

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

César Augusto Cuevas Guerra

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

Carlos Fernando Castillo Calderón

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

Alvaro Eleazar Martínez Aceituno

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

Erick Giovanni González Meléndez

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

Luis Fernando Reina García-Salas

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

MSc. Carlos Alberto Esquit Hernandez

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

RESUMEN

El megaproyecto INNOVA, financiado por ASHA (American Schools and Hospitals Abroad) y la Universidad del Valle de Guatemala, busca implementar un sistema de control no tradicional, utilizando ondas cerebrales, para el control de una silla de ruedas eléctrica. El proyecto está conformado por cinco módulos individuales principales: procesamiento de señales, comunicación inalámbrica, potencia y mecánica.

En este trabajo particular, módulo mecánico, se diseñó e implementó un prototipo de una silla de ruedas a una escala de 2:1, con la posibilidad de subir y bajar gradas, junto con las funciones de una silla de ruedas convencional. Complementando lo descrito anteriormente se desarrolló el sistema de nivelación del asiento para que éste estuviera horizontal en todo momento.

Finalmente se realizaron pruebas con el prototipo construido y el sistema de nivelación, logrando cumplir exitosamente el ascenso y descenso. Posteriormente se logró demostrar el correcto funcionamiento de los mecanismos diseñados y el sistema de control de nivelación, al realizar pruebas junto con el resto de módulos.

Palabras claves: tri-star, estructura triangular.

ABSTRACT

The INNOVA Project, financed by ASHA (American Schools and Hospitals Abroad) and Del Valle University of Guatemala, has as main objective to implement a non-traditional control system, using brain signal waves, for the control of an electric wheel-chair. The project has 5 modules: signal-processing, wireless communications, power, and mechanical module.

This particular work, the mechanical module, covers the design and implementation of the wheel-chair prototype at a 2:1 scale, with the capability of climbing and descending staircase, as the basic movements of a conventional wheelchair. Complementing the described design, it was developed a level-control system, for keeping the chair horizontally at any time of the climbing or descending of the staircases.

The final stage of the investigation included tests with the rest of the modules, the built prototype and the level-control system, achieving the descent and ascent of the staircases successfully.

Keywords: tri-star, triangular structure.

1. INTRODUCCIÓN

La idea detrás de este proyecto surgió de los inconvenientes que presentan las personas con discapacidad, para movilizarse en ambientes con escalones. Esto limita considerablemente la movilización en espacios que no cuenten con elevadores o rampas de acceso. Además se busca que esta solución le permita al individuo poder interactuar con su entorno con mayor libertad y facilitarle su movilización. Uno de los aspectos que busca este proyecto, el módulo mecánico, es desarrollar alguna solución que pueda ser construida en su totalidad en Guatemala y de esta forma poder ofrecer un producto enfocado en las necesidades de los guatemaltecos. Por último, el resultado obtenido puede llegar a implementarse a otras aplicaciones que requieran dicha funcionalidad.

El objetivo principal del módulo mecánico fue el de diseñar e implementar un mecanismo y una estructura que permita que una silla pueda subir y bajar escalones de forma controlada y autónoma. Originalmente se planteó realizar un modelo a tamaño real, sin embargo conforme se fue avanzando en el proceso de diseño se presentaron retrasos en aspectos económicos y de tiempo. Por lo tanto se concluyó que lo mejor para el trabajo de investigación era construir un prototipo inicial funcional del modelo a escala real y así poder demostrar el correcto funcionamiento de la solución propuesta. Dejando para una segunda fase de diseño la construcción del modelo a escala real utilizando los cálculos y planos preliminares dejados por este trabajo de investigación para facilitar la construcción del mismo y la obtención de nuevos medios de financiamiento.

En lo referente al mecanismo de subida, se implementó un sistema de engranes epicicloides en un arreglo triangular. Este mecanismo previamente utilizado en la elaboración de montacargas manuales que facilitan al usuario subir paquetes grandes y pesados en escalones, fue diseñado por Robert and John Forsyth (Forsyth & Forsyth, 1967). El concepto es sencillo, se utiliza un arreglo circular de 3 ruedas separadas, entre sí, por 180 grados sobre una estructura triangular. Este mecanismo permite que al ser bloqueadas las ruedas y rotar la estructura triangular, estas pueden actuar como “brazos” que irán aferrándose a las gradas impulsando a la silla hacia arriba o abajo. Se utilizaran cuatros sistemas triangulares cada una impulsada por dos motores, uno de corriente continua para las ruedas y un servomotor para la rotar la estructura triangular. Por último se utilizó otro servo motor para mantener el nivel del asiento en posición horizontal. Definido el mecanismo de subida, se diseñó el chasis del prototipo tomando en consideración que este fuera liviano y robusto. Además que tuviera espacio para la instalación de los distintos componentes electrónicos, baterías y los mecanismos triangulares.

Se utilizó la herramienta de software CAD, Autodesk Inventor Student Edition 2012 (Autodesk Education Community, 2011) para el diseño de los planos de construcción de las distintas partes y de su construcción. Además se desarrolló el modelo tridimensional de los distintos componentes, así como del prototipo final para realizar simulaciones en 3D de las posibles interferencias al descender o ascender las gradas, previamente a su construcción. Luego de verificar los aspectos críticos del prototipo se realizó la construcción del mismo. El sistema de control de posición del asiento fue diseñado utilizando un servo motor junto con un acelerómetro digital de tres ejes para medir el grado de inclinación e implementando un sistema de control PID.

2. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA.

Este trabajo comprende en diseñar un prototipo de silla de ruedas, que pueda subir y bajar gradas de una forma controlada, con las funciones convencionales de cualquier silla motorizada. El trabajo consiste en diseñar el chasis en donde estarán montados todos los componentes mecánicos, motores, sensores, dispositivos de comunicación y baterías. Además el diseño del mecanismo de ascenso y descenso junto con el control de nivelación del asiento del usuario.

Originalmente se planteó que el prototipo inicial de la silla, en tamaño real, no fuera más grande que una silla de ruedas motorizada tipo Scooter. En lo referente al tamaño de gradas, según el estándar DB-SU CTE (CTE, 2010), se seleccionó el tamaño de contra huella y huella, máximos para una grada residencial.

Posteriormente utilizando las delimitaciones espaciales para una silla de ruedas (United Nations Enable, 2003-2004) y tamaño de gradas, se decidió aplicar un factor de escala de 2:1, para el diseño e implementación del prototipo. En relación al peso se determinó un peso máximo de 50 lb para el prototipo en general. Por último, el mecanismo de nivelación del asiento está diseñado tomando en consideración el control de nivel y omitiendo el peso de una persona. Esto debido a que al tratarse de un prototipo a pequeña escala, lo que se busca es demostrar el funcionamiento de la solución propuesta al problema. La tabla 1, muestra los valores de las dimensiones espaciales a utilizar para el tamaño del prototipo y gradas, comparándolas con su contra partes de tamaño real.

Tabla 1: Delimitación del tamaño del prototipo y gradas.

Escala	Dimensiones espaciales			Dimensiones gradas	
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto(cm)	Contra huella (cm)	Huella(cm)
1	130.0	75.0	150.0	19.0	25.0
1/2	65.0	37.5	75.0	9.50	12.50

3. METODOLOGÍA.

El desarrollo del módulo mecánico se divide en una serie de capítulos: el diseño de los soportes triangulares, la estructura principal, el control de nivelación del asiento, y la construcción del prototipo y pruebas. En cada capítulo se incluye la metodología utilizada, los resultados y la discusión correspondiente. Esto ofrece una mayor claridad sobre lo realizado en cada parte del diseño del prototipo, mostrando con más detalle lo realizado en cada una de las áreas principales.

4. DISEÑO DE SOPORTES TRIANGULARES.

El inicio del desarrollo del prototipo, fue el diseño del mecanismo que serviría para subir y bajar escaleras. El primer paso fue la delimitación geométrica de las piezas triangulares basándose en la configuración propuesta por Robert and John Forsyth (Forsyth & Forsyth, 1967) y la delimitación espacial previamente propuesta. En base a esto se determinó que la configuración de las ruedas estuviera dentro de los límites del diámetro de una rueda trasera de una silla de ruedas convencional. Considerando que la rueda tiene un diámetro entre 20 y 24 pulgadas, y aplicando el factor de escala de 2:1, se obtuvo que entre 10 y 12 pulgadas fuera el diámetro del círculo externo. Este círculo con diámetro D_2 , como se aprecia en la figura 1, junto con la ecuación 1, muestran que solo es necesario determinar un valor D_1 y D_2 , para obtener la geometría.

$$B = \frac{D_2 - D_1}{2} ; A = (D_2 - D_1) * \cos 30^\circ ; P_d = \frac{D_2 - D_1}{4}$$

Ecuación 1. Relaciones geométricas para el dimensionamiento del soporte triangular.

En donde P_d es el paso diametral de los engranajes a utilizar para el sistema de transmisión de potencia hacia las ruedas. Es importante resaltar que D_2 tiene que ser mayor que D_1 en todo momento. En la figura 1, se muestra la geometría básica del triángulo y la identificación de cada uno de sus lados.

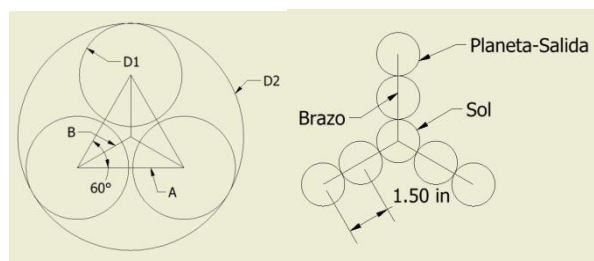


Figura 1: Geometría general del triángulo.

En la tabla 2 se muestran las dimensiones seleccionadas para el perfil triangular junto con la altura máxima de contrahuella que esta configuración puede superar.

Tabla 2. Dimensiones del perfil triangular.

D1	D2	A	B	Pd	CU _{max}
11 in	5 in	5.196 in	3 in	1.5 in	4.5 in

Al tener el paso diametral se determinó el arreglo de engranajes planetarios descrito en la figura 1. Debido a que se buscaba que la estructura fuera lo más liviana posible y económica se optó por un engranaje de resina de acetileno, ver tabla 3. Posteriormente se calcularon las fuerzas de transmisión máxima permisible por diente. Se utilizó el criterio de Lewis modificado y el criterio de AGMA para dureza de superficie (Shigley & et al, 2006).

Tabla 3. Propiedades de engranaje seleccionado

Paso diametral.	Ancho de cara.	Numero de dientes.	Diámetro interno.	Angulo de presión	Material.	Máxima fuerza de transmisión @ 168 rpm
1.5 in-1	0.250 in	36	.250	20	Resina de Acetileno.	34.32 lbf

Utilizando el peso máximo delimitado inicialmente se determinó el par del motor necesario para impulsar a la silla sobre las gradas. Esto se evaluó en tres escenarios, con cuatro triángulos trabajando, con dos y en el crítico con solo uno. Es importante mencionar que el diseño de la silla utiliza cuatro de estas estructuras, y se podrá apreciar con más claridad mas adelante. La tabla 4 muestra los valores máximos en los tres escenarios. Estos torques son los necesarios para la rotación de los triángulos y no para el impulso de las ruedas, por lo que no aplican para el tipo de engranaje descrito en la tabla 3.

Tabla 4. Torques máximos del motor para la rotación de la estructura triangular.

T1	T2	T3
68.75 lbf*in	137.5 lbf*in	275 lbf*in

En referencia a los cojinetes se optaron por unos de bajo peso y con el diámetro correspondiente al interno de los engranajes de resina. Estos cojinetes fueron seleccionados tomando el peso máximo delimitado con anterioridad. La descripción de los mismos se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5: Cojinetes seleccionados.

Modelo	RPM	Fuerza radial	Fuerza axial	Factor de seguridad
WEERB 004-2ZR	168	6.25 lb	6.25 lb	1.36

Respecto al material de los triángulos se selecciono otra resina conocida como plástico de ingeniería o nylon 6-6. Este material además de ser relativamente económico y de fácil manejo es altamente resistente, considerando a las cargas que sería sometido. Con todos los datos obtenidos se continuó con el diseño de los planos y modelos tridimensionales para su construcción y fabricación posterior. En la figura 2 se muestra el resultado obtenido.

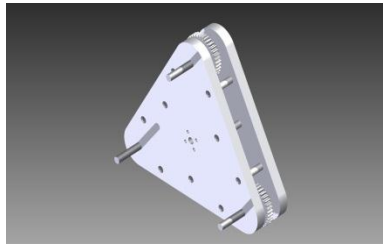


Figura 2: Diseño tridimensional de los soportes triangulares.

5. DISEÑO DE TRANSMISIÓN Y ESTRUCTURA PRINCIPAL.

Para el diseño de la estructura se desarrolló un pequeño programa en visual C# (Microsoft, 2010) el cual utilizando el tamaño de las gradas ingresadas, y los diámetros de D_1 y D_2 descritos en la figura 1, proporciona un rango para la distancia entre ejes o apoyos. Utilizando las dimensiones de la tabla 2 se obtuvo que la distancia entre ejes estuviera entre 28 y 43 cm. La información obtenida de la tabla 4 permitió la selección del servo motor SPG7955A-43-CR (Robotzone, LLC., 2011) para la rotación de los triángulos así como el tipo de engranaje. En este caso particular se opto por un servo motor con una sistema de reducción de engranes de aluminio. Utilizando la información de la tabla 3 y 6 se selecciono el motor DC Parallax (Parallax Inc., 2010) para impulsar las ruedas.

Tabla 6: Torque requerido para mover el prototipo.

Número de Ruedas en Contacto	Torque (lb*in)
2	50
4	25
8	12.5

En referencia a la transmisión se utilizó un sistema de doble eje, en donde un eje de pasa dentro de uno de diámetro mas grande. Este sistema es muy común en los relojes en donde un eje central mueve el minuterero y el externo la horaria. En este caso el eje externo es de 3/8" de pulgada de diámetro el cual mueve al soporte triangular, esto se aprecia en la figura 3, lado izquierdo. La transmisión hacia las ruedas es por medio de un eje de 1/4" pulgada el cual tiene acoplado al engranaje solar, como se aprecia en la figura 3, posición central.

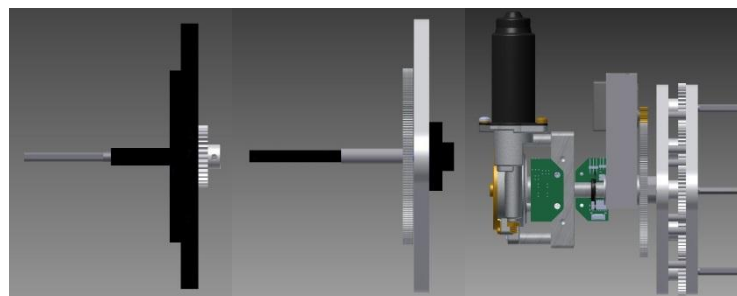


Figura 3: Detalle de la transmisión.

En la figura 3, lado derecho se muestran el motor DC, junto con el servo motor ya acoplados a las estructura triangular previamente diseñada.

Al estar establecida la forma que estaría acoplados los motores con los soportes triangulares, se diseñó el chasis principal de la estructura de una forma que cada parte del prototipo fuera modular y liviano. Se utilizaron perfiles de aluminio de marcos de ventana, ya que son resistentes, económicos y de fácil manejo al momento de construir. Además la estructura fue sometida a un análisis estático, utilizando el criterio de energía de deformación y la herramienta de software de análisis de elementos finitos de Autodesk inventor Student Edition 2012 (Autodesk Education Community, 2011). La figura 4, lado izquierdo, muestra la vista de planta del diseño tridimensional del chasis junto con los motores y los soportes triangulares ensamblados completamente. En el lado derecho de la figura 4, se muestra la verificación de interferencia con las gradas, utilizando el modelo tridimensional. También se importante resaltar la inclusión del sistema mecánico de nivelación del asiento, como se muestra en la figura 4, lado derecho.

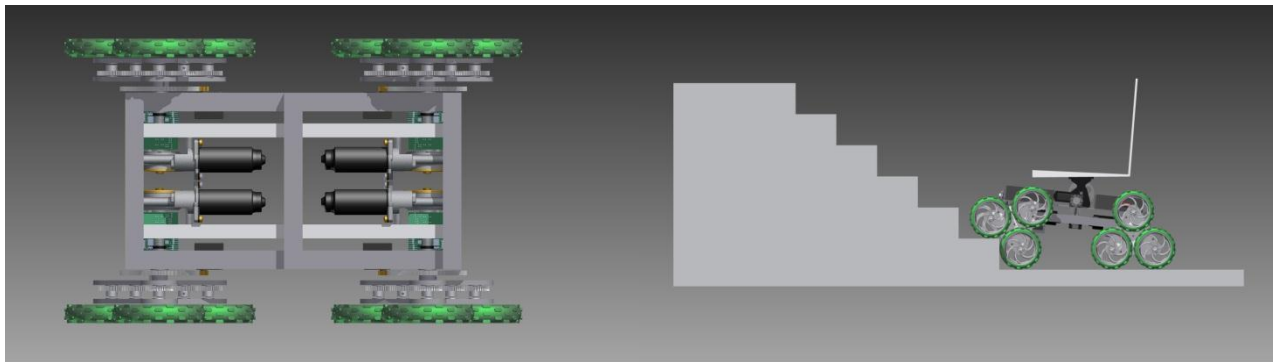


Figura 4: Detalle de estructura principal y verificación de interferencia.

6. CONTROL DE NIVELACIÓN DEL ASIENTO.

El objetivo en esta parte era poder compensar la inclinación que sufre la estructura al subir o bajar escalones y poder ajustar el asiento, para que siempre este paralelo al suelo. Esta etapa comprendió en seleccionar un sensor que permitiera medir un ángulo de inclinación. Para esto se realizó una investigación sobre el dispositivo más adecuado para esta aplicación y se optó por un acelerómetro digital de 3 ejes MMA7455 (Parallax Inc., 2010), un micro-controlador PIC16F887 (Microchip Technology Inc., 2008) para el procesamiento, y la librería de mikroC (MikroElektronika, 2010) para la programación. Se determinó que los ángulos máximos a medir serían entre -45 y 45 grados, debido a que este es el estándar para gradas tipo residencial (CTE, 2010). Se utilizó un transportador para servomotores para medir el ángulo físicamente y posteriormente compararlo con el medido por el sensor.

Como primer paso a la elaboración del sistema de control fue necesario aplicar ciertos valores de offset al sensor MMA7455 (Parallax Inc., 2010), para garantizar que al estar horizontal los valores en el eje X y Z fueran cero y en el Y fuera el valor representativo a 1g, indicando la gravedad de la tierra. El ángulo fue obtenido mediante la implementación de la ecuación 2, para luego ser desplegado en una pantalla LCD. El sensor fue ubicado en la plataforma mecánica del asiento, y así poder medir el ángulo del sensor y compararlo contra el medido por el transportador, como se observa en la figura 5.

$$angulo = \sin^{-1} \frac{y_g}{1g}$$

Ecuación 2. Obtención del ángulo de inclinación mediante la aceleración en el eje Y.

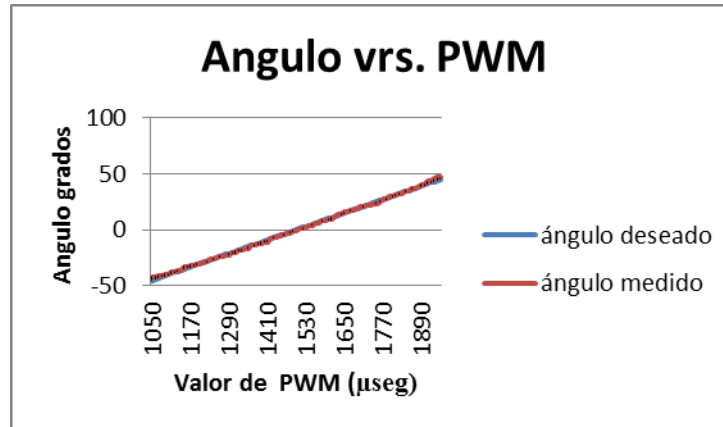


Figura 5: Angulo vs. PWM (parámetro del micro-controlador), comparación del ángulo deseado y el medido por el sensor.

En la figura 5, se tiene en el eje X el valor del ancho de pulso en específico, para el servomotor. Los valores en el eje Y son los grados, en donde se puede apreciar que tanto la línea azul que es el ángulo medido físicamente y la línea roja, el medido por el sensor, son casi iguales. Posteriormente se implementó un filtro digital pasa bajas para desprestigiar perturbaciones mínimas que ocasionaran mediadas incorrectas. Por último se implemento un control PID digital para tener una mejor respuesta en la compensación del ángulo. El sistema de control de nivel se determinó que era mejor que solo fuera activado en el momento en que se iniciara el comando de ascenso o descenso, y así no consumir corriente innecesaria durante la movilización horizontal de la silla.

7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS.

El proceso de construcción fue bastante directo ya que la mayoría de componentes fueron escogidos durante el proceso de diseño considerando que cumplieran los requisitos de ASHA, al igual que fueran productos listos para ser implementados. Esto permitió dedicar más tiempo a la fabricación de los soportes triangulares. Utilizando los diseños tridimensionales se hicieron los planos en de construcción en 2d, para ser fabricados en una fresadora CNC. En la figura 6 se aprecia el prototipo ya finalizado.

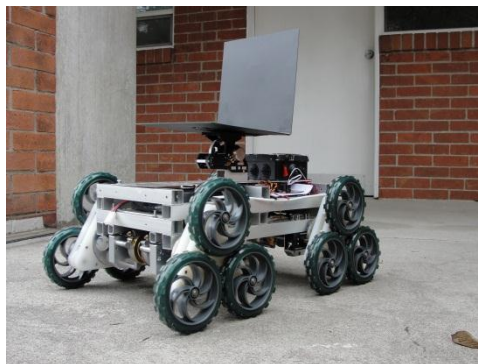


Figura 6: Ensamblaje del prototipo finalizado.

Al terminar la construcción del prototipo se instalaron los módulos de potencia (Castillo, 2011) y de comunicación inalámbrica (Martínez, 2011), ya que estos son parte necesaria para la movilización y control de ascenso y descenso. Inicialmente se desarrolló una aplicación de PC en visual C# (Microsoft, 2010) junto con el módulo de potencia, para utilizar un joystick conectado a la computadora y mediante módulo inalámbrico (Martínez, 2011) controlar el prototipo. Las pruebas iniciales fueron muy satisfactorias ya que se logró descender gradas inclusive fuera de la escala establecida. En relación al ascenso se observó que gradas que tuvieran un peldaño mayor al descrito en la tabla 2, el prototipo no era capaz de subir más allá del primer peldaño. Un detalle observado fue el hecho que si la huella de la grada era lo suficientemente grande el prototipo era capaz de superar peldaños mayores, aunque solo por una pulgada mas. Sin embargo al respetar el tamaño máximo de contra huella y de huella, como estuvo delimitado en la tabla 1, el prototipo logró ascender las gradas y descenderlas sin ningún inconveniente. Adicionalmente se observó que el intentar subir las gradas mediante control manual es una tarea muy complicada y casi imposible de lograr con éxito, es necesario el sistema de control del módulo de potencia (Castillo, 2011) para lograr un ascenso exitoso. Respecto al control mediante el módulo de procesamiento de señales (González, 2011) se logró el mismo resultado, ya que este sistema le permite al usuario indicarle al módulo de potencia cuando iniciar el control de ascenso y descenso. También se observó que al momento del descenso el sistema requiere un consumo mínimo de corriente ya que la relación de la transmisión y el peso del prototipo permite un descenso suave y controlado dejando los motores sin alimentación. Finalmente se incluye la tabla 7 con las dimensiones finales del prototipo construido.

Tabla 7: Dimensiones finales del prototipo construido.

Peso Final	Largo	Ancho	Altura	Distancia entre ejes 1
15.11 kg (33.31 lb)	62.77 cm	39.52 cm	64.20 cm	36.63 cm

8. CONCLUSIONES

Se logró implementar y diseñar un prototipo de silla de ruedas escala 2:1 capaz de subir y bajar escalones. Utilizando estructuras triangulares de nylon 6-6 con trenes de engranajes, de resina de acetileno, con paso diametral 24, cuatro motores DC de 12 voltios Parallax y cuatro servos SPG7955A-43-CR con reducción de 13.5:1.

Se diseñó e implemento un sistema de medición de ángulo de inclinación utilizando un acelerómetro digital de tres ejes, MMA7455, junto con un micro controlador 16F887.

El prototipo final construido tiene 39.52cm de ancho (+5.39 %), 62.77 cm de largo (-3.40%), 61.66 cm de alto (-14.40%), y con un peso final de 33.31 lb (-33.38%). Los porcentajes en los paréntesis representa la comparación de la dimensiones con lo delimitado en la tabla 1.

9. REFERENCIAS

- Autodesk Education Community . (2011). Obtenido de Autodesk Inventor Student Edition 2012: <http://students.autodesk.com/>
- Castillo, C. F. (2011). INNOVA: Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la electroencefalografía Módulo Potencia. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- CTE. (2010). Obtenido de Código Técnico de la edificación: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbsi/>
- Forsyth, R. W., & Forsyth, J. P. (24 de Octubre de 1967). Patente nº 3,348,518. United States of America.
- González, E. G. (2011). INNOVA: Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la electroencefalografía Módulo Procesamiento de Señales. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- ibotnow. (2010). Retrieved from Independence Ibot 4000 Mobility Systema: <http://www.ibotnow.com/home.html>
- Martínez, Á. (2011). INNOVA: : Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la electroencefalografía Módulo de Comunicación. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Microchip Technology Inc. (2008). Microchip. Recuperado el 2011, de Microchip Web site: <http://www.engr.usask.ca/classes/EE/391/notes/PIC16F886.pdf>
- Microsoft. (2010). Obtenido de Microsoft Visual Studio C #: <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/visual-cpp-express>
- MikroElektronika. (2010). Obtenido de mikroC pro for PIC: <http://www.mikroe.com/eng/products/view/7/mikroc-pro-for-pic/>
- Parallax Inc. (2010). Parallax. Recuperado el 2011, de Parallax Web Site: <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/sens/28526-MMA7455-3axisAccel-v1.1.pdf>
- Robotzone, LLC. (2011). ServoCity TM. Obtenido de ServoCity TM Web site: http://www.servocity.com/html/spg7955a-4_3_continuous_rotati.html
- Shigley , J., & et al. (2006). Mechanical Engineering Design (Octava edicion ed.). (Budynas-Nisbett, Ed.) Estados Unidos: McGraw-Hill.
- United Nations Enable. (2003-2004). Obtenido de Accessibility for the Disabled - A Design Manual for a Barrier Free Environment: <http://www.un.org/esa/socdev/enable/designm/AD5-02.htm>

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito