

## Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas

ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos\*†, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León

*Departamento de Investigación de la escuela profesional de Ingeniería, Universidad de Ixtlahuaca CUI*

Recibido 12 de Abril, 2017; Aceptado 26 de Junio, 2017

### Resumen

En este artículo se presenta el diseño y aplicación de un sistema embebido que proporciona apoyo a las personas que asisten a los discapacitados que utilizan una silla de ruedas. El sistema es capaz de sensar la fuerza aplicada en el manillar de la silla por medio de un transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico, producido por una fuerza, en un cambio de resistencia. La asistencia motriz del sistema debe ser capaz de darse en ambos sentidos de desplazamiento de la silla (atrás-adelante), por lo que para este sensado se acopla el eje de un encoder de cuadratura a una llanta de la silla. Estas señales son procesadas por un microcontrolador que a través de una etapa de potencia bidireccional en corriente es enviada a los motores que se encuentran sobre el eje de la silla, cabe mencionar que la fuerza sensada es proporcional al esfuerzo que realiza la persona que impulsa la silla de ruedas. Adicionalmente el sistema auto diagnosticara al paciente postrado en la silla, sensando sus signos vitales como su ritmo cardiaco y temperatura, con ayuda de sensores de fotodiodos que emiten señales infrarrojas y un sensor termopar que se adaptaría al cuerpo del paciente.

### Sistema embebido, autodiagnóstico, convertidor de potencia

### Abstract

This article presents the design and application of an embedded system that provides support to people attending the disabled who use a wheelchair. The system is capable of sensing the force applied to the handlebar of the chair by means of a passive transducer that converts a mechanical displacement produced by a force into a change of resistance. The driving assistance of the system must be able to be in both directions of displacement of the chair (back-forward), so for this sensation the axis of a quadrature encoder is coupled to a wheel rim. These signals are processed by a microcontroller which, through a current bidirectional power stage, is sent to the motors located on the axis of the chair, it is worth mentioning that the sensed force is proportional to the effort made by the person driving the Wheelchair. In addition, the system automatically diagnoses the patient lying on the chair, sensing their vital signs as their heart rate and temperature, with the help of photodiode sensors that emit infrared signals and a thermocouple sensor that would fit the patient's body.

### Embedded system, self-diagnosis, power converter

**Citación:** ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León. Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:57-67

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: [juan.romero@uicui.edu.mx](mailto:juan.romero@uicui.edu.mx))

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

Impulsar una silla de ruedas suele ser un poco desgastante para las personas que asisten a un discapacitado, entre las principales discapacidades encontramos enfermedades degenerativas, accidentes, entre otras. Para impulsar al paciente, se requiere de un esfuerzo proporcional al peso del usuario, en consecuencia al esfuerzo también podría ocasionar daños a la persona que asiste.

En ocasiones se requiere de ir monitoreando los signos vitales del paciente como su ritmo cardíaco y temperatura, por lo que suele ser complicado llevar un control de la persona lesionada.

En este artículo se presenta el diseño del sistema, además de platicar acerca de los sensores como temperatura, ritmo cardíaco y presión. Los sistemas embebidos son parte fundamental del proyecto ya que en la actualidad la tecnología empleada en el diseño y desarrollo de los sistemas embebidos es económico, robusto y accesible, por lo que el desarrollo del sistema se vuelve más factible.

En la actualidad se han desarrollado sistemas de asistencia enfocados a la automatización de sillas de ruedas, las sillas son manejadas con joystick o una botonera que el sistema apoya a la persona que manipula la silla [1].

Así como este sistema existen otros que van enfocados a las personas que no son capaces de manipular la silla ellos mismos, en este caso se ha recurrido al manejo de voz como medio, a través de una interfaz electrónica, que reconoce y procesa instrucciones por comando de voz, como “adelante”, “atras”, “izquierda”, etc.[2]

En la revisión del estado del arte nos encontramos con un sistema de control adaptativo que presenta alternativas de mando en base a sensores ultrasónicos y que se puede aplicar en espacios reducidos como en las casas de los pacientes [3].

El sistema que se presenta en este artículo está propuesto para el apoyo motriz a sillas de ruedas, mediante uno o más motores que son acoplados al eje de la silla, sin necesidad de modificar su estructura y en consecuencia generar tracción a la silla mediante la fuerza detectada en los sensores.

El sistema cumple con reducir el esfuerzo que realizan las personas al impulsar la silla de ruedas, así mismo detectar al mismo tiempo el sentido de giro de la silla (hacia atrás o adelante), ajustándose a cualquier tipo de silla convencional. Además de detectar el ritmo cardíaco y temperatura de la persona postrada en la silla, mostrando los datos en una interfaz amigable hacia la persona que dirige la silla de ruedas.

Es un sistema de fácil uso, así como accesible, este proyecto supera los principales obstáculos que genera la adquisición de un equipo electrónico de asistencia, teniendo una adaptación más amigable al entorno en el que se desarrollan las personas discapacitadas y por supuesto tendrán mejor comodidad tanto los discapacitados y sus asistentes.

## Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos se pueden definir como todo sistema que no es una computadora, se define como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar funciones dedicadas y que esta acoplado o es parte de algun dispositivo de hardware completo [4].

Los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microprocesador incorporado sobre el mismo, o también utilizando los compiladores específicos como C y C++. Los sistemas embebidos suelen tener en una de sus partes una computadora con características especiales conocida como microcontrolador que viene a ser el cerebro del sistema [5].

El microcontrolador utilizado en este sistema, para hacer la etapa de control es el circuito ATMega 328, que se encuentra en el sistema de desarrollo Romeo (figura 1), fabricado por la empresa DFRRobot y puede ser programado con el Arduino IDE.



**Figura 1** Sistema Romeo [6]

Fuente: <https://www.arduino.cc/ArduinoBoardMega2560>

Con el Microcontrolador se hace un control de las señales que se reciben al utilizar el sistema y sea procesada esta información.

## Sensor de presion (galga extensiometrica) y encoder de cuadratura

Una galga extensiometrica es un dispositivo transductor pasivo que se utiliza para la detección de esfuerzos aplicados (figura 2). Las galgas son fabricadas con alambres resistentes de diámetros, para detectar la tension aplicada sobre el dispositivo, este cambio de resistencia debe ser proporcional a la fuerza ejercida [7].

La galga extensiometrica puede ser adherida en la superficie de interés para counstruir un sistema para transformar las microdeformaciones en variables eléctricas y sean fácilmente medibles.



**Figura 2** Galga Extensiometrica [8]

Fuente: <https://steadlands.com/product/fsr400-interlink-electronics/>

Esta resistencia de detección de fuerza es un componente pasivo que actua como una resistencia variable, con la resistencia a disminución en respuesta a la creciente fueza aplicada [9].

Este dispositivo esta acoplado al manillar, que normalmente es donde se asiste una silla de ruedas, la detección de la fuerza esta dado por medio del contacto humano con el sensor, por consecuente se hace sensible a la fuerza producida por una persona (figura 3).

Cabe mencionar que la fuerza aplicada sobre el sensor no es lineal acorde a la fuerza aplicada por la persona, por lo que el voltaje que se suministra impacta directamente a la respuesta del motor que esta coplado al eje de la silla.

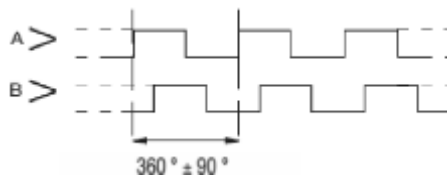


**Figura 3** Prototipo, sensor de fuerza en el manillar

*Fuente: Propia*

El control de este sistema puede darse en ambos sentidos de giro (enfrente-atras), llevando acoplado a una de las ruedas de la silla un encoder de cuadratura, teniendo dos salidas que al mismo tiempo generan ondas cuadradas que se defasan entre si según el sentido de desplazamiento de las ruedas (figura 4).

Este sentido de defasamiento es el que permite detectar el sentido de giro de la rueda acoplada al encoder, esta señal es interpretada por el microcontrolador, cuando llega primero.



**Figura 4** Desasamiento del enconder de cuadratura

*Fuente: Propia*

Las señales deberán llegar al microcontrolador de la siguiente manera: primero llegara el pulso de la señal A, y posteriormente el pulso de la señal B y por consecuente las ruedas de la silla giran en un sentido, pero si la detección de los pulsos por el microcontrolador es cotrario y primero llega la señal B y posterior a ello llega la señal A, el sentido de giro será invertido [10].

Una de las características de dicho control es lograr el éxito del desplazamiento de la silla en el entorno en el que se encuentra, detectando el sentido de giro de la misma, esta dado por una funcionalidad y mecanismo de dirección automática especializada para satisfacer una de las necesidades de la persona que asistirá al discapacitado en la silla de ruedas.

### Sensor de ritmo cardiaco y temperatura

El sensor de ritmo cardiaco que es conocido también como oxímetro de pulso (figura 5), este sensor opera la saturación de oxígeno al comparar cuanta luz roja e infraroja es absorbida por la sangre, al medir cuanta luz alcanza al fotodetector [11].



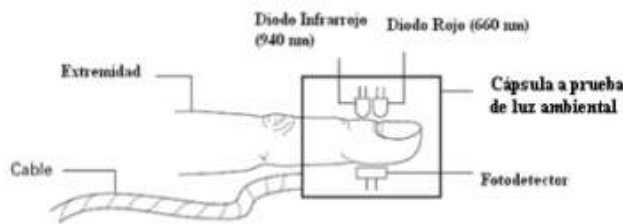
**Figura 5** Sensor de ritmo cardiaco

*Fuente: Solibella Bencomo (2016)*

Al comparar la cantidad de luz que se absorbe, la solución a este es analizar únicamente la absorbancia de la sangre arterial, ignorando los efectos de los tejidos que roden el dedo del paciente.

Por ende cualquier absorbancia variable en el tiempo se debe a la sangre arterial que circula en el dedo [12].

El sensor de ritmo cardiaco o sensor de un oxímetro de pulso consiste en dos LED's de longitudes de ondas específicas, que contiene un fotodetector, el detector empleado por este sensor es un fotodiodo (figura 6).



**Figura 6** Sensor y componentes

*Fuente: Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigación Biomedica.*

Para la determinación del pulso cardiaco se usa la señal pulsada que proviene del dedo del paciente. Se detecta el número máximo del pulso, lo que genera una señal, cuyo periodo es igual al ritmo cardiaco, cada latido activará un temporizador que medirá el tiempo transcurrido entre los latidos y dicho tiempo transcurrirá por un minuto, obteniendo el número de pulsaciones del paciente por minuto.

La temperatura corporal en un paciente es vital para un mejor diagnóstico, dicho dato nos permite evaluar la diferencia de la regulación térmica que se presenta en el cuerpo humano, acorde a los cambios en la temperatura ambiental y la intensidad de la actividad realizada. La temperatura normal de un ser humano (tabla 1), de acuerdo a la Asociación Médica Americana, puede oscilar entre 36.5°C y 37.2°C, esta temperatura puede variar según el paciente que es atendido [13].

Niños 5 a 9 años	98.3°F	36.83°C
Niños 9 a 13 años	98°F	36.67°C
Niños 13 años a adultos	97.8 a 99.1°F	36.56 a 37.28°C

**Tabla 1** Temperatura corporal por edad aproximada

*Fuente: Propia*

El sensor utilizado es el termistor Ntc (Sensor de Temperatura), el cual es un dispositivo basado en materiales semiconductores, cuya resistencia varía con la temperatura (figura 7).



**Figura 7** Sensor de temperatura

*Fuente: Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigación Biomedica.*

Los termistores al igual que otro dispositivo construido en base a semiconductores tienen algunos parámetros que son de suma importancia para su elección y especificaciones con mayor frecuencia:

**1. Resistencia a potencia cero:** Es la resistencia del termistor cuando no existe efecto de autocalentamiento.

**2. Variación de la resistencia con la temperatura:** Es la sensibilidad; típicamente de 40Ω/°C, dependiendo del sensor.

**3. Constante de disipación de potencia:** Es la potencia requerida para que el termistor aumente su temperatura en un grado Celsius respecto al medio que lo circunda.

**4. Estabilidad:** Es la capacidad de un termistor para mantener sus características dentro del rango  $0.03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$  en un periodo de 12 años.

**5. Autocalentamiento:** Es la potencia disipada en el termistor.

**6. Temperatura máxima:** Es la temperatura máxima en la cual el termistor conservará su operación con características de estabilidad aceptables ( $-75^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ ) [13].

La temperatura de las personas normalmente es tomada de manera interna o parte del cuerpo humano donde es concentrada, el dato es tomado presionando el brazo del paciente con el torax como se muestra en la figura 8.



**Figura 8** Toma de temperatura

*Fuente: Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigacion Biomedica*

## Desarrollo del sistema

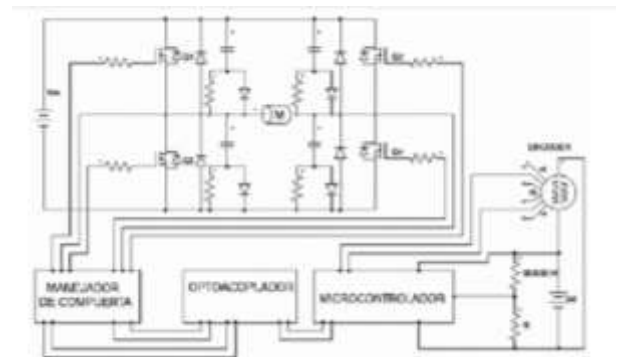
El primer paso para el desarrollo fue interpretar mediante el micro controlador el esfuerzo realizado por la persona que impulsa la silla. Para lograrlo se utilizó el sensor de fuerza que varía su resistencia al ser deformado (figura 9).



**Figura 9** Sensado de la fuerza aplicada

*Fuente: Propia*

Es posible detectar el cambio de resistencia al conectarse en un divisor de voltaje, como se muestra en la figura 10. La misma figura muestra la conexión de los dispositivos requeridos para el control del circuito de potencia (puente H), que permite activar un motor de CD mediante la señal del encoder de cuadratura y proporcionar así una tracción a la silla.



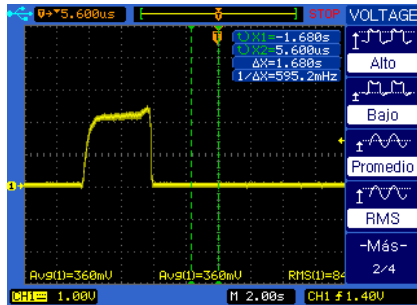
**Figura 10** Conexión de los dispositivos

*Fuente: Propia*

El puente H está formado por cuatro transistores MOSFET que permiten controlar la velocidad del motor en ambos sentidos de giro. Esto se logra al controlar la activación de los transistores mediante señales moduladas en ancho de pulso (PWM).



Si modificamos el ancho de pulso generado por el microcontrolador, de acuerdo al al esfuerzo detectado por el sensor (figura 11), se podría variar la velocidad del motor.



**Figura 11** Deformación del sensor de fuerza

*Fuente: Propia*

Esto nos indica que si se disminuye el esfuerzo en el manillar de la silla, se reduce la velocidad del motor o viceversa a mayor esfuerzo, mayor será el ancho de pulso que se genera y la velocidad aumentará. El circuito repite la señal de PWM que proviene del microcontrolador y permite proporcionar valores de voltaje y corriente que conmutan los transistores. Cada transistor cuenta con su red de snubber, lo que protege al transistor contra cambios en la magnitud del voltaje, entre el colector y emisor de los mismos.

En la figura 12 se muestra el sistema embebido desarrollado, y las etapas que lo conforman, destacando el encoder de cuadratura, manillar con sensor de fuerza, sistema de desarrollo Romeo, motor eléctrico de CD a ¼ HP y su circuito manejador, así como el sistema de baterías que alimentan al motor y al sistema digital.



**Figura 12** Prototipo del sistema embebido para la asistencia motriz

*Fuente: Propia*

Los sensores de temperatura y ritmo cardíaco son acoplados al sistema para la detección de los signos vitales del paciente, la temperatura del paciente es tomada del brazo del mismo presionándolo hasta obtener el dato, visualizando dichos datos en una pantalla LCD (figura 1).



**Figura 13** Visualización de los datos en pantalla

*Fuente: Propia*

El acoplamiento del sensor de ritmo cardíaco se tomara apartir del dedo índice del paciente (figura 14), por lo tanto en base a esto se puede determinar si el ritmo cardíaco de la persona es normal. Por regla general, la frecuencia normal en reposo oscila entre 50 y 100 latidos por minuto.



**Figura 14** Toma de ritmo cardiaco de la persona

*Fuente: Propia*

Siendo estas las etapas que conforman el sistema, esta diseñado para la persona que asiste a un discapacitado que no cumple con las condiciones de manipular una silla de ruedas el mismo, además de brindar ayuda al disminuir su esfuerzo, el sistema cumple con determinar datos de la persona postrada en la silla.

## Resultados

El sistema cumple con reducir el esfuerzo que realizan las personas al impulsar la silla de ruedas, así mismo detectar el sentido de giro de la silla (hacia atrás o adelante), ajustándose a cualquier tipo de silla convencional. Además de comunicar los sensores de fuerza sobre el manillar de la silla, que se conectan directamente con el microcontrolador que recibe además las señales del encoder de cuadratura, y así acoplar el motor a la rueda de la silla como se muestra en la figura 15.

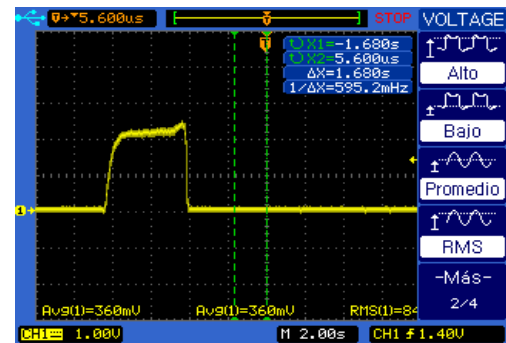
Cabe mencionar que los resultados obtenidos de la caracterización de la galga extensiométrica, donde se registro una tensión asociada a la fuerza vista por el sensor, no es lineal acorde a la fuerza que se aplica por la persona (figura 16).



**Figura 15** Prototipo del sistema embebido

*Fuente: Propia*

Por lo tanto, la respuesta del voltaje entregado por el divisor tampoco lo es, impactando de manera directa con la respuesta del motor de CD.

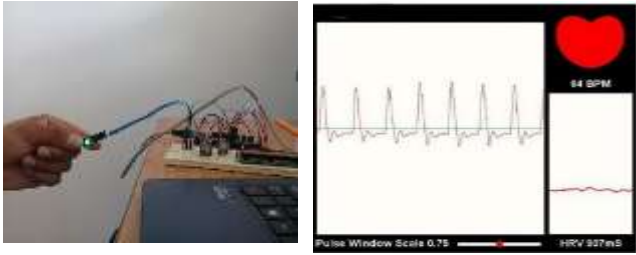


**Figura 16** Caracterización de la galga extensiométrica

*Fuente: Propia*

Así mismo detectar el ritmo cardiaco en el dedo índice del paciente (figura 17), y temperatura de la persona postrada en la silla, mostrando los datos en una interfaz amigable (Figura 18) con la persona que dirige la silla de ruedas. Dicho lo anterior fue posible modificar la velocidad y sentido de giro del motor que proporciona tracción mediante la técnica de control que relaciona la detección del esfuerzo y dirección de desplazamiento de la silla.





**Figura 17** Toma del ritmo cardiaco

*Fuente: Propia*



**Figura 18** Datos de temperatura mostrados en LCD

*Fuente: Propia*

Se puede mejorar el diseño utilizando técnicas de control predictibles, así como adaptar un mecanismo a las sillas de ruedas convencionales, con algún tipo de motor desmontable. Además de proponer mejoras en base a las pruebas que se realizaron al sistema, es un sistema muy amigable con el entorno y las personas que lo manipulan y en caso de ser requerido, se podría cambiar el diseño del sistema para tener una mejor comodidad incluso para el paciente.

## Agradecimiento

A la Universidad de Ixtlahuaca CUI, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto, tanto material como moral, siendo una universidad comprometida con el desempeño de sus alumnos, brindando la oportunidad de mostrar su interés hacia la investigación de esta manera, tanto a sus alumnos como a los docentes que desempeñan dentro de ella, así mismo agradecer el apoyo brindado a mi compañero Gustavo Aldair, una persona que siempre muestra interés hacia el proyecto, dejando su empeño y dedicación con sus aportaciones hacia el mismo, al mismo tiempo agradecer al M. en C. Jorge Mastache por su dedicado tiempo y colaboración dentro del proyecto, siendo el una una persona fundamental para que se llevase a cabo la realización de este trabajo de investigación y poder llevar a cabo el prototipo del proyecto.

## Conclusiones

El sistema está enfocado a las personas que asisten a un discapacitado que tiene la necesidad de postrarse en una silla de ruedas, siendo en muchas ocasiones uno de los problemas a los que se enfrentan muchas personas, el poder asistir a una persona con estas características.

El sistema cumple con disminuir el esfuerzo que se realiza al impulsar la silla de ruedas, en muchas ocasiones el esfuerzo debe ser proporcional al peso del usuario por lo que es un gran problema para estas personas que asisten, el sistema junto con sus características es capaz de dar un impulso a la silla, sin necesidad de forzar su movimiento, además de ser un sistema amigable con las personas y de fácil uso ya que no se requieren métodos de entrada como teclados o botones que interfieran en el manejo del sistema.

En muchas ocasiones tener un control de las personas en cuanto a signos vitales, es un poco incomodo cuando se trasladan en sillas de ruedas. El sistema es capaz de tomar las medidas con el uso de sensores que facilitan el trabajo de la persona que asiste al discapacitado, y tener un mejor control del estado de la persona que se encuentra postrada en la silla, dichos datos son visualizados en una interfaz amigable con el usuario, mostrando los datos de una manera entendible y así poder hacer lectura de los mismos.

Debido al uso del sistema y su etapa de alimentación, se pretende aumentar la vida de duración del sistema, mediante el uso y acoplamiento de un freno regenerativo que mediante imanes permanentes se podrá regenerar la energía que se despende al utilizar el sistema y poder almacenarla de nuevo en la batería.

## Referencias

- [1] Auat; Navegación Autónoma Asistida Basada en SLAM para una Silla de Ruedas Robotizada en Entornos Restringidos. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.8.81-92. 2011.
- [2] Paredes, M.; Gutiérrez.Silla de ruedas controlada por voz. Memorias del 6° Congreso Nacional de Mecatrónica. Inst. Tecnológico de San Luis Potosí – Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. 6. 179-187. 2007.
- [3] Mario Rojas; Control adaptativo para navegación de una silla de ruedas inteligente empleando lógica difusa tipo1 y tipo2. Tecnológico de monterrey, Campus Ciudad de Mexico. Research in computing Science 91. 2015.
- [4] Sol Pedre; Sistemas embebidos. Laboratorio de robotica y sistemas embebidos. Departamento de computación FCEN. 2012.
- [5] UNED; controladores industriales de diseño de alto nivel. Sistemas Embebidos. Ingeniería de los sistemas embebidos.2013
- [6] Arduino Mega 2560, s.f., Arduino, descargado de: <https://www.arduino.cc/ArduinoBoardMega2560>.
- [7] Ramon pallás Areny. (2003). Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España): Carles ParcerisasCivit.
- [8] FSR400, fuerza de detección de Resistencias, STEADLANDS, descargado de: <https://steadlands.com/product/fsr400-interlink-electronics/>
- [9] POLOLU. (2017). sensor de fuerza FSR. 19/06/2017, de POLOLU Sitio web: <https://www.pololu.com/product/1695>
- [10] D. Schultz, M. Allen, SF Barrett . (2011). Dotar a una silla de ruedas automatizada con un puerto de infrarrojos del codificador rueda de odómetro. 24/06/2017, de ISA Sitio web: <https://www.isa.org/store/equipping-an-automated-wheelchair-with-an-infrared-encoder-wheel-odometer-biomed-2011/122220>
- [11] Solibella Bencomo. (2016). aplicacion para el monitoreo de frecuencia cardiaca. En revista ingenieria UC(4-6). Universidad de Carabobo: Solibella et al.
- [12] Solibella Bencomo. (2016). aplicacion para el monitoreo de frecuencia cardiaca. En revista ingenieria UC(6-7). Universidad de Carabobo: Solibella et al.
- [13] Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigacion Biomedica. 25/06/2017, de Dalcame Sitio web: [http://www.dalcame.com/tc.html#.WVBeCWg1\\_IW](http://www.dalcame.com/tc.html#.WVBeCWg1_IW)

[14] Aleida Cantor Rudas. (2016). Frecuencia cardiaca despues de la exposicion a longitudes de onda del espectro visible en areas del cuerpo humano. Revista de Ingenieria UC, 23, 2-7.

[15] Ramirez Lopez. (2015). aplicacion de la biotelemetria para tres signos vitales. Ciencia y Poder aereo, 10, 2-8.