



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Diseño de una silla de ruedas motorizada a bajo costo"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN



Materia Integradora

Previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:
Xavier Antonio Coello Chedraui
Juan Vittorio De Santis Flores

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO: 2015



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y ciencias de la producción de la carrera de Ingeniería en Mecánica (FIMCP) que contribuyeron secuencialmente en nuestra formación como profesionales y que derivó en la constitución del presente trabajo. A todos les debemos gratitud, pero en especial al Dr. Francis Loaiza Almeida por darnos la oportunidad de realizar este trabajo, a la M. Sc. Carola Sánchez Zurita por su dedicación y tiempo, y por último agradecemos al gran diseñador del universo de cuya majestuosa creación nos inspiramos cada día.

Dedicatoria

A mis hermanos, primos, tíos, abuelos y amigos, por creer en mí. A mis padres, Xavier y Norma, siempre vivos.

Xavier Antonio Coello Chedraui

A mi hija, mi hermosa Anette, cuya existencia ha sido siempre el motor de mi vida.

A mis padres, Juan y Mirna, sin cuyo apoyo las noches de desvelo hubieran sido en vano.

A mis hermanos Romir, Doni y Aldo sin cuyo ejemplo no hubiese llegado hasta aquí.

A mi compañera Lissette sin cuyo amor y ternura cada paso se hubiese tornado más amargo.

Y al gran diseñador del universo que ideó todo lo que ha sucedido, y me dio las condiciones para superarme a mí mismo.

Juan Vittorio De Santis Flores

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Xavier Antonio Coello Chedraui

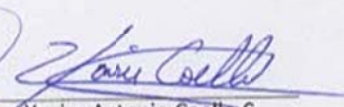
Juan Vittorio De Santis Flores


PhD. Francis Roderich Loayza Almeida

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.


Juan Vittorio De Santis F.


Xavier Antonio Coello C.


PhD. Francis Loayza A.

RESUMEN

El presente trabajo constituye un análisis pormenorizado de una de las problemáticas que más han atraído a la ingeniería, en este contexto, el uso de sistemas mecánicos para suplir una necesidad humana latente. Para este caso en particular el problema es el de la incapacidad motriz de los miembros inferiores, para lo cual la solución es una silla de ruedas de fácil adquisición. Sin embargo, existe la posibilidad de reducir la dependencia de los pacientes de cuadriplejía empleando un sistema motriz en dichas sillas. Teniendo en cuenta que la producción de estos sistemas es de alto costo, y su accesibilidad resulta en muchos casos imposible para personas de bajos recursos económicos, el problema aquí descrito es mermado mediante el diseño de un sistema, que produzca un descenso de costo considerable de tal manera que se encuentre al alcance de los presupuestos de estos pacientes. En la actualidad en nuestro país estos sistemas son importados y vendidos a precios altos, lo cual genera la incapacidad de ciertos usuarios el emplear tecnología especializada que pudiera facilitar su vida en este contexto. Por tanto, la solución a esta problemática se resuelve con la inclusión de una tercera rueda capaz de dar tracción a la silla de ruedas, conectada a la misma y manipulada por el usuario mediante un timón, proporcionándole la dirección a la que deberá girar la misma, este análisis de componentes de diseño, le siguió la determinación del sistema de control de velocidad, que otorga la capacidad al usuario de trasladarse a un rango de velocidades determinado de 0 km/h a una velocidad máxima de 6 km/h, además se establece que según el tipo de baterías utilizadas la autonomía del sistema alcanza una durabilidad de 159 horas de uso continuo a una velocidad promedio, a esto, se obtuvo un diseño de silla de ruedas motorizada versátil en su uso y de un relativo bajo costo de producción.

Palabras claves: Silla de ruedas, sistema motorizado, diseño mecánico y análisis de costos

ABSTRACT

This work is a detailed analysis of the issues that have most attracted to engineering in this context, the use of mechanical systems to meet a latent human need. For this particular case the problem is the locomotor disability or quadriplegia, ie, inability to move using the legs, to which the solution is a wheelchair readily available, however, it is possible to reduce dependence quadriplegia patients using a drive system in such chairs. Given that the production of these systems is expensive, and its accessibility is in many cases impossible for people of low income, the problem described here is undermined by designing a system that produces a decrease in considerable cost to scope of the budgets of these patients. Today in our country these systems are imported and sold at exorbitant prices, which creates the inability of some users to use specialized technology that could make your life easier in this context. So the solution to this problem is resolved with the inclusion of a third wheel able to drive the wheelchair, connected to it and manipulated by the user of the wheel chair by giving the address to which should turn the same, this design components analysis followed the determination of the speed control system, which gives the user the ability to move to a certain range of speeds from 0 km / h at a maximum speed of 6 km / h, further It states that according to the type of batteries used autonomy system achieves a durability of 159 hr of continuous use at an average speed, this chair design versatile motorized wheel in use and relative low cost of production was obtained.

Keywords: *Wheelchair, motorized system, mechanical design and cost analysis*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE PLANOS	XII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos generales.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3.3 Descripción de sillas de ruedas eléctricas.....	4
1.3.4 limitaciones de una silla de ruedas.....	4
CAPÍTULO 2	5
2. Metodología del diseño.....	5
2.1 Proceso de diseño.....	5
2.2.- Diseño conceptual.....	5
2.2.1.- Requerimientos.....	5
2.2.2.- Etapas del sistema de motorización.....	5
2.2.3.- Subsistemas de la silla de ruedas eléctrica.....	6
2.2.4.- Componentes de diseño.....	6
2.3.- Alternativas de Diseño.....	6
2.3.1.- Alternativa 1: Sistema diferencial aplicado a las ruedas traseras con control de dirección manual.....	6
2.3.1.1 Descripción general.....	6
2.3.1.2 Sistema de frenos.....	8

2.3.2. Alternativa 2: Sistema de rueda y timón acoplable y desacoplable con motor reductor, incluyendo un sistema de control de velocidad y dirección manual.....	9
2.3.2.1 Descripción general.....	9
2.3.2.2 Sistema de freno.....	10
2.3.3 Alternativa 3: Aplicación de motores independientes a cada rueda y control de dirección electrónica mediante el empleo de un joystick.....	10
2.3.3.1 Descripción general.....	10
2.3.3.2 Sistema de control de dirección.....	11
2.3.3.3 Sistema de freno.....	12
2.4 Análisis y selección de la mejor alternativa.....	12
2.4.1 Criterios de Selección.....	12
2.4.2. Valores de Selección.....	12
2.4.3 Matriz de decisión.....	12
2.4.4 Descripción adicional del diseño.....	13
2.5 Descripción del diseño de forma.....	14
2.5.1 Limitaciones geométricas del diseño.....	14
2.5.2 Velocidad del sistema.....	14
2.5.3 Selección del neumático.....	15
2.5.4 Dimensiones del sistema.....	15
2.6 Diseño del sistema.....	16
2.6.1 Cálculo del sistema de impulsión.....	16
2.6.2 Selección del sistema de impulsión.....	20
2.6.3 Selección del timón y el acoplador.....	21
2.6.4 Diseño del sistema de sujeción.....	22
2.6.5 Diseño del Sistema de control y análisis electrónico del diseño.....	24
2.6.6 Autonomía del sistema.....	27
CAPÍTULO 3	29
3. RESULTADOS.....	29
3.1 Análisis del diseño.....	29
3.1.1 Análisis del diseño de forma.....	29
3.1.2 Análisis del diseño y materiales.....	29

3.1.3 Análisis del sistema de control.....	29
3.1.4 Análisis de la autonomía del sistema.....	29
3.2 Análisis de Costos.....	29
3.3 Limitaciones del diseño.....	30
3.3.1 Limitaciones de uso.....	30
3.3.2 Limitaciones de operación.....	31
3.3.3 Limitaciones de costo.....	31
CAPÍTULO 4.....	32
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	32
4.1 Conclusiones.....	33
4.2 Recomendaciones.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34

ABREVIATURAS

INEC	Instituto Nacional Ecuatoriano de Censo
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normas
CC	Corriente Continua
CA	Corriente Alterna
ISO	Organización Internacional de Normalización
OMS	Organización Mundial para la Salud
USD	United State Dollar
ASTM	Asociación Internacional para el Ensayo y Materiales
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral

SIMBOLOGÍA

Crr	Coeficiente de rodadura
F	Fuerza necesaria para el desarrollo del movimiento
Fa	Fuerza de arrastre
Wt	Peso total del sistema
φ	Ángulo de inclinación de la rampa
Cd	Coeficiente de arrastre
ρ	Densidad del aire
A	Área de sección de arrastre
N	Newton
P	Potencia del motor
V	Velocidad del sistema
V	Voltios
Km	Kilómetro
H	hora
W	Watt
g	aceleración gravitacional
M	Momento de flexión
T	Torsión
I	Momento de inercia de área
J	Momento de inercia angular
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo
σ_f	Esfuerzo de flexión
c	Distancia de la fibra exterior al eje neutro
Sy	Esfuerzo de fluencia
η	Factor de seguridad
I	Intensidad de corriente eléctrica
Rp	Resistencia del acelerador de giro

- s Segundos
- A Amperios
- Cap* Capacidad de las baterías
- T* Tiempo de autonomía

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1.1 Silla de ruedas convencionales y sus partes constitutivas.....	3
Figura.1.2 Silla de ruedas eléctrica.....	4
Figura. 2.1 Sistema Diferencial para división del par torsional del motor a las dos ruedas traseras de la silla de ruedas.....	7
Figura 2.2 Bosquejo de la alternativa 1 para la solución del problema, los números corresponden a los elementos constitutivos.....	7
Figura 2.3 Ejemplo de frenos de discos de bicicletas que pueden ser usados para el frenado mecánico.....	8
Figura 2.4 Ejemplo del sistema propuesto como alternativa 2, en el que una tercera rueda delantera es la encargada del movimiento mientras que el timón otorga el control de dirección manual.....	9
Figura. 2.5 Motor reductor de CC de 12 V de trabajo nominal aplicado directamente a las ruedas traseras de la silla.....	10
Figura. 2.6 Joystick usado en el control de dirección de sillas de ruedas eléctricas...11	
Figura. 2.7 Dimensiones de la estructura del modelo de referencia.....	14
Figura. 2.8 Dimensiones del neumático ISO 36 288.....	15
Figura. 2.9 Diagrama de cuerpo libre del sistema motorizado en movimiento horizontal.....	16
Figura. 2.10 Diagrama de cuerpo libre del sistema motorizado en movimiento inclinado descendente a un ángulo ϕ	17
Figura. 2.11 Diagrama de cuerpo libre del sistema motorizado en movimiento inclinado ascendente a un ángulo ϕ	17
Figura. 2.12 Área de arrastre que representa al usuario en movimiento.....	19
Figura. 2.13 Motor de eje sin escobilla de 250 W – 500 W con adaptabilidad en la rueda de tracción del sistema.....	20
Figura 2.14 Controlador LCD 12 - MOSFET 36V 450W ~ 800W.....	20
Figura 2.15 acelerador de giro del sistema motriz.....	21
Figura 2.16 Batería de litio de 36 V.....	21
Figura 2.17 Modelado para el diseño del sistema de sujeción.....	22
Figura 2.18 Puntos críticos máximos donde es posible la falla estática, A) esfuerzo cortante por torsión, B) esfuerzo por flexión, C) esfuerzo cortante de flexión.....	23
Figura 2.19 Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad del motor en lazo abierto.....	25

Figura 2.20 Circuito del sistema de control del motor.....	25
Figura 2.21 Curvas características del motor.....	26
Figura 3.1 Ubicación del "driver" o controlador de velocidades en el timón del sistema.....	29



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Componentes físicos de la alternativa 1 considerados para la solución del problema.....	7
Tabla. 2.2 Elementos constitutivos de la alternativa.....	8
Tabla 2.3 Componentes de la alternativa 2.....	9
Tabla 2.4 Componentes de la alternativa 3.....	11
Tabla 2.5 Matriz de selección para la mejor alternativa de diseño.....	15
Tabla 3.1 Lista de costos de elementos del diseño.....	30

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Vista isométrica del sistema

PLANO 2 Vista frontal del sistema

PLANO 3 Vista Superior del sistema

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Durante el devenir de los tiempos, el progreso de la tecnología ha permitido al ser humano trascender todas las barreras físicas impuestas por la naturaleza, la capacidad de trasladarse más rápido, de comunicarse a largas distancias, de socavar una necesidad física mediante el empleo de alguna herramienta, son ejemplos latentes de la naturaleza del progreso que destaca a la humanidad. Sin embargo, el avance tecnológico no siempre alcanza a cubrir a todos los estratos sociales, originados por las diferencias económicas que distinguen a las sociedades modernas de manera inmediata, alargando y dando paso a la adquisición de nuevas tecnologías a los miembros sin recursos económicos suficientes mucho tiempo después de que éstos surgieran, mediante la optimización y abaratamiento de los recursos.

Un ejemplo de necesidad humana, que es posible aliviar mediante el uso de la tecnología, lo constituye el uso de sistemas de motricidad artificial para individuos con paraplejia o falta de miembros inferiores, la cual forma parte de un trastorno físico y anatómico que se presenta por diferentes circunstancias, como accidentes o enfermedades. En el Ecuador donde el uso de los automóviles es generalizado, los accidentes de tránsito constituyen un 10 % de las causas de paraplejia en adultos entre 41 y 64 años de edad (Organización Panamericana de la Salud, 2011)

Como un caso de lo mencionado anteriormente, la silla de ruedas nació como una herramienta de adaptación física ideada para facilitar la movilidad de las personas de problemas de locomoción y movilidad reducida. Dada la relativa sencillez las sillas de ruedas, según los registros históricos éstas fueron ideadas por la humanidad, quizás hace unos 6000 años atrás (Libardo, 2010); pero no es hasta el año 1783 que el inglés John Dawson patenta, lo que se conocería, como la silla de ruedas convencional (Libardo, 2010); Posteriormente, en el año de 1915, ingenieros británicos desarrollan el primer modelo de silla de ruedas motorizada, dando paso, a partir de esta fecha, a las subsiguientes variaciones hasta llegar a los modelos conocidos en la actualidad.

Las sillas de ruedas motorizadas plantean ser la solución a pacientes con movilidad reducida, dado que les otorga mayor independencia a pesar de su condición. Sin embargo, el costo de estos dispositivos, en muchas ocasiones no está al alcance del presupuesto de personas con bajos recursos económicos.

En el Ecuador la diferencia social y económica es un problema latente y a nivel nacional en marzo de 2015, el nivel de pobreza se ubicó en 24,12% de la población y 8,97% pobreza extrema (INEC, 2015).

En el Ecuador la diferencia social y económica es un problema latente y a nivel nacional en marzo de 2015, el nivel de pobreza se ubicó en 24,12% de la población y 8,97% pobreza extrema (INEC, 2015).

Así mismo, en el Ecuador los precios de sillas de ruedas eléctricas con mecanismos de independencia para el usuario están alrededor de los USD 2500, lo cual constituye una cifra inalcanzable para los estratos sociales más bajos.

Por tanto, el presente trabajo nace de la necesidad de disponer de una herramienta de ayuda motriz totalmente mecanizada capaz de estar al alcance de pacientes de bajos recursos económicos, con déficit en su movilidad. La idea básicamente consiste en diseñar un sistema adaptable o acoplable a una silla de ruedas convencional, con el fin de que esta se convierta en una silla accionada por un motor, reduciendo así, el trabajo requerido por el usuario para su movilidad, manteniendo el costo de producción en un margen muy bajo definido en \$600. Tal propósito aspira ser la ayuda de muchos usuarios de sillas de ruedas convencionales, mejorando su estilo y calidad de vida, sin una inversión sustancialmente alta, ya que mecanismos análogos no son fabricados localmente, teniendo un alto costo de adquisición.

Para concebir la idea planteada en el párrafo anterior, se deberán tomar en cuenta diferentes parámetros físicos del sistema, como lo es la escala de velocidades a la que se transportará el usuario, la adaptación del sistema a las dimensiones básicas de una silla de ruedas convencional, las consideraciones de uso, parámetros estéticos y el uso de materiales disponibles en el mercado local, punto que será de sustancial importancia para lograr resolver el problema de costos, que constituye el factor principal del problema que el presente trabajo busca solucionar.

Actualmente, en el Ecuador los sistemas de este tipo son escasos y sus costos son altos, por tanto el problema aquí planteado tiene un mercado amplio y se estima asimismo una amplia aceptación del sistema por parte de este grupo humano, con aras de fomentar el desarrollo tecnológico por medio de un diseño manufacturado con elementos locales o en su menor medida importados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

- Diseñar un sistema de motorización adaptable a una silla de ruedas convencional capaz de ser usado por una persona con dificultades motrices
- Obtener un sistema de bajo costo, que pueda ser usado por personas de bajos recursos económicos

- Lograr que el diseño establecido tenga las cualidades de inclusión en el mercado, adquiriendo la posibilidad de producción masiva para su utilización y comercialización

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer los componentes necesarios para la motorización de una silla de ruedas convencional, con el propósito de brindar independencia al usuario.
- Diseñar las estructuras de soportes de los componentes necesarios para la motorización de una silla de ruedas convencional
- Diseñar los componentes eléctricos necesarios para la motorización.
- Diseñar un sistema de control para el uso del usuario y el control de la dirección.
- Diseñar componentes mecánicos inherentes a la motorización de la silla de ruedas tal como ejes, cojinetes y elementos adicionales.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Tipos de sillas de ruedas

Las sillas de ruedas se pueden clasificar de dos maneras posibles, según el sistema de impulsión en dos, sillas de ruedas convencionales de accionamiento manual y sillas de ruedas eléctricas impulsadas mediante motores eléctricos.

1.3.2 Descripción de silla de ruedas convencional

Una silla de ruedas es un dispositivo que consiste en un asiento ladeado por dos ruedas que permiten que una persona con discapacidad motriz pueda trasladarse de una ubicación a otra de forma manual mediante los bordes manuales Figura 1.1

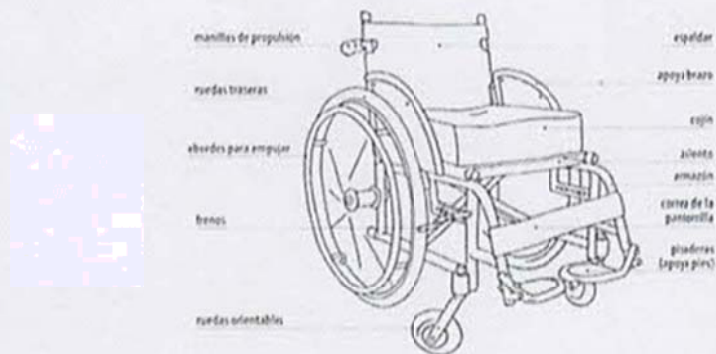


Figura.1.1 Silla de ruedas convencional y sus partes constitutivas

1.3.3 Descripción de sillas de ruedas eléctricas

Una silla de ruedas eléctrica se caracteriza por la aplicación de un sistema de control diseñado para dar orientación y dirección a las ruedas, esto se realiza mediante un joystick manual, que conforma el interfaz entre el usuario y el sistema, emitiendo las señales necesarias a los motores eléctricos para que estos operen según la señal de referencia emitido por las baterías de 24 V , según se disponga la dirección a la que el usuario necesita movilizarse, así también incluyen un sistema de electro frenado en el motor que detiene el avance de las silla según se requiera, Figura 1.2.



Figura.1.2 Silla de ruedas eléctrica

Fuente: <http://www.ortopedialopez.com/tienda/producto/silla-de-ruedas-electrica-springer>

1.3.4 limitaciones de una silla de ruedas

Siguiendo los lineamientos de la descripción del problema, en el caso de las sillas de ruedas convencionales la velocidad obtenida en la movilización es debida al usuario, lo cual representa que él mismo haga el esfuerzo para llevar a cabo la impulsión. En el presente trabajo la velocidad de la silla de ruedas será producida por un sistema electromecánico.



CAPÍTULO 2

2. Metodología del diseño

2.1 Proceso de diseño

Una vez descrito el problema a resolver (capítulo 1) los siguientes pasos a seguir son; Requerimientos y criterios de selección o diseño conceptual, generación de alternativas, análisis de viabilidad de las soluciones plasmadas, selección de la mejor alternativa, especificaciones del diseño.

2.2.- Diseño conceptual

El diseño conceptual corresponde a las especificaciones y requerimientos del problema a tratar, mediante una descripción precisa de los mismos.

2.2.1.- Requerimientos

Los requerimientos del diseño del sistema de motorización de la silla son los siguientes:

- El diseño debe ser capaz de tener 8 movimientos: avance, retroceso, giros en cuatro cuadrantes y giro corto a la derecha y a la izquierda.
- El diseño debe tener algún sistema simple de frenado para evitar accidentes.
- El diseño debe ser de bajo costo, teniendo como un máximo de inversión de USD 600.
- Todos los componentes de la silla, sean mecánicos, eléctricos y electrónicos, deben estar disponibles en el mercado local.
- Una vez implementado el diseño en la silla, deben ser un conjunto estable y rígido.
- El diseño debe acoplarse a las medidas y configuraciones de una silla de ruedas convencional
- Por último el diseño debe ser lo más sencillo posible, para así asegurar un mantenimiento fácil por parte del usuario.

Una vez establecidos los requerimientos, se identifican las probables etapas que deberá contemplar el sistema de motorización.

2.2.2.- Etapas del sistema de motorización

El diseño contempla 4 etapas de funcionamiento que cumplen un ciclo de funcionalidad total, es decir, la combinación de estas etapas llevarán a cabo la movilidad independiente del usuario, tomando en cuenta las principales necesidades del mismo.

- Etapa de accionamiento: Los motores se accionan mediante un dispositivo de aceleración.
- Etapa de transmisión: Los motores se activan y hacen mover las ruedas.

- Etapa de dirección: La silla de ruedas se mueve dependiendo del sistema de dirección.
- Etapa de frenado: El sistema de frenado se activa y hace frenar la silla.

2.2.3.- Subsistemas de la silla de ruedas eléctrica

A continuación los subsistemas que integran el sistema completo de la silla de ruedas motorizada y sus partes serán:

- Subsistema eléctrico: Fuente de poder, motores, cables, potenciómetros, amplificadores, baterías, etc.
- Subsistema mecánico: Piñones, engranes, ejes, soportes, bandas, poleas, cadenas, catalinas, rodamientos, Ruedas, acoples, entre otros.
- Subsistema electrónico: Microcontroladores

2.2.4.- Componentes de diseño

Los componentes de diseño son los elementos a diseñar para cumplir con los propósitos requeridos para las etapas del sistema, así como el sistema de soporte necesario tanto para el acople como para los demás elementos. La solución al problema deberá contar con los siguientes componentes, que aportarán al cumplimiento del propósito principal del proyecto:

- Emisor: Envía la señal al impulsor
- Impulsor: Genera el movimiento principal y lo transmite al impulsado
- Impulsado: Recepta el movimiento del impulsor y hace mover la silla
- Guía: Da la dirección del movimiento
- Estructura: Soporta todos los componentes del sistema

2.3.- Alternativas de Diseño

2.3.1.- Alternativa 1: Sistema diferencial aplicado a las ruedas traseras con control de dirección manual

2.3.1.1 Descripción general

Esta alternativa de solución consiste en utilizar un sistema diferencial Figura 2.1 Con el fin de repartir el par torsión de un motor eléctrico a las dos ruedas de manera equitativa cuando el movimiento es lineal, y de manera diferenciada cuando se describan trayectorias circulares, con el fin de proporcionar diferencia de velocidad entre las ruedas laterales, produciéndose el giro utilizando un sistema de dirección manual.

El sistema de control para este diseño tiene como propósito el controlar la velocidad de la silla mediante potenciómetros y alternadores colocados en los manubrios del timón, otorgando versatilidad de control.

El diseño desglosado según sus componentes se aprecia en la tabla 1 donde el diseño de forma esquemático de esta alternativa Figura.2.2, contaría con componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos.

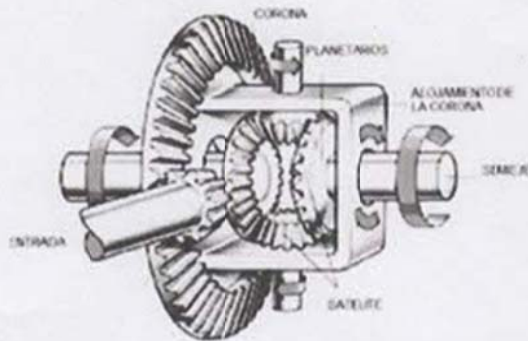


Figura. 2.1 Sistema Diferencial para división del par torsional del motor a las dos Ruedas traseras de la silla de ruedas

Fuente: <http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-35.html>

Tabla 2.1 Componentes físicos de la alternativa 1 considerados para la solución del problema.

Componentes Mecánicos	Sistema Diferencial, Ejes de Transmisión, Bocines, pasadores, sistema de sujeción (Estructura de soporte y pernos), rueda timón direccionador, cojinetes, freno.
Componentes Eléctricos	Cables eléctricos, batería de 12 V, motor eléctrico, alternador, freno eléctrico
Componentes Electrónicos	potenciómetros y micro controladores

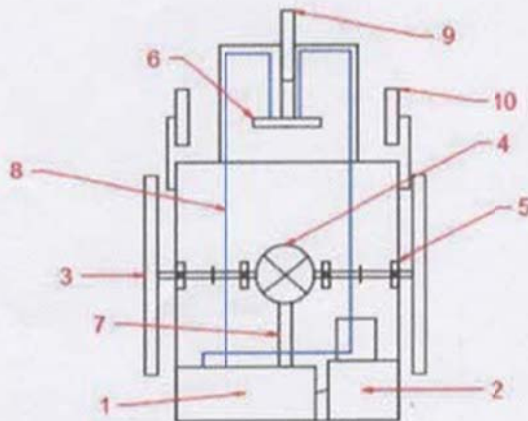


Figura 2.2 Bosquejo de la alternativa 1 para la solución del problema, los números corresponden a los elementos constitutivos

Fuente: Realización propia de los autores

Tabla. 2.2 Elementos constitutivos de la alternativa 1

Número	Elemento
1	Motor Reductor
2	Batería
3	Ruedas
4	Diferencial
5	Cojinetes
6	Manubrio Acelerador
7	Eje de transmisión
8	Cableado
9	Rueda de dirección
10	Ruedas pequeñas

2.3.1.2 Sistema de frenos

Además de lo expuesto esta alternativa cuenta con un sistema de frenado mecánico, que al accionarse de forma sincrónica con el paro del motor eléctrico, el avance de la silla de ruedas disminuirá. Este sistema al accionarse producirá un efecto de freno por fricción similar al utilizado por las bicicletas Figura 2.3.

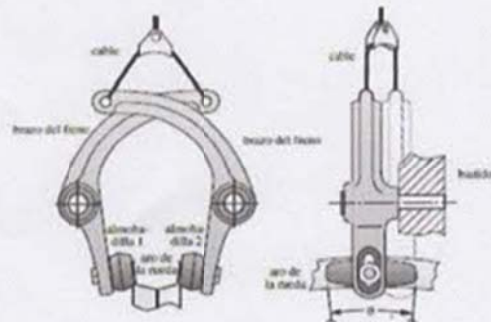


Figura 2.3 Ejemplo de frenos de discos de bicicletas que pueden ser usados para el frenado mecánico

Fuente: *Diseño de máquinas un enfoque integrado*, R. L. Norton, pag. 189

2.3.2. Alternativa 2: Sistema de rueda y timón acoplable y desacoplable con motor reductor, incluyendo un sistema de control de velocidad y dirección manual

2.3.2.1 Descripción general

Esta alternativa consiste en diseñar un timón de manubrios con un sistema motriz aplicado directamente a una rueda, capaz de producir el movimiento de la silla de ruedas una vez que el sistema es acoplado a la misma.

Este sistema prevé el uso de una dirección y control de velocidades manuales aplicados por el usuario, el primero mediante la colocación adecuada del timón según la dirección requerida, y la segunda mediante un acelerador de giro manual instalado en los manubrios. Un sistema similar es representado en la figura 2.4



Figura 2.4 Ejemplo del sistema propuesto como alternativa 2, en el que una tercera rueda delantera es la encargada del movimiento mientras que el timón otorga el control de dirección manual

Fuente:

En la tabla 2.3 se hace una clasificación e identificación de los tipos de componentes que se prevé utilizar para la aplicación de esta alternativa.

Tabla 2.3 Clasificación de los componentes de la alternativa 2

Componentes Mecánicos	Ejes de Transmisión, Bocines, pasadores, sistema de sujeción (Estructura de soporte y pernos), rueda, timón direccionador, cojinetes y sistema de freno.
Componentes Eléctricos	Cables eléctricos, batería de 12 V, motor eléctrico,
Componentes Electrónicos	potenciómetros y micro controladores

2.3.2.2 Sistema de freno

Para el sistema de freno utilizado en esta alternativa, se considera un mecanismo similar al planteado en la sección anterior, accionado mediante el empleo de cables diseñados para usarlos en el momento preciso para detener el sistema, una vez que el motor deje de impulsar al mismo.

2.3.3 Alternativa 3: Aplicación de motores independientes a cada rueda y control de dirección electrónica mediante el empleo de un joystick

2.3.3.1 Descripción general

Este tipo de sistema es el más común existente a disponibilidad de los usuarios de sillas de ruedas. Posee dos motores, cada uno en cada rueda trasera, alimentados por baterías de 12 V. La dirección y velocidad se la controla mediante un controlador que está conectado a un Joystick manejado por el usuario. Por lo general, este tipo de sistemas de motorización poseen ruedas traseras pequeñas con la capacidad de soportar el torque directamente transmitido del motor reductor sinfin corona como el de la figura 2.5 para que sean más estables al momento de trasladarse.

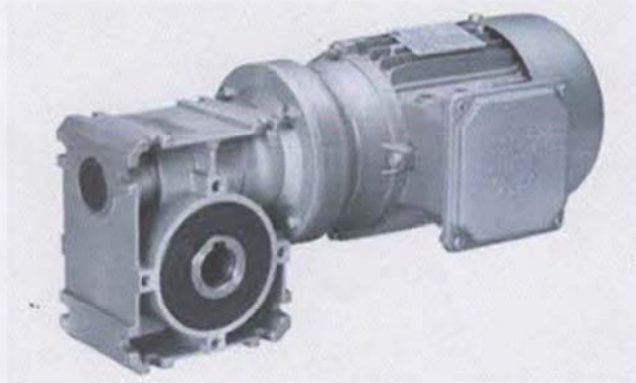


Figura. 2.5 Motor reductor de CC de 12 V de trabajo nominal aplicado directamente a las ruedas traseras de la silla

Fuente: https://www4.nord.com/cms/es/product_catalogue/geared_motors/geared-motors_detail_1544.jsp

Para el uso de esta alternativa es necesario diseñar un sistema de control que permita la dirección de la silla mediante el empleo del joystick, el cual está conformado por potenciómetros que registran el mando del usuario y traducen la señal a los motores eléctricos acoplados a las ruedas traseras, llevando a cabo 8 movimientos; avance, retroceso, giro a la izquierda, giro a la derecha, y cuatro movimientos adicionales correspondientes a la dirección de 45° de los cuatro cuadrantes de dirección.

Esta alternativa permitiría un rango de movilidad mucho más variado a menor esfuerzo del usuario debido a que las velocidades de las ruedas pueden ser controladas de manera individual de manera que es posible direccionar la silla hacia cualquier dirección, combinando diferentes valores de velocidad.

Cuando se gira hacia la derecha, el motor izquierdo se activa en sentido horario mientras el motor derecho en sentido anti horario. Cuando se gira hacia la izquierda, el motor derecho gira en sentido horario y el motor izquierdo en sentido anti horario.

Tabla 2.4 Componentes de la alternativa 3

Componentes Mecánicos	Bocines, ejes de transmisión, cojinetes, soportes estructurales
Componentes Eléctricos	Cables eléctricos, 2 batería de 12 V, 2 motores eléctricos, alternadores,
Componentes Electrónicos	potenciómetros , micro controladores , joysticks

2.3.3.2 Sistema de control de dirección

La presente solución estima utilizar un interfaz físico denominado joystick Figura 2.6 el cual consiste en una palanca conectada a una red de potenciómetros que envía una señal al sistema motriz, produciéndose el movimiento.



Figura. 2.6 Joystick usado en el control de dirección de sillas de ruedas eléctricas

Fuente: spanish.alibaba.com

2.3.3.3 Sistema de freno

La presente alternativa el sistema de frenado sería muy similar al planteado anteriormente para las demás alternativas, diferenciándose únicamente en su activación, ya que en este caso la dirección es controlado por un joystick, el sistema de frenado será accionado mediante un actuador instalado del lado contrario al sistema de dirección, de manera que provea la comodidad necesaria al usuario para que detenga el sistema gradualmente a medida que el motor se detiene.

2.4 Análisis y selección de la mejor alternativa

2.4.1 Criterios de Selección

Para la selección de la mejor alternativa, se utilizan 5 factores que permitirán asignarle un valor cualitativo del 1 al 10 a las alternativas presentadas en la sección anterior, estos serán:

- Costo.- Costo aproximado de sus componentes
- Mantenimiento.- Frecuencia de mantenimiento a la batería, motores, ruedas, etc.
- Versatilidad.- Que tan fácil es su uso
- Manufactura.- Dificultad de construcción de la alternativa, número de componentes, sencillez del circuito electrónico, etc.
- Estabilidad.- Que tan estable es al momento de trasladarse por terrenos con desniveles y rampas.

2.4.2. Valores de Selección

A continuación con motivo de establecer una valoración cuantitativa de los factores que inciden en la selección de la mejor alternativa, se desglosa cada una de ellas y se les otorga un valor de peso ponderado al 100 % de la siguiente manera:

Costo: 30%

Versatilidad: 25

Manufacturabilidad: 10%

Estabilidad: 20 %

Mantenimiento: 15 %

2.4.3 Matriz de decisión

A continuación la tabla 6 representa la matriz de selección para la mejor alternativa de las tres planteadas en las secciones anteriores , teniendo en cuenta la ponderación de peso descrita en la sección anterior, se asigna una calificación de 1 al 10 para cada criterio.

Tabla 2.5 Matriz de selección para la mejor alternativa de diseño

Criterios Alternativas	Costo Peso= 30%	Versatilidad Peso= 25%	Manufactura Peso= 10 %	Mantenimiento Peso= 15 %	Estabilidad Peso=20 %	Total
Alternativa 1 Sistema Diferencial	6 1.8	8 2	4 0.4	4 0.6	8 1.6	6.4
Alternativa 2 Sistema de timón y motor acoplable y desacoplable	9 2.7	8 2	8 0.8	8 1.2	8 1.6	8.3
Alternativa 3 Sistema de motores independientes controlados por joystick	3 0.9	9 2.25	3 0.3	7 1.05	9 1.8	6.3

Entendiéndose que el criterio costo utilizado en la matriz de selección, corresponde al precio de producción o prototipado, cuya calificación representa la alternativa más económica.

Analizando los resultados obtenidos en la matriz de selección, la alternativa 2 correspondiente al "Sistema de rueda y timón acoplable y desacoplable con moto reductor incluido incluyendo un sistema de control de velocidad y dirección manual" es la opción más conveniente a utilizar como diseño.

2.4.4 Descripción adicional del diseño

El diseño de la alternativa escogida tendrá una estructura que se acoplará a la silla de ruedas convencional. Esta estructura deberá apoyarse en la rueda de tracción adicionada con un motor y los accesorios de control.

2.5 Descripción del diseño de forma

2.5.1 Limitaciones geométricas del diseño

Como el diseño seleccionado tiene como uno de sus principales requerimientos la facilidad de acoplamiento del sistema a la silla de ruedas, el diseño tendrá limitaciones geométricas restrictivas impuestas por esta misma.

Para el diseño aquí planteado y con propósito de establecer un estándar de medidas, se utiliza como modelo restrictivo una silla de ruedas fabricada por la "Free Wheel chair misión "modelo "GEN_2 "(Figura.2.7), así como también proporciones estándar del cuerpo humano. Esto último de vital importancia para proveer todos los requerimientos ergonómicos necesarios para el usuario.

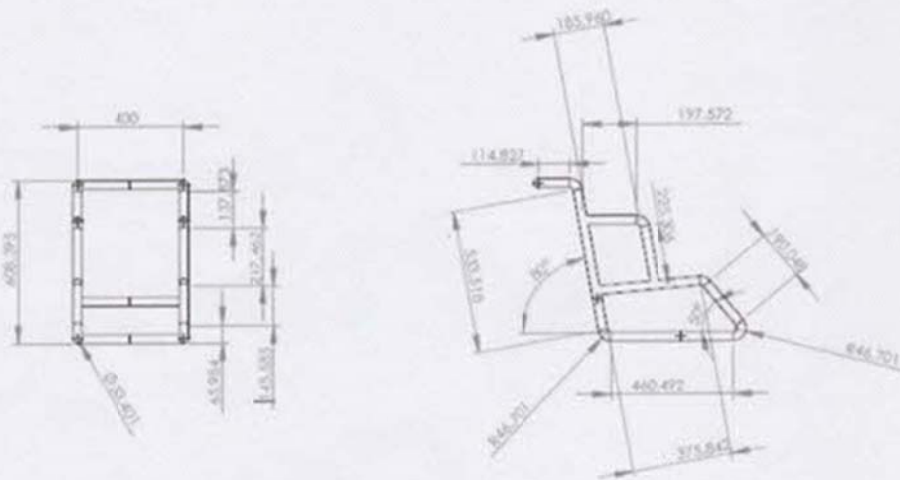


Figura. 2.7 Dimensiones de la estructura del modelo de referencia

Referencia: De creación propia de los autores

2.5.2 Velocidad del sistema

Es necesario definir la velocidad máxima a la que deberá transportarse el usuario de la silla de ruedas, la cual debería ser similar a la velocidad desarrollada por el usuario de la silla sin el sistema de motorización. Sin embargo, se establece como velocidad máxima un valor de velocidad que es habitualmente utilizado por sistemas motorizados semejantes, este valor rodea los 6 km/h (Patricio & Carlos, Enero 2009), por tanto este valor de velocidad será el máximo valor desarrollado por el motor eléctrico.

2.5.3 Selección del neumático

El neumático utilizado para el dispositivo diseñado depende de los parámetros de limitaciones geométricas, velocidad, carga y ambiente de utilización. Para lo requerido, siguiendo la designación de neumáticos de la ISO 5775 y considerando el primero de estos parámetros, se designa un neumático ISO 32 288 con un valor de 350 mm de diámetro exterior por 32 mm de ancho figura 2.8.

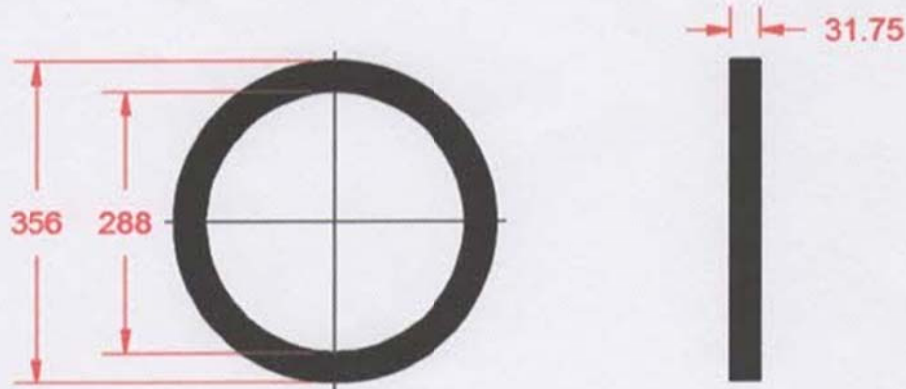


Figura. 2.8 Dimensiones del neumático ISO 36 288 (mm)

Fuente: creación propia de los autores

2.5.4 Dimensiones del sistema

Para lograr una alta eficiencia y comodidad en el diseño es preponderante tener en cuenta la disposición de sus partes con referencia a su capacidad de uso, es decir las dimensiones que tendrán cada uno de sus elementos constitutivos.

Tomando en cuenta las dimensiones de la silla de ruedas, es posible definir las dimensiones del sistema de la siguiente manera:

Rueda: 36 cm de diámetro

Timón: 70 cm de largo

Elementos de sujeción: 40 cm desde el acoplamiento con el timón

Estos valores son seleccionados en base a la forma del modelo de silla de ruedas tomado como referencia y mencionado en una de las secciones anteriores.

2.6 Diseño del sistema

2.6.1 Cálculo del sistema de impulsión

Para determinar la potencia necesaria para movilizar una silla de ruedas, se consideran los siguientes parámetros:

$$\text{Masa del usuario} = 100 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de la silla de ruedas según modelo} = 18 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de las baterías} = 40 \text{ kg}$$

$$\text{Masa aproximada del sistema y sus componentes} = 20 \text{ kg}$$

$$\text{Velocidad máxima de desarrollo de la silla de ruedas} = 6 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 1.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Además se modela el sistema bajo 3 posibles estados de movimiento y se desarrollan sus respectivas ecuaciones, asumiendo que la silla de ruedas se moviliza a su máxima velocidad de forma constante.

Estos tres modelos corresponden a los 3 casos de movimiento entendiéndose estos como; el movimiento horizontal, movimiento inclinado de forma descendente y movimiento inclinado de forma ascendente, las figuras 2.9, 2.10, 2.11 muestran respectivamente el diagrama de cuerpo libre de cada modelo.

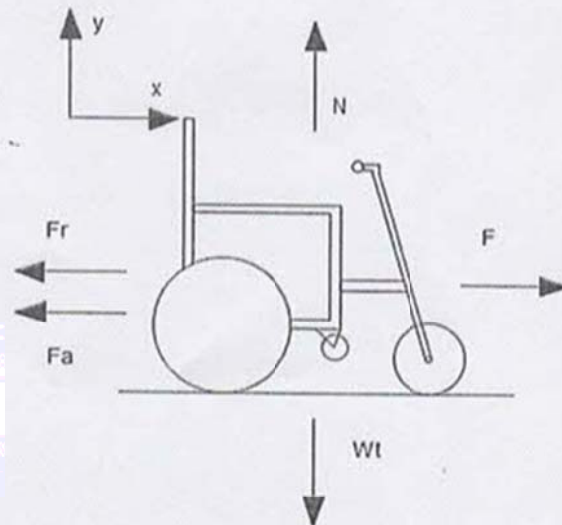


Figura. 2.9 Diagrama de cuerpo libre del sistema motorizado en movimiento horizontal, F: Fuerza necesaria para el movimiento, Fr: Fuerza de fricción a la rodadura, Fa: Fuerza de arrastre generada por el movimiento del sistema, N: Fuerza de reacción normal que ejerce el piso a las ruedas de la silla y Wt: Peso total de la silla de ruedas y el usuario

Fuente: Creación propias de los autores

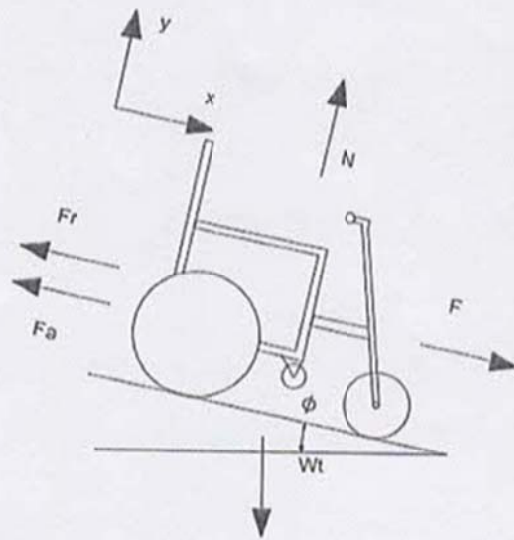


Figura. 2.10 Diagrama de cuerpo libre del sistema motorizado en movimiento inclinado descendente a un ángulo ϕ : F: Fuerza necesaria para el movimiento, Fr: Fuerza de fricción a la rodadura, Fa: Fuerza de arrastre generada por el movimiento del sistema, N: Fuerza de reacción norma que ejerce el piso a las ruedas de la silla y Wt: Peso total de la silla de ruedas y el usuario

Fuente: Creación propias de los autores

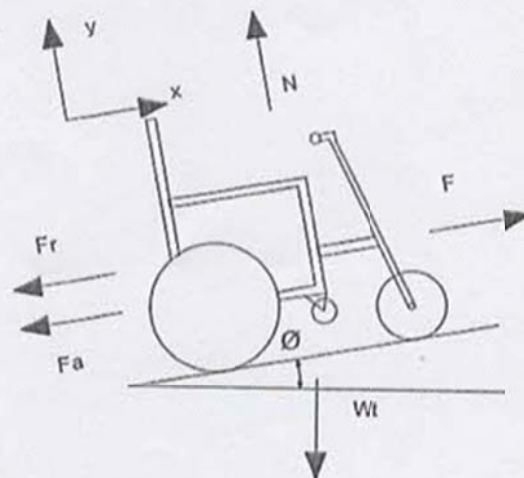


Figura. 2.11 Diagrama de cuerpo libre del sistema motorizado en movimiento inclinado ascendente a un ángulo ϕ : F: Fuerza necesaria para el movimiento, Fr: Fuerza de fricción a la rodadura, Fa: Fuerza de arrastre generada por el movimiento del sistema, N: Fuerza de reacción norma que ejerce el piso a las ruedas de la silla y Wt: Peso total de la silla de ruedas y el usuario

Fuente: Creación propias de los autores

A partir de los diagramas de cuerpo libre mostrado en las figuras, se utiliza la ley de Coulomb de rodadura, el cual describe que la fuerza necesaria aplicada al centro de gravedad de la rueda deberá ser proporcional a la fuerza normal aplicada a la misma, teniéndose como constante de proporcionalidad C_{rr} (Coeficiente de rodadura), considerando las fuerzas adicionales que se tienen que vencer para los casos del movimiento inclinado.

Partiendo del análisis de fuerzas aplicadas a la rueda impulsora, la fuerza necesaria para que la rueda comience a rodar para cada uno de los 3 casos de movimiento son:

$$F = F_a + C_{rr}Wt \text{ (Movimiento horizontal) (1)}$$

$$F = F_a + Wt(C_{rr} \cos\varphi - \sin\varphi) \text{ (Movimiento inclinado descendente) (2)}$$

$$F = F_a + Wt(C_{rr} \cos\varphi + \sin\varphi) \text{ (Movimiento inclinado ascendente) (3)}$$

Donde:

F : Fuerza necesaria para el desarrollo del movimiento

F_a : Fuerza de arrastre aplicada al sistema en movimiento

Wt : peso total en movimiento

C_{rr} : Coeficiente de rodadura entre los neumáticos y el pavimento

φ : ángulo de inclinación en la pendiente

De acuerdo al Instituto Ecuatoriano de Normalización, la norma NTE INEN 2 245 del año 2000 indica que la máxima pendiente para rampas de acceso para personas discapacitadas tiene que ser del 12% para una longitud de 3 metros (INEN, 2000). Esto quiere decir que por cada 3 metros de longitud nos elevamos 0,36 metros. Entonces el ángulo de la pendiente es:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{0,36}{3} = 6,84^\circ \quad (4)$$

Para el cálculo de la fuerza necesaria para el movimiento se utilizará un coeficiente de rodadura de $C_{rr} = 0,01$ al valor adecuado para el concreto.

La fuerza de arrastre que experimenta el usuario en la silla debido al movimiento se manifiesta debido a la fricción del aire sobre este, para estimar esta magnitud se asume al usuario en movimiento como un área rectangular de 0,50m x 0,75m figura. 2.12, y un Coeficiente de arrastre de $C_d = 2.4$ correspondiente a $\frac{0,50}{0,75} = 0.66$, y utilizando la siguiente expresión:

$$F_a = C_d \frac{\rho A V_s^2}{2} \quad (5)$$

Donde $\rho = 1,24 \text{ kg/m}^3$ y $A = 0,50 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$ entonces la fuerza de arrastre será:

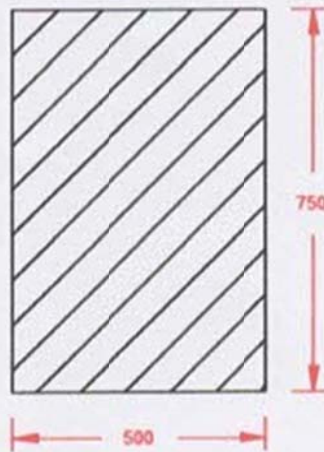


Figura. 2.12 Área de arrastre que representa al usuario en movimiento

Por tanto al considerar todos los pesos mencionados al principio de la sección ($Wt = 1.18 \text{ kN}$), este peso total se repartirá en los tres neumáticos en los que se apoyará el usuario y dado que la rueda impulsora es la frontal las fuerzas necesarias para que se produzca el movimiento serán:

$$F = 19.28 \text{ N (Movimiento horizontal)}$$

$$F = -192.8 \text{ N (Movimiento inclinado descendente)}$$

$$F = 231.15 \text{ N (Movimiento inclinado ascendente)}$$

Como se puede notar la fuerza necesaria para el movimiento en el caso del movimiento horizontal corresponde a un valor mínimo, para el segundo caso el valor negativo denota que el peso del usuario combinado con el de los demás dispositivos es suficiente para hacer rodar el sistema por una pendiente descendente, y por último se obtiene que para mover el sistema a través de una pendiente positiva corresponde a la fuerza máxima, por tanto la potencia necesaria aplicada a la rueda impulsora será:

$$\text{Potencia} = F \times V_s$$

$$P = 231.15 \text{ N} \times 6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}$$

$$P = 385.26 \text{ W}$$

Este resultado permite seleccionar un motor de corriente continua con potencia nominal cercana o mayor al valor obtenido como potencia.

2.6.2 Selección del sistema de impulsión

Dado los cálculos precedentes es posible utilizar un motor cuya potencia nominal oscile alrededor de los 400 W, para lo cual se estipula utilizar un motor de eje sin escobilla Figura. 2.13 que al energizarse provea de la tracción necesaria a la rueda adicional acoplada a la silla de ruedas.



Figura. 2.13 Motor de eje sin escobilla de 250 W – 500 W con adaptabilidad en la rueda de tracción del sistema

Fuente: <http://enduroebike.sell.everychina.com>

Para controlar la velocidad del motor es necesario utilizar un dispositivo de control de velocidad, similar al de la Figura 2.14 con unos circuitos conformado por transistores de efecto de campo MOSFET.

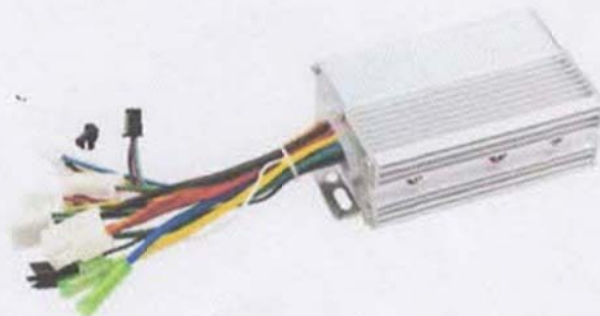


Figura 2.14 Controlador LCD 12 – MOSFET 36V 450W ~ 800W

Fuente: <http://www.ebikecontroller.com/electric-bicycle-controller/>

También, adicional a los elementos anteriormente mencionados se deberá utilizar un acelerador de giro y unas baterías de 12V conectadas en serie como las mostradas en la figura 2.14 y Figura 2.15 respectivamente. El acelerador de giro servirá de interfaz entre el usuario y el sistema motriz, ya que actuará como un potenciómetro que regulará

el voltaje de ingreso en el motor y que a su vez proveerá de tracción al sistema necesario para que el movimiento se lleve a cabo según la velocidad deseada.



Figura 2.15 acelerador de giro del sistema motriz

Fuente: <http://treadly.net/2008/04/18/in-praise-of-power-assisted-bikes/>

Por último se tiene la batería que deberá proveer de 36 v a todo el circuito aplicado, para que el motor desarrolle

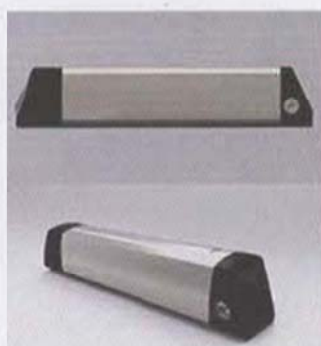


Figura 2.16 Batería de litio de 36 V

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/wholesale/Venta-al-por-mayor-bater%C3%ADas-ion-litio.html>

2.6.3 Selección del timón y el acoplador

Para el sistema de dirección manual del sistema se dispondrá un timón con una medida de 70 cm de largo y un perfil de tubo circular de 2" por 2 mm de espesor de acero ASTM -A500, dado que las cargas aplicadas a esta parte de la estructura del diseño son muy pequeñas y su valor muy difícil de estimar se asume que el perfil seleccionado es conveniente, pero su verificación se hará en la siguiente sección donde se pretende diseñar los brazos de sujeción.

2.6.4 Diseño del sistema de sujeción

Lo anteriormente dicho hasta ahora hace referencia al conjunto delantero del sistema que proporcionará la tracción necesaria para el movimiento, es necesario definir el sistema de sujeción para efecto de cálculos, los dos elementos que proporcionarán la sujeción necesaria se pueden modelar como una viga en voladizo empotrada en un extremo debido a la unión por soldadura, tal como se puede verificar en la figura 2.17

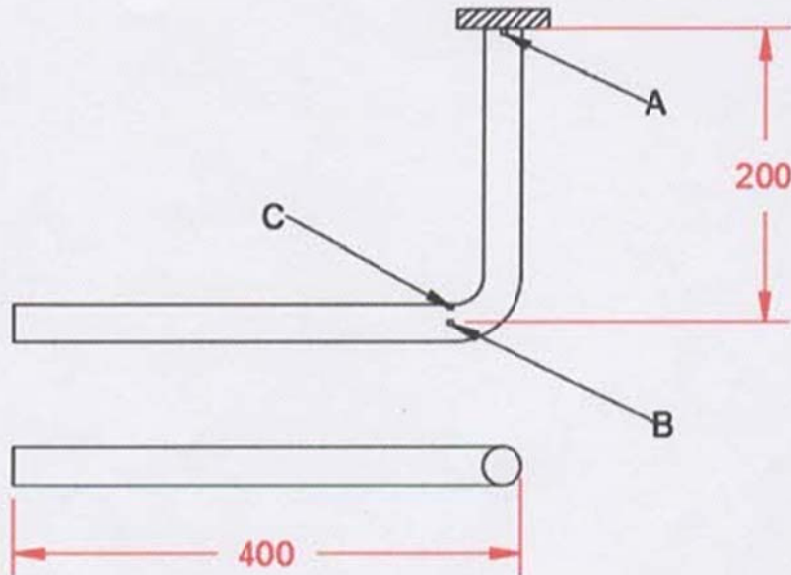


Figura 2.17 Modelado para el diseño del sistema de sujeción, los puntos indicados por los literales A, B, C son los identificados como los elementos diferenciales más críticos.

Fuente: creación propia de los autores

Se parte en principio asumiendo que la carga de diseño será la suma de todas las cargas mencionadas en el análisis anterior, dividida entre 4, esto último debido a que el la carga se repartirá entre las ruedas traseras y los brazos de sujeción.

$$F = \frac{(100Kg + 18Kg + 40Kg)}{4} g$$

$$F = 395 N \text{ (Carga de diseño)}$$

Realizando un análisis de inspección del elemento a diseñar es posible destacar 3 puntos críticos donde es posible la falla estática, estos puntos son los mostrados en la figura 2.18.

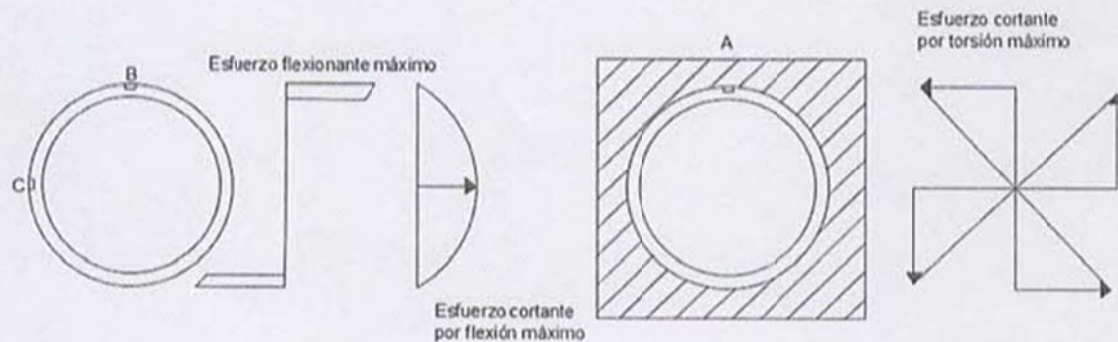


Figura 2.18 Puntos críticos máximos donde es posible la falla estática, A) esfuerzo cortante por torsión, B) esfuerzo por flexión, C) esfuerzo cortante de flexión

Fuente: Creación propia de los autores

En el punto A se manifiesta un esfuerzo de torsión debido al efecto de la fuerza aplicada y la distancia existente entre esta y el empotramiento, de esta manera se procede de la siguiente manera

$$T = 395N \cdot 0.4m$$

$$T = 197.5 Nm$$

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J}$$

$$J = \pi \frac{(d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

$$J = 4,1546 \cdot 10^{-8} m^4$$

$$\tau_{max} = 57,31 MPa$$

Para el caso de cortante puro como es el caso se utiliza la siguiente expresión derivada de la teoría de Von Mises para el factor de seguridad, teniendo en cuenta que se utilizará un acero ASTM A500 con $S_y = 310 MPa$ (límite de fluencia)

$$\eta = \frac{0.577S_y}{\tau_{max}}$$

$$\eta = 3.1$$

En el punto B el esfuerzo aplicado es de flexión donde su magnitud mayor se da en la fibra más alejada de su eje neutro, de manera que utilizando la teoría de Von Mises se calcula el factor de seguridad de la siguiente forma.

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I}$$

$$M = 395N * 0.4m = 158 Nm$$

$$\sigma_f = 114.6MPa$$

$$\eta = S_y / \sigma_f$$

$$\eta = 2.7$$

En el punto C, el esfuerzo es de cortante debido a la flexión y es máximo tal como lo establece la figura 20, para este caso, se procede a calcular el factor de seguridad utilizando la teoría de Von Misses.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{2V_{\text{max}}}{A}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 4 MPa$$

$$\eta = \frac{0.577S_y}{\tau_{\text{max}}}$$

$$\eta = 44$$

Con el análisis precedente es seguro un elemento como el descrito con material de acero ASTM A500, que es el usualmente utilizado en el mercado local para los tubos estructurales.

El acople entre el sistema diseñado y la silla de ruedas se proporcionará mediante unas tenazas de sujeción (clamps), cuya unión se realizará por un perno pasante a través de sus cejas de sujeción.

2.6.5 Diseño del Sistema de control y análisis electrónico del diseño

Para completar el diseño es necesario definir un sistema de control general del sistema con propósito de identificar como los elementos constitutivos del mismo interactúan entre sí para relacionar los valores de importancia.

El sistema de control de este sistema será del tipo de lazo abierto Figura 2.19, ya que el control de la velocidad será proporcionado por el usuario a través del acelerador de giro, el cual es una resistencia variable que envía una señal distinta de corriente al motor según se requiera.

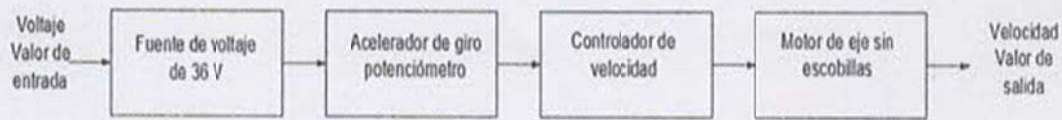


Figura 2.19 Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad del motor en lazo abierto

Fuente: Creación propia de los autores

Para llevar a cabo un análisis de la relación existente entre el valor de entrada en el sistema y el valor de salida, se empleará un circuito como el de la figura 2.20, considerando a cada elemento como una caja negra, ya que lo que sucede en su interior está muy por encima del alcance de este trabajo dándose hincapié a lo que sucede fuera de sus fronteras.

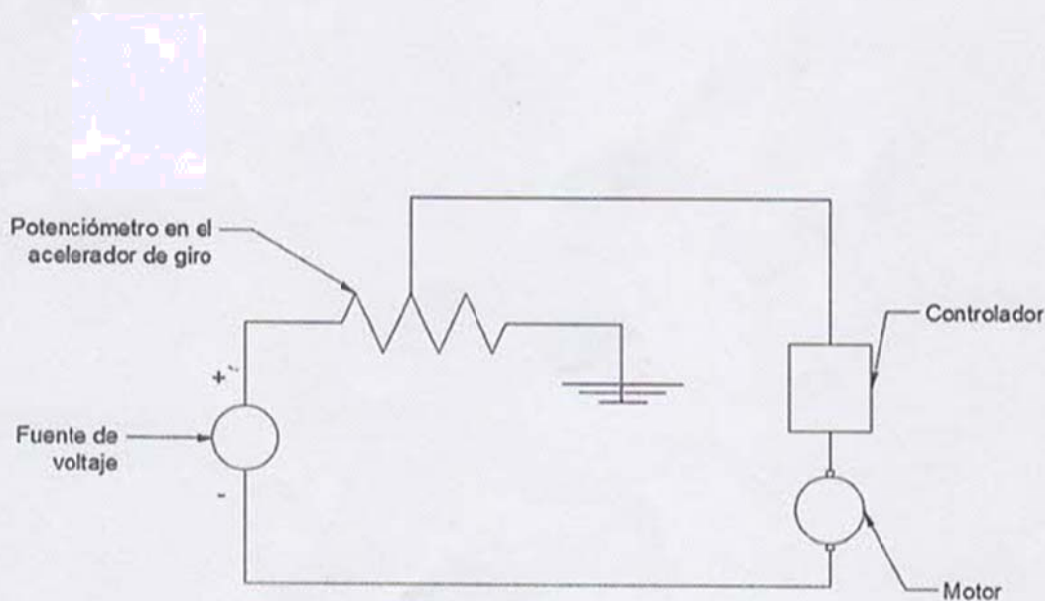


Figura 2.20 Circuito del sistema de control del motor

Fuente: Creación propia de los autores

Tal como se ve en el circuito la corriente que pasa a través del sistema es la misma para cada elemento, por tanto la corriente que pasa a través del potenciómetro se expresa de la siguiente manera

$$I = \frac{V}{R_p}$$

Con el análisis del motor se puede derivar las siguientes ecuaciones

$$P = FV_s$$

$$P = FV_s = I^2(R_{driver} + R_{motor})$$

Según el diagrama del motor especificado, necesario para el sistema aquí diseñado para una potencia alrededor de los 350W la corriente será de 12.44 A

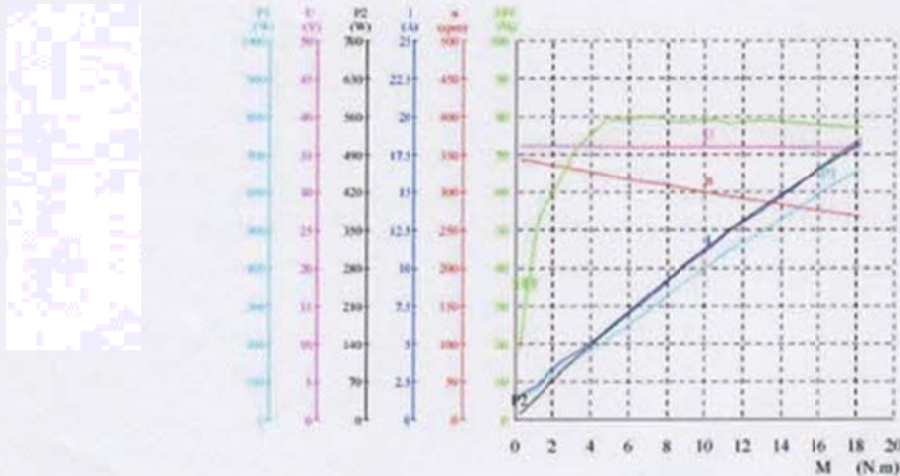


Figura 2.21 Curvas características del motor

Fuente: <http://www.goldenmotor.com/HBS36R-Rear-Hub-Motor/motor-performance-curve>

$$R_p = 2.9 \Omega$$

Resistencia mínima necesaria para el potenciómetro

$$(R_{driver} + R_{motor}) = 2.26 \Omega$$

Por último con propósito de establecer una relación matemática entre el valor de entrada y de salida del sistema de control se produce la siguiente ecuación

$$p = \frac{(R_{driver} + R_{motor})}{R_p^2} V^2$$

Si $(R_{driver} + R_{motor})V$ se lo designa con un valor K entonces la potencia del motor quedaría definida por la resistencia aplicada al potenciómetro de la siguiente forma

$$P = KRp^{-2}$$

Lo cual representa que la potencia desarrolla por el motor dependerá del inverso cuadrado de la resistencia aplicada al potenciómetro.

2.6.6 Autonomía del sistema

Con la inclusión de una batería de 36 V encargada de energizar el sistema, es necesario estimar la autonomía total propia de la misma, para lo cual se procede a calcular el tiempo total de independencia que tendrá el motor hasta que la batería se descarguen por completo

Para el propósito del sistema se utilizará una batería de litio cuya capacidad es según las especificaciones técnicas es de entre 8Ah y 10.5 Ah de manera que para determinar el tiempo total que el sistema podrá permanecer independiente será de:

$$T = \frac{Cap}{I}$$

Donde *Cap* es la capacidad en Amperios por hora, *I* corriente entregada al sistema y *T*, tiempo de autonomía

Si la potencia máxima determinada es de 380 W inspeccionando la curva característica del motor mostrado en la figura 2.21 se tiene que la corriente que necesitará el motor será de aproximadamente de 13 A por tanto:

$$T = \frac{9Ah}{13A} = 0.69 h$$

Este valor corresponde al tiempo que el sistema podría mantenerse autónomamente sin necesitar recargas en las baterías. Sin embargo este cálculo representa la autonomía del sistema si el usuario lo utiliza a la máxima velocidad de 6 Km/h y siempre en pendiente positiva Figura 2.11, como esto no ocurre, es posible estimar un valor de autonomía aproximado si se asume que la velocidad de operación más utilizada por el usuario es de 2 Km/h en movimiento horizontal, por tanto la potencia requerida por el motor con estas condiciones es:

$$P_{@ \frac{2km}{h}} = F_{movimiento horizontal} * Velocidad$$

$$P_{@ \frac{2km}{h}} = 11 w$$

Una vez más refiriéndose a la curva característica del motor la corriente necesaria para desarrollar esta potencia será de aproximadamente 0.37 A con lo cual la autonomía del sistema será

$$T = \frac{9 Ah}{0.37 A} = 24.3 h$$

Este resultado representa un valor de tiempo correspondiente al uso perenne del sistema a la velocidad y las condiciones mencionadas con anterioridad, de esa manera se pretenden dar un valor estimado que represente la autonomía del diseño.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En el presente capítulo establecen los resultados obtenidos en el presente proyecto, haciendo referencia a los objetivos planteados en la introducción con respecto a lo concebido en la metodología del diseño.

3.1 Análisis del diseño

3.1.1 Análisis del diseño de forma

La solución del problema planteado consistió en aplicar una tercera rueda a una silla de ruedas convencional, la cual al proveerle tracción al sistema produce la por consiguiente la motricidad del mismo, esto resultó en un sistema de utilización sencillo para el usuario, ya que el control de dirección manual depende de esta única rueda con las características geométricas ya expuestas.

Dado que uno de los objetivos del proyecto consistía en diseñar un sistema motorizado adaptable a una silla de ruedas, la selección de un tipo de motor especial (*busholes hub*) fue idóneo para cumplir con este propósito, ya que esto implicó darle tracción directa al motor sin necesidad de contar con un sistema de transmisión que hubiese aumentado considerablemente el peso del mismo, así mismo los accesorios necesarios para el control de su velocidad también consiguieron darle al diseño mayor estabilidad y ligereza.

Las dimensiones obtenidas en el desarrollo del diseño (las cuales se muestran en los planos de la sección de apéndice) se determinaron de acuerdo a las dimensiones generales de las sillas de ruedas.

En esta primera etapa del diseño se planteó seleccionar las dimensiones del sistema en base a la silla de ruedas de referencia y las medidas promedios de un ser humano, considerándose así al usuario en la forma definitiva del diseño.

3.1.2 Análisis del diseño y materiales

Como base de criterio de selección del motor, se calculó la potencia necesaria del sistema en base a tres posibles condiciones de operación; a saber movimiento horizontal, movimiento inclinado descendente e inclinado ascendente, utilizando este último máximo valor, ya que de esta forma, es posible abarcar todas las posibilidades anteriormente mencionadas, esto permitió seleccionar un motor de eje sin escobilla con una potencia nominal de entre 350 W y 500 W.

Como se planteó el sistema, se diseñó de tal manera de que el usuario establezca el control de dirección manual, esto se implementó mediante el diseño de un timón, éste a su vez albergaría los aceleradores de giro en los manubrios.

Como es necesario establecer el control respectivo al motor, se seleccionó un "driver" o controlador de velocidades LCD 12 - MOSFET funcionando a 36V y capaz de controlar un motor con potencia nominal dentro del rango de 450W ~ 800W, dentro del esquema estructural del diseño este controlador sería instalado en la parte frontal del timón tal como se ve en la figura 3.1



Figura 3.1 Ubicación del "driver" o controlador de velocidades en el timón del sistema.

Fuente: De elaboración propia de los autores

Como se estipuló, el sistema contendrá una energización de 36 V debido a los requerimientos del motor.

3.1.3 Análisis del sistema de control

Con propósito de cumplir con los objetivos del proyecto el sistema de direccionamiento y regulación de velocidad se estableció como un sistema de lazo abierto cuyo valor de entrada es el voltaje de las baterías encargadas de energizar el sistema y el valor de salida es la velocidad del motor, dado que el control de este parámetro será realizado por el usuario el interfaz del sistema es el acelerómetro de giro, que al funcionar como potenciómetro de giro regulará la corriente de alimentación del motor.

3.1.4 Análisis de la autonomía del sistema

Como criterio de diseño se estableció que la velocidad máxima alcanzada por el sistema será de 6 km/h. Sin embargo en muy pocas ocasiones se espera que el usuario se movilice a esta velocidad por lo que asumiendo una velocidad operativa promedio de 2 km/h se determinó que el sistema podrá mantenerse sin necesidad de carga por alrededor de 24.3 horas operativas continuas, este resultado posee un valor representativa, ya que el tiempo de duración de las baterías real, dependerá del uso por parte del usuario.

3.2 Análisis de Costos

La presente sección está dedicada a establecer un análisis de costos de todos los elementos que se utilizaron el proceso de diseño, la tabla 3.1 muestra un desglose donde se analiza el valor total por elemento, destacando la descripción del elemento, la

La presente sección está dedicada a establecer un análisis de costos de todos los elementos que se utilizaron en el proceso de diseño, la tabla 3.1 muestra un desglose donde se analiza el valor total por elemento, destacando la descripción del elemento, la cantidad a utilizar el costo unitario y por último el valor total de la inversión por materiales.

Como uno de los propósitos del presente proyecto es estimar la inserción del diseño en el mercado local, es necesario destacar que muchos de los precios que se exhiben en la tabla mencionada disminuirían si se establece una línea de producción en masa considerable explotando un mercado emergente, a saber el uso de dispositivos de individualización para discapacitados en silla de ruedas.

Tabla 3.1 Lista de costos de elementos del diseño

Cantidad	Materiales y elementos	Precio unitario	Precio Total
4	Agarraderas de tenazas para sujeción a la silla de ruedas	15	60
1	Soporte de las baterías de 12 V	30	30
1	Aro y radios del neumático	50	50
1	Sistema de freno manual de bicicleta	25	25
1	Motor (Brushless-Hub) 350 W -400W Modelo	200	200
1	Controlador de velocidad LCD12-MOSFET 36V 350W-500W	100	100
1	Batería de ion litio de 36 V de capacidad	250	250
1	Acelerador de Giro	20	20
1	Neumático ISO 32 288 de caucho	25	25
1	Cargador de batería de 12 V portátil	100	100
1	Timón fabricado con tubo redondo de ASTM A500	30	30
4	Tuercas mariposa Tipo americano DIN M6	0.50	1.5
	Suma total de los precios de materia prima		891.5

Con esto se evidencia que el diseño tendrá un costo de inversión por materia prima de USD 891.5, lo cual supera el planteamiento inicial de 600 dólares, sin embargo este valor de fabricación resulta relativamente económico con respecto a sistema análogos que cumplen funciones similares

3.3 Limitaciones del diseño

3.3.1 Limitaciones de uso

Hasta aquí se ha destacado que el uso del sistema está diseñado para usuarios con discapacidades motrices, especialmente aquellos que su movilidad está sujeta al uso de una silla de ruedas, sin embargo muchos de ellos tienen una inmovilidad total, lo que les incapacitaría en el uso del sistema diseñado, dejando solo aquellos que cuentan con inmovilidad parcial de sus miembros inferiores, esto debido a que el

sistema de control de dirección y de velocidad es realizado por el usuario por medio del uso de sus miembros superiores.

3.3.2 Limitaciones de operación

Dado que el sistema aquí planteado se diseñó para que el usuario pueda independizarse en cuanto a la exigencia de un segundo individuo. El diseño no contempla la posibilidad de que el usuario recorra distancias exageradamente altas, por tanto la limitación de operación del diseño se establece en su incapacidad para trasladar al usuario a largas distancias.

3.3.3 Limitaciones de costo

El presente proyecto se concibió mediante el uso de algunos elementos cuya fabricación no se encuentran en el ámbito nacional, esta peculiaridad determina un factor de costos de producción de relevante importancia, ya que de esta manera dicho valor aumenta negativamente en cuanto a adquisición se refiere.

También es reconocible la dificultad de encontrar elementos de recambio para el dispositivo diseñado, contando como una limitación del mismo.



CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente diseño se estableció en aras de solucionar el problema de esfuerzo que por lo general poseen los miembros de la sociedad que en vista de poseer algún tipo de discapacidad, motricidad está ligada a una silla de ruedas. En este contexto aunque una silla de ruedas tiene la facultad de resolver los problemas de movilidad en sí mismos, se evidencia que en muchos de los casos el esfuerzo para llevar a cabo la movilidad independientemente por parte del usuario exige el uso continuo e inapropiado de los miembros superiores, además, también en muchos de los casos de usuarios con inmovilidad parcial o total de los miembros inferiores, el uso de sus miembros superiores también se ven víctimas de la aflicción que determinó dicha inmovilidad, un caso de esto lo proporciona la esclerosis lateral amiotrófica como ejemplo que deteriora completamente la capacidad muscular de los usuarios.

En referencia al párrafo anterior, la importancia del presente trabajo estriba en la solución del problema de dependencia de los usuarios de sillas de ruedas convencionales que se ven afectados por el uso inapropiado de sus miembros superiores para realizar la movilidad, también el diseño incluye la posibilidad de otorgar mayor campo de acción a los usuarios de sillas de ruedas, ya que aumenta la capacidad de movilización con un esfuerzo mínimo invertido. Por otro lado las características propias del diseño tiene sus limitaciones, sobre estas limitaciones las más destacables la constituye la incapacidad de proveer independencia a los usuarios de sillas de ruedas con inmovilidad parcial de sus miembros superiores, debido a que el diseño está estructurado de manera que los usuarios accedieran al interfaz del sistema mediante el empleo de estos.

Este sistema diseñado con propósito de generar beneficios físicos a usuarios con problemas de movilidad reducida en miembros inferiores, se concibió paralelamente con el propósito de realizar un diseño óptimo capaz de ofrecer un sistema económico y parcialmente más accesible que otros sistemas similares. En Ecuador dispositivos similares en propósito, son comercializados a precios que superan los USD 1500 aproximadamente, pero este sistema actúa de manera totalmente diferente, diseñado apropiadamente con el propósito de generar costos de producción relativamente bajos, accesibles a un enorme sector afectado por problemas de movilidad al mismo tiempo que constituyen los estratos más bajos de la sociedad.

Dentro del marco social, económico y de salud, el presente proyecto pretende generar un impacto de solución rápida, efectiva y económica, capaz de solventar las debilidades físicas de los usuarios de sillas de ruedas como se mencionó en los párrafos anteriores, siendo este proyecto dirigido a propósito de la salud humana.

El proyecto deja paso a la realización de mejoras y rediseños con el propósito de disminuir costos de producción y aumentar la eficiencia del sistema, como ejemplo de esto lo constituye la inclusión de algún sistema de energización provisto por algún tipo de tecnología que genere energía renovable, tal caso es posible con la inclusión de paneles solares dispuestos de manera efectiva con propósito de recargar las baterías del sistema, adicionalmente es posible aumentar la eficiencia total del sistema rediseñando la silla de ruedas de manera que su forma sea la adecuada de manera que

que el sistema de sujeción se adecúe más eficientemente dando paso a un mejor desarrollo del sistema .

4.1 Conclusiones

- El sistema diseñado tiene el propósito de movilizar a un usuario de silla de ruedas por medio de la inclusión de una tercera rueda motorizada, encargada de la tracción de la misma, contando con su respectivo sistema de control de velocidad y adaptación propiamente del sistema a la silla de ruedas.
- El diseño establecido se concibió como un sistema de bajo costo, esto se logró gracias a la simplicidad que el sistema tiene para llevar a cabo el control de velocidad y dirección, el cual es manual y no requiere de complejos circuitos de control, dando como resultado un costo de producción de USD 891.5.
- Como el sistema diseñado posee un costo de producción relativamente bajo en comparación a otros sistemas que cumplen propósitos similares, es posible establecer una línea de producción que se dedique a la producción o fabricación masiva de este dispositivo. Para esto se podría realizar importaciones masivas del motor de eje sin escobilla utilizado para darle tracción del sistema y sus respectivos accesorios, para realizar el control como lo son el acelerador de giro y el controlador de velocidad; siendo la parte estructural y las baterías encargadas de la energización del sistema, elementos conseguidos en el mercado total.
- El uso de un motor de eje sin escobilla y sus respectivos accesorios de control de velocidad constituyen un sistema integrado para lograr la movilización de la silla de ruedas, siendo un conjunto versátil y cómodo para un usuario.
- Para la selección de un motor idóneo que cumpliera con los parámetros establecidos en el diseño conceptual, se consideró la condición máxima de operación, con lo cual se asegura que en cualquiera de los casos de operación del sistema, este no tendrá dificultades en su uso.
- La sujeción del sistema se diseñó conforme a los requerimientos del sistema en su totalidad de manera que el peso del usuario se distribuyera a la tercera rueda incluida, esto con propósito de aumentar el rozamiento entre el neumático y el piso y generar la tracción.
- El diseño asegura una adaptabilidad alta por parte del mismo y la del usuario constituyendo el diseño como un dispositivo ergonómico.
- Por último este dispositivo constituye un sistema dirigido a elevar la calidad de vida del sector del género humano confinado al uso de silla de ruedas.

4.2 Recomendaciones

- Construir un prototipo basado en las especificaciones establecidas en el diseño aquí planteadas.
- Realizar pruebas de funcionamientos del motor para cada tipo de piso, ya que los cálculos realizados se basan en el coeficiente de rodadura entre un piso de concreto y caucho de neumático.
- Considerar establecer una sola batería de litio capaz de ser recargable, y establecer una energización de 36 v al sistema en su totalidad.

BIBLIOGRAFÍA

INEC. (2015). *Reporte de pobreza por ingresos Marzo 2015*. Quito.

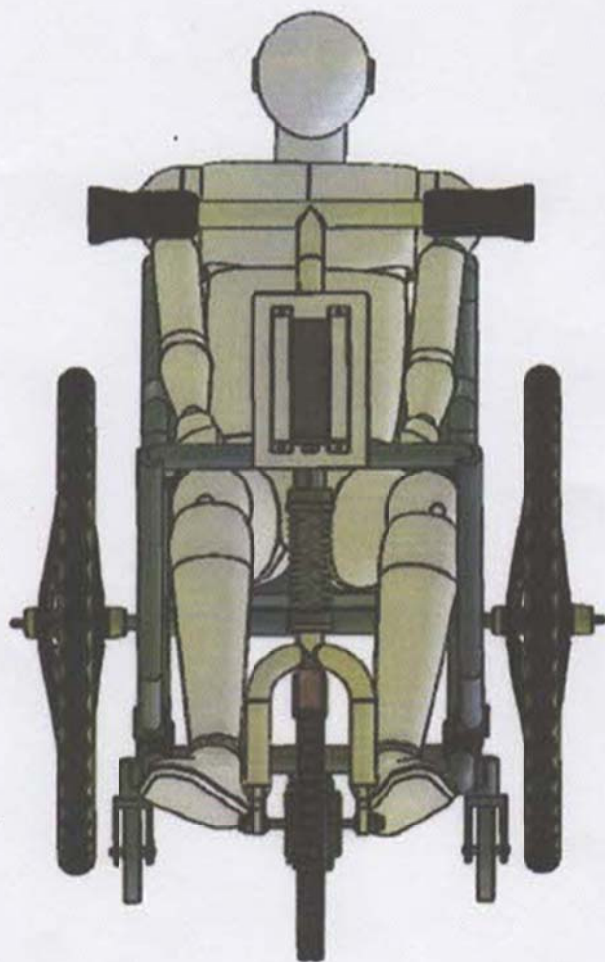
INEN. (2000). *NTE INEN 2 245*. Quito: Instituto Ecuatoriano de normalización.

Libardo, B. m. (2010). Obtenido de <http://www.minusval2000.com>

Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas un enfoque integrado*. México D.F: Pearson Prentice hall

Organización Panamericana de la Salud. (2011). *Traumatismos causados por el tránsito y discapacidad*. Washington: OPS.

Patricio, C.A., Carlos, T. T. (Enero 2009). *Diseño y construcción de un sistema basado en un microcontrolador para controlar por voz y joystick el desplazamiento de una silla de ruedas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.



Proyecto Integrador sistema motriz de silla de ruedas

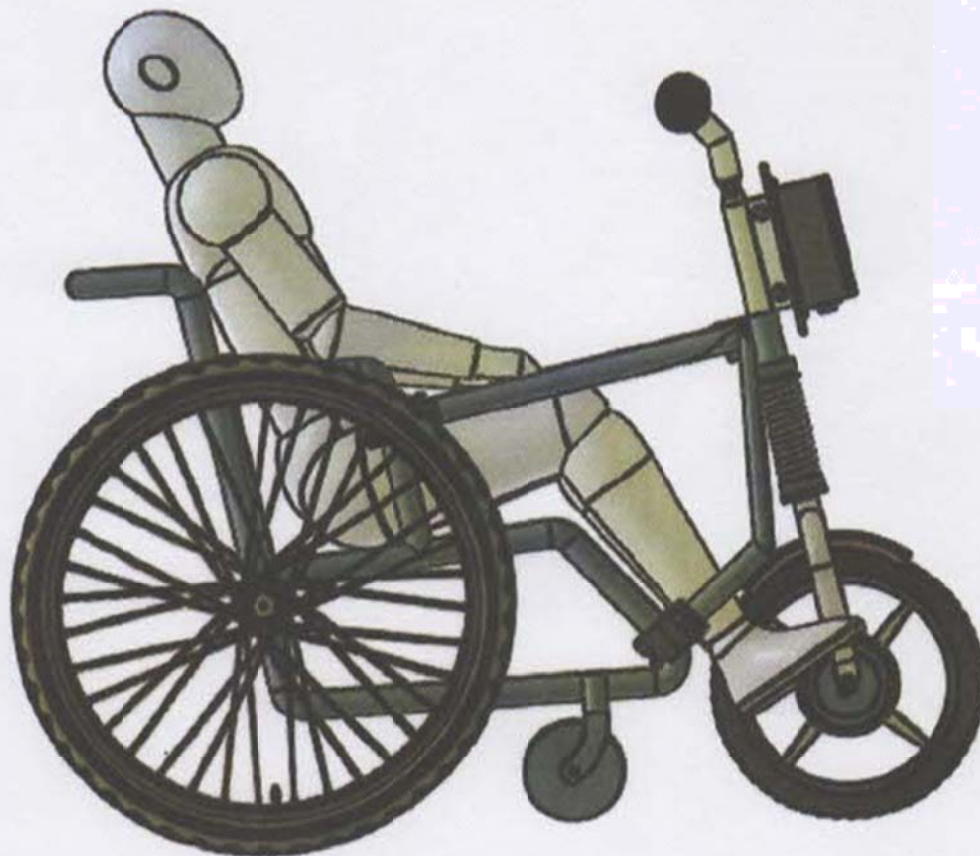
Dibujado por : Xavier Coello Chedraui - Juan vittorio De Santis

Revisado por : Profesor coordinador

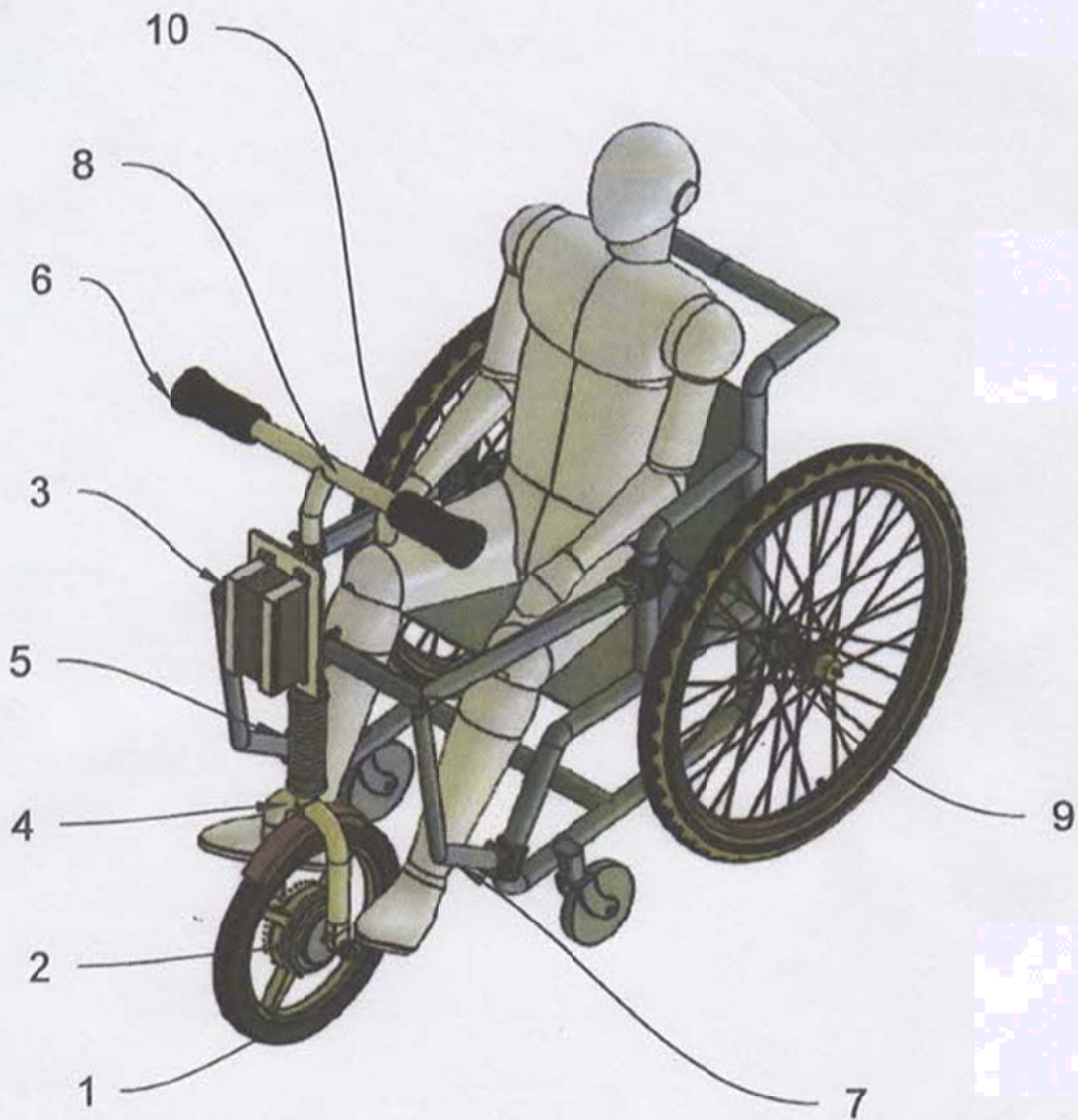
Plano : 2

Fecha : 7/09/2015

ESPOL



Proyecto Integrador sistema motriz de silla de ruedas		
Dibujado por :	Xavier Coello Chedraui - Juan vittorio De Santis	
Revisado por :	Profesor coordinador	
Plano : 3	Fecha : 7/09/2015	ESPOL



Ítem	Descripción del elemento
1	Neumático ISO 36 288
2	Motor Hub Brushless de 500 W
3	Controlador LCD 12 - MOSFET 36V de 500 W
4	Tubo estructural de 1 1/4" y 2 mm de espesor
5	Muelle de amortiguación
6	Acelerador de giro
7	Brazo de sujeción inferiores acoplables
8	Timón, control de dirección manual
9	"Clamps" de sujeción a la silla de ruedas
10	Brazos de sujeción superiores acoplables

Proyecto Integrador sistema motriz de silla de ruedas		
Dibujado por :	Xavier Coello Chedraui - Juan De Santis Flores	
Revisado por :	Profesor coordinador	
Plano : 1	Fecha : 7/09/2015	ESPOL