



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

ENERO, 2018





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

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





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 y velocidad angular.





OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 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.





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.





VARIABLES DE 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.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA





MOTOR DE INDUCCIÓN POTENCIA FRACCIONAL

Son motores de inducción trifásicos cuya potencia posee un valor de una fracción de HP hasta 1 HP. Estos presentan características similares a los motores de alta potencia, únicamente viéndose reducidas sus respectivas dimensiones





VELOCIDAD SINCRONA

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:

$$N_s = \frac{(120 \times f)}{p}$$





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. Esta relación esta expresada por la ecuación:

$$N_r = N_s (1 - S)$$





TORQUE

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:

$$T = \frac{9.55P_m}{n}$$





SENSOR DE TORQUE

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.





PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

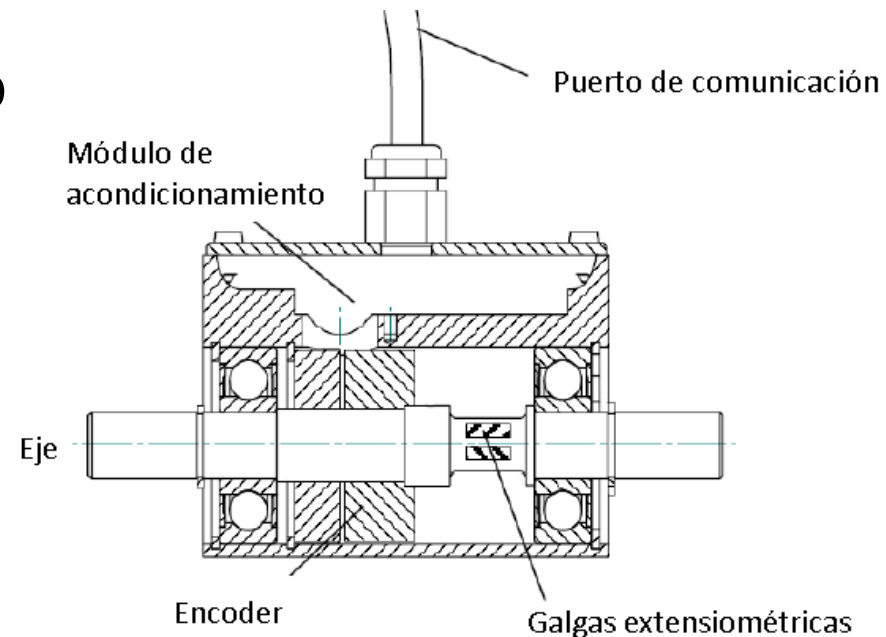
El principio de funcionamiento del sensor de torque se basa en la tecnología de galgas extensiométricas, donde estas se encuentran dispuestas sobre un eje. Al aplicar una fuerza contraria al sentido de giro del eje se produce una torsión, lo cual provoca que las galgas extensiométricas en el eje sufran una deformación y transformen esta deformación en una señal eléctrica.





PARTES DEL SENSOR DE TORQUE

- Puerto de comunicación
- Galgas extensiométricas
- Módulo de acondicionamiento
- Encoder
- Eje giratorio





CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN

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

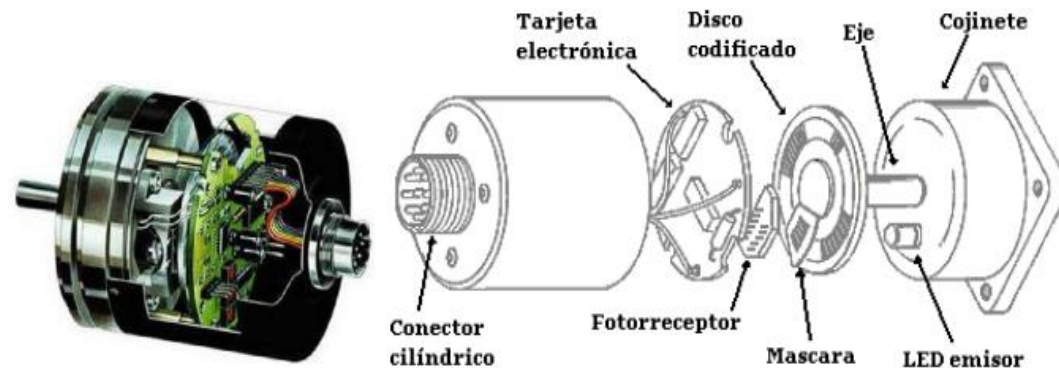
- Velocidad máxima de rotación.
- Rango de torque rotacional.
- Tiempo de duración de la prueba.
- Acople mecánico.
- Entorno a realizar la medición.





ENCODER

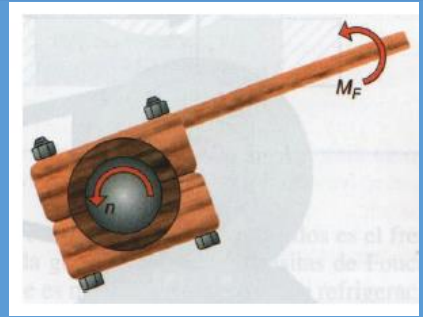
Es un dispositivo que convierte un movimiento rotacional en un conjunto de impulsos digitales. Dichos impulsos formados permiten el control de movimientos de tipo rotacional o lineal.



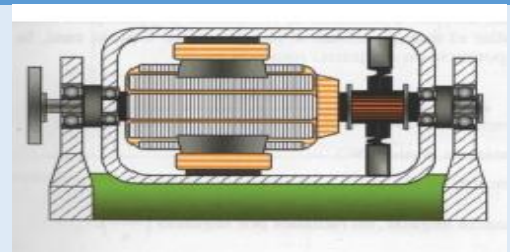


SISTEMAS DE MEDICIÓN DE TORQUE

Sistema directo por frenos de fricción



Sistema por freno eléctrico



Sistema por celda de carga





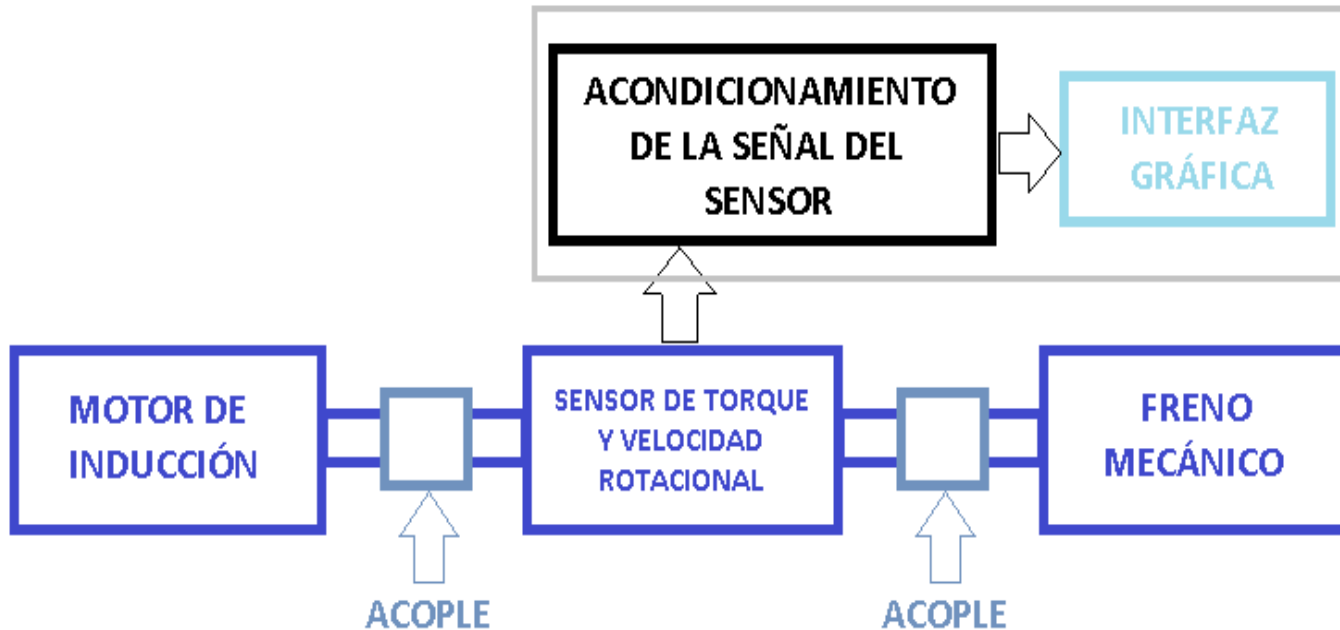
SISTEMA DE FRENO DE DISCO

Es un sistema de frenado usado en ejes giratorios acoplados a discos de freno, en el cual se ejerce fricción con elementos de elevado coeficiente de rozamiento. Este proceso de fricción convierte una parte o la totalidad de la energía cinética de rotación, en energía calorífica, disminuyendo la velocidad o deteniéndolo completamente





SISTEMA DE MEDICIÓN DE TORQUE ROTACIONAL





CASA DE LA CALIDAD (QFD)

Para el desarrollo del proyecto la voz del usuario pasa a ser el punto de partida para la gestión del diseño del modulo de medición, en el cual los investigadores son los encargados de garantizar los requerimientos del usuario traduciéndolos en características técnicas.





LA VOZ DEL USUARIO

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.





LA VOZ DEL USUARIO

- 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.





LA VOZ DEL INGENIERO

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.
- Entorno grafico sencillo.





LA VOZ DEL INGENIERO

- 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.





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.





CONCLUSIONES DE LA MATRIZ (QFD)

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.





DISEÑO DE LA PROPUESTA

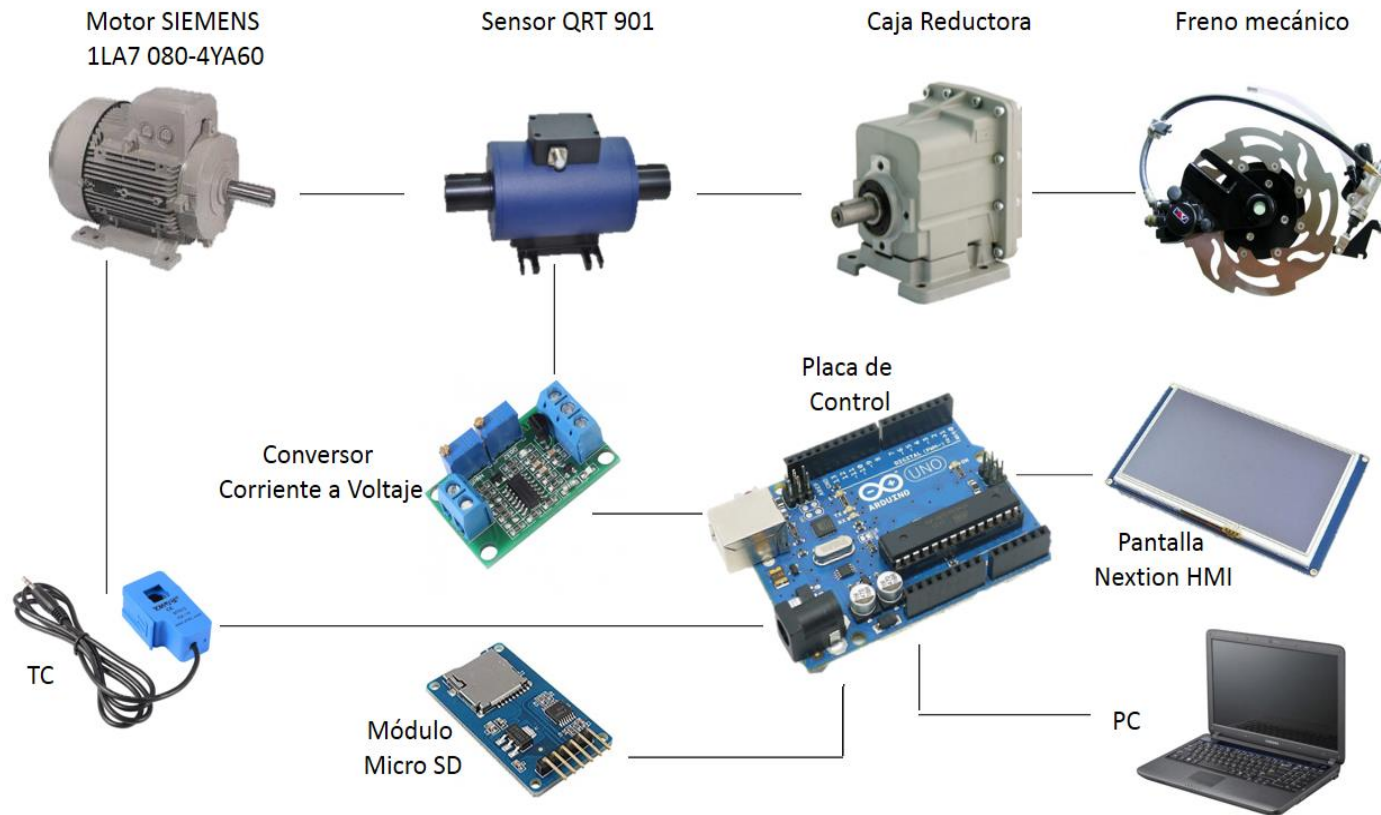
El esquema necesario para el desarrollo de la propuesta comprende:

- Selección de sensor de torque rotacional
- Generación del torque
- Obtención de medidas
- Procesamiento de señal
- Comunicación al ordenador
- Resultado final





ARQUITECTURA DEL PROYECTO





SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS

Los dispositivos necesarios para el desarrollo del módulo son seleccionados a través de un proceso de comparación, entre los cuales destacan:

- Características mecánicas
- Características funcionales
- Compatibilidad entre componentes del módulo
- Rangos de medición





SENSOR DE TORQUE ROTACIONAL

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.





SENSOR DE TORQUE ROTACIONAL

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





SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Con la finalidad de realizar la interpretación de los datos obtenidos del sensor, comunicación con la interfaz gráfica del módulo y el ordenador es necesario realizar un análisis de selección de las placas de control.





ARDUINO UNO

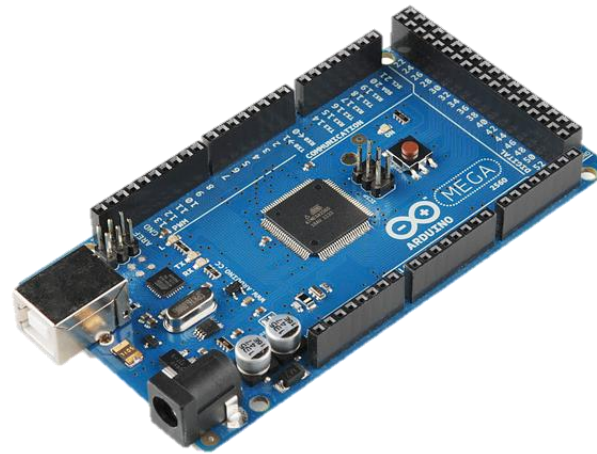
El encoder ubicado dentro del sensor de torque se encarga de enviar la señal medida de velocidad angular en frecuencia, el proceso para la interpretación de esta señal es realizada a través del controlador Arduino Uno.





ARDUINO MEGA

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, visualización y descarga de los datos obtenidos






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.





SENSOR DE CORRIENTE

MODELO	
SCT013-030	
Marca:	
HYDC	
Entrada nominal	De 0 a 30 A
Salida nominal	De 0 a 1 V
Precisión	$\pm 1\%$
Linealidad	$\leq 0.2\%$





HMI

Para poder visualizar las magnitudes medidas se requiere de un dispositivo que permita la programación de una interfaz gráfica.

- Nextion 7'
- 5 [V]
- Nextion Editor
- 800 x 480 píxeles
- 181x108 [mm]





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. Entre sus características resaltantes se observan:

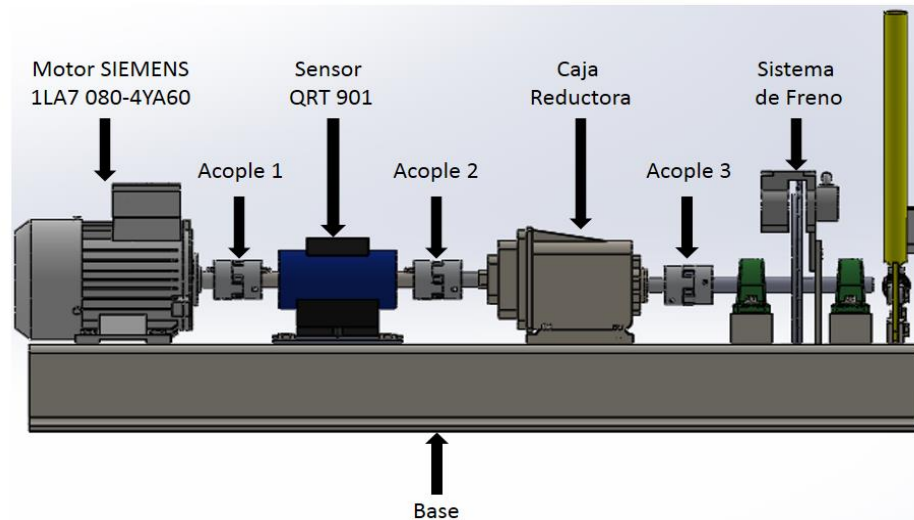
- 1 Emisor
- 1 Receptor
- Distancia Max. 15 m
- Velocidad 19.2 kbps
- Nivel de entrada mínimo +/- 3V





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 sus componentes.





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.

MODELO	XY200 Shineray
Tipo de freno	Disco
Elemento de fricción	Pastillas
Mecanismo de accionamiento	Hidráulico
Mordaza	Si
Peso	0.1 [Kg]
Diámetro del freno	240 [mm]





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.

MODELO	CMG-012
Marca	TransTecno
Forma constructiva	Tipo B3
Velocidad de entrada	1750 [rpm]
Velocidad de salida	38 [rpm]
Relación de reducción	45.89



SELECCIÓN DE LOS ACOPLERES



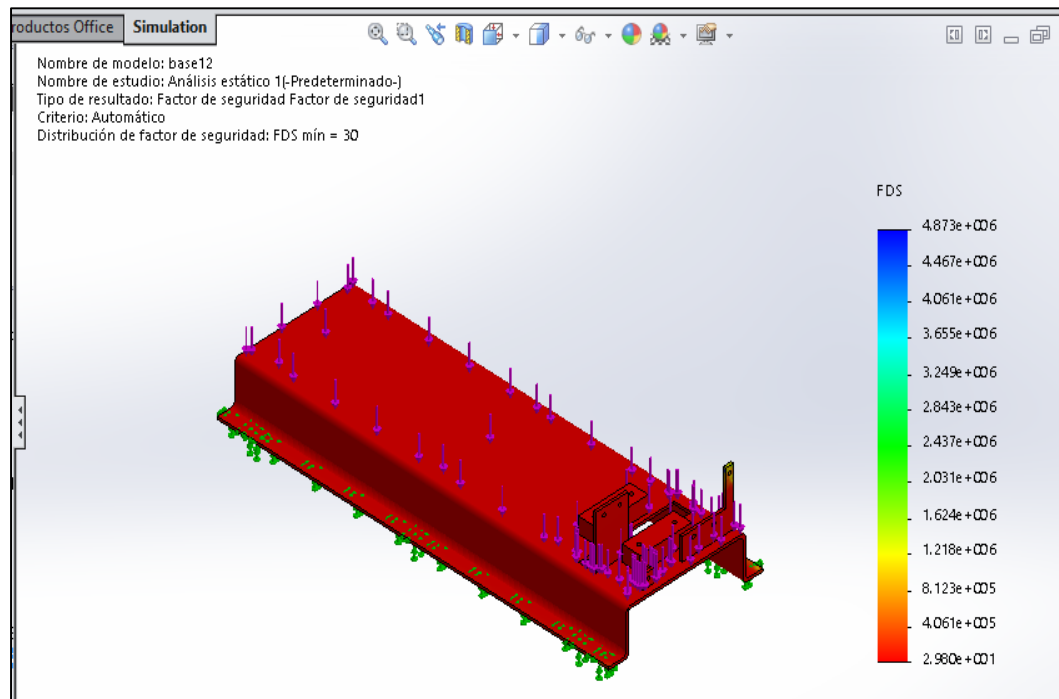
MODELO	L 075	L 150
Tipo	Flexible	Flexible
Marca	Lovejoy	Lovejoy
Diámetro interior máx.	22 [mm]	48 [mm]
Material	Acero sinterizado	Acero sinterizado
Velocidad máx.	3600 [rpm]	3600 [rpm]
Par nominal	10.2 [Nm]	140.0 [Nm]





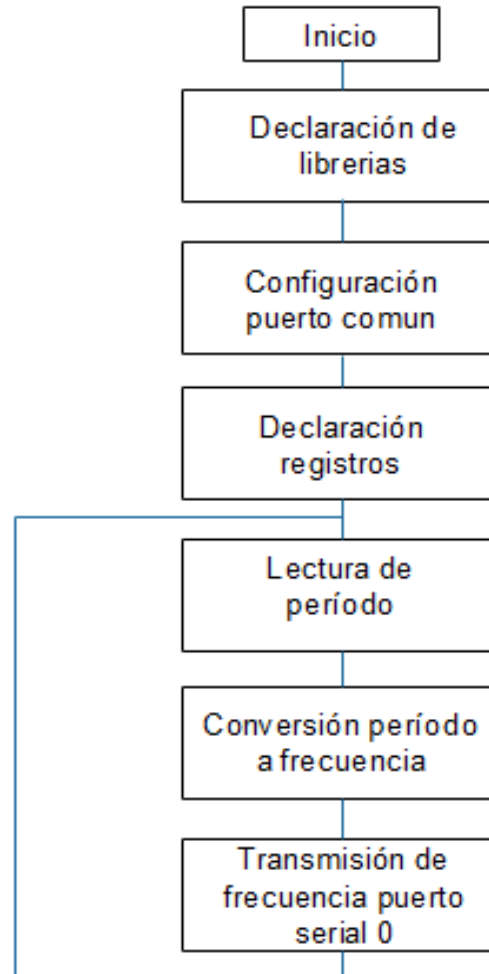
ANÁLISIS DE LA BASE ESTRUCTURAL

Se considera el peso total de los componentes mecánicos para poder determinar el factor de seguridad de la estructura.



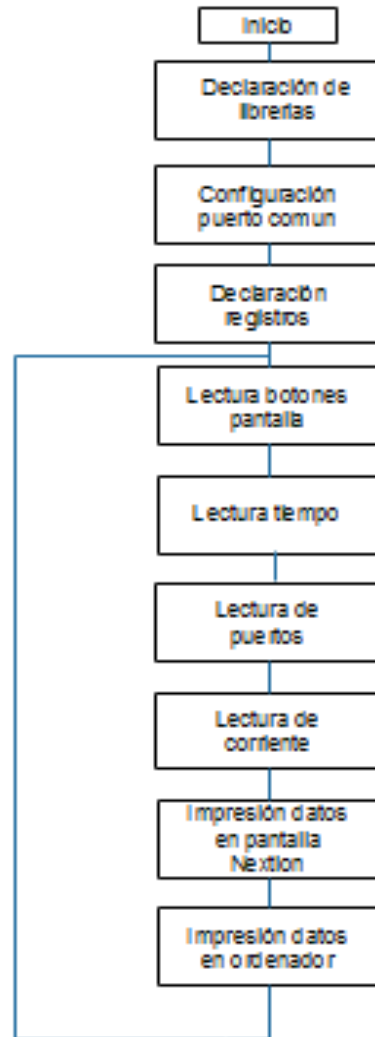


PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO UNO





PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO MEGA





ENTORNO GRÁFICO EN NEXTION

Instructions

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS

MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA MEDICIÓN DE TORQUE ROTACIONAL EN MOTORES ELÉCTRICOS DE POTENCIA FRACCIONAL

INICIO

Event

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

VISUALIZAR MAGNITUDES

REGISTRO DE MAGNITUDES

CARÁTULA

Event



ENTORNO GRÁFICO EN NEXTION

ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

50 Regresar

MAGNITUDES	SISTEMA INTERNACIONAL		SISTEMA INGLES	
Velocidad angular	1 newtxt	rad/s	4 newtxt	rpm
Torque	2 newtxt	Nm	5 newtxt	lib pie
Potencia	3 newtxt	W	6 newtxt	HP

9 | Event

Instructions

ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

50 INICIAR GRABACIÓN 10 newtxt 50 Regresar

MAGNITUD	TORQUE [Nm]	VELOCIDAD [rpm]	CORRIENTE [A]	POTENCIA DE SALIDA [W]
VALOR	1 newtxt	2 newtxt	3 newtxt	4 newtxt

10





ENTORNO EN VISUAL BASIC



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Puerto COM

Connect

b0

Regresar

MAGNITUDES	SISTEMA INTERNACIONAL		SISTEMA INGLES	
Velocidad angular	¹ newtxt	rad/s	⁴ newtxt	rpm
Torque	² newtxt	Nm	⁵ newtxt	lib pie
Potencia	³ newtxt	W	⁶ newtxt	HP



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

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.

	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





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS





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





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RESULTADOS





CALCULO DEL ERROR

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
2	2.02	1
2.5	2.52	0.8
3	3.01	0.33
Promedio		0.905





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOMENDACIONES





- El módulo 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.





GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA