

# Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas Eléctrica de Dos Posiciones.

Salcedo Hernández Luis Fernando, Torres San Miguel Christopher René,  
Urriolagoitia Sosa Guillermo, Romero Ángeles Beatriz  
salcdo.slufher@hotmail.com

Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Zacatenco, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F.

## Resumen

*Este trabajo presenta el rediseño de una silla de ruedas eléctrica de dos posiciones, que ayuda a desplazar de manera automática a un paciente en cualquier dirección así como, le permite estar en un estado erguido. En este trabajo se realiza un análisis de la fuerza requerida por un elemento mecánico para levantar y desplazar a una persona de 90kg. Además de seleccionar los mecanismos comercializados que permiten llevar a cabo estas tareas, lo cual se realizó mediante un programa de cómputo especializado de diseño donde se analizó la estructura completa que compone a la silla de ruedas de dos posiciones. Por otro lado, en la parte electrónica se diseñó y simula virtualmente el circuito eléctrico, que hace posible el control de los elementos mecánicos antes redactados. Como resultado se obtiene un dispositivo que proporciona de forma mecánica, electrónica y de control una posible solución para las personas que por necesidad deben permanecer gran parte de su vida en una silla de ruedas*

Palabras claves: silla de ruedas, autonomía, diseño.

## Abstract

*A mechanical design of an electric wheelchair with two stable positions is presented. The resulting system allows an erect state position for patients besides automatic electronic control can be self-obtained by the user. In order to contemplate lifting and moving a person of 90kg by the mechanical device, an analysis of the required force was studied. Mechanical calculations were performed with a specialized computer program for investigating the behavior of the complete structure design that composes the two wheelchair positions. The commercial mechanisms that permit the optimization of the tasks were selected. On the other hand, the electronic control system was designed by a*

*numerical simulation method. The result is a mechanical system with electronic control for providing a possible solution for people who must remain a large part of his/her life in a wheelchair by necessity.*

Keywords: wheelchair, autonomy, design.

## 1.- Introducción

La silla de ruedas es una estructura que contribuye a solventar las limitaciones de desplazamiento que tienen algunas personas con algún tipo de discapacidad. Para los usuarios de silla de ruedas, ésta toma la función de extremidades inferiores lo cual permite que estas personas desarrollen una mejor calidad de vida [1].

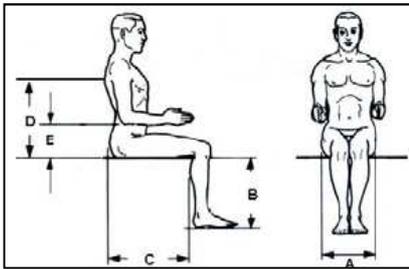
En la actualidad, existen múltiples patologías que deterioran la capacidad de deambulación y condicionan a una persona a ser usuaria de una silla de ruedas. La mayoría de estos padecimientos cursan con diferentes etiologías como, lesión medular grave, seccionamiento o compresión de la médula espinal, usualmente por fragmentos de hueso de una fractura vertebral y un traumatismo obstétrico, daño por proyectil. Así como, tumores (compresión crónica de la médula), mielitis transversa y esclerosis múltiple entre otros. Para que esta máquina cumpla con tan importante función, debe elegirse según las necesidades de cada individuo y contar con espacios adecuados para su desplazamiento [2].

Las sillas eléctricas se reservan fundamentalmente a aquellas personas que carecen de suficiente fuerza en sus miembros superiores para propulsarse, como consecuencia de procesos neuromusculares o lesiones medulares altas. En México datos del INEGI corroboran que un 58.3 % de la población que tiene una discapacidad utiliza silla de ruedas para poder desplazarse. En números

reales esto significa que 3, 345,994 personas de una población total con discapacidad de 5, 739,270 necesitan un aparato de este tipo para moverse [3].

## 2.- Metodología

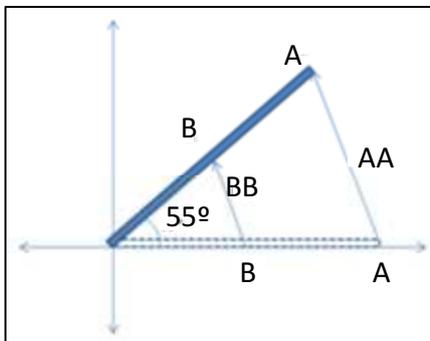
La independencia de una persona en silla de ruedas, puede facilitarle o complicarle su vida diaria. Lo cual depende considerar correctamente los parámetros de diseño, para cumplir con los requerimientos ergonómicos de la condición física del paciente. Para el diseño de la silla de ruedas de deben considerar ciertas medidas básicas (Figura 1).



**Figura. 1** Medidas básica para el diseño de una silla de ruedas. [4]

### 2.1.- Distancia de desplazamiento angular.

Para el cálculo del desplazamiento angular que realiza el asiento y obtener la posición erguida se consideró la distancia desde el punto inicial. Es decir, desde que la persona está en la posición natural de la silla (sentado) hasta la posición en que la persona no puede caerse de la silla (de pie). Para establecer la distancia a la que se debe colocar el asiento donde la persona esté en pie y no pierda el equilibrio, se determina un sistema de coordenadas colocando como punto fijo un extremo de la lámina que es la base del asiento ilustrado (Figura 2).



**Figura 2.** Desplazamiento que realiza el asiento para levantar una persona

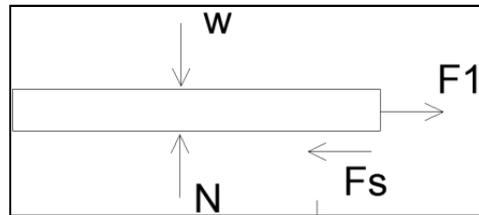
Se propone que la longitud del asiento sea de 55cm, el ángulo para que la persona puede mantenerse en la silla sin caerse es de 55° [5].

Para saber la distancia que recorre el asiento desde el punto A (55,0) hasta el punto A<sub>1</sub> se utiliza la ecuación que determinan la distancia entre dos puntos [2] con lo que se obtiene que dicha distancia es de 50.79cm.

Para levantar el asiento se determina un punto donde la fuerza se distribuye y este punto es el centro de la barra que es el punto B (27.5, 0), cuya distancia a la que se desplaza para tener un ángulo de 55° es de 25.39cm.

### 2.2.-Mecanismo para elevar el asiento.

Después de introducir datos de los pacientes (peso, longitud, piernas, etc.) se obtiene el resultado de desplazamiento. También se requieren cálculos de las fuerzas para realizar la tarea. El diagrama de cuerpo libre para este problema se presenta en la Figura 3, que indican el número de fuerzas que actúan sobre el diseño de la silla [5].



**Figura 3** Distribución de cargas

En la Figura 3 se observan las fuerzas que actúan sobre el asiento de la silla. En base a la imagen se obtiene las ecuaciones de equilibrio con las cuales se concluye que la carga total que debe soportar es de 1041.82N.

Para levantar a una persona de 800N en una posición sentada, es necesario un motor con un torque de 210 Nm. Como se tiene un peso de 90kg, el torque necesario debe ser de 273.47 Nm. [5].

En base al resultado se decide proponer un motor reductor, cuyas características son [5]:

$$\begin{aligned} \text{Rpm (entrada)} &= 1000 \\ \text{Rpm (salida)} &= 20 \\ \text{Hp} &= 0.6 = 746 \text{ W} \end{aligned}$$

2.3.- Juego de engrane cilíndrico y cremallera.

Se cuenta con los datos la moto reductor y la fuerza total a mover. Se procede a obtener el juego de cremallera que resista esta función. Para ellos se utilizó la Ecuación 1 para determinar la fuerza tangencial [6].

$$W_t = \frac{H}{Dp * \omega} \quad (1)$$

Tomando en cuenta diversos engranes comerciales obtenidos de catálogos y basándose en la ecuación (1). Se obtiene un engrane capaz de soportar la carga de 90kg cuyas dimensiones son [6]:

- Nº de dientes = 50
- De = 280mm.
- Dp = 200mm.
- Altura del diente = 8.67 mm.

Se obtienen los valores del engrane cilíndrico y se calculó la cremallera que funciona junto al engrane para levantar el asiento cuyas dimensiones son:

- Longitud = 628mm.
- Nº de dientes = 50

2.4.-Movimiento de la silla de ruedas

Como se sabe una silla de ruedas no es un aparato que este estático, normalmente se encuentra en constante movimiento. Por ello se busca calcular la fuerza que se necesita para realizar un desplazamiento [7].

El peso total que los motores deben moverse obtiene por medio de la Ecuación 2 es:

$$PTM = PEM + PMU + PF + PCS + PM \quad (2)$$

$$PTM = (176.4kg)(9.81 \text{ m/s}) = 1730.48N$$

Con este valor, se obtiene la fuerza máxima que deben entregar los motores para mover la silla [7].

2.4.1.- Transmisión horizontal a 0º

Para determinar la fuerza máxima se recurre a las leyes de Newton mediante el diagrama de cuerpo libre Figura 4 [7].

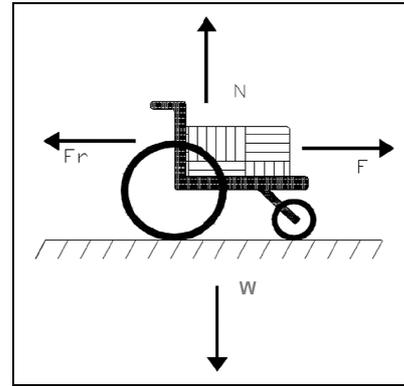


Figura 4. Superficie Plana [7]

Para materiales de hule sobre concreto se considera un coeficiente de fricción cinético aproximadamente de 0.57. Retomando las ecuaciones de equilibrio se tiene que la fuerza necesaria para desplazarse es de 986.37N

2.4.2- Transmisión Ascendente.

En pendientes longitudinales Figura 5, se establecen los rangos máximos para tramos de rampa entre descansos, los cuales son medidos en su proyección horizontal [7].

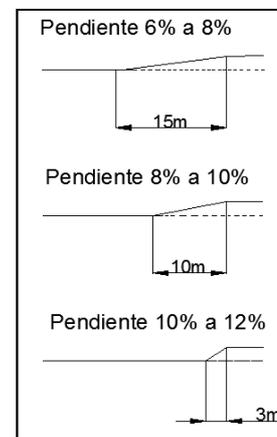


Figura 5. Porcentajes de pendientes

- a) Hasta 15 metros: 6% a 8% equivalente a un ángulo de 3.43°.
- b) Hasta 10 metros: 8% a 10% equivalente a un ángulo de 5.71°.
- c) Hasta 3 metros: 10% a 12% equivalente a un ángulo de 6.84°.

Para el diseño se considera el valor más crítico 6.84°. La Figura 6 muestra el diagrama de cuerpo

libre de la Superficie con pendiente ascendente [7]. Esta figura muestra una pendiente con la silla en ascenso, esto auxilia a comprender si los motores no se sientan y tienen la suficiente fuerza para subir.

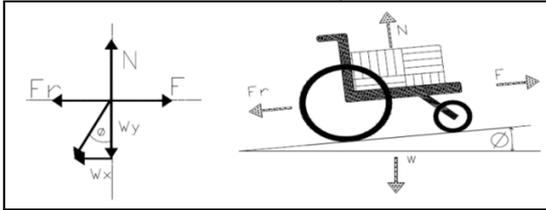


Figura 6. Superficie pendiente ascendente [7]

En base a la Figura 6 se obtienen la ecuación de equilibrio del sistema y el resultado 1096.82N necesarios para ascender.

#### 2.4.3- Transmisión descendente.

La Figura 7, muestra el diagrama de cuerpo libre de la superficie con pendiente descendente [7]. Lo que ilustra esta figura, son las fuerzas que interviene en una pendiente descendente, esto ayuda a comprender si los motores seleccionados son los adecuados.

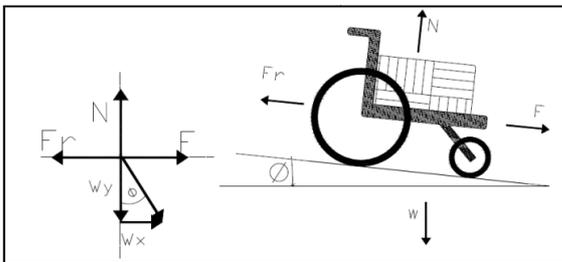


Figura 7 superficie pendiente descendente [7]

Con respecto a la Figura 7 se obtienen las ecuaciones de equilibrio del sistema que se dan como resultado 861.87N.

#### 2.5.- Potencia de los motores para desplazar el vehículo.

Según los fabricantes de sillas de ruedas electrónicas el estándar de velocidad máxima se encuentra en 2.45m/s [7].

Los motores para este proyecto son Model: HBS36R -- Rear Hub Motor de corriente continua de 10 Amp y 12Vdc.

Potencia máxima=Velocidad máxima x Fuerza máxima.

Potencia máxima=2.45 m/s x 109.58kgf =268.47 watts.

Potencia del motor=V x I.

Potencia del motor=24Vdc x 10Amp =240 watts.

Se debe considerar un 10% de pérdidas que son causados por factores mecánicos de los motores. Por lo tanto, la potencia efectiva máxima de cada motor es 216 watts y con esto se procede a calcular la velocidad máxima de la silla de ruedas.

Velocidad maxima

$$= \frac{\text{Potencia máxima del motor}}{\text{Fuerza máxima}}$$

$$\text{Velocidad maxima} = \frac{216 \text{ watts}}{109.58 \text{ kgf}} = 1.97 \text{ m/s}$$

Con lo que se corrobora que los motores que se incluyen a la silla tienen la potencia apropiada.

#### 2.6.-Diseño del sistema eléctrico

Para la alimentación de la silla de ruedas se selecciona una batería recargable High Capacity Lithium Battery Pack for e-Bikes de 24 Vdc 5A (Figura 8). Esta batería, como su nombre lo indica, se utiliza generalmente el sistema de conversión de bicicletas. La cual tiene excelente rendimiento y cuenta con un chasis que protege de condiciones ambientales agresivas. Asimismo tiene un tamaño adecuado para el proyecto mencionado [8].



Figura 8. Batería recargable High Capacity Lithium Battery Pack for e-Bikes de 24v 60mA

Se diseñó un circuito cargador, este arreglo se muestra en la Figura 10, este trabaja con una fuente de alimentación común de 127v con 60Hz, llega al puente de diodos (Figura 9A), continuando a un rectificador que se encarga de depurar la carga y eliminar los picos (Figura 9b). Posteriormente llega a un amplificador que funciona como comparador llamado LM301 que realiza una comparación entre el voltaje actual y el voltaje del toma corriente. Cuando

estas son iguales, se enciende un led que indica que la carga a terminado (Figura 9c).

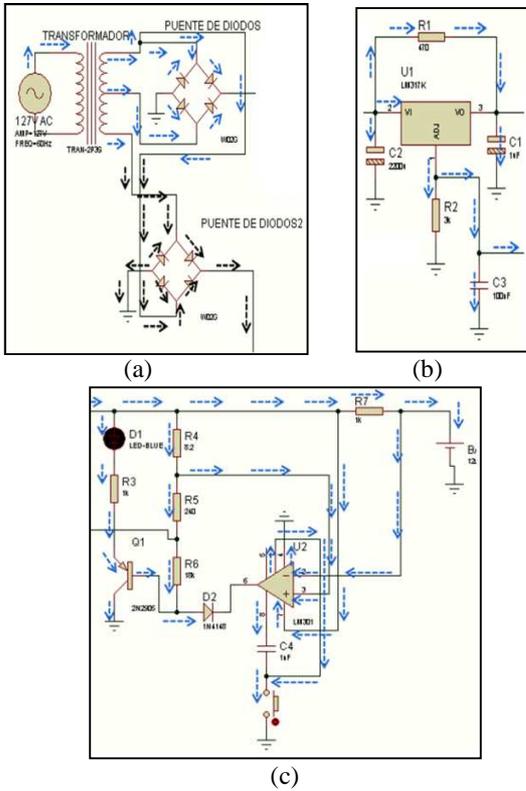


Figura 9. Esquema eléctrico del primer cargador de baterías

En la Figura 10 se observa el funcionamiento del circuito. En principio el optoacoplador OR1 en su salida transmite una señal que activa el transistor 2N3904 que tiene la función de conmutador, al estar activado este permite que la bobina del mini relevador se alimente y que realice el cambio de los contactores, el diodo 1N4001 se coloca en paralelo a la bobina para evitar una falla con el transistor. El relevador RL1, al realizar el cambio de sus contactores permite alimentar al motor el cual comienza a rotar. RL2 esta desactivado toda alimentación que llega queda nula puesto que no hay continuidad. El cambio de giro se da cuando el relevador RL2 es activado mientras que RL1 es ahora el desactivado [8].

En la Figura 10 se observa la conexión del circuito, que se repite para los otros 2 motores que se controlan mediante el micro controlador.

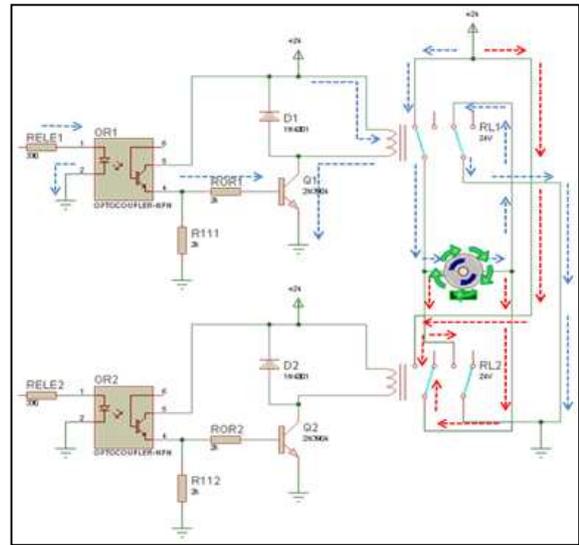


Figura 10 Inversión de giro del Motor

### 2.7.- Sistema de control.

La palanca de mano (joystick) tiene la función de mandar señales de entrada al microcontrolador y depende de la señal recibida este realiza diversas operación. En este caso el joystick tiene la posibilidad de enviar 10 variables diferentes las cuales pueden ser los estados de la silla (sentado, parado) o el tipo de desplazamiento (adelante, atrás, izquierda-adelante, etc.)

Para hacer de forma más fácil la programación del microcontrolador, se realiza diversos diagramas de bloques para determinar cada una de las funciones que realiza el joystick. En la Figura 11 se observa una de ellas [9].

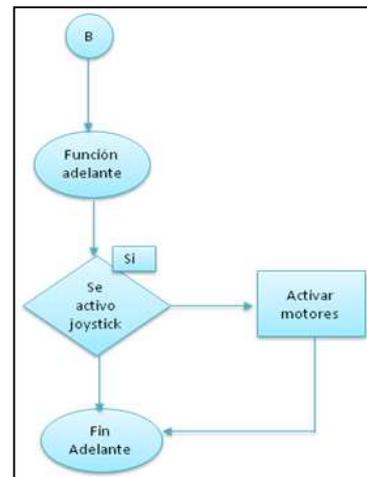


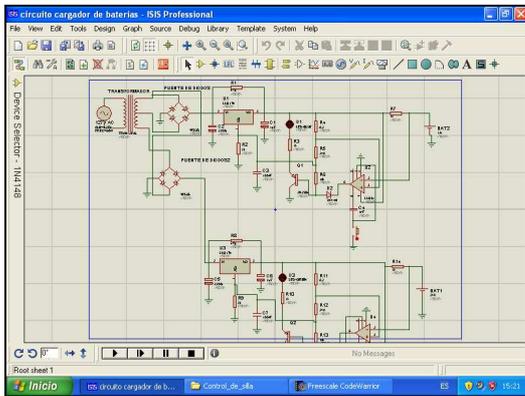
Figura 11 Diagrama de flujo para la función "adelante"

### 3. Análisis de resultados

Para llevar a cabo un análisis de lo que se obtuvo mediante los cálculos, es necesario hacer el uso de herramientas que ayuden a crear una simulación de los componentes de la silla de ruedas de dos posiciones. Para la simulación se usaron tres programas de cómputo comerciales de diseño. Las simulaciones se realizaron en tres partes [9].

- Simulación de circuito
- Simulación de programación
- Diseño de la silla de ruedas.

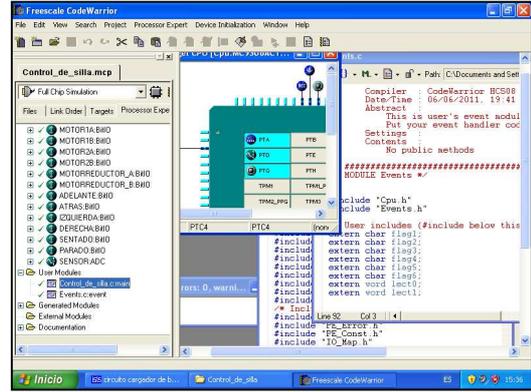
Con estas simulaciones se puede tener una idea más clara del funcionamiento de la silla de ruedas de los elementos seleccionados.



**Figura 12 Ambiente del Proteus®**

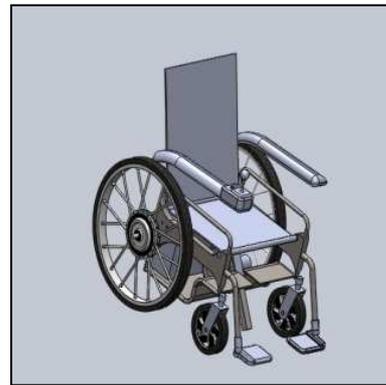
En la Figura 12 ilustra la simulación del circuito eléctrico con el cual se comprobó de forma virtual el funcionamiento del circuito antes de llevarlo a una tablilla fenólica y de esta forma asegurar que no habrá falla en dicho circuito una vez ya integrado con los componentes eléctricos comerciales.

En la Figura 13 se muestra como se llevó a cabo la programación del microcontrolador el cual proporciona simulación y de esta manera se verifica si el programa diseñado es el correcto.



**Figura 13 Ambiente del programa CodeWarrior®**

En la Figura 14 se observa el modelo de la silla de ruedas que se obtuvo de forma virtual, se puede verificar la simulación de los materiales si es posible que funcione como se desea con los elementos mecánicos seleccionados.



**Figura 14. Diseño final**

Como resultado de los cálculos y simulación tenemos los elementos mostrados en la Tabla 1. Los cuales permiten tener una base sobre cómo llevar a cabo el proyecto físicamente.

SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECANICOS	DISEÑO	MECÁNICO
Engrane	Cargador de baterías	Chasis
Cremallera	Control de motores	Ruedas
Motor reductor	Circuito del micro controlador	Asiento
Motores para llantas traseras	Control de posiciones	Sistema de engranes
Asiento tipo		

**Tabla 1 Elementos obtenidos**

#### 4. Conclusiones

Con el presente trabajo se busca establecer los parámetros de diseño necesarios para la construcción de una silla de ruedas de dos posiciones que permite el traslado y cambio de posición de individuos con patologías motrices que afectan sus actividades diarias.

Este proyecto aporta una forma innovadora para hacer de una silla de ruedas un dispositivo el cual mediante mecanismos, elementos electrónicos y de control permiten que su ocupante pueda realizar actividades gracias a las mejoras añadidas. Cabe señalar que se encuadran todos los elementos necesarios para que este dispositivo tenga una estabilidad ergonómica.

Mediante las simulaciones electrónicas y mecánicas se obtuvo mayor certeza a cerca de la integración de los materiales elegidos, puesto que permite evitar las posibles fallas durante la construcción del prototipo.

Por tal motivo el presente proyecto se convierte en una opción más entre las sillas de ruedas eléctricas ya que promete ser un aparato práctico, seguro y con una mayor eficiencia para el ocupante.

#### Referencias

- [1] Forner I., “*Tratamiento Conservador versus Quirúrgico de la Paraplejía Traumática por Fracturas Vertebrales Torácicas y Lumbares*”, Tesis Doctoral, 2005.
- [2] [http://www.saludalia.com/Saludalia/web\\_saludalia/cirugia/doc/rehabilitacion/doc/silla\\_elegir.htm](http://www.saludalia.com/Saludalia/web_saludalia/cirugia/doc/rehabilitacion/doc/silla_elegir.htm)[Recuperado 8-junio-2011]
- [3] <http://www.inegi.org.mx/> [Recuperado 8-junio-2011]
- [4] Aviles, O., “*Silla de Ruedas Multifuncional, Programa de Ingeniería Mecatrónica*”, Grupo de Investigación Davinci Facultad de Ingeniería Universidad Militar Nueva Granada, p.p. 7, 2004
- [5] Medina H., “*Dinámica de una partícula Física I*”, Pontificia Universidad Católica del Perú, p.p. 45. , (2009)
- [6] <http://www.guiamovilidad.com> [Recuperado 8-junio-2011]

[7] Toctaguano, R., Corrales, L., “*Diseño y construcción de un sistema basado en un microcontrolador para controlar por voz y joystick el desplazamiento de una silla de ruedas*”, Tesis de ingeniería eléctrica y electrónica, Quito, 2009

[8] <http://www.datasheetcatalog.net/es/>

[9] R. Velázquez, “*Dinámica y Control de Sillas de Ruedas Robóticas, Avances en Ingeniería Electrónica*”, UAM-UdG (México, DF), p.p. 151-164, 2010.