

# **INNOVA: Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la electroencefalografía-Módulo de Potencia.**

**Carlos Fernando Castillo Calderón**

Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, cas07129@uvg.edu.gt

**César Augusto Cuevas Guerra**

Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, cue07211@uvg.edu.gt

**Alvaro Eleazar Martínez Aceituno**

Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, mar07466@uvg.edu.gt

**Erick Giovanni González Meléndez**

Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, gon07332@uvg.edu.gt

**Luis Fernando Reina García-Salas**

Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, lfreina@uvg.edu.gt

**MSc. Carlos Alberto Esquit Hernandez**

Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, caesquit@uvg.edu.gt

## **RESUMEN**

Este proyecto realizó la implementación de una aplicación real para un sistema de control no tradicional, utilizando ondas cerebrales obtenidas por Electroencefalografía (EEG). Dicha aplicación desarrolla un prototipo a escala de una silla de ruedas, capaz de sortear obstáculos y con capacidad para subir y bajar gradas.

El proyecto fue dividido en cinco módulos, esta investigación se centra en el módulo de potencia. El módulo de potencia se encarga de establecer el control de actuadores en función de los comandos de movimiento provistos por el módulo de interfaz humano-maquina, así como de la distribución de potencia eléctrica hacia toda la silla de ruedas. El control de los actuadores se implementó utilizando un microcontrolador que genera las señales de control necesarias para manejar los controladores de motores DC y servomotores.

Este trabajo busca continuar con el desarrollo e investigación en el campo de tecnología para discapacitados. La densidad poblacional de personas afectadas por esta tecnología es muy reducida. Pero el beneficio que pueden llegar a tener estas personas en su vida cotidiana, gracias a los resultados de la investigación, puede ser mucho.

**Palabras claves:** control de actuadores, distribución, potencia, control.

## **ABSTRACT**

This project made the implementation of a real application for a non-traditional control system that uses brain waves obtained by electroencephalogram (EEG). This application was developed as the prototype of a scaled wheelchair able to overcome obstacles and to walk up and down the stairs.

The project was divided into five modules; this paper focuses on the power module. The power module is responsible for establishing the control for actuators according to motion commands provided by the module of human-machine interface. It is also responsible for the electrical power distribution to the wheelchair. The control

for the actuators was achieved by using a microcontroller generating all the necessary signals to control implemented DC and servo motor drives.

This project also provides support to continue the research and development of technology for people with physical disabilities. This technology is not fully developed and supported due to the reduced population that could benefit from it. Nonetheless, the results of this research would have a high impact in the daily lives of this reduced group.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En esta oportunidad, se presenta la opción de trabajar en el desarrollo de tecnología de apoyo para discapacitados. Específicamente en la construcción de un prototipo a escala, de una silla de ruedas capacitada para subir y bajar gradas, donde la misma presentara un sistema de control no tradicional.

Llevar a cabo la puesta en marcha del proyecto supone una serie de retos, estos son diversos. El concepto global del proyecto tiene dos grandes frentes, el control no tradicional que se plantea implementar y las capacidades de movilidad que presentará el prototipo. No existe mucha información sobre tecnología desarrollada en Latinoamérica que busque el beneficio de personas discapacitadas. Este campo de trabajo se ha desarrollado muy poco incluso internacionalmente y continuamente este se ve beneficiado mayoritariamente por los adelantos que se presentan en otras disciplinas.

Debe tomarse en cuenta que la aplicación a desarrollar, puede llegar a tener un gran impacto en la vida de una persona discapacitada. Esto es por el grado de movilidad que puede llegar a tener un usuario final, cuando se desarrolle totalmente el proyecto; destacando la infinidad de aplicaciones y beneficios, que puede tener el control de dispositivos por medio de ondas cerebrales.

El hecho que el desarrollo de esta investigación se realice en un país que no es conocido internacionalmente por sus resultados en cuanto a investigación, busca que aumenten las personas dispuestas a invertir recursos y trabajar para realizar innovación tecnológica en Guatemala.

El considerar las capacidades de movimiento que alcanzará la silla de ruedas, obliga a proceder en el diseño mecánico, desde cero; la complejidad mecánica era un denominador común dentro de las sillas eléctricas capaces de subir gradas. Motivo por el cual se buscó, la solución menos compleja pero efectiva para realizar dicho propósito en el prototipo del dispositivo.

El módulo de potencia se encarga de: establecer el control de actuadores en función de los comandos de movimiento provistos por el módulo de interfaz humano-maquina, además de la distribución de potencia eléctrica hacia los demás módulos.

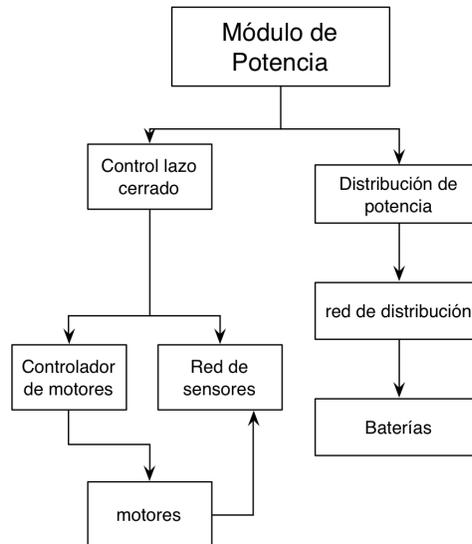
## **2. METODOLOGÍA.**

El módulo de potencia tiene una serie de tareas las cuales pueden ser divididas en secciones, con esto se logra una modularidad del sistema. El desarrollo de los bloques del módulo se realizó de manera gradual, en la figura 1, se puede observar el diagrama de bloques del módulo de potencia. Dado que los bloques, que conforman el sistema son dependientes. La forma en que se desarrolló el módulo fue la siguiente:

1. Sistema de distribución de potencial eléctrico

2. Desarrollo de controlador de módulo de potencia
3. Desarrollo de aplicación de prueba del módulo
4. Diseño e implementación de PCB para el módulo

Cada una de estas etapas tiene pasos intermedios, donde las tareas de estos pasos dependieron de los resultados inmediatos, que se dieron en el transcurso del proyecto.



**Figura 1: Diagrama de bloques del módulo de potencia**

La distribución del potencial eléctrico se debe realizar teniendo como meta; resguardar la integridad de los usuarios del prototipo de la silla y del sistema mismo. Es por esta razón que el proceso de distribuir, el potencial eléctrico se debe realizar tomando ciertas medidas de precaución. Para lo cual es necesario;

1. Utilizar el conductor eléctrico apropiado en las distintas partes del circuito.
2. Instalar dispositivos de protección (fusibles) para el circuito.
3. Realizar las conexiones de los dispositivos que conforman el sistema utilizando terminales y borneras para buscar la seguridad del sistema
4. Realizar todas las escalas de voltaje necesarias para que funcione el prototipo de la silla de ruedas

El sistema de distribución de potencia de la silla de ruedas debe tener distintos voltajes dentro de los cuales están:

1. Alimentación para motores DC(14VDC)
2. Alimentación para servomotores (6VDC)
3. Alimentación de control (5VDC)

La alimentación de potencia del sistema parte de las baterías escogidas para proveer del potencial eléctrico al prototipo de la silla

El sistema de distribución de potencia debe proveer de alimentación eléctrica a todos los elementos del prototipo de la silla que la requieran. Para esto se debe de tener en cuenta que esto se debe de realizar de manera segura. Por lo cual debe de haber una etapa de seguridad entre la batería y elementos eléctricos del sistema. Las características eléctricas de la batería seleccionada para proveer de potencial eléctrico al prototipo de la silla se pueden observar en la tabla 1.

**Tabla 1: Características de las batería seleccionada para el prototipo**

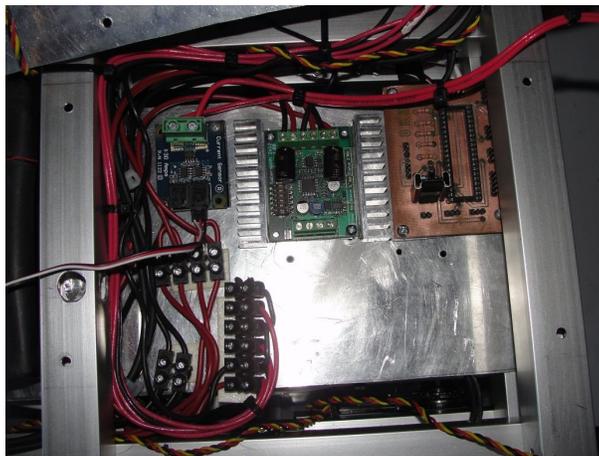
<b>parámetros</b>	<b>Descripción</b>
Voltaje VDC	14.8(nominal) 16.8 pico 11 (corte)
Capacidad	25.2 Ah ( 372.6 Wh)
Terminales	14 AWG carga y descarga
Peso	4.1 lb
Tasa máxima de descarga	14 amperios

La conexión de los dispositivos se realizó utilizando un calibre de conductor según fuera su tasa de consumo eléctrico. Todas aquellas conexiones principales dentro de las cuales están:

1. Conexión de batería a fusible,
2. Conexión de fusible a interruptor principal
3. Conexión del interruptor principal al bloque de bornera

Estas conexiones se realizaron utilizando un conductor de calibre 14 AWG el cual está capacitado para manejar hasta 20 amperios, se está utilizando un conductor que no presentara sobre calentamiento, ante el amperaje pico que maneja el sistema de distribución de potencia que son 14 amperios.

Por su parte los motores DC instalados en el sistema fueron conectados utilizando cables de calibre 18 AWG, con este calibre se maneja de manera sobredimensionada los 3 amperios como máximo que consumen los motores cuando operan con carga. De igual manera la distribución se realizó utilizando borneras dimensionados de acuerdo al calibre de conductor utilizado. En la figura 2 se puede observar el detalle.

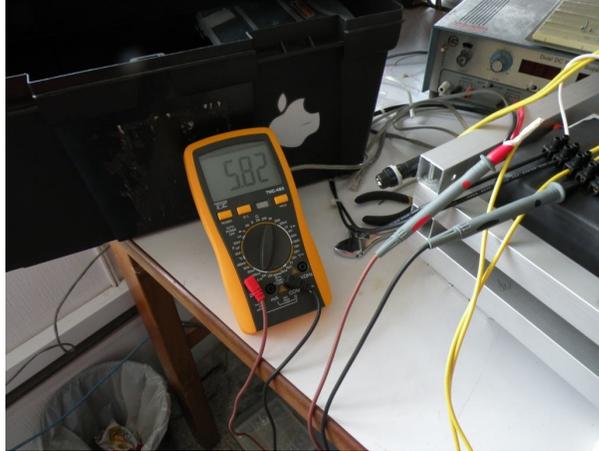


**Figura 2: Detalle de conexiones eléctricas del prototipo**

Todo el sistema de potencia esta resguardado por un fusible principal de 15 amperios y un interruptor principal para desconectar físicamente los componentes del sistema de la alimentación.

Para observar el correcto funcionamiento se puso a prueba el sistema y se midió la corriente consumida por los actuadores trabajando.

Como protección de sobre carga solamente está la protección que presenta la batería. Esta tiene un interruptor de sobre carga cuando se exige más de 14.1 Amperios a la batería el interruptor abre el circuito al que está conectado. El sistema de distribución no implementa este tipo de protección es recomendable que se instale un interruptor termo-magnético en el sistema.



**Figura 3: Consumo de corriente del prototipo durante las pruebas de laboratorio**

### **3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR DEL MÓDULO DE POTENCIA.**

Para desarrollar el módulo de potencia se debía utilizar un microcontrolador (MCU), el cual estuviera encargado de ejecutar un programa. En éste se establecen las salidas y entradas necesarias para que el prototipo de la silla de ruedas pueda operar con normalidad.

Se debía de elegir un dispositivo capaz de ejecutar dicha tarea de manera que, pudiera cumplir con los requerimientos del sistema. Los cuales son atender todas las entradas al módulo, salidas del módulo y tiempo de ejecución para la decisión de tareas de las que era responsable el módulo.

#### **Controlador del módulo de potencia**

Este controlador debía evaluar todas las variables que son importantes para el sistema de potencia, realizar decisiones a partir del estado de estas variables y establecer las salidas del sistema. Esta tarea está a cargo del dsPIC30F4011[8]. Este dispositivo es un controlador de señales digitales, en esencia es un microcontrolador estándar con mucho más hardware dedicado a tareas como la multiplicación y operaciones de punto flotante. Sumando mejoras de funcionamiento a los módulos comunes en un microcontrolador de microchip.

#### **Señales de PWM para puentes H**

Estas señales de PWM son las encargadas de especificar los parámetros de operación que debe de presentar el motor DC de manera instantánea. Las señales de control para los motores DC, están determinadas por los requerimientos del driver para motores DC a utilizar. Mediante este controlador de potencia, es posible modificar la velocidad y sentido de giro de un motor DC; utilizando solamente una señal de PWM para este propósito.

Los servomotores de giro continuo son servos modificados para tener la capacidad de tener un giro continuo, pero con un sistema de control de velocidad con lazo cerrado. La señal de control para este actuador es del mismo tipo de las señales generadas para el control de los motores DC. Buscando un mejor funcionamiento en el control de los servos, se decidió utilizar los módulos de output-compare que trae el dsPIC30F4011. En la tabla 2, se puede observar los valores que debe tomar la señal de PWM para que el servo trabaje en los modos de operación posibles.

Dado que se van a utilizar cuatro servomotores de giro continuo y el MCU tiene cuatro módulos de este tipo, no hay problemas para generar las señales de control de estos actuadores. La implementación del controlador del

módulo de potencia tiene una gran relevancia y el buen funcionamiento del controlador, establece que el prototipo de la silla de ruedas se desenvolverá de manera correcta en las tareas para las cuales fue diseñada.

**Tabla 2: Especificaciones de señales de PWM para control de servos de giro continuo**

<b>ancho de pulso (ms)</b>	<b>Estado de operación</b>
<b>1.5 &lt; PWM &lt; 1.9</b>	<b>Giro horario (velocidad variable)</b>
<b>1.5</b>	<b>Motor Detenido</b>
<b>1.1 &lt; PWM &lt; 1.5</b>	<b>Giro anti horario (velocidad variable)</b>

El programa que se ejecute en el controlador del módulo de potencia debe de estar optimizado para ser lo computacionalmente más eficiente posible. Esto tiene que ver con que los algoritmos implementados para el control de actuadores y lectura de sensores se ejecuten lo más rápido posible.

Una vez que se tienen el código implementado el cual es capaz de establecer en operación a los actuadores es necesario realizar pruebas de funcionamiento del sistema. Dentro de las primeras pruebas se establecieron las señales de control en función de un comando de movimiento y se observó el comportamiento del módulo al enviar un comando de movimiento mediante la aplicación de interfaz desarrollada.

### **Implementacion de PCB**

Después de tener los dispositivos que conforman el módulo de potencia trabajando en un protoboard, se vio en la necesidad de diseñar e implementar un PCB. Que contuviera los elementos para hacer funcionar el módulo de potencia. Se utilizó como herramienta de diseño Altium Designer 09 [18], y el proceso de desarrollo es el siguiente:

1. Realizar un esquemático en el programa Altium designer donde interconectan todos los elementos a utilizar para que el módulo de potencia opere.
2. Generar un template de PCB con los parámetros establecidos por los requerimientos de CNC a utilizar para fresar la tarjeta.
3. Importar los elementos del esquemático en la hoja de PCB
4. Colocar los elementos en el PCB, considerando la mejor ubicación posible
5. Hacer las rutas para la capa “*bottom layer*” del PCB para que la mayoría de rutas se realicen en esta capa del PCB
6. Hacer las rutas para la capa “*top layer*” del PCB
7. Revisar el PCB y realizar modificaciones para que todos los componentes se puedan soldar adecuadamente.
8. Soldar el PCB con los componentes.

Se realizó el esquemático del circuito, para después proceder a implementar el PCB donde, los tracks deben tener un ancho de 30 mills y los pads un ancho de 70 mills. El drill con una medida de 30mills. El clearance entre los tracks y pads debe ser de 30 mills también.

La colocación de los elementos del PCB, se realizó teniendo en cuenta la función del elemento, tamaño, y el grado de interacción con los demás componentes del PCB. Con esto se logra que los recorridos de los track no sean tan complicados y se optimice el diseño del PCB. En la figura 4 se observa el esquemático y en la figura 5 el PCB final.

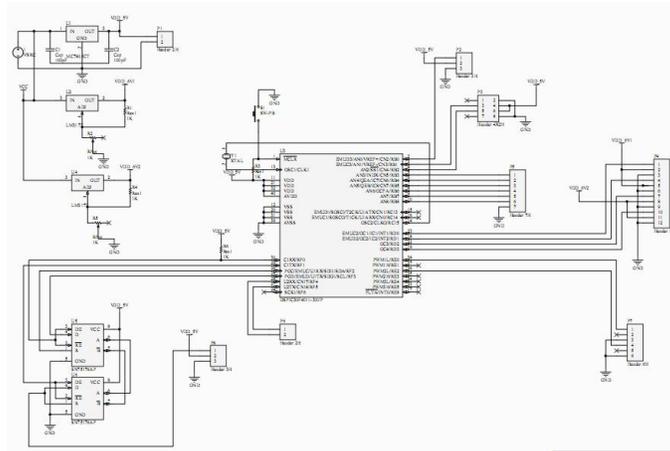


Figura 4: Esquemático del circuito de control de potencia

Se diseñó e implemento el PCB del módulo de potencia, donde las pruebas preliminares de la misma presento la presencia de voltajes parásitos dentro del PCB. Fue necesario realizar una labor de limpieza de las rutas, para corregir errores en el maquinado de la tarjeta.

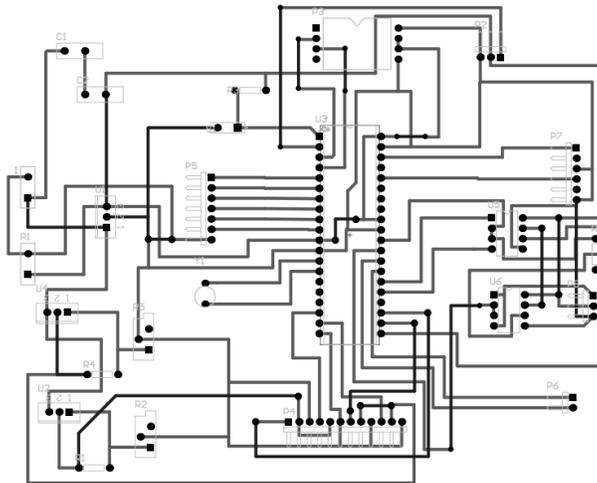


Figura 5: Caminos ruteados del PCB del módulo de potencia

#### 4. DESARROLLO DE APLICACIÓN DE PRUEBAS DEL MÓDULO.

Dado que el programa que ejecuta el controlador del módulo de potencia necesita de comandos de movimiento para funcionar fue necesaria una herramienta de software que permitiera realizar pruebas preliminares. Esta aplicación tiene la tarea de dar los comandos de movimiento con los cuales el módulo podía probar su funcionamiento. Esta aplicación se fue desarrollando de manera progresiva. Las tareas asignadas que debía de tener la aplicación son las siguientes:

1. Proveer de una interfaz visual para poder probar el funcionamiento de los componentes que forman el módulo de potencia.
2. Comunicarse con el controlador del módulo de potencia mediante el protocolo de comunicación serial RS232.
3. Estar desarrollada para poder sufrir cambios a medida que el proyecto fuera progresando en su ejecución.
4. Controlar el comportamiento operativo de los motores DC.

5. Controlar el comportamiento operativo de los servomotores de giro continuo.
6. Recibir información de realimentación del módulo de potencia.

La aplicación se implementó en la plataforma de desarrollo visual express 2010 C#[17], esta tiene una serie de librerías las cuales hacen más fácil la implementación de la aplicación y su comunicación con el controlador del módulo de potencia. Dentro de las librerías a destacar están las siguientes:

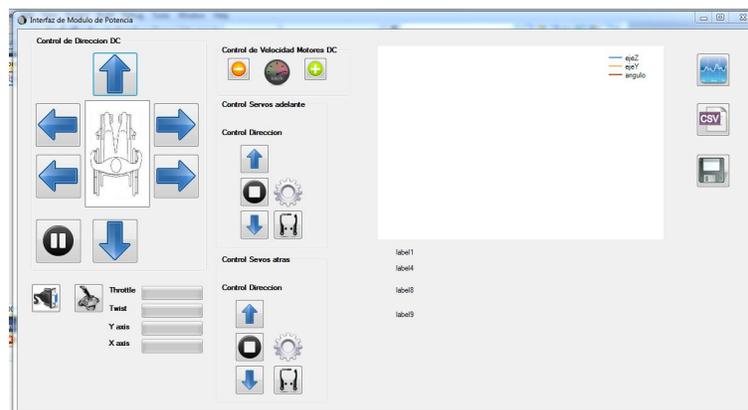
1. Librería para manejo de puerto serial
2. Librería para manejo de hardware periférico(joystick)
3. Librería para generación de graficas en tiempo real

El desarrollo de dicha aplicación se dio de manera progresiva, en medida que fue necesario se tornó más compleja y se fueron realizando cambios a la misma.

La comunicación del microcontrolador de potencia con las órdenes provenientes del módulo de interfaz humano – maquina presentan la necesidad implementar un canal de comunicación. Por lo cual al empezar a trabar en el desarrollo del programa del controlador de potencia se debía tomar en cuenta las órdenes que puede generar el usuario para que la silla responda. Es por esto que se construyó una aplicación preliminar para simular esta comunicación.

A medida que el desarrollo del módulo aumentó, la aplicación necesitó que fuera más compleja y presentar al usuario muchos más comandos. Fue necesario implementar una interfaz gráfica que fuera intuitiva para el manejo de los actuadores presentes en el prototipo de la silla de ruedas. De igual manera se fueron sumando actuadores al módulo, primero se establecieron las señales de control para hacer trabajar los motores DC y que el prototipo tuviera la habilidad de moverse sobre el plano X-Y, a continuación se observan las modificaciones al programa.

La aplicación llego a tener una integración tal que llego a tener gráficas y despliegue en pantalla de la información de retroalimentación proveniente del controlador del módulo de potencia a continuación la figura 6 muestra el desarrollo de la aplicación.



**Figura 6: Versión final de la aplicación de prueba del módulo de potencia**

La aplicación desarrollada presentó un buen desempeño al momento de realizar las pruebas preliminares del sistema, permitió de manera sencilla modificar los valores de operación de los actuadores.

Cuando se presentaron problemas en el comportamiento de drivers de los motores, la herramienta permitió depurar el problema dado que su funcionamiento permitía modificar los valores de las señales de control de los drivers de manera fácil desde la aplicación.

En el momento en que se empezó la fase de pruebas de campo del prototipo y aún no se contaba con la integración del módulo de interfaz humano-maquina la aplicación permitió realizar las pruebas de movimiento. Para esto se debió de entrelazar el programa con los eventos producidos por un joystick. Con esto fue posible realizar llamadas a los métodos escritos en el programa para establecer un movimiento en el prototipo de la silla.

## 5. CONCLUSIONES.

1. El módulo de potencia utiliza un dsPIC30F4011 como controlador principal, este puede atender las entradas del módulo y establecer las salidas para controlar los actuadores presentes en prototipo de la silla de ruedas, utilizando las cinco salidas de PWM, módulos de ADC y módulos de comunicación serial.
2. Se desarrolló un programa de interfaz PC para probar el funcionamiento del módulo de potencia conectado directamente al prototipo de la silla de ruedas, sin la necesidad de hacer funcionar el módulo de interfaz humano-máquina. Además, esta aplicación fue imprescindible para las pruebas de campo del prototipo de la silla.
3. Para mejorar el sistema de control de la silla se recomienda la implementación de una red de sensores más compleja, donde el procesamiento de imágenes puede ser una técnica efectiva para esquivar obstáculos.
4. Para que el proceso de comunicación sea mejor entre el programa de interfaz PC de monitoreo y el prototipo, se recomienda que se utilicen módulos de comunicación full-duplex.

## 6. REFERENCIAS.

- [1]. Tamara T. Sowell (1985), Wheelchair development, standards, progress, and issues: A discussion with Colin McLaurin, Sc .D. Editorial. País.
- [2]. Microchip Technology(2003), Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, [online].Available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>
- [3]. Microchip Technology (2003), Brushless DC Motor Control Made Easy, [online].Available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00857a.pdf>
- [4]. Microchip Technology (2004), Sensored BLDC Motor Control Using dsPIC30F2010, [online]. Available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/BLDC%20MC%2000957a.pdf>
- [5]. Microchip Technology (2004), Brushed DC Motor Fundamentals,[online]. Available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00905a.pdf>
- [6]. Microchip Techonology(2008), Brushless DC Motor Control Using PIC18FXX31 MCUs, [online]. Available [http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1824&appnote=en012145](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en012145)
- [7]. Microchip Technology (2006), dsPIC30F Family Reference Manual, [online]. Available [http://www.microchip.com/stellent/groups/techpub\\_sg/documents/devicedoc/en026096.pdf](http://www.microchip.com/stellent/groups/techpub_sg/documents/devicedoc/en026096.pdf)
- [8]. Microchip Technology(2008), *dsPIC30F4011 data sheet* [online]. Available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70135G.pdf>
- [9]. PARALLAX INC, *Motor Mount and Wheel Kit with Position Controller* [online] Available <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/motors/27971-MotorMount-v1.3.pdf>
- [10]. PARALLAX INC, *HB-25 Motor Controller*, [online] Available <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/motors/HB-25MotorController-V1.2.pdf>
- [11]. DIMENSION ENGINEERING, *Sabertooth dual 12A motor driver*, [online] <http://www.dimensionengineering.com/Sabertooth2X12.htm>
- [12]. HITEC, *HS-7955TG High Torque Titanium Gear Coreless Servo*, [online] Available <http://www.hitecrd.com/products/digital/premium-digital/hs-7955tg.html>

- [13]. Fairchild Semiconductor (2011), *KA78XX/KA78XXA* 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator datasheet [online] available <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>
- [14]. Fairchild Semiconductor (2011), *LM317* 3-Terminal Positive Adjustable Regulator datasheet, [online] available <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM317.pdf>
- [15]. Texas Instruments (2003), *SN75176 DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVERS* datasheet, [online] available <http://www.ti.com/product/sn75176b>
- [16]. Mikroe, *mikroC for dsPIC V 4.1* [online] available <http://www.mikroe.com/eng/products/view/231/mikroc-pro-for-dspic>
- [17]. Microsoft (2010), *visual c# 2010 EXPRESS*, [online] available <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/visual-csharp-express>
- [18]. Altium (2009), *Altium designer*, [online] available <http://products.live.altium.com/>
- [19]. González, Erick G. INNOVA: “*Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la Electroencefalografía.*”, Módulo Interfaz Cerebro-máquina, Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, 2011.
- [20]. Martínez, Álvaro; INNOVA: “*Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la Electroencefalografía.*”, Módulo de comunicaciones inalámbrica, Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, 2011.
- [21]. Cuevas, César A. INNOVA: “*Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la Electroencefalografía.*”, Módulo de Mecánica, Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, 2011.
- [22]. Microchip Technology (2003), *Servo Control of a DC-Brush Motor*, [online] available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00532c.pdf>
- [23]. Microchip Technology (2004), *Stepping Motors Fundamental*, [online] available <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00907a.pdf>
- [24]. Reina, Luis F. ANIMA: “*Métodos no convencionales de interfaz en el control de robots a través de la electroencefalografía y la electrooculografía*”, Módulo PRE, Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, 2009.
- [25]. Berliner González, Alejandro; Chacón Cabrera, Ana Regina; Delgado, Rüegg, Diego; González Godoy, Estuardo; *Prótesis biónica de una mano humana*, Departamento de electrónica 2008.