

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

REPORTE TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

SISTEMA PARA MONITOREO Y CONTROL DE MOTORES BRUSHLESS DE
UN VEHICULO ELECTRICO

Presenta:

Díaz de la Cruz Luis Fernando

Gómez Aguilar Luis Gustavo

Asesor: M.C. José Ángel Zepeda Hernández

Periodo de realización:

AGOSTO-DICIEMBRE 2018

CONTENIDO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPITULO I | 1 |
| 1.1 INTRODUCCION | 1 |
| 1.2 JUSTIFICACION | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS | 3 |
| 1.3.1 GENERAL | 3 |
| 1.3.2 ESPECIFICOS | 3 |
| CAPITULO II | 4 |
| 2.1 CARACTERIZACION DEL AREA EN QUE SE PARTICIPO | 4 |
| 2.2 PROBLEMAS A RESOLVER | 5 |
| 2.2.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 5 |
| 2.2.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES | 6 |
| 2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES | 7 |
| CAPITULO III | 8 |
| 3.1 FUNDAMENTO TEORICO | 8 |
| 3.1.1 MOTOR BRUSHLESS (SIN ESCOBILLAS) | 8 |
| 3.1.2 PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE MOTORES CON ESCOBILLAS Y MOTORES BRUSHLESS | 9 |
| 3.1.3 MODELADO DEL MOTOR BRUSHLESS | 10 |
| 3.1.4 TABLA COMPARATIVA DE MOTORES BRUSHLESS | 12 |
| 3.1.5 DATOS DEL CONTROLADOR | 13 |
| 3.1.6 DATOS DEL MOTOR | 14 |
| 3.1.7 LABVIEW | 15 |
| 3.1.8 SENSORES | 18 |
| 3.1.9 TIPOS DE SENSORES | 22 |
| 3.1.10 ARDUINO UNO | 23 |
| 3.2 PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS | 27 |
| CAPITULO IV | 29 |
| 4.1 RESULTADOS, PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS | 29 |
| 4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 31 |
| 4.3 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS | 32 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 33 |

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

El concepto de monitorear ha llegado a ser una práctica aceptada ya que se trata de Localizar, definir y actuar sobre problemas potenciales, antes de que se vuelvan catastróficos. Ese el principal objetivo de un programa de monitoreo.

Además, es el método más efectivo para efectuar un diagnóstico precoz y así determinar la probabilidad de que suceda un evento que pueda dañar el aparato, el monitoreo rutinario de los motores eléctricos tiene muchos otros aspectos positivos. A menudo, mediante una inspección minuciosa con equipos tecnológicos, pueden detectarse muchos problemas, algunos menores pero desconocidos, los que pueden ser identificados y rectificadas, evitando así fallas críticas, asegurando una eficiencia excelente.

Predecir fallas inminentes de motores requiere conocimiento y experiencia, así como el uso de todos los recursos disponibles. Mientras más recursos estén a disposición del técnico, será más factible predecir la vida útil de los equipos eléctricos, electrónicos a su cuidado.

Los sistemas de monitorización son esenciales a la hora de creación de nuevos aparatos tecnológicos más centradamente en VE (Vehículos Eléctricos) es por eso que se aplicara dentro del vehículo un sistema de monitoreo para saber cada una de las características del motor brushless a utilizar dentro de este VE, evitando así posibles fallas en la etapa de vida de este y poder realizar diagnósticos en el motor para detectar la posible aberración en él.

1.2 JUSTIFICACION

Se desarrollará un software que permita una interfaz Usuario-VE para monitorear las variables del motor brushless a diferentes puntos de parametrización de control cabe señalar que las variables a monitorear serán el voltaje, corriente, velocidad y potencia.

Esto Ayudara a mejorar el banco de pruebas para motores brushless que se encuentra en el Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez dentro del aula de mecatrónica que se ubica en el edificio I para que se puedan realizar pruebas pertinentes a los parámetros antes mencionados y a su vez para apoyar diversos proyectos que se deriven del manejo de los mismos motores brushless.



1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- Desarrollar un software que permita una interfaz Usuario-VE para monitorear las variables del motor brushless a diferentes puntos de parametrización de control.

1.3.2 ESPECIFICOS

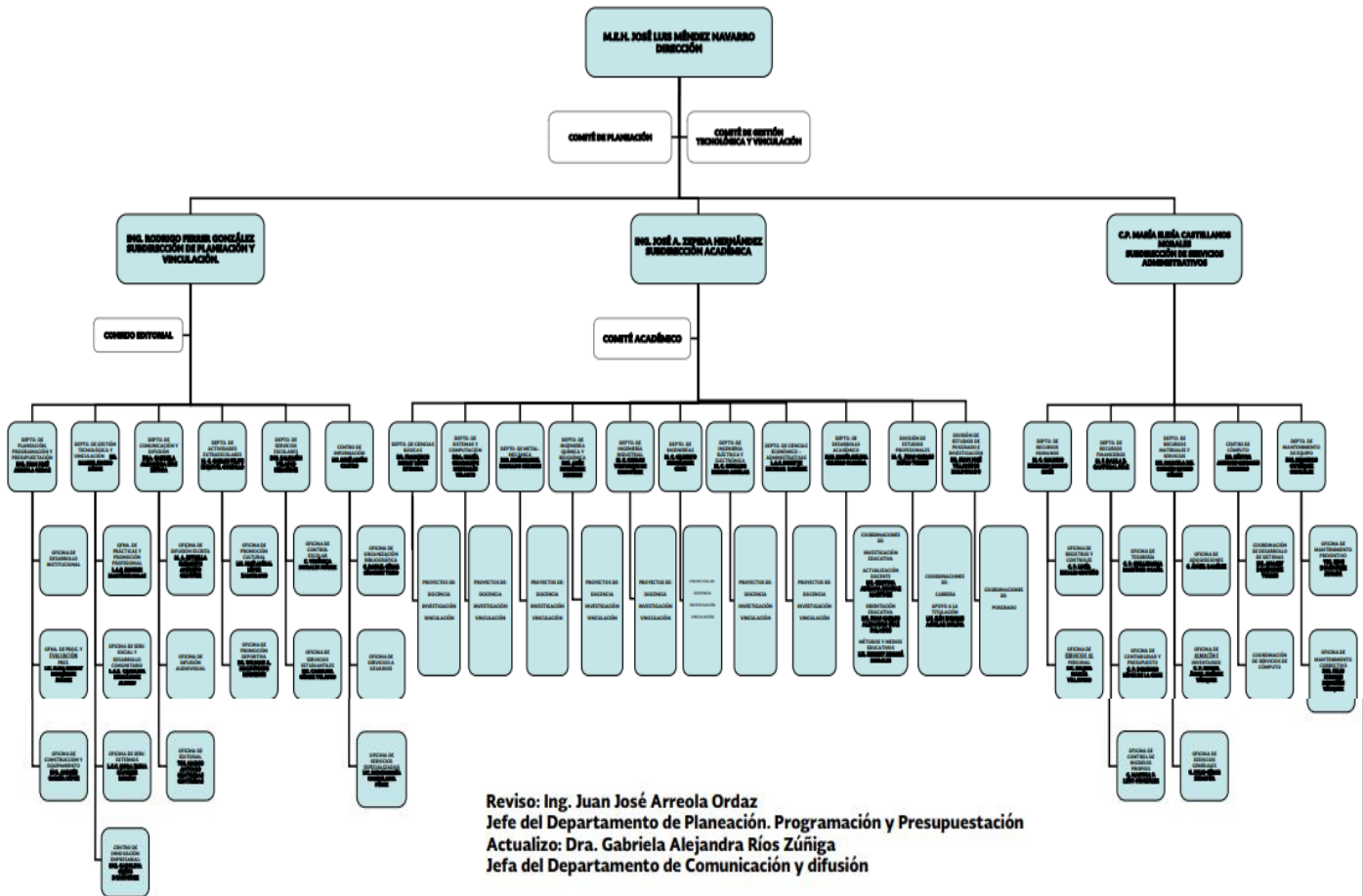
- Investigar información en relación a control de motores brushless.
- Determinar el modelo matemático del motor Brushless.
- Manejar motores brushless en el banco de pruebas del instituto.
- Parametrizar el motor a diferentes características.
- Desarrollar un software de monitoreo.

CAPITULO II

2.1 CARACTERIZACION DEL AREA EN QUE SE PARTICIPO



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MEXICO



ORGANIGRAMA DEL ITTG 2018



“Ciencia y Tecnología con Sentido Humano”



RDGC 942
Fecha de Inicio: 2015.10.13
Fecha de Terminación: 2016.10.13

El lugar donde se llevó a cabo todo el proceso de residencia fue en el aula de mecatrónica que se encuentra ubicado en el edificio I dentro de las instalaciones Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

2.2 PROBLEMAS A RESOLVER

2.2.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| Actividad | Semana | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Estado del arte en relación a control de motores brushless | x | x | | | | | | | | | | | | | | |
| Determinar el modelo matemático del motor Brushless. | | | x | X | | | | | | | | | | | | |
| Manejo con motores brushless en el banco de pruebas del instituto. | | | | | x | x | X | | | | | | | | | |
| Parametrización del motor a diferentes características. | | | | | | x | x | X | | | | | | | | |
| Aplicación del control discreto para encontrar puntos de interés. | | | | | | | | x | x | | | | | | | |
| Desarrollo del software de monitoreo. | | | | | | | | | x | x | x | x | x | x | x | |
| Redacción de resultados parciales | | | | x | | | | x | | | | x | | | | |
| Informe final | | | | | | | | | | | | | | | | x |

2.2.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES

- Estado del arte en relación a control de motores brushless
Se investigará información relacionada al motor brushless para conocer cada una de sus características y abordar cada uno de los puntos que se quieren desarrollar en esta residencia.
- Determinar el modelo matemático del motor Brushless.
A partir de la investigación realizada anteriormente se determinará el modelo matemático del motor brushless para realizar cálculos correspondientes que servirán para su estudio en todo el tiempo de la estancia.
- Manejo con motores brushless en el banco de pruebas del instituto.
Una vez determinado el tipo de motor a utilizar se realizarán las pruebas correspondientes en el banco de pruebas que se encuentra dentro del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.
- Parametrización del motor a diferentes características
Se realizarán las pruebas necesarias para la parametrización del motor brushless, para diferentes condiciones de trabajo.
- Desarrollo del software de monitoreo.
Desarrollar un software que nos permita monitorear los parámetros de operación y trabajo del motor brushless tales como: voltaje, corriente, potencia, temperatura, vibración, velocidad entre otros.
- Redacción de resultados parciales
Se elaborará cada 4 semanas el informe de resultados para retroalimentar al asesor y que este de seguimiento de los objetivos alcanzados.
- Informe final
Se integrarán los resultados obtenidos durante la estancia de la residencia en un reporte final para demostrar cada uno de los procesos realizados en cada una de las etapas correspondientes

2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se desarrollo una interfaz capaz de mostrar parámetros característicos del motor brushless como lo son el voltaje, velocidad, corriente y potencia. Además de ayudar para innovar esta herramienta en el banco de pruebas del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.

Teniendo como limitantes el uso de algunos dispositivos electrónicos ya que se tienen que solicitar a una empresa llamada INVEMEX y esta a su vez mandarlas a pedir al mercado extranjero entonces por ende se puede mencionar que se ve afectado en el tiempo de entrega ya que puede variar.

CAPITULO III

3.1 FUNDAMENTO TEORICO

3.1.1 MOTOR BRUSHLESS (SIN ESCOBILLAS)

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) son uno de los tipos de motores que más popularidad ha ganado en los últimos años. Actualmente, los motores BLDC se emplean en sectores industriales tales como: Automóvil, Aeroespacial, Consumo, Médico, equipos de automatización e instrumentación. Los motores BLDC tienen la característica de que no emplean escobillas en la conmutación para la transferencia de energía; en este caso, la conmutación se realiza electrónicamente.

Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor, son ruidosos y requieren una sustitución periódica y, por tanto, un mayor mantenimiento. Los motores BLDC tienen muchas ventajas frente a los motores DC con escobillas y frente a los motores de inducción.

Algunas de estas ventajas son:

- Mejor relación velocidad-par motor
- Mayor respuesta dinámica
- Mayor eficiencia
- Mayor vida útil
- Menor ruido
- Mayor rango de velocidad

Además, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, lo que implica que se puedan emplear en aplicaciones donde se trabaje con un espacio reducido.

Por otra parte, los motores BLDC tienen dos desventajas, que son las siguientes:

- 1.- tienen un mayor coste
- 2.- requieren un control bastante más complejo Pese a la complejidad del control, Master Ingenieros posee más de 10 años de experiencia en motores BLDC.

3.1.2 PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE MOTORES CON ESCOBILLAS Y MOTORES BRUSHLESS

La vida útil del motor brushless es mayor: al no tener escobillas, no se producen rozamientos que generen desgaste ni ruido, y no es necesario un mantenimiento continuo. En cambio, el ciclo de vida de los motores con escobillas es menor: genera mayor fricción al realizar el cambio de polaridad, y desprende calor y chispas, por lo que las escobillas acaban deteriorándose y deben ser reemplazadas, lo que requiere un mayor mantenimiento, con los costes que pueda conllevar.

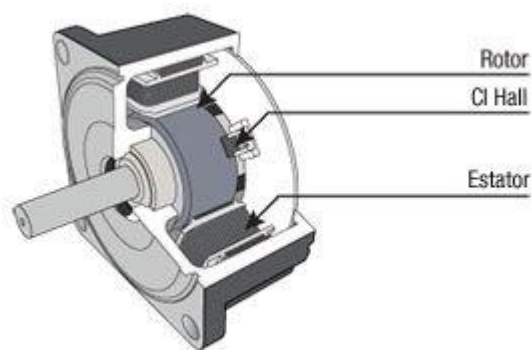
De entrada, el motor con escobillas es más económico que el motor brushless. Asimismo, no necesita un control electrónico para su funcionamiento, a través de un circuito caro y complejo.

No obstante, como consecuencia de la pérdida de calor que se produce en el motor con escobillas, se genera mayor desperdicio de potencia, lo que repercute en su eficiencia. Por el contrario, este no ocurre con el motor brushless, que es mucho más eficiente.

El motor brushless ofrece una mejor relación entre potencia de salida y tamaño y, por tanto, mayor rendimiento. En cambio, esta relación en el motor con escobillas es menor, lo que provoca, a su vez, un menor rendimiento.

Además, el motor brushless también posee una buena relación entre velocidad y par motor, que es moderada en el caso del motor con escobillas, ya que al aumentar la velocidad estas provocan fricción y, por tanto, disminuye el par motor.

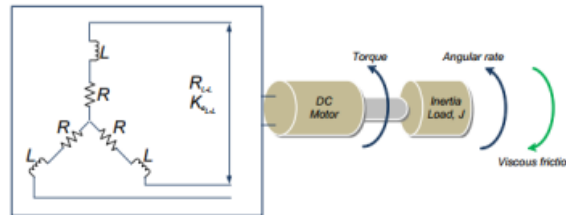
Por último, el motor con escobillas tiene limitaciones mecánicas derivadas del uso de escobillas, lo que se provoca un menor rango de velocidad en comparación con los brushless. En el caso del motor con escobillas, este rango es alto.



Motor sin escobillas

3.1.3 MODELADO DEL MOTOR BRUSHLESS

Para el desarrollo del sistema de control, se ha de tener en cuenta que el modelo matemático de un motor Brushless, no es totalmente diferente del modelo convencional del motor DC; aquella diferencia radica en la adición de las fases del motor. Aquellas fases afectan particularmente la resistividad e inductividad del modelado sin escobillas. (Delgado M. José, Bolaños P. Camilo)



Las diferencias afectan principalmente a las constantes eléctricas y mecánicas del sistema, las cuales son bastante importantes para el modelado del motor.

Para la constante de tiempo mecánica del sistema tenemos que:

$$\tau_m = \sum \frac{RJ}{K_e K_t} = \frac{J \sum R}{K_e K_t}$$

Donde J es el momento de inercia del rotor, R la resistencia de los devanados, K_e la constante de Back EMF y K_t la constante de torque.

Para la constante eléctrica

$$\tau_e = \sum \frac{L}{R} = \frac{L}{\sum R}$$

Donde L es la inductancia de las fases y R su resistencia. Pero al tener una configuración simétrica y trifásica, las constantes mecánicas y eléctricas quedan de la siguiente forma:

$$\tau_m = \frac{J(3R)}{K_e K_t} \quad \tau_e = \frac{L}{3R}$$

Considerando los efectos de fase, tenemos que:

$$\tau_m = \frac{3 R_o J}{(K_{e(L-L)}/\sqrt{3})K_t}$$

Por lo tanto,

$$\tau_m = \frac{3 R_o J}{K_e K_t}$$

Donde,

$$K_e = K_{e(L-L)}/\sqrt{3}$$

Existe también la respectiva relación entre esta constante de voltaje Back EMF y la constante de torque K_t la cual es:

$$K_e = K_t \times 0.0605$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se tiene que la función de transferencia que modela todos los parámetros, tanto eléctricos como mecánicos, del motor Brushless DC es

$$G(s) = \frac{\frac{1}{K_e}}{\tau_m \tau_e s^2 + \tau_m s + 1}$$

3.1.4 TABLA COMPARATIVA DE MOTORES BRUSHLESS

| | Motor BLDC | Motor con escobillas |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conmutación | Conmutación electrónica basada en sensores de posición de efecto Hall | Conmutación por escobillas |
| Mantenimiento | Mínimo | Periódico |
| Durabilidad | Mayor | Menor |
| Curva Velocidad / par | Plana. Operación a todas las velocidades con la carga definida | Moderada. A altas velocidades la fricción de las escobillas se incrementa, reduciendo el par. |
| Eficiencia | Alta. Sin caída de tensión por las escobillas. | Moderada |
| Potencia de salida / Tamaño | Alta. Menor tamaño debido a mejores características térmicas porque los bobinados están en el estator, que al estar en la carcasa tiene una mejor disipación de calor. | Baja. El calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura y limitando las características. |
| Inercia del rotor | Baja. Debido a los imanes permanentes en el rotor | Alta. Limita las características dinámicas. |
| Rango de velocidad | Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador. | Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas. |
| Ruido eléctrico generado | Bajo | Arcos en las escobillas |
| Coste de construcción | Alto. Debido a los imanes permanentes | Bajo. |
| Control | Complejo y caro | Simple y barato. |
| Requisitos de control | Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando. El mismo puede usarse para variar la velocidad. | No se requiere control si no se requiere una variación de velocidad. |

3.1.5 DATOS DEL CONTROLADOR

| | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Voltaje de trabajo: | 36-72V |
| 2. Corriente de trabajo: | 18-120A |
| 3. Bajo voltaje: | 31 ± 0.5 / fuente de alimentación 36V, 41.5 ± 0.5V / fuente de alimentación 48V, 50.5 ± 0.5V / fuente de alimentación 60V, 63.5 ± 0.5V / fuente de alimentación 72V |
| 4. Temperatura ambiente: | -20 ° C a 50 ° C |
| 5. Método de enfriamiento: | Enfriamiento por aire natural |
| 6. Nivel de protección: | IP55 |
| 7. Adaptarse al motor: | Serie WS009 |
| 8. Características: | Unidad de modo dual, no hay Hall para trabajar |
| 9. Gire el voltaje: | 1.2-4.3v |
| 10. Freno apagado: | Alto y bajo |
| 11. tubo de potencia: | 36 tubos |



3.1.6 DATOS DEL MOTOR

| Potencia nominal (W) | Tensión nominal (VDC) | Velocidad nominal (RPM) | Velocidad sin carga (RPM) | Corriente nominal (A) | Corriente en vacío (A) | Par nominal (Nm) | Máxima eficiencia | Relación de reducción | Rango de aplicación |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1000 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 27.2 / 22 / 18.5$ | $\leq 5.8 / 5 / 4.3$ | 3.9 | ≥ 84 | 1: 8.6 / 1: 10.3 / 1: 12 | Triciclo de pasajeros, coche de turismo, coche micro eléctrico, triciclo eléctrico ligero y medio |
| 1200 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 34 / 26 / 23$ | $\leq 6.8 / 6.2 / 5.6$ | 4.5 | ≥ 84 | | |
| 1500 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 39 / 33.5 / 29$ | $\leq 6.8 / 6.2 / 5.6$ | 6.2 | ≥ 84 | | |
| 1800 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 46 / 37.5 / 32$ | $\leq 6.8 / 6.2 / 5.6$ | 7 | ≥ 84 | | |
| 2200 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 55 / 46.5 / 38$ | $\leq 7 / 6.5 / 6$ | 8.2 | ≥ 85 | | |
| 2500 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 67.5 / 58 / 46$ | $\leq 7.5 / 6.8 / 6$ | 11 | ≥ 85 | | |
| 3000 | 48/60/72 | 3420 | 3800 | $\leq 83.5 / 72 / 64$ | $\leq 8.7 / 6 / 6.5$ | 12.2 | ≥ 86 | | |



3.1.7 LABVIEW

Labview es un entorno gráfico de programación. El lenguaje utilizado para programar en él se llama “Lenguaje G, donde la “G” simboliza que es un lenguaje de tipo gráfico.

Los programas desarrollados en Labview se llaman VI’s (Virtual Instruments), su origen provenía del control de instrumentos, pero hoy en día su uso se ha expandido más allá.

Labview tiene un entorno de programación gráfico, por lo que los programas no se escriben, sino que se dibujan, una labor facilitada gracias a que Labview consta de una gran cantidad de bloques prediseñados.

Los programas se dividen en dos partes bien diferenciadas, una llamada “Panel Frontal”, y otra “Diagrama de Bloques”.

Panel Frontal: es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. En esta interfaz se definen los controles (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc..) e indicadores (los usamos como salidas, pueden ser gráficas, etc. ...).

Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa). Suele haber una tercera parte icono/conector que son los medios utilizados para conectar un VI con otros VIs.

En el panel frontal, encontraremos todo tipos de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, es decir el usuario podrá diseñar un proyecto en el panel frontal con controles e indicadores, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuarán con la terminal del VI. Podemos observar en el diagrama de bloques, todos los valores de los controles e indicadores, como van fluyendo entre ellos cuando se está ejecutando un programa VI.

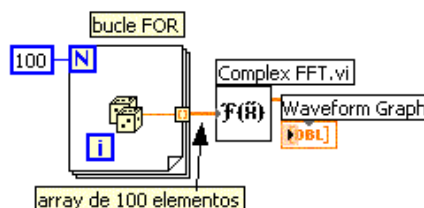


Diagrama de bloques

Programación rápida

LabVIEW es diferente de la mayoría de los otros lenguajes de programación de propósito general en dos formas principales.

En primer lugar, la programación G es realizada por el cableado junto a los iconos gráficos en un diagrama, que se compila directamente al código de máquina para que los procesadores de los ordenadores puedan ejecutar. Manteniendo y proporcionando los conceptos de programación mismos que se encuentran en la mayoría de los lenguajes tradicionales.



La segunda diferencia es que el código G desarrollado con LabVIEW se ejecuta de acuerdo a las reglas de flujo de datos en lugar del enfoque más tradicional de procedimiento que se encuentran en la mayoría de lenguajes basados en texto de programación como C y C + +. Cuando se utiliza el flujo de datos de LabVIEW, se define un flujo de ejecución de código mediante la creación de diagramas que muestran cómo los datos se mueven entre las funciones (conocidas como instrumentos virtuales, o VIS). La ejecución de flujo de datos es controlada por los datos, o depende de los datos, el flujo de datos entre los nodos en el programa, las líneas no secuenciales del texto, determina el orden de ejecución.

Integración de hardware

LabVIEW es una herramienta de software que abarca todos los componentes del hardware, pudiendo así utilizar todo su hardware con un único entorno de desarrollo.

El driver de software de LabVIEW posibilita la integración de múltiples tipos de instrumentos, buses y sensores, incluidos los dispositivos de adquisición de datos, instrumentos de caja, instrumentos modulares, controladores de movimiento y variadores de velocidad, visión artificial y hardware de procesamiento de imágenes, sensores inalámbricos y FPGAs.

Almacenamiento de datos y presentación de informes

Mientras que la tecnología permite la evolución permanente en un desarrollo rápido y más rico en datos, almacenar, gestionar y compartir datos sigue siendo el verdadero reto. Paquetes de software tradicionales tienden a tomar uno de dos enfoques limitantes

1) Obligan a un formato en particular que no es intercambiable con otras aplicaciones o usuarios.

2) Guardar los datos es una opción tan abierta que acabo perder el tiempo tratando de determinar la mejor manera de organizar y guardar los datos en el disco para que pueda compartir.



LabVIEW incluye una funcionalidad integrada para ayudar a guardar fácilmente los datos en el disco y crear informes profesionales. Al proporcionar interfaces fáciles y robustas para el archivo de E/S y la presentación de informes, se puede sacar el máximo provecho de sus datos adquiridos a tomar decisiones más rápidas.

Con LabVIEW, podemos crear fácilmente informes sobre la marcha o utilizar plantillas para automatizar los informes. Tenemos la opción de crear informes en formatos de archivo comunes, tales como HTML, PowerPoint, Excel, Word y PDF.

3.1.8 SENSORES

Los sensores son aparatos que son capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Características

Entre las características principales técnicas de un sensor Se pueden clasificar en dos tipos.

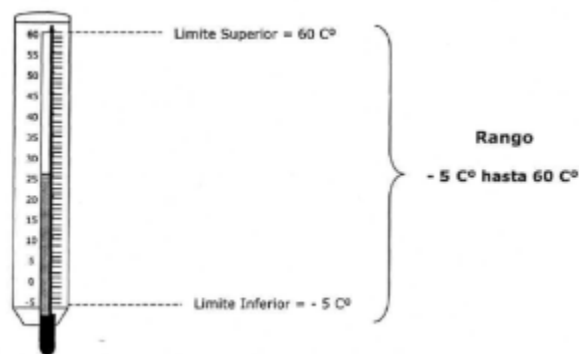
- Estáticas
- Dinámicas

Estáticas

Las características de los instrumentos cuando estos están midiendo cantidades estables, o sea, mientras no presentan variaciones bruscas en su magnitud

Rango de medida

el conjunto de valores que puede tomar la señal de entrada comprendidos entre el máximo y el mínimo detectados por el sensor con una tolerancia de error aceptable.



Resolución

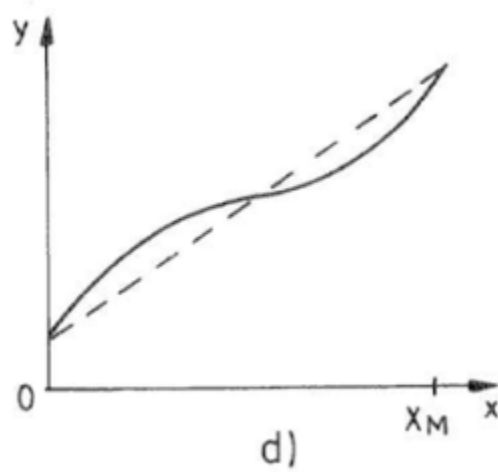
Menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida

Sensibilidad

Variación de la salida producida por una variación de entrada. Pendiente de la curva de calibración. Cuanto mayor, mejor.

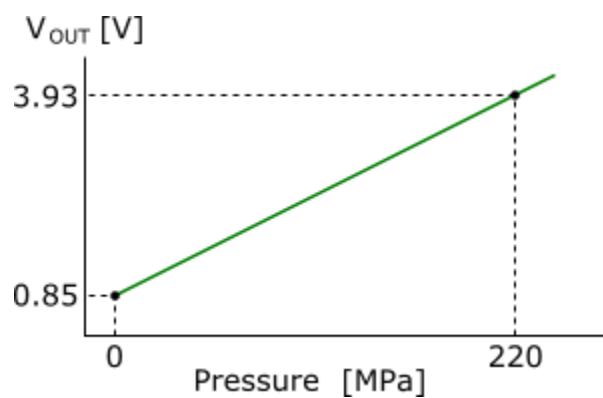
Linealidad

Expresa lo constante que resulta la sensibilidad del sensor



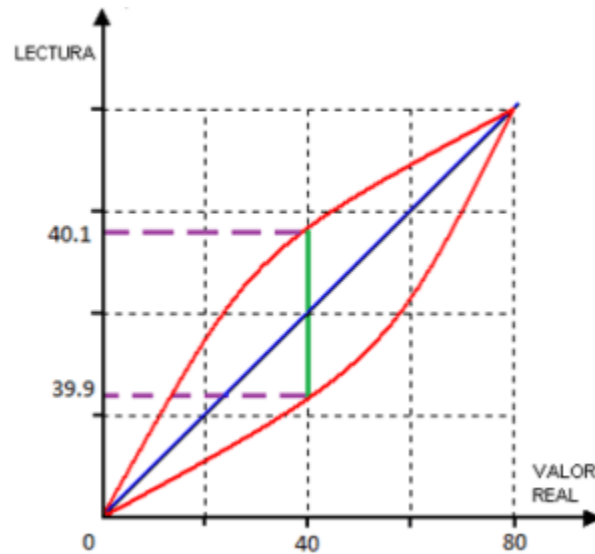
Offset o desviación de cero

Valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset



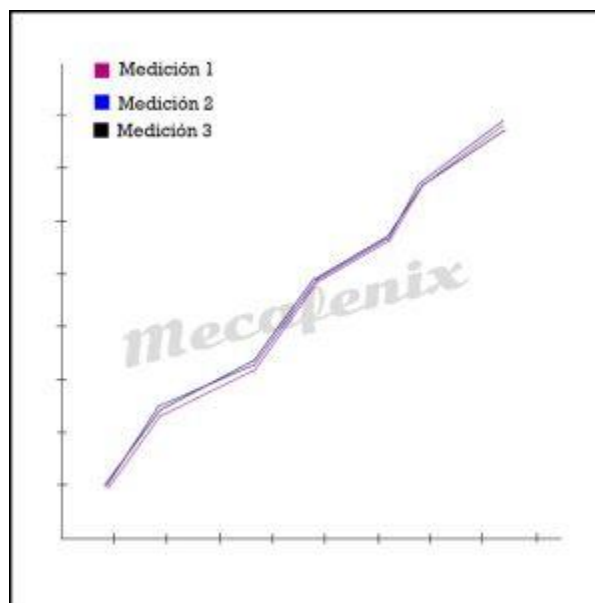
Histéresis

Diferencia entre valores de salida correspondientes a la misma entrada, según la trayectoria seguida por el sensor



Repetibilidad

Error esperado al repetir varias veces la misma medida.

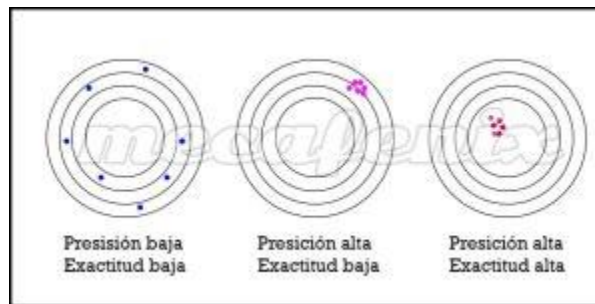


Precisión

Cualidad por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras.

Exactitud

Diferencia entre la salida real y el valor teórico de dicha salida (valor verdadero).



Dinámicas

Puede ocurrir que la cantidad bajo medición sufra una variación en un momento determinado y por lo tanto es necesario que conozcamos el comportamiento dinámico del instrumento cuando sucedan estas variaciones.

Velocidad de respuesta

Capacidad para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.

Respuesta frecuencial

Relación entre la sensibilidad y la frecuencia cuando la entrada es una excitación senoidal. Representación mediante un gráfico de Bode.

Estabilidad

Desviación de salida del sensor al variar ciertos parámetros exteriores distintos del que se pretende medir.

3.1.9 TIPOS DE SENSORES

- Posición angular o lineal
- Desplazamiento y deformación
- Velocidad lineal y angular
- Aceleración
- Presión
- Caudal
- Temperatura
- Presencia
- Táctiles
- Proximidad
- Acústico
- Sensor de acidez
- Luz
- Captura de movimiento



3.1.10 ARDUINO UNO

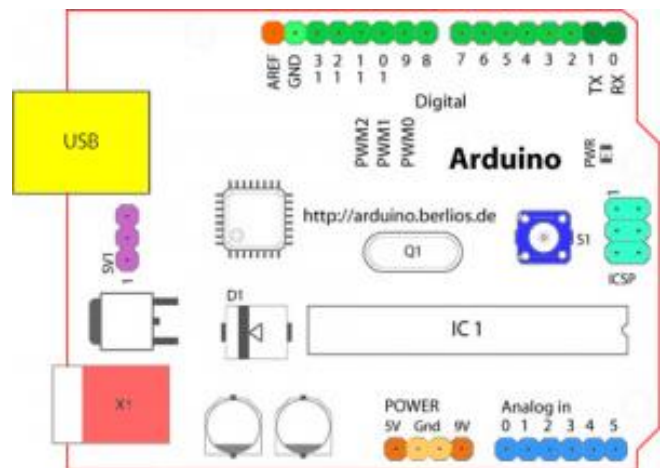
Es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteado. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

Características técnicas de Arduino Uno r3

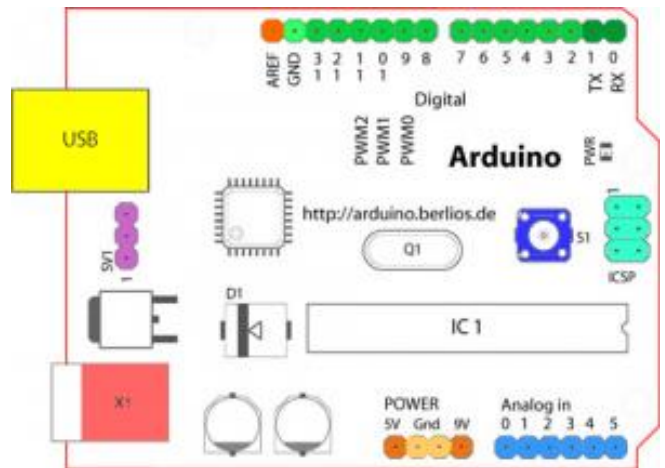
- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje: 5V
- Voltaje entrada (recomendado): 7-12V
- Voltaje entrada (limites): 6-20V
- Digital I/O Pins: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)
- Entradas Analógicas: 6
- DC Current per I/O Pin: 40 mA
- DC Current parar 3.3V Pin: 50 mA
- Flash Memory: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Clock Speed: 16 MHz

Empezando según las agujas del reloj:

- Terminal de referencia analógica (naranja)
- Tierra digital (verde claro)
- Terminales digitales 2-13 (verde)
- Terminales digitales 0-1/ E/S serie – TX/RX (verde oscuro) – Estos pines no se pueden utilizar como e/s digitales (`digitalRead()` y `digitalWrite`)



- Botón de reinicio – S1 (azul oscuro)
- Programador serie en circuito “In-circuit Serial Programmer” o “ICSP” (azul celeste).
- Terminales de entrada analógica 0-5 (azul claro)
- Terminales de alimentación y tierra (alimentación: naranja, tierras: naranja claro)
- Entrada de alimentación externa (9-12VDC) – X1 (rosa)



- Selector de alimentación externa o por USB (coloca un jumper en los dos pines más cercanos de la alimentación que quieras) – SV1 (púrpura).
- USB (utilizado para subir programas a la placa y para comunicaciones serie entre la placa y el ordenador; puede utilizarse como alimentación de la placa) (amarillo)

Entradas y salidas digitales/analógicas

Un sistema electrónico es cualquier disposición de componentes electrónicos con un conjunto definido de entradas y salidas. Una placa Arduino, por tanto, puede pensarse de forma simplificada como un sistema que acepta información en forma de señal de entrada, desarrolla ciertas operaciones sobre ésta y luego produce señales de salida.

Arduino incorpora terminales digitales (señales discretas) pero de tal forma que tenemos un gran abanico de valores con los que trabajar (por ejemplo, 255 valores de luz en un fotosensor, siendo 0 ausencia de luz y 254 el máximo valor lumínico).

Terminales Digitales

Las terminales digitales de una placa Arduino pueden ser utilizadas para entradas o salidas de propósito general a través de los comandos de programación `pinMode()`, `digitalRead()`, y `digitalWrite()`. Cada terminal tiene una resistencia pull-up que puede activarse o desactivarse utilizando `digitalWrite()` (con un valor de HIGH o LOW, respectivamente) cuando el pin está configurado como entrada. La corriente máxima por salida es 40 mA.

- Serial: 0 (RX) y 1 (TX). Utilizado para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL. En el Arduino Diacemila, estas terminales están conectadas a las correspondientes patas del circuito integrado conversor FTDI USB a TTL serie. En el Arduino BT, están conectados a las terminales correspondientes del módulo Bluetooth WT11. En el Arduino Mini y el Arduino LilyPad, están destinados para el uso de un módulo serie TTL externo (por ejemplo, el adaptador Mini-USB).
- Interruptores externos: 2 y 3. Estas terminales pueden ser configuradas para disparar una interrupción con un valor bajo, un pulso de subida o bajada, o un cambio de valor. Mira la función `attachInterrupt()` para más detalles.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, y 11. Proporcionan salidas PWM de 8 bit con la función `analogWrite()`. En placas con ATmega8, las salidas PWM solo están disponibles en los pines 9, 10, y 11.
- Reset BT: 7. (solo en Arduino BT) Conectado a la línea de reset del módulo bluetooth.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estas terminales soportan comunicación SPI. Aunque esta funcionalidad esta proporcionada por el hardware, no está incluida actualmente en el lenguaje Arduino.
- LED: 13. En el Diacemila y el LilyPad hay un led en placa conectado al pin digital 13. cuando el pin tiene valor HIGH, el LED está encendido, cuando el pin está en LOW, está apagado

Pines Analógicos

Los pines de entrada analógicos soportan conversiones analógico-digital (ADC) de 10 bit utilizando la función `analogRead()`. Las entradas analógicas pueden ser también usadas como pines digitales: entrada analógica 0 como pin digital 14 hasta la entrada analógica 5 como pin digital 19. Las entradas analógicas 6 y 7 (presentes en el Mini y el BT) no pueden ser utilizadas como pines digitales.

- I2C: 4 (SDA) y 5 (SCL). Soportan comunicaciones I2C (TWI) utilizando la librería `Wire` (documentación en la página web de Wiring).

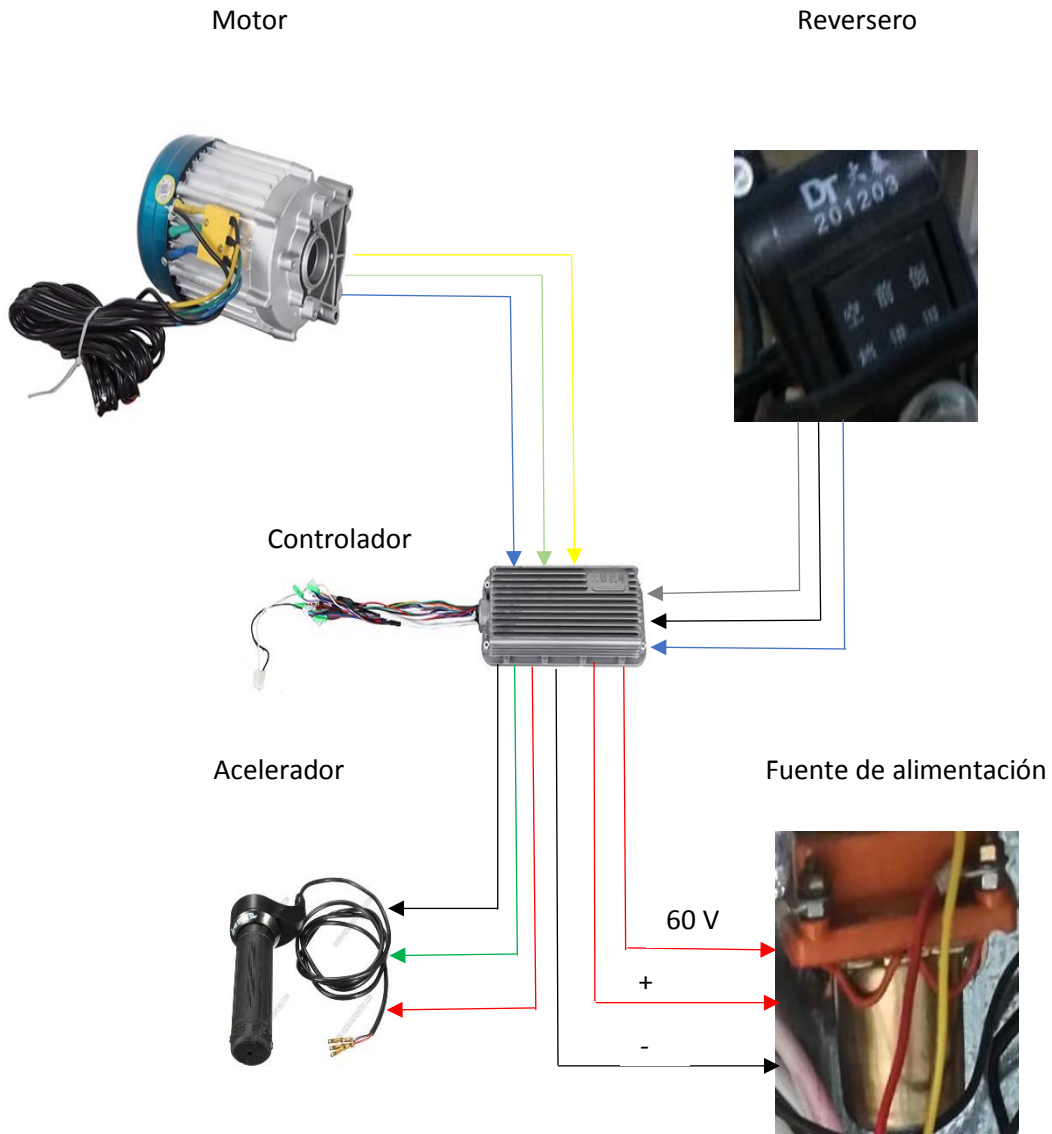
Pines de alimentación

- VIN (a veces marcada como “9V”). Es el voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se está utilizando una fuente de alimentación externa (En comparación con los 5 voltios de la conexión USB o de otra fuente de alimentación regulada). Puedes proporcionar voltaje a través de este pin. Date cuenta que diferentes placas aceptan distintos rangos de voltaje de entrada, por favor, mira la documentación de tu placa. También date cuenta que el LilyPad no tiene pin VIN y acepta solo una entrada regulada.
- 5V. La alimentación regulada utilizada para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta puede venir de VIN a través de un regulador en placa o ser proporcionada por USB u otra fuente regulada de 5V.
- 3V3. Una fuente de 3.3 voltios generada por el chip FTDI de la placa.
- GND. Pines de tierra.

Otros Pines

- AREF. Referencia de voltaje para las entradas analógicas. Utilizada con la función `analogReference()`.
- Reset. Pon esta línea a LOW para resetear el microcontrolador. Utilizada típicamente para añadir un botón de reset a shields que bloquean el de la placa principal.

3.2 PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS



Para hacer funcionar el motor se tiene que hacer cada una de las conexiones correspondientes de los elementos señalados, cabe señalar que todo el cableado se dirige hacia el punto del controlador.

El controlador es alimentado por un voltaje de 60 V (cable rojo) y a su vez surgen dos cables más de este dispositivo que serán un cable rojo y negro que irán a las conexiones hacia la fuente de alimentación, todo esto se tiene que hacer con un

cable externo que va conector de la fuente de alimentación para que este tenga el funcionamiento de accionador, sin este cable el controlador no funcionaría y por ende ninguno de los elementos conectados a este.

Aunado a esto el Reversero funciona de la siguiente manera;

- Botón presionado al lado izquierdo será neutral.
- Botón accionado en la parte central será marcha
- Botón accionado lado derecho será reversa.

La información antes dada servirá para poder realizar las pruebas correspondientes con el motor en el banco de pruebas que se encuentra señalado en el cronograma de actividades, así como actividades subsecuentes a esta

CAPITULO IV

4.1 RESULTADOS, PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

En el proceso de las pruebas que se encuentra dentro del cronograma de actividades se pudo constatar el funcionamiento del motor dadas las conexiones explicadas anteriormente en la metodología, es así como se puede observar el método de marcha del motor al momento de suministrarle un voltaje total de 60 V, la velocidad requerida será manejada por un acelerador y para observar las distintas posiciones que puede lograr el motor se maneja lo que es un botón que controla el sentido del giro del motor que es llamado “reversero”.

Para describir la imagen se puede decir que la que se encuentra ubicada al lado derecho con botón accionado derecho nos otorgara un giro conforme a las manecillas del reloj y como se explica en la metodología.

El botón accionando parte central tal y como se muestra en la figura izquierda nos otorgara un giro contrario a las manecillas del reloj.

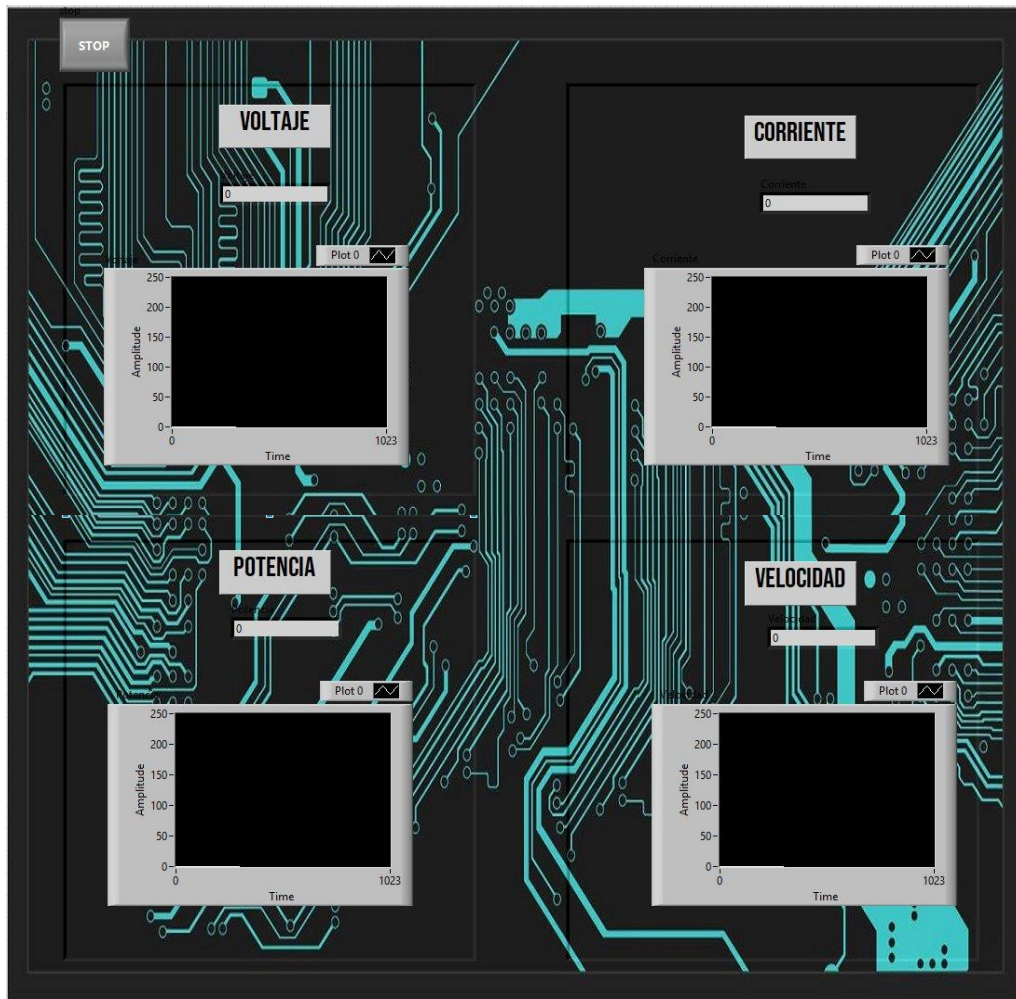


Posteriormente finalizada cada una de las pruebas con este motor se procedió a lo que es elaborar un interfaz para saber los parámetros característicos de este.

Donde podemos destacar 4 parámetros a obtener en la interfaz los cuales fueron

1. Velocidad
2. Voltaje
3. Corriente
4. Potencia

Esta interfaz fue realizada en el programa llamado LabView ya que cuenta con infinidad de herramientas que hacen de este un uso optimo y adecuado para obtener cada uno de los datos antes ya mencionados y así poder mostrarlos en pantalla añadiendo una gráfica para observar las variaciones correspondientes en el uso del motor. Tal y como se puede mostrar en las siguientes imágenes.



4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Durante todo este trabajo realizado se pudo obtener más información acerca de los motores brushless, donde tomamos como puntos vitales de importancia lo que son:

- Funcionamiento
- Diagrama de conexiónado
- Modelo matemático de este tipo de motor brushless
- Diferentes tipos de motores Brushless
- Características de algunos de ellos

Entre otras muchas cosas, además de poder reforzar conocimientos acerca del manejo de Labview que se vieron durante toda la estancia de la carrera de ingeniería en electrónica utilizando sus distintas librerías que esta plataforma posee para poder desarrollar nuestra interfaz logrando así poder obtener cada uno de los datos del motor que se fueron planteado por el asesor cuando se utilizara dentro de un VE(Vehículo Eléctrico) ya que de eso consta este trabajo y poder brindar en fin el objetivo de residencia que es “una interfaz vehículo-usuario”.

Cabe destacar que para poder realizar todo este proceso de residencia se tuvo que tener en cuenta que se tenía que buscar información a fondo del manejo de motores brushless, así como de indagar con ingenieros que laboraban dentro del Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez o con la misma empresa INVEMEX que nos otorgaba nuestro material ya que por ende ellos sabían acerca de este tema y nos explicarían minuciosamente datos o demás información si surgía alguna duda sobre ciertas características a la hora de trabajar con el motor.

4.3 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

En el margen de la etapa de residencia se adquirieron nuevas habilidades en las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- El diseño, análisis y construcción de equipos electrónicos para la solución de este tema de residencia.
- La planeación, organización y control de las actividades de instalación para que el motor funcione correctamente y se realizaran las pruebas pertinentes.
- Comunicación efectiva ya sea oral y escrita en el ámbito profesional que todo este proyecto abarcaba.
- Trabajo en equipo para poder solucionar el problema planteado en toda la estancia de residencia
- La implementación de interfaces graficas de usuario para facilitar la interacción del ser humano con los equipos y sistemas electrónicos
- Operación de nuevo equipo de medición y prueba para dispositivos electrónicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Cartagena, D. D. (n.f. de n.f. de n.f.). *MOTOR BRUSHLESS (SIN ESCOBILLAS)*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <http://masteringenieros.com/wp-content/uploads/pdf/MI50N/-www-adsnt-recursos-masteringenieros-file-motor.pdf>

CLR. (n.f. de n.f. de n.f.). *Diferencias entre motores con escobillas y brushless*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <https://clr.es/blog/es/diferencias-motores-con-escobillas-brushless/>

Estuelectronic. (06 de Agosto de 2012). *¿Que es y para que sirve Labview?* Recuperado el 13 de Enero de 2019, de <https://estuelectronic.wordpress.com/2012/08/06/que-es-y-para-que-sirve-labview/>

JADIAZ. (21 de Enero de 2016). *Introduccion al arduino uno*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>

Mecafenix, I. (11 de Abril de 2017). *Tipos de sensores y sus características*. Recuperado el 13 de Enero de 2019, de <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/>

Delgado M. José, Bolaños P. Camilo. "CONTROL DE VELOCIDAD PARA MOTOR DC BRUSHLESS SIN SENSORES". Pontificia Universidad Javeriana.2013. PP 19-20.