



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**“APLICACIONES Y UTILIDADES DE LOS MOTORES  
BRUSHLESS. CASO PRÁCTICO: IMPLEMENTACIÓN DE UN  
BRAZO ROBÓTICO CONTROLADO MEDIANTE EL PC.”**

Tesis de Grado presentada para optar al grado Académico de:  
**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN**

**AUTOR:** ALTAMIRANO HERNÁNDEZ VERÓNICA ELIZABETH  
**TUTOR:** ING. EDWIN ALTAMIRANO SANTILLÁN

**Riobamba – Ecuador**  
**2015**



Yo, Verónica Elizabeth Altamirano Hernández soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

---

**VERÓNICA ELIZABETH ALTAMIRANO HERNÁNDEZ**

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño, dedico la presente investigación a mis familiares, en especial a mis padres, a mi esposo César Ochoa Díaz, a mis hijas Nicole y Camila, por ser quienes en forma directa me incentivan para seguir adelante y lograr alcanzar las metas que me propongo apoyándome y empujándome para ser siempre mejor.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a Dios por haberme dado la vida y la salud para ser útil en la sociedad, luego agradezco a mis padres, a mi esposo, a mis hijas quienes me impulsan día a día para salir adelante, además a todos los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por inculcarme durante mi vida estudiantil sus conocimientos y experiencias, y en especial a mi tutor de tesis Ing. Edwin Altamirano, por ser la persona que con sabiduría y paciencia me ha dirigido hasta su culminación.

Verónica

## TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
INDICE DE TABLAS .....	viii
INDICE DE FIGURA.....	ix
RESUMEN.....	xi
SUMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
1. <b>MARCO REFERENCIAL</b> .....	4
1.1 <b>Los motores DC</b> .....	4
1.1.1 <i>Fundamentos de las máquinas de corriente continua</i> .....	4
1.1.2 <i>Partes de un motor de corriente continua (DC)</i> .....	5
1.1.2.1 <i>Rotor, Inducido o Arrollamiento de inducido</i> .....	6
1.1.2.2 <i>Estator, Inductor o Arrollamiento de excitación</i> .....	8
1.1.3 <i>Principio de funcionamiento y fundamentos de operación de los motores eléctricos</i> .....	10
1.1.4 <i>Número de escobillas</i> .....	14
1.1.5 <i>Sentido de Giro</i> .....	14
1.1.6 <i>Tipos de Motores DC</i> .....	15
1.1.6.1 <i>Motor Shunt</i> .....	15
1.1.6.2 <i>Motor Serie</i> .....	15
1.1.6.3 <i>Motor Compuesto (Compound)</i> .....	16
1.1.6.4 <i>Motor Shunt Estabilizado</i> .....	16
1.1.7 <i>Características los motores DC</i> .....	17
1.1.8 <i>Ecuacion general del motor DC</i> .....	18
1.1.9 <i>Ventajas de un motor común o brushed</i> .....	20
1.1.10 <i>Desventajas de un motor brushed</i> .....	20
1.2 <b>Los Motores Brushless</b> .....	21
1.2.1 <i>Que es un motor Brushless?</i> .....	21
1.2.2 <i>Tipos de motores Brushless</i> .....	23
1.2.2.1 <i>Motor "Outrunner" o de rotor exterior</i> .....	23
1.2.2.2 <i>Motor "Inrunner" o de rotor exterior</i> .....	24
1.2.3 <i>Marcas de motores Brushless</i> .....	24
1.2.4 <i>Tipos de Estatores</i> .....	26
1.2.5 <i>Grosor del Estator</i> .....	27

1.2.6	<i>Circuitos reguladores de velocidad (ESC)</i> .....	28
1.2.7	<i>Ventajas de un motor Brushless</i> .....	29
1.2.8	<i>Desventajas de un motor Brushless</i> .....	29
<b>CAPITULO 2</b>		
2.	<b>MARCO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION</b> .....	30
2.1	<b>Implementación del brazo robótico</b> .....	31
2.1.1	<i>Brazo de Acrílico</i> .....	32
2.1.2	<i>Fuente de Alimentación</i> .....	33
2.1.3	<i>Motor Brushless CSRC E5L13</i> .....	33
2.1.4	<i>Modulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	34
2.1.5	<i>Potenciómetro de 10 k ohmios</i> .....	35
2.2.	<b>Implementación Comunicación PC-Brazo Robótico</b> .....	35
2.2.1	<i>Especificaciones Técnicas del Módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	36
2.2.2	<i>Aplicaciones del módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	36
2.2.3	<i>Características del módulo M.E. I&amp;T 04 en relación a la Fuente de Alimentación</i> .....	36
2.2.4	<i>Control central del módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	37
2.2.5	<i>Botón de reseteo del módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	38
2.2.6	<i>Entradas/Salidas en Puertos A, B, C del módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	39
2.2.7	<i>Entradas Analógicas del módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	39
2.2.8	<i>LED en PORTB en el módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	39
2.2.9	<i>Control de Servomotor en el módulo M.E. I&amp;T 04</i> .....	40
2.3	<b>Implementación de la interfaz Brazo - PC</b> .....	41
<b>CAPITULO 3</b>		
3.	<b>COMPROBACIÓN DE LA HIPOTESIS</b> .....	53
3.1	<b>Análisis de los Resultados Obtenidos</b> .....	53
3.2	<b>Operacionalización de Variables</b> .....	53
3.3	<b>Verificación de la Hipótesis</b> .....	56
<b>CONCLUSIONES</b> .....		60
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		61
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Componentes internos del motor DC.....	6
<b>Tabla 1-3</b>	Pruebas de funcionamiento. Ángulos asignados con sus valores de velocidad generados.....	55



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Motores de uso común de corriente directa.....	5
<b>Figura 2-1</b>	Partes del motor de corriente continua .....	6
<b>Figura 3-1</b>	Rotor de un motor DC .....	6
<b>Figura 4-1</b>	Partes de un rotor.....	7
<b>Figura 5-1</b>	Devanado interno del motor DC .....	8
<b>Figura 6-1</b>	Composición interna del núcleo de un motor DC .....	9
<b>Figura 7-1</b>	Funcionamiento de los imanes en un motor DC .....	11
<b>Figura 8-1</b>	Movimiento del motor según la polarización de los imanes .....	12
<b>Figura 9-1</b>	Sentido de giro .....	12
<b>Figura 10-1</b>	Alimentación de una bobina para el sentido de giro del motor .....	13
<b>Figura 11-1</b>	Diferentes formas de polarizar las bobinas de los motores .....	13
<b>Figura 12-1</b>	Vista de un motor Brushless.....	21
<b>Figura 13-1</b>	Bobinas internas del motor brushless.....	22
<b>Figura 14-1</b>	Motor brushless modelo 1208425L.....	25
<b>Figura 15-1</b>	Motor brushless modelo 1308416L.....	25
<b>Figura 16-1</b>	Motor brushless modelo 3808412L.....	25
<b>Figura 17-1</b>	Motor brushless modelo 5408412XL13.....	26
<b>Figura 18-1</b>	Tipos de Bobinados de los motores brushless.....	26
<b>Figura 19-1</b>	Estator de CD-ROM y disco duro respectivamente .....	27
<b>Figura 20-1</b>	Láminas que componen el estator .....	27
<b>Figura 21-1</b>	Estatores más utilizados .....	28
<b>Figura 22-1</b>	Modelo del regulador de velocidad y alimentación del motor brushless .....	28
<b>Figura 1-2</b>	Vista del Brazo Robótico .....	31
<b>Figura 2-2</b>	Protecciones para vuelo y aterrizaje del Brazo Robótico.....	32
<b>Figura 3-2</b>	Hélices del Brazo Robótico.....	32
<b>Figura 4-2</b>	Fuente de Alimentación utilizada en el proyecto .....	33
<b>Figura 5-2</b>	Motor Brushless CSRC E5L13 .....	34
<b>Figura 6-2</b>	Características del Motor Brushless CSRC E5L13 .....	34
<b>Figura 7-2</b>	Etapa de comunicación PC-Brazo. Módulo M.E. I&T 04 .....	35
<b>Figura 8-2</b>	Módulo MEI&T04. ....	36
<b>Figura 9-2</b>	Módulo M.E. I&T 04, medios de ingreso de alimentación.....	37
<b>Figura 10-2</b>	Módulo M.E. I&T 04, ubicación del PIC interno 16F886. ....	38
<b>Figura 11-2</b>	Módulo M.E. I&T 04, ubicación del botón de reset.....	39

<b>Figura 12-2</b>	Módulo M.E. I&T 04, ubicación de las entradas analógicas, y entradas y salidas de los puertos .....	40
<b>Figura 13-2</b>	Módulo M.E. I&T 04, ubicación de los led.....	41
<b>Figura 14-2</b>	Módulo M.E. I&T 04, Control de Sevomotor.....	41
<b>Figura 15-2</b>	Pantalla del Programa Principal .....	43
<b>Figura 16-2</b>	Botón de activación o desactivación de la ejecución del programa .....	43
<b>Figura 17-2</b>	Bloque del Puerto de Comunicación.....	44
<b>Figura 18-2</b>	Bloque de lectura del estabilizador y del intervalo de error .....	44
<b>Figura 19-2</b>	Bloque de lectura de velocidad .....	45
<b>Figura 20-2</b>	Bloque de lectura del ángulo de elevación .....	45
<b>Figura 21-2</b>	Bloque de escogimiento del ángulo de elevación.....	46
<b>Figura 22-2</b>	Bloque general de la programación del proyecto .....	46
<b>Figura 23-2</b>	Bloque de habilitación del puerto de comunicaciones .....	47
<b>Figura 24-2</b>	Bloque de interconexión de sub programas .....	48
<b>Figura 25-2</b>	Bloque de asignación de datos .....	48
<b>Figura 26-2</b>	Bloque de comparación entre los ángulos reales y de elevación.....	49
<b>Figura 27-2</b>	Bloque de la velocidad del motor.....	49
<b>Figura 28-2</b>	Bloque de tratamiento del ángulo de elevación.....	50
<b>Figura 29-2</b>	Bloque del ángulo de elevación del motor .....	51
<b>Figura 30-2</b>	Pantalla de ingreso/ salida de datos. Verificación de error .....	51
<b>Figura 31-2</b>	Sub programa de ingreso y salida de datos.....	52
<b>Figura 1-3</b>	Ejecución del Programa.....	54
<b>Figura 2-3</b>	Variación del ángulo de elevación en relación a la velocidad deseada y real.....	55
<b>Figura 3-3</b>	Tabla de valores Z nivel de confianza.....	58
<b>Figura 4-3</b>	Área bajo la curva que demuestra la efectividad.....	58
<b>Figura 5-3</b>	Prueba de funcionamiento del brazo robótico .....	59

## RESUMEN

Con las aplicaciones y utilidades de los motores brushless, se implementó un brazo robótico controlado mediante el PC, es decir se diseñó un sistema de simulación de vuelo. Para ello en una base se montó el brazo robótico, construido de acrílico, en el que se colocó el motor brushless con la hélice y se conectó al módulo M.E.I&T04, que es el que permite la comunicación con el PC, desde el PC, mediante el software de programación LABVIEW, se envían las señales o voltajes al brazo; con las pruebas realizadas se detectó las falencias, especialmente en la parte de estabilización, ya que, para poder realizar el vuelo y fijarlo en el dato “coordenadas” que el usuario escoge existe una inestabilidad durante el tiempo de un minuto y medio hasta alcanzar la estabilización con un flujo de velocidad constante. Con el indicador y con los valores receptados se procedió a detectar e identificar los riesgos de estabilización, realizando su cualificación o estimación realizado por el método triple criterio son: probabilidad, gravedad, vulnerabilidad, para poder continuar y seguir realizando la gestión de prevención a través de los controles de ingeniería en el programa fuente y en el medio de transmisión de control donde se utilizaron drives para el envío de señales de activación de voltaje. Con la implementación del brazo se conocieron las bondades de los motores brushless y se verificó su funcionamiento y manejo en relación a los puntos de referencia que se asignaron para que se ubique en dicha coordenada. Por lo que es recomendable la detección de puntos de equilibrio para poder llegar a la estabilización de vuelo.

PALABRAS CLAVE:

<MOTOR BRUSHLESS><BRAZO ROBOTICO><ESTABILIZACION DE VUELO><VELOCIDAD CONSTANTE><PUNTOS DE EQUILIBRIO>

## SUMMARY

A robotic arm controlled by the PC was implemented with applications and utilities of brushless motors; it means a system of flight simulation was designed. The robotic arm was built over an acrylic base, in which was placed the propeller brushless motor and it was connected to the module M.E.I&T04, which allows communication with the PC, from the PC using the LABVIEW programming software, signals or voltages to the arm are sent; the tests detected the failings, especially in the stabilization flight part, since, to realize the flight and setting in the "coordinates" data, that the user chooses, there is an instability during the time of a minute and a half until to reach stabilization with a flow of constant speed. The risks of stabilization were detected and identified with the indicator and received values, making its qualification or estimation by the triple criteria method: probability, severity, vulnerability, and after the preventive management was carried out through engineering controls in the source program and in the transmission control means where drives were used for sending signals of voltage activation. With the implementation of the robotic arm, the benefits of brushless motors were known and it was checked its operation and management in relation to the points of reference that were assigned to locate in this coordinate. This study recommends the detection of balance points to get the flight stabilization.

## KEY WORDS:

<MOTOR BRUSHLESS><ROBOTIC ARM><FLIGHT  
STABILIZATION><CONSTANT SPEED><BALANCE POINTS>

## INTRODUCCIÓN

Los motores eléctricos utilizan la inducción electromagnética que produce electricidad para producir movimiento, según sea la constitución del: núcleo con cable enrollado, sin cable enrollado, monofásico, trifásico, con imanes permanentes o sin ellos; la potencia depende del calibre del alambre, las vueltas del alambre y la tensión eléctrica aplicada.

Los motores de corriente continua convencionales son muy eficientes y sus características los hacen muy aptos para su uso como servomotores. Sin embargo, su inconveniente es que necesitan un conmutador y las escobillas que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

Por esa y muchas razones más se han desarrollado los motores de corriente continua sin escobillas. Estos son ampliamente utilizados en aplicaciones tales como láser, impresoras, discos duros y disquetes, unidades de robótica, etc.

Los primeros motores sin escobillas fueron los motores de corriente alterna asíncronos. Hoy en día, gracias a la electrónica, se muestran muy ventajosos, ya que son más baratos de fabricar, pesan menos y requieren menos mantenimiento, pero su control es mucho más complejo. Esta complejidad prácticamente se ha eliminado con los controles electrónicos.

Los motores brushless son motores trifásicos de alto rendimiento y bajo peso. Ningún otro invento ha contribuido tanto en la mejora del nivel de vuelo de los pilotos en todo el mundo, en tan poco tiempo, como estos motores.

Este producto adopta el diseño de la generación de nuevo marco alta fiabilidad, sin mantenimiento, sin chispa al intercambio de dirección, etc. Además, tiene poca vibración de torsión, poco ruido y la inductancia de armadura es pequeña.

LABVIEW, que significa Laboratorio de Instrumentación Virtual, es un programación gráfica. El sello distintivo de LABVIEW es que permite crear programas con gráficos, en lugar de código de texto. Esto hace más flexible a LABVIEW a diferencia de otros lenguajes de programación tradicionales como C, C++ o Java, que están programados con líneas de

comandos de texto. Si embargo LABVIEW realiza muchas de las mismas funciones que requieren menos tiempo y experiencia en programación.

El Lenguaje de programación gráfica de LABVIEW llamado también programación "G" utiliza gráficos que se parecen a los instrumentos reales para las entradas y salidas del programa y los íconos (nodos) que están conectados juntos para realizar las funciones del programa.

LABVIEW es un paquete gráfico o programa orientado para la recolección, análisis y visualización de los datos medidos, que ofrece de forma gráfica la programación. La idea básica es que la representación visual del programa es más apropiada que la textual, y el flujo de datos es más fácil de seguir. LABVIEW es casi totalmente portable a través de Windows, UNIX y Macintosh.

### **Justificación del proyecto de tesis**

Lo revolucionario de los motores brushless con relación a los otros tipos de motores de corriente directa que tienen como componentes un estator y un rotor realizando los brushless un cambio primordial para un mejor funcionamiento. Porque el bobinado es el que permanece quieto en el motor y básicamente es la "carcasa" la que gira. Apenas tienen desgaste. Son motores con un muy alto rendimiento teniendo muy en cuenta su bajo peso. Es por ello que este trabajo está enfocado a resaltar todas las características y manejo de los motores brushless, mediante el diseño e implementación de un brazo robótico que será controlado por el PC, utilizando la programación el LABVIEW.

La gran diferencia es que los motores brushless no ofrecen rozamiento al girar ya que no disponen de escobillas, es por ello que se calientan hasta un 60% menos que los motores normales y al no transformar la energía de la batería en calor consumen mucho menos girando a un régimen de revoluciones mucho más alto, al no ofrecer rozamiento alguno no hay resistencia y la vida de estos motores puede incluso duplicarse a la de un motor normal.

Los motores mencionados no trabajan con voltajes de corriente directa, estos trabajan con dispositivos alternos trifásicos por lo que no se puede manipularlos directamente y acoplarlos a las señales de las salidas de los microprocesadores. Esto se lo soluciona con un dispositivo cuyo nombre es ESC (Electronic Speed Controller), que básicamente es un conjunto de circuitos integrados que realizan el envío de las señales de pulsos y señales continuas, por lo que las transforma en señales analógicas alternas pero trifásicas para que el motor pueda entrar en su

funcionamiento. Se debe variar el ancho de banda de los pulsos para poder variar dicha velocidad a ser aplicada al motor.

Además con el presente trabajo y mediante la implementación de dicho brazo robótico, más la programación en LABVIEW se pretende controlar la velocidad de los motores brushless para su estabilización.

Es por todo ello que decimos que los Motores Brushless marcan la diferencia y hoy en día su uso se ha extendido en diferentes campos, tales como el Aeromodelismo que es uno de los deportes-Ciencia, considerados como el de mayor desarrollo en la inteligencia y psicomotricidad en los niños, adolescentes y adultos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Aplicar y utilizar los motores brushless, en la implementación de un brazo robótico controlado mediante el PC.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar e implementa el brazo robótico utilizando un motor brushless.
- Diseñar un módulo de programación LABVIEW como interfaz entre el PC y el brazo robótico.
- Estabilizar el brazo según las señales o voltajes enviados por la PC.

## **Hipótesis**

Con el presente trabajo se demostró que los motores brushless, pueden ser utilizados en la robótica, mediante el diseño e implementación del brazo robótico cuyo movimiento de arriba hacia abajo será controlado por un PC y con programación en LABVIEW. Dicho control estará dotado de un controlador que permita conseguir su estabilidad, de tal manera que los datos enviados sean los que se reflejen en el brazo robótico.

## CAPITULO I

### 1. MARCO REFERENCIAL

#### 1.1 Los Motores DC

El primer motor rotativo de corriente continua fue inventado en 1828 por el físico y matemático Peter Barlow, llamado "la rueda de Barlow" o motor de Faraday, tuvo un éxito gracias a su sencillez y de una intensidad más fuerte, pero no era capaz de ser utilizado a nivel industrial. En 1705, Thomás Newcomen inventa la primera máquina de uso realmente industrial.

La corriente continua entrega ventajas, entre las cuales está la cabida para poder almacenarla de una manera más óptima y segura. Ayudando al proceso de funcionamiento de los motores de corriente directa (cc), y de la aplicabilidad en los procesos electrolíticos ya sean estos, la tracción eléctrica, y varios, por lo que existe diversidad en las instalaciones cuyo funcionamiento es la corriente directa.

Los generadores de corriente continua son máquinas que transforman la energía mecánica en energía eléctrica. No existe diferencia real entre un generador y un motor, a excepción del sentido de flujo de potencia.

Los generadores se clasifican de acuerdo con la forma en que se provee el flujo de campo, y éstos son de excitación independiente, derivación, serie, excitación compuesta acumulativa y compuesta diferencial, además teniendo una diferencia notable de las características terminales (voltaje, corriente) por lo que influye en su manejo.

##### *1.1.1 Fundamentos de las máquinas de corriente continua*

Las máquinas de corriente continua son generadores que convierten la energía mecánica en eléctrica de corriente continua, y viceversa. Estas tienen corriente continua sólo en su circuito exterior debido a la existencia de un mecanismo (colector), que convierte los voltajes internos de corriente alterna en voltajes de corriente continua en los terminales; por ello las máquinas de corriente continua se conocen también como máquinas con colector.





**Figura 1.1** Motores de uso común de corriente directa

Fuente: [http://juan-ruiz-cespedes.blogspot.com/2011\\_09\\_01\\_archive.html](http://juan-ruiz-cespedes.blogspot.com/2011_09_01_archive.html)

El motor de corriente directa hace la conversión de la energía eléctrica en mecánica, mediante el movimiento rotatorio, aunque también existen otro tipo de motores que con algunas modificaciones, pueden ejercer tracción sobre un riel. Estos motores son conocidos como motores lineales.

El motor de corriente directa “continua” es una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos y uno de los que han dado mejoras en el trabajo de las industrias, en relación al control de posición, par y velocidad. La aparición de los motores de corriente alterna, de funcionamiento sin sincronía de ejecución, que puede ser controlado de una manera más fácil y que además ayuda por sus precios más accesibles que oferta al consumidor medio y a la industria, ha causado que su uso disminuya en gran medida, a pesar de ello siguen siendo utilizados en otras aplicaciones de potencia tales como en (trenes y tranvías) o de suma precisión (máquinas, micro motores, etc.).

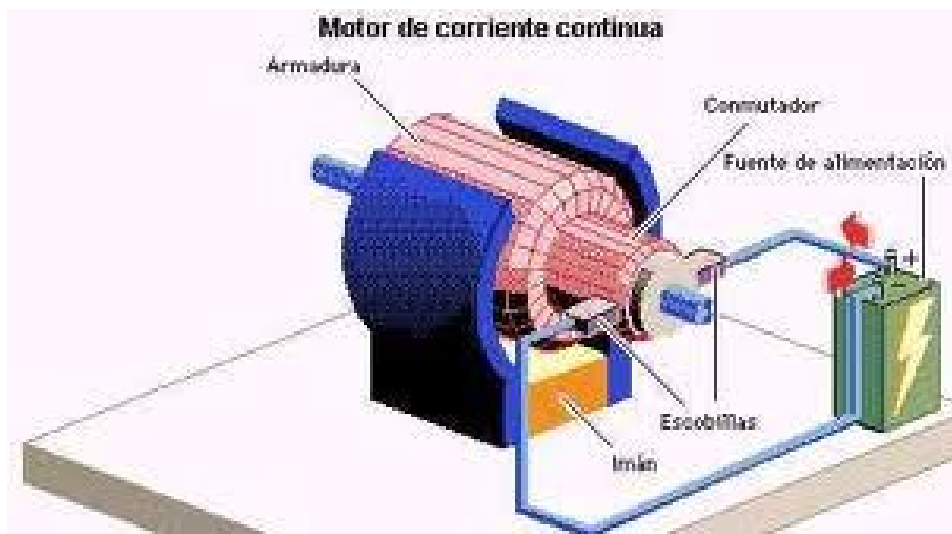
Una de las principales características del motor de corriente directa “continua” es la que tiene la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Su inconveniente es el mantenimiento, muy caro y laborioso.

### ***1.1.2 Partes de un Motor de Corriente Continua (DC)***

Una máquina de corriente directa (generador) consta básicamente de dos componentes, un estator que entrega un soporte mecánico y posee un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica, aquí están ubicados los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre ubicados “enrollados” sobre núcleo de hierro. El rotor es de forma cilíndrica,

también con devanado y núcleo interno, al que llega la corriente mediante las 2 escobillas, que tiene internamente.



**Figura 2-1** Partes del motor de corriente continua  
Fuente: Monografias.com. Motores-corriente-continua

Dentro del estator y del rotor, se ubican los demás componentes como:

**Tabla 1.1.** Componentes internos del motor DC

Rotor	Estator
Eje	Armazón
Núcleo y Devanado	Imán permanente
Colector	Escobillas y porta escobillas
	Tapas

Fuente: [http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/motores\\_de\\_continua.htm](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/motores_de_continua.htm)

### 1.1.2.1 Rotor, Inducido o Arrollamiento de inducido



**Figura 3-1** Rotor de un motor DC  
Fuente: Monografias.com. Motores-corriente-directa

También llamado carcasa o “armadura”. Este lleva las bobinas cuyo campo se crea junto al del estator, el par de fuerzas que le hace girar.

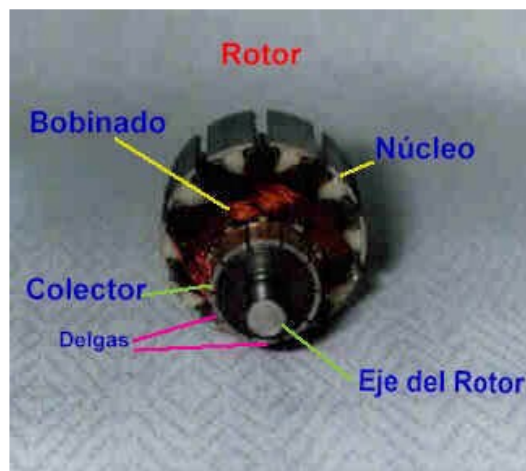
Establece la parte móvil (variable) del motor, proporciona el torque necesario para mover la carga aplicada.

Es una pieza giratoria formada por un núcleo magnético alrededor del cual va el devanado de inducido, sobre el que actúa el campo magnético.

El inducido de una máquina de corriente continua, consta de un núcleo formado por chapas magnéticas de hierro, aisladas entre sí por medio de papel o barniz; esto se hace así para disminuir las corrientes de Foucault que se producen en el núcleo magnético, hasta límites permisibles.

El núcleo lleva en su parte periférica las ranuras, para guardar los conductores que constituyen el enrollamiento del inducido ó del devanado del inducido; en este enrollamiento se produce la fuerza electromotriz inducida a causa del flujo magnético que lo atraviesa y que procede del sistema inductor. Los conductores que forman el arrollamiento del inducido van conectados entre sí, de forma que las fuerzas electromotrices que se producen en cada uno de ellos, se suman para producir la fuerza electromotriz total.

Está formado por:



**Figura 4-1** Partes de un rotor.

**Fuente:** [http://www.info-ab.uclm.es/labeledc/Solar/electronica/elementos/motores\\_de\\_continua.htm](http://www.info-ab.uclm.es/labeledc/Solar/electronica/elementos/motores_de_continua.htm)

- **El Eje:** es una barra de acero fresada. Imparte la rotación fija que influye tanto al núcleo, al devanado y al colector.
- **Núcleo:** Se ubica en el eje. Está constituido por un conjunto de capas laminadas de acero, su principal función es proporcionar una trayectoria magnética entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule libremente. El objeto de estas láminas es hacer una

reducción en las corrientes parásitas del núcleo. El acero del núcleo debe mantener las bajas pérdidas por histéresis.

El núcleo laminado tiene ranuras en toda la superficie para poder albergar al devanado de la carcasa. En este arrollamiento se produce la fuerza electromotriz inducida a causa del flujo magnético que lo atraviesa y que procede del sistema inductor. Los conductores que forman el arrollamiento del inducido van conectados entre sí, de forma que las fuerzas electromotrices que se producen en cada uno de ellos, se suman para producir la fuerza electromotriz total.

- **Devanado:** Estas constan de bobinas que están aisladas entre sí y entre el núcleo de la carcasa. Dichas bobinas están albergadas en las ranuras, y se conectan eléctricamente al colector, el cual debido a su movimiento rotatorio, proporciona un guía de conducción conmutado.
- **Colector:** se le llama también conmutador, está conformado por láminas de material conductor llamadas delgas, separadas unas de otras y del centro del eje por un material aislante, para poder evitar de esta manera cortocircuitos con dichos elementos. El colector se ubica sobre uno de los extremos del eje del rotor, de modo que gira con éste y está en unión constante con las escobillas. La función del colector es recoger la tensión producida en el devanado inducido, transmitiendo al circuito por medio de las escobillas (llamadas también cepillos)

#### 1.1.2.2 Estator, Inductor o Arrollamiento de excitación



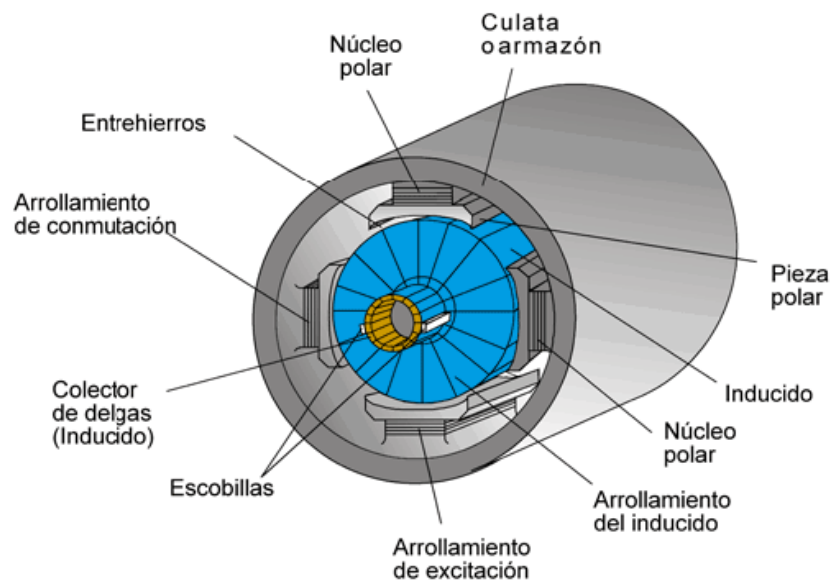
**Figura 5.1** Devanado interno del motor DC

Fuente: Monografias.com. Motores-corriente-directa2.shtml

Constituye la parte fija de la máquina. Es el elemento que crea el campo magnético fijo, al que se le denomina Excitación. Debe suministrar todo el flujo magnético que debe ser usado en el bobinado que posee el rotor para realizar su movimiento giratorio.

Es un electroimán compuesto por 2 polos. Las bobinas que los arrollan son las encargadas de producir el campo inductor al circular por ellas la corriente de excitación. Las bobinas que constituyen los arrollamientos de excitación de los diferentes polos, están conectadas entre sí de manera que formen, alternativamente, un polo Norte y un polo Sur.

Está formado por:



**Figura 6-1** Composición interna del núcleo de un motor DC

Fuente: Monografias.com. Maquina-corriente-continua-como-motor

- **Armazón:** llamada también yugo, tiene la función de cumplir como soporte y proporcionar la trayectoria para que exista el retorno hacia el flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.
- **Imán permanente:** está compuesto de un material ferromagnético altamente remanente, esta fijo al armazón del estator. La función de este es la de proporcionar un campo magnético completamente uniforme al devanado del rotor o armadura, de modo que interactúe con el campo formado por el bobinado, y se origine el movimiento del rotor como resultado de la interacción de estos campos.
- **Escobillas:** Son normalmente hechas de grafito, y su nombre se debe básicamente a que los primeros motores llevan internamente unos paquetes realizados con alambres de cobre dispuestos de tal manera que al girar el rotor "barrían" hacen la simulación de barrido, como pequeñas escobas, la superficie sobre la que tenían que hacer contacto.

Las escobillas son construidas de carbón, por tal razón poseen una dureza menor que la del colector, para de esa manera evitar el desgaste rápido. Se encuentra ubicado en los porta escobillas. Las escobillas y la porta escobillas, están albergados en una de las tapas del estator. La función de la escobilla es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y, por consiguiente, al bobinado del rotor.

La principal función del porta escobillas es que las escobillas estén permanente estables en la posición del contacto con los segmentos del colector. La función se realiza por medio de unos resortes, estos generan una presión leve moderada en las escobillas hacia el colector. Dicha presión se mantiene en un nivel intermedio pues no debe ser excesiva, la fricción desgastaría a las escobillas y también al colector; aunque debe ser mínima la presión, se produciría los típicos "chisporoteo", es cuando aparecen las chispas entre las superficies tanto del colector y las escobillas esto es en forma directa, debido a que los contactos no se unen de forma adecuada o correcta.

- **Colector de delgas:** Es un anillo de láminas de cobre llamadas delgas, dispuesto sobre el eje del rotor que sirve para conectar las bobinas del inducido con el circuito exterior a través de las escobillas.

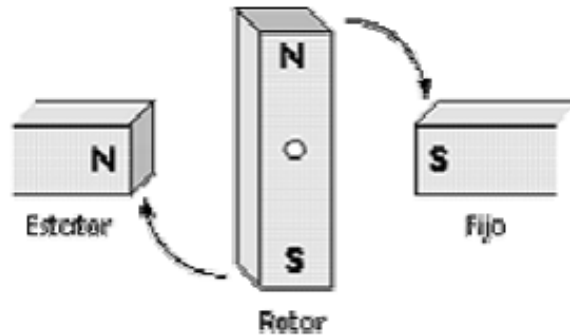
Al girar el rotor, las escobillas van rozando con las delgas, conectando la bobina de inducido correspondiente a cada par de delgas con el circuito exterior.

- **Entre hierro:** Es la parte imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil. Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el rotor; suele ser normalmente de 1 a 3 mm.
- **Cojinetes:** estos son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del rotor.

### **1.1.3 Principio de Funcionamiento y Fundamentos de Operación de los Motores Eléctricos**

En magnetismo existen dos tipos de polos que son: el polo norte (N) y el polo sur (S), y son las regiones en donde está la de fuerza que posee el imán.

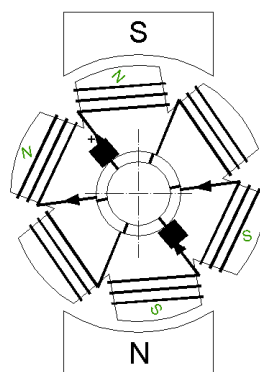
El funcionamiento del motor depende de las fuerzas de atracción y repulsión que existan en el entorno de los polos. Dependiendo de este factor, el motor debe estar formado con los polos de manera alternada entre el estator y el rotor, porque cuando los polos magnéticos son los mismos se repelan, y polos diferentes se atraen, en ese momento se produce el movimiento de rotación.



**Figura 7-1** Funcionamiento de los imanes en un motor DC.  
Fuente: Monografias.com. Motores-electricos

Un motor eléctrico opera a base de dos principios fundamentales que son: La inducción, que fue descubierto por Michael Faraday en 1831; este señala, que si un conductor se mueve en un campo magnético o se ubica en las proximidades de otro conductor por el que transita una cantidad de corriente variable, por lo que se incorpora una corriente eléctrica específica en el primer conductor. El otro es el principio que André Ampère, en 1820, establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor.

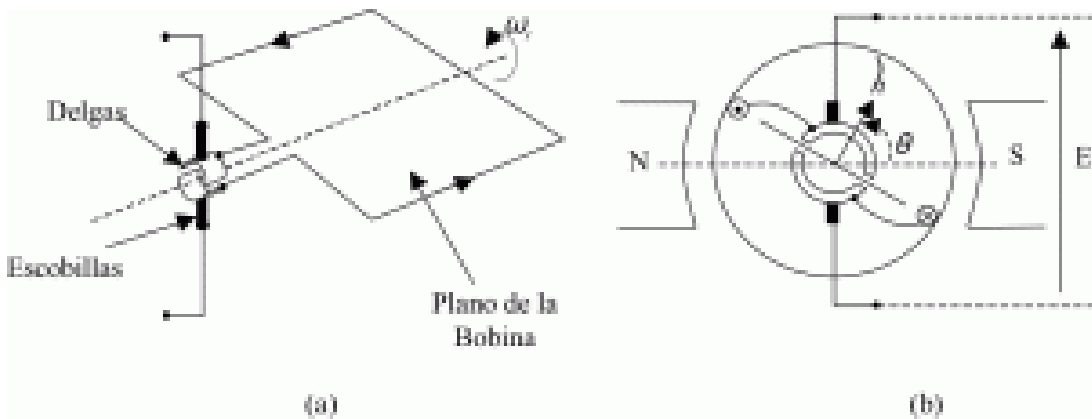
Para que exista un movimiento giratorio de los motores de corriente directa este debe ser en el empuje derivado tanto de la repulsión y de la atracción entre polos magnéticos. Por lo que se crea campos constantes que están dirigidos al estator y rotor, por lo originan un par de fuerzas que obliga al armazón (rotor) gire buscando una posición optima de equilibrio.



**Figura 8-1** Movimiento del motor según la polarización de los imanes  
Fuente: Monografias.com. Motores-corriente-directa

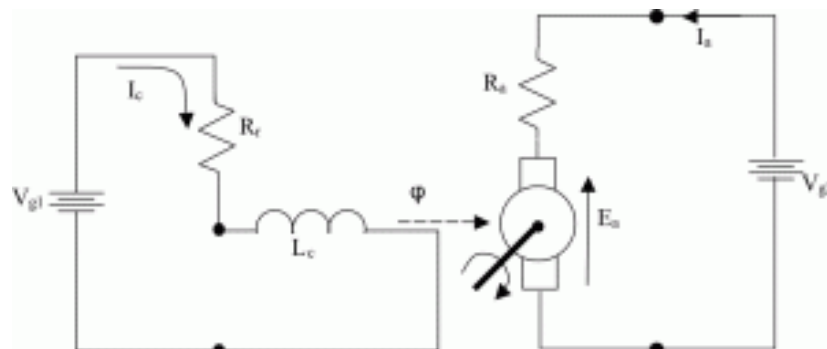
Por las conexiones entre los conductores fijos, a los que se denomina escobillas, y las bobinas que posee el rotor, los campos magnéticos ejecutan en la armadura hacen que se cambien en función del tipo de giro, para las dos fuerzas se mantenga siempre constante y estén en total funcionamiento.

El funcionamiento del motor de corriente directa se basa en la fuerza que se genera por parte de la interacción del campo magnético inmóvil y el generado por una bobina móvil, ubicada sobre un eje de rotación. La bobina móvil se alimenta a través de un sistema de escobillas y delgas esas llevan o conducen la corriente eléctrica, para invertir la dirección de la corriente y, por consiguiente o en su defecto, el sentido del campo magnético generado, logrando un torque resultante favorable al sentido de giro que fue asignado. En la Figura 9-2 b se muestra la bobina ubicada dentro del campo magnético fijo de dirección horizontal.



**Figura 9-1 (a) y (b) Sentido de Giro**  
 Fuente: Smartdreams.cl. Motor-de-corriente-continua

El campo magnético de dirección fija es generado por un estator este puede ser producido por la utilización de unos imanes permanentes, como en la figura anterior, o bien por otro enrollado.



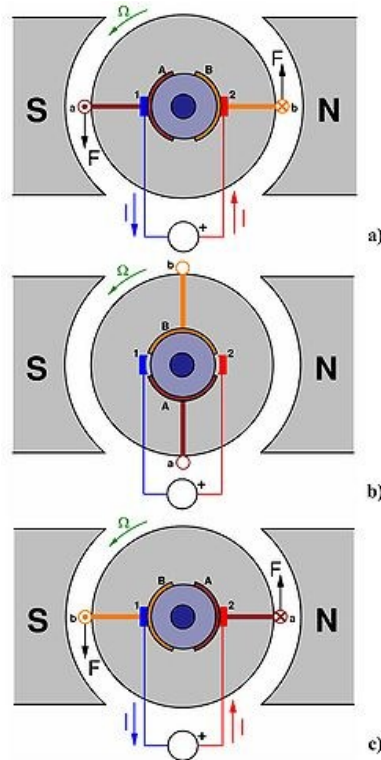
**Figura 10-1 Alimentación de una bobina para el sentido de giro del motor**  
 Fuente: Smartdreams.cl. Motor-de-corriente-continua

Este circuito equivalente del motor de corriente directa, se divide en dos partes: El circuito de excitación que está a la izquierda que es el que genera el campo magnético inmóvil al que se



expone el rotor; y el circuito motriz que está a la derecha es el que representa al rotor (o armadura) como una fuente de tensión  $E_a$ .

En la figura 11-1, se indica las formas como se puede hacer una correcta polarización



**Figura 11-1** Diferentes formas de polarizar las bobinas de los motores  
Fuente: Wikipedia.org. Motor\_de\_corriente\_continua

Este es un esquema del típico funcionamiento que realiza un motor de corriente directa elemental de dos polos con una sola bobina y dos delgas en el rotor. El motor está en tres posiciones del rotor desfasados  $90^\circ$  entre sí.

1, 2 son las Escobillas.

A, B son las Delgas;

a, b son los lados que tiene la bobina y debe ser conectado respectivamente a cada una de las delgas A y B.

Según la Ley de Lorentz, cuando el conductor por el que circula una corriente eléctrica específica se sumerge en un campo magnético, este conductor sufre directamente una fuerza

perpendicular al plano del que es formado por el campo magnético y la corriente, siguiendo la regla de la mano derecha, con módulo:

$$F = B \cdot l \cdot I$$

- F: Fuerza en newtons
- I: Intensidad que recorre el conductor dado amperios
- l: Longitud del conductor dado en metros
- B: Densidad de campo magnético o densidad de flujo teslas

El rotor tiene varios devanados que son repartidos por la periferia. A medida que este gira, la corriente se acopla en el conductor apropiado.

Normalmente es aplicada una corriente con sentido contrario en el extremo opuesto del rotor, para poder compensar la fuerza neta y poder aumentar el momento.

#### ***1.1.4 Número de Escobillas***

Las escobillas deben colocarse en función de cortocircuito a todas las bobinas ubicadas en la zona neutral. Si la máquina 2 polos, se debe tener 2 zonas neutras. Esto debe tener el número total de escobillas iguales al número de polos de la máquina. En cuanto a la posición, esta debe ser coincidente con las neutras que tienen los polos.

#### ***1.1.5 Sentido de Giro***

El sentido de giro que debe tener un motor de corriente directa depende directamente del sentido relativo de las corrientes que circulan por los devanados “inductor e inducido”.

Para que se invierta el sentido de giro del motor de corriente directa esto se logra invirtiendo cualquiera de los dos sentidos del campo magnético o de la corriente del inducido. Si existe permutación de la polaridad en ambos bobinados, el eje del motor debe girar en el mismo sentido.

Para los cambios de la polarización inducidos en los bobinados, tanto en el inductor así como también en el inducido se debe realizar en la caja de los bornes de la máquina, y además el ciclo combinado producido por el rotor produce fuerza magneto motriz.

El sentido de giro lo podemos determinar con la regla de la mano derecha, la cual nos va a mostrar el sentido de la fuerza. La regla cuya denominación es el de la mano derecha: el pulgar muestra hacia dónde se dirige la corriente, el dedo índice la dirección en la que se va el flujo del campo magnético, y el dedo medio para dónde está orientada la fuerza resultante en otras palabras el sentido de giro.

### ***1.1.6 Tipos de motores DC***

#### *1.1.6.1 Motor Shunt*

Cuando la fuente de poder del campo es fija existe en el motor shunt, un flujo constante. El voltaje de la armadura  $E_t$  es constante. En tanto que la corriente de la carga disminuye, la velocidad debe ser aumentada proporcionalmente de manera de que la fuerza contra electromotriz  $E_c$  aumente para mantener una ecuación de balance. Al voltaje nominal y al campo completo, la velocidad del motor shunt deberá aumentar a un 5% a medida que la corriente de la carga disminuya de plena carga a sin carga.

La reacción de la carcasa evita que el fluido del campo sea absolutamente constante en los cambios de la corriente de la carga. La reacción de la carcasa, por lo que causa una pequeña fluidez a medida que la corriente aumenta. Esto hace que aumente la velocidad del motor. Por lo que se lo considera como “inestabilidad”, por lo que el motor está inestable en su ejercicio de vuelo.

#### *1.1.6.2 Motor Serie*

En el motor serie, el flujo del campo es básicamente la función que posee la corriente de la carga y la curva de saturación que debe tener el motor. A medida que la corriente de la carga baja desde plena carga, el flujo también baja mientras que la velocidad aumenta. La tasa de incremento de la velocidad es relativamente pequeña en un principio pero esto aumenta a razón o medida de que la corriente se reduzca. Para cada motor serie, debe haber una mínima carga segura determinada por la máxima velocidad de trabajo seguro

### *1.1.6.3 Motor Compuesto (Compound)*

La composición de los motores “compuestos” tienen un campo serie que se ubica sobre el tope del bobinado del campo shunt. Este campo serie tiene un número determinado de pocas vueltas de un alambre grueso, que se conecta en serie con la carcasa y extrae la corriente de la misma.

El flujo del campo serie va variando directamente en relación de que la corriente de la carcasa también varía, y ambas son directamente proporcionales a la carga. Este campo serie va conectado de tal forma que su flujo es acoplado al flujo del campo principal del motor shunt. Se otorga una velocidad plana parecida a la del motor shunt, pero no tan “suave” como un motor serie.

El motor compound posee la limitación de rango en cuestión de debilidad del campo, la disminución del campo puede ser el resultado de que se excede la velocidad máxima segura del motor sin carga. Los motores D.C compound son en ocasiones utilizados en trabajos donde se requiera una respuesta que sea estable en relación al torque constante con un amplio rango de velocidad.

### *1.1.6.4 Motor Shunt Estabilizado*

El devanado serie es generalmente denominado como el campo estabilizador o “stab” y el motor un motor shunt como el factor estabilizado. La regulación de la velocidad del motor shunt estabilizado es menor al 15%.

La gran mayoría de los motores tipo Reliance, Súper, RPM y RPM III son básicamente shunt estabilizados. Cuando el motor shunt es debilitado para poder aumentar la velocidad de trabajo a un nivel de operación más alto del que estuvo asignado en un principio, este flujo del devanado serie llega a tener un porcentaje mayor que del flujo total, de tal manera que a medida que la corriente aumenta, la caída de velocidad viene hacer un porcentaje mayor que antes.

En aplicativos donde la inestabilidad resultante afecta seriamente en el funcionamiento del motor (movida por el motor), el campo serie en ocasiones puede desconectarse. Mientras que en aplicativos donde el efecto de estabilidad no es crítico, como en el frenado regenerativo, el campo serie se puede utilizar para el mejoramiento en el rendimiento.

Si el campo serie no está conectado, el que fabrica el control debe asegurar la máxima velocidad segura que debe tener el motor para que no se exceda y se deba reconocer la pérdida del torque que resulta de la operación del motor shunt estabilizado y sin el devanado serie.

### ***1.1.7 Características de los motores DC***

Para poder accionar un motor de corriente directa es necesario aplicar una determinada tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir o cambiar el sentido de giro basta con invertir los bornes de la alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto.

A diferencia del paso a paso (motores) y los servomecanismos, los motores de corriente continua no pueden ser posicionados o enclavados en una posición específica, no debe hacerse. Su función es la de girar a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación es aplicada.

### **Conceptos Básicos**

Velocidad, Torque y Potencia (HP)

Características velocidad – el torque entrega al motor de corriente directa una versátil aplicación. El torque de régimen de un motor de corriente directa esta dado a una velocidad determinada que se denomina Velocidad Base.

La velocidad base es definida como las revoluciones por minuto RPM que tiene el motor de corriente continua cuando opera a:

- 1.- Una corriente de campo de régimen
- 2.- Voltaje de carcasa de régimen
- 3.- Carga de régimen (Corriente de carcasa)

La velocidad base revoluciones por minuto (RPM), determinadas en la placa del motor. Velocidades base de alimentación de los motores de corriente continua son: 850, 1150, 1750 y 2500 RPM. A velocidad base, un motor de corriente continua entrega una velocidad torque y HP de régimen (nominales).

Los motores se acoplan a los engranes reductores, a correas y a poleas, con otros dispositivos de modificación de velocidad, para poder producir torque y/o mayores velocidades que las que son explicadas en la placa, pero esta combinación no debe exceder del valor de la potencia que viene especificada en la placa. De otras palabras, se puede obtener torques mayores, pero solo

proporcionando la variación para poder obtener una velocidad menor, o de manera viceversa (hasta poder obtener una máxima velocidad en relación a la de la marca en la placa con un cierto debilitamiento del campo) y si se puede admitir un menor torque.

### ***1.1.8 Ecuación general del Motor DC***

Con la excepción de que los controladores también puedan regular la corriente de campo de aplicación, el voltaje de la carcasa  $E_t$  viene hacer el único parámetro que el controlador puede regular directamente. En los sistemas de control se pueden clasificar de la siguiente forma o manera: regulador de voltaje, de velocidad, de corriente (torque), de tensión y de posición. Todos utilizan dispositivos de realimentación apropiados para permitir que el controlador regular funcione según lo que se desea

La ecuación general de los motores es definida como el funcionamiento del motor bajo diferentes condiciones ya sea de voltaje y carga:

$$E_t = E_c + I_a.R_a \quad (2)$$

Donde:

$E_t$ : Voltaje en los terminales de la carcasa

$E_c$ : Fuerza contra electromotriz

$I_a$ : corriente de la carcasa

$R_a$ : resistencia de la carcasa

$$E_c = K.N \quad (3)$$

Siendo:

$k$ : el flujo magnético

$N$ : velocidad (rpm)

El voltaje  $E_c$  es aquel que se opone al voltaje aplicado a la carcasa  $E_t$ , y por lo que se llama fuerza contra electromotriz (FCM). Este voltaje se da como resultado del corte del campo magnético al hacer girar los conductores de la carcasa, produciendo de esta manera un voltaje generado. Bajo condiciones de trabajo normal de operación, ( $E_c$ ) es mucho mayor que el término  $I_a.R_a$ . La velocidad del motor es directamente proporcional al voltaje aplicado en cada uno de los terminales, este voltaje es el que viene marcado en la placa del motor.

Mientras que la resistencia de la carcasa ( $R_a$ ), está en el valor de 1 Ohm, o menos, y la corriente de la carcasa ( $I_a$ ), está en función de la carga mecánica del motor. Por ejemplo, considerar que en un motor de 20 HP:

Voltaje en cada uno de los terminales:  $E_t = 240 \text{ V}$

Corriente de la carcasa:  $I_a = 71 \text{ Amp}$ . En plena carga

Resistencia de la carcasa:  $R_a = 0.15 \text{ Ohm}$

Una caída de voltaje que posee resistencia de la carcasa:  $I_a.R_a = 10.65 \text{ V}$  a plena carga.

De la ecuación (2) se deduce:

$$E_c = E_t - I_a.R_a$$

$$E_c = 240 - 10.65 = 229.35 \text{ VDC}$$

Los motores de corriente continua “directa” generan un torque a través de la interacción de los campos magnéticos. El campo magnético principal es desarrollado por los polos del motor. El campo magnético que interactúa con el campo magnético principal fue producido tanto por la carcasa “armadura” y también por su amplitud que está determinada por la corriente de la carcasa.

El torque desarrollado en dicho motor de corriente continua está en relación del radio de la carcasa, el determinado número de conductores “cables” y la fuerza que se ejerce sobre cada uno de los conductores. La fuerza depende directamente del flujo, la corriente y la longitud de los conductores de la carcasa. Cuya expresión matemática es:

$$T = K.I_a \text{ (4)}$$

Donde el torque ( $T$ ) se mide en libra-pié,  $K$  que es una constante determinada por el número de polos que posee la máquina y el número de arreglos de los conductores provenientes o pertenecientes a la carcasa, dando como resultado flujo total por polo en el entre hierro, y  $I_a$  es la corriente de carcasa dada en amperios. Por lo que el torque del motor shunt con excitación constante varía directamente con la corriente de la carcasa. Para el motor serie, el flujo varia directamente con la corriente de la carga excepto por efectos de saturación, así el torque varia aproximadamente con el cuadrado de la corriente de la carga.

Como ejemplo tenemos un motor de 5 HP con los siguientes datos de placa de especificaciones:

$$E_t = 180 \text{ VDC}$$

$I_a = 24 \text{ Amp}$ , en plena carga

$$R_a = 0.591 \text{ Ohm}$$

Velocidad Base: 1750 rpm

Se asume una carga del 75% de la nominal = 18 Amp.

Calcular la relación Volts / RPM de la Ecuación.

$$E_t = E_c + I_a \cdot R_a$$

$$E_t - I_a \cdot R_a = 180 \text{ VDC} - (24 \times 0.591)$$

$$E_c = 180 - 14.184 = 165.81 \text{ VDC}$$

$$\text{Volts./ RPM} = 165.816/1750 = 0.094752 \text{ VDC/RPM}$$

### ***1.1.9 Ventajas de un motor común o brushed***

- Control por medio de cables
- Se pueden remplazar las escobillas para seguir utilizándolos
- Baratos
- Se puede controlar por medio de circuitos simples
- No hay que tener un control de velocidad constante
- Puede funcionar en ambientes extremos

### ***1.1.10 Desventajas de un motor brushed***

- Hay que dar mantenimientos periódicamente
- La relación entre la velocidad del motor es plano pero en las altas velocidades por efecto de la fricción de las escobillas aumenta y reduce el par motor útil
- No existe una buena capacidad de calor
- Rotor con poca estabilidad por inercia.
- Poco rango de velocidad
- Las chispas que salen en las escobillas hacen demasiado ruido electrónico y causa interferencia electromagnética a otros circuitos electrónicos.



## 1.2 Los Motores Brushless

### 1.2.1 Qué es un Motor Brushless?

Brushless equivale a decir "sin escobillas", las mismas que son elementos que sirven para hacer contacto entre el colector del motor común. Los motores de DC pequeños, son fabricados de una aleación de cobre y en motores grandes están compuesto a base de carbón.



**Figura 12-1** Vista de un motor Brushless

Fuente: E-radiocontrol.com.ar. Motores Brushless

Los motores brushless no poseen colector ni tampoco escobillas o carbones. Por lo que incluso en vez de funcionar en corriente directa estos funcionan con corriente alterna, casi todos se alimentan con señales trifásicas, estas señales deben ser del tipo de onda sinusoidal, pero no es así ya que funcionan con pulsos, haciendo que dicha señal utilizada sea una continua pulsante sin embargo se clasifica como de corriente continua porque poseen imanes permanentes como los motores comunes los poseen.

Los imanes se atraen por la polaridad que existe en el campo magnético y que son generados en las bobinas, estas reciben los pulsos de un patrón en especial. Si se desea girar más rápido el motor, solo se hace girar el campo magnético de manera secuencial a una mayor velocidad. O también se puede aumentar la frecuencia que está en los pulsos.

Si a un motor eléctrico común se le aumenta una tensión en los terminales, se observará que existe un aumento en la velocidad pero aumentará la corriente de consumo. En los brushless tanto la corriente así como la velocidad son independientes.

La regulación de la velocidad será la que se encargue de suministrar la cantidad de corriente necesaria para un determinado número de revoluciones por minuto RPM. Si se alimenta con

bastante corriente, esto quiere decir que estamos desperdiciando parte de la capacidad que posee la batería ya que esa corriente no es aprovechada, si en cambio, se alimenta con muy poca cantidad de corriente, el pulso de EMF es considerablemente mayor al pulso que se tiene en la alimentación por lo que el motor eventualmente se detendrá.



**Figura 13-1** Bobinas internas del motor brushless

Fuente: [Quadrino.com](http://Quadrino.com). Motores-brushless

El motor brushless es un tipo de máquina eléctrica de imán permanente con conmutación electrónica de las bobinas (campo electromagnético) Los imanes se ubican en el rotor y las bobinas de excitación en el estator. Se conocen bajo las siglas BLDC o PMSM dependiendo del tipo de señal que se usa para la conmutación de las bobinas.

Lo innovador del motor es el cambio radical de funcionamiento que tiene en relación de los motores de corriente directa DC en la que se tiene un estator y un rotor. El motor brushless también lo posee pero aquí el bobinado permanece estático y la "carcasa" exterior es la que gira.

Estos motores poseen un muy alto rendimiento en referencia a su bajo peso. Por lo que no tiene casi nada de desgaste.

El principal inconveniente de este motor es que no trabaja con corriente directa ya que su funcionamiento es en señales alternas trifásicas. Para ello se utiliza un ESC (Electronic Speed Controller), es la placa de acoplamiento que utiliza un conjunto de circuitos integrados que transforma las señales digitales directas del PWM de continua y estas a su vez son transformadas en las señales alternas trifásicas que se necesita para el motor.

Los increíbles Motores Brushless marcan la diferencia: en si los Motores Brushless son más caros que los motores con escobillas usan materiales de aleaciones más complejas y la fabricación de los mismos es mucho más precisa que la de los motores normales.

La gran diferencia es que los motores brushless no ofrecen rozamiento al girar ya que no disponen de escobillas, es por ello que se calientan mucho menos hasta un 60% menos que los motores normales y al no transformar la energía de la batería en calor consumen mucho menos girando a un régimen de revoluciones mucho más alto, al no ofrecer rozamiento alguno no hay resistencia y la vida de estos motores puede incluso duplicarse a la de un motor normal.

Los motores normales derrochan hasta el 52% de la energía de la batería en forma de calor debido al rozamiento esta energía se pierde con lo cual no es transmitida a las ruedas, esto no ocurre con los motores brushless por lo que pueden también hasta duplicar el régimen de revoluciones con el mismo tipo de batería y variador.

En la actualidad se usan los motores brushless, o trifásicos. Los mismos que son muy superiores en: relación a la potencia y al peso (menor tamaño con una buena potencia) y eficacia. Por lo que implica que la cantidad de energía eléctrica transformada en energía mecánica es mayor a la que se tenía, porque las pérdidas internas que se manifestaban por causa del calentamiento del motor son bajas.

### ***1.2.2 Tipos de Motores Brushless***

Existen 2 tipos, el inrunner y outrunner, cuya diferencia entre ellos es que unos dan su par máximo a sus máximas revoluciones y los outrunner entregan par máximo a menor número de vueltas que se realiza sin necesidad de reducirlas para poder insertarlas directamente entre el eje del motor con la hélice, el aspa, la rueda, etc.

Estos motores pueden ser diseñados para que los imanes estén en función al eje y a su vez éste gire internamente de las bobinas. Inrunner quiere decir que un rotor interno y outrunner, básicamente es un rotor externo.

La gran mayoría de los brushless son outrunner, esto es a que outrunner posee más de un par motor, por lo que resulta poder adaptar una hélice de mayor diámetro sin que exista la necesidad de usar una acoples de reducción para que pueda funcionar correctamente sin errores.

#### ***1.2.2.1 Motor "Outrunner" o de rotor exterior***

Sin embargo no todos los motores del tipo outrunners pueden funcionar bien sin una reducción, ya que hay que tener muy en cuenta que mientras más pequeño es el diámetro del rotor, menos es el par motor que se tenga disponible. Un motor de CD-ROM, por ejemplo de 20 mm. No se

puede usar como hélice con acoples de 5 o 6 pulgadas. Si bien se puede hacer una adaptación para poner una hélice más grande, la eficiencia del sistema se vuelve muy baja, por lo que disipa mucha temperatura en el motor. Provocando calor haciendo que los imanes se deterioren más rápidamente, hay que tener muy en cuenta que no se los debe utilizar en temperaturas muy altas.

Para usar hélices de un mayor diámetro en relación al motor, es muy conveniente utilizar una reducción, para que el sistema vuelva a tener una eficiencia considerablemente buena del 90%.

En relación a la eficiencia hay veces que se llega al 50%, el peso ahorrado por encima del motor brushed común es grande que para compensar este desbalance se debe poner baterías livianas de LiPo para que justifique el porcentaje, por lo que el 50% perdido es en este caso mínimo. Por lo que un 30%, viene hacer una ganancia mientras que durante el vuelo se ve la mejora en el porcentaje de la ganancia antes dicha.

#### *1.2.2.2 Motor "Inrunner" o de rotor exterior*

Están confeccionados de tal forma que los imanes están de forma directa en torno al eje, y en tanto que el bobinado es exterior y rodea el eje con los imanes, estos motores proporcionan un alto número de rendimiento en las revoluciones por lo que su Kv (revoluciones por voltio) es considerablemente muy alto, pero con la desventaja de que proporciona un par considerablemente muy bajo por lo que si se quiere trabajar con una hélice grande se debe emplear una etapa reductora de acoplamiento.

#### *1.2.3. Marcas de Motores Brushless*


Las marcas más conocidas en nuestro país son:

Towerpro, Turnigy, E-max, Hextronics, Axis, Hacker, Align, Dualsky, Hyperion, Art-tech y Plettemberg.


Los de mejor calidad y también alto valor son los Hacker, Axis y Plettemberg, últimamente se están usando en F3A también los Turnigy, de mucho más bajo costo y muy buen resultado, hay que ver el rendimiento a través del tiempo, en todos estos motores, especialmente los de alta potencia es muy importante el seteo de los speeds controls, un error puede causar la destrucción del motor.

<p>1208425L - Motor brushless FEIGAO</p> <p>Medidas 12 x 30 mm.  eje 1,5 mm  Vueltas: 25;  Max. Amps.: 5,5;  Resistencia: 0,32;  KV : 5800,  Peso 17 g.</p>	
---	--


**Figura 14-1** Motor modelo 1208425L  
Fuente: <http://www.himodel.com/sort.php?sub2=CX>  
Realizado por: Verónica Altamirano

<p>1308416L - Motor brushless FEIGAO</p> <p>Medidas 20 x 40 mm.  eje 2,3 mm  Vueltas: 16;  Max. Amps.: 15;  Resistencia: 0,0687;  KV : 3625,  Peso 60 g.</p>	
--	---

**Figura 15-1** Motor brushless modelo 1308416L  
Fuente: <http://www.himodel.com/sort.php?sub2=CX>  
Realizado por: Verónica Altamirano

<p>3808412L - Motor brushless FEIGAO</p> <p>Medidas 27,6 x 58 mm.  eje 3,175 mm  Vueltas: 12;  Max. Amps.: 34;  Resistencia: 0,0256;  KV : 2408  Peso 176 g</p>	
---	--

**Figura 16-1** Motor brushless modelo 3808412L  
Fuente: <http://www.himodel.com/sort.php?sub2=CX>  
Realizado por: Verónica Altamirano

<p>5408412XL3 - Motor brushless FEIGAO  Medidas 36 x 74 mm.  eje 3,175 mm  Vueltas: 12;  Max. Amps.: 55;  Resistencia: 0,0164;  KV: 1390,  Peso 372 g.  Para usar con la reductora FEIGAO 8054052</p>	
---	--

**Figura 17-1** Motor brushless modelo 5408412XL13

**Fuente:** <http://www.himodel.com/sort.php?sub2=CX>

**Realizado por:** Verónica Altamirano

### 1.2.4 Tipos de estatores

Los estatores vienen de varios tamaños y cantidad de polos. La cantidad de polos son el número de dientes que se disponen para ser bobinados. Los estatores deben tener una cantidad de dientes divisible para 3, así serán más compatibles con los reguladores de velocidad trifásicos comerciales. De esta manera, entonces solo nos sirven los estatores con 3, 6, 9, 12, etc. dientes.



**Figura 18-1** Tipos de Bobinados de los motores brushless

**Fuente:** <http://www.e-radiocontrol.com.ar>. Motores\_Brushless

La mayoría de los motores de CD-ROM, tienen estatores de 9 polos mientras que usualmente los de disco duro tienen 12 polos.

Estos dos son los más comunes. Los que tienen más cantidad de polos, son los más buscados hoy en día porque nos dan la posibilidad de bobinarlos en distintas configuraciones.



**Figura 19-1** Estatores de CD-ROM y disco duro respectivamente  
Fuente: E-radiocontrol.com.ar. Motores\_Brushless:Estatores\_y\_esquemas\_de\_bobinados

### 1.2.5. Grosor del Estator

En un motor, el núcleo de hierro no es un núcleo macizo de hierro solamente, sino más bien una serie de láminas de un material ferroso especial. Entre capa y capa debería tener idealmente un aislante, para detener las pérdidas.

Un estator de CD-ROM tiene típicamente alrededor de 4 a 5mm de espesor y contiene un cierto número de láminas metálicas. A veces estas láminas están recubiertas de una resina protectora.



**Figura 20-1** Láminas que componen el estator  
Fuente: E-radiocontrol.com.ar. Motores\_Brushless:Estatores\_y\_esquemas\_de\_bobinados

Estos son estatores para bobinarlos porque reducen la posibilidad de que tengamos una bobina en cortocircuito con el estator. Para un motor simple, esos 4 o 5mm es todo lo que necesitamos, sin embargo para un poco más de potencia, se pueden usar 2 de ellos, uno a continuación del otro.

A medida que la profundidad del estator aumenta, cambian un cierto número de factores que se relacionan con este grosor, el más obvio es que hacen falta imanes más largos. Es común que los motores con un estator más grueso resultan en un motor más poderoso, pero hay límites de hasta cuanto podemos hacerlo más grueso.



La mitad del ancho del estator es la mejor medida para la profundidad. Entonces para un motor de 24mm de CD-ROM, lo ideal es que fuese 12mm de profundidad, o 3 estatores comunes pegados. Hay que tener en cuenta que mientras aumentamos la profundidad, se vuelve más crítico el soporte del rotor al eje. Lo más típico es que los imanes que consigamos en el mercado sean los que finalmente decidan el ancho del motor.



**Figura 21-1** Estatores más utilizados

Fuente: E-radiocontrol.com.ar. Motores\_Brushless:Estatores\_y\_esquemas\_de\_bobinados

### 1.2.6 Circuitos Reguladores de Velocidad (ESC)

El regulador de velocidad es el encargado de que el motor funcione, en el caso de radiocontrol, lo que hace tomar en cuenta la medición del tiempo de 1ms a 2ms como si fuera un servo standard y transforma a un máximo y un mínimo de revoluciones por minutos “RPMs” para el motor.



**Figura 22-1** Modelo del regulador de velocidad y alimentación del motor brushless

Fuente: <http://www.e-radiocontrol.com.ar>. Motores\_Brushless

Posee dos maneras de operar, puede resetearse a una determinada cantidad de número de vueltas, por ejemplo 7000 RPMs, por lo que se debe entregar una cierta corriente programada. Si la carga aumenta, como podría ser el caso de un rotor de helicóptero, entonces el regulador, debería entregar más corriente para que se mantengan esas 7000 RPMs. El regulador tiene la



posibilidad de control en la forma de los pulsos contra electromotriz (EMF) y de esa manera se ajusta la corriente de salida.

Otra manera, que es la más común y que es muy utilizada en la mayoría es que el motor se le ingresa un cierto valor de corriente para luego medir cual es la velocidad del motor, al tener el EMF. Así se ajusta automáticamente.

### ***1.2.7 Ventajas de los motores brushless***

Los motores brushless poseen ventajas en comparación de los motores brushed (con escobillas) siendo las más representativas:

- Son más eficientes
- Más rendimiento
- Conmutación electrónica cuyo principio de funcionamiento son los sensores de posición de efecto Hall
- No se dan mantenimiento a menudo ya que no tienen escobillas
- Son constantes las relaciones de velocidad / par motor
- Excelente potencia en comparación al tamaño que se posee
- Mejor calidad en la disipación de calor
- El Rango de velocidad para elevarlo no tiene una limitación mecánica.
- Casi no existe ruido electrónico

### ***1.2.8 Desventajas de los motores brushless***

- Son más caros para su construcción
- Los circuitos de acoplamiento son caros y complejos
- Siempre se debe tener un control electrónico para su funcionamiento.

## CAPITULO 2

### 2. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Para la elaboración del proyecto se utilizó la investigación o metodología cuantitativa ya que se puede procesar y realizar la toma de decisión que pretende ciertas alternativas de trabajo, usando magnitudes numéricas y vectoriales para poder utilizar el muestreo de poblaciones para obtener los resultados deseados, el proyecto es de base exponencial.

Método Deductivo: Se utilizara este método ya que las ideas, conceptos y teorías son verificables como válidos, además que servirá para recopilar la información necesaria que sea punto de partida para la elaboración de la tesis.

Además se utilizará ciertas técnicas, entre ellas están:

- × Recopilación de información
- × Observación
- × Intuición
- × Razonamiento
- × Análisis y pruebas.

El diseño experimental lo utilice debido a que por medio de esta técnica estadística me permite identificar y cuantificar las causas de un efecto de un estudio con relación al ángulo de elevación que el brazo tiene que ubicarse esto es escogido por el usuario. Se puede manipular deliberadamente la variable, que estoy utilizando el ángulo de elevación que se le asigna al robot para que inicie el vuelo como variable de interés se tiene la variable de estabilización que es la que ayuda a estabilizarse al motor para que quede de forma constante su vuelo ya sea en el arranque o en el apagado ya que por medio de esta variable la velocidad del motor al iniciarse no es básicamente la que el motor necesita ya que se dispara sino que al contrario es menor a la establecida y que en caso de que cuando el motor se apague en este caso se hace una compensación de la señal para que baje de forma paulatina.

Las variables a ser utilizadas son: el ángulo de elevación y la velocidad de la hélice del motor.

Las muestras que se utilizaron son los 21 grados de libertad que tenemos a disposición ya que va de los 60 hasta los 80 grados de elevación.

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de observación directa ya que se debe tomar apuntes de los valores exactos tanto en la parte de elevación del ángulo del motor, así como también anotar el tiempo que se demora en estabilizarse, y el o los instrumentos de recolección de datos se utilizaron: hojas de papel bond, cuadernos, cronómetro y los datos fueron escritos directamente en una tabla para ponerlos de referencia.

Para el procesamiento de datos se utilizó la técnica de Procesamiento de Datos ya que se procedió a la recolección de cada uno de los datos de la muestra en mi caso los 21 grados de los ángulos de elevación (60 hasta 80 grados), con sus respectivas asignaciones individuales de velocidad en el motor.

## 2.1 Implementación del brazo robótico

En la implementación del prototipo de brazo robótico se utilizó varios implementos los cuales son los siguientes:

- Brazo de Acrílico.
- Fuente de Alimentación.
- Motores Brushless
- Modulo M.E. I&T 04
- Potenciómetro de 10 k ohmios



**Figura 1-2:** Vista del Brazo Robótico.  
Realizado por: Verónica Altamirano

### 2.1.1 Brazo de Acrílico

Tanto para la creación de la base, el ante brazo y el brazo se lo realizó con unas rectas y plancha de Acrílico ya que este material es de consistencia fuerte y liviano, existe una parte de inestabilidad justo en la parte de la unión entre el ante brazo y el brazo ya que para la unión de los mismos se colocó con una bisagra de plástico y que por causa de la fricción hace que exista dicha inestabilidad. Como medio de protección para que el brazo no tenga un giro abrupto se puso un cable para que realice la tensión de estabilización en sentido de altitud, y en cuestión del aterrizaje se colocó una esponja que sirve para amortiguar cuando el motor baje del ángulo de elevación que el usuario haya escogido.



**Figura 2-2:** Protecciones para vuelo y aterrizaje del Brazo Robótico  
Realizado por: Verónica Altamirano



**Figura 3-2:** Hélices del Brazo Robótico.  
Realizado por: Verónica Altamirano

### 2.1.2 Fuente de Alimentación

Es el dispositivo electrónico que se utilizara para poder generar corriente y voltaje que es suministrado para poder activar el motor, generando la corriente necesaria para su correcto funcionamiento.

En este proyecto la fuente de alimentación que se tiene genera 12 voltios de corriente directa pero con una corriente de 10 amperios ya que el motor que utilizamos necesita tal cantidad de corriente para su correcto funcionamiento.



**Figura 4-2:** Fuente de Alimentación utilizada en el proyecto.  
Realizado por: Verónica Altamirano

### 2.1.3 Motor Brushless CSRC E5L13

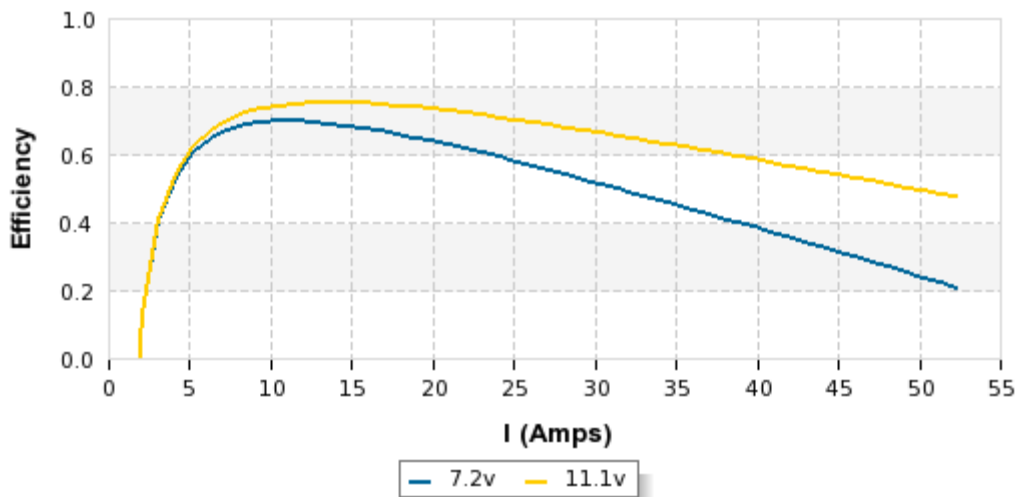
El motor brushless utilizado en el proyecto, se lo eligió por sus características manejables, por su alto rendimiento y eficiencia frente a las condiciones de voltaje y corriente prestadas por la fuente de alimentación, factores ambientales, etc.

- Tipo: Outrunner
- Peso: 75.00g (2.65oz)
- Diámetro: 37.25mm (1.47in)
- Largo: 26.00mm (1.02in)
- Diámetro del eje: 4.00mm (0.16in)
- Amperaje máximo: 24



**Figura 5-2:** Motor Brushless CSRC E5L13  
 Fuente: [www.FlyBrushless.com](http://www.FlyBrushless.com)

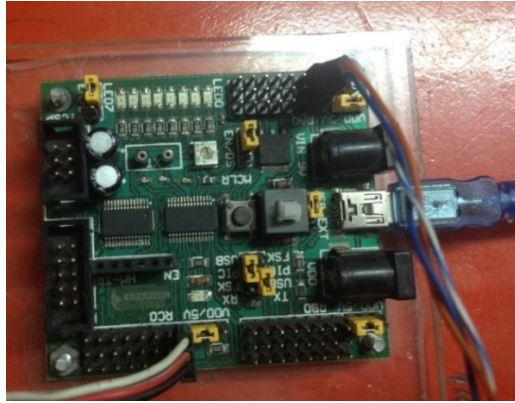
Como podemos observar este motor brushless alcanza su máxima eficiencia ( $I_o = 1.8 \text{ A}$ , RPM=1340), al aplicarlo una señal de entrada de 11 voltios con una corriente de 10 a 15 amperios.



**Figura 6-2:** Características del Motor Bruhless CSRC E5L13.  
 Fuente: [www.FlyBrushless.com](http://www.FlyBrushless.com)

#### 2.1.4 Módulo M.E. I&T 04

Por medio de este dispositivo se puede enviar las señales provenientes del computador, es decir desde la interfaz, hacia el motor para su activación, dependiendo de la disposición que se le asigne en cuestión de posicionamiento ya que el usuario envía el o los puntos de equilibrio que desea que este elevado el brazo, así como también la estabilización del mismo.



**Figura 7-2:** Etapa de comunicación PC - Brazo. Módulo M.E. I&T 04  
Realizado por: Verónica Altamirano

### **2.1.5 Potenciómetro de 10 Kohmios**

Según la posición del potenciómetro se envía una señal la misma que es recibida por el módulo M.E.I&T 04, y enviada al computador para que sea procesado y visualizada en la pantalla del programa el mismo que indica la variación de estabilización del motor al momento de generarse el vuelo, ya que se demora más o menos un minuto hasta estabilizarse.

### **2.2. Implementación Comunicación PC-Brazo Robótico**

Para poder realizar la parte dedicada al interfaz entre el computador y el prototipo de brazo robótico aéreo se hace necesario la utilización de una etapa de acoplamiento por lo que verificando las características técnicas de dispositivos se escoge el Módulo M.E. I&T 04, el mismo que puede ser utilizado por medio de transmisión ya sea con señales provenientes de un micro procesador tal como el PIC 16F886, o en su defecto con las señales provenientes de un computador.



**Figura 8-2** Módulo M.E.I&T 04  
Fuente: Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

### ***2.2.1 Especificaciones Técnicas del Módulo M.E. I&T 04***

El módulo M.E.I&T04, posee las siguientes especificaciones:

- Comunicación serie sin sincronía de comunicaciones del tipo UART
- Comunicación serie con sincronía de SPI e I2C
- Comunicaciones de los tipos ONE WIRE y USART
- Comunicación inalámbrica para receptores “RX” y transmisores “TX” con sus módulos
- FSK y ASK
- Resistencia variable integrada
- 10 ingresos de señal analógicas
- 24 ingresos y salidas de señales digitales
- 8 diodos led que indican las salidas de las señales digitales
- Control para 4 servomotores
- Control para 2 motores de corriente directa controlan tanto la Dirección y la Velocidad
- Programación que soporta en lenguaje de programación ICSP in circuit
- Reseteo manual ante errores y fallas
- Interruptor de encendido y apagado
- Diodo led que indica el estado de funcionamiento del equipo
- Regulador integrado

### ***2.2.2 Aplicaciones del módulo M.E. I&T 04***

Entre las aplicaciones más destacadas se tienen las siguientes:

Construcción de robots los que necesitan manejos de motores para poder realizar movimientos de precisión en base a la monitorización utilizando sensores tales como (seguidores de líneas, sumo, tele operados, exploradores, soccer, etc.)

Aplicaciones de Telemetría y radiocontrol, Implementación de sistemas de control, Tarjeta de adquisición de datos, Placa de desarrollo de ejercicios de Programación con micro controladores.

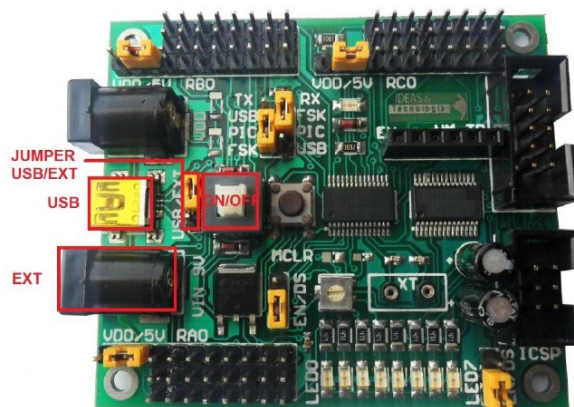
### ***2.2.3 Características del módulo M.E. I&T 04 en relación a la Fuente de Alimentación***

- Alimentación desde (5 - 25) VDC en el EXT (VIN 9V), esta parte es muy importante ya que por medio de esta característica se puede trabajar con dispositivos o circuitos electrónicos



que utilizan la tecnología CMOS los mismos que tienen la posibilidad de utilizar voltajes variables que van en el orden de 3 a 18 voltios.

- Interruptor ON/OFF para energizar o des energizar al módulo de entrenamiento.
- Jumper (USB/ EXT) permite seleccionar la fuente que va alimentar al módulo la cual puede ser mediante el EXT (VIN 9V) o USB que es la energía que se obtiene a través del puerto USB, pero hay que hacer una aclaración por medio de este ingreso se puede realizar la introducción de las señales de mando de los dispositivos tales como los computadores para que se ejecute las sentencias emitidas del mismo.

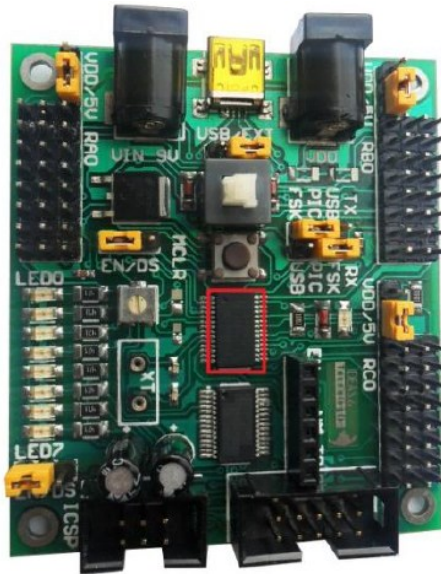


**Figura 9-2:** Módulo M.E. I&T 04, medios de ingreso de alimentación.  
Fuente: Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

#### **2.2.4 Control central del módulo M.E. I&T 04**

Este módulo posee internamente el PIC 16F886, que es el medio por el cual se guardan las instrucciones que posteriormente serán ejecutados dependiendo, las características más sobresalientes de este micro controlador son:

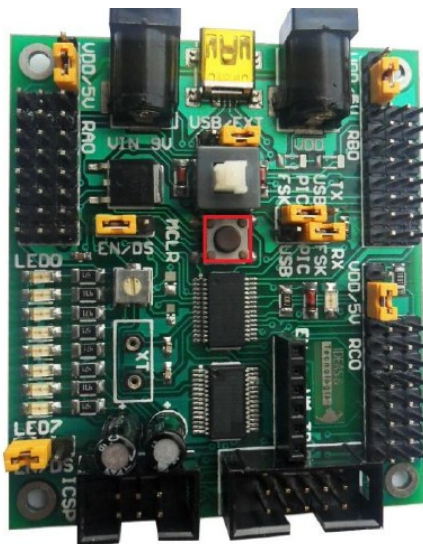
- 25/24 Pines Entradas/Salidas.
- Puertos (PORT A, B, C, E).
- Oscilador interno seleccionable entre (31KHZ – 8MHZ).
- Rango de voltaje de Operación (2 – 5.5) VDC
- 11 entradas analógicas con 10 bit de resolución.
- 3 Timers (Timer0 8bits, Timer1, 2 16bits).
- 2 PWM (CCP) de 10bits, frecuencia máx. 20KHZ
- Comunicaciones seriales sincrónicas MSSP (SPI (4 modos), I2C)
- Módulo USART (RS-485, RS-232 and LIN 2.0)



**Figura 10-2:** Módulo M.E. I&T 04, ubicación del PIC interno 16F886.  
**Fuente:** Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

### 2.2.5 Botón de reseteo del módulo M.E. I&T 04.

Este botón es de vital importancia para poder eliminar la programación que se tenga almacenado en el PIC, pero se lo puede realizar únicamente cuando se lo esté ejecutando por medio de software.



**Figura 11-2:** Módulo M.E. I&T 04, ubicación del botón de reset.  
**Fuente:** Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

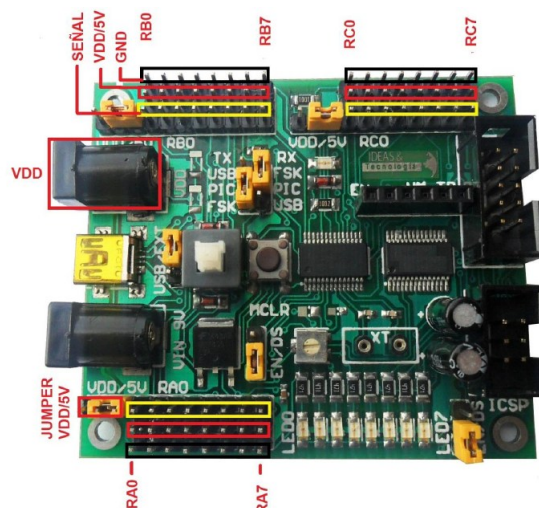
### 2.2.6 Entradas/Salidas en Puertos A, B, C del módulo M.E. I&T 04

Cada puerto tiene 8 pines que corresponde a los 8 bits, cada bit se los llama Señales de entrada y salida que acompaña a los pines de alimentación positiva “+Vcc” y Gnd, teniendo la posibilidad de que Vcc pueda ser seleccionada para utilizar el voltaje interno que posee el módulo de entrenamiento o de manera externa a través del Jack de conexión de alimentación VDD.

- Puertos I/O tipo A (0,1,2,3,4,5,6,7)
- Puertos I/O tipo B (0,1,2,3,4,5,6,7)
- Puertos I/O tipo C (0,1,2,3,4,5,6,7)

### 2.2.7 Entradas analógicas del módulo M.E. I&T 04

AN0 equivalente a RA0, AN1 equivalente a RA1,  
AN2 equivalente a RA2, AN3 equivalente a RA3,  
AN4 equivalente a RA5, AN8 equivalente a RB2,  
AN9 equivalente a RB3, AN10 equivalente a RB1  
AN11 equivalente a RB4, AN12 equivalente a RB0,  
AN13 equivalente a RB5



**Figura 12-2:** Módulo M.E. I&T 04, ubicación de las entradas analógicas, y entradas y salidas de los puertos.

Fuente: Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

### 2.2.8 LED en PORTB en el módulo M.E. I&T 04

La presencia de los LEDs es muy importante para hacer el monitoreo de funcionamiento de activación y de control de las tareas que fueron programadas y almacenadas en el PIC interno

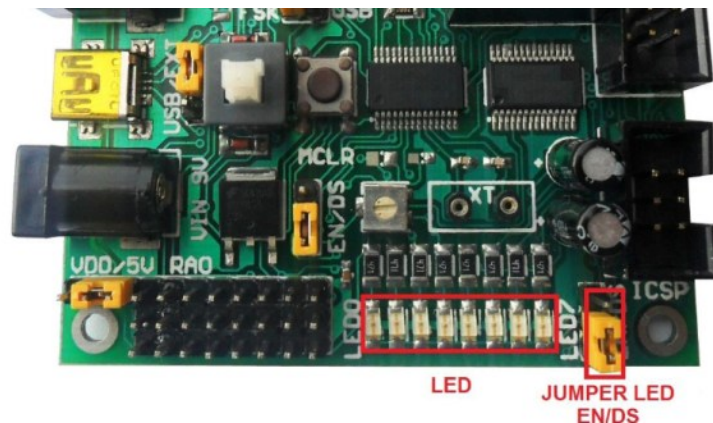
del módulo o en su defecto de las señales que ingresan por medio del ingreso de USB, para utilizar los LED del PORTB, debemos setear los pines del puerto para que sean activadas en la función de salidas, por lo que se debe habilitar “colocar” el jumper LED en esta posición de los pines (EN/DS).

De esta manera queda habilitados todos los indicadores led del módulo de entrenamiento.

Conexiones: LED0-> RB0 LED7-> RB7

Jumper LED: EN Habilita todos los LED conectándolos a GND.

Jumper LED: DS Deshabilita todos los LED.



**Figura 13-2:** Módulo M.E. I&T 04, ubicación de los LED.

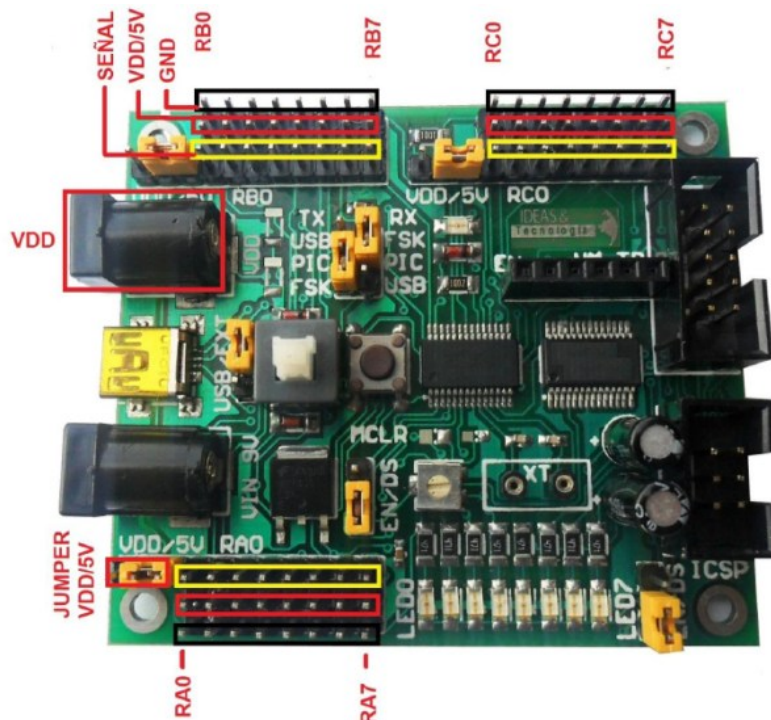
Fuente: Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

### ***2.2.9 Control de Servomotor en el módulo M.E. I&T 04***

Podemos conectar hasta 24 servomotores, debido a que a cada puerto se le agrego pines de +Vcc y GND según el estándar de los servomotores los cuales poseen 3 señales.

Señal: Este pin necesita una señal PPMVDD/5V: Alimentación a través del jack VDD si se requiere más corriente o se utiliza el voltaje del módulo de entrenamiento 5VGND: Tierra (0 VDC).

Jumper VDD/5V: Permite seleccionar la fuente de alimentación para los servomotores la cual puede ser la del módulo de entrenamiento o una externa a través de JACK VDD.



**Figura 14-2:** Módulo M.E. I&T 04, Control de Servomotor.  
**Fuente:** Manual modulo M.E.I&T04. [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com)

### 2.3 Implementación de la Interfaz Brazo – PC

Para la creación e implementación del software se utilizó LABVIEW 2010, gracias a su prestación y soporte por la facilidad de transferencia de adquisición de datos y su debido procesamiento con los diferentes tipos de señales ya sean estas señales digitales y/o analógicas, existe el tipo de comunicación de información full dúplex, esto quiere decir que se puede enviar y recibir al mismo tiempo la transferencia de información (datos), estos datos pueden ser los escogidos por el usuario o generados por datos externos recibidos por algún tipo de sensor o dispositivo electrónico, mecánico, eléctrico, etc. que son los medios transductores para receptor la información que se requiera.

Cuando el usuario escoge la información se lo envía del computador hacia el dispositivo o módulo de adquisición de datos, que es el que se encarga de enviar al motor el voltaje correspondiente para que este ejecute dicha información.

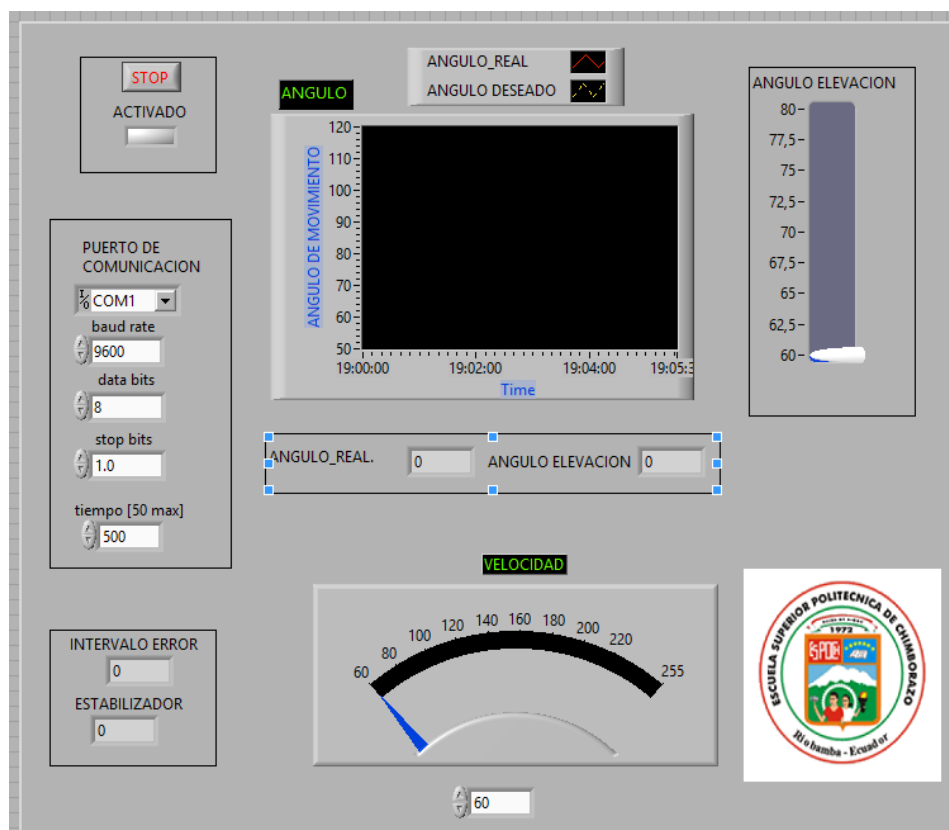
El programa principal cuenta con varios sub programas para su ejecución, con el fin de que sea de mejor apreciación, fácil comprensión y en el caso de que existiera algún conflicto sea más sencillo detectar el problema para corregirlo

Los sub programas que se implementaron son los siguientes:

- Comunicación serial
- Conversión de Angulo
- Escritura de velocidad
- Filtro
- Obtención de Datos

La pantalla principal del programa contiene los controles por medio de los cuales se puede realizar el escogimiento de datos, velocidad, etc.

En esta pantalla se procede a ingresar el ángulo de elevación requerido y se hace una comparación de la señal elegida y la señal real, indicando la forma de onda como varia hasta que llega al ángulo que se escogió, este censo se lo realiza en tiempo real, así como también se indica la velocidad del motor que va de 40 a 225 rpm (revoluciones por minuto).



**Figura 15-2:** Pantalla del Programa Principal  
Realizado por: Verónica Altamirano



La pantalla principal del software contiene los siguientes bloques:

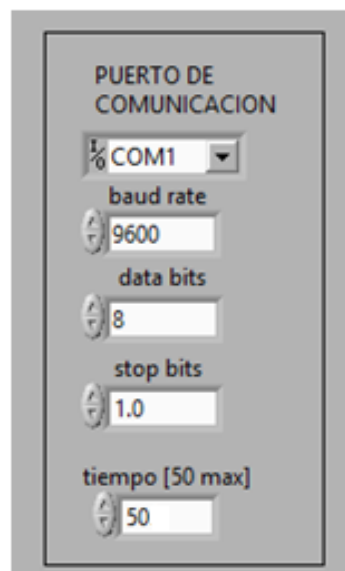
- Activación o desactivación del programa, cuando está activo se enciende una luz verde.



**Figura 16-2:** Botón de activación o desactivación de la ejecución del programa

**Realizado por:** Verónica Altamirano

- En este bloque se tiene la opción para escoger el puerto de lectura (Puerto de Comunicación), cabe recalcar que es el medio por el cual se recibe y envía los datos a ser procesados, informa también el valor de 9600 de rate que es un valor que se asigna por defecto, la lectura de los datos con los que se realiza que son los 8 bits de datos, también los bits de espera el mismo que se le asignó 1 y por ultimo un tiempo máximo de 50 mili segundos de transferencia de comunicación.

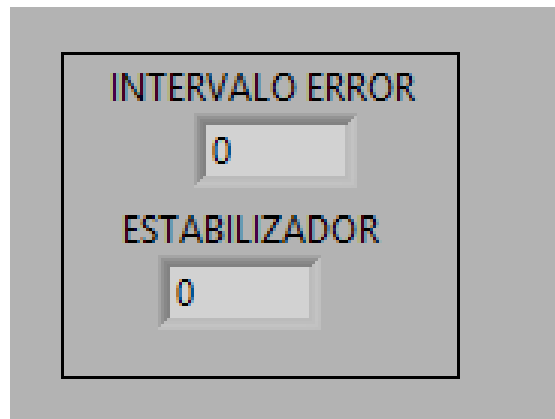


**Figura 17-2:** Bloque del Puerto de Comunicación

**Realizado por:** Verónica Altamirano

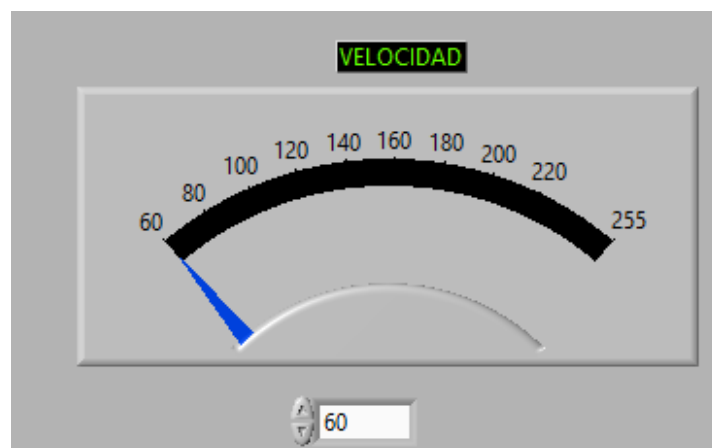
- Bloque que indica el intervalo de error y del estabilizador, teniendo muy en cuenta en el apartado del intervalo de error que es proporcional al momento de arranque el mismo que tiene un lapso de un minuto hasta quedar estable.

La lectura del porcentaje óptimo de error es generada en tiempo real, así como también la lectura de la estabilización del motor.



**Figura 18-2:** Bloque de lectura del estabilizador y del intervalo de error  
Realizado por: Verónica Altamirano

- Bloque de visualización en tiempo real de la velocidad del motor cuyo rango de trabajo o de funcionamiento va de 60 hasta los 255 rpm (revoluciones por minuto), consta de 2 apartados la primera de forma numérica y la otra mediante la escala.

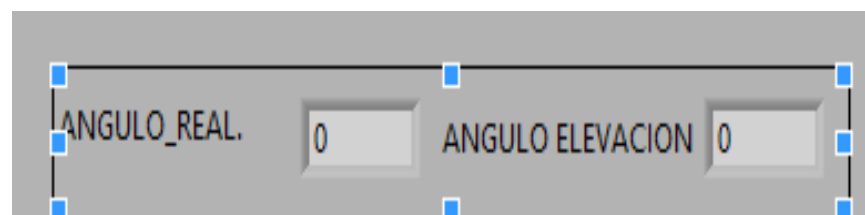


**Figura 19-2:** Bloque de lectura de velocidad  
Realizado por: Verónica Altamirano



- Bloque de visualización de los ángulos real y deseado. El ángulo deseado sale visualizado en primera instancia ubicándose directamente en el punto que haya escogido el usuario, con el fin de que se tome como referencia con el ángulo real, ya que hasta que el motor coja la velocidad adecuada para ubicarse en el ángulo y estabilizarse pasa un tiempo específico que es de un minuto.

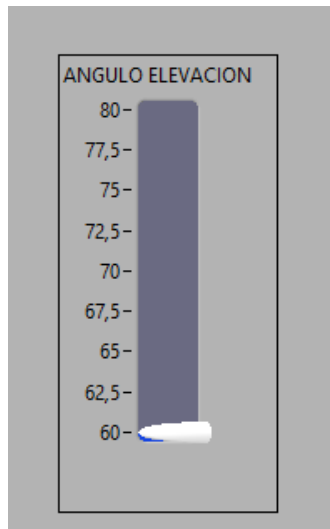
Como se puede observar, para la visualización de los ángulos existen dos formas: la una de forma gráfica y la otra de forma numérica, teniendo en cuenta también el tiempo transcurrido de elevación del motor.



**Figura 20-2:** Bloque de lectura del ángulo de elevación

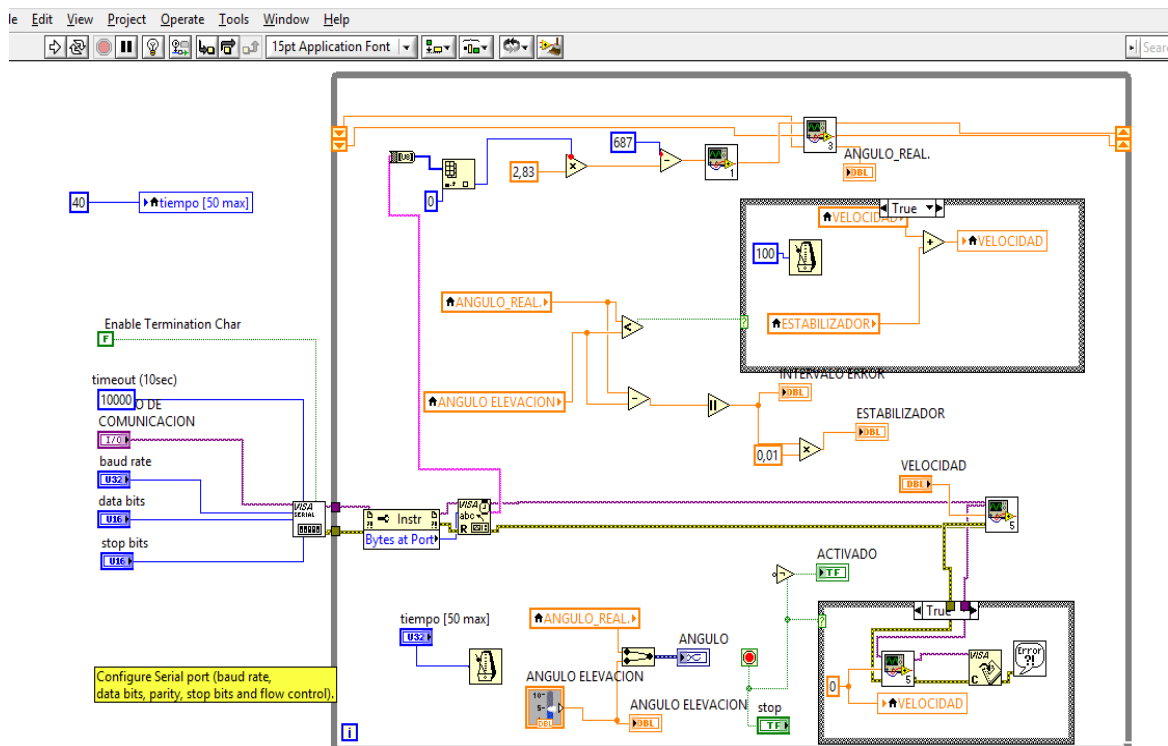
Realizado por: Verónica Altamirano

- En este bloque se tiene la posibilidad de que el usuario escoja el ángulo de elevación de forma manual teniendo como rango de referencia el ángulo inicial de 60 grados y el ángulo final de 80 grados.



**Figura 21-2:** Bloque de escogimiento del ángulo de elevación  
 Realizado por: Verónica Altamirano

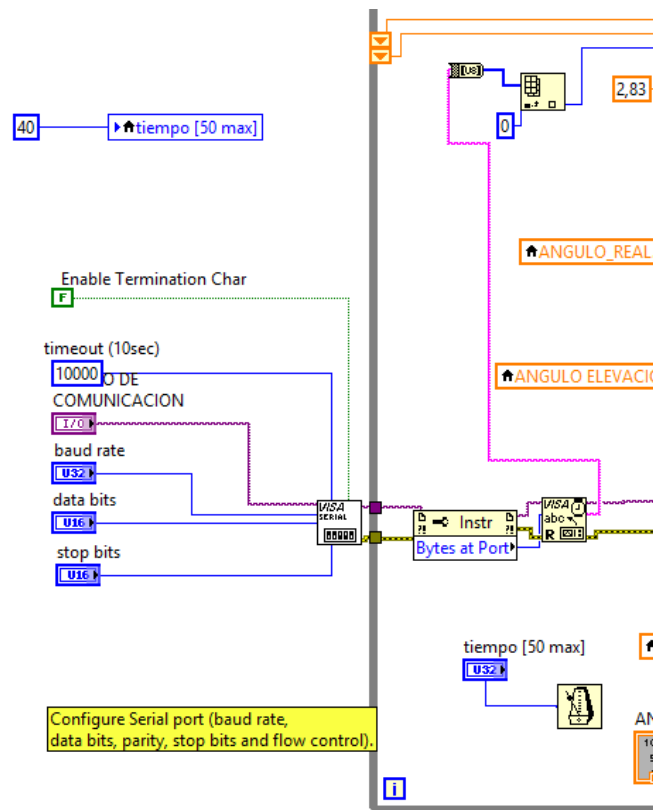
- Bloque de programación global del proyecto, a este están enlazados los sub programas.



**Figura 22-2:** Bloque general de la programación del proyecto  
 Realizado por: Verónica Altamirano

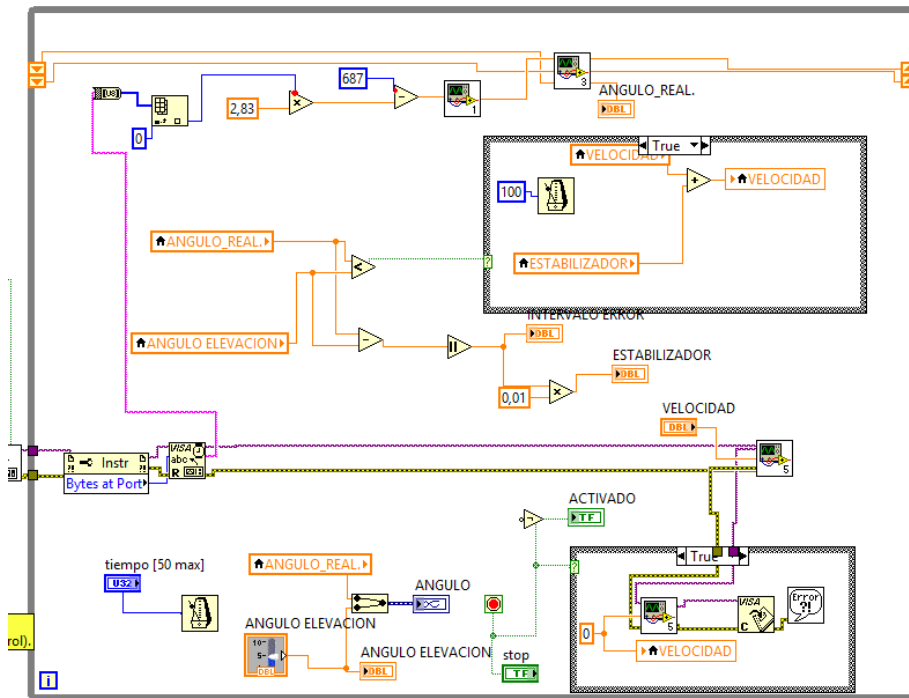
- Bloque de programación en el que se realiza la transmisión y recepción del puerto de comunicaciones, las instrucciones que se tiene en este bloque de programación son: Habilitación de lecturas (enable termination char), tiempos de salida (time out), Habilitación del puerto de comunicaciones, el valor de trabajo que por defecto se coloca 9600 (baudrate).

Los bits de lectura que son 8 (data bits), bits de parada (stop bits), y el tiempo de máximo de activación (tiempo).



**Figura 23-2:** Bloque de habilitación del puerto de comunicaciones  
Realizado por: Verónica Altamirano

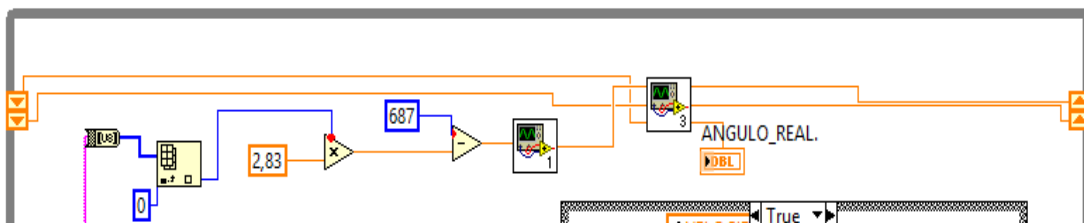
- Bloque interno en el que se hace las conexiones entre todos los sub programas, así como también las sentencias comparativas, asignación de variables, constantes, bloques de comparación, multiplicadores, de detección de errores, de incremento, etc.



**Figura 24-2:** Bloque de interconexión de sub programas

Realizado por: Verónica Altamirano

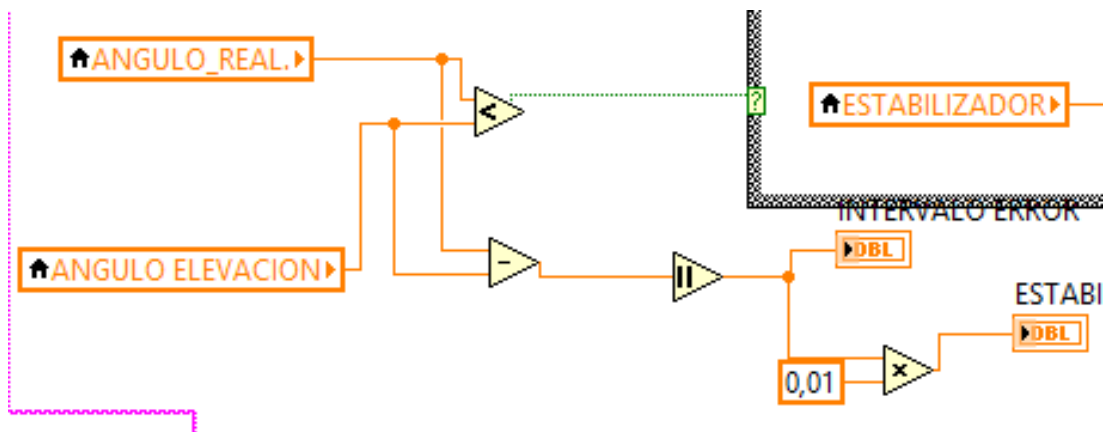
- Bloque en el que se compara las señales de ingreso provenientes del bloque de habilitación de datos, en este se realiza la asignación de los datos así como también el respectivo procesamiento para enviarlos hacia los bloques de los sub programas , en este bloque también se realiza el tratamiento de dichas señales utilizando bloques de multiplicación, restadores, asignación de constantes.



**Figura 25-2:** Bloque de asignación de datos

Realizado por: Verónica Altamirano

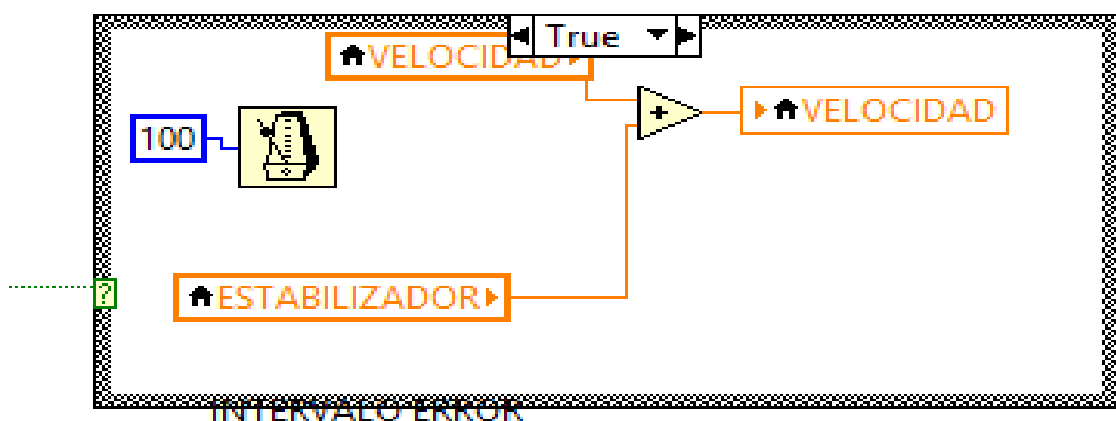
- Se realiza la comparación entre los datos tanto del ángulo real y el de elevación, esa respuesta se envía al bloque de estabilización, así como también con los mismos ángulos se procede a realizar una resta para que dicha señal sea enviada para realizar una comparación con el bloque de error y al mismo tiempo se realiza una multiplicación con una constante de 0,01 para poder realizar la estabilización respectiva de la velocidad del motor.



**Figura 26-2:** Bloque de comparación entre los ángulos reales y de elevación.

Realizado por: Verónica Altamirano

- En este bloque se realiza la estabilización del motor con relación a la estabilización de la señal de velocidad, para lograr esto se utiliza un bloque de incremento, ya que la velocidad que es asignada para el grado de elevación se le incrementa el valor proveniente del bloque de estabilización, de ahí se le asigna el nuevo valor de velocidad del motor.

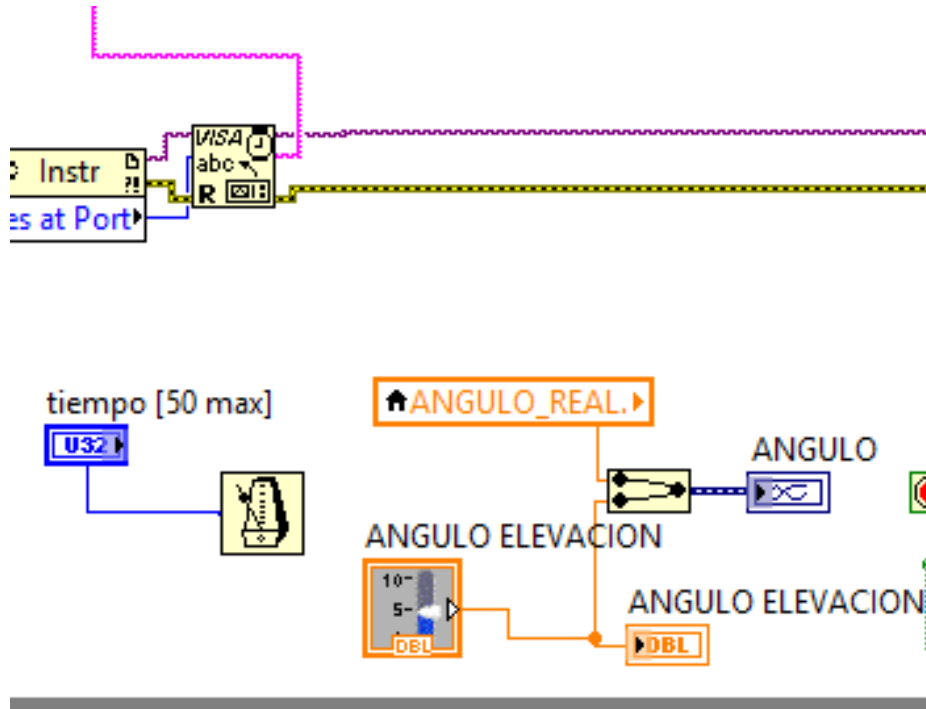


**Figura 27-2:** Bloque de la velocidad del motor.

Realizado por: Verónica Altamirano

- Bloque en el que se hace la asignación en un tiempo de 50 milisegundos para la activación de la señal del motor aplicado a la etapa del ángulo de elevación, se hace el acoplamiento de

la señal del ángulo que escoge el usuario de forma manual y acopla con el ángulo real para asignar ese dato a la señal del bloque de activación del motor, posee la visualización de las señales de los ángulos real y de elevación de forma gráfica y numérica.

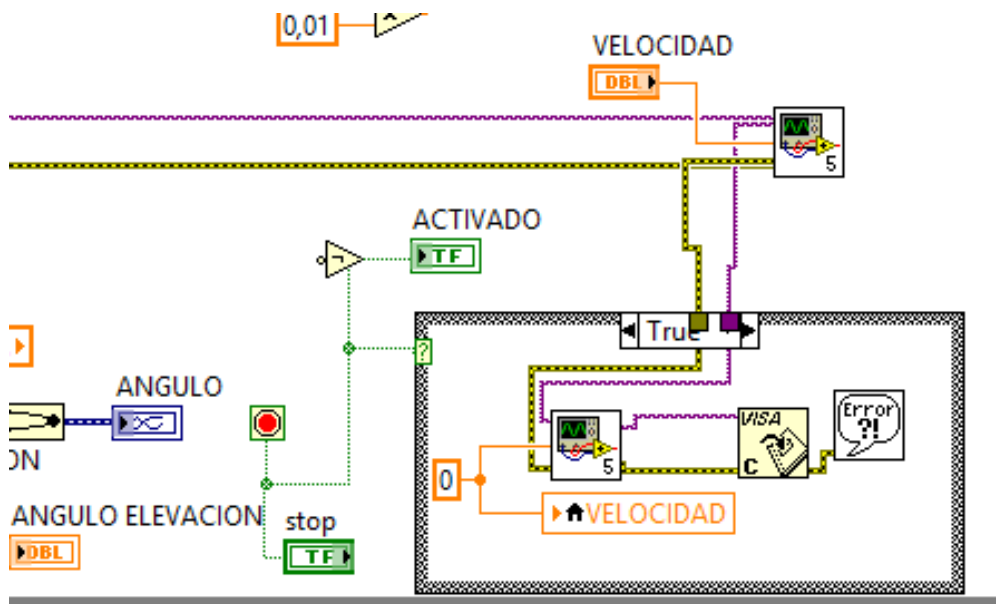


**Figura 28-2:** Bloque de tratamiento del ángulo de elevación  
Realizado por: Verónica Altamirano

- Bloque de asignación de la señal del motor tanto en relación a la velocidad y estabilización del mismo.

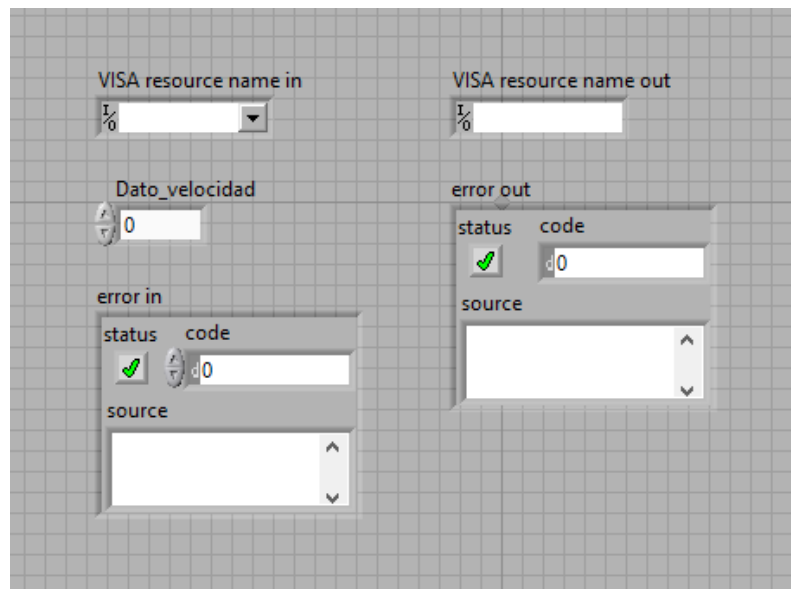
En este bloque se procesa las 2 señales para ser asignada al motor, estas señales son provenientes de los sub programas tanto de velocidad y elevación.

Posee internamente los bloques de acoplamiento y de verificación del margen de error, también la función de la herramienta de encendido (activación), y apagado (desactivación) para que se pueda realizar las órdenes enviadas al motor.



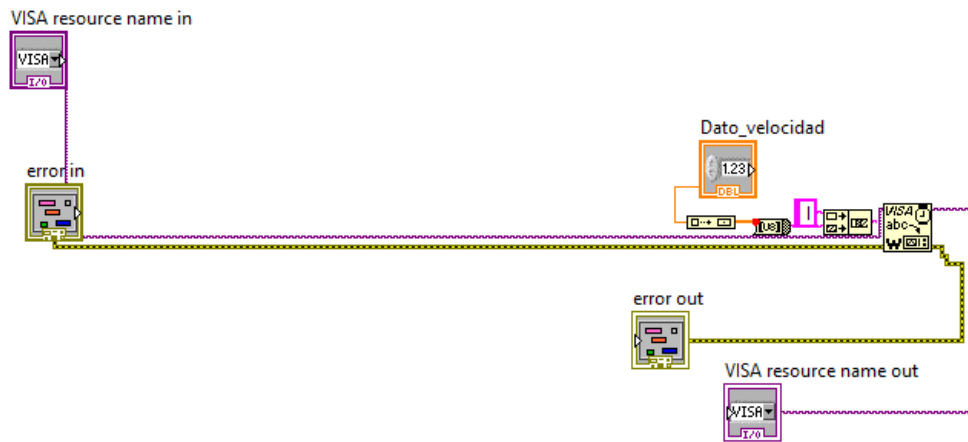
**Figura 29-2:** Bloque del ángulo de elevación del motor.  
 Realizado por: Verónica Altamirano

- Sub programa que posee la asignación de lectura de datos de ingreso asignado por el potenciómetro para que se realice la lectura en la variación de la estabilización del motor al momento que se le asigna el grado de elevación, así como también el envío de señal hacia el motor, con sus respectivos bloques de verificaciones de error.



**Figura 30-2:** Pantalla de ingreso/ salida de datos. Verificación de error  
 Realizado por: Verónica Altamirano

- Bloque interno de asignación de los datos de ingreso y de salida de las señales para el envío de activación o desactivación del motor.



**Figura 31-2:** Sub programa de ingreso y salida de datos.

Realizado por: Verónica Altamirano



## CAPITULO 3

### 3. COMPROBACION DE LA HIPOTESIS

#### 3.1 Análisis de los Resultados Obtenidos

En esta tesis se tiene un controlador para manipular la velocidad del motor para que se pueda realizar la elevación que el usuario escoge considerando tanto las variaciones paramétricas en el subsistema mecánico y eléctrico. El control vectorial se basa en las transformaciones de las coordenadas en el plano referencial cartesiano entre los diferentes marcos con la intención de desacoplar las variables de las coordenadas de los ejes x positivo y negativo así también como el del eje y de igual manera positivo y negativo, restringiéndolo para poder utilizar como parte referencial de ejecución de las pruebas de vuelo el eje de las y positivas cuyo ángulo de vuelo inicial es de 60 grados hasta llegar a los 80 grados que es el ángulo de vuelo final.

En todas las simulaciones realizadas se ocupa como referencia de velocidad angular el ángulo deseado y el ángulo real para poder realizar la respectiva comparación de los 2 tipos de ángulos con el fin de verificar cuanto tiempo se demora en subir el motor con la hélice hasta el estado deseado por el usuario, corroborando inclusive el tiempo de estabilización de la señal, se tiene una aceleración, una velocidad constante y una desaceleración en diferentes instantes con el objetivo de evaluar al controlador bajo circunstancias más apegadas a los valores reales.

Las simulaciones se realizan en el intervalo de  $t = [0,50]$  segundos con un paso de integración del nivel de estabilización cuyo factor es de 0,001 con condiciones iniciales de velocidad igual a cero.

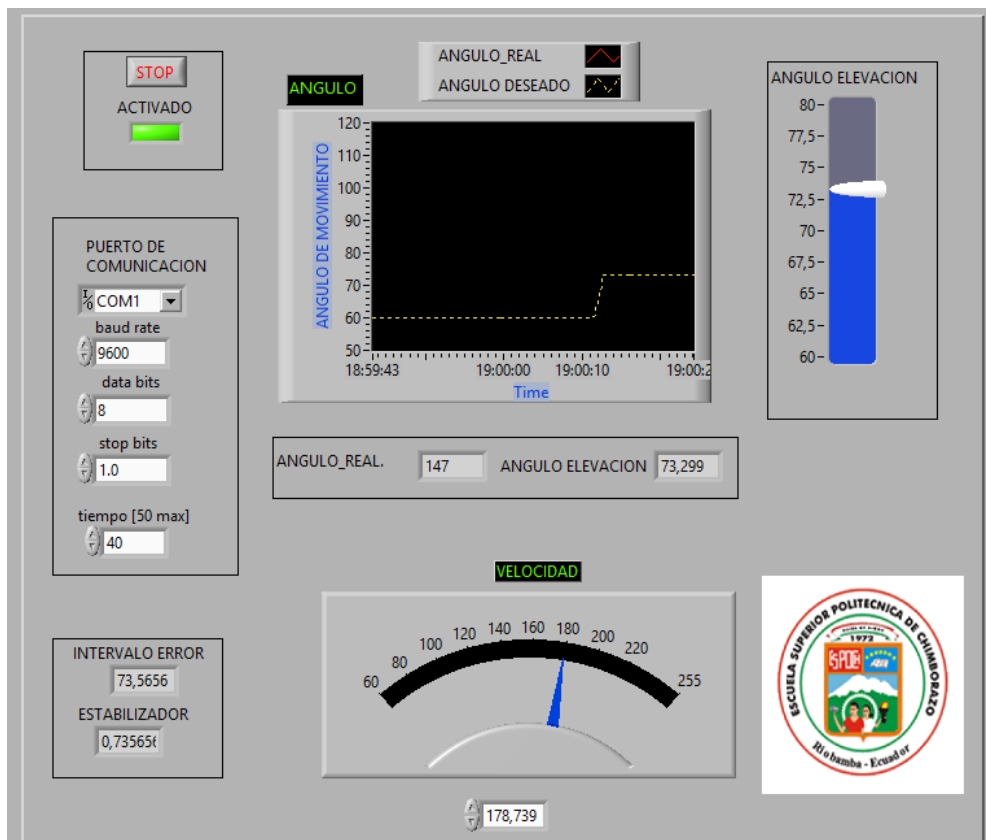
#### 3.2 Operacionalización de Variables

Las variables utilizadas son el ángulo de elevación y el tiempo, ambas variables están de forma directa para obtener la simulación de vuelo teniendo como factor constante de lectura de datos del programa de 8 bits, el bit de parada (stop) de 1, el tiempo máximo de inicio de ejecución del programa es 50 segundos, para el porcentaje de error de la estabilización de la señal de elevación del motor influyen los parámetros mencionados el mismo que va de acuerdo al factor

que se tenga en la lectura proveniente del circuito del módulo de entrenamiento y el acople del potenciómetro.

La estabilización del brazo depende directamente del valor del ángulo que es dado por el usuario así como también del tiempo, por lo que para la estabilización de la señal se lo realiza por medio de la asignación de una constante para que compense la parte de inestabilidad que posee el motor sobre todo al generarse la activación, a pesar de que se envía las señales de forma lenta hasta llegar al valor deseado, influyen inclusive valores ambientales y la parte mecánica del brazo robótico.

Cuando la señal del ángulo de elevación llega al punto deseado, en ese momento se hace la estabilización y se puede comprobar en la pantalla la unión o sobre posición de las 2 señales de los ángulos real y deseado.



**Figura 1-3:** Ejecución del Programa.  
**Realizado por:** Verónica Altamirano

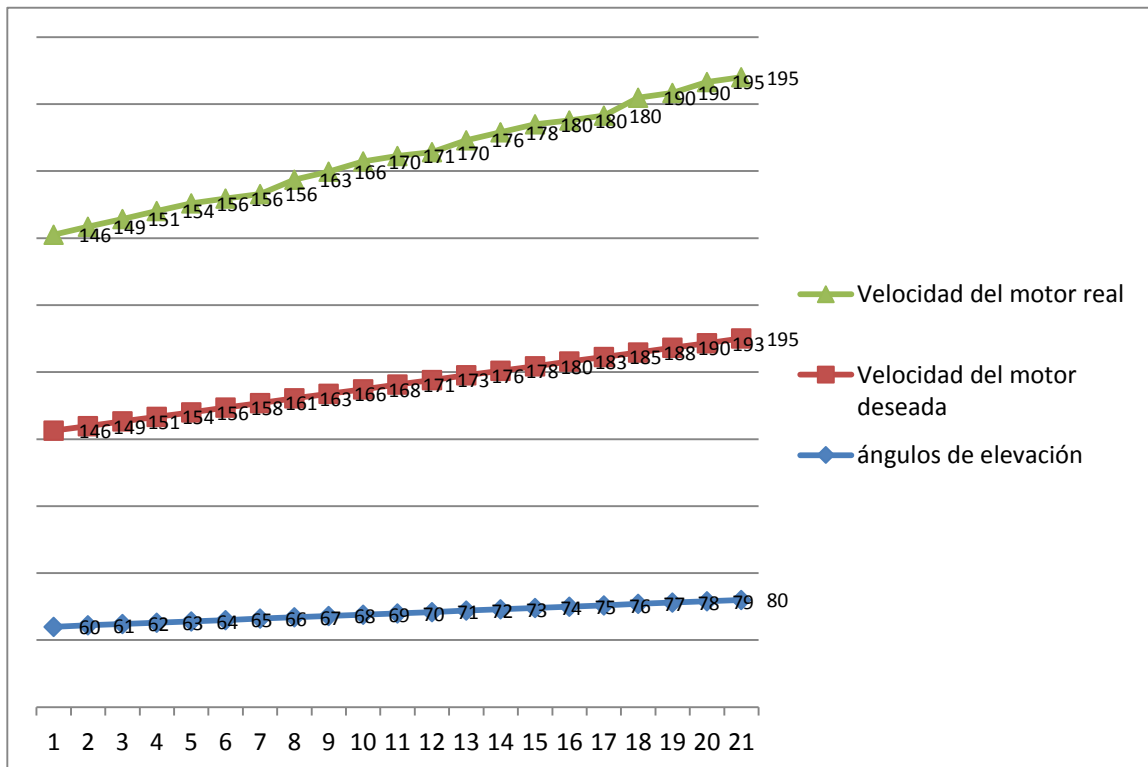
Una vez establecidas las variables, procedemos a realizar las pruebas de funcionamiento, asignando un ángulo al que queremos que se ubique el brazo, en este momento el motor se

enciende y mientras se sigue elevando o bajando al punto deseado, la velocidad aumenta o disminuye hasta mantenerse constante y alcanzar la estabilidad del brazo.

**Tabla 1-3:** Pruebas de funcionamiento. Ángulos asignados con sus valores de velocidad generados

Ángulos de elevación	Velocidad del motor deseada	Velocidad del motor real
60	146	146
61	149	149
62	151	151
63	154	154
64	156	156
65	158	156
66	161	156
67	163	163
68	166	166
69	168	170
70	171	171
71	173	170
72	176	176
73	178	178
74	180	180
75	183	180
76	185	180
77	188	190
78	190	190
79	193	195
80	195	195

Realizado por: Verónica Altamirano



**Figura 2-3:** Variación del ángulo de elevación en relación a la velocidad deseada y real.

Fuente: Verónica Altamirano

Como se puede apreciar en la gráfica existen variaciones de inestabilidad estas en relación a la velocidad ya sea la deseada y la real esto sucede porque al momento de generar la inserción del voltaje trifásico se hace una inducción directa por lo que se crea esa inestabilidad, mediante el programa se hace un complemento con el cual se ayuda de cierta forma al motor a que cuando se ingrese la señal esta no sea ingresada directamente en su totalidad sino que ingrese pero con un cierto nivel más bajo por ejemplo si deseamos un ángulo de elevación de 75 grados el programa debería asignar el valor de 183 rpm pero aplicando el factor de estabilidad el valor real será de:

$$\text{Velocidad de estabilización} = (\text{velocidad generada} * 0,025) - \text{velocidad real}$$

$$\text{Velocidad de estabilización} = 180 - (180 * 0,025)$$

$$\text{Velocidad de estabilización} = 180 - 4$$

$$\text{Velocidad de estabilización} = 176 \text{ rpm}$$

Esta es la velocidad que se le asigna para que el motor tenga estabilidad, esto se logra en el lapso de un minuto.

El factor de proporcionalidad n tiempo real tanto de velocidad y estabilidad es de 2,5.

Con este valor se logra obtener una estabilidad aceptable de elevación del brazo robótico aéreo. Se pudo cumplir con las expectativas planteadas.

### 3.3 Verificación de la Hipótesis.

Para la verificación de la Hipótesis se aplicó el muestreo de poblaciones normales. 21 posiciones de vuelo (ángulos de elevación), velocidad máxima 220 RPM.

Sea  $H_0$  la hipótesis:

- $N$  (número de ángulos va de los 60 hasta 80) = 21
- $\mu$ (velocidad final) = 220
- $X$  (velocidad inicial) = 60
- $\bar{X}$  = media = velocidad promedio

Donde:

$$\bar{X} = \text{val } 1 + \text{val } 2 + \dots + \text{val } n / N$$

$$\bar{X} = 146 + 149 + 151 + \dots + 195 / 21$$

$$\bar{X} = 170.86$$

- $\Phi$  (varianza)

Donde:

$$\Phi^2 = (\text{val } 1 - \bar{X})^2 + (\text{val } 2 - \bar{X})^2 + (\text{val } 3 - \bar{X})^2 + \dots + (\text{val } n - \bar{X})^2$$

$$\Phi = \sqrt{(146 - 170.86)^2 + (149 - 170.86)^2 + \dots + (195 - 170.86)^2}$$

$$\Phi = 228.90$$

- $\Phi_x$  = Media de la Varianza

$$\Phi_x = \frac{\Phi}{\sqrt{n}}$$

$$\Phi_x = \frac{228.90}{\sqrt{21}}$$

$$\Phi_x = 49.98$$

- $Z$  = Nivel de confianza de resultados

$$Z = X - \mu / \Phi$$

$$Z = 60 - 220 / 228.9$$

$$Z_1 = -0.69$$

$$Z = \mu - X / \Phi_x$$

$$Z = 220 - 60 / 49.98$$

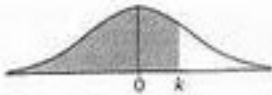
$$Z_2 = 3.20$$

Con estos valores que obtenemos del nivel de confianza, verificamos los resultados en la tabla de valores  $Z$ .

Para  $Z_1 = 0.7549$

Para  $Z_2 = 0.9993$

Áreas bajo la curva normal tipificada  $N(0, 1)$  desde  $-\infty$  hasta  $Z = k$ :  $P(Z \leq k)$



k	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Figura 3-3: Tabla de valores Z nivel de confianza.

Fuente: <https://deathcell.wikispaces.com> DISTRIBUCION NORMAL

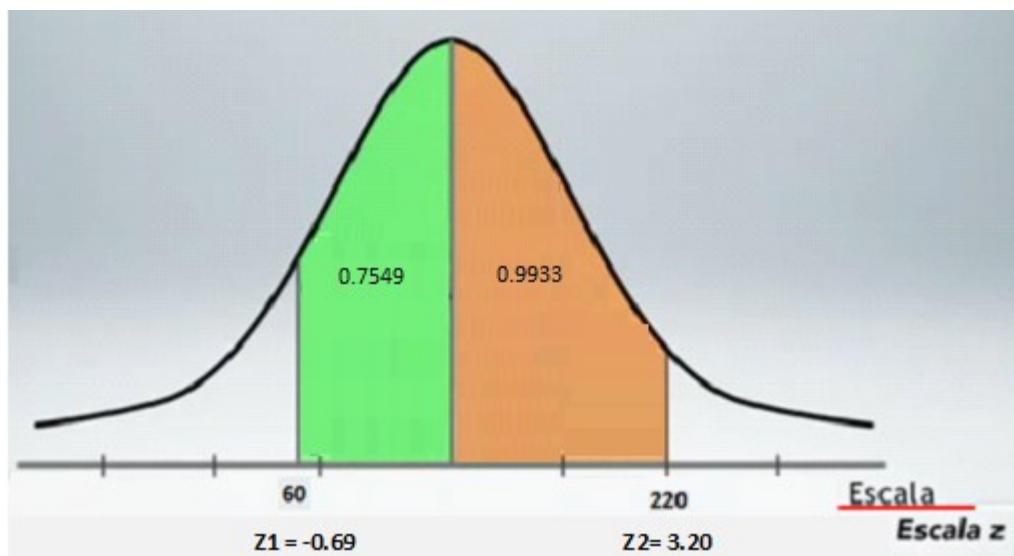


Figura 4-3: Área bajo la curva que demuestra la efectividad  
Realizado por: Verónica Altamirano

Sacamos un promedio para obtener el valor de porcentaje de efectividad, de lo cual se obtiene que:

$$\text{Efectividad} = (Z1 + Z2) / 2$$

$$\text{Efectividad} = (0.7549 + 0.9993) / 2$$

$$\text{Efectividad} = 0.877$$

En factores de porcentaje equivale al 87.7% de efectividad del proyecto, el porcentaje de error generado se debe a la inestabilidad del brazo por factores ambientales, de construcción, gravedad, etc.

Con esto queda comprobada la funcionalidad del proyecto.



**Figura 5-3:** Prueba de funcionamiento del brazo robótico  
Realizado por: Verónica Altamirano

## CONCLUSIONES

- Según los resultados que se obtuvieron en las pruebas de ejecución y las comparaciones realizadas de simulación, se puede concluir que la velocidad de elevación depende directamente de las características del motor y su eficiencia al trabajar con carga (hélice), es por ello que es importante el preliminar análisis y correcto escogimiento del motor según el tipo de proyecto en que vayan a ser usados.
- Las muestras cuantitativas realizadas nos demuestran que la incorporación de un factor de proporcionalidad de velocidad para alcanzar el ángulo real y se establezca la velocidad del motor, ayuda directamente ya que existe una compensación en la señal de velocidad tanto al momento de ejecutarse la orden así como también cuando se desactiva la señal.
- Los Motores Brushless son motores cuyas características se les atribuye muchas ventajas considerables en relación a los motores convencionales, para la creación de prototipos sobre todo en el campo de la Aeronáutica, debido a que no posee escobillas de contacto.
- La naturaleza síncrona del Motor Brushless, va en relación directa entre la frecuencia que posee el campo magnético giratorio presente en cada uno de los devanados del motor y la velocidad angular mecánica del rotor.
- Se utilizó LabVIEW, en esta tesis ya que es un entorno de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería y reducir tiempos de pruebas.



## **RECOMENDACIONES.**

- Para la alimentación de los motores brushless se debe utilizar preferiblemente una batería tipo lipo, que es lo más aconsejable ya que entrega el voltaje y la corriente necesaria para el trabajo óptimo del motor.
- La aplicabilidad de los motores brushless es muy amplia pero se debe tener muy en cuenta algunos factores para su correcto desarrollo e implementación, sobre todo en la parte de los componentes que se deban utilizar para la realización de las carcasas, se debe tener elementos fuertes pero ligeros.
- Es aconsejable utilizar como material para la implementación de las bases el Acrílico, ya que es un material liviano pero de gran consistencia.
- Para cuestiones de estabilización sobre todo en la parte de las uniones en las bases se debe tener los respectivos sistemas de amortiguamiento para evitar pérdidas, con esto se ayuda en la parte de estabilización mecánica.
- En la simulación de vuelo realizada con este proyecto se demostró que la inestabilidad de los motores brushless depende de muchos factores, como pueden ser ambientales, de construcción, características internas propias del motor, etc. Por lo que es recomendable tener en cuenta todos estos aspectos en el momento de trabajar con estos motores.

## **GLOSARIO**

<b>AC:</b>	Altern Current - Corriente alterna
<b>BLDC:</b>	Brushless DC - Motor brushless de corriente continua
<b>C, C++:</b>	Lenguajes de programación orientados a objetos
<b>DC:</b>	Direct Current - Corriente continua
<b>EMF:</b>	Electromagnetic Field - campo electromagnético
<b>ESC:</b>	Electronic Speed Controller - Controlador de velocidad electrónico
<b>GND:</b>	Ground - Tierra
<b>HP:</b>	Horse power - caballos de fuerza o potencia.
<b>Io:</b>	Corriente de salida
<b>LABVIEW:</b>	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench - Laboratorio de Instrumentación Virtual de Ingeniería gráfica.
<b>LED:</b>	light emitting diode - diodo emisor de luz
<b>LIPO:</b>	Baterías de polímero de litio (LiPo)
<b>PC:</b>	Computadora Personal
<b>PIC:</b>	Peripheral Interface Controller - Controlador de interfaz periférico
<b>PMSM:</b>	Permanent Magnet Synchronous Motor - Motor de imán permanente
<b>RPM:</b>	Revoluciones por minuto

## **BIBLIOGRAFIA**

**CANTOS, SANTIAGO.** *Implementación de un módulo de comprobación de las características de los motores brushless utilizados en los Mini UAV.* (Tesis). Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico Latacunga, Ecuador. 2013.

**GORDON Mc, Comb.** Construcción de robots para aficionados. Madrid-España: Estribor, 2012, pp. 265.

**HOBBY MODELISMO** [en línea]. Motores brushless. [Consulta: 18 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.hobbymodelismo.es/motor-brushless-p-41990.html?language=en>

**JUNTA DE ANDALUCÍA** [en línea]. Motores de corriente alterna. [Consulta: 14 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>

**LEMA, IGNACIO.** *Rc-ink* [blog]. [Consulta: 22 mayo 2015]. Disponible en: <http://rc-ink.blogspot.com/p/aviones-electricos.html>

**MÓDULO MEI&T04.** IDETEC CIA. LTDA. Guayaquil, Ecuador. 2013. Disponible en [www.ideastechnology.com](http://www.ideastechnology.com).

**MOTORES BRUSHLESS. E bay** [en línea]. [Consulta: 18 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.ebay.es/itm/Feigao-BL-540-Brushless-Inrunner-Motor-/221455247429>

**MOTORES BRUSHLESS: ESTADORES Y ESQUEMAS BOBINADOS** *E-radio control* [en línea]. [Consulta: 14 mayo 2015]. Disponible en: [http://www.e-radiocontrol.com.ar/?Motores\\_Brushless:Estadores\\_y\\_esquemas\\_de\\_bobinados](http://www.e-radiocontrol.com.ar/?Motores_Brushless:Estadores_y_esquemas_de_bobinados)

**MOTORES BRUSHLESS. E-radio control** [en línea]. [Consulta: 18 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.e-radiocontrol.com.ar>

**MOTORES DE CORRIENTE DE CONTINUA.** *Monografías* [en línea]. Trabajos 61, [Consulta: 5 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos61/motores-corriente-continua/motores-corriente-continua.shtml>

**MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA CON MOTOR.** *Monografías* [en línea]. Trabajos 82, [Consulta: 10 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/maquina-corriente-continua-como-motor/maquina-corriente-continua-como-motor.shtml>

**MOTORES PASO A PASO.** *Monografías* [en línea]. Trabajos 94,. [Consulta: 11 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos94/motores-paso-paso/motores-paso-paso.shtml>

**OLIVERIOS, JEISSON.** *Tegmei* [blog]. [Consulta: 20 mayo 2015]. Disponible en: <http://tegmei.blogspot.com/2011/08/brushless-son-motores-trifasicos-de.html>

**RUIZ CÉSPEDES, JUAN.** *RLinares-Jaen* [blog]. [Consulta: 22 mayo 2015]. Disponible en: [http://juan-ruiz-cespedes.blogspot.com/2011\\_09\\_01\\_archive.html](http://juan-ruiz-cespedes.blogspot.com/2011_09_01_archive.html)

**QUADRUINO** [en línea]. Materiales necesarios 1, motores brushless. [Consulta: 14 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.quadrino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>

**SMART DREAMS** [en línea]. Motor de corriente continua. [Consulta: 12 mayo 2015]. Disponible en: <http://smartdreams.cl/category/autobalanceado/>

**VALLEJO, Horacio.** "Motores de corriente continua". *Saber Electrónica*, nº 33 (2007), (Argentina, México) pp. 18.

**WIKIPEDIA** [en línea]. Motor de corriente continua. [Consulta: 12 mayo 2015]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_corriente\\_continua](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua)

**WIKIPEDIA** [en línea]. Principio del Motor de corriente continua. [Consulta: 12 mayo 2015]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Principio\\_motor\\_c.c.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Principio_motor_c.c.jpg)

**WIKISPACES, WALDEMAR Godoy**[en línea]. Máquina de corriente continua. [Consulta: 22 mayo 2015]. Disponible en: <http://referencias111.wikispaces.com/file/view/Capitulo1.pdf>