

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Silla de ruedas motorizada

Autor:
Jesús MONTES
Angel RAMÍREZ

Supervisor:
Dr. Adrián ESPINOZA

Qué con la finalidad de acreditar la materia

de

Seminario de Ingeniería
División de Ingeniería Mecánica e Industrial

13 de junio de 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Resumen

Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería Mecánica e Industrial

Seminario de Ingeniería

Silla de ruedas motorizada

by Jesús MONTES
Angel RAMÍREZ

The Thesis Abstract is written here (and usually kept to just this page). The page is kept centered vertically so can expand into the blank space above the title too...

Índice general

Resumen	III
1. Introducción	1
1.1. Estado del arte	1
1.2. Breve historia de las sillas de ruedas	2
1.3. Implicaciones médicas	3
1.3.1. Postura adecuada para el usuario	3
1.3.2. Tamaño del asiento	4
1.3.3. Forma y ángulo del asiento-respaldo	5
1.3.4. Postura en sedestación	5
1.3.5. Cojín	5
1.3.6. Soporte para los pies	6
1.3.7. Soporte para los brazos	7
1.4. Sensores y actuadores	7
1.5. Sistemas de energía	7
1.6. Interfaces	7
2. Limitaciones y consideraciones	9
2.1. Mercado	9
2.2. Funcionalidad	9
2.3. Modelo de negocio	9
3. Propuesta tecnológica	11
3.1. Silla de ruedas inteligente	11
3.2. Componentes	11
3.2.1. Esquema físico	12
3.3. Interfáz de usuario	13
3.4. Sistema de control	13
3.5. Sistema de potencia	14
3.5.1. Almacenamiento	14
3.5.2. Entrega de potencia	14
3.6. Sensores	15
4. Desarrollo e implementación	17
4.1. Diseño estructural	17
4.2. Hardware	17
4.3. Software	17
4.4. Sistema de seguridad	17

5. Conclusiones	19
5.1. Resultados obtenidos	19
A. Frequently Asked Questions	21
A.1. How do I change the colors of links?	21
Bibliografía	23

Índice de figuras

1.1. Clasificación general de sillas de ruedas	2
1.2. Representación del filosofo Chino Confusio en una silla de ruedas, situado en el año 1680	2
1.3. Correcta posición del usuario	4
1.4. Tamaño del asiento	5
1.5. Forma y ángulo	5
1.6. Soporte para los pies	7
1.7. Soporte para los brazos	7
3.1. Definición esquemática de la solución	12
3.2. Silla de ruedas tradicional y manual	12
3.3. Joystick tradicional	13
3.4. Banco de baterias; 12v	14
3.5. Par de motores de DC	14

Índice de cuadros

1.1. Consecuencias de elegir mal una silla de ruedas (Turner, 2003)	4
---	---

Capítulo 1

Introducción

1.1. Estado del arte

En la actualidad existen, sin duda, una gran opción de artefactos que bien puede considerarse suplen o satisfacen la necesidad de las personas por una *Silla de Ruedas*, desde aparatos tradicionales impusados por el mismo usuario, hasta dispositivos robóticos con habilidades distintas como la *iBOT* que escala (msu.edu, 2016).

En la actualidad es posible identificar al menos las siguientes categorías de sillas de ruedas:

- Sillas manuales auto-operadas
- Manuales con propulsión asistida
- Sillas motorizadas
- Scooters de movilidad
- Sillas operadas por un sólo brazo
- Reclinables
- Sillas de pie
- Silas de ruedas para deportes
- De todo terreno
- Auto balanceadoras
- Sillas de ruedas inteligentes

Estas variedades de tipos difieren por distintos aspectos, método de propulsión, mecanismos de control y/o tecnología utilizada. Algunas sillas son diseñadas para uso diario, otras para actividades individuales, o para que el usuario logre ejecutar necesidades muy específicas. La innovación en el segmento es relativamente común, sin embargo muchos intentos recientes han caido en el desuso debido principalmente a dos aspectos, o son demasiado especializados, o no logran aterrizar en el mercado en un punto de precio accesible.

En general, las sillas de ruedas son vehículos que facilitan la movilidad a pacientes que no pueden caminar ni desplazarse por si mismos con otros dispositivos, facilitando así su autonomía e integración social. (Gorgues, 2005)

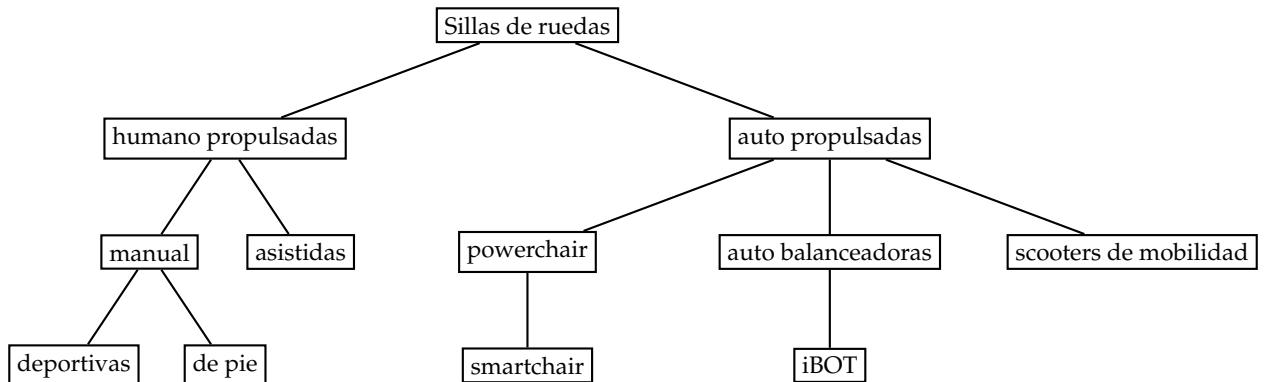


FIGURA 1.1: Clasificación general de sillas de ruedas

1.2. Breve historia de las sillas de ruedas

Los registros más antiguos de algún tipo de mueble con sillas son de una inscripción tallada en piedra en la antigua China y de una cama de niño descrita en una vasija Griega ambos registros datan de entre el siglo quinto y sexto después de Cristo (wheelchair-information.com, 2017).

Los primeros registros de una silla de ruedas utilizada con la intención de transportar a una persona minusválida datan de tres siglos después en China; los Chinos utilizaban carretillas para mover tanto personas como objetos pesados. Una distinción entre estas dos acciones no fue hecha si no hasta alrededor del año 525 de nuestra era, cuando imágenes de sillas con ruedas hechas específicamente para transportar personas empezaron a aparecer en el arte Chino. (Koerth-Baker, 2012)



FIGURA 1.2: Representación del filósofo Chino Confusio en una silla de ruedas, situado en el año 1680

Aunque los europeos eventualmente desarrollaron un diseño similar, este método de transporte no existió si no hasta el año 1595 cuando un inventor español desconocido construyó una silla para el rey Phillip II. Aunque este diseño aún presentaba algunas desventajas sobre todo de movilidad pues no estaba completamente implementado un sistema de propulsión eficiente y era necesario la asistencia de terceros, haciendo este diseño más similar a un trono portátil que a una silla de ruedas moderna (wheelchair-information.com, 2017).

En 1655, Stephan Farffle, un reojero de 22 años de edad, parapléjico, construyó la primera silla de ruedas auto propulsada en un chasis de tres ruedas utilizando un sistema de manivelas y ruedas dentadas. Sin embargo, el dispositivo tenía la apariencia de una bicicleta de manos más que de una silla de ruedas.

Para 1933 Harry C. Jennings, Sr. y su minusválido amigo Herbert Everest, ambos ingenieros mecánicos, inventaron la primera silla de ruedas, plegable, portable, ligera y de acero (Everest y Jennings, 1937).

Everest se había roto la espalda en un accidente minero con anterioridad. Ambos vieron una posibilidad en el mercado y pronto se convirtieron en los primeros en manufacturar para el mercado de masas de las sillas de ruedas. Su modelo *X-brace*, aunque con algunas diferencias, aún se encuentra en uso.

1.3. Implicaciones médicas

Son muchas las horas que los usuarios pasan en su silla de ruedas, por ello esta debe ser personalizada para adaptarse a su cuerpo y necesidades. La silla de ruedas correctamente ajustada será más cómoda para sentarse, hacer maniobras más eficientes reducir las tensiones esqueléticas y musculares causadas por los movimientos naturales de la propulsión, por ello se llega a concluir que una silla de ruedas debe tener como objetivo permitir al usuario la máxima funcionalidad, comodidad y movilidad. Para cumplir con este objetivo, la silla debe estar pensada para ajustarse a la persona, no es la persona la que debe amoldarse a su silla. Si se escoge una silla no apropiada, puede resultar incomoda e incluso la energía del usuario se malgastará de manera innecesaria debido al esfuerzo continuado para modificar su postura (referirse al cuadro 1.1)

1.3.1. Postura adecuada para el usuario

Para el cuerpo humano es complicado mantener la posición sedente y simétrica durante períodos largos y en distintas tareas, a esta nos referimos cuando el cuerpo está posicionado con cadera, rodilla y tobillos con una angulación articular de 90°, si bien esta es la posición sedente que la bibliografía ha considerado la correcta, es imposible conseguirla o mantenerla por mucho tiempo. Es importante considerar que el cuerpo humano inconscientemente es capaz de adoptar comportamientos o posturas básicas para conseguir la estabilidad, comodidad o función:

- Desplazar la pelvis en una inclinación posterior y llevar el tronco hacia atrás en un apoyo posterior
- Desplazar la pelvis en una posición anterior, inclinando el tronco hacia adelante y descansando los brazos sobre una superficie

CUADRO 1.1: Consecuencias de elegir mal una silla de ruedas (Turner, 2003)

Problemas	Consecuencia
Asiento demasiado ancho	Postura inestable en sedestación Dificultad para alcanzar ruedas y auto propulsarse Barreras arquitectónicas
Asiento demasiado estrecho	Incomodidad al sentarse Riesgo de hacer ulceras por presión Dificultad para realizar transferencias
Asiento demasiado profundo	Disminuye circulación de miembros inferiores Molestia en el hueco poplítico
Asiento poco profundo	Insuficiente apoyo para sentarse Aumento de la presión en zona de apoyo
Asiento demasiado alto	Dificultad para transferirse y sentarse en la silla Dificultad con objetos de altura estándar Disminuye la eficacia de la auto propulsión
Asiento demasiado bajo	Escaso apoyo al sentarse Disminuye la eficacia de la autopropulsión



La óptima posición para la mayoría de los usuarios de sillas de ruedas es de un ángulo de inclinación del respaldo de 90 - 100°y un ángulo de la rodilla de 90 - 120°

FIGURA 1.3: Correcta posición del usuario

- Inclinar la pelvis hacia un lado y el tronco lateralmente en la superficie

Una silla de ruedas únicamente resulta útil para su usuario si le proporciona comodidad y una base de asiento estable que le permita, entre otras cosas:

- Sentarse erguido en una posición cómoda y funcional, ref.1.3
- Conseguir la máxima capacidad funcional con el mínimo gasto de energía
- Reducir la presión que soporta en los gluteos y muslos (Willard y Spackman, 2005)

1.3.2. Tamaño del asiento

La profundidad del asiento es esencial para proporcionar la cantidad correcta de apoyo debajo de los muslos. La longitud óptima del asiento debe ser aquella que estando el usuario bien sentado (erguido) deje una distancia aproximada de dos dedos

de espacio entre el final del asiento y el huevo poplítico. El ancho del asiento debe considerar 2,5cm entre los muslos y el lateral de la silla, para evitar puntos de presión y oblicuidad pélvica.



FIGURA 1.4: Tamaño del asiento

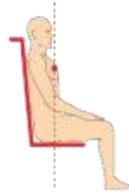


FIGURA 1.5: Forma y ángulo

1.3.3. Forma y ángulo del asiento-respaldo

El asiento debe ser firme y estar nivelado. Cuando se mantiene una buena postura, el ángulo de la cadera es fundamental ya que determina la estabilidad de la pelvis. El respaldo debe estar ligeramente reclinado para que la fuerza de la gravedad recaiga sobre el pecho del usuario ayudándole a mantenerse estable en la silla. A menudo los usuarios requieren de la gravedad para ayudar a equilibrar sus troncos, que no pueden mantener una postura erguida, o que necesitan descansar con el fin de aliviar la presión en los glúteos. *Inclinación respaldo-asiento deberá estar entre 90 – 120°*; pues se puede adaptar mejor a diferentes circunstancias. ref. 1.5

1.3.4. Postura en sedestación

Una postura adecuada en posición de sentado estimula el uso total de los campos visuales, así mismo la tolerancia de mantenerse sentado. Una buena posición sedente:

- Evita contracturas
- Estimula el sistema sanguíneo y nervioso
- Favorece la capacidad de respiración y digestión
- Previene úlceras
- Evita cansancio corporal
- Normaliza tono muscular

1.3.5. Cojín

Tiene como principal objetivo la protección de tejidos blandos, mantener el control postural, alineación, estabilidad y comodidad. La eficacia de un cojín se puede valorar explorando la integridad de la piel cuando el usuario ha pasado tiempo sentado. La elección de un cojín se basa en sus propiedades:

Densidad Cociente entre la cantidad de material y el área cúbica

Rigidez Fuerza de resistencia a compresión

Características térmicas Conducir o aislar calor y humedad

Fricción Capacidad para mantener una posición y cambiarla si es necesario

Entre otros ejemplos se pueden encontrar en este rubro las siguientes opciones:

- Cojín de gel

pro Mayor protección de la piel

pro Larga vida útil

pro Mejor disipación de calor

contra Pesados

contra Aumento de la humedad en la piel

contra Reducción de la estabilidad

- Cojín de aire

pro Buena distribución del peso

pro Máxima protección de la piel

pro Livianos

pro Cómodos

contra Mala estabilidad postural

contra Muy costosos

contra Dificultad en transferencias

contra Hay que controlar con frecuencia la presión de aire

- Cojín de hule espuma

pro Livianos y económicos

pro Fáciles de modificar

pro Pueden absorber humedad

contra No pueden ser lavados

contra Causan aumento de la temperatura de la piel

contra Poca vida útil

1.3.6. Soporte para los pies

Desde el punto de vista ergonómico los reposapiés deberían de ser de 90°; sin embargo en adultos, normalmente no se da, porque de esta forma las plataformas del reposapiés impiden el libre giro de las ruedas delanteras. La altura a la que estén colocadas las plataformas también es importante, por ello en ambos casos, simplemente debe buscarse la alineación articular. El asiento completo debe ser suficientemente alto para que el reposapiés pueda evitar los obstáculos y lo suficientemente bajo como para que las rodillas quepan debajo de las mesas. ref. 1.6



FIGURA 1.6: Soporte para los pies

1.3.7. Soporte para los brazos



FIGURA 1.7: Soporte para los brazos

Los reposabrazos procuran descanso a los brazos y liberan tensión de los músculos del cuello. La presencia de este accesorio se condiciona a las preferencias personales y al nivel de función y equilibrio. Los apoyabrazos proporcionan apoyo adicional si se tiene equilibrio de tronco limitado y actúan como anclajes de estabilidad lateralmente. La altura de este no debe interferir con le aro propulsor y los codos deben estar ligeramente por delante de los hombros. Regularmente los antrbrazos del usuario apoyados deben quedar a 90°del codo. ref. 1.7

1.4. Sensores y actuadores

1.5. Sistemas de energía

1.6. Interfaces

Capítulo 2

Limitaciones y consideraciones

2.1. Mercado

2.2. Funcionalidad

2.3. Modelo de negocio

Capítulo 3

Propuesta tecnológica

Dada la introducción correspondiente, en este capítulo se describe la propuesta tecnológica que compete a este proyecto, para esto se propone, en particular, articular una solución que se identifique en el área de las *smart wheelchair*

3.1. Silla de ruedas inteligente

Una silla de ruedas inteligente *smart* es cualquier silla auto propulsada que utiliza un sistema de control para aumentar o incluso reemplazar el control del usuario (Simpson, 2005). Su propósito es el de reducir o eliminar las acciones del usuario para conducir la silla. Usualmente, una silla de ruedas inteligente es controlada vía una computadora, tiene una colección de sensores y aplica técnicas de movilidad de la robótica, pero todo esto no es exclusivamente necesario. La interfaz puede consistir de un joystick tradicional de silla de ruedas, un dispositivo *sip-and-puff*¹, o alguna pantalla sensible al tacto. Estas en particular difieren de cualquier otra silla de ruedas motorizada en el sentido en que, en estas últimas el usuario es quien controla la velocidad y dirección del vehículo por completo, en una *smart wheelchair* esta tarea es apoyada por el sistema de control de la misma.

Las sillas de ruedas inteligentes son diseñadas para una gran variedad de tipos de usuarios. Algunas son diseñadas para usuarios con deficiencias cognitivas, como la demencia, estas comúnmente son acondicionadas con sistemas y técnicas de evación de colisiones logrando que incluso aunque el usuario lo indique, estas no incurran en una situación de choque que pueda lastimar al usuario. Algunas otras se enfocan en servir a pacientes con severas discapacidades motoras, como la parálisis cerebral y/o la cuadriplejia y el roll de la silla de ruedas es el de interpretar pequeñas activaciones musculares como comandos de alto nivel y ejecutarlos. Estas sillas por lo general emplean técnicas de la inteligencia artificial, como la planeación de trayectorias.

3.2. Componentes

Como se muestra en la figura 3.1 se proponen los siguientes componentes para la composición final de la solución:

- Interfaz de usuario
- Sistema de control

¹tecnología que mediante inhalaciones el usuario puede utilizar para indicar acciones

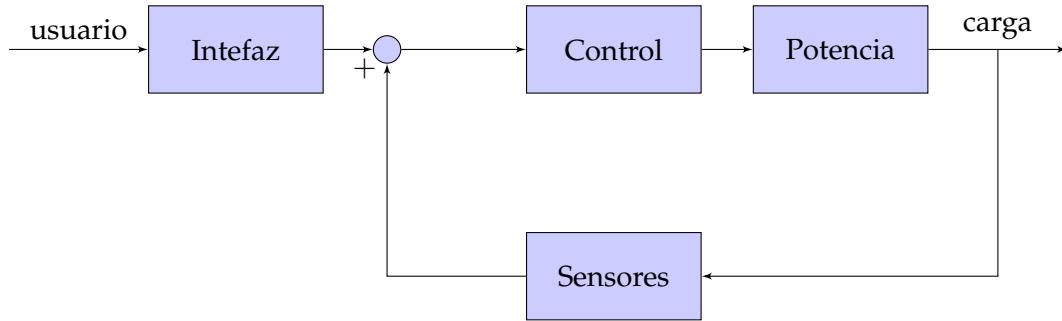


FIGURA 3.1: Definición esquemática de la solución

- Sistema de potencia
- Sensores

3.2.1. Esquema físico



FIGURA 3.2: Silla de ruedas tradicional y manual

Además de que, los componentes antes mencionados serán descritos a profundidad en las siguientes secciones, cabe aclarar que, como parte de la propuesta de solución, se plantea el hecho de que dichos sistemas serán integrados sobre una silla de ruedas tradicional. ref.3.2

Siendo así podemos catalogar en este momento a esta propuesta como un *upgrade* más que como un producto nuevo, aún así como es descrito en el capítulo 2 existe

una necesidad real en el mercado por una alternativa más sofisticada en sectores de la sociedad no tan favorecidos.

3.3. Interfáz de usuario



FIGURA 3.3: Joystick tradicional

En este apartado se opta por ir con un sistema tradicional, dado que según las observaciones del mercado que se hicieron en el capítulo 2, existe una gran demanda en el sector de los usuarios de sillas de ruedas con capacidad motriz para operar un *joystick* y aunado a la generosa oferta en el mercado de dispositivos de este estilo, esto es determinado.

3.4. Sistema de control

Se propone un sistema de control automático para la *silla smart* este tendrá las siguientes tareas:

- Procesar la señal proveniente del joystick de control
- Interpretar las distintas señales provenientes de los sensores
- Generar la salida adecuada para el sistema de potencia

Una de las consideraciones al momento de desarrollar dicho sistema de control es que: **el usuario final será quien dirija la silla de ruedas pero el sistema de control de la silla asistirá dicha conducción.**

Con lo anterior planteado el sistema de control propuesto tendrá una tarea bastante delimitada y se propone que resida en una computadora a bordo, el detalle de su implementación se discute en el siguiente capítulo.



FIGURA 3.4: Banco de baterias; 12v

3.5. Sistema de potencia

3.5.1. Almacenamiento

Para satisfacer a todo el sistema de energía se propone el uso de baterías eléctricas abordo. Dada la información expuesta en el capítulo 1 se elige el uso de las baterías que entregarán una mejor relación de densidad energética: las baterías de iones de litio. Dado que es un estándar en las sillas de ruedas motorizadas el uso de dos bancos de baterías de 12v cada una, en este caso se opta por seguir con dicha tendencia

3.5.2. Entrega de potencia



FIGURA 3.5: Par de motores de DC

Para la entrega de potencia a la silla se utilizarán un par de motores de corriente directa (fig.3.5) acoplados sobre un chasis debajo del asiento de la silla tradicional y directamente conectados a las ruedas estos contarán tambien con un par de encoders ópticos y el correspondiente controlador, mismos en los que se aunará en su descripción en el siguiente capítulo

3.6. Sensores

Con la intención de dotar al sistema de una retroalimentación que permita al usuario final una experiencia de conducción más rica y sencilla, se pretende incorporar en la solución distintos sensores, entre los que se encuentran, pero no exclusivamente:

- Sensores ultrasónicos
- Sensores de nivel de batería
- Acelerómetros
- Giroscópios
- Sensores de presión

Capítulo 4

Desarrollo e implementación

4.1. Diseño estructural

4.2. Hardware

4.3. Software

4.4. Sistema de seguridad

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Resultados obtenidos

Apéndice A

Frequently Asked Questions

A.1. How do I change the colors of links?

The color of links can be changed to your liking using:

\hypersetup{urlcolor=red}, or
\hypersetup{citecolor=green}, or
\hypersetup{allcolor=blue}.

If you want to completely hide the links, you can use:

\hypersetup{allcolors= .}, or even better:
\hypersetup{hidelinks}.

If you want to have obvious links in the PDF but not the printed text, use:

\hypersetup{colorlinks=false}.

Bibliografía

- Everest, Herbert A. y Harry C. Jennings (1937). «Folding wheel chair». En: *US Patent*.
- Gorgues, J. (sep. de 2005). «Adaptación de sillas de ruedas convencionales». En: *Farmacia Práctica. Fichas de Ortopedia* 24.8.
- Koerth-Baker, Maggie (2012). «Who invented the Wheelchair». En: *Mental Floss Inc*. URL: <http://blogs.static.mentalfloss.com/blogs/archives/22329.html?cnn=yes>.
- msu.edu (2016). En: URL: <https://msu.edu/~luckie/segway/iBOT/iBOT.html>.
- Simpson, Richard C. (2005). «Smart Wheelchairs». En: *Rehabilitation Res. & Dev.* 42.
- Turner, A. (2003). «Principios, técnicas y práctica». En: *Terapia ocupacional y disfunción física* 5.
- wheelchair-information.com (2017). «History of Wheelchair». En: URL: <http://www.wheelchair-information.com/history-of-wheelchairs.html>.
- Willard y Spackman (2005). «Terapia Ocupacional». En: *Editorial Médica Panamericana*.