

# Aplicación en android para maniobrar una silla de ruedas eléctrica<sup>1</sup>

## Android app to command an electric wheelchair

José Noguera\*  
Sergio Guerrero\*\*  
Omar Carreño\*\*\*  
Luis Arias\*\*\*\*

### RESUMEN

En el presente artículo se muestran los resultados del proyecto "Aplicación Android para silla de ruedas, que permita controlarla por comandos de voz, pantalla táctil y programación de ruta", financiado por la Universidad Cooperativa de Colombia. Se presenta una aplicación en sistema operativo Android que controla una silla de ruedas eléctrica para uso de personas que presenten movilidad reducida con el fin de mejorar su calidad de vida y desarrollo en la sociedad. Este aplicativo se desarrolló por medio de la interfaz de Android Studio con el fin de reducir los costos de implementación gracias a su estrategia de Open Source (Código Libre). En este prototipo de silla de ruedas se presenta 4 sensores ultrasónicos para detectar la proximidad de objetos, tacos de protección, un sistema de carga de baterías con un panel solar, un joystick para manipular la silla, una tarjeta de distribución de señales de entrada y salida del prototipo y un dispositivo Arduino, que se encarga de procesar e interpretar los datos provenientes de la aplicación, sean éstos de voz, panel táctil o programación de ruta, a través de un módulo WiFi CC3000 de arduino que gestiona el envío de señales a la etapa de potencia. La etapa de potencia emplea un circuito Puente H para el cambio de dirección en los motores.

**Palabras clave:** aplicación Android; silla de ruedas eléctrica; control por voz; motores DC; programación de ruta; Arduino.

### ABSTRACT

The current paper presents the results of "Android Application wheelchair, which allows control by voice commands, touch screen and path programming" project, financed by the Universidad Cooperativa de Colombia. A mobile app is developed on Android operating system to control an electric wheelchair. An app under Android OS is presented, which controls a wheelchair and is intended to be used by persons with reduced mobility in order to improve their quality of life and their development in society. This application was developed in Studio Android interface in order to reduce implementation costs thanks to its strategy of Open Source (open source). In this prototype wheelchair four ultrasonic sensors are presented to detect the proximity of objects, protection circuit breakers, a batteries charging system with a solar panel, a joystick to manipulate the chair, an input and output distribution board of the prototype and an Arduino device, which is responsible for processing and interpreting the data from the application, whether voice, touch panel or programming route through a WiFi CC3000 module Arduino managed by sending signals to the power stage. The power stage uses an H bridge circuit for changing direction in the engines.

**Keywords:** Android App; Electric wheelchair; Voice control; DC motors; path programming; Arduino.

Como citar este artículo:

J. Noguera, S. Guerrero, L. Arias, "Aplicación en android para maniobrar una silla de ruedas eléctrica". *Ingeniare*, N°. 20, pp. 74-92, 2016.

<sup>1</sup> Título proyecto de investigación: Sistema de Control con Redes Neuronales para Silla de Ruedas Asistida por Comandos de Voz, Programación de Ruta, manejada por Aplicación Celular y con un Sistema de Carga mediante Celdas Solares. Grupo de Investigación: Ingeniería Sostenible e Inteligente, ISI. Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia.

\* Ingeniero Electrónico. Magíster en Ingeniería. Profesor Investigador Universidad Cooperativa de Colombia, Santa Marta. jose.noguerap@campusucc.edu.co. Grupo de Investigación: Ingeniería Sostenible e Inteligente, ISI.

\*\* Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Santa Marta. sergio.guerrero@campusucc.edu.co.

\*\*\* Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Santa Marta. oamr.carreño@campusucc.edu.co.

\*\*\*\* Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Santa Marta. luis.ariasme@campusucc.edu.co.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1] un número mayor a mil millones de personas viven en todo el mundo con algún tipo de discapacidad y de éstas alrededor de 200 millones experimentan dificultades considerables en su funcionamiento motor. Se prevé que en los próximos años la discapacidad será un motivo de preocupación aún mayor, dado que su prevalencia se encuentra en aumento. Esto se debe a que la población está envejeciendo y el riesgo de discapacidad es mucho mayor entre los adultos mayores, y también al aumento mundial de enfermedades crónicas tales como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y los trastornos de la salud mental entre otros.

Como se menciona en el informe mundial sobre la discapacidad de la Organización Mundial de la salud [2], y las referencias ahí contenidas, la discapacidad es compleja, cambiante, de múltiples dimensiones y objeto de discrepancia. Los movimientos sociales de personas con discapacidad, junto con numerosos investigadores de las ciencias sociales y de la salud, han identificado la función de las barreras sociales y físicas presentes en la discapacidad. El cambio que implica pasar de una perspectiva individual y médica a una perspectiva estructural y social ha sido documentado como la transición de un modelo médico a un modelo social, en el cual las personas son consideradas discapacitadas por la sociedad más que por sus cuerpos.

Según la OMS [3], una lesión medular hace referencia a los daños sufridos en la médula espinal como una consecuencia de un traumatismo o una enfermedad o degeneración. Se calcula que su incidencia mundial anual oscila entre 40 y 80 casos por millón de habitantes, teniéndose que hasta un 90% de esos casos se deben a causas traumáticas, aunque la proporción de lesiones medulares de origen no traumático parece ir en aumento. Las personas con lesiones medulares son entre dos y cinco veces más propensas a morir prematuramente que las que no los padecen; las tasas de supervivencia más bajas corresponden a los países de ingresos bajos y medios. Las lesiones medulares se asocian a menores tasas de escolarización y participación económica y suponen un costo importante tanto para quienes las padecen como para la sociedad en su conjunto. Las lesiones medulares pueden obligar a una persona a depender de sus cuidadores. A menudo hacen falta diversas tecnologías asistenciales para facilitar la movilidad, la comunicación, la autoasistencia o las actividades domésticas. Se estima que entre un 20% y un 30% de las personas con lesiones medulares presentan signos clínicamente significativos de depresión; esta, a su vez, puede repercutir negativamente en el funcionamiento personal y en el estado general de salud de los afectados.

Desde el año 1869, la silla de rueda ha sido una importante herramienta para todas aquellas personas que sufren de algún problema de locomoción o movilidad reducida, esta pieza ha sido ampliamente estudiada y rediseñada para adaptarse a las necesidades de las personas, la silla de ruedas eléctrica

nos provee de un uso tecnológico avanzado con muchos componentes que facilitan y brindan una mejor calidad de vida diaria. [4]

De esta forma, la presente investigación tiene como objetivo principal el desarrollo de una silla de ruedas a la cual se le adapta un sistema electro-mecánico y circuito de acondicionamiento de señales para que una persona con paraplejia la pueda operar a partir de diversos medios como voz, panel táctil celular o programación de ruta.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Según el diccionario de la Real Academia Española<sup>2</sup> un discapacitado es una persona “que padece una disminución física, sensorial o psíquica que la incapacita de forma total o parcial para un trabajo o actividades ordinarias de la vida” y según el diccionario de Real Academia Nacional de Medicina [5], la paraplejia es una enfermedad en la cual la mitad inferior de cuerpo queda paralizada y carece de funcionalidad, como consecuencia de una lesión medular o una enfermedad congénita, entre otras. Por tales motivos, las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores son tachadas de por vida por el hecho poseer dificultad de valerse por sí solas y son colocadas en una posición de inferioridad. De tal forma, la situación conlleva a la siguiente pregunta problema: ¿Qué máquina tecnológica puede ser implementada para mejorar la calidad de vida de las personas parapléjicas?

Este trabajo pretende, implementar un módulo de asistencia en la interacción y comunicación con el entorno cercano para esta población discapacitada como lo son las parapléjicas, que aunque se encuentran sumergidas en un alto nivel de discapacidad física e inmovilidad, tienen la lucidez mental y el control suficiente en sus extremidades superiores para maniobrar este dispositivo y así poder desenvolverse dentro de su entorno cotidiano.

A través de los años el desarrollo de la silla de ruedas ha venido evolucionando, buscando nuevas mejoras que les faciliten la movilidad a las personas que sufren de paraplejia o discapacidad en las extremidades inferiores. Por tal motivo, son diferentes los esfuerzos que se han realizado a nivel mundial por diferentes organizaciones en aras de mejorar la calidad de vida de esta población discapacitada.

En ese sentido, los autores referenciados en [6] de la Universidad Nacional de Chimborazo en Ecuador desarrollaron una silla de ruedas que opera por medio del reconocimiento del globo ocular humano usando técnicas de visión artificial para realizar el movimiento direccional, la cual es operada con personas con discapacidad en sus extremidades.

---

<sup>2</sup> Definición de la palabra “discapacitado” encontrada en la 23ª edición en línea del Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua.

Los investigadores en [7] construyeron una silla de ruedas energizada por paneles solares, el prototipo hace uso de una silla de ruedas eléctrica estándar a la cual se le implementa un sistema mecánico que despliega los paneles desde la parte posterior de la silla hasta la parte superior de la misma, quedando éstos posicionados para recibir la luz solar. Con este proyecto ganaron el premio del World Cerebral Palsy Day donde recibieron un premio de veinte mil dólares (\$20.000 USD).

En este trabajo [8] proponen un método de control de desacoplamiento diagonal avanzado para sistemas de silla de ruedas eléctrica. Este método de control se basa en una combinación de la técnica de diagonalización sistemática y el diseño de control de red neural. Como tal, este método de control reduce los efectos de acoplamiento en un sistema multivariable, dando lugar a procedimientos de diseño de control independientes. El uso de un modelo dinámico obtenido, el problema del cálculo Jacobiano de la planta se elimina en un diseño de control de la red neural. La eficacia del método de control propuesto se verifica en una aplicación en tiempo real en un sistema de silla de ruedas eléctrica.

En [9] los autores presentan un diseño de un sistema automatizado de silla de ruedas eléctrica que integra las últimas tecnologías, para ayudar a los usuarios con discapacidad motora, en el desplazamiento de la misma y en el envío de mensajes de ayuda a cuatro destinos diferentes por medio de mensajes SMS. Un usuario puede mover la silla de ruedas con una de las tres técnicas integradas en ella: un joystick, botones de dirección o de voz. Por otra parte, la velocidad de la silla de ruedas se puede controlar mediante dos botones (lento y rápido). Para el reconocimiento de los comandos de voz, el sistema utiliza wavelets (Ondículas) y redes neuronales para la extracción de características y la clasificación, respectivamente. En este contexto, y teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, la razón principal del presente proyecto es contribuir a la solución de una dificultad, que en la vida práctica es un problema sin solución inmediata y con esto encontrar un aporte significativo desde el ámbito de la electrónica en mejorar la calidad de vida de la población afectada con paraplejía.

Como afirman los autores [10], la silla de ruedas refleja un importante aspecto de independencia y calidad de vida en personas con discapacidad en sus extremidades, por lo tanto, la realización de mejoras a ésta, será consecuentemente una mejora positiva a los dos indicadores anteriores. [11]

De esta forma, la investigación presentada en este artículo tuvo como objetivo principal el desarrollo de una silla de ruedas a la cual se le adapta un sistema electro-mecánico y circuito de acondicionamiento de señales para que una persona con paraplejía la pueda operar a partir de diversos medios como voz, panel táctil celular o programación de ruta. La elección de los dispositivos, componentes electrónicos y software se determinó de forma que fueran fácilmente asequibles, fácilmente programable, open source y a bajo precio.

### 3. CONCEPTOS

#### 3.1. Odometría

Según [12] Odometría es el método más utilizado para determinar la posición momentánea de un robot. En las aplicaciones más prácticas de odometría se ofrece fácil acceso al posicionamiento en tiempo real mediante el uso de sensores especializados, la frecuencia a la que las medidas absolutas se deben llevar a cabo depende en gran medida de la precisión del sistema de odometría. En el presente trabajo se tuvo en cuenta la relación de un temporizador interno en la aplicación android y la distancia recorrida con marcas en el suelo.

#### 3.2. Android

Android es un sistema operativo multi-dispositivo, inicialmente diseñado para teléfonos móviles. En la actualidad, se puede encontrar también en múltiples dispositivos, como ordenadores, tabletas, GPS, televisores, discos duros multimedia, mini ordenadores, cámaras de fotos, etcétera. Incluso se ha instalado en microondas y lavadoras. [13]

#### 3.3. Android Studio

La interface se desarrolló en Android, por ser una plataforma de desarrollo libre para aplicaciones con gran riqueza e innovaciones (sensores, localización, servicios, etc.). “Una de las mayores fortalezas del entorno de aplicación de Android es que se aprovecha del lenguaje de programación Java. El SDK de Android no acaba de ofrecer todo lo disponible para su estándar del entorno de ejecución Java (JRE), pero es compatible con una fracción muy significativa de la misma”. Su sencillez, junto a la existencia de herramientas de programación gratuitas, es principalmente la causa de que existan cientos de miles de aplicaciones disponibles, que amplían la funcionalidad de los dispositivos y mejoran la experiencia del usuario. [13].

#### 3.4. Actividades (Activities)

Una pantalla única con una interfaz de usuario se denomina actividad, por ejemplo, una aplicación de correo electrónico puede tener una actividad que muestra una lista de correo electrónico nuevo, otra actividad que compone un correo y otra actividad que lee los mensajes. Aunque las actividades trabajan conjuntamente para dar la sensación de una única aplicación, cada una de ellas es autónoma de las otras. Por lo tanto, otra aplicación externa diferente podría arrancar cualquiera de estas actividades (si la aplicación de correo electrónico lo permite). Por ejemplo, una aplicación que gestiona los contactos podría iniciar la actividad que compone nuevos mensajes de correo indicando como destinatario del mensaje al contacto elegido en la primera aplicación. Tal como se muestra en la Figura 1 podemos ver dos actividades interactuando entre sí, una actividad invoca a la otra, para el usuario esto sería como pasar página en un libro. [14]

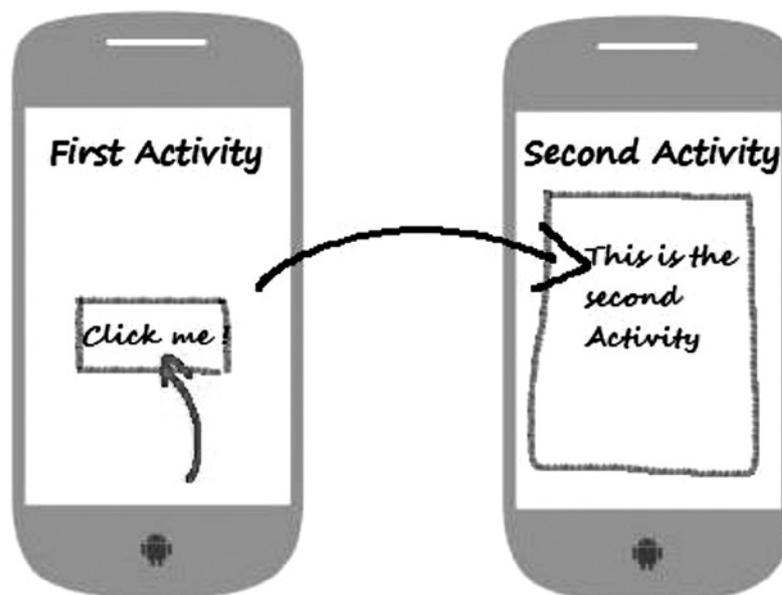


Figura 1. ejemplo de una “activity”

Fuente: (<http://www.itcsolutions.eu/2011/08/31/android-tutorial-how-to-create-and-display-a-new-form-window-or-activity/>)

### 3.5. Servicios (Services)

Un servicio es aquel componente que se ejecuta en segundo plano y no está en constante uso, es decir, realiza operaciones cada cierto tiempo. Un servicio no brinda una interfaz gráfica al usuario, por ejemplo, un servicio puede reproducir música en segundo plano mientras el usuario está en otra aplicación, o puede obtener información de Internet sin la interacción del usuario. Un servicio es implementado a partir de la clase Java Service. 2

### 3.6. Módulo Arduino

Según [15], un módulo Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basado en un hardware y el software fácil de usar. Está dirigido a cualquier persona que realice proyectos interactivos. Fue inventado por primera vez en finales de 2005 en Ivrea, Italia por Massimo Banzi y David Cuartielles y consiste básicamente de una pieza sencilla de hardware [16].

Arduino Mega 2560 R3 es una placa más grande que el Arduino Uno y en comparación a ésta última posee más entradas, salidas y más potencia de procesamiento. El Mega tiene 54 pines digitales y 16 pines analógicos en comparación con los 15 digital y 6 pines analógicos de la Uno [17]. Con el módulo Arduino se le dan las instrucciones al circuito Puente H para operar los motores de la silla.

### 3.7. Módulo CC3000

Según [18] el módulo CC3000 es un procesador de red inalámbrica independiente que simplifica la implementación de la conectividad a Internet. El módulo CC3000 Wi-Fi simplifica el diseño y crea una mejor experiencia de usuario para aplicaciones tales como la automatización del hogar, electrodomésticos, energía inteligente, seguridad y salud y bienestar. Este módulo posee un regulador de 3.3V a bordo que pueda manejar la corriente máxima de 350 mA, y un cambiador de nivel para permitir nivel lógico 3 o 5V, este no posee una antena. Combinando éste módulo con el Arduino es como la silla de ruedas recibe la información desde el dispositivo Android.

### 3.8. Puente H

Según [19], “Un puente H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso”. Estos componentes electrónicos son usados ampliamente en el campo de la robótica como convertidores de potencia.

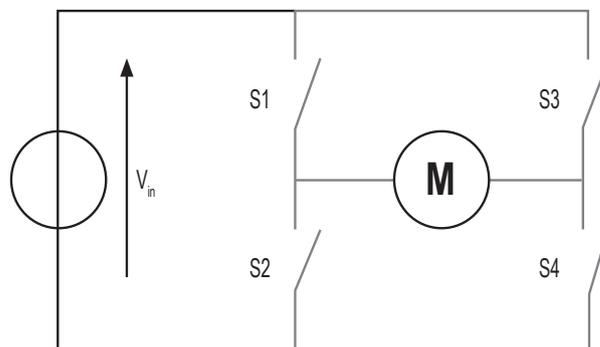


Figura 2. Estructura de un puente H.

Fuente [22]

Los puentes H son utilizados en la construcción de una silla de ruedas automatizada para invertir el giro de un motor, manipulando con señales lógicas entre 5 y 0 voltios los interruptores S1, S2, S3 y S4 (como se observa en la Figura 2), pero a su vez puede usarse para frenarlos (de una manera brusca), al hacer un corto entre las bornes del motor, o hasta puede usarse para permitir que el motor frene bajo su propia inercia, es decir, cuando desconectamos el motor de la fuente de energía que lo alimenta [20].

En el presente proyecto, las señales lógicas provenientes del módulo Arduino entran al circuito puente H para controlar los motores de la silla de ruedas, como se muestra mas adelante en la sección de *Resultados*, subtema *Procesamiento de las señales del celular y sistema de potencia*. Cabe mencionar que el arranque de la silla de ruedas se realiza variando la señal de activación del puente H como se observará en la Figura 11, en la entrada PWM y las señales de referencia para girar la silla en las entradas M1 y M2. Dentro del trabajo futuro se ha contemplado el desarrollo y prueba de sistemas de

control automático como un PID, MPC y Redes Neuronales de tal forma que se optimice el arranque en términos del consumo de energía y el seguimiento de señales de referencia.

#### **4. METODOLOGÍA**

Las investigaciones pueden ser de diferentes tipos, bien sea de campo, de proyectos especiales, factibles o de tipo documental, todo esto según [21]. La presente investigación es del tipo factible puesto que está en concordancia con los objetivos planteados y la finalidad con la que se desarrolló el proyecto, es decir, se desarrolla un prototipo orientado a proporcionar una solución a un problema planteado en un ambiente real. Este proyecto se apoyó en un diseño de campo, puesto que los datos requeridos para la investigación fueron obtenidos directamente de una silla de ruedas en funcionamiento.

Para alcanzar el éxito de los objetivos planteados, el desarrollo del proyecto se ha separado en fases según la metodología de descomposición de trabajo WBS (Work Breakdown Structure) y basando la constitución y desarrollo de las actividades en la gestión de proyectos, que es la disciplina que permite gestionar de manera organizada y administrar recursos de manera tal que se pueda alcanzar con éxito los objetivos dentro del alcance, el tiempo y los costos definidos. En este orden de ideas y teniendo en cuenta lo expuesto por [22] el tipo de investigación es mixta porque recolecta, analiza y vincula datos cualitativos y cuantitativos en un solo proyecto de investigación.

#### **5. RESULTADOS**

##### **5.1. El prototipo de silla de ruedas**

La silla de ruedas se compone de un banco de baterías panel solar de 80W y un controlador de carga solar que indica el nivel de carga de la batería, este a su vez sirve para mantener con energía el controlador Arduino a través del puerto USB que posee. El prototipo tiene un sistema de protección con breakers para evitar el daño de los circuitos por sobre carga de energía. El módulo de potencia conformado por el puente H, la tarjeta de distribución y el procesamiento de datos por el Arduino se explican más adelante; anexo a esto, el sistema cuenta con sensores de movimiento y un joystick, estos componentes se están trabajando en el macro proyecto denominado “Aplicación Android para silla de ruedas, que permita controlarla por comandos de voz, pantalla táctil y programación de ruta”.

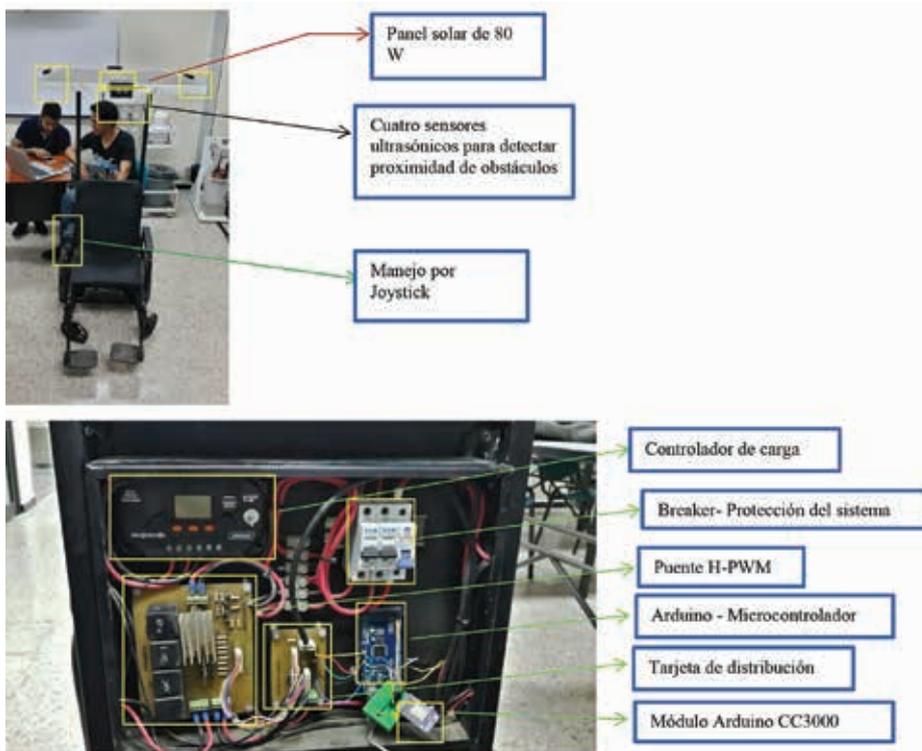


Figura 3. Componentes del prototipo silla de ruedas

Fuente: Elaboración propia

### 5.2. Pruebas aplicación Android

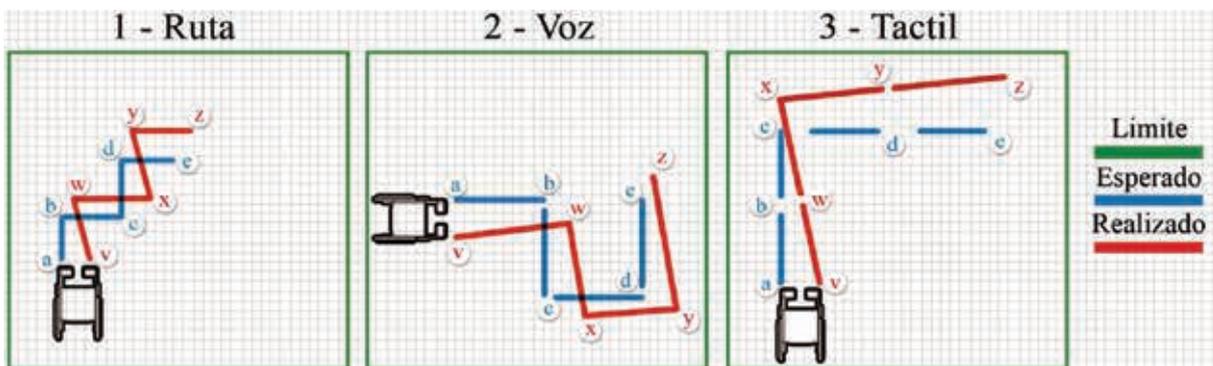


Figura 4. Mapa de pruebas

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se representa el mapa de las pruebas realizadas en un ambiente controlado cual está representado de color verde en todas las etapas, el color azul representa el movimiento esperado, y

el color rojo el movimiento realizado por la silla. En las tablas 1, 2, 3 se pueden observar los valores obtenidos en las pruebas.

Los datos de las pruebas realizadas en el método de control de ruta pueden verse reflejadas en la tabla 1, las cuales fueron realizadas en un espacio abierto delimitado de 18 x 22,8 metros. Los datos de las pruebas realizadas en el método de control por comando de voz pueden verse reflejadas en la tabla 2 las cuales fueron realizadas en un espacio abierto delimitado de 18 x 22,2 metros. Los datos de las pruebas realizadas en el método de control por pantalla táctil pueden verse reflejadas en la tabla 3 las cuales fueron realizadas en un espacio abierto delimitado de 18 x 22,8 metros.

En el mapa número 1 de la Figura 4 (sección izquierda, 1-Ruta) se describe el movimiento realizado por la silla de ruedas utilizando el método de control ruta definida. Para este recorrido se trazó dibujando una ruta de varios tramos en el aplicativo android representada en la Figura 5. Como se puede observar nuevamente en la Figura 4 mapa 1, en los tramos v hasta w se presentó un desvío aproximado de 5°, w hasta x se presentó un desvío aproximado de 4,5°, de x hasta y se presentó un desvío aproximado de 10°, de y hasta z presento un desvío de 15°, estos desvíos se deben a que el sistema de la silla de ruedas cuenta con dos motores los cuales van a velocidades distintas, también varía por la carga que tenga en la batería al momento de arrancar, también es debido a que en este proyecto no se implementó un sistema de odometría basado en sensores, por lo cual el sistema no sabe realmente como se debe ubicar en el espacio. En el aplicativo el diseño de ruta ya viene previamente diseñado para esperar cierto tiempo entre los comandos. En los cuales 3 segundos representan 3 metros, los trazos realizados en la pantalla son independientes de su distancia, esto quiere decir que no importa el tamaño del trazo realizado, pues siempre va representar el mismo tiempo de envío.

**Tabla 1. Detalles del mapa N1, pantalla ruta**

Tramo	Distancia	Esperado	Realizado
De a hasta b	3 metros	x	
De b hasta c	4,2 metros	x	
De c hasta d	3,6 metros	x	
De d hasta e	4,2 metros	x	
De v hasta w	4,8 metros		x
De w hasta x	5,4 metros		x
De x hasta y	3,6 metros		x
De y hasta z	5,4 metros		x

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5. Ruta definida en el aplicativo desde el dispositivo móvil**

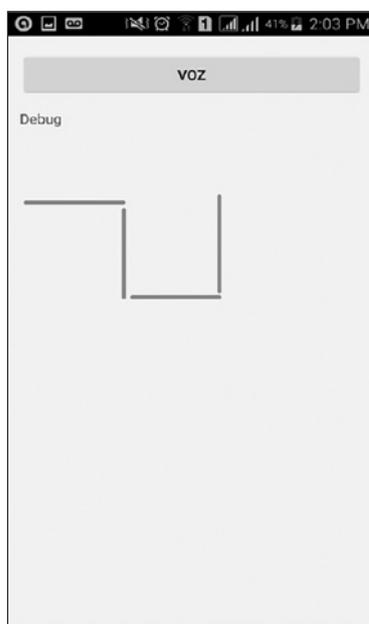
Fuente: Elaboración propia

En el mapa número 2 de la Figura 4 (sección del medio, 2-Voz) se describe el movimiento realizado por la silla de ruedas utilizando el método de control por voz. Para realizar este recorrido se le dice con voz pausada los siguientes comandos al aplicativo android; adelante, detener, derecha, detener, adelante, detener, izquierda, detener, adelante, detener, izquierda, detener, adelante, detener, representados en la Figura 6. Como se puede observar nuevamente regresando a la Figura 4, mapa 2, en los tramos v hasta w se presentó un desvío aproximado de 4°, w hasta x se presentó un desvío aproximado de 8°, de x hasta y se presentó un desvío aproximado de 5°, de y hasta z presento un desvío de 7°, estos desvíos son de esperarse tal como se explicó anteriormente. Se enviaron datos desde el aplicativo con tiempo intermedio de 3 segundos. Los cuales representaron aproximadamente 6 metros.

**Tabla 2. Detalles del mapa N2, por comando de voz**

Tramo	Distancia	Esperado	Realizado
De a hasta b	6,6 metros	X	
De b hasta c	6,6 metros	X	
De c hasta d	6,6 metros	X	
De d hasta e	6 metros	X	
De v hasta w	8,4 metros		x
De w hasta x	8,4 metros		x
De x hasta y	9 metros		x
De y hasta z	10,5 metros		x

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6. Ruta por comando voz en el aplicativo**

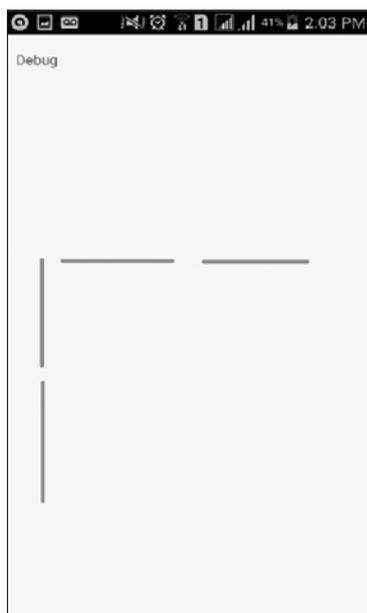
Fuente: Elaboración propia

En el mapa número 3 de la figura 4 (sección derecha, 3-Táctil) se describe el movimiento realizado por la silla de ruedas utilizando el método de control por pantalla táctil. Para realizar este recorrido, a diferencia del modo de ruta definida, donde se dibujan varios tramos y después la silla hace el recorrido, en éste modo la pantalla táctil simula un joystick o botones, es decir, si se dibuja hacia adelante en la pantalla táctil la silla se mueve hacia adelante inmediatamente mientras se mantenga el dedo sobre la pantalla. Al momento de levantar el dedo la silla se detiene. Si se dibuja hacia la derecha la silla va a empezar a girar en sentido de las manecillas del reloj hasta que se levante el dedo de la pantalla táctil. En el aplicativo android, los comandos ejecutados en este modo de operación se representaron en la Figura 7. Como se puede observar nuevamente retornando a la Figura 4, mapa 3, en los tramos de v hasta w se presentó un desvío aproximado de  $10^\circ$ , w hasta x se presentó un desvío aproximado de  $10^\circ$ , de x hasta y se presentó un desvío aproximado de  $5^\circ$ , de y hasta z presento un desvío de  $5^\circ$ , como se logra apreciar los grados desvíos en los dos primeros tramos se deben a que van en la misma dirección y sentido, lo mismo pasa en los siguientes dos tramos, dichos desvíos son de esperar tal como se explicó anteriormente. En el aplicativo, mantener presionada la pantalla 3 segundos representa aproximadamente 3 metros.

**Tabla 3. Detalles del mapa N3, panel táctil**

Tramo	Distancia	Esperado	Realizado
De a hasta b	4,2 metros	x	
De b hasta c	5,4 metros	x	
De c hasta d	5,4 metros	x	
De d hasta e	5,4 metros	x	
De v hasta w	7,2 metros		x
De w hasta x	6,2 metros		x
De x hasta y	6 metros		x
De y hasta z	6,6 metros		x

Fuente: Elaboración propia



**Figura 7. Ruda por pantalla táctil en el aplicativo**

Fuente Elaboración propia

La ruta esperada se marcó en el suelo del espacio donde se realizaron las pruebas lo que hace más precisa la obtención de los datos de desvío. Es de resaltar que en todas las pruebas realizadas el recorrido de la silla se desplazó más de lo indicado en todos los tramos, esto es debido a las imprecisiones explicadas anteriormente y también al tiempo que hay entre los envíos y la recepción de datos. Cabe mencionar otros factores ajenos al aplicativo como por ejemplo:

- 1) La cantidad de presión de aire que posee cada llanta.
- 2) La alineación de las llantas y lubricación de las mismas.

### 5.3. Desarrollo mecánico

Como se observa en la Figura 12, sección izquierda, en las partes seleccionadas, se soldaron barras metálicas para obtener mayor soporte, puesto que se va a someter a un peso que varía dependiendo la contextura del usuario y también sirve para alojar la batería que energiza el sistema. También se adecuaron llantas de menor radio, que permiten el ajuste de la relación de piñonería y cadena para darle más fuerza al movimiento de las ruedas [25]. También fue necesario el uso de un torno industrial para alinear las llantas con los motores. Se colocan los dos motores DC en bases metálicas y una relación de cadena y piñón doble como se observa en la Figura 12, sección derecha.

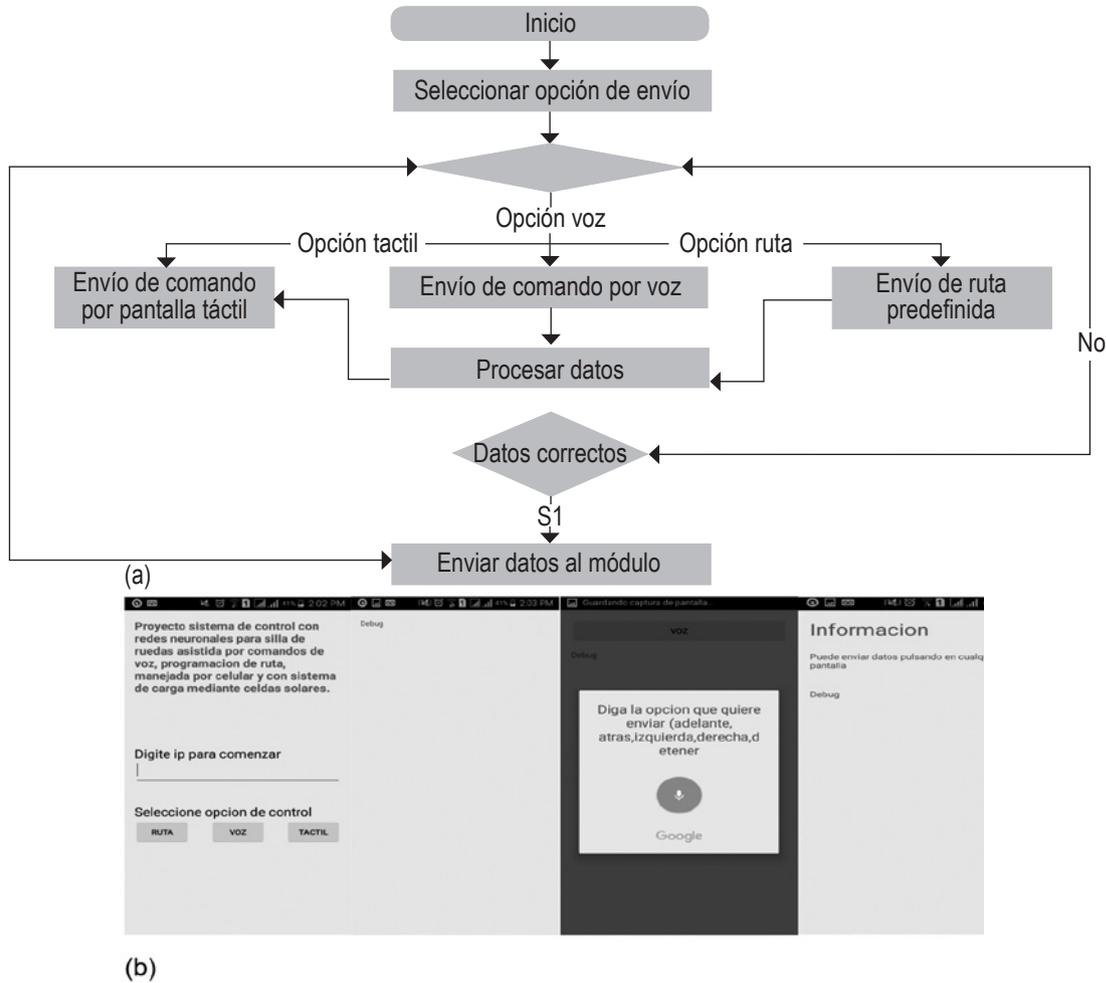


**Figura 8. Sección izquierda; bases para motores, soporte y batería. Sección derecha; relación doble de cadena y piñonería**

Fuente: Elaboración propia

### 5.4. Procesamiento de las señales del celular y sistema de potencia

La aplicación móvil se desarrolló con la herramienta Android Studio, la cual es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en Inglés) que permite crear aplicaciones para el sistema operativo Android [26]. En la Figura 9, parte (a), se puede observar el diagrama de flujo que sigue la aplicación para gestionar el envío de los datos al módulo Wi-Fi y sistema Arduino de la silla de ruedas. En la Figura 9 parte (b) se observan los pantallazos de la aplicación desarrollada en Android. El pantallazo inicial que permite establecer cual será el tipo de manejo que se realizará sobre el prototipo, por panel táctil, por voz o por programación de ruta. La pantalla de programación de ruta permite hacer un dibujo de la ruta a seguir por la silla (fase que se encuentra en desarrollo y que permitirá en un futuro que la silla se movilice usando un mapa arquitectónico del lugar). La pantalla de comandos por voz usa las librerías internas de android para gestionar la identificación de tres palabras; adelante, atrás, izquierda, derecha y detener y realizar el envío de los datos al sistema Arduino.

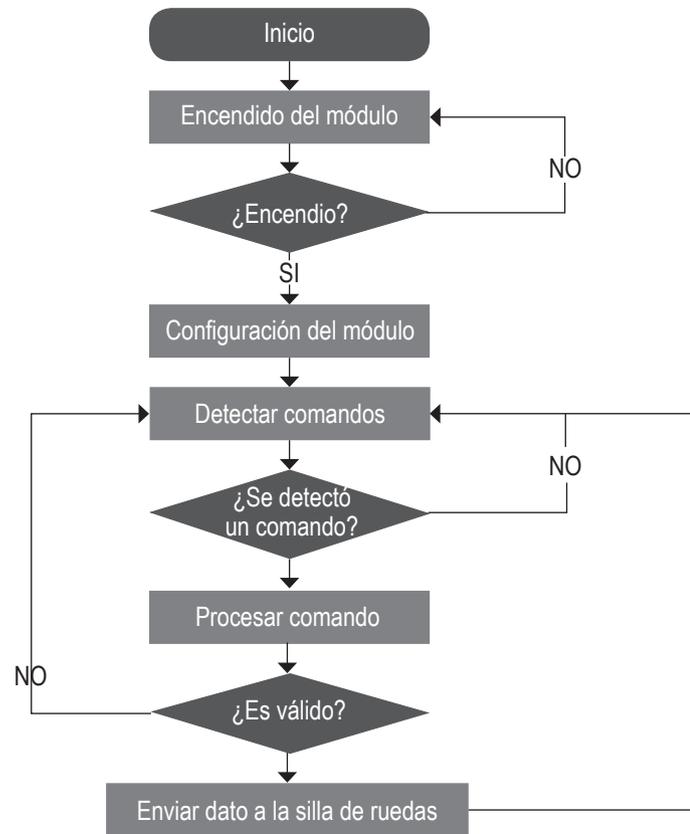


**Figura 9. Parte (a); diagrama de flujo del proceso de envío de datos desde la aplicación móvil. Parte (b); pantallas de la aplicación en Android**

Fuente: Elaboración propia

La pantalla de panel táctil usa el mismo entorno gráfico de la pantalla de ruta, pero con la diferencia de que ésta lee toda la pantalla y permite al usuario deslizar el dedo hacia adelante, atrás, izquierda o derecha sin la necesidad de observar la pantalla y la instrucción de detener es cuando el usuario levanta el dedo del panel táctil del celular.

Para la etapa de procesamiento se utilizó un dispositivo Arduino MEGA 2560 de la empresa de hardware libre Arduino, el cual es programado para procesar las señales provenientes del celular a través del módulo Wi-Fi CC3000 de la Texas Instruments. Como se observa en la Figura 10, el Arduino inicializa el módulo Wi-Fi con los datos de conexión a la red y espera la detección de comandos provenientes del celular. Una vez son procesados los comandos, el Arduino envía las señales de control al puente H para ejecutar los movimientos de la silla.



**Figura 10. Diagrama de flujo de la recepción de datos por parte del sistema Arduino**

Fuente: Elaboración propia

El circuito de potencia está conformado por 4 relés (12V – 40 Amp), encargados de polarizar los motores de acuerdo a las órdenes enviadas por el Arduino, cada motor maneja 12 voltios y 15 amperios. Los transistores Mosfet reciben la señal de PWM (Pulse Wide Modulation, por sus siglas en Inglés) enviada por el microcontrolador del Arduino para conmutar los motores y poder controlar la velocidad de éstos, cabe mencionar que la variación de la velocidad de los motores se distribuye linealmente con valores de comando entre 0 y 255. Esta etapa es robusta debido a la cantidad de corriente que se maneja. El circuito se observa en la Figura 11, donde las flechas izquierda y derecha controlan la dirección de cada motor, asegurando un estado lógico bajo en la flecha que no se usará y un estado lógico alto en la flecha a usar, así cada motor determina si se moverá hacia la derecha o hacia la izquierda. Cabe mencionar que en el presente trabajo los giros de la silla se realizaron invirtiendo los movimientos de los motores para obtener un giro sobre el eje.

Los terminales que tienen polarización son los que proveen la energía al circuito de una batería de 12V, 600 Ah. Los terminales marcados como PWM son los que controlan la activación del circuito puente H, por lo que tienen la función “enable” para asignar una modulación por ancho de pulsos en la activación de cada motor para regular la velocidad.

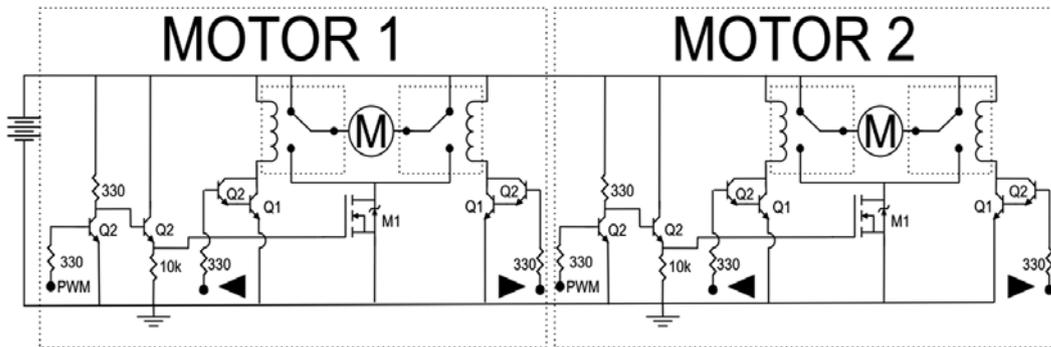


Figura 11. Esquema circuito puente H.

Fuente: Elaboración propia

Todas las señales provenientes del Arduino (que se conecta a las terminales de control del sistema de potencia M1, M2, y PWM) y su direccionamiento se gestionan a través del circuito de distribución como se puede observar en la Figura 12. Tal circuito, como se observa también en la Figura 3, parte inferior, brinda una modularidad a cada componente de la silla, por lo que al momento de hacer ajustes o arreglos se pueden desacoplar los diferentes circuitos. Como se observa en la Figura 12 se tiene un conector para el puente H, son terminales de entrada, donde se conectan las señales provenientes del Arduino para manipular el circuito puente H, las terminales marcadas como S1, S2, S3 y S4, aquí hacen alusión a los sensores de proximidad ubicados en la parte superior de la silla, como se observa en la Figura 3, parte superior, son terminales de salida de datos desde los sensores hacia el Arduino para hacer su respectiva lectura. Los terminales Eje X, Eje Y, Eje Z, son terminales de salida de datos de las señales provenientes del Joystick hacia el Arduino para manipular la silla de una forma tradicional.

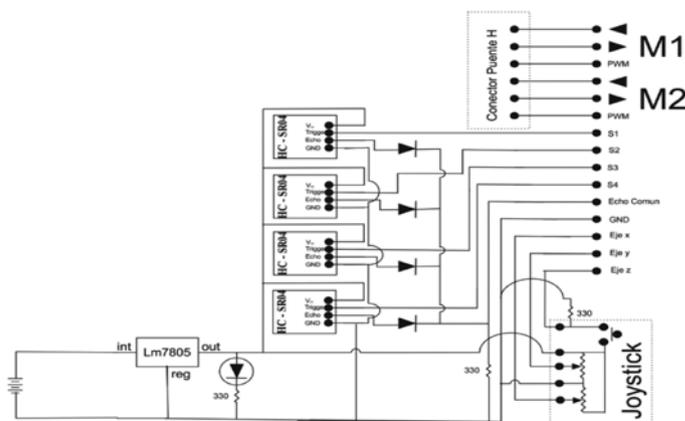


Figura 12. Esquema circuito tarjeta de distribución

Fuente: Elaboración propia

## 6. CONCLUSIONES

Dentro de los resultados de la investigación, que corresponden a seis meses de trabajo se presentan los siguientes resultados:

- Se desarrolló una aplicación para sistemas Android que permite enviar datos de control por voz, panel táctil y programación de ruta a un módulo de Wi-Fi y al sistema Arduino para manipular la silla de ruedas.
- Se utilizó la interface de desarrollo de Android Studio para hacer la programación de los componentes del aplicativo, la etapa de control por voz utiliza una api que depende de la versión instalada del sistema operativo Android, para las demás etapas se utilizaron clases internas de java compatibles con Android.
- Se diseñó un circuito de potencia que articula un puente h y un PWM para manejar la dirección y velocidad de los motores. También se adiciona el diseño del circuito de tarjeta de distribución de señales de entrada y salida al prototipo de silla de ruedas.
- Se presenta el prototipo de silla de ruedas con una estructura mecánica que presenta un acople de paneles solares, un sistema de sensores de proximidad ultrasónicos, un mando joystick y un ajuste del sistema de piñonería y cadena doble que permite darle más fuerza al movimiento de las ruedas.
- La conexión con el módulo WIFI Arduino cc3000 presentó problemas de conectividad, los datos enviados desde cualquier dispositivo (PC, MOVIL) no fueron recibidos en un 100%, esto puede deberse a múltiples cuestiones, las principales tales como distancia del dispositivo al punto de conexión WIFI, la configuración del router o módulo que provee de WIFI al módulo, esta última puede bloquear la comunicación directa con el modulo.

## REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud. (2016). Discapacidades y Rehabilitación. [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/disabilities/es/#story-01>
- [2] Organización Mundial de la Salud, "Informe Mundial Sobre la Discapacidad", OMS, Malta, 2011.
- [3] Organización Mundial de la Salud. (2013). Lesiones Medulares. [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs384/es/>
- [4] M.D. Michael Boninger. (2011) Model Systems Knowledge Translation Center (MSKTC). [En línea]. Disponible en: [http://www.msktc.org/lib/docs/SCI-electric\\_wheelchair-Span\\_BZEdit.pdf](http://www.msktc.org/lib/docs/SCI-electric_wheelchair-Span_BZEdit.pdf)
- [5] Real Academia Nacional de Medicina, *Diccionario de términos médicos*. Madrid: Panamericana, 2012.
- [6] Grupo EL COMERCIO. (2012, Mar.). La creatividad gana reconocimientos en universidades de chimborazo. [En línea]. Disponible en: [http://www.elcomercio.com/pais/investigacion-Riobamba-Epoch-Unach\\_0\\_658134240.html](http://www.elcomercio.com/pais/investigacion-Riobamba-Epoch-Unach_0_658134240.html)
- [7] University of Virginia-School of Engineering and Applied Science. (2013, Mayo) U.Va. Team's Solar-Powered Wheelchair Wins World Cerebral Palsy Day Competition. [Online]. Disponible en: <http://news.virginia.edu/content/uva-team-s-solar-powered-wheelchair-wins-world-cerebral-palsy-day-competition>

- [8] T. N. Nguyen, S. Su and H. T. Nguyen, "Neural Network Based Diagonal Decoupling Control of Powered Wheelchair Systems", *IEEE Transactions on Neural Systems e Ingeniería de Rehabilitación*, pp. 371-378, 2013.
- [9] M. AL-Rousan and K. Assaleh , "A wavelet- and neural network-based voice system for a smart wheelchair control", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 348, no. 1, pp. 90-100, 2011.
- [10] S. M. Hosseini, M. L. Oyster, R. L. Kirby, A. L. Harrington and M. L. Boninger, "Manual Wheelchair Skills Capacity Predicts Quality of Life and Community Integration in persons With Spinal Cord Injury", *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, pp. 2237-2243, 2012.
- [11] S. Askari, R. L. Kirby, K. Parker, K. Thompson and J. O'Neill, "Wheelchair Propulsion Test: Development and Measurement Properties of a New Test for Manual Wheelchair Users", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, pp. 1690-1698, 2013.
- [12] J. Borenstein and L. Feng, "Measurement and Correction of Systematic Odometry Errors in Mobile Robots", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, pp. 869-880. December 1996.
- [13] D. Robledo Fernández, *Desarrollo de aplicaciones para Android II, España: Ministerio de Educación de España*, 2000.
- [14] S. Robledo, C. Fernández and D. Robledo, *Programacion en Android, Ministerio de Educación de España*, 2011.
- [15] Arduino, "Arduino", 2014. [Online]. Available: Obtenido de [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc).
- [16] J. Bayle, *C Programming for Arduino*, Packt Publishing Ltd, 2013.
- [17] J. Nussey, *Arduino For Dummies (1)*, Microprocessors. Electronics -- Data processing. 2013.
- [18] T. Instruments, "Digi-Key Electronics", 10 07 2013. [En línea]. Disponible: <http://www.digikey.com/en/product-highlight/t/texas-instruments/cc3000-module>.
- [19] Ó. Torrente Artero, *ARDUINO. Curso práctico de formación*, RC Libros, 2013.
- [20] J. A. M. Mancilla, H. G. Crespo and N. A. M. Navarro, "Control de una Silla de Ruedas por Medio de un Dispositivo Móvil con Sistema Operativo Android", *Revista Tecnología Digital*, p. 13, 2012.
- [21] M. Balestrini, *Metodología de la Investigación*, Mérida: Universidad de los Andes. 2002.
- [22] Z. Pereira, "Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta", *Revista Electrónica Educare*, pp. 15-29, 2011.
- [23] J. Sánchez. *FÍSICA DE LA BICICLETA*, Madrid: Ediciones de la Torre, 1988.
- [24] i. Google, "Android", 2011. [En línea]. Disponible: <http://source.android.com/>. [Accessed 15 Mayo 2016].