



Sistema de navegación para un vehículo eléctrico para discapacitados

Delgado Arcega Rodrigo Oliver (✉), Robles Julio Cesar, Gómez Becerra Fabio Abel,
Arjona Ulloa Ma de Jesús

Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, unidad académica Puerto Vallarta.

✉ rodrigo.delgado@vallarta.tecmm.edu.mx, julio.cesar@vallarta.tecmm.edu.mx,
fabio.gomez@vallarta.tecmm.edu.mx, [maría.arjona@vallarta.tecmm.edu.mx](mailto:maria.arjona@vallarta.tecmm.edu.mx)

Resumen

En el presente trabajo se realizó el control de movimiento, velocidad y la posición de una silla de rueda siguiendo trayectorias definidas en un entorno controlado, usando modelos matemáticos y técnicas de control, además de implementar una interfaz de comunicación para su manejo y monitoreo en tiempo real con ayuda de la instrumentación de sensores y actuadores, contando con dos modalidades de manejo el manual y automático. El problema de una silla de ruedas convencional es depender de una tercera persona que genere una fuerza de impulso al sistema mecánico motriz y así poder realizar un desplazamiento, esto genera que no se tenga el control de los movimientos ni de la velocidad de la silla de ruedas. La silla autónoma puede ser utilizada para el desplazamiento de personas de un lugar a otro mediante un entorno controlado. Se implementó modelados matemáticos y técnicas de control a la silla para obtener autonomía de la misma para seguir trayectorias definidas. El beneficio es contar con un vehículo autónomo que tenga tracción para realizar tareas de movimientos definidos y controlados para un mejor desplazamiento. Este prototipo ayuda a entender mejor el comportamiento de un vehículo de dos ruedas, estudiados y analizados desde su parte dinámica y su cinemática, además que permite la aplicación de diferentes técnicas de control, los cuales servirán para trabajos a futuro y mejora del mismo, ya que se tiene contemplado mejorar con técnicas de visión artificial.

Palabras clave: control, vehículo eléctrico, trayectorias, instrumentación, interfaz de comunicación.

Abstract

In this work, the control of movement, speed and the position of a wheelchair was carried out following defined paths in a controlled environment, using mathematical models and control techniques, in addition to implementing a communication interface for its management and monitoring in time real with the help of the instrumentation of sensors and actuators, with two manual and automatic operating modes. The problem of a conventional wheelchair is to depend on a third person that generates a force of impulse to the mechanical drive system and thus to be able to make a displacement, this generates that the movement or the speed of the chair is not controlled. Wheels. The autonomous chair can be used to move people from one place to another through a controlled environment. Mathematical modeling and chair control techniques were implemented to obtain autonomy from the chair to follow defined trajectories. The benefit is to have an autonomous vehicle that has traction to perform tasks of defined and controlled movements for a better movement. This prototype helps to better understand the behavior of a two-wheeled vehicle, studied and analyzed from its dynamic part and its kinematics, in addition to allowing the application of different control techniques, which will serve for future work and improvement of it, and which is planned to improve with artificial vision techniques.

Keywords: control, electric vehicle, trajectories, instrumentation, communication interface.



1. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en un informe sobre las personas con discapacidad, menciona que más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad, 200 millones de ellas presentan dificultades en cuanto a su movimiento. Estas personas tienen muchas limitaciones de accesibilidad a muchos de los servicios que una persona sin discapacidad podría considerar muy necesarios u obvios.

La discapacidad motora es la dificultad que presentan algunas personas para participar en actividades propias de la vida cotidiana, que surge como consecuencia de la interacción entre una dificultad específica para manipular objetos o acceder a diferentes espacios [1]. En los últimos años la tecnología ha tenido un vertiginoso avance en sus diversas ramas de estudio, respecto a este proyecto la inteligencia artificial y la robótica, han dado a la humanidad la realización de tareas de una forma eficaz y autónoma.

Una gran sección de la robótica e inteligencia artificial aplicada a la ayuda para discapacitados está orientada al desarrollo de las sillas de ruedas inteligentes [2]. Estas innovaciones pretenden elevar la calidad de vida de las personas de tal modo que el usuario de la silla de ruedas se evite la necesidad de estar controlando cada avance y giro de la silla durante el recorrido, permitiéndole simplemente sentarse y relajarse mientras se desplaza hacia el lugar que el usuario manda.

2. Vehículos para discapacitados

Las sillas de ruedas autónomas apoyan de manera significativa al usuario, permitiendo la evasión de obstáculos, en algunos casos navegación autónoma, entre otros. Las sillas de ruedas autónomas son sillas convencionales que se han equipado con sistemas informáticos y sensores; los sensores captan el entorno y el estado de la silla, éstos mandan señales al controlador y éste los procesa para la ejecución de tareas especificadas en la programación [3].

Si bien este proyecto no utiliza exactamente dicho concepto, “silla de ruedas autónoma” sus funcionalidades aplican de manera muy directa a él, ya que se instrumentará una silla de ruedas convencional con un sistema informático y sensorial, por lo que dicho proyecto finalmente tendrá un producto el cual pueda ser considerado así, como una silla de ruedas autónoma, sin embargo, esta constará con dos modos de operación, manual y automático. Los robots móviles, en este caso sillas de ruedas, pueden basarse en diferentes diseños de plataformas, que se diferencian por los diversos sistemas de tracción que utilizan. El sistema de tracción diferencial es el que será usado para el prototipo ya que es uno de los más usados; además, para motorizar una silla de ruedas convencional es el sistema de tracción más fácil de implementar. Un sistema de tracción diferencial utiliza motores independientes para cada rueda, pero situados en el mismo eje, además, utiliza ruedas locas o puntos de sostenimiento para proporcionar estabilidad a la plataforma [4] han propuesto un diagrama de un sistema de motorización de una silla de ruedas convencional (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Según el diagrama, la motorización de una silla de ruedas conlleva un sistema de control que recibe mandos desde un joystick manual y en consecuencia manipula los motores para llevar a cabo la acción. El sistema de tracción que utilizan en dicho diagrama es el diferencial [5].

Las prestaciones deseables para una silla de ruedas autónoma son las siguientes:

1. Actuación fácil y de ser posible automática sobre los movimientos de la silla, obedeciendo en todo caso los deseos del usuario.
2. Si fuera posible, desplazarse entre dos localizaciones especificadas por el usuario sin necesidad de intervenciones posteriores o correcciones de ruta.

3. Desplazamiento a velocidades normales, tomando como velocidad máxima 5-6 Km/H y como mínima 1 Km/H.
4. Seguridad: evitar accidentes cualesquiera, sea por choque contra elementos fijos u otros móviles o por caídas.

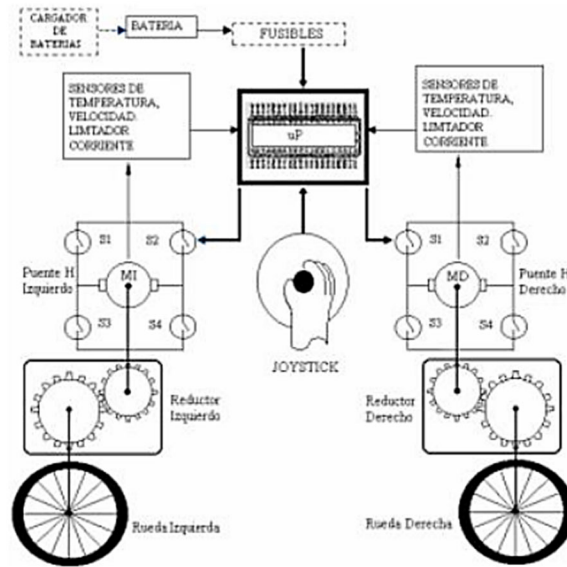


Figura 1. Diagrama de motorización de una silla de ruedas [4]

Por otro lado, se debe hacer un estudio descriptivo de la problemática de las personas con discapacidades motoras para el desarrollo de un proyecto de control de una silla de ruedas [6], esto con el fin de tener una mayor cobertura de las necesidades de los posibles usuarios de la silla y sugiere la metodología siguiente:

1. Identificar las necesidades del objeto de estudio.
2. Idear y realizar las opciones de solución a las necesidades de los posibles usuarios.
3. Estudiar la tecnología de los dispositivos móviles y a la interconexión vía Bluetooth entre el dispositivo y el controlador (hardware).
4. Adaptar los accesorios a la silla de ruedas (sensores, baterías, motores, entre otros).
5. Desarrollar el programa de control.

Otro de los puntos importantes del proyecto, es otorgar al usuario, en modo manual pero más que nada en modo automático, la oportunidad de que el vehículo evite impactar objetos estacionales (muros, jardineras, entre otros) y objetos temporales (como pueden ser personas, objetos varios, entre otros).

Los robots móviles que tienen como una de sus funciones detectar obstáculos [7], usan una serie de sensores para obtener la información necesaria del entorno que les rodea para poder interactuar con él.

El funcionamiento básico de los sensores ultrasónicos como medidores de distancia, cuenta con un receptor que emite un pulso de ultrasonido, el cual rebota sobre un determinado objeto y la reflexión de ese pulso es detectada por un receptor de ultrasonidos.

Existen factores inherentes tanto a los ultrasonidos como al mundo real, que influyen de una forma determinante en las medidas realizadas. Por tanto, es necesario un conocimiento de las diversas fuentes de incertidumbre que afectan a las medidas para poder tratarlas de forma



Para llevar a cabo todos estos procesos, la robótica á recurrido a los sistemas de control, que son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o un proceso. Se clasifican principalmente en sistemas de control en lazo abierto y lazo cerrado (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 2. Diagrama de un sistema de control de lazo cerrado [8]

Como ya se ha dicho anteriormente, la tracción del prototipo de silla de ruedas tendrá la configuración diferencial, que a continuación se mostrarán los aspectos básicos que deben considerarse para el modelado de este sistema. Se comienza a partir de un diagrama en un plano xy con un vehículo de donde se toma el centro de masa (Figura).

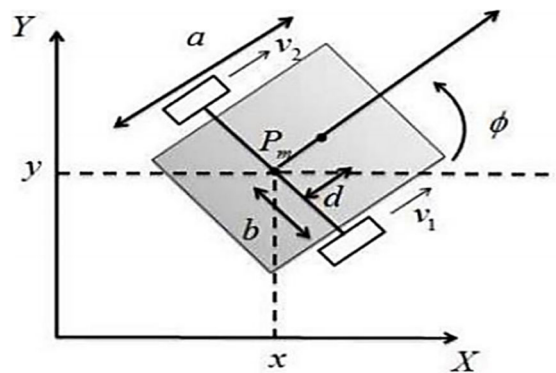


Figura 3. Esquema generalizado de un robot móvil diferencial [5].

La propuesta del modelo cinemático se muestra en las ecuaciones (1) a (3).

$$\dot{x} = v \cos \theta \tag{1}$$

$$\dot{y} = v \sin \theta \tag{2}$$

$$\dot{\theta} = \omega \tag{3}$$

El modelo cinemático está dado por las ecuaciones anteriores, las variables de interés son v y w ya que estas son las entradas del sistema. “No obstante, la velocidad lineal del robot y el cambio de dirección del vehículo se obtienen por el cambio de velocidades angulares izquierda y derecha, w_i y w_d , correspondientes a la velocidad de las ruedas [1]. Entonces, es posible modificar las ecuaciones para encontrar la relación entre v y w y las velocidades angulares w_i y w_d . En esta configuración se consideran únicamente las dos llantas delanteras del robot móvil y se supone que sobre cada una actúa una fuerza F_i y F_d que proporcionan las velocidades lineales del punto de apoyo de las ruedas, v_i y v_d , respectivamente. Nótese que el sistema es no lineal, al contener funciones senos y cosenos en el modelo cinemático, por lo que es necesaria una linealización para desacoplamiento entrada – salida. A este tipo de linealización se le conoce como linealización entrada-estado. Un sistema no lineal de grado



relativo r caracterizado en términos de campos vectoriales y derivadas direccionales de Lie esta dado por (4) y (5).

$$\dot{q} = f(q) + g(q)u \quad (4)$$

$$y = h(q) \quad (5)$$

Donde “ h ” es la salida del sistema, “ \dot{q} ” es el vector de estados y “ u ” es la entrada de control. El procedimiento de linealización exacta comienza derivando respecto al tiempo a “ y ” sucesivamente hasta aparecer al menos una entrada de control. Una vez explicita la o las salidas de control la derivada de más alto orden será entonces el grado relativo del sistema con lo que debe cumplirse (6).

$$y_r = L_{f_r} h(q) + L_g L_{f_r-1} h(q) u \quad (6)$$

Considerando (7).

$$L_g L_{f_r-1} h(q) \neq 0 \quad (7)$$

Al no depender las $r-1$ primeras derivadas temporales del control u se deben cumplir (8) y (9).

$$y = h(q) \quad (8)$$

$$\dot{y} = L_f h(q) \quad (9)$$

Cumpléndose también (10) a (12).

$$L_g h(q) = 0 \quad (10)$$

$$L_g L_f h(q) = 0 \quad (11)$$

$$L_g L_{f_r-2} h(q) = 0 \quad (12)$$

La silla inteligente cuenta con sensores que captan el entorno, equipos informáticos que procesan la información y junto con el reconocimiento de voz, permiten al usuario ordenar verbalmente el lugar al que se desea ir y la silla ejecuta autónomamente los movimientos suficientes para llegar al punto deseado. Este artículo servirá como referencia para este proyecto ya que se cuenta con dos características similares: la interacción hombre máquina mediante comandos de voz y el guiado autónomo de la silla. En la cual el diseño en el que se basan reduce en un 50% el precio de sillas motorizadas comerciales además de conservar sus funcionalidades clásicas: plegable y tracción manual.

Como resultado se obtuvo que el sistema de control, los sensores y la alarma sonora funcionan correctamente y dentro de las expectativas. Aunque este artículo de la Universidad de Entre Ríos utiliza un control manual mediante un Joystick, para el proyecto se tomara en cuenta ya que servirá como base para uno de los objetivos: la motorización de una silla de ruedas convencional. Como referencia nacional se encontró un artículo científico que lleva el título “Control de una silla de ruedas por medio de un dispositivo móvil con Sistema Operativo Android.”. En el que José Mancilla, Héctor Crespo y Néstor Morales, estudiantes y docentes del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez presentan un dispositivo electrónico adaptado a una silla de ruedas para motorizarla y controlarla por medio de un dispositivo móvil con SO Android. Como resultado se tuvo que los motores de corriente continua respondieron correctamente a la manipulación de la interfaz gráfica del dispositivo con SO Android. De esta investigación se rescatará la parte de la creación de la interfaz gráfica para dispositivos con SO Android además de la metodología que se utilizó para la problemática que tienen las personas con discapacidades motoras para su desplazamiento.

3. Prototipo

Debido a que se tiene como finalidad un prototipo experimental se buscó la forma de construir una silla de ruedas de bajo costo que fuera acorde con las necesidades del proyecto y con los materiales con los que cuenta para su realización. Entre los materiales que se utilizaron se tiene tubería de PVC (cedula 80), accesorios de PVC (conexiones 90 y T cedula 40), triplay 18mm, tornillería y maquinas herramienta como taladro y atornillador. Mediante el uso de software de diseño CAD, se diseñó un prototipo virtual (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), para obtener así la cantidad de materiales necesarios y realizar los cortes y ensambles a la hora de construir físicamente el prototipo.

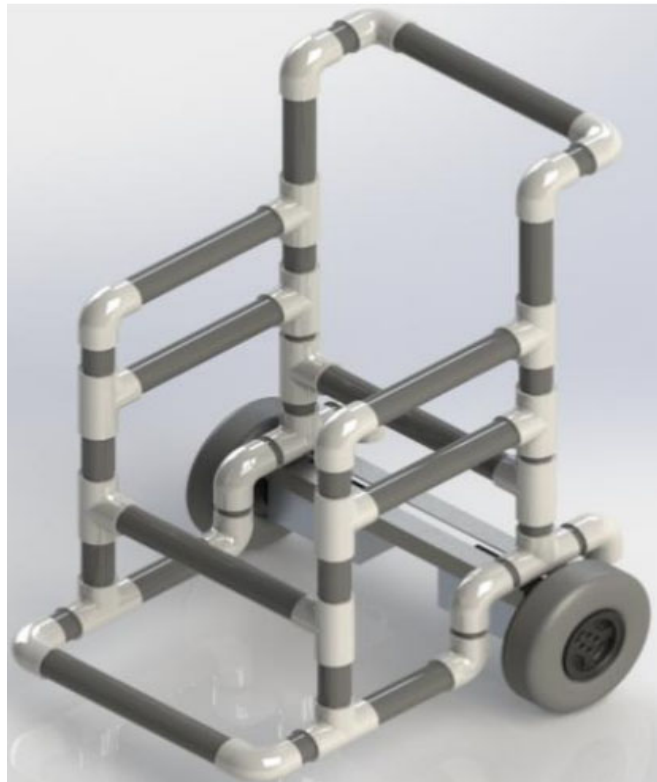


Figura 4. Prototipo digital de vehículo eléctrico.

La instrumentación de la silla se divide en 5 partes: alimentación, actuadores, sensores, controlador y comunicación.

La parte de energía se divide en 2, alimentación para la parte electrónica y alimentación para los motores; para la parte electrónica se usa una batería LIPO de 11.1V a 2200 mAh y para los motores 2 baterías conectadas en serie de 12V a 4 Ah, que dan como resultado 24V a 4Ah. Como actuadores se tiene 2 motor reductores de 20 Kgcm que funcionan con 24volts a 1 A. para carga máxima. Debido a que no se tiene su tabla de características, estas se desconocen y solo se tienen datos aproximados de ellos.

El dispositivo central del sistema, recibe señales de los sensores y de los dispositivos secundarios para ejecutar órdenes a los actuadores del sistema, además de comunicarse con la interfaz de usuario. La placa donde se conectan los sensores y actuadores del sistema, así como las placas de desarrollo.

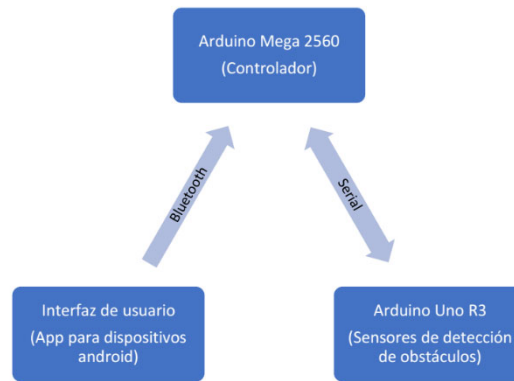


Figura 5. Esquema de comunicación del sistema.

3.1 Modelado cinemático de la silla

Las ecuaciones de movimiento de un robot diferencial han sido un tema bastante estudiado a lo largo de los años, con base a las ecuaciones 4, 5 y 6 en el apartado del fundamento teórico [1], muestra que las ecuaciones de movimiento son(13) a (15).

$$\dot{x}=v \cos \theta \quad (13)$$

$$\dot{y}=v \operatorname{sen} \theta \quad (14)$$

$$\dot{\theta}=\omega \quad (15)$$

Aún con estas ecuaciones, se necesita desglosar la velocidad v por lo que se propone las ecuaciones de movimiento (17) a (19) para un robot móvil diferencial.

$$\dot{X}=\frac{r(\omega_d+\omega_i)}{2} \cos \varphi \quad (17)$$

$$\dot{Y}=\frac{r(\omega_d+\omega_i)}{2} \operatorname{sen} \varphi \quad (18)$$

$$\dot{\varphi}=\frac{r(\omega_d+\omega_i)}{2l} \quad (19)$$

3.2 Modelo dinámico de los motores de la silla

Partiendo de las ecuaciones del motor y el acoplamiento con las llantas de la silla se tienen (20) y (21).

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V(t) - \frac{nk_b}{r} \dot{x} \quad (20)$$

$$\frac{I}{r^2} \ddot{x} + \frac{b_2}{r} \dot{x} = nk_f i \quad (21)$$

Proponiendo las variables de estado se tiene (22) a (24).

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (22)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{r b_2}{I} x_2 + \frac{r^2 nk_f}{I} x_3 \quad (23)$$



$$\dot{x}_3 = -\frac{R}{L}x_3 - \frac{nk_b}{Lr}x_2 + \frac{1}{L}u(t) \quad (24)$$

Se obtiene la siguiente representación:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{r b_2}{I} & \frac{r^2 nk_f}{I} \\ 0 & -\frac{nk_b}{Lr} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} u$$

Haciendo un cambio de variables

$$\begin{aligned} x_1 &= F \\ x_2 &= \dot{F} \end{aligned}$$

Sustituyendo los cambios de variable en la (23).

$$\ddot{F} = -\frac{r b_2}{I}\dot{F} + \frac{r^2 nk_f}{I}x_3$$

Despejando a x_3 y derivando se obtiene (25).

$$\begin{aligned} x_3 &= \frac{b_2}{rnk_f}\dot{F} + \frac{I}{r^2 nk_f}\ddot{F} \\ \dot{x}_3 &= \frac{b_2}{rnk_f}\ddot{F} + \frac{I}{r^2 nk_f}\dddot{F} \end{aligned} \quad (25)$$

Sustituyendo (25) en la (24).

$$\frac{b_2}{rnk_f}\ddot{F} + \frac{I}{r^2 nk_f}\dddot{F} = -\frac{R}{L}\left(\frac{b_2}{rnk_f}\dot{F} + \frac{I}{r^2 nk_f}\ddot{F}\right) - \frac{nk_b}{Lr}\dot{F} + \frac{1}{L}u(t)$$

Desarrollando para $u(t)$ se obtiene (26).

$$u(t) = \frac{IL}{r^2 nk_f}\dddot{F} + \left(\frac{Lb_2}{rnk_f} + \frac{IR}{r^2 nk_f}\right)\ddot{F} + \left(\frac{Rb_2}{rnk_f} + \frac{nk_b}{r}\right)\dot{F} \quad (26)$$

Considerando (27).

$$\ddot{F} = v_{aux} = \ddot{F}_d - k_2(\dot{F} - \dot{F}_d) - k_1(F - F_d) - k_0(F - F_d) \quad (27)$$

Sustituyendo (27) en (26) se obtiene la ley de control (28).

$$u(t) = \frac{IL}{r^2 nk_f}(\ddot{F}_d - k_2(\dot{F} - \dot{F}_d) - k_1(F - F_d) - k_0(F - F_d)) + \left(\frac{Lb_2}{rnk_f} + \frac{IR}{r^2 nk_f}\right)\ddot{F} + \left(\frac{Rb_2}{rnk_f} + \frac{nk_b}{r}\right)\dot{F} \quad (28)$$

4. Resultados

En cuanto a la instrumentación de la silla, se instalaron los dispositivos suficientes para realizar pruebas experimentales necesarias para poder definir los resultados obtenidos (Figura 9. prototipo físico



instrumentado); uno de los puntos a destacar, es que el prototipo únicamente funcionó sin tripulante, debido a que el torque máximo que otorgan los motores no soportaría tal fuerza, por esa razón, el joystick de mando fue colocado en la parte trasera de arriba de la silla como se ve en la (figura 9), para facilitar las pruebas del prototipo

La detección de obstáculos realizada desde el Arduino Uno R3 con el uso de sensores ultrasónicos, los detecta ya sea estáticos o en movimiento, a una distancia promedio de 1.5m, enviando una señal al dispositivo central (Arduino MEGA 2560) el cual se encarga de detener los motores antes de impactarse con el obstáculo, reanudando su movimiento al recibir la señal de que el camino está libre, cambiar de trayectoria o cambiar de mando autónomo a manual. Cabe mencionar que la detección de obstáculos funciona únicamente en modo autónomo.

Un punto bastante importante para la seguridad y el confort del usuario, es el arranque y el paro suave de ésta, en el que se obtuvieron buenos resultados, a continuación, se muestran dos gráficas de la simulación en software del método basado en el seguimiento de una trayectoria de velocidad utilizando una curva de Bézier (Figura 6 y Figura 7):

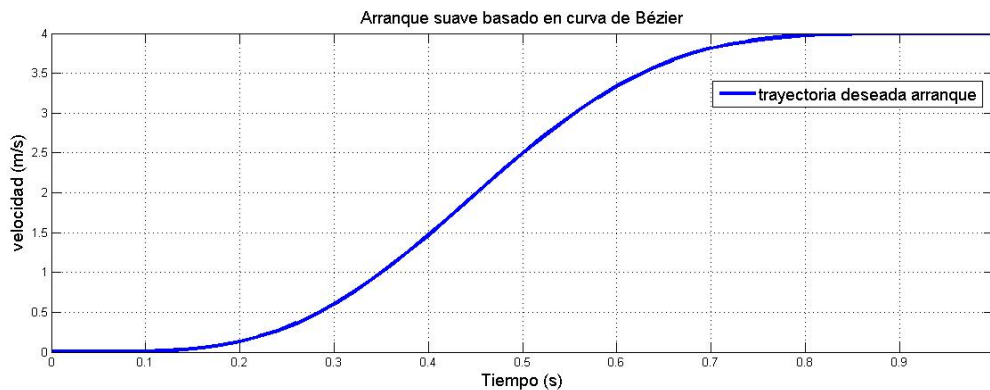


Figura 6. Arranque suave basado en curva de Bézier.

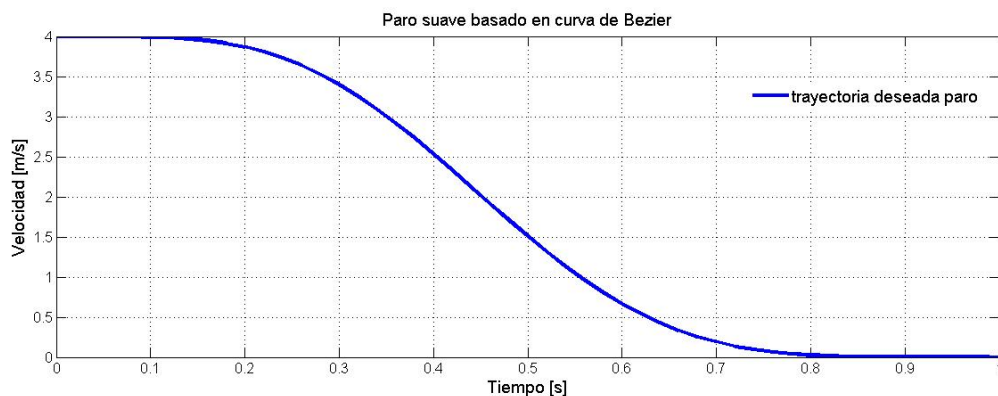


Figura 7. Paro suave basado en curva de Bézier.

El controlador diseñado para este sistema tiene un alto grado de complejidad para ser ejecutado en microcontroladores de gama baja y probablemente media, y al no contar con dispositivos de mejor calidad, se imposibilitó la implementación de este controlador en la silla de ruedas, pero, se obtuvieron buenos resultados en simulación en el software MatLab Simulink. Para trabajos futuros, se recomienda la utilización de microcontroladores más potentes para implementar el control propuesto, con el que seguramente se obtendrán mejores resultados.

Mediante un sistema de control a lazo cerrado, se produjo una implementación básica para el seguimiento de trayectorias (en este caso, una línea física), agregando un controlador PD buscando una mayor fiabilidad y seguridad para un seguimiento de línea suave y preciso, obteniendo resultados bastante buenos, en el que el usuario ordena el destino al cual desea ir (punto B o punto C) y la silla de forma autónoma se traslada hasta cumplir la orden, controlando las velocidades de los motores sin que el usuario intervenga directamente.

La aplicación diseñada, ver Figura 8, para dispositivos con SO Android fue desarrollada de manera simple de tal forma que sea suficiente para esta etapa experimental del proyecto, pero no resulta una aplicación bastante intuitiva y eficaz si lo que se busca es llevarlo al público o comercializar.

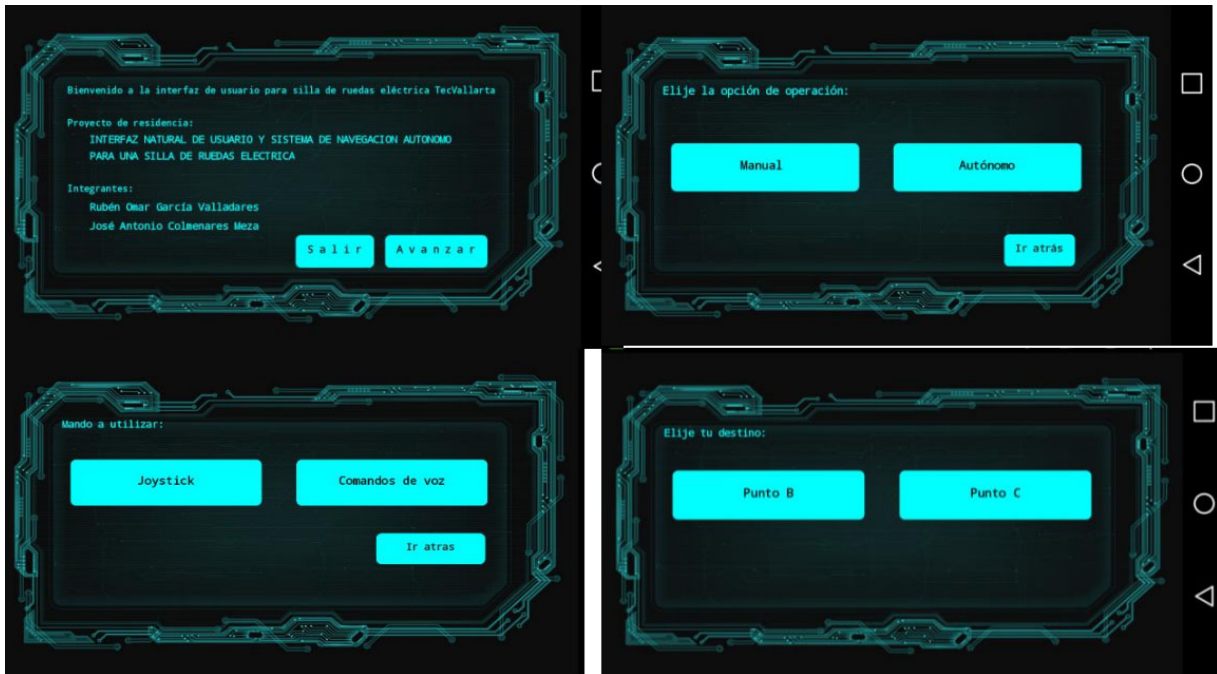


Figura 8. Interfaz de usuario de la aplicación de comunicación H-M

La comunicación entre la aplicación y el dispositivo central se logró con bastante fiabilidad y con seguridad, enviando con éxito los datos necesarios para que la silla realice sus movimientos en función de lo que el usuario ordene desde la aplicación.

El prototipo queda funcionando y a disposición de la academia de electromecánica para trabajos futuros con el fin de conseguir mejoras en los aspectos estéticos y funcionales; tales como los métodos de control, alimentación de la parte electrónica y de potencia de la silla, las formas de interacción usuario – máquina, etc.

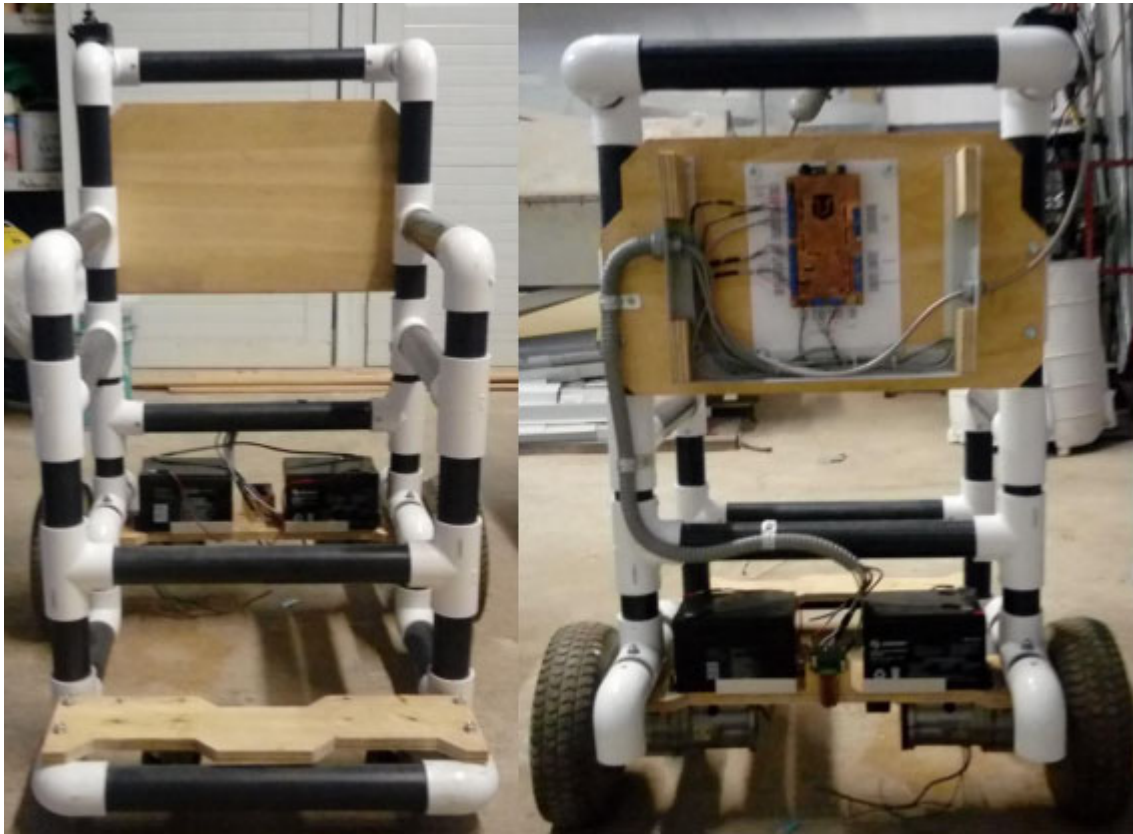


Figura 9. Prototipo de real vehículo eléctrico.

5. Conclusiones

En este trabajo se realizaron pruebas satisfactorias probando la instrumentación y la fabricación de la estructura sólida de pvc de la silla, la cual soporta a una persona hasta 120 kilos, además de probar el control de velocidad de posición y de una trayectoria definida, donde se puede mejorar con nuevos dispositivos y tarjetas electrónicas, además de mejorar el arranque y la velocidad de los motores; así como la mejora del desplazamiento de la silla autónoma de un punto a otro, se prueba de manera favorable el correcto funcionamiento en modo manual y en modo automática de la silla, además de monitorear a la silla con su interfaz gráfica.

Al inicio del proyecto se presentaron dificultades para el armado de la silla de pvc por el diseño del ensamble, así mismo reconfigurar el sistema de tracción con motores de corriente directa, el sistema de baterías lo cual en trabajo posteriores se pueden mejorar.

Se considera para este trabajo a futuro la utilización de técnicas de visión artificial en la silla para mejora en su autonomía, evadiendo obstáculos en diferentes planos, además de pensar en mejorar el sistema de llantas para otros tipos de terreno, se tiene contemplado mejorar su ergonomía y su flexibilidad en el mecanismo para el traslado en vehículos de la silla

Actualmente en el desarrollo de la silla se tiene un prototipo funcional, que permite continuar estudiando la dinámica sus movimientos de la silla, en el presente se está trabajando con la vinculación en el sector salud de la región.



6. Referencias

- [1] E. Aguilar, Plataforma para la interacción con dispositivos de escelografía., Ciudad Real, Castilla, 2013.
- [2] J. Alcubierre, J. Minguez, L. Montesano y L. Montano, Silla de ruedas inteligente controlada por voz, Zaragoza, 2005.
- [3] O. Baturone, Robotica manipuladores y robots moviles., 2001.
- [4] C. Brutti, J. Cuesta y A. Canabelli, Motorizacion de silla de ruedas convencionales, 2004.
- [5] A. Coronel, Planeacion de trayectorias y control por planitud diferencial, Cuernavaca: CENIDET, 2013.
- [6] J. Garcia, Sistema de posicionamiento y autolocalización para sillas de ruedas autonomas, Alcala, Alcala , 2001.
- [7] O. Katsuhiko, Ingeniería de control moderno, 1998.
- [8] J. Vásquez, Teoría de control, Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2007.