y analógicas para la lectura de señales de sensores. En la Tabla 5 se resumen las características de algunas placas de control. (Altamirano & Puente, 2016)

Tabla 5*Placas de control para sensores*

Dispositivo	Características
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Poseen la facilidad de relacionar la parte física con su relación electrónica. ◆ Amplia compatibilidad con una extensa gama de sensores. ◆ Multiplataforma. ◆ Entorno de programación simple y flexible.
Intel Galileo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Diseñado para facilitar las aplicaciones orientadas al internet de las cosas. ◆ Posee compatibilidad con las placas Arduino. ◆ Costo elevado.
Raspberry Pi	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Llega a poseer las cualidades de un pequeño ordenador. ◆ Costo elevado en el mercado. ◆ Compatible con el sistema operativo Linux.
Libelium Waspmore	<ul style="list-style-type: none"> ◆ También implementa tecnología para el desarrollo con internet de las cosas. ◆ Posee la capacidad de conectar módulos inalámbricos. ◆ Elevado precio. ◆ Compatible con los dispositivos Arduino.

Fuente:(Altamirano & Puente, 2016)

Un tipo de controlador que se destaca por su versatilidad y velocidad para el procesamiento de datos hoy en día es el Arduino, este dispositivo contiene una placa en la cual se distribuyen un microcontrolador y además de una serie de pines que permiten la interacción de las entradas y las salidas, los mismos que facilitan la comunicación con un dispositivo físico a través de un conjunto de comandos fundamentado en un lenguaje de programación C++. (Altamirano & Puente, 2016)

2.12.1 Principales ventajas de un Arduino

Los notables beneficios que presenta un Arduino en comparación con otros dispositivos de control y microprocesadores se indica a continuación:

- ◆ Ergonomía: Un Arduino al ser un equipo constituido por varios componentes los cuales son: unidad de procesamiento, procesamiento de datos, filtros, bornes de

comunicación para señales digitales y señales análogas, puertos de transferencia de datos, interfaz para programar, entre los principales; posee también un software patentado.

- ◆ Precio accesible: Un Arduino tiene un precio reducido por lo que es de fácil adquisición y por esta razón es utilizado para el desarrollo de proyectos académicos y procesos de automatización siendo inclusive implementados en la industria.
- ◆ Multi-Plataforma: Uno de los beneficios que presenta el programa de Arduino es que puede ser utilizado en diferentes paquetes informáticos a comparación de otros microcontroladores que están destinados al uso en Windows.
- ◆ Ambiente de desarrollo del programa: El ambiente de programación de Arduino permite una interacción sencilla entre el software y el usuario.
- ◆ Programa informático extensible y de distribución libre: La característica principal que posee un Arduino es que su software es libre y ampliable mediante paquetes de C++ actualizadas por lo general por los productores de Arduino o desarrollados por informáticos que los comparten en la web y están disponibles para todos los usuarios.
- ◆ Estructura física y de distribución libre: Al igual que el programa informático la estructura física puede ser también extensible por medio de dispositivos y componentes adicionales los cuales son de fácil adquisición; los esquemas de los circuitos de un Arduino están distribuidos por Creative Commons, con lo cual el usuario tiene libertad para crear un dispositivo a conveniencia de la aplicación en la cual se desea implementar. (Rodríguez & Barreno, 2017)

2.12.2 Estructura física de un Arduino

La estructura física de los circuitos de un Arduino se basa en un circuito integrado programable Atmel AVR, bornes de conexión de ingreso y salida de información digital con posibilidad de modificar las salidas a señal por PWM, bornes de recepción de señales análogas, bornes de alimentación, bus de comunicación, generador de señales de frecuencia de 16 MHz, puerto USB, reset, así como otros componentes. En la figura 17 se observa los componentes físicos de un Arduino. (Rodríguez & Barreno, 2017)

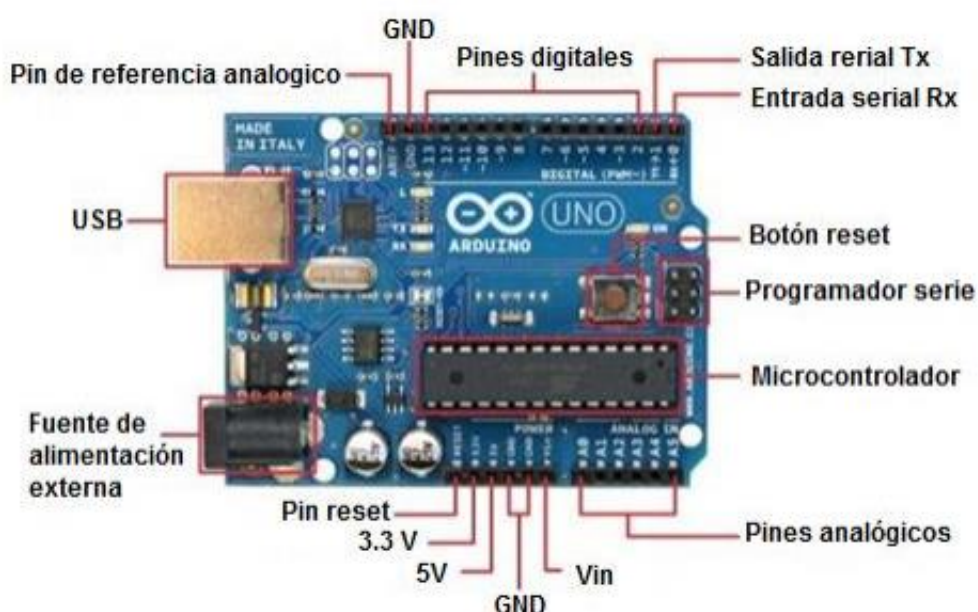


Figura 17. Componentes de una placa Arduino.

Fuente: (Rodríguez & Barreno, 2017)

2.12.3 Software Arduino

El software Arduino posee un entorno particular que se basa en C/C++, este software permite usar varios lenguajes de programación similares como visual basic, java, matlab, etc. Este entorno se observa en la Figura 18. La mayoría de estos software se comunican con Arduino mediante el envío de datos en formato serie, los software que no soportan

este formato requieren de un software de enlace, dicho software permitirá una comunicación fácil. (Lledó, 2012)



Figura 18. Software Arduino

Fuente: (Lledó, 2012)

2.13 Interfaz hombre máquina

La interfaz hombre máquina es más conocida por sus siglas HMI. A través de dichos equipos se consigue observar variables las cuales se desean analizar, adquiridas desde un procesador como puede ser una placa Arduino, PLC, entre otros. No solo se puede visualizar, sino que a través de un conjunto de técnicas se puede transmitir instrucciones para poder controlar ciertos procesos de forma automática. La comunicación entre un HMI y un procesador permite al usuario obtener medidas de las variables necesarias en una aplicación, así como visualizarlas y procesarlas a través de la programación ingresada en el controlador. (Rodríguez & Barreno, 2017)

Los distintos fabricantes de HMI disponen de un software que permiten al usuario realizar diferentes aplicaciones como: visualización de un proceso, registro de datos en tiempo real, entre otras herramientas. (Oña & Freire, 2016)



Figura 19. HMI marca Nextion.

Fuente: (Oña & Freire, 2016)

Para la creación de aplicaciones requeridas por el operador es necesario de una herramienta de diseño, donde se pueda programar la aplicación deseada y guardar en el HMI. Esta herramienta o software permite la comunicación con dispositivos conectados al HMI. (Oña & Freire, 2016). La Figura 19 muestra una pantalla de la marca Nextion.

2.14 Protocolos de comunicación con la PC.

La función principal de los protocolos de comunicación es transportar la información desde un punto inicial hasta un punto final, la transmisión de esta información se da a través del uso de redes con la codificación respectiva y sin errores. En el punto inicial se encuentra el transmisor y en el punto final el receptor de información con sus respectivos convertidores que se encargan de la codificación y decodificación. Cabe recalcar que los sistemas de comunicación se encargan únicamente de la transmisión sin reaccionar al tipo de información. (Cedillo, 2010)

2.14.1 Comunicación serial.

Una comunicación serial es un protocolo comúnmente utilizado en la comunicación entre equipos, siendo empleado de forma estándar en la comunicación con cualquier ordenador. Este protocolo también es utilizado en la instrumentación de equipos y dispositivos para la adquisición de datos.

La comunicación serial puede estar establecida de acuerdo a los protocolos normalizados como RS-232, RS-485 y RS-422. En la Tabla 6 se detalla características de cada protocolo de comunicación. (López, 2014)

Tabla 6
Protocolos de comunicación serial

Protocolo	Características
RS-232	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Creado para permitir la comunicación punto a punto. ◆ Velocidad máxima de transmisión de 19000 bps. ◆ Distancia máxima de transmisión 15 m.
RS-485	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ideal para la comunicación en redes multipunto. ◆ Velocidad máxima de transmisión de 10 Mbps. ◆ Distancia máxima de transmisión 1.3 km.
RS-422	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Permite una comunicación multipunto con un emisor y pocos receptores. ◆ Velocidad máxima de transmisión de 10 Mbps. ◆ Distancia máxima de transmisión 1.2 km.

Fuente:(Ante, 2016)

2.15 Hipótesis

Con el diseño e implementación del módulo didáctico se podrá medir las magnitudes físicas como: torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos del laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-

Extensión Latacunga con la finalidad de analizar su comportamiento al aplicar una carga mediante un freno mecánico.

2.16 Variables de la investigación

Variable independiente: Diseño e implementación de un módulo didáctico de medición torque rotacional.

Variable dependiente: Medición de torque rotacional en motores eléctricos al aplicarse una carga mecánica.

En la Tabla 7 se detalla la operacionalización de la variable dependiente.

Tabla 7

Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Diseño e implementación de un módulo didáctico de medición torque rotacional para motores de potencia fraccional.	El diseño e implementación del módulo didáctico permite realizar la medición de torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos al aplicar una carga mecánica	Investigar y seleccionar sensor a utilizar	Sensor de torque rotacional y velocidad angular
		Procesamiento de señal	Sensor de torque rotacional
			Encoder
		Programación del controlador	Entorno de instrumentación
		Instrumentos de programación	
		Aplicación de carga	Freno mecánico

En la Tabla 8 se detalla la operacionalización de la variable dependiente

Tabla 8*Operacionalización de variable dependiente*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Medición de torque rotacional de motores eléctricos para determinar la potencia de salida.	La medición de torque rotacional y velocidad	Velocidad angular vs Torque	Velocidad angular	rpm
	angular permite determinar el comportamiento de los	Corriente vs Torque	Corriente	A
	parámetros del motor eléctrico en pruebas bajo carga.	Potencia de Salida vs Torque	Potencia	W

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Antecedentes Investigativos

Con el desarrollo de la energía eléctrica el motor eléctrico se constituyó en el elemento básico en la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica, el uso de los motores eléctricos permitió el desarrollo de un gran número de aplicaciones pudiendo ser utilizados en las más grandes fábricas e industrias así como también en aplicaciones básicas en el hogar. En la actualidad los motores eléctricos constituyen la mayor parte de la energía eléctrica consumida, siendo los motores eléctricos el eje fundamental de los accionamientos eléctricos.

Con el objetivo de medir el torque rotacional de los motores eléctricos y sus características de funcionamiento bajo carga, a lo largo de los años han sido implementados varios métodos para realizar dicha medición, entre los más relevantes se presentan los métodos como: sistema por frenos de fricción, freno hidráulico y freno eléctrico. El avance de la tecnología ha permitido dejar de lado los antiguos métodos de medición y desarrollar nuevos equipos para realizar la medición de torque rotacional como es el método por celdas de carga, estas celdas son parte de la tecnología en los actuales sensores de torque rotacional con los cuales se consigue obtener una mayor precisión, exactitud y una elevada velocidad de respuesta en la medición en comparación con los antiguos métodos de medición.

La importancia de realizar pruebas de carga a un motor eléctrico radica en que a través de estas se puede establecer la eficiencia y sus características de funcionamiento, sobre todo en condiciones nominales como lo menciona (Cubillo, 2013) en su tesis en el cual explica que “Un factor de suma importancia para realizar las pruebas a las máquinas eléctricas es poder someter las mismas a las cargas para las cuales fueron diseñadas, es decir, que las mismas sean alimentadas con los valores nominales de funcionamiento”.

En su proyecto de investigación “Medición de par motor en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo” (Montilla, 2007) menciona que “La utilidad de medir el Torque radica esencialmente en que a partir de él se puede determinar la potencia producida por el motor”.

Una ventaja a través de la medición con sensores de torque rotacional radica en que estos equipos no actúan como carga como lo explica (Carrales, 2009) en su tesis, mencionando que “Los sensores de torque rotacional son dispositivos pasivos, esto es que no consume ni aportan energía a la máquina en estudio”

3.2 Modalidad de la Investigación.

Para realizar el presente proyecto es necesario hacer uso de las modalidades de investigación bibliográfica y de campo, las mismas que proporcionan las herramientas para la investigación, elaboración y desarrollo, necesarios para la propuesta de un módulo el cual permita satisfacer los requerimientos planteados.

3.3 Tipos de investigación

3.3.1 Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación es la parte inicial dentro del proceso de desarrollo del presente proyecto, ya que proporciona el fundamento teórico para realizar la medición de torque rotacional y velocidad angular así como también los métodos para aplicar carga a un motor eléctrico, el cual estará sustentado en libros, tesis y artículos científicos con el objetivo de conocer el comportamiento y evolución de estas variables y desarrollar el procedimiento para el diseño del módulo de medición, además del procedimiento para la adquisición, procesamiento y visualización de las magnitudes medidas.

3.3.2 Campo de investigación.

La investigación será desarrollada en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos del Campus Latacunga de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el cual se encuentra todos los equipos e instrumentos necesarios para la adquisición de las variables las cuales van a ser analizadas.

3.3.3 Despliegue de la función de la calidad (QFD)

Con el uso del despliegue de la función de la calidad se asegura que en el proceso de diseño del módulo didáctico de medición de torque rotacional, los requerimientos y necesidades del usuario sean fundamentales para el desarrollo del proyecto por lo cual la voz del usuario pasa a ser el punto de partida para la gestión del diseño de los elementos constituyente del sistema mecánico y electrónico en el cual los investigadores

sean los encargados de garantizar los requerimientos del usuario traduciéndolos en características técnicas. Con lo cual se diseña e implementa el módulo de medición asegurando la satisfacción de los usuarios esto se logra con la elaboración de la matriz QFD, en el cual se indica las necesidades del usuario, establece las características técnicas que satisfacen dichas necesidades obteniendo un diseño satisfactorio.

3.4 Diseño de la investigación

El presente proyecto de investigación tiene como propósito la medición de torque rotacional y velocidad angular presentes en un motor eléctrico a través del uso de un sensor de torque rotacional al aplicar una carga mecánica, las señales obtenidas por el sensor son acondicionadas para posteriormente ser visualizadas a través de una interfaz gráfica y analizar sus características de funcionamiento.

3.5 Niveles de la investigación

3.5.1 Exploratoria

En el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Campus Latacunga posee un electrodinamómetro para la medición de torque rotacional, cuyo principio de funcionamiento no se diferencia de un generador de corriente continua principalmente porque el estator no se encuentra fijo y puede girar 100° aproximadamente, el rotor gira a la velocidad del motor acoplado; dado que el rotor es de tipo jaula de ardilla, el frenado se produce al inyectar corriente continua en el estator. Por lo que se ve necesario la utilización de tecnologías modernas para la medición de

torque rotacional en motores eléctricos, estos sistemas se ven presentes en los sensores de torque rotacional los cuales presentan un elevado desarrollo, este estudio establece los antecedentes que permitirán orientar el desarrollo del presente proyecto.

3.5.2 Descriptiva

En el desarrollo del proyecto es necesario observar y cuantificar la variación de velocidad y torque que se produce al aplicar una carga a través de un freno mecánico sin establecer la relación entre estas variables. Es decir que cada una de las variables se procederá a analizar de manera independiente.

3.5.3 Investigación explicativa

Tomando a consideración lo definido en el párrafo anterior lo que se busca es que el equipo pueda ser monitoreado de forma remota y facilite a los estudiantes realizar sus prácticas dentro de las tecnologías actuales reemplazando la forma local; para llegar al fin deseado se irán planteando todos los aspectos que vayan a influir en el diseño y dimensionamiento del sistema.

3.6 Población y muestra

En la tabla 9 se presenta varias preguntas las cuales están destinadas a responder del para que y porque del proyecto a desarrollarse.

Tabla 9
Preguntas

Preguntas básicas		
1	¿Para qué?	Para la medición de torque rotacional y velocidad angular
2	¿De qué personas u objetos?	De un motor eléctrico de potencia fraccional
3	¿Sobre qué aspecto?	Obtención y visualización de los datos
4	¿Quién? ¿Quiénes?	Investigadores
5	¿Cuándo?	Febrero 2018- Enero 2019
6	¿Dónde?	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga
7	¿Cuántas veces?	Una
8	¿Qué Técnicas?	Mediciones
9	¿Con qué?	Sensor de torque rotacional
10	¿En qué situación?	En condiciones de funcionamiento nominal

3.7 Técnica de recolección de datos

3.7.1 Observación de Laboratorio

La recolección de datos se la realiza mediante la observación, a través de ella se obtiene información necesaria para el desarrollo del proyecto. La observación permite adquirir datos veraces del entorno con lo cual se puede plantear un esquema de trabajo. Finalmente, con la ayuda de notas y registros de campo se establecen las características necesarias para el diseño y construcción del módulo de medición de torque rotacional.

3.7.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la obtención y análisis de datos de los parámetros eléctricos del motor eléctrico son: tablas de datos, registros de pruebas y parámetros de fábrica del motor con el cual se realizará un contraste del funcionamiento actual del mismo.

3.8 Técnica de análisis de datos

Al momento de realizar el análisis de los datos recopilados se puede hacer uso de los criterios presentados a continuación:

- ◆ Observación de los elementos muestrales y pruebas piloto.
- ◆ Recolección o captura de datos.
- ◆ Análisis de datos.
- ◆ Calculo de parámetros.
- ◆ Interpretación y reporte.

3.9 Técnicas de comprobación de hipótesis

- ◆ Interpretación de los resultados.
- ◆ Comprobación de la hipótesis.
- ◆ Determinación de conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los objetivos planteados.
- ◆ Contraste de las variables obtenidas de velocidad y torque con los datos proporcionados por el fabricante.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se mencionan los resultados de la investigación obtenidos a partir de las diferentes metodologías aplicadas con el objetivo de dar inicio a la realización del proyecto planteado, tomando en cuenta los objetivos propuestos.

Una importante aplicación de la medición de torque rotacional y velocidad angular es que a través de estos datos se puede determinar la eficiencia de un motor eléctrico. La eficiencia representa la capacidad que posee el motor eléctrico para transformar la energía eléctrica en energía mecánica expresada en porcentaje, por lo tanto es necesario implementar métodos para determinar la eficiencia y posteriormente tomar correctivos con la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica.

Para la determinación de la eficiencia existen varios protocolos de prueba del motor eléctrico entre los cuales se destacan: Métodos directos (IEE 112-B, CSA-390) y Métodos indirectos (IEC 34-2, JEC 37). Para obtener directamente el porcentaje de la eficiencia se utiliza la ecuación 5, la potencia eléctrica se puede medir a través de un equipo básico mientras que para obtener la potencia mecánica se requiere de un encoder y una carga mecánica con un sensor de par acoplado al eje del motor eléctrico. Los métodos de medición directa son los más utilizados en el mundo para la medición de eficiencia. En la norma IEC 34-2 con el fin de evitar mecanismos complejos y gastos resultantes para la medición de par se emplea los métodos indirectos, en los cuales para el cálculo de la eficiencia también se debe tomar en cuenta las pérdidas que se generan en el motor eléctrico (mecánicas, hierro y cobre), la principal desventaja es que

se asume arbitrariamente las pérdidas por carga adicional lo que provoca que los valores de eficiencia se encuentren por encima de los valores medidos por el método directo resultando una medición no fiable. En la norma JEC-37 el rango de error es aún mayor de la norma IEC 34-2 ya que en esta norma se ignora totalmente las pérdidas por carga adicional en la medición de la eficiencia.

Existen estudios relacionados al proyecto de investigación los cuales permiten conocer el estado del arte como es el caso del paper titulado “Medición de par en eje de salida de un motor de combustión interna alternativo” (Montilla, 2007) en el cual se explica que “para realizar la medición de torque rotacional, el sistema consta de un motor, un dinamómetro hidráulico, una celda de carga y un sistema de instrumentación para recoger y acondicionar las señales; el motor se hace girar a distintas revoluciones y a diferentes regímenes de carga, para luego obtener las curvas Torque versus RPM y Potencia versus RPM”.

En el paper titulado “Diseño de un nuevo sensor de par sin contacto para la rotación de ejes escalonados mediante la monitorización del campo magnético” (Gang, 2010) menciona que “la medición de par es esencialmente necesaria en la parte de control del sistema de transmisión de potencia para mejorar el rendimiento de la máquina, por lo que se requiere de un sensor como dispositivo de entrada cuando es necesario procesar señales físicas del entorno y utilizarlas para control y monitoreo”.

Para la medición de torque rotacional y velocidad angular se empleara el método de medición directo por freno mecánico según la Norma IEE 112-B.

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Medición de torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos.

En el laboratorio de accionamientos eléctricos existe un módulo compuesto por un electrodinamómetro que permite aplicar una medida de torque rotacional desde 0 [Nm] hasta 3.2 [Nm] el mismo que actúa como carga al motor eléctrico con lo que es posible visualizar su comportamiento bajo estos parámetros de carga. De igual manera este módulo también posee un tacogenerador el cual permite realizar la medición de la velocidad angular de los motores eléctricos desde 0 rpm hasta 4000 rpm lo que permite contrastar la veracidad de los datos obtenidos con el módulo de medición a ser desarrollado.

4.1.2 Motor eléctrico.

El laboratorio de accionamientos eléctricos posee una variedad de motores eléctricos de diferentes tipos y potencias. Para la comprobar el funcionamiento de medición de torque rotacional se procede a utilizar el motor eléctrico de potencia fraccionaria existente en el laboratorio marca Siemens modelo 1LA7 080-4YA60, teniendo en cuenta sus parámetros de funcionamiento nominal como son el torque nominal de 4.29 [Nm], torque de arranque de 8.1 [Nm] y velocidad angular de 1660 [rpm]

4.1.3 Mediciones de parámetros del motor de potencia fraccional.

Antes de realizar la medición del torque rotacional y de la velocidad angular del motor Siemens modelo 1LA7 080-4YA60 (ver características Anexo 1). En la Figura 20 se

presenta las curvas de carga características que posee este tipo de motores, donde se observa el número de revoluciones y la corriente en función de torque.

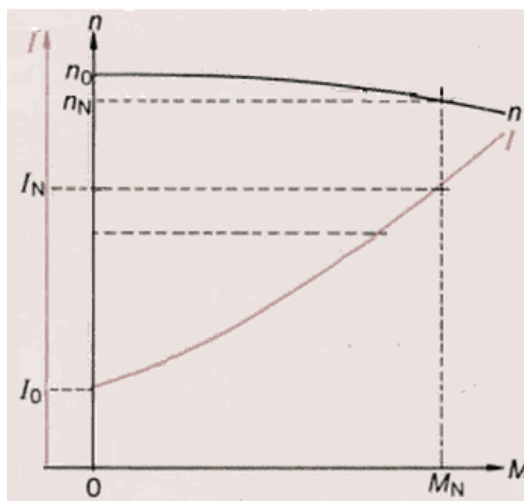


Figura 20. Curvas de carga

Fuente: (Muller, 1994)

Con el uso del módulo electrodinamómetro y tacogenerador existentes en el laboratorio se somete como carga al motor eléctrico fraccional para la obtención de la Tabla 10 en la cual se observa la variación de sus parámetros.

Tabla 10

Mediciones realizadas

TORQUE	VELOCIDAD
0	1798
0.5	1786
1	1772
1.5	1763
2	1752
2.5	1740
3	1722

Con estas mediciones realizadas se puede observar la variación de las magnitudes: torque y velocidad angular del motor eléctrico, se debe tomar en cuenta que con este módulo no es posible alcanzar el torque nominal del motor que es de 4.29 Nm.

4.2 Casa de la calidad

Para el desarrollo del módulo de medición de torque rotacional se establece una matriz que está constituida por la planificación del módulo, selección de componentes y construcción del módulo. En la casa de la calidad se establece una analogía entre los requerimientos del usuario con la voz del ingeniero, lo cual finalmente se traduce en características técnicas.

4.2.1 La voz del usuario.

Son los requerimientos o necesidades que el usuario solicita que estén presentes en el diseño final del módulo de medición.

4.2.2 La voz del ingeniero.

Es una traducción de las necesidades o requerimientos del usuario en especificaciones técnicas.

4.2.3 Desarrollo de la matriz QFD.

En la matriz QFD se presenta las necesidades del usuario relacionadas con los requerimientos técnicos necesarios para satisfacer al usuario, con lo que posteriormente

se puede determinar el grado de satisfacción del usuario frente a cada uno de sus requerimientos.

a. La voz del usuario en el desarrollo del módulo

Para satisfacer las necesidades del usuario el módulo debe poseer las siguientes características:

- ◆ Que su estructura sea sólida.
- ◆ Que sea de ensamble rápido.
- ◆ Que sea de fácil mantenimiento.
- ◆ Que sea para un motor eléctrico de hasta 1 HP.
- ◆ Que permita medir torque rotacional y velocidad angular.
- ◆ Que se visualice de forma digital.
- ◆ Que posea conexión con la PC.
- ◆ Que permita variar la carga.
- ◆ Que permita crear un registro de datos de la medición.
- ◆ Que posea una interfaz gráfica amigable con el usuario.

b. La voz del ingeniero para el desarrollo del módulo.

Los requerimientos del usuario pueden ser traducidos en un criterio técnico a través de las siguientes características:

- ◆ Material adecuado para la estructura.
- ◆ Diseño ergonómico.
- ◆ Sustitución de elementos disponibles en el mercado.

- ◆ Capacidad para soportar condiciones nominales del motor eléctrico.
- ◆ Sensor de torque rotacional con encoder.
- ◆ Visualización de variables en la PC y HMI.
- ◆ Conexión serial a la PC.
- ◆ Sistema de freno mecánico con accionamiento hidráulico.
- ◆ Sistema de almacenamiento de datos.
- ◆ Entorno grafico sencillo.

El desarrollo de la matriz QFD se presenta en el Anexo 2, en el cual se ha establecido las características que debe poseer el diseño para satisfacer los requerimientos y necesidades del usuario así como también los requisitos técnicos para un correcto funcionamiento del módulo.

4.2.4 Conclusión de la matriz QFD.

A partir del resumen obtenido del desarrollo de la matriz QFD se determina los requerimientos necesarios para cumplir los parámetros de calidad, los parámetros que sobresaltan para el inicio de diseño se indican a continuación:

- ◆ Rango de medición.
- ◆ Disponibilidad de elementos en el mercado.
- ◆ Capacidad de carga para un motor eléctrico de hasta 1 HP.
- ◆ Monitoreo de variables.
- ◆ Capacidad de frenado
- ◆ Visualización de variables en la PC y HMI.
- ◆ Factor de seguridad.

4.3 Comprobación de hipótesis

A partir de la comprobación de la hipótesis del presente proyecto se consigue establecer la viabilidad del mismo, para determinar si el proyecto a ser realizado resulta ser factible o no.

a. Hipótesis nula

No es posible medir las magnitudes físicas como: torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos al aplicar una carga mecánica en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

b. Hipótesis alternativa

Es posible medir las magnitudes físicas como: torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos al aplicar una carga mecánica en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

4.3.1 Estadístico de prueba

Para dar inicio se procede a definir las variables de investigación como se muestra en la Tabla 11:

Tabla 11

Variables de la investigación

Variable de la investigación	
Variable Independiente	Módulo de medición de torque rotacional

CONTINÚA



Variable Dependiente	Medición de torque rotacional y velocidad angular
-----------------------------	---

Posteriormente en la Tabla 12 se presenta un cuestionario, el cual contiene las variables anteriormente definidas, cabe recalcar que estas variables deben estar definidas cualitativamente con la finalidad de obtener una relación entre sí.

Tabla 12

Cuestionario de las variables.

Variable de investigación	
Variable Independiente	¿Existe un módulo de medición de torque rotacional?
Variable Dependiente	¿Se puede realizar la medición de torque rotacional?

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 Tema de la propuesta

Diseño e implementación de un módulo didáctico para la medición de torque rotacional en motores eléctricos de potencia fraccional, para el laboratorio de Accionamientos Eléctricos 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.

Dirección: Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Av. Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Laboratorio de accionamientos Eléctricos.

Tipo de empresa: Educación

Tamaño de la empresa: Grande

5.2.1 Beneficiarios

Alumnos de la Universidad que realicen sus prácticas académicas en las instalaciones y utilizan los equipos del laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

5.3 Objetivos

5.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo didáctico que permita medir el torque rotacional y velocidad angular en motores eléctricos trifásicos de potencia igual o menor a 1 Hp.

5.3.2 Objetivos específicos

- ◆ Identificar los componentes que interfieren en el diseño del módulo didáctico para la medición de torque rotacional y velocidad angular.
- ◆ Determinar el sistema de frenado mecánico para la operación bajo carga de motores eléctricos trifásicos de potencia igual o menor a 1 HP.
- ◆ Diseñar y construir el módulo didáctico para la medición de torque rotacional y velocidad angular.
- ◆ Implementar un sensor para el monitoreo de corriente del motor bajo condiciones de carga.
- ◆ Desarrollar un programa que permita la lectura, procesamiento de datos y comunicación con la interfaz gráfica y PC, para el monitoreo del torque rotacional, velocidad angular y corriente en motores eléctricos, además crear una base de datos a través de un sistema de registro de variables.

5.4 Justificación de la propuesta

A través de la implementación del presente proyecto se conseguirá medir, registrar, visualizar y analizar las magnitudes físicas como: torque rotacional y velocidad angular

en un motor eléctrico trifásico de potencia fraccional de 1 HP en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos del Campus Latacunga de la Universidad de las Fuerzas Armadas, el uso del proyecto facilitará el desarrollo de prácticas de laboratorio a través de un equipo con herramientas digitales a la altura de la tecnología actual.

5.5 Fundamentación de la propuesta

En este capítulo se presenta la propuesta en la cual se detalla el diseño y la implementación de un módulo cuyos componentes son: sensor de torque rotacional y velocidad angular, motor eléctrico de potencia fraccional, caja reductora y un freno mecánico. Al instante de accionar el freno mecánico el sensor procederá a realizar la medición de las magnitudes físicas como: torque rotacional y velocidad angular a las cuales estará sometido el motor eléctrico de potencia fraccional, el monitores de estas magnitudes será realizado mediante un entorno gráfico en el cual los datos monitoreados serán visualizados en tiempo real. Dichas magnitudes medidas durante el desarrollo de la práctica pueden ser registradas y almacenadas en una base de datos para posteriormente ser descargadas a través del módulo de medición o el ordenador.

5.6 Diseño de la propuesta.

5.6.1 Resumen

El esquema necesario para el desarrollo de la propuesta es descrito en esta sección.

- ◆ **Selección de sensor de torque rotacional:** Para la selección de la capacidad de medición del sensor es necesario conocer el torque máximo que puede producir el motor

eléctrico de potencia fraccional, así como también la velocidad de funcionamiento del motor eléctrico. Es de suma importancia conocer el tipo de señal que entrega el sistema de acondicionamiento del sensor para su interpretación en una placa de control.

- ♦ **Generación del torque:** Para generar la carga al motor eléctrico se implementa un freno mecánico con accionamiento hidráulico.

- ♦ **Obtención de medidas:** El sistema de acondicionamiento se encarga de enviar señales procedentes del sensor a una placa de control. La hoja de calibración es establecida por el fabricante con su respectiva relación entre la señal eléctrica y el torque.

- ♦ **Procesamiento de señal:** La placa de control se encarga de recibir las señales enviadas por el circuito de acondicionamiento con la finalidad de interpretarlas en magnitudes de torque y velocidad angular.

- ♦ **Comunicación al ordenador:** El módulo y el ordenador establecen su comunicación por medio de un protocolo implementado en un software con la capacidad de crear un entorno grafico

- ♦ **Resultado final:** Visualización, registro y descarga de datos de torque y velocidad angular.

5.6.2 Arquitectura del proyecto

El esquema de obtención, procesamiento y visualización de las señales obtenidas del sensor de torque rotacional es mostrado en la Figura 21.

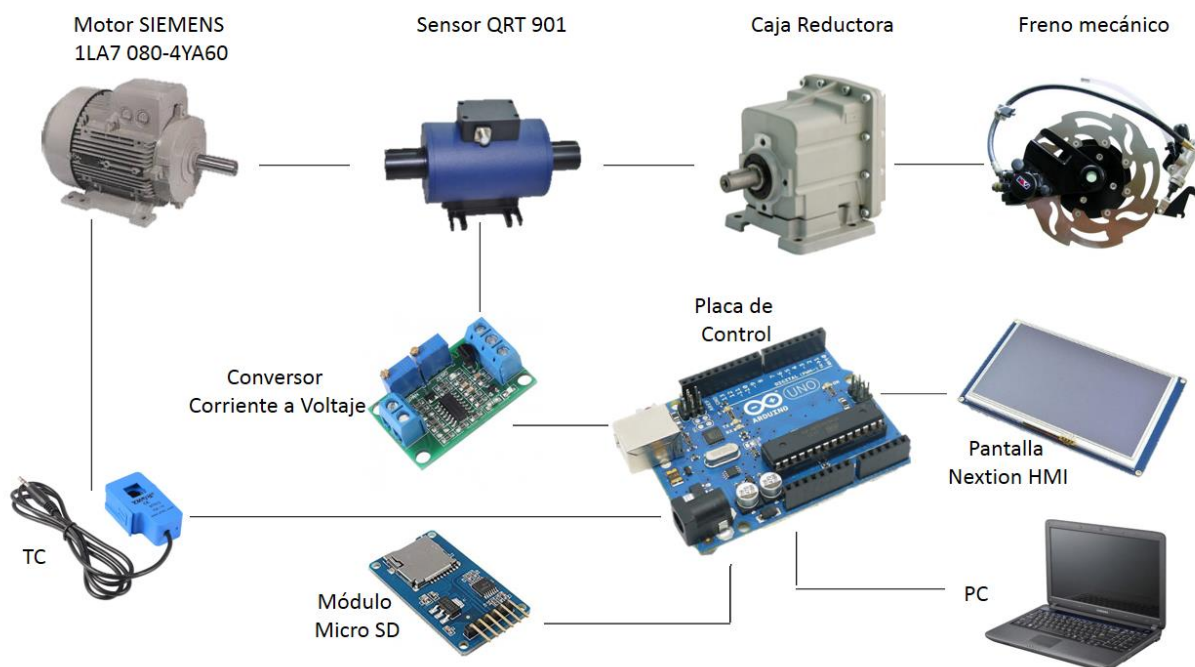


Figura 21. Esquema de conexionado de los componentes de módulo.

5.7 Selección de los dispositivos electrónicos y mecánicos.

Los dispositivos necesarios para el desarrollo del módulo son seleccionados a través de un proceso de comparación en el cual se analiza sus características mecánicas, características funcionales, compatibilidad entre componentes del módulo, rangos de medición, etc. Este proceso de selección permite realizar el diseño del módulo de forma sistematizada.

5.7.1 Selección de sensor de torque rotacional.

A partir de la placa de datos del motor eléctrico de potencia fraccional Siemens modelo 1LA7 080-4YA60 se realiza la selección de los rangos de medida de torque y velocidad angular necesarios para la selección del sensor. El rango necesario de medida del torque rotacional es de 0 Nm hasta 8.1 Nm de arranque que proporciona el motor de

inducción, mientras que el rango de velocidad angular requerido es de 0 rpm hasta 1660 rpm. A continuación en la Tabla 13 se presenta dos opciones de sensores de torque rotacional de 20 Nm.

Tabla 13

Opciones de sensores de torque rotacional.

Sensor	TRS605	QRT-901
Marca	FUTEK	QY SENSOR
Rango de Torque rotacional [Nm]	0-20 [Nm]	0-20 [Nm]
Rango de velocidad angular [rpm]	7000 [rpm]	6000 [rpm]
Precisión	0.2%	0.2%
Módulo de acondicionamiento	Si	Si
Señal de salida	0 a 5 [Vcc]	4 a 20 [mA]
Peso	0.6 [Kg]	5 [Kg]
Temperatura ambiente	-10 - 80 [°C]	0-50 [°C]

Justificación.

En el cuadro de comparación se observa que los dos sensores satisfacen las características necesarias para la aplicación con el motor eléctrico de potencia fraccional, el valor de 20 Nm ha sido seleccionado con un margen de sobredimensionamiento de 10 Nm para lograr un funcionamiento adecuado en condiciones de sobrecargas.

Dado que los dos sensores cumplen con los rangos de medición, se procede a seleccionar el sensor de torque rotacional modelo QRT-901 de marca QY SENSOR ya que por su estructura y peso permite eliminar las vibraciones que pueden generar un desalineamiento entre los componentes del módulo de medición y por su facilidad de ensamblaje con los otros componentes mecánicos.

El sensor de torque rotacional QRT-901 posee el módulo de acondicionamiento QF-50B, el cual entrega una señal de salida estandarizada de 4 a 20 mA, mientras que para la velocidad angular entrega una señal estándar de frecuencia de 60 pulsos por revolución. Estas señales de salida del módulo QF-50B serán procesadas a través una placa de control. En la tabla 14 se muestran las características del módulo de acondicionamiento QF-50B. La hoja de calibración proporcionada por el fabricante se adjunta en el Anexo 3.

Tabla 14

Características del módulo de acondicionamiento QF-50B.

Modelo	QF-50B
Marca	QY-SENSOR
Señal analógica de salida	4-20 [mA]

CONTINÚA



Alimentación	24 [V]
Temperatura interior	22 [°C]
Señal de salida de velocidad	60 [pulsos/rev]

5.7.2 Selección del controlador.

Con la finalidad de realizar la interpretación de los datos obtenidos del sensor, comunicación con la interfaz gráfica del el modulo y el ordenador es necesario realizar un análisis de selección de las placas de control con la propósito de interpretar y procesar las señales enviadas desde el módulo de acondicionamiento del sensor de torque. Las características más relevantes de estas placas de control se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15
Características de controladores

SERIE ARDUINO	MEGA	UNO
Almacenamiento	ATMega 2560	ATMega 328
Energización	+ 5 [V]	+ 5 [V]
Tipo de puerto	USB	USB
Velocidad de tranferencia	16 MHz	16 MHz
Procesador	8 [KB]	2 [KB]

CONTINÚA



N° de Entradas y Salidas Analógicas	16	6
N° de Entradas y Salidas Digitales	54	14

a. Selección de la placa de control para la señal de velocidad

El encoder ubicado dentro del sensor de torque se encarga de enviar la señal medida de velocidad angular en frecuencia, el proceso para la interpretación de esta señal es realizada a través del controlador Arduino Uno. En la Figura 22 se muestra un controlador Arduino Uno.



Figura 22. Placa de control.

Justificación.

La placa de control Arduino Uno es seleccionado como dispositivo de procesamiento de la señal de velocidad angular, la señal de frecuencia procedente del encoder es interpretada y procesada en este dispositivo, debido a la necesidad de alta velocidad de interpretación de señales es necesario de este controlador el cual será el encargado únicamente del procesamiento de esta señal.

b. Selección de la placa de control principal

Todo el proceso realizado por el módulo de medición se centra en esta placa de control, la cual está encargada del procesamiento de las señales, comunicación y visualización de los datos obtenidos.



Figura 23. Controlador Arduino MEGA


Justificación.

Como placa de control principal del sistema electrónico del módulo de medición ha sido seleccionado el controlador Arduino MEGA el cual presenta como característica una elevada cantidad de memoria para el procesamiento de datos, este controlador además de encargarse de la lectura y procesamiento de la señal de torque también se encarga de la comunicación con la interfaz gráfica y el ordenador. El Arduino MEGA también está encargado de la comunicación con la placa de control Arduino Uno y el modulo micro SD para la generación de la base de datos.

5.7.3 Criterios de selección del convertidor de Corriente a Voltaje

Este dispositivo es necesario para convertir la señal de corriente proveniente del módulo de acondicionamiento en una señal de voltaje, que puede ser procesada por la placa de control principal. En la Tabla 16 se presenta las características de un convertidor de corriente a voltaje.

Tabla 16
Convertidor de corriente a voltaje

MODELO	Modulo XY-IT0V	
Voltaje de salida	5[V]-36[V]	
Corriente de entrada	4 [mA] – 20 [mA]	
Voltaje de alimentación	0 [V] – 5 [V]	

Justificación.

La señal de torque procedente del módulo de acondicionamiento QF-50B está dada en un rango de 4-20 mA por lo cual para poder ser ingresada en el controlador se hace uso del dispositivo convertidor de corriente a voltaje, este dispositivo permite ingresar la señal en corriente y convertirla a un rango de medida estandarizada de 0-5 V, este rango es medible y procesable por el controlador Arduino MEGA.

5.7.4 Selección del HMI

Para poder visualizar las magnitudes medidas se requiere de un dispositivo que permita programar una interfaz gráfica. En la Tabla 17 se muestran opciones de HMI con sus características.

Tabla 17
Opciones de HMI

MODELO	ToucWin Xinje TH765	Nextion 7'
Alimentación	24 [V]	5 [V]
Software	TouchWin TH	Nextion Editor
Resolución	800 x 480	800 x 480
Dimensiones [mm]	204 x 150.5	181x108

Justificación.

El HMI Nextion ha sido seleccionado ya que permite realizar una comunicación sencilla por medio de un solo puerto serial, siendo este dispositivo compatible con Arduino a través de la instalación de la librería ITEADLIB_Arduino_Nextion. Este dispositivo además posee un software propio denominado Nextion Editor de fácil programación, así como también un lenguaje de programación amigable con el usuario

permitiendo diseñar un entorno en el cual pueden estar incluidas herramientas como: botones, cajas de texto, barras.



Figura 24. Pantalla Nextion

5.7.5 Criterio de selección del protocolo de comunicación

Para realizar la comunicación entre el Ordenador y el modulo se utiliza el protocolo de comunicación Serial ttl, el cual permite el intercambio de información entre ambos dispositivos. En la Tabla 18 se muestra características de dicho protocolo de comunicación.

Tabla 18

Protocolo SERIAL TTL.

CARACTERISTICAS	Serial TTL
N° de emisores y receptores en una línea	1 Emisor 1 Receptor
Modo de comunicación	Full Duplex
Distancia Max.	15 m
Velocidad	19.2 kbps

CONTINÚA



Nivel de entrada mínimo	+/- 3V
Corriente de Salida	500 mA
Conexión entre emisor y receptor	No equilibrada


Justificación.

Para realizar la comunicación entre el ordenador y el módulo se utiliza el protocolo de comunicación Serial TTL, este protocolo está presente en la mayoría de los puertos serial de los ordenadores facilitando la conexión entre el puerto de la placa de control y el puerto USB de ordenador. Dicho protocolo permite eliminar ruidos en la recepción y transmisión de información.

5.7.6 Criterio de selección del sensor de corriente

En la Tabla 19 se muestra características técnicas del TC necesario para la medición de corriente en el motor eléctrico durante la prueba de carga.

Tabla 19
Sensor de corriente.

MODELO SCT013-030	
Marca: HYDC	
Entrada nominal	De 0 a 30 A
Salida nominal	De 0 a 1 V
Precisión	±1%

CONTINÚA



Linealidad

$\leq 0.2\%$

Justificación.

Para la medición de la corriente que consume el motor eléctrico se elige un sensor de corriente no invasivo basándose en el principio de un transformador con su relación de transformación por lo cual facilita su montaje. Las características técnicas se adjunta en el Anexo 4.

5.7.7 Criterio de selección del software para la comunicación con el ordenador.

Características del software Visual Basic:

- ◆ Lenguaje de programación compatible con Arduino.
- ◆ Fácil interacción con el usuario.
- ◆ Entorno flexible, permite la combinación de comandos y de herramientas como cajas de texto, botones, entre otras.
- ◆ Interfaz gráfica de usuario, permite una interacción adecuada con el usuario.
- ◆ Compatibilidad con Windows.

Justificación.

Para poder establecer la comunicación con el ordenador se selecciona el software Visual Basic, ya que este software permite crear una interfaz gráfica en el cual es posible enviar los datos obtenidos desde la placa de control del módulo hacia el ordenador. Este software permite ejecutar comandos que son interpretados por la placa de control para realizar tareas como el registro y la descarga de una base de datos, todos estos

comandos se puede generar con un lenguaje de programación sencillo propio de este software ejecutable en Windows.

5.8 Metodología para la ejecución de la propuesta

5.8.1 Diseño mecánico del módulo.

Con la finalidad de obtener los parámetros de torque rotacional y velocidad angular del motor eléctrico de potencia fraccional marca Siemens modelo 1LA7 080-4YA60, a partir del diseño mecánico se procede a realizar el análisis y selección de los componentes como: sistema de freno, caja reductora y acoples.

El eje de entrada del sensor se acopla al eje del motor eléctrico mientras que el eje de salida del sensor esta acoplado a la caja reductora. La caja reductora tiene el propósito de obtener una velocidad más estable facilitando la medición del sensor y evitar la presencia de vibraciones en todo el sistema. El eje de salida de la caja reductora esta acoplado con el freno de disco, mientras que el freno es activado mediante un accionamiento hidráulico. Todos estos componentes se encuentran ubicados en una base metálica que permite la fijación de los elementos y el alineamiento entre ejes. El diseño del módulo se presenta en la Figura 25. (Ver características Anexo 5)

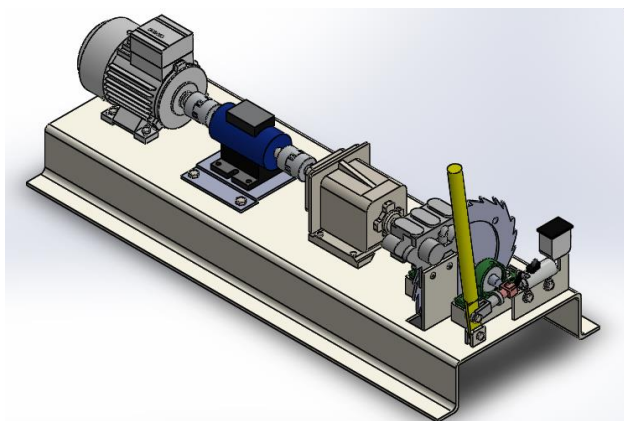


Figura 25. Ensamble de los componentes mecánicos

5.8.2 Esquema del conexionado de los componentes electrónicos.

En la Figura 26, se presenta el esquema de conexionado de los componentes necesarios en el circuito electrónico para la implementación de estos en el módulo de medición de torque rotacional. En el Anexo 6 se muestra los componentes electrónicos y su conexionado completo.

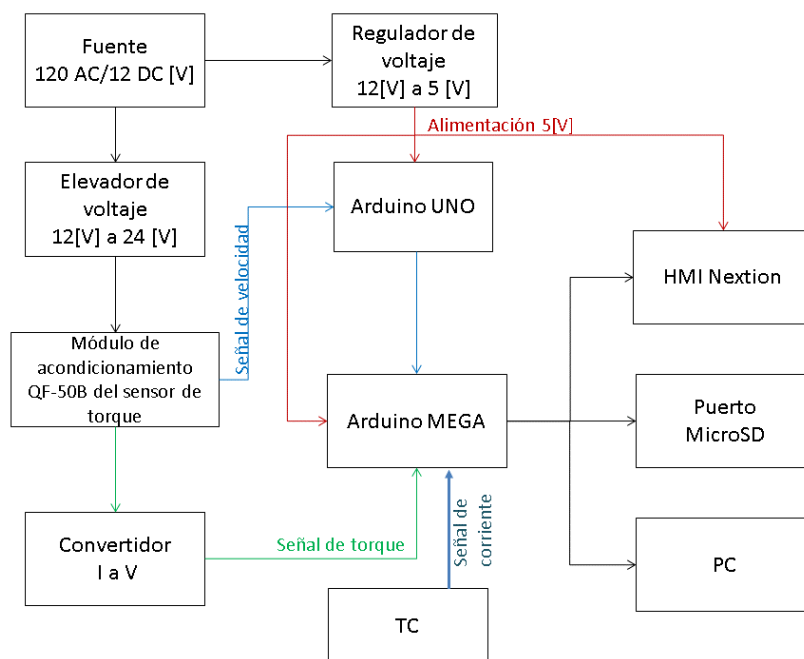


Figura 26. Esquema del conexionado.

5.8.3 Comunicación del módulo con el Ordenador

En la Figura 27 se observa el esquema para la conexión entre el ordenador y el módulo. A través de la implementación de una aplicación ejecutable diseñada y programada en el software Visual Basic, esta aplicación es generada en este software en la cual se monitorea y registra los datos de la medición de magnitudes del motor eléctrico.

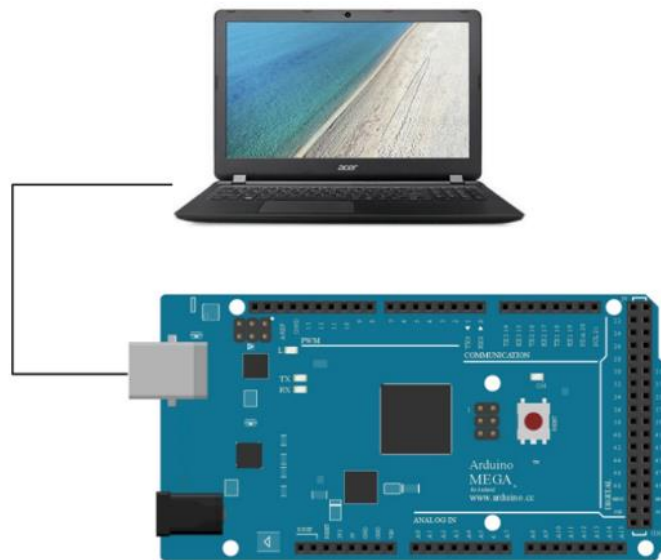
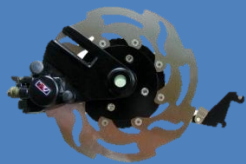



Figura 27. Conexión entre el modulo y el ordenador

5.9 Selección del freno mecánico.

El freno mecánico es el sistema que actuará como carga para el motor eléctrico de potencia fraccional Siemens modelo 1LA7 080-4YA60. En la Tabla 20 se presenta dos tipos de sistemas de freno.

Tabla 20
Opciones de tipos de freno

MODELO	XY200 Shineray	YBR125 Yamaha
		
Tipo de freno	Disco	Tambor
Elemento de fricción	Pastillas	Zapatas
Mecanismo de accionamiento	Hidráulico	Mecánico
Mordaza	Si	No
Peso	0.1 [Kg]	2.6 [Kg]
Diámetro del freno	240 [mm]	130 [mm]
Disipación de calor	Elevada	Baja
Respuesta al frenado	Elevada	Baja

Justificación.

Como carga mecánica se selecciona el sistema de freno de disco XY200 Shineray debido tanto a sus ventajas en comparación con el freno de tambor como a su elevada capacidad de disipación de calor, lo cual permite que las pastillas de freno posean una

larga vida útil. Este sistema de frenado debido a su ensamblaje no representa una carga considerable cuando no está activado. La velocidad del motor eléctrico fraccional es de 1800 rpm, por lo cual se calcula la capacidad de disipación de calor que debe poseer el disco a partir de la Ecuación 5

$$E_f = \frac{i \times m \times (V_0^2 - V_f^2)}{2} \quad (5)$$

Donde

i Es igual a 1.25 para velocidades intermedias

m Es a 2.5 kg

V_0 Es 1800 rpm = 24.5 m/s. Considerando el radio del disco de freno de 0.13 m.

V_f Es 0 rpm

$$E_f = \frac{1.25 \times 2.5 \times (24.5^2 - 0^2)}{2}$$

$$E_f = 938.22 \text{ J}$$

Para determinar la variación de temperatura que se produce en el sistema de freno durante el proceso se utiliza la ecuación 6.

$$\Delta T = \frac{E_f}{m \times C_p} \quad (6)$$

Donde:

m : Masa del disco de freno es 0.1 [Kg]

C_p : Calor específico del disco de freno es 460 [J / Kg °C].

$$\Delta T = \frac{938.22}{0.1 \times 460} = 20.39^\circ C$$

Entonces la temperatura del disco del freno al accionar va hacer de:

$$T = T_{amb} + \Delta T$$

Donde:

$$T_{amb} = 20^\circ C$$

$$T = 20^\circ C + 20.39^\circ C = 40.39^\circ C$$

Para ejercer el frenado del sistema tomando en cuenta la temperatura ambiente de 20°C, en el disco se presenta una temperatura de 40.39°C, cuando el accionamiento del freno está actuando a una velocidad de 1800 rpm.

Con el resultado obtenido se observa que el valor de temperatura se incrementa conforme mayor sea la velocidad rotacional, por lo cual es necesario una velocidad de rotación baja para que el frenado sea más eficiente. Por lo tanto se ve la necesidad de implementar una caja reductora antes del sistema de freno.

5.10 Selección de la caja reductora

A partir de la selección del sistema de freno y la potencia del motor eléctrico de potencia fraccional Siemens modelo 1LA7 080-4YA60 se realiza la selección de la caja reductora cuyas características se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Datos técnicos de la caja reductora.

MODELO	CMG-012	MRC220
		
Marca	TransTecno	ATCOR/ GERYMA
Forma constructiva	Tipo B3	Tipo B3
Velocidad de entrada	1750 [rpm]	1440 [rpm]
Velocidad de salida	38 [rpm]	57 [rpm]
Relación de reducción	45.89	25
Tipo de ejes	Coaxiales	Coaxiales

Justificación.

Se selecciona a la caja reductora Transtecno modelo CMG-012 ya que por su relación de reducción de 45.89 se consigue una velocidad de rotacional de 38 rpm con lo cual no se pretende reducir la temperatura en el momento del frenado. A través de la implementación de una caja reductora en el sistema se consigue reducir la velocidad rotacional para el sistema de freno. Con la presencia de la caja reductora también se evita vibraciones y perturbaciones provocado por las altas velocidades en todo el sistema. (Ver Anexo 7)

La velocidad a la salida de la caja reductora es de 38 rpm, por lo cual se vuelve a realizar el cálculo de la capacidad de disipación de calor que poseerá el disco a partir de la Ecuación 5

$$E_f = \frac{i \times m \times (V_o^2 - V_f^2)}{2} \quad (5)$$

Donde

i es igual a 1.25 para velocidades intermedias

m es a 2.5 kg

V_o es 38 rpm = 0.51 m/s. Considerando el radio del disco de freno de 0.13 m.

V_f es 0 rpm

$$E_f = \frac{1.25 \times 2.5 \times (0.51^2 - 0^2)}{2}$$

$$E_f = 0.40 J$$

Para determinar la variación de temperatura que se produce en el sistema de freno durante el proceso se utiliza la ecuación 6.

$$\Delta T = \frac{E_f}{m \times C_p} \quad (6)$$

Donde:

m : Masa del disco de freno es 0.1 [Kg]

C_p : Calor específico del disco de freno es 460 [J / Kg °C].

$$\Delta T = \frac{0.40}{0.1 \times 460} = 0.008^\circ C$$

Entonces la temperatura del disco del freno al accionar va hacer de:

$$T = T_{amb} + \Delta T$$

Donde:

$$T_{amb} = 20^\circ C$$

$$T = 20^\circ C + 0.008^\circ C = 20.008^\circ C$$

Para ejercer el frenado del sistema tomando en cuenta la temperatura ambiente de 20°C, en el disco se presenta una temperatura de 20.008°C, cuando el accionamiento del freno está actuando a una velocidad de 38 rpm.

Con el resultado obtenido se observa que el valor de temperatura se reduce en el disco con la implementación de la caja reductora, permitiendo una mayor eficiencia de frenado y mayor vida útil de los elementos del sistema de freno.

5.11 Análisis computacional de los componentes mecánicos

De acuerdo al diseño establecido, el módulo de medición de torque rotacional presenta los siguientes componentes mecánicos como se muestra en la Figura 28.

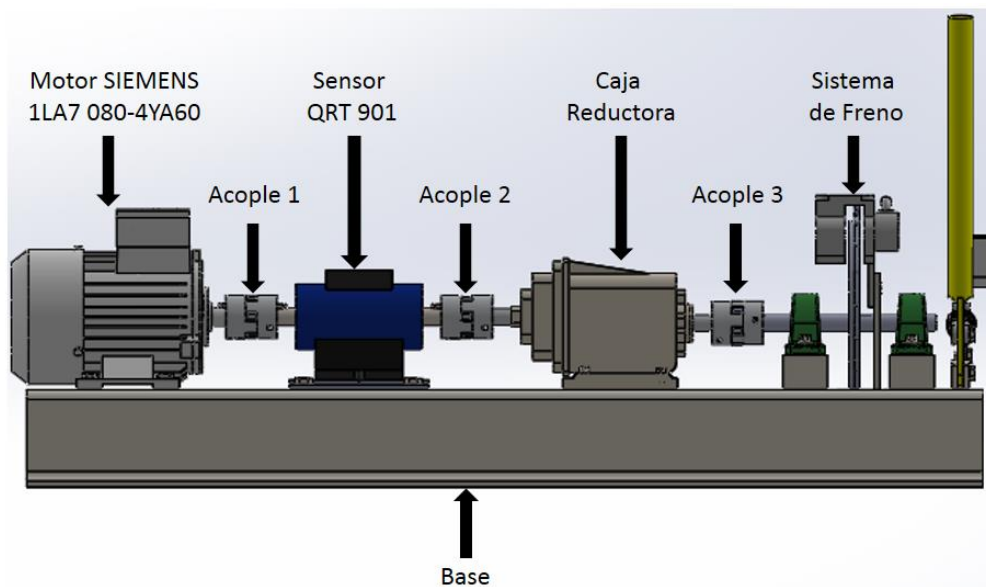


Figura 28. Componentes mecánicos del módulo

Como se puede observar en el diseño del módulo el acople 1 y el acople 2 estarán sometidos al mismo torque, mientras que el acople 3 que se encuentra a la salida de la caja reductora va a soportar mayor cantidad de torque por lo cual se realizara el análisis de los mencionados acoples y de la base.

5.11.1 Análisis de los acoples.


Para la selección de los acoples se debe tomar en cuenta el torque nominal entregado por el motor, de acuerdo a su placa de datos es de 4.29 [Nm], por lo cual en los acoples

1 y 2 se debe realizar el análisis computacional respectivo con la finalidad de garantizar que los acoples soporten esta cantidad de torque, de igual manera en el acople 3 se debe asegurar que soporte el torque nominal de salida de la caja reductora cuyo valor es de 132 [Nm]. El acople 1 se ubica entre el motor y el sensor, mientras que el acople 2 se ubica entre en el sensor y la caja reductora; el acople 3 se ubica entre la caja reductora y el sistema de freno como se muestra en la Figura 28.

a. Selección y análisis de los acoples 1 y 2.

Los acoples 1 y 2 son seleccionados de acuerdo al torque de 8.1 [Nm] del motor Siemens modelo 1LA7 080-4YA60. A continuación en la Tabla 22 se muestran dos tipos de acoples con sus características.

Tabla 22
Opciones de acoples flexibles

MODELO	L 075	KM
		
Tipo	Flexible	Rígido
Marca	Lovejoy	Jakob
Diámetro interior máx.	22 [mm]	19 [mm]
Material	Acero sinterizado	Aluminio de alta resistencia
Velocidad máx.	3600 [rpm]	3000 [rpm]
Par nominal	10.2 [Nm]	12 [Nm]

Se elige el acople L075 marca LOVEJOY, dado que las características de este tipo de acople permiten que la junta posea un desalineamiento de tipo angular y paralelo; de igual manera este acople absorbe las vibraciones en la junta entre ejes. Al seleccionar un acople con un par nominal transmisible de 10.2 [Nm] se procede a realizar el análisis computacional del acople para asegurar el funcionamiento correcto del sistema.

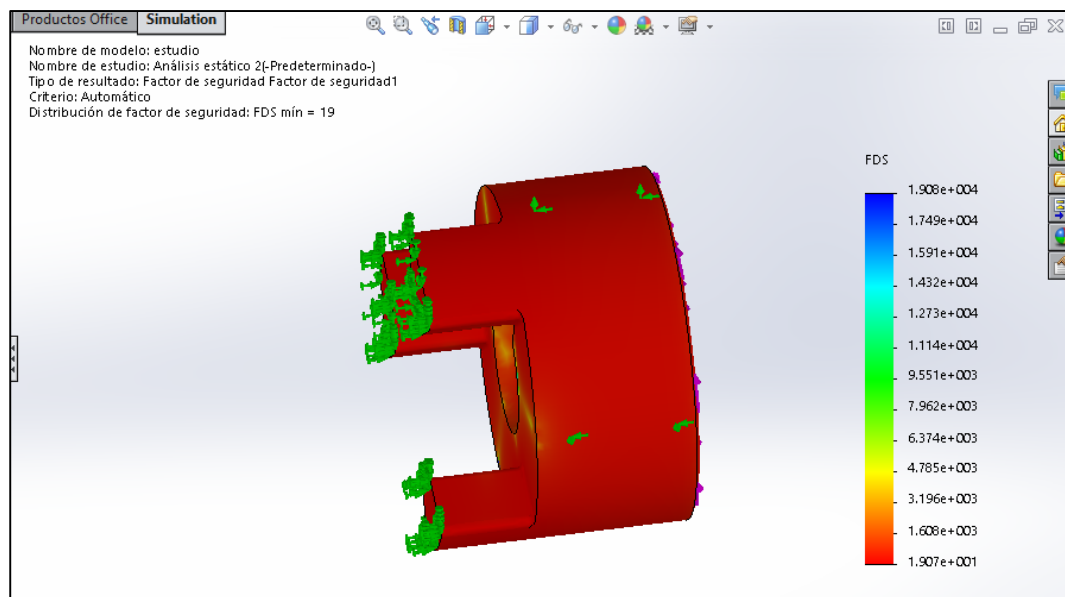


Figura 29. Análisis computacional Love joy L075



Para realizar el análisis computacional, se procede a realizar la sujeción fija, además de la sujeción axial y radial del acople, se ubica el valor de la carga de torsión, posteriormente se realiza el análisis con el valor de torque de arranque para asegurar un correcto funcionamiento de la junta con un valor de 8,1. Una vez obtenidos los resultados se observa un factor de seguridad de 19, valor que garantiza la correcta selección del acople.

b. Selección y análisis del acople 3.

El acople 3 es seleccionado considerando el torque nominal de salida de 132 [Nm] de la caja reductora Transtecno modelo CMG-012. A continuación en la Tabla 22 se muestran dos tipos de acoples con sus características.

Tabla 23

Opciones de acoples flexibles

MODELO	L 150	MDSD
		
Tipo	Flexible	Rígido
Marca	Lovejoy	Lovejoy
Diámetro interior máx.	48 [mm]	25 [mm]
Material	Acero sinterizado	Aluminio
Velocidad máx.	3600 [rpm]	2400 [rpm]
Par nominal	140.0 [Nm]	120 [Nm]

Al igual que los acoples anteriores se elige el acople L150 marca LOVEJOY por las características que este tipo de acople posee, tomado en cuenta el par de salida de la caja reductora de 132 [Nm], se procede a realizar el análisis computacional del acople para asegurar el funcionamiento correcto del sistema.

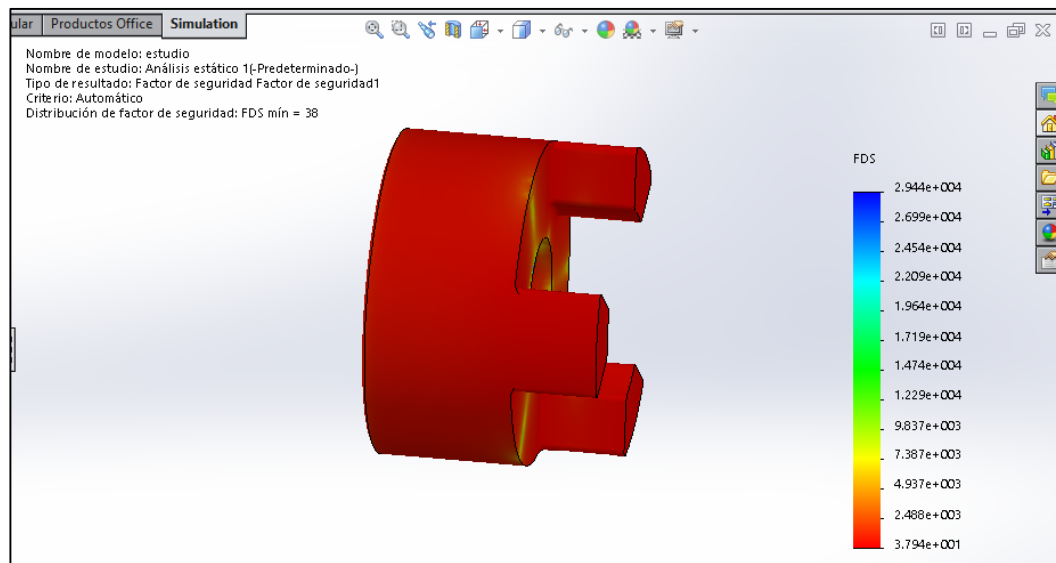


Figura 30. Análisis Love joy L150

Al igual que en el análisis anterior se realiza el análisis computacional aplicando las sujeciones respectivas y el valor de carga torsional, en este caso tomando en cuenta el valor de potencia a la salida de la caja reductora de 132 Nm. Una vez obtenidos los resultados se obtiene un factor de seguridad de 38, comprobando de esta manera la correcta selección del acople.

5.11.2 Análisis estructural.

Con la finalidad de realizar el análisis computacional de la base es necesario tomar en cuenta la ubicación y el peso de los componentes mecánicos que son parte del módulo de medición. La disposición de los componentes mecánicos del módulo se muestra en la Figura 28, mientras que en la Figura 31 se indica el peso de cada uno de los elementos que soportara la base.

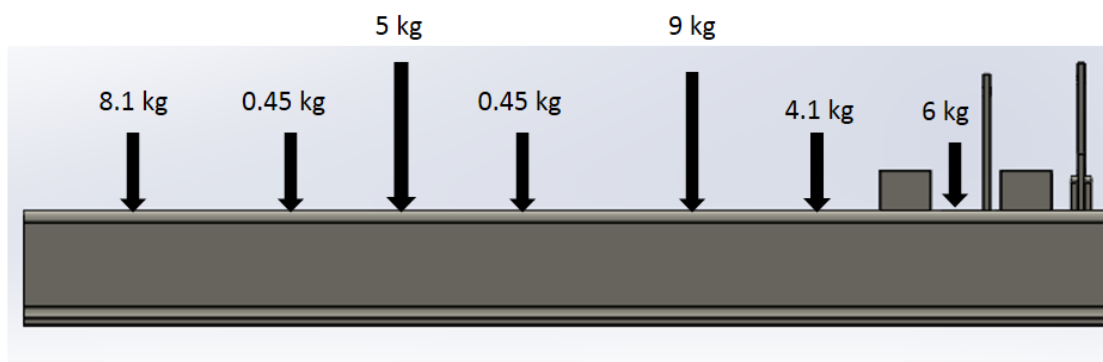


Figura 31. Peso de los componentes mecánicos

En el análisis estructural se procede a ubicar la sujeción fija en la base de la estructura, posteriormente se ubica la fuerza que ejercerán los componentes en la estructura dando un valor total de 33.1 kg, este valor debe ser expresado en Nextons que resulta de ser multiplicado el peso de los componentes por la gravedad, resultando un valor de fuerza total de 324,711 N.

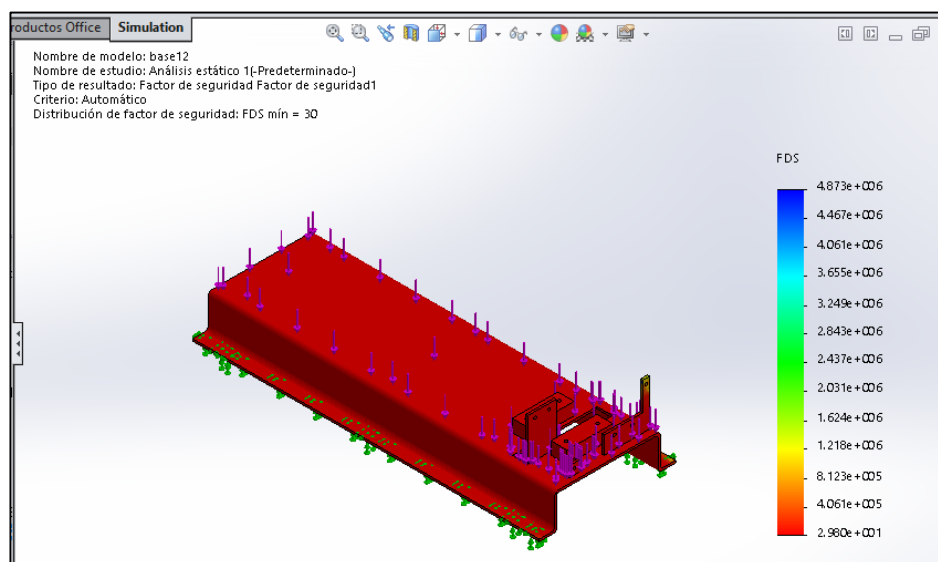


Figura 32. Análisis computacional de la base

Una vez obtenidos los resultados del análisis estructural de la base se observa un valor de factor de seguridad de 30 con lo cual se garantiza la correcta selección del material y diseño de la estructura.

5.12 Programación de las placas de control.

5.12.1 Programación del Arduino Uno

a. Esquema inicial.

Para la programación en la placa de control Arduino Uno se realiza el diagrama de flujo el cual describe el esquema inicial del proceso realizado.

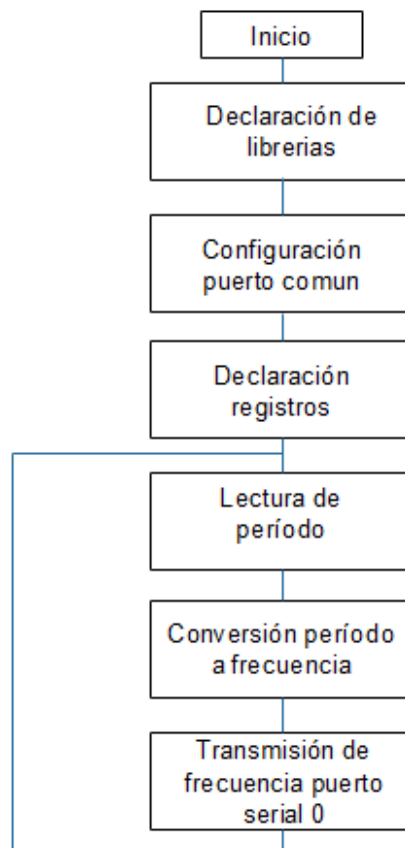


Figura 33. Diagrama de flujo para el Arduino Uno

La placa de control Arduino uno estará encargada de procesar la señal de frecuencia procedente del encoder y transmitir al puerto serial 2 del Arduino mega.

b. Configuración inicial de variables

Para la programación en el Software Arduino se realiza la declaración de las variables a utilizar como se muestra en la Figura 34. El código de programación de la placa Arduino Uno se adjunta en el Anexo 8.

```
int encoder_pin = 2;
unsigned int rpm = 0;
float velocity = 0;
volatile int pulses = 0;
unsigned long timeold = 0;
unsigned int pulsesperturn = 60;
const int wheel_diameter = 75;
static volatile unsigned long debounce = 0;
```

Figura 34. Configuración inicial.

5.12.2 Programación del Arduino MEGA

a. Esquema inicial.

El Arduino Mega se comunica con el Arduino Uno para recibir la información de la velocidad, torque y lectura de corriente realizando las tareas asignadas a través de los botones de la pantalla, mostrando los valores medidos en el módulo y ordenador. En la Figura 35 se muestra el diagrama de flujo del proceso que realiza esta placa de control.

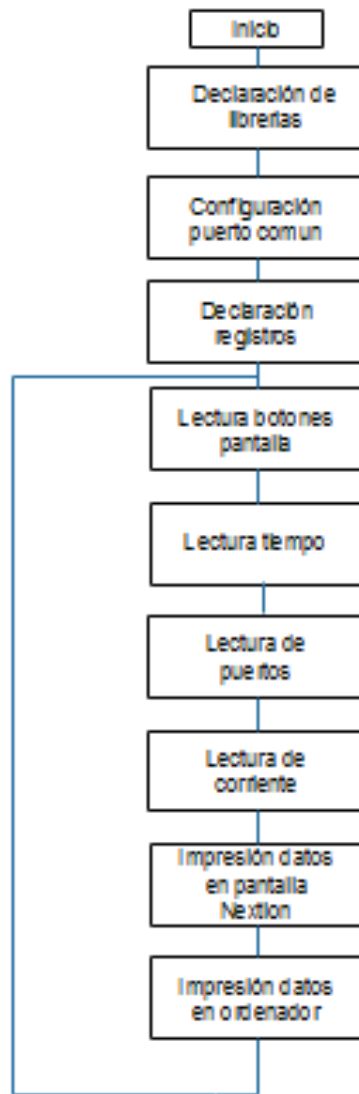


Figura 35. Diagrama de flujo del Arduino Mega

b. Configuración inicial de variables

Para la programación de la placa Arduino Mega se declara las variables necesarias a utilizar la lectura y visualización de las magnitudes a medir como se muestra en la Figura 36. El código de programación completo se adjunta en el Anexo 9.

```
char buffer[100] = {0};  
char torque[10],torquel[10];  
char vel[10],vell[10];  
char pot[10];  
char rad[10];  
char libp[10];  
char hp[10];  
char I[10];
```

Figura 36. Declaración de variables del Arduino Mega

5.13 Creación de la base de datos

Se procede al diseño de un sistema para la creación de una base de datos, el módulo Arduino microSD permite la conexión con la placa de control Arduino mega para a través de esta recibir la información de las variables medidas, la monitorización y la descarga de datos, la descarga puede ser realizada desde la pantalla en el módulo y desde el ordenador. Con el uso de un módulo de reloj de Arduino esta base de datos se registra con la información de fecha y hora en los cuales los datos fueron grabados. La base de datos es almacenada en una tarjeta MicroSD como un archivo con extensión .xls, en esta base de datos se registra las magnitudes medidas como: Velocidad angular, torque rotacional y corriente del motor eléctrico. En la Figura 37 se observa la programación en la placa Arduino mega para la creación y la descarga de datos. El código de programación completo del Arduino mega se adjunta en el Anexo 9.

```

if (reg == 1) {
    t1.setText(vel);
    t2.setText(torque);
    t7.setText(I);
    Serial.println(filename);
    File dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
    // if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
    dataFile.print(tm.Day);
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(tm.Month);
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(tmYearToCalendar(tm.Year));
    dataFile.print(";");
    dataFile.print(tm.Hour);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(tm.Minute);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(tm.Second);
    dataFile.print(";");
    dataFile.print(t);
    dataFile.print(";");
    dataFile.print(vel);
    dataFile.print(";");
    dataFile.print(torque);
    dataFile.print(";");
    dataFile.println(I);
    dataFile.close();
}
}

```

Figura 37. Variables para la creación de la base de datos

5.14 Programación de la interfaz grafica

5.14.1 Creación del entorno en Nextion

A través del software Nextion Editor se crea la interfaz gráfica para la pantalla Nextion ubicada en el módulo de medición, en esta interfaz gráfica se encuentran establecidas cuatro ventanas para la interacción con el usuario, las cuales se indican a continuación:

En la Figura 38 se muestra la ventana principal de la interfaz gráfica en la cual se muestra la caratula con el tema del proyecto de titulación y además consta de un botón de INICIO para inicializar el sistema.



Figura 38. Ventana de inicio de la interfaz grafica

En la figura 39 se muestra una ventana de opciones, el cual consta de 3 botones de selección que conducen a nuevas ventanas como: visualización de magnitudes, registro de magnitudes y caratula la cual permite el retorno a la ventana de inicio.



Figura 39. Ventana de opciones de la interfaz gráfica

Al seleccionar en la ventana de opciones el botón visualizar variables se desplegará una nueva ventana en la que se podrá observar las magnitudes como velocidad angular, torque rotacional y potencia, además posee un botón de retorno hacia la ventana de opciones como se observa en la Figura 40.



Figura 40. Ventana de visualización de variables de la interfaz gráfica

Mientras que al seleccionar en la ventana de opciones el botón registro de magnitudes se despliega una ventana en la que se puede realizar la grabación de las magnitudes y guardarlas en una base de datos por lo cual consta de un botón que permite iniciar y detener la grabación conforme se desarrolle la práctica, además en esta ventana se dispone de un botón de regreso a la ventana de opciones, también se encuentran ubicados cuadros de texto donde se imprimen los datos como se observa en la figura 41. (Ver Anexo 10)



Figura 41. Ventana de registro de magnitudes

a. Comunicación con Arduino

La librería ITEADLIB_Arduino_Nextion permite la comunicación entre la placa de control Arduino Mega y la pantalla Nextion. En la programación del Arduino Mega se realiza la declaración de variables con la misma designación que en el software Nextion como se muestra en la Figura 42. Nextion permite almacenar el archivo el entorno creado en el software Nextion Editor en la misma memoria del dispositivo, por lo que la placa de control Arduino Mega no gasta recursos en este proceso. La comunicación se realiza utilizando únicamente dos pines del puerto serie.

```

//
NexText t1 = NexText(2, 4, "t1");
NexText t2 = NexText(2, 5, "t2");
NexText t3 = NexText(2, 6, "t3");
NexText t4 = NexText(2, 7, "t4");
NexText t5 = NexText(2, 8, "t5");
NexText t6 = NexText(2, 9, "t6");
NexText t7 = NexText(3, 7, "t7");

NexDSButton bt0 = NexDSButton(3, 4, "bt0");
NexText t0 = NexText(3, 3, "t0");

```

Figura 42. Variables visualizadas a través de la interfaz grafica

5.14.2 Creación del entorno en Visual Basic

El entorno grafico para la visualización en la PC consiste en una interfaz gráfica con ventanas idénticas al entorno desarrollado en Nextion Editor. Con esto se consigue visualizar simultáneamente las magnitudes medidas desde la pantalla Nextion y el ordenador.

a. Esquema inicial.

En el software Visual Basic se crea un archivo ejecutable para el ordenador, por lo que se desarrolla el esquema inicial de la ventana principal en el cual arranca el

programa, en la Figura 43 se muestra el esquema inicial de programación de la ventana principal.

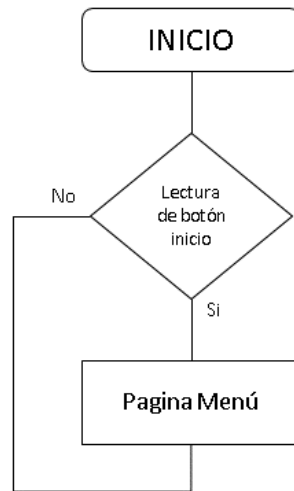


Figura 43. Esquema inicial de la ventana principal

En la Figura 44 muestra el esquema de la ventana de menú con las opciones a las que se puede acceder una vez seleccionado el botón inicio en la ventana principal, permitiendo visualizar o registrar las magnitudes medidas y también el retorno a la ventana principal.

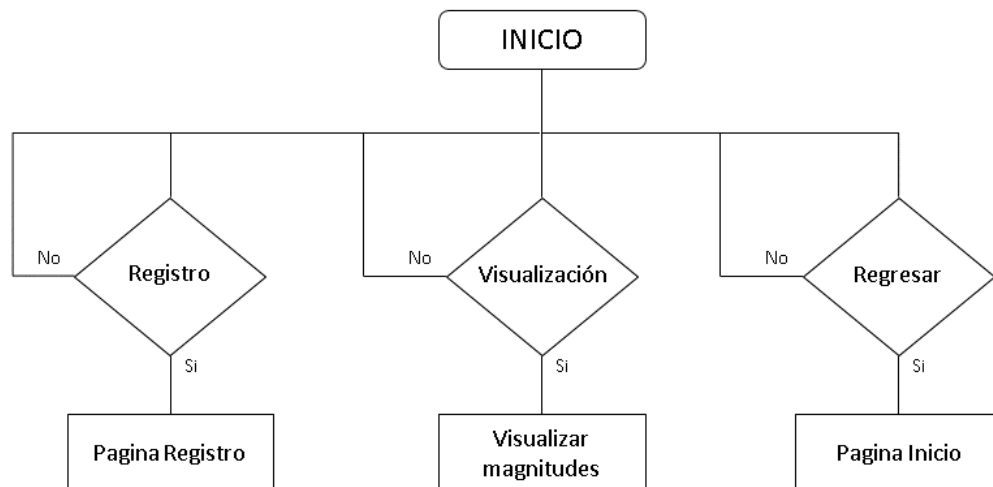


Figura 44. Esquema de la ventana menú.

Al acceder a la ventana de visualización de las magnitudes se debe considerar seleccionar el puerto serial a través del cual se realiza la comunicación entre la placa de control Arduino Mega y el ordenador y poder visualizar las magnitudes medidas. En la Figura 45 se muestra el esquema de la ventana de visualización de magnitudes.

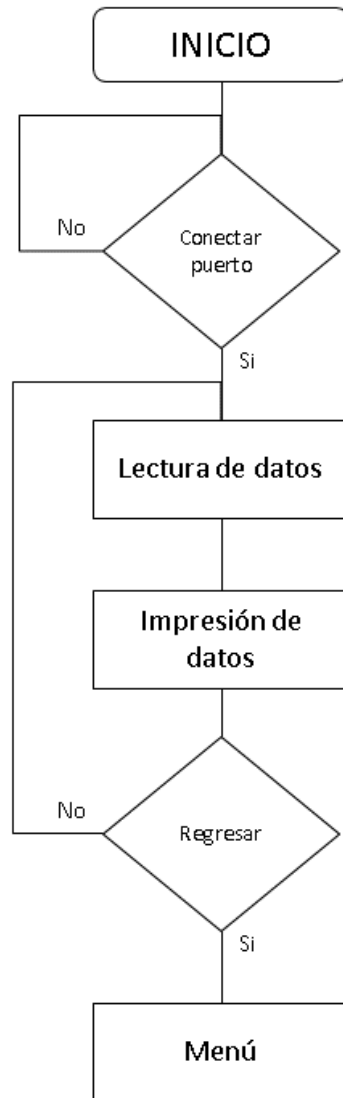


Figura 45. Esquema de la ventana de visualización de magnitudes

Finalmente al acceder a la opción registro de magnitudes se puede proceder a la creación de una base de datos que contiene las magnitudes medidas pudiendo este ser

realizado una o varias veces. En la figura 46 se muestra el esquema de la ventana de registro de datos.

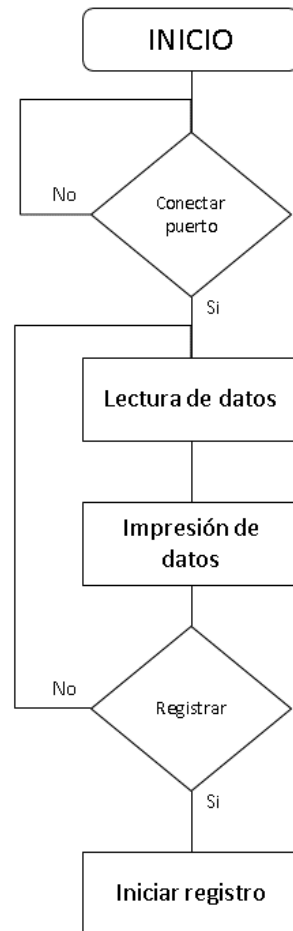


Figura 46. Esquema de la ventana registro de magnitudes

b. Interfaz Grafica

La interfaz gráfica para la conexión con el ordenador desarrollada en Visual Basic posee una diferencia en comparación con la interfaz de la pantalla Nextion, la cual requiere seleccionar el puerto serial para la comunicación, así como también realizar la desconexión cuando se realiza un cambio de ventana como se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Interfaz gráfica del ordenar

c. Comunicación con Arduino

La comunicación entre el Arduino Mega y el ordenador se la realiza a través del puerto serial de la placa de control y el puerto USB del ordenador. Esta comunicación se realiza por el mismo puerto a través del cual se carga la programación a la placa de control en el código de programación.

5.15 Pruebas de medición del módulo.

En esta sección se procede a la medición de las magnitudes del motor eléctrico como torque rotacional, velocidad angular y corriente al aplicar un valor de carga a través del módulo presente en el laboratorio de Accionamientos Electricos. Estas magnitudes medidas se obtienen aplicando un torque de 0 [Nm] a 3 [Nm] en rangos de 0.5 [Nm]. En la Tabla 24 se muestra las magnitudes obtenidas tanto en los equipos del laboratorio como en el módulo de medición.

Tabla 24
Pruebas de medición de magnitudes.

Equipos del laboratorio			Módulo de medición		
Torque [Nm]	Velocidad [rpm]	Corriente [A]	Torque [Nm]	Velocidad [rpm]	Corriente [A]
0	1799	2.66	0.01	1798	2.68
0.5	1790	2.72	0.5	1787	2.74
1	1775	2.76	1.02	1772	2.76
1.5	1765	2.80	1.52	1763	2.81
2	1765	2.84	2.02	1752	2.85
2.5	1745	2.95	2.52	1740	2.99
3	1725	3.08	3.01	1724	3.1
-	-	-	3.5	1709	3.39
-	-	-	4	1700	3.47
-	-	-	4.3	1692	3.65

5.16 Pruebas de registro de magnitudes.

El registro de las magnitudes en la MicroSD puede ser generado a través de la pantalla Nextion o del ordenador seleccionando en la ventana menú la opción registro de magnitudes. Una vez dentro de esta ventana el registro se genera al pulsar el botón Iniciar Grabación, los datos se presenta en una tabla de Excel conformada por filas en las cuales se encuentra los datos de: fecha, hora, numero de medición, velocidad, torque y corriente como se muestra en la Figura 48.

	A	B	C	D	E	F
1	Fecha	Hora		Velocidad	Torque	Corriente
2	29/1/2019	10:24:22	1	-7718	1.95	2.61
3	29/1/2019	10:24:23	2	1740	2.31	2.80
4	29/1/2019	10:24:24	3	1734	2.84	2.91
5	29/1/2019	10:24:25	4	1721	2.93	2.98
6	29/1/2019	10:24:26	5	1721	3.34	3.09
7	29/1/2019	10:24:27	6	1711	3.36	3.23
8	29/1/2019	10:24:28	7	1709	3.73	3.30
9	29/1/2019	10:24:29	8	1703	3.75	3.50
10	29/1/2019	10:24:30	9	1698	3.98	3.67
11	29/1/2019	10:24:31	10	1700	3.70	3.55
12	29/1/2019	10:24:32	11	1709	3.62	3.40
13	29/1/2019	10:24:33	12	1710	3.73	3.35
14	29/1/2019	10:24:34	13	1699	3.83	3.51
15	29/1/2019	10:24:35	14	1701	3.98	3.53
16	29/1/2019	10:24:36	15	1695	3.85	3.43
17	29/1/2019	10:24:37	16	1700	4.01	3.47
18	29/1/2019	10:24:38	17	1702	3.88	3.53
19	29/1/2019	10:24:39	18	1716	3.21	3.17
20	29/1/2019	10:24:40	19	1723	3.02	3.16
21	29/1/2019	10:24:41	20	1722	2.84	3.12
22	29/1/2019	10:24:42	21	1732	2.79	3.07
23	29/1/2019	10:24:43	22	1722	3.13	3.08
24	29/1/2019	10:24:44	23	1709	3.54	3.39

Figura 48: Registro de datos

5.17 Análisis de los parámetros obtenidos

A partir de los valores de torque rotacional, velocidad angular y corriente obtenidos de la pruebas de medición de magnitudes se procede a calcular el porcentaje de error de los datos obtenidos del módulo de medición, los datos obtenidos a partir del módulo

de medición son llamados valores medidos y los datos medidos a través de los equipos del laboratorio son llamados valores reales. El porcentaje de error es calculado a partir de la ecuación 7.

$$\%error = \frac{|valor\ real - valor\ medido|}{valor\ real} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

Valor real: Valores medidos por los equipos del laboratorio.

Valor medido: Valores medidos por el módulo de medición.

Con esta ecuación se proceden a calcular los porcentajes de error de cada una de las variables medidas y el error promedio de cada variable iniciando por el torque en la Tabla 25.

Tabla 25
Porcentaje de error de torque.

Equipos del laboratorio		
Equipo del laboratorio[Nm]	Módulo de medición [Nm]	Error [%]
0	0.01	-
0.5	0.5	0
1	1.02	2
1.5	1.52	1.3

CONTINÚA



2	2.02	1
2.5	2.52	0.8
3	3.01	0.33
Promedio		0.905

De igual manera se realiza el cálculo del error en la medición de la velocidad como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26
Porcentaje de error de velocidad.

Equipos del laboratorio		
Equipo del laboratorio[Nm]	Módulo de medición [Nm]	Error [%]
1799	1798	0.05
1790	1787	0.16
1775	1772	0.16
1765	1763	0.11
1755	1752	0.17
1745	1740	0.28

CONTINÚA



1725	1724	0.05
Promedio		0.14

El error presente en la medición de corriente también es mostrado en la tabla 27.

Tabla 27

Porcentaje de error de corriente.

Equipos del laboratorio		
Equipo del laboratorio[Nm]	Módulo de medición [Nm]	Error [%]
2.66	2.68	0.75
2.72	2.74	0.73
2.76	2.76	0
2.80	2.81	0.35
2.84	2.85	0.35
2.95	2.99	1.35
3.08	3.1	0.64
Promedio		0.59

Luego de calcular el porcentaje de error en las mediciones de velocidad angular, torque rotacional y corriente del motor se observa que el modulo posibilita la obtención de valores confiables al contrastarlos con los módulos del laboratorio, se comprueba que las mediadas corresponden a los datos de placa en el momento de ejercer al motor a condiciones de carga nominal.

CONCLUSIONES

A partir de las características técnicas del motor eléctrico de potencia fraccional Siemens 1LA7 080-4YA60 existente en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos se identificaron los componentes como el sensor de torque rotacional, sistemas de acoples entre ejes, soporte estructural, placas de control, dispositivos de visualización, registro y descarga de datos necesarios para el desarrollo del medidor de torque rotacional y velocidad angular.

Se determinó un sistema de freno de disco con accionamiento de mando hidráulico para actuar como carga mecánica al motor eléctrico de potencia fraccional Siemens 1LA7 080-4YA60 permitiendo conseguir una simulación de carga bajo diferentes valores de carga.

Una vez identificados los componentes mecánicos y electrónicos se procedió al diseño del módulo de medición de torque rotacional y velocidad angular realizando un análisis computacional a la estructura y a los acoples obteniendo factores de seguridad que garantizan un funcionamiento adecuado del sistema, mientras que para los componentes electrónicos se verifico la compatibilidad y comunicación entre dispositivos.

Se implementó un transformador de corriente para realizar la medición de la corriente del motor eléctrico de potencia fraccional bajo condiciones de carga.

Se desarrolló un programa que permitió la lectura de las variables de torque rotacional, velocidad angular y corriente permitiendo el procesamiento de las señales provenientes de los sensores con la finalidad de visualizar a través de una interfaz gráfica en una pantalla u ordenador y registrar dichas variables a través de un programa almacenando la base de datos en una tarjeta MicroSD.

Los resultados del cálculo del porcentaje de error arrojan un error total de medición del módulo de 0.9% en medición de torque, 0.14% en medición de velocidad y 0.59% en medición de corriente, siendo estos valores aceptables dentro de los sistemas de medición, es decir los datos obtenidos resultan ser aceptables.

El modulo didáctico desarrollado contiene un sensor de torque rotacional el mismo que actualmente posee una alta aplicación industrial, por lo que los estudiantes al utilizarlo en el desarrollo de sus prácticas estarán inmersos en el estudio con nuevas tecnologías para la medición de torque y velocidad angular en motores eléctricos.

RECOMENDACIONES

El modulo implementado tiene un rango de medición de 0 a 10 Nm y la velocidad angular de 0 a 6000 rpm, por lo cual se recomienda que el motor eléctrico conectado no supere estos rangos de medición.

Verificar que el sentido de giro del eje del motor eléctrico este en sentido anti horario, el sistema de freno de disco está diseñado para actuar en esta disposición.

El puerto USB del ordenador debe estar conectado únicamente en el momento que el medidor se encuentre encendido, ya que el puerto USB del ordenador no posee la corriente necesaria para encender la pantalla Nextion.

.Para realizar un cambio de ventana en el ordenador es necesario previamente desconectar el puerto serial.

Una vez que la tarjeta MicroSD es retirada y colocada nuevamente, es necesario pulsar el botón Reset del medidor para poder ejecutar nuevamente el programa de registro de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, H. R., & Puente, A. M. (2016). *Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes para el registro de la contaminación acústica en la ESPOCH basado en tarjetas de desarrollo*. Riobamba.
- Ante, P. (2016). *Diseño placa de comunicación por buses industriales para Arduino*. Valencia.
- Boada, P. M. (2015). *Módulo de adquisición y visualización de datos para caracterización de motores eléctricos de inducción*. Quito.
- Cáceres, H. (2015). *Redimensionamiento, construcción e implementación de un sistema de frenos posteriores de disco con freno de mano hidráulico para un vehículo de rally*. Riobamba.
- Cargua, F. A., & Castelo, J. C. (2017). *Determinación de la variación de par motor, potencia y pérdidas mecánicas en un motor de encendido provocado (MEP) en función de la presión atmosférica y temperatura ambiente a través del método de aceleración libre*. Quito.
- Carpio, D. E. (2018). *Diseño y construcción del sistemas de frenos de un vehículo de competencia formula SAE eléctrico*. Cuenca.
- Carrales, F. (2009). *Diseño y construcción de un prototipo de sensor torque*. Puebla.
- Cedillo, J. (2010). *Optimización de ancho de banda para sistemas de GSM*. Ciudad de México.
- Coveñas, J. L. (2014). *Diseño mecánico de un dinamómetro vehicular portátil para determinar la potencia de automóviles rally de tracción simple*. Liima.
- Cubillo, E. (2013). *Implementación de un banco de pruebas para caracterización de máquinas eléctricas mediante un freno electrodinámico*. Cartago.
- Doñu, M. A. (2008). *Reductor de velocidad*. México D. F.
- Durán, M. A. (2014). *Medición de par dinámico en sistemas mecánicos usando acelerómetros torsionales*. Queretaro.
- Ferreira, F. (2009). Efficiency Testing of Electric Induction Motors. *Institutel of Electrical and Electronics Engineers*.
- Gang, S. (2010). *Diseño de un nuevo sensor de par sin contacto para la rotacion de ejes escalonados mediante la monitorización del campo magnético*. *Inder Science Publishers*, 1.
- Gutiérrez, L., & Corrales, C. A. (2008). *Diseño de un freno prony para la medición de potecia*. Medellín.
- Janeta, L. A. (2000). *Normas para pruebas de motores fraccionarios*. Quito.

- Jiménez, E. C., & Sinchiguano, W. M. (2007). *Diseño y construcción de un sistema de entrenamiento para variadores de frecuencia de 3 HP para el laboratorio de Control Electrónico*. Latacunga.
- Lledó, E. (2012). *Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino*. Valencia.
- Logicbus. (2018). Sensores de Torque. *Logicbus*.
- López, P. (2014). *Desarrollo de un dispositivo de telemetría y geolocalización basada en la plataforma Arduino y Shield 3G+GPS*. Cartagena.
- Measurements, A. (5 de Enero de 2004). *Sensor Buil*. Obtenido de <https://appmeas.co.uk/>
- Montilla, C. (2007). *Medición de par motor en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativa*. Pereira.
- Mora, B. A., & Gramal, J. J. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de frenos ABS para motos*. Latacunga.
- Muller, W. (1994). *Electrotecnia de potencia*. Barcelona: Reverté S.A.
- Muñoz, J. (2011). *Implementación de un sensor de corriente alterna para el control de carga de un motor trifásico para reciclene S.A*. Soacha.
- Muñoz, J. A. (2011). *Puesta en marcha de un banco de ensayos para vehículos híbridos propulsados por pilas de combustible*. Sevilla.
- Obregon, J. (2005). *Medición de la eficiencia a motores de inducción utilizando el método de deslizamiento*. Monterrey.
- Oña, C. J., & Freire, L. F. (2016). *Implementación de un sistema de automatización de filtrado y purificación de agua para el centro experimental de riego de la facultad de recursos naturales de la ESPOCH*. Riobamba.
- Oñate, C. A., & Pinta, O. F. (2013). *Diseño e implementación de un módulo para el proceso de clasificación de piezas controlado mediante un PLC SIEMENS S7-1200*. Riobamba.
- Pincay, H. A., & Tigrero, O. I. (2013). *Diseño y construcción de báscula de pesaje dinámico para docificación de materia sólida*. Guayaquil.
- Quan Yuan, H. Z. (16 de 05 de 2018). *QY Sensor*. Recuperado el 11 de 09 de 2018, de <http://www.qysensor.com/english/index.asp>
- Rodríguez, C. E., & Barreno, D. A. (2017). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para obtener las curvas características de funcionamiento bajo carga de los motores de corriente continua mediante una interfaz HMI, para el laboratorio de Accionamientos Eléctricos*. Latacunga.

- Tamayo, L. B. (2016). *Estudio de la eficiencia de frenado para valorar pastillas de freno de producción nacional mediante norma ECE 13H*. Quito.
- Télles, A. J., & Lezama, Á. M. (2009). *Diseño, construcción y puesta en marcha de una caja reductora de velocidad, de doble reducción*. Managua.
- Transtecno, G. P. (27 de Noviembre de 2017). *Transtecno Genuine Products*. Recuperado el 16 de Agosto de 2018, de https://www.transtecno.com/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/270id-Transtecno-Catalogue-Alu-AC-IEC-60-Hz-Gearmotors_0817.pdf
- Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. México, D. F.: Pearson Educación S.A.

Anexos



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Laura Telenchana, Edgar Danilo y Ronquillo Pinto, Carlos Hipólito.

En la ciudad de Latacunga, a los veinticinco días del mes de enero del 2019.

Aprobado por:

Ing. Mario Jiménez León
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Katya Torres Vasquez
DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO