

## Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes

MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo†\*, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán

Recibido 3 de Octubre, 2017; Aceptado 8 de Diciembre, 2017

### Resumen

Un robot que interactúa con un ser humano requiere adaptarse a las necesidades del usuario para proveer la correcta asistencia en un ambiente de control compartido. La asistencia en una actividad con un ser humano en el ciclo es multifacética y dependiente de diversos factores incluyendo la tarea en mano, la experiencia del usuario, el ambiente y las capacidades de asistencia. La robótica de rehabilitación combina los campos de la robótica industrial y la rehabilitación médica a través de algoritmos, elementos mecánicos, circuitos eléctricos y electrónicos que han permitido dar origen a las sillas de ruedas inteligentes (IWS) para aquellos usuarios que no pueden operar una silla de ruedas eléctrica (EPW) por métodos de entrada habituales como el joystick, llevando el concepto de diseño universal a las tecnologías de asistencia. Este artículo propone la determinación de la distancia de contacto mínima y velocidad en base a un sistema difuso tomando en cuenta la experiencia de operación del usuario. El control del robot móvil, es mediante la inclinación de la cabeza del usuario y permite identificar 5 tipos de instrucciones diferentes por un Smartphone para aquellos usuarios que no puedan optar por un control tradicional.

**Interacción hombre robot, control difuso, silla de ruedas inteligente**

### Abstract

A robot that interacts with a human being needs to adapt to the needs of the user to provide the correct assistance in a shared control environment. The attendance in an activity with a human being in the cycle is multifaceted and dependent on various factors including the task at hand, user experience, environment and attendance capacities. Rehabilitation robotics combines the fields of industrial robotics and medical rehabilitation through algorithms, mechanical elements, electrical and electronic circuits that have led to intelligent wheelchairs (IWS) for users who can not operate a chair (EPW) by standard input methods such as the joystick, bringing the concept of universal design to assistive technologies. This article proposes the determination of the minimum contact distance and speed based on a diffuse system taking into account the experience of operation of the user. The control of the mobile robot, is by tilting the user's head and allows to identify 5 different types of instructions by a Smartphone for those users who can not opt for a traditional control.

**Human robot interaction, fuzzy control, smart wheelchair**

**Citación:** MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán. Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:1-16

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cesar.melchor@itshuatusco.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Proveer la correcta asistencia en un ambiente de control compartido es una tarea compleja, por su naturaleza, la asistencia es multifacética y dependiente de diversos factores incluyendo la tarea en mano, el estado del usuario, el ambiente y las capacidades de asistencia [1]. El aprendizaje de asistencia por demostración (LAD). Una silla de ruedas inteligente debe de enfrentar la difícil decisión no solo de asistir a un paciente, sino cuando y como interferir, ya sea para realizar tareas de bajo control mientras que el usuario es primariamente responsable de decisiones en los niveles más altos [2].

Actualmente los diversos objetos y sistemas que nos rodean están diseñados para que la mayoría de los usuarios puedan utilizarlos con facilidad, sin embargo esto no siempre ha sido así, fue en 1985 cuando Ron Mace, fundador de la ideología del diseño Universal [3] y la Universidad de North Carolina en 1997 [4] orientaron el diseño y construcción de un producto para que todas las personas puedan hacer uso del mismo.

El diseño Universal es el diseño de productos y ambientes que son usables para todas las personas, en la extensión más amplia posible, sin la necesidad de adaptación, [5]. El UD se basa en 7 principios propuestos por la universidad de North Carolina [6] y [7], los cuales son:

Principio 1: Uso equitativo

Principio 2: Flexibilidad de uso

Principio 3: Simple e intuitivo

Principio 4: Información perceptible

Principio 5: Tolerancia al error

Principio 6: Bajo esfuerzo físico

Principio 7: tamaño y espacio para aproximación del uso

Los conceptos: “forma”, “característica”, “atributo” e “interface al usuario” e inclusive el término “todos los usuarios” juegan un papel importante en la descripción de un objeto a través del UD. [8]. La forma física es el diseño de la apariencia física de un objeto, tanto en tamaño como en proporción o estructura. Una Característica es cualquier elemento distinguible en un diseño en cualquier escala de diseño, son categorizados mas no todos pueden ser medidos solo descritos. Un atributo es una característica cuantificable como la altura, ancho, color, textura y condición que define la proporción, apariencia y otras cualidades. La interface al usuario. - incluyen una variedad de control y hardware, los cuales pueden ser configurables u operativos.

El concepto “todos los usuarios” empleado en el UD, hace referencia a que un objeto debe de tener la capacidad de emplearse por cualquier persona, considerando sus capacidades e incapacidades y la población a la que pertenece. La capacidad de una persona es la calidad en la realización de alguna función distinguiéndose por tipo y magnitud; la incapacidad se describe en términos mentales o físicos en donde el usuario tiene impedimento para realizar actividades cotidianas sin embargo la dis-capacidad no está asociada con el mismo tipo o nivel de incapacidad [8]. Las habilidades de una persona se clasifican de acuerdo a [9] en motoras, mentales, de sensación y percepción y comunicación.

De acuerdo al censo Nacional de Población 2010, en México habitan 112'336,538 de personas [10].

Los ejercicios censales que han incluido datos sobre el número total de discapacitados desde 1900 se muestran en la Tabla 1; se observa que en el anterior ejercicio censal 2000 se obtuvo un 1.8% de población con discapacidad y creció a 5.1% en el ejercicio censal 2010, por lo que el número total de personas con discapacidad va en aumento.

Fuente	Año	Concepto medio	Porcentaje
Censo	1900	Defectos físicos y mentales	0.20
Censo	1910	Defectos físicos y mentales	0.21
Censo	1921	Defectos físicos y mentales	0.65
Censo	1930	Defectos físicos y mentales	0.66
Censo	1940	Defectos físicos y mentales	0.54
Censo	1980	Ausentismo escolar por invalidez	2.80
Encuesta nacional de Inválidos	1982	Invalidez	0.03
Conteo de población	1995	Discapacidad	2.33
Registro nacional de menores	1995	Discapacidad	6.35
Censo	2000	Discapacidad/limitación	1.84
Encuesta nacional de salud	2000	Discapacidad	2.30
Encuesta nacional de evaluación del desempeño	2002	Discapacidad/dificultad	9.00
Encuesta Nacional de salud y nutrición	2006	Discapacidad/dificultad	9.00
Censo	2010	Discapacidad/dificultad	5.10
Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares	2010	Discapacidad/dificultad	5.10

**Tabla 1** Evolución de las estadísticas en México y porcentaje de población con discapacidad

Fuente: *Elaboración propia*

Actualmente se considera personas con discapacidad de acuerdo al INEGI a aquellas que cumplan las siguientes características:

Población con dificultad para caminar, moverse, subir o bajar

Población con dificultad para ver

Población para oír o escuchar

Población con dificultad para hablar, comunicarse o conversar

Población con dificultad para atender su cuidado personal

Población con dificultad para poner atención o aprender cosas sencillas

Población con limitación cerebral

Entender la habilidad y discapacidad de una persona es crítico para apreciar el impacto que tiene una forma en funcionamiento, empezando con la naturaleza de la incapacidad del diseño rutinario permitiendo a la naturaleza de los diseños especializados y universales. La tecnología de asistencia es esencialmente tecnología que sirve para apoyar a las personas con discapacidad [11] y son una expresión genérica que abarca los sistemas y los servicios relacionados a la entrega de productos y servicios de apoyo [12]. La tecnología de asistencia (AT) e ingeniería de rehabilitación de dispositivos para personas con discapacidad tienen 3 tipos de aproximaciones: el diseño hecho para la población más grande, diseño para sub-poblaciones y el diseño para individuos en específico [3].

Este artículo se cuenta con las secciones de estado del arte, en el que se profundiza los diversos proyectos relacionados con el hardware, algoritmo de control de las IWs con enfoques en sistemas multimodales, comerciales, interacción hombre robot y cómputo móvil. El principal problema a resolver es la determinación de la distancia de impacto mínima y la velocidad acorde a la experiencia del usuario, pues en situaciones de riesgo o para acercarse a un objeto (una mesa por ejemplo) la selección de un umbral que separe aquel camino que pueda recorrer y cual no, es fija en los proyectos relacionados en el estado del arte, por lo que la interacción hombre robot se puede beneficiar con un umbral variable dependiente de la experiencia del usuario, el algoritmo empleado se implementó en un robot móvil.

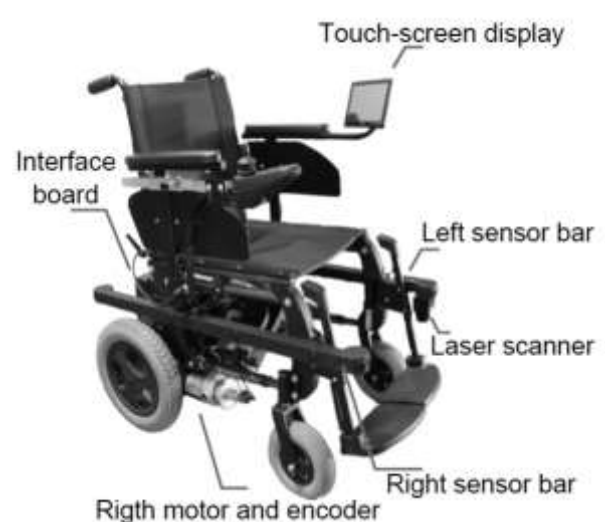
### Estado del arte

La interacción hombre robot hace referencia a como un robot puede interactuar no solo con su usuario sino además con el medio ambiente de trabajo y otros usuarios, es decir: parcialmente observable, determinístico, episódico y dinámico.

### Sillas de ruedas multimodales

La mayoría de los proyectos con IWs no incluyen alguna referencia de la adaptación del usuario a la silla de ruedas o como mejorar la interface basada en la interacción del usuario con la IWs, sacrificando así el confort y la usabilidad regular de la silla de ruedas en orden de resolver problemas relacionados con la robótica. Las IWs que son controladas por otras formas de control adicionales al joystick son conocidas como sillas de ruedas multimodales MMIWs, los controles pueden ser: movimiento de los ojos, cejas, rostro, cabeza, manos, dedos, lengua o por voz.

El proyecto IntellWheels propone un diseño centrado en el usuario mediante un control multimodal inteligente/adaptativo que ayude a mejorar la movilidad del usuario [13] y [14]. El desarrollo de IntellWheels propone el diseño centrado al usuario en donde el confort, la seguridad y área de trabajo son las principales prioridades, sin comprometer costo o un hardware rígido inadaptable a otras sillas de ruedas. La interface multimodal al usuario es mediante un joystick, teclado, pantalla táctil, gestos faciales, expresiones faciales, voz y CBI comercial. La interface multimodal (MMI) permite que el usuario defina sus comandos de entrada, a través de entradas homogéneas (un solo tipo de dispositivo de entrada) o heterogéneas (diferentes dispositivos de entrada).



**Figura 1** Componentes del proyecto IntellWheels

*Fuente: Sites.google Intellwheels*

El control multinivel esta dividió en 3 capas: estratégica (planeación de metas, planeación de camino empleando A\*), táctica (control de acciones básicas y velocidad angular) y control básico.

Los sensores empleados son láser y ultrasónicos ubicados en áreas en donde el usuario no haga uso de ellas e interconectados mediante una tarjeta controladora Arduino y un controlador de motor como se muestra en la Figura 1, el dispositivo que realiza el procesamiento de datos es una computadora.

El enfoque del proyecto es el acercamiento de una IWs al público e investigadores, por lo que las pruebas realizadas son cualitativas en base a cuestionarios contestados por investigadores de diversos niveles y su comparación con otras IWs.

Comando	Acciones	Comando	Acciones
“One”	Enciende el sistema	“Right”	Gira a la derecha
“Forward”	Mueve la IWs adelante	“Down”	Frena los motores
“Backward”	Mueve la IWs atrás	“Up”	Apaga los motores
“Left”	Gira a la izquierda		

**Tabla 2** Comandos de voz de la ITO-IWs

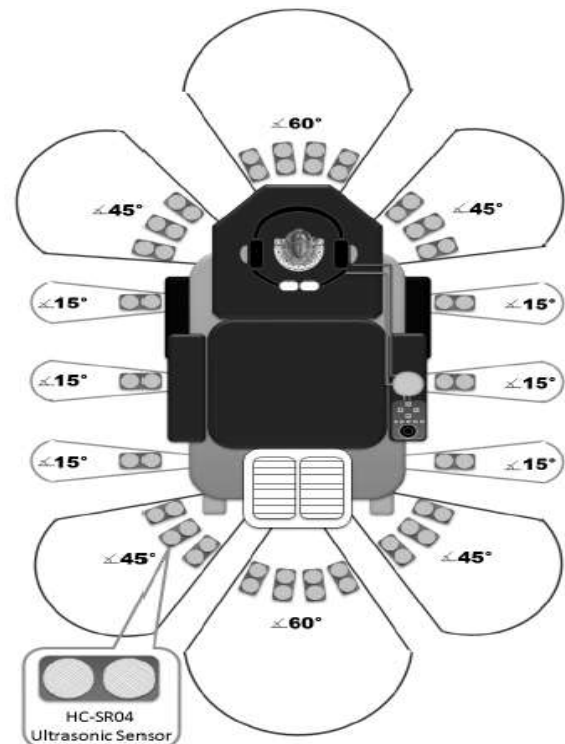
*Fuente: 2014 11th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control*

Una IWs es desarrollada en el Tecnológico de Orizaba [15] y [16]. Consiste en el control de una silla de ruedas a través de una interfaz multimodal, siendo las interfaces comandos por voz como se muestra en la Tabla 2, lengua, joystick y botones.

El sistema emplea 26 sensores ultrasónicos HC-SR04 ubicados como muestra la Figura 2. Los sensores y los sistemas multimodales de entrada homogénea (voz, joystick, botón) son interconectados con un Arduino Mega ADK, el cual sirve como tarjeta de adquisición y control embebida.

Un aspecto importante es que el sistema multimodal fue probado en usuarios con lesión de médula completa e incompleta en 5 tipos A a E empleando un simulador, obteniendo medición en colisiones promedio por vuelta, tiempo en completar la prueba, velocidad y método de control.

El proyecto IATSL-IWs del Instituto de Rehabilitación de Toronto se enfoca al control de una silla de ruedas en adultos con dificultades cognitivas [17], [18] y [19]. El sistema emplea una EPW modificada para poder ser controlada por el joystick háptico como lo muestra la Figura 3. Adicionalmente el sistema da una retroalimentación al usuario de forma auditiva. La IWs es probada en ambientes reales, basados en la asistencia para conducir sistemas eléctricos de potencia en interiores (PIDA) [20].



**Figura 2** Localización de los sensores ultrasónicos de la IWs

*Fuente: 2014 11th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control, 2014*

MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDANO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán. Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes. Revista de Energías Renovables 2017

El sistema tiene 3 tipos de modos de operación; el modo básico se activa de forma automática cuando la silla esta aproximadamente a 0.3 metros de un objeto y se ha detenido previamente avisando al usuario del posible impacto mediante retroalimentación auditiva y háptica en el joystick, la velocidad máxima es controlada así como la distancia mínima permisible por la silla de ruedas. El modo de corrección de volante, si la silla se halla a menos de 0.3 metros y el usuario no se ha detenido, entonces automáticamente girara sin bajar la velocidad o frenar; en el modo automático, la silla realiza la tarea de manejo de forma automática y solo se detiene mediante el joystick.



**Figura 3** Interface Háptica

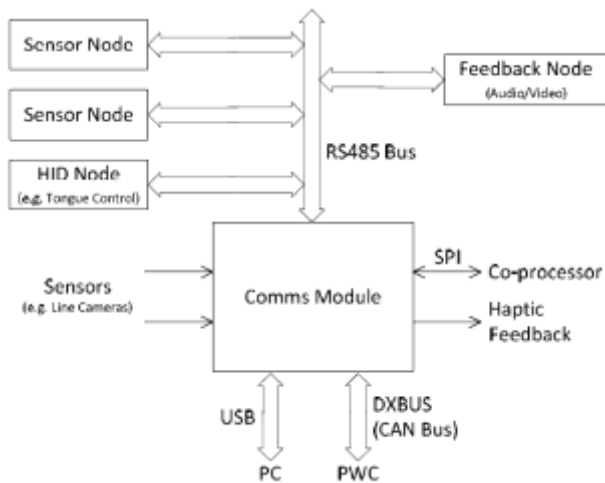
*Fuente: Journal of Rehabilitation Research and development, 2011*

El proyecto IATSL-IWs también toma en consideración las preferencias del usuario al momento de elegir el modo de control, destacando que en ciertos ambientes de trabajo el usuario desearía estar al control (pasillos principalmente), mientras que en otros ambientes (elevadores o puertas) el usuario prefiere un sistema de apoyo, por lo que es necesario un sistema dinámico de selección.

Ha existido una baja tendencia a crear IWs comerciales debido a que existe una abertura entre los académicos investigadores, fabricantes y usuarios [21], razón por la cual han surgido proyectos que buscan ser un puente entre estos 3 sectores como [22], [23] y [24].

### **Sillas de ruedas inteligentes con enfoque comercial**

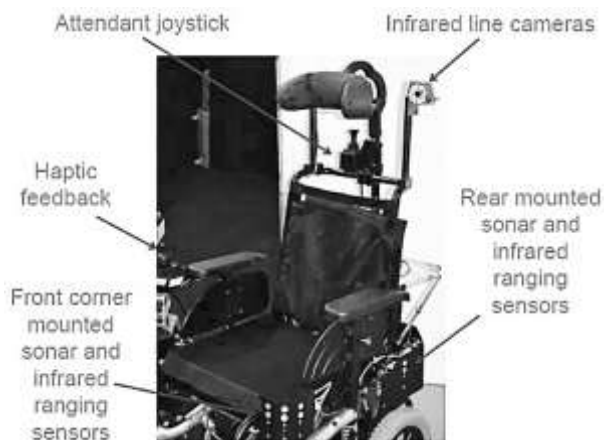
El proyecto SYSIASS tiene el objetivo de reducir la barrera técnica para realizar investigación sobre la detección de obstáculos mientras que al mismo tiempo busca mantener una ruta simple para la comercialización [23]. Esta IWs hace uso de nodos de sensores de presencia infrarroja y ultrasónica controlador por un Arduino Nano, los cuales se comunican entre sí mediante un protocolo RS-485 como lo muestra la Figura 4. El uso de un protocolo de comunicación permite aumentar el número de nodos sensores, sin embargo la frecuencia de actualización de cada sensor es de 80 ms, esto debido a la naturaleza del uso del protocolo, control secuencial y el tiempo de adquisición de cada sensor.



**Figura 4** Topología del proyecto SYSIASS

Fuente: IEEE Xplore digital Library, 2014

El control de la IWs es de tipo joystick como lo muestra la Figura 5, sin embargo es posible implementar entradas multimodales modificando el programa de control y aumentando un nodo, sin embargo este sistema no es adaptable a varios modelos de sillas de ruedas solo a aquellas que cuenten con el controlador Dynamic Controls, su sistema de control principal es mediante una computadora.



**Figura 5** Entradas/ salidas y límites de detección del proyecto SYSIASS

Fuente: IEEE Xplore digital Library, 2014

## Sillas de ruedas con interacción hombre robot

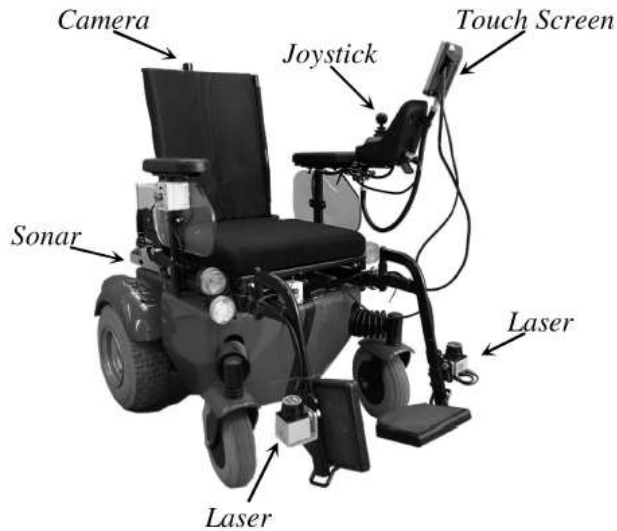
El proyecto LIASD-Wheelchair por Laboratoire d'Informatique Avancée de Saint-Denis en la Universidad de París, propone un método de interacción háptico empleando retroalimentación por fuerza en el joystick empleando una red de sensores LIDAR como se muestra en la Figura 6, [25], también tiene su precedentes en control joystick háptico en [26].

Tiene un control embebido estructurado en 3 niveles: control básico (control de posición, control de velocidad), táctico (seguir trayectoria, generador de referencia, búsqueda de objetivos) y estratégico (administrador de servicios). El proyecto utiliza el concepto de impedancia virtual a través de un modelo, el cual asegura una transición suave de velocidad para el seguimiento de trayectorias, con lo cual realiza una interacción usuario-robot.



**Figura 6** Prototipo LIASD

Fuente: Software engineering, 2012



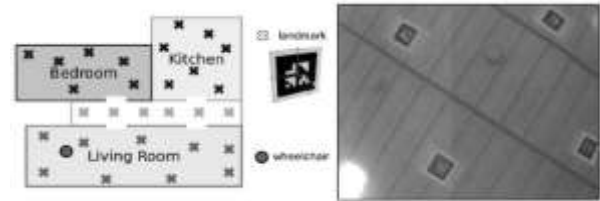
**Figura 7** Proyecto LURCH

*Fuente: Proceedings of Intelligent Robots and Systems, 2012*

El proyecto LURCH del laboratorio de Inteligencia artificial y robótica en el departamento de electrónica, informática y bioingeniería del Politécnico de Milano [27] y [28], propone un control multimodal a través de un joystick clásico, pantalla táctil, interface miográfica e interface cerebro computadora en orden de crear un sistema semiautónomo para rango amplio de usuarios con discapacidad motora como se muestra en la Figura 7. El usuario tiene la oportunidad de escoger entre 3 niveles de autonomía que abarcan desde evasión de obstáculos hasta autonomía completa.

Los sensores, electrónica y un equipo de cómputo son agregados a una EPW comercial; el sistema de control inteligente cuenta con una interface que simula la señal del joystick original. El diseño de la silla contiene 3 módulos:

**Localización:** emplea un sistema de visión por computadora apuntando hacia techo de una casa y marcadores pasivos para que la IWs pueda determinar en qué habitación se encuentra, como se muestra en la Figura 8.



**Figura 8** Marcadores Pasivos

*Fuente: Proceedings of Intelligent Robots and Systems, 2012*

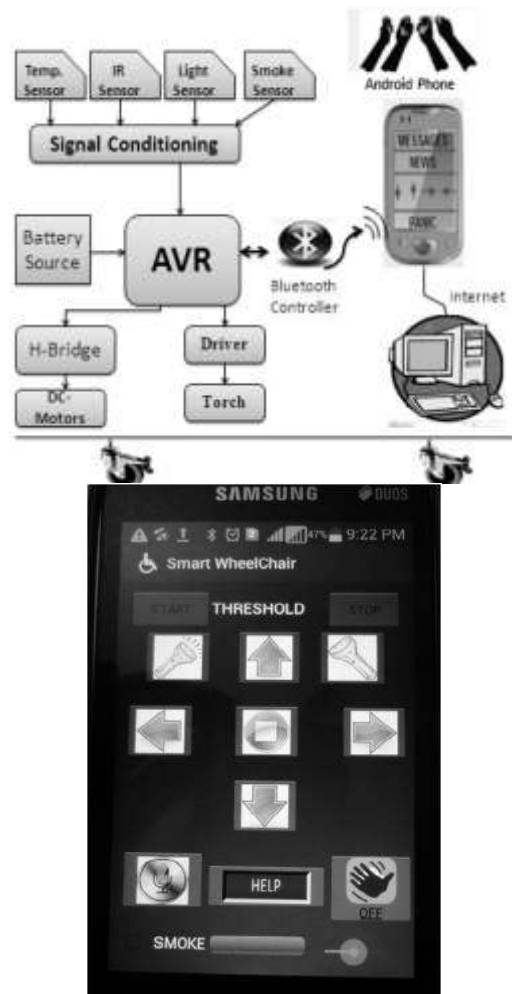
**Planeación:** emplea un algoritmo A\* modificado para la aplicación en espacios de 2D.

**Control.** Emplea 2 juegos de reglas difusas de orientación y detección de obstáculos, las cuales son habilitadas solo cuando navegación autónoma es requerida por el usuario. El proyecto LURCH aún está activo y sugiere considerar el uso del ISO 13482 para la interacción hombre robot.

### Sillas de ruedas con interface cerebro computadora

Las interfaces cerebro computadora permite que usuarios con discapacidad motriz a nivel de cuello o cuadriplegia puedan operar una silla de ruedas [33]. La interface es realizada mediante una diadema comercial EPOC+ Emotiv Xavier. Las señales proporcionadas son ondas Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma, a través de ellas es posible determinar los niveles de relajación, concentración de los usuarios en orden de realizar las operaciones de control de dirección.





**Figura 9** Diagrama a bloques e interface del proyecto Pune-IWs

Fuente: *International Conference on Pervasive Computing, 2015*

### Sillas de ruedas inteligentes con interface en cómputo móvil

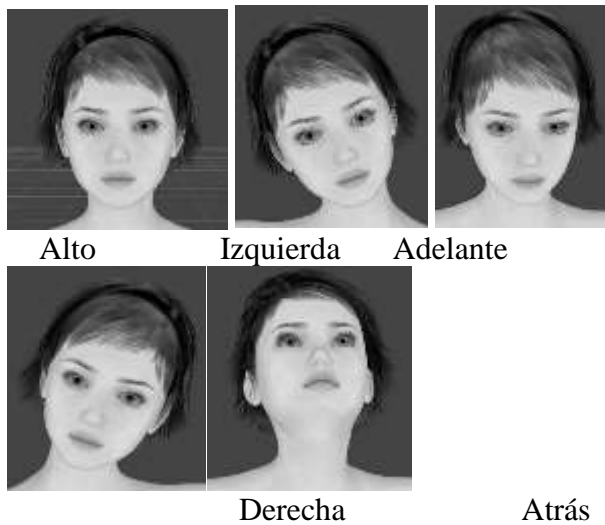
La adición de dispositivos móviles y las IWs hacen posible tomar ventaja de SMS, E-mail, pantallas táctiles, VR y sensores del celular para interactuar con el usuario.

El proyecto PUNE-IWs del colegio de ingeniería e investigación de Dnyanganga en India consiste una silla de ruedas inteligente con sensores de obstáculos, temperatura, gas y vinculación con un teléfono inteligente a través de Bluetooth para lograr un poco de movimiento independiente [29].

La Figura 9, muestra los sensores que emplea el proyecto para detectar obstáculos, en adición emplea sensores de temperatura, gas y un botón de emergencia. La App de control es diseñada para el SO Android, el diseño de la interfaz permite el uso de reconocimiento de voz, pantalla táctil y el uso de acelerómetro.

### Diseño de la interfaz de control

Las IWs citadas comparten el uso de sensores para poder determinar la presencia de un obstáculo a través de una diversa gama de sensores, desde ultrasónicos, láser y cámaras con visión por computadora que son microcontrolados, es a través de la experiencia del usuario en que este se adapta al sistema en cuanto a la velocidad máxima que puede alcanzar o distancia mínima antes de chocar con un obstáculo, pero si los rangos de detección o velocidad no se adaptan también al usuario conforme a su experiencia, esto supondrá una barrera en su interacción con el robot. Otra característica que comparten son las directivas de control limitadas independientemente de la multimodalidad de la IWs, por lo que para dar mayor autonomía se apoyan en algoritmos propios de visión por computadora, localización simultánea, mapeo y búsqueda, sin embargo una reconfiguración manual por parte del usuario de algún parámetro resulta difícil de implementar pues los sistemas se ocupan del control de dirección o destino de la IWs, por ello el sistema se debe de adaptar al usuario.



**Figura 10** Inclinación de rostro como método de control del robot

Fuente: Elaboración propia

### Determinación de la resolución mínima necesaria para el control de dirección

Los movimientos que realizar el robot son 5: alto, adelante, atrás, izquierda y derecha. La entrada de información por parte del usuario es una ligera inclinación de la cabeza inclinación de la cabeza como muestra la Figura 10. El proceso de detección devuelve una respuesta a 5 bits para identificar la entrada por parte del usuario, de esta forma el sistema es combinatorial. Si se requiere ejecutar más movimientos o tener otras opciones para el control del robot, entonces el sistema sería secuencial debido a que no se pueden hacer combinaciones entre las entradas del usuario todas a la vez.

### Determinación del ángulo de inclinación

La dirección y velocidad propuesta por una silla EPW es proporcional a la inclinación del joystick, sin embargo para una persona con deficiencia de movimiento en sus extremidades no es posible emplear este método de entrada.

La inclinación del rostro para el control del robot permite usar la cabeza como un joystick, el dispositivo sensor un acelerómetro de 3 ejes de un teléfono inteligente debido a que es un hardware común entre usuarios con EPW.

La colocación del dispositivo móvil juega un papel importante en la detección, por lo que se adecuó una base que lo sitúa al costado izquierdo del usuario junto a la oreja, la relación de ángulo de inclinación y movimiento se muestra en la Tabla 3.

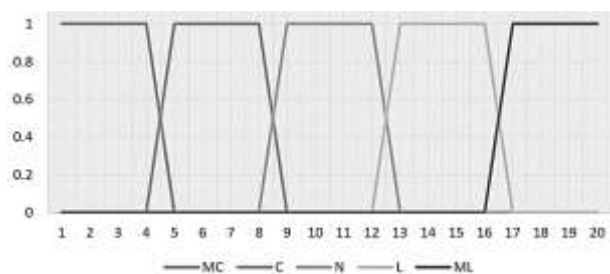
Eje x	Eje y	Eje z	Acción
$-5 < x < 5$	DC	$-5 < x < 5$	Alto
$-5 < x < 5$	DC	$-10 < x < -5$	Izquierda
$-5 < x < -15$	DC	$-5 < x < 5$	Adelante
$-5 < x < 5$	DC	$5 < x < 10$	Derecha
$5 < x < 15$	DC	$-5 < x < 5$	Atrás

**Tabla 3** Relación inclinación y acción del robot

Fuente: Elaboración propia

### Sistema difuso para el control de velocidad en base a la experiencia del usuario

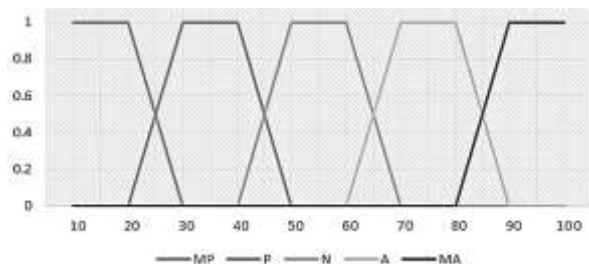
La determinación de la velocidad propuesta es calculada mediante un sistema difuso [30] cuyas variables de estado son la experiencia del usuario y la distancia a un obstáculo, de esta forma si el usuario tiene poca experiencia podrá moverse con menor velocidad, mientras que si tiene una mayor experiencia le permitirá moverse con mayor velocidad. Las variables de estado tienen 5 etiquetas lingüísticas: muy lejano (ML), lejano (L), normal (N), cerca (C) y muy cerca (MC), la Gráfica 1 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas y la distancia en decímetros con respecto a un obstáculo detectado por el sensor ultrasónico.



**Gráfico 1** Variable de estado distancia de choque en decímetros

Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 2 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas y la experiencia del usuario, la cual es valorada de 0 a 100% y es obtenida a través de un cuestionario con información relativa al control de las EPW y libertad de movimiento del cuello. Las variables a controlar son la distancia mínima de choque y la velocidad máxima, debido a que un usuario inexperto al acercarse a un objeto debe de mantener su distancia para no chocar, mientras que un usuario experimentado debe tener la facultad de poder acercarse aún más pues ha aprendido a interactuar con el hardware.

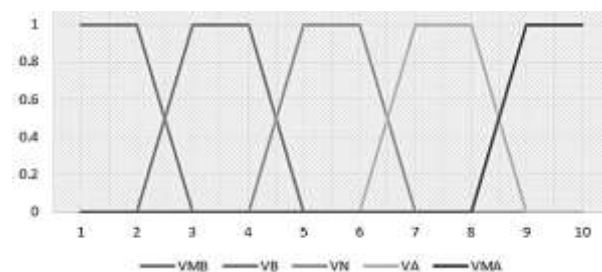


**Gráfico 2** Variable de estado experiencia del usuario

Fuente: Elaboración propia

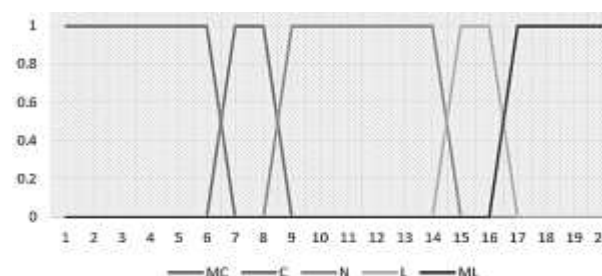
La Gráfica 3 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas con la velocidad cuyo límite es 10 km/h, debido a que es la velocidad máxima del robot, las etiquetas son: velocidad muy baja (VMB), velocidad baja (VB), velocidad normal (VN), velocidad alta (VA) y velocidad muy alta (VMA).

El estándar ISO-13482 indica que todo dispositivo robótico empleado para rehabilitación y cuidado no debe de exceder los 20 km/h [31].



**Gráfico 3** Variable de control velocidad

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 4** Variable de control distancia mínima

Fuente: Elaboración propia

### Sistema difuso para el control de distancia de choque mínima

La determinación de la distancia es calculada mediante un sistema difuso cuyas variables son la experiencia del usuario y la distancia a un obstáculo, de esta forma si el usuario tiene poca experiencia podrá detenerse a tiempo, mientras que si tiene una mayor experiencia le permitirá acercarse más a los objetos.

Las variables de estado son mostradas en las Gráficas 1 y 2, mientras que la Gráfica 4 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas con la distancia mínima, las variables de estado tienen 5 etiquetas lingüísticas: muy lejano (ML), lejano (L), normal (N), cerca (C) y muy cerca (MC).

Distancia	Experiencia				
	MB	B	N	A	MA
MC	VMB	VMB	VMB	VB	VB
C	VMB	VB	VB	VB	VN
N	VB	VB	VN	VN	VN
L	VN	VN	VA	VA	VA
ML	VN	VA	VMA	VMA	VMA

**Tabla 4** Reglas difusas para la velocidad máxima

Fuente: *Elaboración propia*

El conjunto de reglas difusas empleado es mostrado en la Tabla 4, fue obtenido a partir entrevistas con usuarios de sillas de ruedas y el tipo de velocidad que requieren para realizar sus actividades. La Tabla 5 muestra las reglas difusas para determinar la distancia mínima de alto y la retroalimentación auditiva por medio de módulos texto a voz en el dispositivo móvil.

### Diseño del sistema de interface entre el celular y el hardware

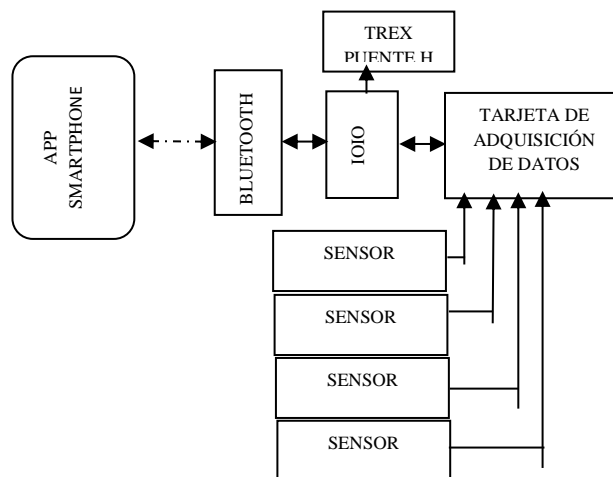
La Figura 11 muestra el diagrama a bloques del hardware del robot, el cual consta de un módulo de Bluetooth serial para la interface entre el hardware y la aplicación en el Smartphone. Un módulo IOIO que media la comunicación entre los sensores, Bluetooth y el puente H; el dispositivo IOIO recibe la señal por parte de la tarjeta de adquisición de datos en forma serial, por lo que la actualización de la información se realiza a razón de 20 milisegundos por sensor ultrasónico, un ciclo completo es de 100 milisegundos más 1 milisegundo por cada paquete, por lo que la frecuencia de actualización es de 9.6 veces por segundo.

Distancia	Experiencia				
	MB	B	N	A	MA
MC	MC	MC	MC	C	C
C	MC	C	C	C	N
N	C	C	N	N	N
L	C	N	L	L	L
ML	N	N	ML	ML	ML

**Tabla 5** Reglas difusas para determinar la distancia mínima

Fuente: *Elaboración propia*

La tarjeta TREX permite el control de los motores de 5 amperios del robot mediante un PWM programable vía protocolo serial [32]. La señal serial proviene de la aplicación del smartphone a través de los módulos bluetooth y la tarjeta IOIO. La tarjeta de adquisición de datos recaba la información de los sensores, se empleó la tarjeta Arduino Mega, por ello el tiempo de adquisición lo realiza secuencialmente.



**Figura 11** Diagrama a bloques del hardware del robot

Fuente: *Elaboración propia*

### Resultados

La aplicación identifica la inclinación del rostro del usuario respetando los límites establecidos, además retroalimenta por texto a voz la elección tomada.

La figura 12 muestra la interface creada y la adaptación del dispositivo móvil al rostro del usuario. El tiempo de respuesta del sistema al momento de tomar una decisión varía entre 120 ms y 131 ms de acuerdo a la Tabla 6, debido al tiempo de comunicación, adquisición de datos de los sensores y uso de protocolos seriales. El hardware implementado se muestra en la Figura 13.

Se probó la aplicación en diversos Smartphone obteniendo una frecuencia en el ciclo de detección y control que varía entre 8.3 y 7.6 veces por segundo, debido a que los motores requieren un tiempo de arrancado y variación de velocidad además que el cambio de dirección propuesta no es constante el periodo obtenido es aceptable. Los requerimientos de la aplicación son 12 KB disponibles para memoria de datos y el espacio del programa en 3.52 MB.



**Figura 12** Usuario empleando control por inclinación con un Smartphone Android

*Fuente: Elaboración propia*

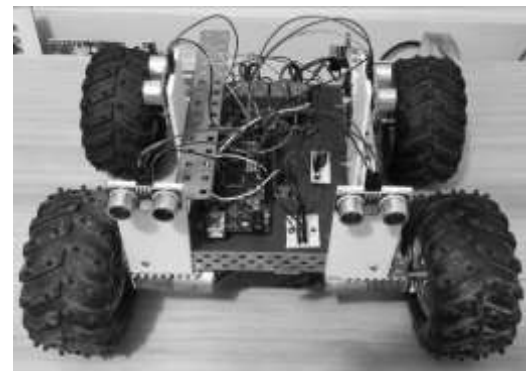
Modelo	Microprocesador	Memoria	Tiempo
Galaxy S5	2.5 Ghz	2G	120 ms
Moto G	1.2 Ghz	1G	131 ms
Galaxy A5	1.2 Ghz	2G	125 ms
HTC ONE	1.5 Ghz	1G	123 ms

**Tabla 6** Tiempo de adquisición y control del robot

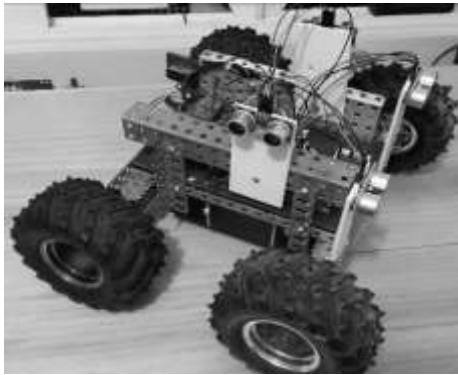
*Fuente: Elaboración propia*

**Agradecimiento**

El presente trabajo de investigación fue desarrollado con el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, en el departamento de ingeniería en sistemas computacionales con el cuerpo de investigación Sistemas de información para administrar procesos bajo la LGCA Domótica y Robótica.



**Figura 13** Hardware implementado



**Figura 13** Hardware implementado

Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

El control implementado con cómputo móvil ofrece otras ventajas a comparación con el cómputo tradicional: circuitos de recarga de batería más económicos; mayor tiempo de autonomía; uso de los sensores integrados del celular permiten medir la velocidad, aceleración, presencia entre otras variables sin aumentar el costo de una IWs. El método de adquirir la dirección propuesta mediante la inclinación del rostro permite que usuarios puedan controlar un robot móvil con menor esfuerzo comparado al joystick. La determinación de la distancia mínima de choque y velocidad máxima, permite modificar las variables de control de un robot móvil, haciendo que esta se adapte al usuario y mejore su interacción hombre robot.

## Referencias

[1] Harold Soh, Y. D. "Learning Assistance by Demonstration: Smart Mobility". Journal of Human-Robot Interaction, 76-100, 2015.

[2] R. S. Rao, K. C. "Human Robot Interaction: Application to Smart Wheelchairs". Proceedings of the 2002 IEEE, 3583-3588, 2002.

[3] Rory A. Cooper, H. O. "An introduction to rehabilitation engineering". Pennsylvania: Taylor & Francis Group, 2007.

[4] Damian Gordon, C. O. "Teaching Universal Design in computer science". Universal Design in Education Conference 1, 2015.

[5] Maisel, E. S. "Universal Design: Creating Inclusive Environments". New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2012.

[6] Smith, W. P. "Universal Design Handbook, 2nd Edition 2". New York: McGraw Hill Professional, 2010.

[7] Página Web de National Disability Authority, Universal Design. "Centre for Excellence in Universal Design". Obtenido de: <http://www.universaldesign.ie/>

[8] Sanford, J. A.. "Design for the ages: Universal design as a rehabilitation strategy". Georgia: Springer Publishing Company, 2012.

[9] Gaudino EA, M. L.. "Development of the Functional Assessment Taxonomy". Washinton: US National Library of Medicine, 2001.

[10] INEGI, "Censo General de población y Vivienda 2010". Ciudad de México: INEGI, 2010.

[11] Bouck, E. C. "Assistive Technology". Singapore: SAGE, 2016.

[12] Sante, O. M., Organisation mondiale de la santé. Obtenido de "Technologies d'assistance", obtenido de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/assistive-technology/fr/>

- [13] Rodrigo A. M. Braga, M. P., "*Concept and Design of the Intellwheels Platform for Developing Intelligent Wheelchairs*". En J. A. Cetto, *Informatics in Control, Automation and Robotics* (págs. 191-203). Portugal: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [14] M. R. Petry et al, "*IntellWheels: Intelligent wheelchair with user-centered design*". *e-Health Networking, Applications & Services (Healthcom)*, 414-418, 2013.
- [15] A. Ruíz-Serrano et al, "*Development of a dual control system applied to a smart wheelchair, using magnetic and speech control*". *Procedia Technology: 3rd Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science, CIIIECC 2013*, 158-165, 2013.
- [16] Amberlay Ruíz-Serrano et al, "*Obstacle Avoidance Embedded System for a Smart Wheelchair with a Multimodal Navigation Interface*". *Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2014 11th International Conference on, 1-6, 2014.
- [17] Rosalie H Wang, A. M., "*Usability testing of multimodal feedback interface and simulated collision-avoidance power wheelchair for long-term care home residents with cognitive impairments*". *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 801-821, 2011.
- [18] Rosalie H Wang, T.-V. H., "*Evaluation of an intelligent wheelchair system for older adults with cognitive impairments*". *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2013.
- [19] Rosalie H. Wang, P. V., "*A Wizard-of-Oz Intelligent Wheelchair Study with Cognitively-Impaired Older Adults: Attitudes toward User Control*". *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Assistive Robotics for Individuals with Disabilities: HRI Issues and Beyond*. Chicago, Illinois, USA: IEEE Xplore, 2014.
- [20] Dawson D.R., C. R., "*Development of the power-mobility indoor driving assessment for residents of long term care facilities*". *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 269-276, 1994.
- [21] J. C. Garcia, M. M., "*Intelligent Wheelchairs: Filling the Gap between Labs and People*". *Technology: From Research to Practice: AAATE 2013 vol. 33*, pág. 202, 2013.
- [22] Jicheng FU, E. M., US Patente n° US 2016/0143593 A1, 20165.
- [23] Stephen William Kelly, M. H., "*Powered Wheelchair Platform Assistive Technology Deveopment*". *Fifth International Conference on Emerging Security Technologies (EST)* (págs. 52-56). Alcala de Henares, España: IEEE Xplore Digital Library, 2014.
- [24] Rodrigo A. M. Braga, M. P., "*Concept and Design of the Intellwheels Platform for Developing Intelligent Wheelchairs*". En J. A. Cetto, *Informatics in Control, Automation and Robotics* (págs. 191-203). Portugal: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [25] Youcef Touati et al, "*Smart Powered Wheelchair Platform Design and control for People with Severe Disabilities*", *Software Engineering 2012*, 49-56, 2012.

[26] G. Bourhis, M. S., "*Assisted Control Mode for a Smart Wheelchair*". Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, (págs. 158-163). Noordwijk, The Netherlands: IEEE Xplore, 2007.

[27] Bonarini, A. C., "*Introducing LURCH: A shared autonomy robotic wheelchair with multimodal interfaces*". Proceedings of IROS 2012 Workshop on Progress, Challenges and Future Perspectives in Navigation and Manipulation Assistance for Robotic Wheelchairs, 2012.

[28] Gu, P., AIRLab. Obtenido de "LURCH - The autonomous wheelchair": <http://airwiki.ws.dei.polimi.it/index.php/Lurch>

[29] Shraddha Uddhav khadilkar, N. W., "*Android phone controlled Voice , Gesture and Touch screen operated Smart Wheelchair*". International Conference on Pervasive Computing (ICPC). Pune, India: IEEE Xplore, 2015.

[30] Wolfgang Ertel, "*Introduction to Artificial intelligence*", Springer Verlag London Limited, 2011.

[31] ISO-13482:2014, "*Robots and robotics devices-Safety requirements for personal care robots*", International Organization for Standardization, 2014.

[32] Pololu, "Pololu Trex User's Guide", Hoja de datos, 2015.

[33] Chavez Saenz V., "*Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+*", ECORFAN Revista de Tecnología e Innovación, México, Junio 2016.