



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO  
BIPLAZA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA

AUTORES: ADRIANA PATRICIA SALINAS CAGUANA  
IVÁN MARCELO ORTIZ GUERRA

DIRECTOR: ING. EURO MENA  
CODIRECTOR: ING. HENRY IZA

LATACUNGA

2015



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el trabajo de titulación, “***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA***” realizado por la señora ***ADRIANA PATRICIA SALINAS CAGUANA*** y el señor ***IVÁN MARCELO ORTIZ GUERRA***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto nos permitimos acreditar y autorizar a ***ADRIANA PATRICIA SALINAS CAGUANA*** e ***IVÁN MARCELO ORTIZ GUERRA***

**Latacunga, 22 de Diciembre del 2015**

  
Ing. Euro Mena  
DIRECTOR

  
Ing. Henry Iza  
CODIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **ADRIANA PATRICIA SALINAS CAGUANA** y con cédula de identidad N° 1718945577 e **IVÁN MARCELO ORTIZ GUERRA**, con cédula de identidad N° 1804224671, declaramos que este trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 22 de Diciembre del 2015**

**Adriana Salinas**  
C.I.: 171894557-7

**Iván Ortiz**  
C.I.: 180422467-1



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **ADRIANA PATRICIA SALINAS CAGUANA** e **IVÁN MARCELO ORTIZ GUERRA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 22 de Diciembre del 2015**



---

**Adriana Salinas**  
C.I.: 171894557-7



---

**Iván Ortiz**  
C.I.: 180422467-1

## DEDICATORIA

A Dios por que ha sido su voluntad que mis sueños se realicen, el incondicional apoyo de mis padres y hermano, con su amor y paciencia siempre han estado a mi lado.

A mis abuelitos que con sus bendiciones me han protegido y cuidado, sus consejos me han guiado, sus abrazos me han dado fuerzas.

A mis tíos, tías, primos y primas que jamás perdieron la fe en mí y me dieron aliento en los momentos más difíciles con su cariño y muestras de amor.

A mi tío Julio Cesar que siempre estuvo a mi lado y no permitió que me dé por vencida a pesar de lo difícil que fue culminar mis estudios, aunque no esté presente, su anhelo por fin se ha cumplido con este proyecto.

A mi hija Angelita que es la razón para seguir superándome y con su ternura llena mi vida, a mi esposo que ha estado a mi lado apoyándome y ayudándome en la última etapa de mi carrera.

A mis amigos y amigas que han sido una familia y un gran apoyo, que siempre han estado ahí cuando más lo he necesitado muchas gracias.

Adriana P. Salinas C.

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso y eterno, por haberme dado la sabiduría, la perseverancia y la fuerza para haber llegado hasta esta importante instancia de mi formación profesional.

A mis padres Mónica y Marcelo que con toda su bondad, amor, humildad y sabiduría supieron guiarme por el camino del bien, y fueron, son y serán el mayor ejemplo en mi vida.

A mis hermanas Ari, Vicky, Anita quienes han sido una inspiración y me dieron todo su apoyo incondicional en cada instante de vida.

A mi abuelita Enma y a mi tío Segundo, quienes en su momento supieron guiarme, aconsejarme y ayudarme durante toda mi vida estudiantil hasta estas instancias.

A mis amigos de la infancia, secundaria, universidad y a todos los docentes que han brindado su amistad y han estado en las buenas y las malas, mil gracias.

Iván M. Ortiz G.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios muchas personas en mi vida me han apoyado y bendecido, pero mi principal agradecimiento siempre va a ser para mi Dios que sin Él nada es posible.

Mis padres Consuelo y Víctor con mi hermano Andrés que nunca me dejaron sola y siempre están pendientes de mí y mi familia, su amor ha sido incondicional y su paciencia infinita a pesar de mis errores han seguido conmigo día con día.

A ustedes mis hermanos y hermanas con sus muestras de cariño nunca han cesado con el aprecio de sus hijos y parejas me han ayudado a seguir adelante a pesar del gran dolor que me invade por no tenerle con nosotros al Enano su recuerdo sigue siendo mi motor.

A mis abuelitos Patricio y José, a mis abuelitas Conchita y Susy son una bendición en mi vida, no todas las personas tienen la dicha de tener a sus abuelitos juntos para este momento pero sobre todo haber contado con su amor y oraciones.

A mis Ingenieros Euro M., Leonidas Q., José Q., Néstor R. y Mauricio C., que nos ha brindado su amistad y apoyo incondicional hacia mí y mi esposo Jaime, muchas gracias amigos.

Gracias por la colaboración y facilidades brindadas a los Ingenieros Henry I. (Codirector) y Danilo Zambrano (Director de Ingeniería Automotriz).

Adriana P. Salinas C.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por su apoyo incondicional, por saber guiarme siempre por el camino del bien.

A mis hermanas por apoyarme en cada instante de mi vida al no dejar que me rinda jamás.

A los docentes que hicieron de mi un profesional competente y me permitieron ver a la ingeniería de distinta manera, en especial al Ing. Euro Mena. Ing. Henry Iza y al Ing. Danilo Zambrano por ser siempre esa mano amiga en todo momento y apoyarme.

A mi primo Sr. Enrique Ortiz que con su experiencia supo guiarme en la elaboración de este proyecto, y prestarme su ayuda en el momento que más lo necesite.

A la Sra. Angelita Varea y al reverendo Padre Marcelo Oñate por apoyarme siempre en toda mi vida, de todas las formas que han estado a su alcance.

Finalmente a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto y quien me supieron guiar por toda la vida estudiantil.

Iván M. Ortiz G.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>

### CAPITULO 1

<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del problema .....	2
1.3. Alcance del proyecto.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. General.....	3
1.4.2. Específicos .....	3
1.5. Importancia y justificación .....	4

### CAPÍTULO 2

<b>DINÁMICA VEHICULAR</b> .....	<b>6</b>
2.1. Características requeridas para el vehículo .....	6
2.1.1. Dimensionamiento .....	6
2.1.2. Estructura del Bastidor.....	9

2.2.	Selección de sistemas .....	17
2.2.1.	Tracción con motor eléctrico .....	18
2.2.1.	Dirección.....	28
2.2.2.	Suspensión.....	37
2.2.3.	Frenos .....	43
2.2.4.	Ruedas .....	51
2.3.	Software para diseño.....	52
2.3.1.	Software CAE .....	53
2.3.2.	Software ANSYS .....	58

### **CAPÍTULO 3**

<b>DISEÑO Y ANÁLISIS DEL BASTIDOR .....</b>	<b>59</b>	
3.1.	Requisitos de la bicicleta .....	59
3.2.	Mallado.....	64
3.3.	Inserción y cargas.....	68
3.4.	Tablas de resultados.....	73

### **CAPÍTULO 4**

<b>CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y ACOUPLE DEL MOTOR .....</b>	<b>76</b>	
4.1.	Ensamble del bastidor. ....	77
4.2.	Soldadura del bastidor.....	80
4.3.	Acople del motor.....	89
4.4.	Pruebas .....	95
4.5.	Presupuesto .....	97

CONCLUSIONES .....	100
--------------------	-----

RECOMENDACIONES.....	101
----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	102
-------------------	-----

ANEXOS.....	107
-------------	-----

ANEXO A: GÁLIBO DE LA SILLA DE RUEDAS

ANEXO B: PLANOS DEL BASTIDOR

ANEXO C: ANÁLISIS DEL BASTIDOR EN ANSYS

ANEXO D: HOJAS DE CHECK LIST

ANEXO E: NORMA NORMA ISO 12944

ANEXO F: PRESUPUESTO DETALLADO BOM

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Karts de pedales - Clipper .....	5
Figura 2 Kart 2 plazas .....	5
Figura 3 Long kart.....	5
Figura 4 Centro de gravedad .....	9
Figura 5 Bastidor.....	10
Figura 6 Cargas en el triángulo .....	11
Figura 7 Casa de la calidad de los materiales .....	16
Figura 8 Partes del motor C.C. ....	19
Figura 9 Motor permanente de Howard Johnson.....	20
Figura 10 Motor autoexcitación shunt .....	21
Figura 11 Componentes del sistema .....	22
Figura 12 Casa de la calidad del motor .....	27
Figura 13 Ángulos de las ruedas .....	29
Figura 14 Ángulos de convergencia.....	29
Figura 15 Esquema sistema de dirección mecánica.....	30
Figura 16 Componentes dirección hidráulica .....	31
Figura 17 Hase Kettwiesel adaptada para dirección de hombros .....	32
Figura 18 Bicicleta con silla de ruedas.....	32
Figura 19 Casa de la calidad de la dirección. ....	35
Figura 20 Suspensión de eje rígido .....	39
Figura 21 Suspensión independiente.....	39
Figura 22 Componentes de la suspensión brazo corto y largo. ....	39
Figura 23 Casa de la calidad de la suspensión .....	42
Figura 24 Mecanismo del freno de caliper .....	46
Figura 25 Freno cantilever .....	46
Figura 26 Frenos de disco .....	47
Figura 27 Freno contrapedal.....	47
Figura 28 Casa de la calidad de frenos .....	49
Figura 29 Flujograma del proceso de modelado del bastidor .....	60
Figura 30 Casa de la calidad del bastidor .....	61
Figura 31 Base del bastidor (superior).....	62
Figura 32 Boceto superior caja posterior .....	63
Figura 33 Boceto superior caja delantera .....	63
Figura 34 Boceto laterales y espaldar.....	63
Figura 35 Esquema del largo y altura del bastidor.....	64
Figura 36 Esquema ancho del bastidor .....	64
Figura 37 Flujograma del mallado.....	65
Figura 38 Mallado en software ANSYS.....	67
Figura 39 Flujograma de Inserción de cargas.....	70
Figura 40 Fuerza total aplicada caja posterior .....	71

Figura 41 Inserción de cargas vivas .....	72
Figura 42 Distribución del factor de seguridad en la estructura .....	73
Figura 43 Proceso de construcción y acople del motor .....	76
Figura 44 Medición de los tubos .....	77
Figura 45 Corte de los tubos.....	78
Figura 46 Unión entre tubos con perfil de “silla de montar” .....	78
Figura 47 Boceto parte delantera inferior.....	79
Figura 48 Parte delantera del bastidor.....	79
Figura 49 Soldadora MIG.....	79
Figura 50 Punteado parte posterior .....	80
Figura 51 Uniones parte delantera.....	80
Figura 52 Unión en T con soldadura completa de 180° .....	81
Figura 53 Soldadura en las uniones .....	81
Figura 54 Pulido de las soldaduras.....	82
Figura 55 Parte frontal .....	82
Figura 56 Bastidor terminado.....	82
Figura 57 Colocación de tubos en el boceto del brazo .....	84
Figura 58 Brazo inferior de la rueda posterior izquierda .....	84
Figura 59 Partes del eje.....	85
Figura 60 Rueda posterior .....	85
Figura 61 Amortiguador .....	86
Figura 62 Eje posterior.....	87
Figura 63 Soporte del eje lado izquierdo .....	87
Figura 64 Disco y mordaza .....	88
Figura 65 Pedal y manija .....	88
Figura 66 Embrague electromagnético .....	90
Figura 67 Eje del motor eléctrico de embrague .....	90
Figura 68 Switch del motor y embrague .....	91
Figura 69 Cableado de baterías motor .....	91
Figura 70 Lijado de la estructura.....	93
Figura 71 Limpieza de la estructura.....	93
Figura 72 Aplicación de pintura en polvo .....	94
Figura 73 Pintura al horno .....	94
Figura 74 Pintura final.....	94
Figura 75 Persona con discapacidad brazo izquierdo .....	95
Figura 76 Tracción con las manos.....	96
Figura 77 Gráfica de costos totales .....	98
Figura 78 Gráfica de trabajos de ensamblaje .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de modelos y precios de cuatriciclos .....	4
Tabla 2 Especificaciones de aceros más comunes ASTM .....	12
Tabla 3 Resumen de tipos de acero .....	14
Tabla 4 Matriz de selección de los materiales .....	17
Tabla 5 Tipos de motores .....	23
Tabla 6 Matriz de selección para motor .....	28
Tabla 7 Tipos de dirección .....	33
Tabla 8 Matriz de selección de la dirección .....	36
Tabla 9 Resumen de frecuencias vibratorias .....	38
Tabla 10 Resumen sistemas de suspensión .....	40
Tabla 11 Matriz de selección de la suspensión .....	43
Tabla 12 Distancia de frenado para los diferentes sistemas de freno.....	45
Tabla 13 Tipos de frenos .....	48
Tabla 14 Matriz de selección de frenos .....	50
Tabla 15 Resumen de los softwares .....	55
Tabla 16 Matriz de selección para software CAE .....	57
Tabla 17 Detalle de cargas muertas .....	68
Tabla 18 Cargas vivas .....	69
Tabla 19 Parámetros para simulación .....	72
Tabla 20 Membrete del análisis .....	73
Tabla 21 Factor de seguridad .....	74
Tabla 22 Límite de compresión elástico.....	74
Tabla 23 Límite máximo de tensión elástica .....	75
Tabla 24 Resistencia a la tracción .....	75
Tabla 25 Elasticidad isotrópica .....	75
Tabla 26 Hoja de procesos de construcción del bastidor.....	83
Tabla 27 Ensamblaje de la dirección .....	85
Tabla 28 Ensamblaje de la suspensión .....	86
Tabla 29 Ensamble de frenos .....	89
Tabla 30 Ensamble parte eléctrico.....	92
Tabla 31 Costos totales .....	97

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ec. 1 Rigidez flexional.....	7
Ec. 2 Rigidez torsional .....	7
Ec. 3 Fuerza necesaria para mover el cuatriciclo .....	24
Ec. 4 Fuerza normal.....	24
Ec. 5 Ecuación de fuerza .....	24
Ec. 6 Torque .....	25
Ec. 7 Potencia requerida.....	25
Ec. 8 Velocidad angular .....	26
Ec. 9 Fuerza de frenado .....	44
Ec. 10 Fórmula de la velocidad.....	52
Ec. 11 Fórmula de radio dinámico .....	52

## **RESUMEN**

El presente proyecto detalla el proceso de diseño y construcción de un cuatriciclo para dos personas con discapacidad física sean estas en sus extremidades superiores o inferiores, brindándoles las seguridades y confort necesarios que este sector de la población requiere. El diseño del bastidor para el cuatriciclo se lo realizó mediante la utilización del software SolidWorks 2015 (Versión Estudiantil) y el análisis en el software Ansys Release 15.0, los mismos que permiten determinar parámetros importantes para el diseño, en especial el factor de seguridad que garantiza el buen desempeño y funcionamiento del cuatriciclo. El cuatriciclo está constituido por un bastidor tubular, un sistema de dirección mecánico, suspensión, frenos y asistencia de tracción eléctrica, los mismos que en conjunto se encargan de proporcionar seguridad y confort a los ocupantes. El cuatriciclo es un medio de transporte y además permite realizar actividades físicas y recreacionales, permitiéndoles de esta manera mejorar su calidad de vida.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CUATRICICLO**
- **AUTOMÍVILES – BASTIDOR**
- **SOFTWARE ANSYS RELEASE**



## **ABSTRACT**

This project summary detailing the process of design and construction of a quadricycle for two people with physical disabilities are these in their upper or lower limbs, giving them the assurance and comfort necessary that this sector of the population required. The design of the frame to the quadricycle was conducted using the SolidWorks 2015 software (Student Version) and analysis in Ansys software Release 15.0, the same as possible to determine important parameters for the design, especially the safety factor that guarantees good performance and operation of the quadricycle . The quadricycle is constituted by a tubular frame, a mechanical steering system, suspension, brakes and electric, the same as a whole is responsible for providing security and comfort for occupants. The quadricycle is a means of transport and also allows physical and recreational activities, thus enabling them to improve their quality of life.

### **KEYWORDS:**

- **QUADRICYCLE**
- **AUTOMÍVILES - CASTING**
- **ANSYS SOFTWARE RELEASE**

## CAPÍTULO 1

### GENERALIDADES

#### 1.1. Antecedentes

A nivel mundial el 15 % de la población tiene algún tipo de discapacidad según la OMS (Organización mundial de la salud), es un sector vulnerable y marginado por la sociedad. La movilidad de la mayoría de personas con discapacidad se la realiza por medio de sillas de ruedas, la creación de vehículos para este sector de la población es muy costoso, la mayoría de casas comerciales se enfoca en manejo de automóviles es decir adaptar estos vehículos para que las personas con discapacidad puedan manejarlos.

El país carece de cuatriciclos para personas con discapacidades físicas diseñados y contruidos con materiales nacionales, los triciclos existentes son importados o fabricados sin consideraciones de ingeniería y de acuerdo a las necesidades de cada persona o grupo humano. Este tipo de prototipos se los puede encontrar comúnmente en la región costanera por su topografía, la cual facilita la movilidad.

Por el gran número de personas con discapacidad física que se va incrementando cada año (MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL, 2013) se ha evidenciado la falta de vehículos apropiados para el traslado de estas personas de un lugar a otro se ha convertido en un problema social, Juan Ruiz recientemente en la ciudad de Riobamba formó la empresa Inclusiva que ofrece transformar cualquier tipo de bicicleta, moto y automóvil en vehículos útiles para la discapacidad de cada persona a menor precio (Márquez, 2015).

En la Provincia de Cotopaxi existen 4553 personas con discapacidad física (CONADIS, 2015) las cuales no tienen los medios adecuados para realizar actividades físicas por lo general estas personas necesitan de un ayudante.

La actividad física influye para que las extremidades superiores o inferiores no pierdan su fuerza y control en los movimientos, además la autonomía que pueden lograr estas personas aumentará su autoestima, mejorando su estilo de vida (lainformacion.com, 2015)

## 1.2. Definición del problema

Las limitaciones en el transporte de personas con discapacidad física han sido un problema tanto para ellas mismas como para sus familiares, buscar opciones de recreación y movilidad es una necesidad en la sociedad por ello se ha analizado la posibilidad de crear un vehículo ecológico y sencillo para cumplir con los requerimientos de seguridad y confort.

La implementación de motores eléctricos a un cuatriciclo se lo puede realizar combinando aspectos mecánicos y eléctricos (UNAM, 2010), la combinación da como resultado un vehículo híbrido, es menos contaminante e inscribe una nueva tendencia siguiendo de esta manera el movimiento verde a nivel mundial, hay que considerar que no existe mucha información sobre diseño de la estructura para este tipo de vehículos.

En la provincia de Cotopaxi las personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores, se movilizan en silla de ruedas por ello, se ha determinado la necesidad de diseñar y construir un vehículo que sirva para trasladar y desarrollar sus actividades físicas según su discapacidad, para un mejor desarrollo tanto físico como psicológico permitiendo así la inclusión de estas personas a la sociedad.

### 1.3. Alcance del proyecto

El diseño estructural del marco del cuatriciclo está sometido a cargas puntuales por medio del software CAD Solid Work 2014 (Afridi, 2014) que permite determinar puntos críticos y posibles fallas, de esta manera se determina el material más adecuado, logrando un diseño liviano, resistente y seguro.

El cuatriciclo tendrá un funcionamiento similar al de las “bicicletas gemelas”, es decir, la dirección y la tracción se podrá proporcionar desde cualquier de los dos asientos.

Se considera que el vehículo necesita la asistencia de un motor eléctrico para la tracción del mismo, en caso de que el conductor lo solicite, por tanto el motor de corriente continua es ideal para el proyecto, cumpliendo los requerimientos y prestaciones, tomando en cuenta que el motor funcionará con baterías recargables (Espinoza, 2013).

Los materiales en lo posible son de fabricación nacional, considerando aspectos como la resistencia y el peso de los mismos, a excepción del motor y las baterías.

### 1.4. Objetivos

#### 1.4.1. General

Diseñar y construir un cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física e incentivar la movilidad y la actividad física.

#### 1.4.2. Específicos

- Determinar los requerimientos para el diseño y construcción del bastidor de un cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física.
- Seleccionar el sistema de tracción mecánica y eléctrica del cuatriciclo.

- Diseñar, construir, ensamblar el bastidor y el sistema de tracción.
- Seleccionar e implementar los sistemas de frenos adecuado para el cuatriciclo.
- Realizar las pruebas de maniobrabilidad y asequibilidad del producto por parte de cinco personas con problemas de discapacidad física.

### 1.5. Importancia y justificación

Es importante buscar nuevas alternativas para las actividades de recreación y la movilidad de personas con discapacidad física, utilizando las herramientas y tecnología para crear vehículos que abarquen estas necesidades, además de brindar confort necesario para que las personas puedan estar seguras y cómodas.

Los vehículos para discapacitados son orientados a una limitación física puntual, el proyecto está enfocado a la adaptabilidad es decir que en cada asiento se encuentra el sistema según las extremidades que posea la persona, el motor eléctrico es una ayuda adicional en caso de cansancio.

Los costos de vehículos con similares características al diseñarse, sin asistencia a la tracción, se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
**Lista de modelos y precios de cuatriciclos**

MODELO	PRECIO
Karts de pedales - clipper	\$1,710.00
Kart 2 plazas	\$600.00
Longkart	\$350.00

Fuente: (MAXIHOBBY)

El cuatriciclo Karts de pedales Clipper esta fabricado para personas sin discapacidad fisica, la dirección se controla con un volante, los asientos son de altura ajustable, por tanto puede conducir un niño de ocho años hasta un adulto de noventa y nueve años, es de estructura robusta con un peso total de ochenta kilogramos como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1 Karts de pedales - Clipper**

Fuente: (Tienda de Karts de Pedales)

El cuatriciclo de marca MAXIHOBBY tiene su chasis de acero soldado, garantizando su durabilidad. Este modelo tiene doble parachoques frontal y protector de cadena de punta a punta, dispone de freno de mano, el volante y los asientos son ajustables para distintas alturas del conductor como se muestra en la Figura 2. Las ruedas son de caucho, tiene chasis de acero, las uniones son soldadas y tiene un bajo costo de mantenimiento.



**Figura 2 Kart 2 plazas**

Fuente: (MAXIHOBBY)

El modelo Long kart es similar al anterior, con la diferencia que este no posee un protector frontal, es económico con relación a los anteriores por la simplicidad del diseño, tiene el freno en las manos y el chasis es de acero, se direcciona solo de un lugar.



**Figura 3 Long kart**

Fuente: (MAXIHOBBY)

## CAPÍTULO 2

### DINÁMICA VEHICULAR

#### 2.1. Características requeridas para el vehículo

Las características del cuatriciclo están orientadas para personas con discapacidad física, principalmente pensando en su facilidad de adaptación y confort durante el manejo, cubriendo las necesidades de la persona según las extremidades afectadas por lo cual su acompañante no debe tener discapacidad y la asistencia eléctrica servirá para ayudar a la impulsión momentáneamente.

##### 2.1.1. Dimensionamiento

Un vehículo está caracterizado para ofrecer comodidad a los ocupantes y optimización de espacios, para que sea lo más compacto posible, la contextura que poseen las personas con discapacidad física es sumamente importante considerando, que a nivel de país las personas sufren de sobrepeso según INEC-ENSANUT-2011/2013, además el espacio estimado por ocupante es de 55 cm por cada uno basado en la norma UNE 26494 (ver Anexo A) donde se encuentra las dimensiones que deben tener una silla de ruedas, con espacio suficiente para poder maniobrar el vehículo.

La longitud de las sillas de ruedas Geri-Chair, miden 1.5 m., las facilidades que presentan este tipo de asientos es que tienen un acolchonamiento que evita fatiga al encontrarse mucho tiempo en una postura de casi 90° (FINNCHAIN).

##### A. Criterios sobre rigidez

Para la estructura se debe considerar aspectos como la rigidez a la flexión y torsión, las uniones deben tener un límite de deformación máximo, para que estas soporten los esfuerzos y cargas evitando de esta manera un posible pandeo.

La rigidez flexional de una barra recta viene dada por la relación entre el momento flector que se aplica en uno de sus extremos y el ángulo que gira en el extremo al deformarse, cuando la barra está empotrada en el otro extremo y viene definida por la Ec. 1:

$$M = EI k$$

### **Ec. 1 Rigidez flexional**

Fuente: (Jacques, 2011)

M: Deformación

E: Módulo de elasticidad o módulo de Young

I: Momento del área de la sección transversal

k: La curvatura del elemento

La rigidez torsional es la deformación que sufre el bastidor cuando se aplica un esfuerzo torsional en un extremo (en una barra) relacionando el momento de torsión (que es aplicado en uno de sus extremos) y el ángulo formado, siempre y cuando el otro este fijo.

$$\tau = \frac{M}{\theta}$$

### **Ec. 2 Rigidez torsional**

Fuente: (Jacques, 2011)

$\tau$  : Rigidez torsional

M: Par aplicado

$\Theta$ : Ángulo girado

Para un proceso de diseño se implica cálculos de momento flexionante máximo y la selección de una viga que sea mayor al punto de ruptura.



La deformación debido a la flexión aplica para los ejes fijos y los rotatorios como manivelas, palancas y ménsulas, por lo general se consideran como vigas para un análisis estructural (Budynas & Nisbett, 2008).

“Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, indica que:

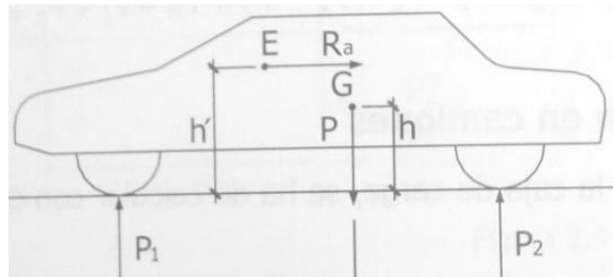
*“Para diseñar vigas se utiliza la teoría de flexión simple. Para un proceso de diseño se implica cálculos de momento flexionante máximo y la selección de una viga que sea mayor al momento por normas de seguridad al punto de ruptura.”*

Se debe tener en cuenta las longitudes y ubicación de los diferentes sistemas para poder realizar los respectivos mantenimientos y en caso de ser necesario el reemplazo de elementos debe tener una excelente accesibilidad. Además, considerar la distribución de pesos para mantener el centro de gravedad bajo y en medio del vehículo.

Se puede conseguir una mayor estabilidad cuando se baja el centro de gravedad del vehículo, consiguiendo que las fuerzas de reacción y vibración sean menores. Con el mismo fin se elegirá un sistema de suspensión que disminuya el peso de la masa no suspendida y aumente la rigidez para oponerse a los balanceos del marco estructural tubular.

El peso total del vehículo y sus dimensiones influye en la estabilidad del vehículo; a mayor peso corresponde mayor fuerza centrífuga en las curvas y aumenta el empuje que tiende a sacarlo de su trayectoria según Cascajosa en su libro Ingeniería de vehículos se especifica cada uno de los parámetros con más detalle.

En la Figura 4 se aprecian los dos puntos de apoyo del vehículo que son  $P_1$  y  $P_2$ , las alturas  $h$  y  $h'$  que es la distancia que existe del piso al centro de gravedad y centro de empuje (debido a la resistencia del aire  $R_a$ ) respectivamente, el peso total  $P$  tiene una dirección contraria a los puntos de apoyo además  $L$  es la distancia que existe entre ejes.



**Figura 4 Centro de gravedad**

Fuente: (Cascajosa, 2005).

G: Centro de gravedad

E: Centro de empuje debido a la  $R_a$

P: Peso estático

$P_1$ : Eje delantero

$P_2$ : Eje trasero

$R_a$ : Resistencia la aire

h y  $h'$ : Alturas

### 2.1.2. Estructura del Bastidor

La bicicleta es un vehículo para trasportarse de manera sana, ecológica, sostenible y económica, utilizando trasmisión por cadena, con el pasar del tiempo ha ido evolucionando según las diferentes utilidades. Variando cada uno de sus componentes según la necesidad, este es el caso del cuatriciclo que tiene básicamente cuatro ruedas, doble asiento, manillar y pedal.

El bastidor es una estructura rígida donde van montados todos los elementos que componen un vehículo, el cual debe ser estable, además de soportar cada una de las partes y aportar rigidez para una mayor estabilidad y mejor dinámica.

La estructura debe soportar los pesos de los ocupantes y componentes del vehículo. El bastidor está formado por dos largueros y varios travesaños, básicamente como un automóvil que se aprecia en la Figura 5 la estructura básica sin ningún mecanismo adicional, asegurando su rigidez, considerando los factores de seguridad.



**Figura 5 Bastidor**

Fuente: (echumano, 2012)

Al momento de diseñar cualquier tipo de estructura, en este caso el bastidor para el cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física, hay que tomar en consideración diversos factores como por ejemplo la resistencia estática, resistencia dinámica, la estabilidad de los elementos estáticos, la fatiga, la fabricación, etc.

En el proyecto se realiza un estudio lineal estático para determinar el comportamiento de la estructura a diferentes cargas que se aplican en todo el diseño del bastidor.

El triángulo (ver Figura 6) es la única figura geométrica que no se deforma al momento de aplicarle cualquier tipo de carga, por lo tanto, al aplicar una carga en uno de los vértices, automáticamente los elementos que parten de dicho vértices quedan sometidos al esfuerzo estructural de compresión, mientras que el restante queda sometido a un esfuerzo estructural de tracción, en conclusión las estructuras que adopten cualquier otra figura geométrica para realizar un estudio estructural, no va a estabilizarse y no será rígida hasta que se adopte una triangulación.



**Figura 6 Cargas en el triángulo**

Fuente: (SlideShare, 2012)

La constitución del marco estructural está determinado para formar una escalera, se necesita que los sistemas se encuentren bien anclados y la tracción esté en una parte amplia por las modificaciones y adaptaciones que posee en los dos casos de discapacidad física como son en extremidades superiores o inferiores.

Los materiales comúnmente utilizados en manufactura son los metales, los cuales en su mayoría están formados por aleaciones, están compuestos por dos o más elementos que por lo menos uno de ellos es metálico y se dividen en dos grandes grupos.

Metales ferrosos se denominan aquellos que contienen en su estructura molecular átomos de hierro (Fe), en este grupo se incluyen al acero y al hierro colado, estos forman el gran grupo de materiales comerciales más importantes y comprenden unas tres cuartas partes del tonelaje total de metal que se utiliza en todo el mundo.

Los elementos más comunes que se añaden para formar estas aleaciones son el cromo que mejora la resistencia, dureza, resistencia al desgaste y la dureza en caliente, el magnesio que ayuda a mejorar la resistencia y la dureza de acero, el molibdeno aumenta la tenacidad, la dureza en caliente y la resistencia a la termofluencia, el níquel mejora la resistencia y la tenacidad y el vanadio impide el crecimiento de granos

durante los tratamientos térmicos lo cual mejora la resistencia y la tenacidad del acero.

Según el porcentaje de los elementos mencionados anteriormente pueden ser clasificados según las especificaciones de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM).

**Tabla 2**  
**Especificaciones de aceros más comunes ASTM**

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Fuente: (INGENECÁNICA, 2015)

El acero estructural es el material más usado para todo tipo de construcciones de estructuras, contiene una aleación mínimo de 98% de hierro, con contenido de carbono menores del 1%, es decir son los aceros al carbono mencionados en la Tabla 2.

El acero estructural es famoso gracias a su excelente resistencia a la tensión y compresión, lo cual lo hace ideal para la construcción de estructuras en todo tipo de condiciones.

El acero más utilizado es el ASTM A36 o su equivalente AISI 1020, que posee un punto de fluencia de 36.000 psi, aunque hoy en día existe un acero con una resistencia superior que es el ASTM A572 con un punto de fluencia de 50.000 psi, en el mercado ecuatoriano la adquisición de este tipo de acero es muy común (PHIONE, 2015).

El Acero Inoxidable tiene una principal característica que es la resistencia a la corrosión, la cual se logra por la incorporación de cromo en un porcentaje superior al 11%, pero siempre y cuando el carbono se mantenga en una proporción baja, la presencia elevada de níquel ayuda también a la resistencia a la corrosión.

El acero AISI 304 es conocido como acero 18-8, es el más utilizado dentro de todos los aceros inoxidable debido a sus cantidades nominales de cromo y níquel, el acero AISI 304 es el más económico de todos los aceros inoxidable, pero así como su precio es bajo, sus prestaciones también son decadentes, suele ser utilizado más en ornamentación.

Los aceros que se utilizan para la fabricación de herramientas y matrices, tienen una alta resistencia al desgaste en frío como en caliente, también poseen una elevada tenacidad y poca distorsión al ser sometidos a cualquier tipo de tratamiento térmico.

La característica de estos aceros es la presencia de tungsteno y de molibdeno en su composición química, los cuales elevan la dureza a las altas temperaturas que se producen al momento de realizar cualquier proceso de manufactura (Aceros y sus clasificaciones, 2009).

Los aceros para usos especiales son aleados o tratados térmicamente, con ellos se puede realizar resortes, rodamientos, pernos, etc. Poseen una alta resistencia al desgaste, al igual que los aceros para herramientas son difíciles de maquinar.

**Tabla 3**  
**Resumen de tipos de acero**

<b>Tipo de Acero</b>	<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Estructural</b>	Contiene una aleación mínimo de 98% de hierro, con contenido de carbono menores del 1%.	Poseen elevada resistencia mecánica y una adecuada tenacidad	Debido a su estructura molecular, tiende a tener un peso medio-alto
<b>Inoxidable</b>	Contiene cromo en un porcentaje superior al 11%.	Enorme resistencia a la corrosión. Puede trabajar a la intemperie, en cualquier tipo de circunstancia, clima o habita	Debido a sus características y a su composición, su costo es elevado a comparación de los otros tipos de aceros
<b>Herramientas y Matrices</b>	Presencia de tungsteno y molibdeno en su composición química, los cuales elevan la dureza a las altas temperaturas.	Posee alta resistencia al desgaste en frío como en caliente, elevada tenacidad y poca distorsión al ser sometidos a cualquier tipo de tratamiento térmico.	Ya que deben ser resistentes al desgaste, son mucho más difíciles de maquinar que los otros tipos de aceros.
<b>Otras aplicaciones</b>	Son utilizados para la fabricación de diferentes tipos de piezas en todo ámbito.	Se puede realizar resortes, rodamientos, pernos, etc.	Al poseer una alta resistencia al desgaste, al igual que los aceros para herramientas son difíciles de maquinar.

La Casa de la Calidad es una representación gráfica que busca el diseño de los productos, también conocida como Quality Function Deployment – QFD, utiliza matrices para relacionar las necesidades del cliente con las características del producto.

Se considera la voz del cliente y la voz del ingeniero para determinar las necesidades y los requerimientos que exijan para que el producto satisfaga las exigencias del cliente, cada elemento de la matriz se relaciona en porcentajes.

#### Voz del usuario

De acuerdo a las sugerencias del usuario los materiales para la construcción del bastidor deben tener las siguientes consideraciones:

- Resistente a todo peso que se aplique.
- Duradero para muchos años de uso.
- Seguridad al momento de realizar el giro.
- Su precio no debe ser muy elevado.
- Deben ser livianos para que el bastidor no pese mucho.
- Debe ser fácil de maquinar para realizar el bastidor sin dificultad.

#### Voz del ingeniero

De acuerdo a las sugerencias del ingeniero los materiales para la construcción del bastidor deben tener las siguientes consideraciones:

- Analizado a través de ensayo de tracción.
- Analizado a través de ensayo de flexión.
- Analizado a través de ensayo de compresión.
- Debe de tener un diámetro suficiente para soportar las cargas aplicadas.
- Debe tener un peso adecuado para poderlo transportar a cualquier lado.
- Debe estar el diseño para evitar cualquier tipo de fallas por los esfuerzos mencionados.



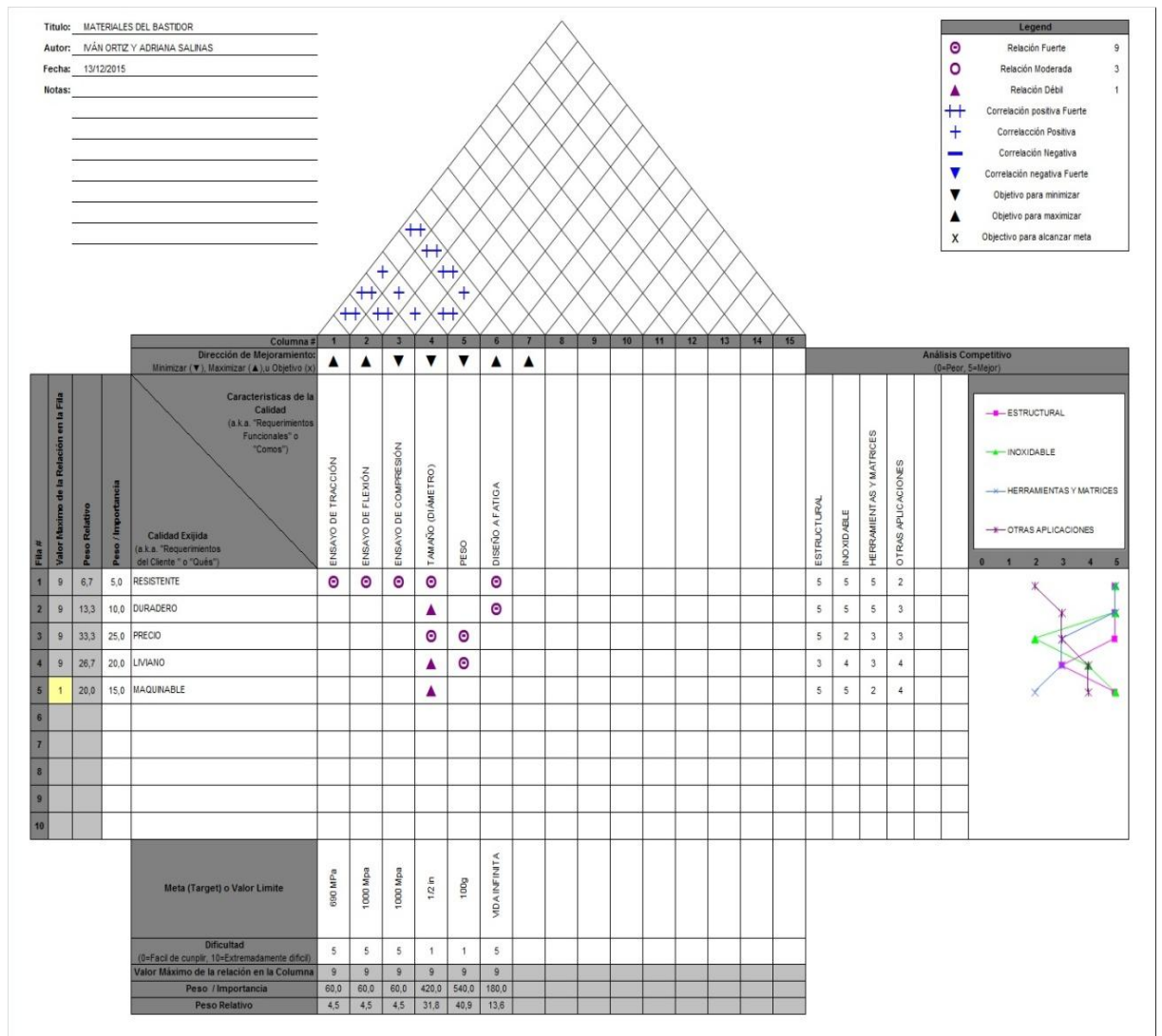


Figura 7 Casa de la calidad de los materiales

En la Figura 7 se muestra la casa de la calidad de los materiales que pueden ser utilizados en el diseño del proyecto, las necesidades de resistencia, peso y manufactura, determinan el tipo de material que satisfagan todos los requerimientos, por ello el acero al carbono es el más factible de utilizar según el análisis realizado, en la matriz de selección se determinará qué tipo es el más apropiado.

En la matriz de selección (ver Tabla 4) los factores de ponderación son relacionados con las características técnicas como resistencia y esfuerzos que debe tener el material, además de aspectos como peso, costo y facilidad de adquisición.

**Tabla 4**  
**Matriz de selección de los materiales**

Factores de selección	FP	Al carbono	Níquel-Cromo	Níquel-Molibdeno	Ni-Cr-Mo
Resistencia	0,30	X	X	X	X
Esfuerzos	0,30	X	X	X	X
Menor Peso	0,15	-	X	-	-
Costo	0,15	X	-	-	-
Adquisición	0,10	X	-	-	-
<b>Total</b>	1,00	0,85	0,75	0,60	0,60

En la matriz de selección el mayor resultado obtuvo la mayor ponderación el acero al carbón, más conocido acero estructural, satisfaciendo la mayoría de requerimientos del proyecto pero principalmente los factores de selección resistencia y esfuerzos, además del costo y su fácil adquisición en el mercado ecuatoriano que son fundamentales para la construcción del bastidor del cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física.

## 2.2. Selección de sistemas

El diseño de la estructura influye directamente con el tipo de sistemas que se monten en el cuatriciclo, los pesos y dimensiones van relacionados entre sí, para lograr un equilibrio que ayude a disminuir el esfuerzo de las personas en impulsar el movimiento del vehículo además de brindar seguridad y confort.

El sistema de tracción es un sistema que utiliza la impulsión humana para que el cuatriciclo se mueva, el esfuerzo físico que debe ejercer la o las personas le ayuda a mantener la movilidad en las extremidades y realizar una actividad recreativa.

Según la Organización mundial de la Salud la inactividad física ocupa el cuarto lugar entre los factores de riesgos de mortalidad, además de causar enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes.

### 2.2.1. Tracción con motor eléctrico

El motor eléctrico transforma la energía, es de decir, la eléctrica en mecánica, por medio de interacciones electromagnéticas, los cuales se dividen en dos grandes grupos que son:

- Motores de corriente continua
- Motores de corriente alterna

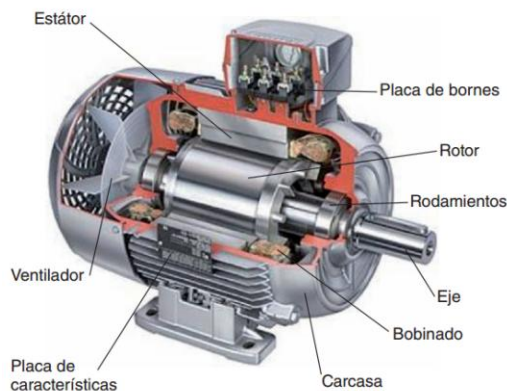
El principio de funcionamiento se basa en un conductor, el cual se encuentra dentro de un campo magnético y por este circula corriente eléctrica, cuando esto sucede tiende a desplazarse perpendicularmente líneas de acción del campo magnético, es decir, el conductor funciona como un electroimán por tanto adquiere propiedades magnéticas y la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular por el rotor del motor y es la energía que se envía al exterior mediante un dispositivo llamado flecha o eje.

Los motores de corriente continua son las máquinas más versátiles en la industria, su fácil control de posición, paro y velocidad los han convertido en una de las mejores opciones para aplicaciones de control y automatización de procesos.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes como se observa en la Figura 8.

- 1) El estator se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro.

- 2) El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.



**Figura 8 Partes del motor C.C.**

Fuente: (mcgraw)

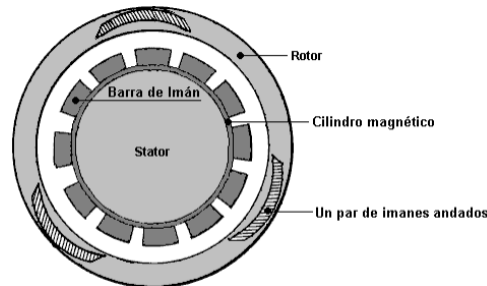
Se encuentran varios tipos de motores pero los más comunes son:

- Motores de imanes permanentes
- Motores de excitación independiente
- Motores Shunt o en derivación
- Motores Serie
- Motores sin escobillas

La variedad de motores de imán permanente es muy amplia, la producción de energía eléctrica se lo puede lograr haciendo que los imanes permanentes pasen frente a bobinas de alambre, mientras más cerca de las bobinas de alambre pasen los imanes, será mayor la potencia generada.

El tipo de devanado aporta beneficios, prescinde de alimentaciones de energía eléctrica para excitación, tiene una mayor confiabilidad, al no existir bobinas excitadoras se evita la falla de las mismas también no hay probabilidad de que se presente una sobrevelocidad debida a pérdida del campo.

Se los puede utilizar donde se necesite un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua. La desventaja de estos motores es que esto genera un “frenado magnético” que será mayor cuanto aumente la cantidad de corriente eléctrica que se extraiga de las bobinas.



**Figura 9 Motor permanente de Howard Johnson**

Fuente: (Kelly)

Los motores de excitación independiente, como su nombre lo dice tienen alimentaciones eléctricas independientes para el rotor y del estator, logrando que el campo del estator sea constante al no depender de la carga del motor manteniendo el par de fuerza estable.

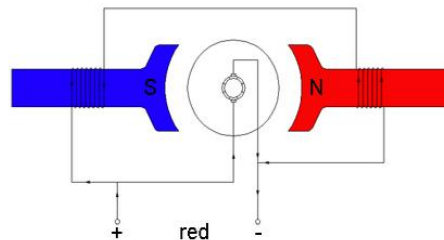
Es adecuado para cualquier tipo de regulación, por tener una independencia para controlar el inductor y el inducido por separado pero esto también puede ocasionar un problema por variaciones de velocidad que se producen al aumentar la carga por la caída de tensión en el rotor.

Este sistema no se suele utilizar debido al inconveniente de requerir una fuente exterior de corriente, pero como aplicaciones industriales tenemos el torneado, taladrado de materiales, etc.

Los motores Shunt o en derivación, la tensión utilizada alimenta a las dos ramas, es decir el devanado del inductor está conectado en paralelo con el devanado del inducido, por otro lado la intensidad absorbida por las ramas tienen diferencia entre sí, la intensidad del inducido, por donde se derivará la mayor parte de la corriente y la intensidad de excitación derivación que será de un valor mucho menor debido a la resistencia muy elevada, lo que

provoca que el devanado de excitación shunt está conformado con muchas espiras de hilo fino.

Se aplica en casos donde no se requiera un par elevado y necesita pequeñas velocidades que no produzcan grandes cargas como por ejemplo un taladro.



**Figura 10 Motor autoexcitación shunt**

Fuente: (e-ducativa)

Los motores serie, el bobinado inductor principal del motor está conectado en derivación con el circuito formado por dos bobinados, el inducido e inductor auxiliar. La velocidad de excitación en derivación permanece casi constante para cualquier régimen de carga, considerando que sus bobinas tienen pocas espiras, pero son de gran sección.

Tiene un par-motor de arranque elevado, si se reduce la carga del motor, disminuye la intensidad de corriente absorbida y el motor aumenta su velocidad. En el caso de vacío el motor es inestable, pues la velocidad aumenta bruscamente.

Los motores sin escobillas, también conocido como motor Brushless, su funcionamiento tiene una particularidad, realiza el cambio de polaridad en sus bobinas electrónicamente, por tanto ya no necesita de escobillas para realizar la conmutación.

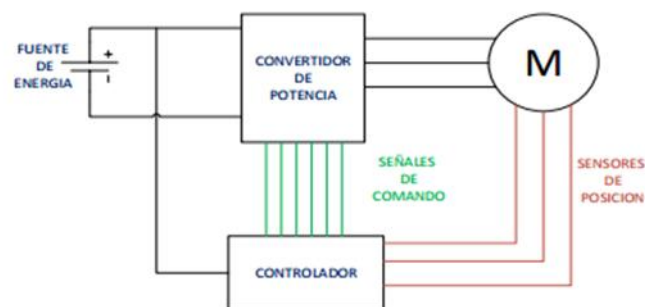
Las escobillas y la barra conmutadora son reemplazadas por sensores electrónicos efecto hall ubicados dentro del bobinado del estator y unidos al circuito de conmutación sobre la placa del circuito del gabinete del motor.

Por su control electrónico existen menos interferencias electromagnéticas, su funcionamiento es más rápido y eficiente, al no tener escobillas nos evitamos el reemplazo o limpieza de las mismas también se evitaría el chispazo eléctrico por lo reduciendo el peligro de una explosión.

Se utiliza fuentes de energía: banco de baterías que almacena energía química mediante un proceso de reacción de óxido-reducción entrega energía eléctrica al sistema

- Convertidor de potencia: Sirve para controlar las entradas.
- Motor: Convierte la energía eléctrica en energía mecánica
- Controlador: Controla la conmutación de las fases.

Otra de las ventajas es que tiene mayor control sobre la velocidad del motor y su posición, la disipación de calor del motor se realiza de forma externa, ya que los devanados están en el exterior, el costo es más elevado.



**Figura 11 Componentes del sistema**

Fuente: (Jimbo, 2015)

En la Figura 11 se puede apreciar los bloques que compone el sistema, además están representadas las líneas de comunicación tanto de las señales de comando como las señales de los sensores que hacen posible en funcionamiento del motor.

En la Tabla 5 se ha realizado un análisis para determinar cuál es la principal característica de funcionamiento, las ventajas y desventajas de cada motor y determinar el más apropiado para el proyecto.

**Tabla 5**  
**Tipos de motores**

<b>Tipo de Motor</b>	<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Imanes permanentes</b>	Utiliza imanes permanentes y bobinas.	No necesita de alimentación eléctrica para excitación. No presente una sobrevelocidad.	Frenado de magnético. Pérdida de potencia.
<b>Excitación independiente</b>	Alimentaciones eléctricas independientes para el rotor y del estator.	El campo del estator es constante. Par de fuerza estable.	Problemas por variaciones de velocidad. Alimentación externa.
<b>Shunt o derivación</b>	Se alimenta a las dos ramas, es decir, el devanado del inductor está conectado en paralelo con el devanado del inducido	No tiene un par elevado.	Pequeñas velocidades.
<b>Serie</b>	Está conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar	Gran par- motor al arrancar bruscamente.	Par reducido a grandes velocidades.
<b>Sin escobillas</b>	Realiza el cambio de polaridad en sus bobinas electrónicamente.	Es más rápido y eficiente. Mayor control sobre la velocidad y posición. Reduce mantenimiento.	Es más costoso.



## Cálculo de Torque

Para la selección de las características técnicas que debe tener el motor, se realiza el cálculo de la potencia pero para esto se necesita el torque.

Con la Ec. 3 se determina el torque total.

$$F = C_{rr} Nf$$

### Ec. 3 Fuerza necesaria para mover el cuatriciclo

Fuente: (Becelli Sandoval, 2014)

F= Fuerza para mover del reposo el cuatriciclo

$C_{rr}$ = Coeficiente de resistencia a la rodadura que es 0.03 (O.E.Piro, 2014)

Nf= Fuerza normal que es igual al peso

$$Nf = mg$$

### Ec. 4 Fuerza normal

m= Masa total del vehículo

g= gravedad

Reemplazando la Ec. 4 en la Ec. 3 da como resultado la Ec. 5 y se reemplaza los datos:

$$F = C_{rr} * m * g$$

### Ec. 5 Ecuación de fuerza

$$F = 0,03 * 355 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F = 104,47 \text{ N}$$

Entonces una vez encontrada la fuerza necesaria para mover el cuatriciclo se realiza en cálculo del torque, para eso se utiliza la Ec. 6 y se reemplaza los datos correspondientes:

$$Tn = R * F$$

### **Ec. 6 Torque**

$$Tn = 0.25 * 104,47 N$$

$$Tn = 26,11 Nm$$

### **Cálculo de la potencia**

Para realizar el cálculo de la potencia es necesario la velocidad máxima, en el caso de las bicicletas eléctricas es de 25 Km/h (6,94 m/s) según la Directiva Europea 2002/24/CE, se tomará como referencia esta velocidad para realizar los cálculos necesarios.

$$P_{Vmax} = F.Vmax$$

### **Ec. 7 Potencia requerida**

Fuente: (Becelli Sandoval, 2014)

Dónde:

$P_{Vmax}$  = Potencia requerida

F= Fuerza de empuje

$V_{max}$  = Velocidad máxima

Se reemplaza los datos en la Ec. 7 y dará como resultado la potencia del motor eléctrico.

$$P_{Vmax} = 104,47 N * 6.94 m/s$$

$$P_{Vmax} = 725,02 W$$

### Cálculo de revoluciones por minuto

Para obtener las RPM del motor se debe calcular previamente la velocidad angular a velocidad máxima con la Ec. 8.

$$\omega = \frac{V_{max}}{R}$$

### Ec. 8 Velocidad angular

Fuente: (Becelli Sandoval, 2014)

Dónde:

R= Radio del neumático

$\omega$ = Velocidad angular

Se reemplaza los datos en la Ec. 8 y se obtiene la velocidad angular en rad/s, a este valor se multiplica por 30 y se divide para  $\pi$ .

$$\omega = \frac{6,94 \frac{m}{s}}{0,25 m} * \frac{30}{\pi}$$

$$\omega = 265,08 rpm$$

Voz del usuario

De acuerdo a las sugerencias del usuario, el motor eléctrico debe tener las siguientes consideraciones:

- Debe tener la suficiente fuerza para moverse.
- Tiene que ser pequeño para mejor maniobrabilidad en el montaje y desmontaje.
- Económico para su fácil adquisición.
- Confiabilidad de los componentes del sistema.
- Debe consumir poca energía.

Voz del ingeniero

De acuerdo a las sugerencias del Ingeniero el motor eléctrico debe tener las siguientes consideraciones:

- Debe ejercer la tracción suficiente para mover todas las cargas puntuales montadas en el diseño.
- El motor debe encontrarse disponible en el mercado para su fácil adquisición.
- Debe ser de un tamaño considerable para que no ocupe mucho espacio y sea fácil de montar y desmontar.

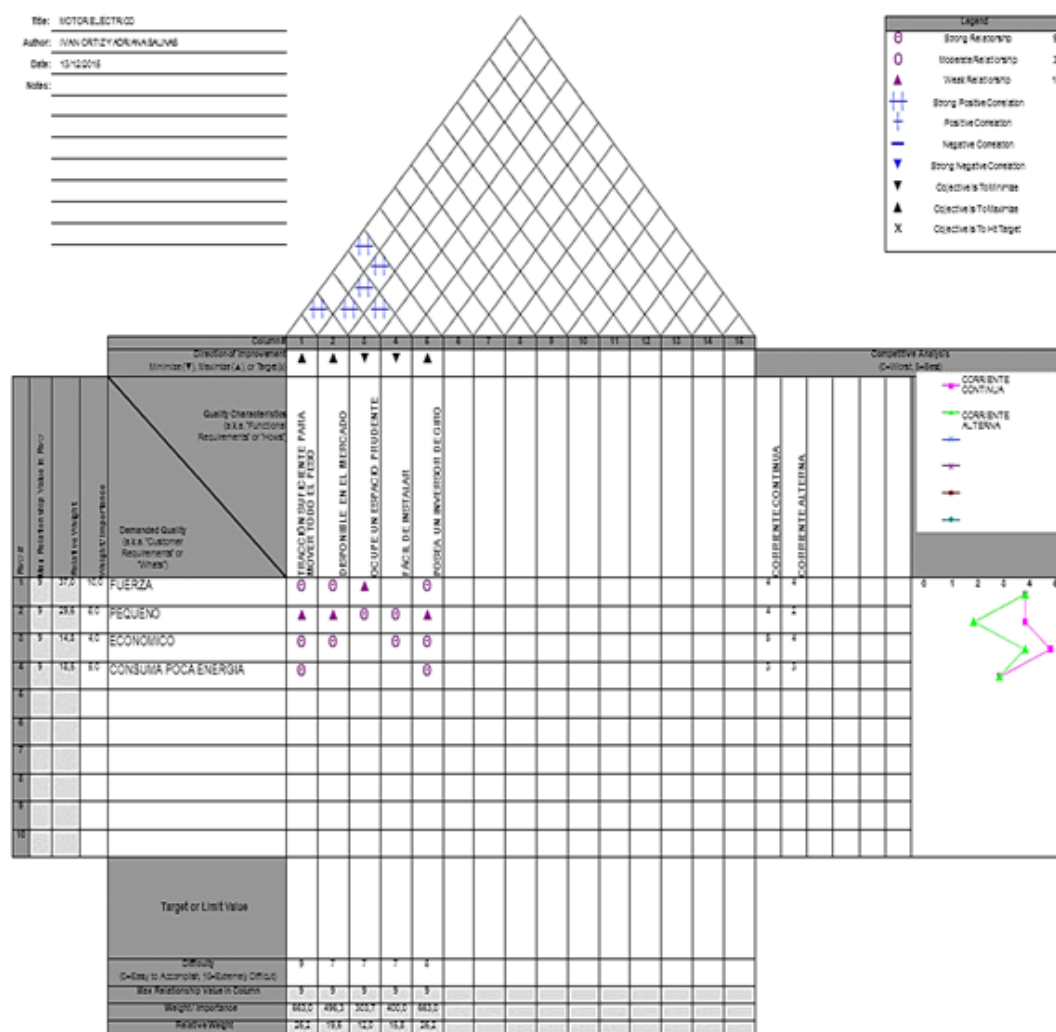


Figura 12 Casa de la calidad del motor

En la Figura 12 se muestra la casa de la calidad de los motores, donde las relaciones determinan las características para la ponderación de matriz de selección, por su alta factibilidad el motor de corriente continua es el más apropiado para satisfacer las necesidades del proyecto y en base a ello se analizará que tipo de motor es óptimo para el proyecto.

Para realizar la matriz de selección se ha tomado en cuenta aspectos como la velocidad y potencia que tiene una mayor ponderación en relación a su grado de importancia para la selección del motor, de estos depende la impulsión del vehículo, otros factores es el mantenimiento, espacio que ocupa y el costo.

**Tabla 6**  
**Matriz de selección para motor**

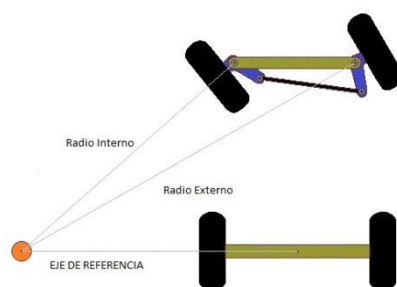
Factores de Selección	FP	Imanes permanentes	Excitación independiente	Shunt	Serie	Sin escobillas
<b>Velocidad</b>	0.30	X	X	X	X	X
<b>Potencia</b>	0.30	X	X	X	-	X
<b>Mantenimiento mínimo</b>	0.20	-	-	-	-	X
<b>Poco espacio</b>	0.10	-	-	-	-	X
<b>Bajo Costo</b>	0.10	X	-	-	X	-
<b>Total</b>	1.00	0.70	0.60	0.60	0.40	0.90

En ponderación en la matriz de selección, el motor eléctrico sin escobillas es el más adecuado para el proyecto, a pesar de su costo elevado, la velocidad y potencia que se necesita para la impulsión del cuatriciclo es el correcto y tomando en cuenta que el mantenimiento es mínimo, se puede economizar costos a largo plazo.

### 2.2.1. Dirección

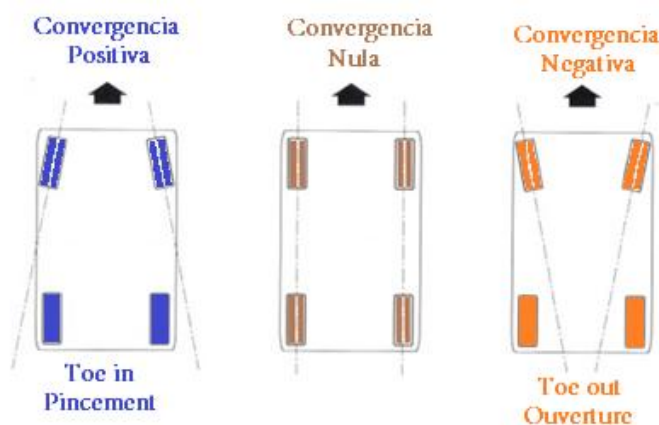
Es un sistema encargado de orientar el vehículo de forma precisa según sea la voluntad del conductor por medio de los mecanismos que lo conforman.

La geometría de la dirección se analiza tomando en cuenta el régimen estacionario es decir el radio interno y radio externo mostrados en la Figura 13 que se forma cuando el vehículo circula en una curva con un punto de referencia constante llamado también condición de Ackerman (Luque, Alvarez, & Vera , 2008).



**Figura 13 Ángulos de las ruedas**

El ángulo de convergencia es la desviación que sufre las ruedas delanteras o traseras en la parte anterior, si estas apuntan hacia dentro se la llama convergencia y caso contrario divergencia, para tener una mejor visualización que lo expuesto, en la Figura 14 se presenta los tipos de convergencia.



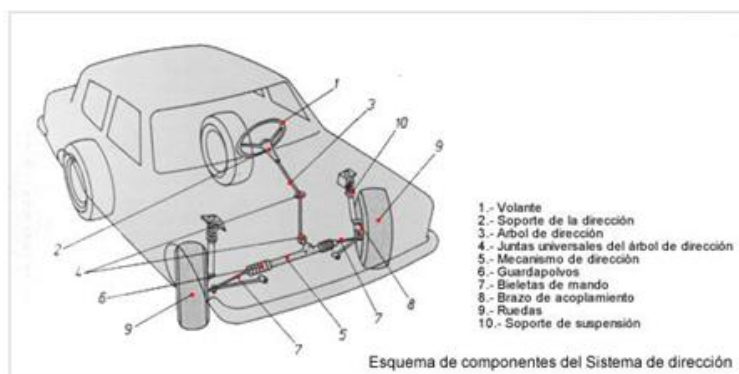
**Figura 14 Ángulos de convergencia**

La conducción debe ser placentera y segura, esto se logra si el conductor puede dar la orientación deseada al vehículo por medio de movimientos precisos y suaves a las ruedas.

La precisión en la dirección está relacionada con un equilibrio entre la suavidad y dureza, al ser muy dura, la conducción se hace cansada e imprecisa caso contrario, si es muy suave, el conductor no siente la dirección y el vehículo puede orientarse erróneamente (Ruiz & Siza, 2010).

Los mecanismos para direccionar los vehículos con motor de combustión interna son muy variados, la constante evolución ha permitido desarrollar la dirección mecánica asistida, que puede ser hidráulica y/o eléctrica, para satisfacer las necesidades de confort para el conductor.

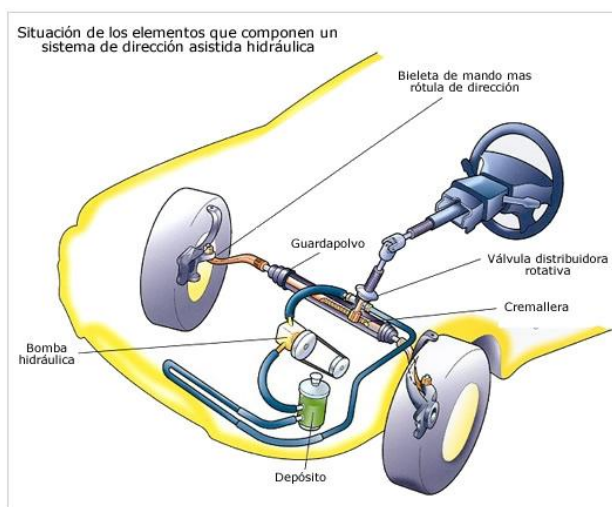
La dirección netamente mecánica tiende a ser muy dura cuando se desea curvar además que no tiene un retorno completo por otro lado el conductor puede sentir de forma más real el giro que realiza el vehículo, ocupa bastante espacio y contiene varios componentes que en conjunto aumentan su peso además de su elevado costo y mantenimiento constante.



**Figura 15 Esquema sistema de dirección mecánica**

Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014)

La dirección asistida hidráulicamente es suave y precisa, el esfuerzo del conductor es mínimo para direccionar el vehículo por su alta sensibilidad, además su retorno es automático a la posición central, por los componentes adicionales a la dirección mecánica su peso se incrementa aún más, el sistema es más complejo y sensible por lo que su costo es elevado y también su mantenimiento, podemos observar los componentes es la Figura 16.



**Figura 16 Componentes dirección hidráulica**

Fuente: (FIERROS CLÁSICOS, 2015)

De esta dirección se van derivando direcciones como la electrohidráulica, eléctrica, entre otras que las marcas comerciales han seguido investigando para su constante actualización con el fin de brindar un mayor confort para el manejo, siguiendo estrictamente normas de seguridad internacionales.

Otros tipos de dirección son las utilizadas en bicicletas, triciclos y cuatriciclos a pedal sobre todo si el enfoque es orientado a un sector de población con limitaciones físicas.

En la Figura 17 se observa un triciclo para personas con discapacidad física en extremidades superiores, para direccionarlo han utilizado un sistema de varillaje que va en la parte inferior, de tal manera que con el movimiento de un lado a otro del cuerpo los hombres accionen los topes que se encuentran a la altura de los mismos y de esta manera la rueda delantera gire a la derecha o izquierda según sea el caso.





**Figura 17 Hase Kettwiesel adaptada para dirección de hombros**

Fuente: (El blog de 3ike, 2010)

En caso que las personas posean discapacidad física en las extremidades inferiores se puede observar en la Figura 18 que el manubrio es el encargado de orientar la llanta delantera con todo el mecanismo de tracción.



**Figura 18 Bicicleta con silla de ruedas**

Fuente: (TRUM Handcycles, 2012)

En la Tabla 7 comparativa se detalla el resumen de los tipos de dirección descritos anteriormente, con su principal característica de funcionamiento, las ventajas y desventajas que estos poseen.

**Tabla 7**  
**Tipos de dirección**

<b>Tipo de Dirección</b>	<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Mecánica del Automóvil</b>	Utiliza mecanismos para lograr que el movimiento del volante sea enviado a las ruedas.	Control más real No es un sistema complejo	Se necesita un gran esfuerzo Costo elevado Peso elevado
<b>Hidráulica del Automóvil</b>	Se utiliza presión hidráulica para disminuir el esfuerzo a direccionar el vehículo.	Menor esfuerzo para curvar Mayor precisión Mayor control	Sensible a cualquier movimiento Costo elevado Mayor peso
<b>Mecánica de Bicicleta</b>	Son de funcionamiento simple y con un sistema de varillaje o eje giratorio.	Bajo costo Libertad de adaptación Ocupa poco espacio	Construir piezas

Voz del usuario

De acuerdo a las sugerencias del usuario, el diseño del sistema de dirección debe tener las siguientes consideraciones:

- Maniobrabilidad en las calles de la ciudad.
- Suavidad en los movimientos para evitar la fatiga del conductor.
- Seguridad al momento de realizar el giro.
- Confiabilidad de los componentes del sistema.
- Bajo costo del sistema, ya que incide directamente en el costo total del proyecto.
- Bajo peso del sistema.

### Voz del ingeniero

De acuerdo a las sugerencias del Ingeniero el diseño del sistema de dirección debe tener las siguientes consideraciones:

- Obtener ángulos de dirección progresivos según la geometría de Ackermann.
- Geometría del mecanismo brinde confort a los ocupantes.
- Evitar las pérdidas de giro eliminando grados de libertad del sistema.
- Fácil acceso al ensamble y desmontaje de las piezas que conforman el sistema.
- Determinar materiales que se encuentre en stock en el mercado y/o sean fáciles de maquinar.
- Adoptar procesos de construcción y ensamble de acuerdo a las herramientas disponibles.

Título: SISTEMA DE DIRECCIÓN  
 Autor: IVAN ORTIZ Y ADRIANA SALINAS  
 Fecha: 13/12/2015  
 Notas:

Legend	
⊗	Relación Fuerte 9
○	Relación Moderada 3
△	Relación Débil 1
++	Correlación positiva Fuerte
+	Correlación Positiva
-	Correlación Negativa
▼	Correlación negativa Fuerte
▽	Objetivo para minimizar
▲	Objetivo para maximizar
X	Objetivo para alcanzar meta

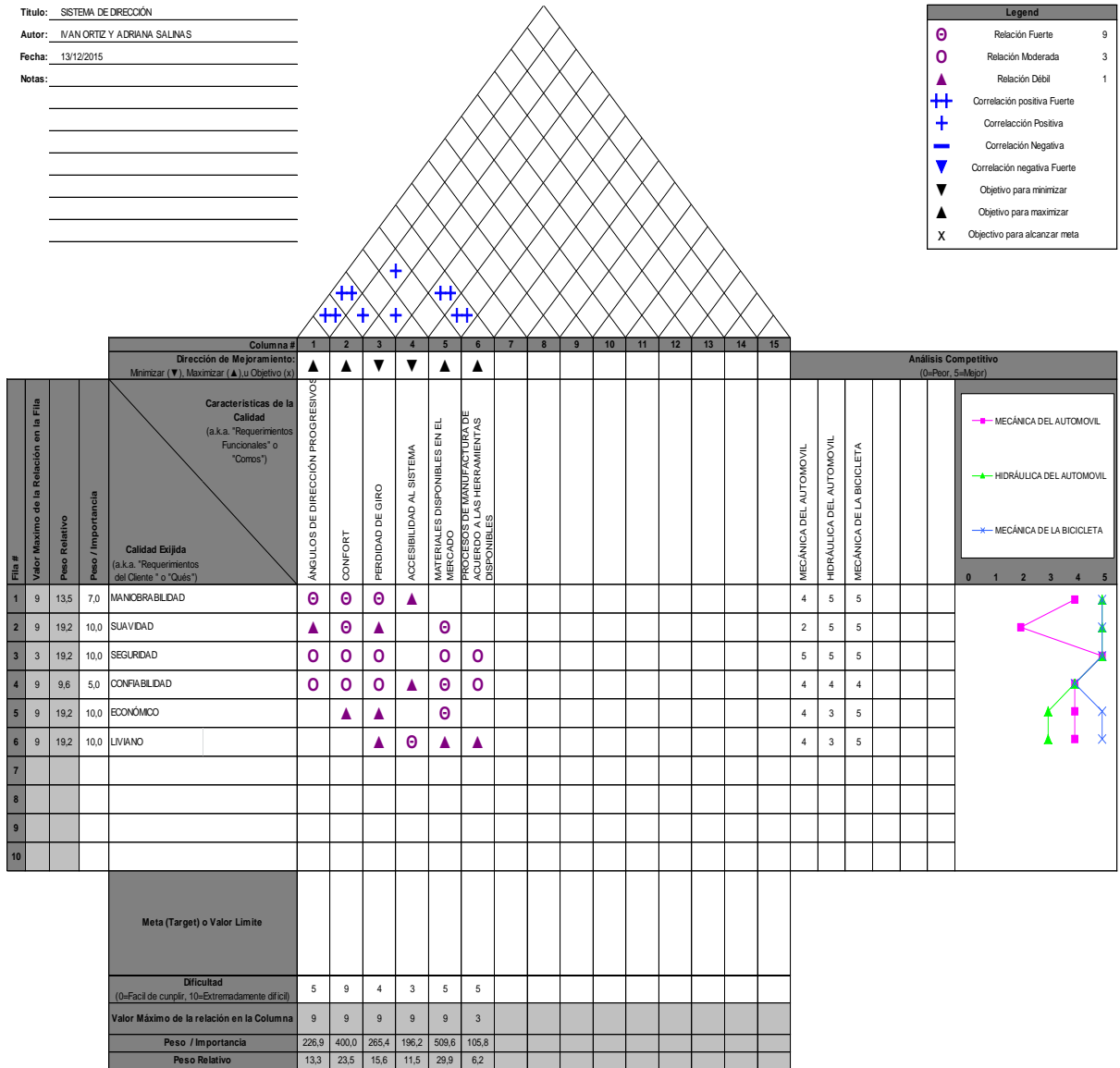


Figura 19 Casa de la calidad de la dirección.

En la Figura 19 se muestra la casa de la calidad de la dirección, las relaciones determinan las características que influencia en el factor de ponderación de la matriz de selección, la dirección mecánica de bicicleta es la más apropiada para el proyecto, satisface las necesidades de confort, precisión, peso y economía.

Las bicicletas tiene dos tipos de dirección pero también existen mecanismos especiales que se adaptan según las necesidades de las personas, utilizan partes de la bicicleta pero con diferentes mecanismo que ayudan a dar vida a la dirección como se pudo apreciar en las Figuras 16 y 17.

Mediante la matriz de selección presentada en la Tabla 8, los factores de selección son, la seguridad y precisión siendo de mayor ponderación, además de su costo y espacio que influyen en menor forma para determinar cuál dirección es la más apropiada.

**Tabla 8**  
**Matriz de selección de la dirección**

<b>Factores de Selección</b>	<b>FP</b>	<b>Roscada</b>	<b>No roscada</b>	<b>Especiales</b>
<b>Seguro</b>	0.30	X	X	X
<b>Precisión</b>	0.30	X	X	X
<b>Adaptable</b>	0.20	-	-	X
<b>Poco espacio</b>	0.10	X	X	-
<b>Menor Costo</b>	0.10	-	-	X
<b>Total</b>	1.00	0.70	0.70	0.90

Al ponderar los factores en la matriz de selección las direcciones mecánicas utilizadas en las bicicletas son factibles por el poco espacio que estos requieren además son seguras y precisas en la orientación del cuatriciclo, el elemento determinante es la adaptabilidad es decir se puede realizar el movimiento de las ruedas de forma no convencional, por ello las direcciones especiales son las que adecuadas para el proyecto.

### 2.2.2. Suspensión

El sistema de suspensión ayuda al contacto que existe entre las ruedas y la carretera, la presión que ejerce permite que el vehículo mantenga una adecuada estabilidad y mayor control durante la conducción.

Las vibraciones transmitidas por causa de las irregularidades del suelo, el ICV (Incomodidad Cinética Vibratoria) tiene límites difíciles de establecer, cada persona tiene diferente nivel de sensibilidad y el sistema de suspensión es el encargado de minimizar estos efectos vibratorios.

La tolerancia a las vibraciones depende directamente de la dirección que tengan las ondas vibratorias en relación al cuerpo humano es decir en dirección vertical la mayor sensibilidad se presenta para frecuencias comprendidas entre 4 y 8 Hz mientras que en direcciones transversales el intervalo es menor de 1 y 2 Hz según la tesis titulada "ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA A UN VEHÍCULO 4X4 GMC MODELO JYMMI" de la universidad Politécnica Salesiana.

Las elevadas frecuencias, donde las excitaciones de vaivén y balanceo son aproximadamente de la misma magnitud, los vehículos son menos sensibles al balanceo, en el libro Ingeniería del Automóvil de Pablo Luque también especifica que en general se acepta ondulaciones con amplitudes cuyos valores superan los 2 cm aproximadamente siendo esta molestas mientras que las menores a 1,3 cm son de calidad media y las inferiores a 5 mm son de gran calidad brindando a excelente confort.

En la Tabla 9 se resume los síntomas producidos en el ser humano al ser expuesto a vibraciones cuando se encuentre circulando en un vehículo, se toma en cuenta que es una referencia ya que los síntomas y el tiempo de exposición a las frecuencias, dependerá de cada persona.

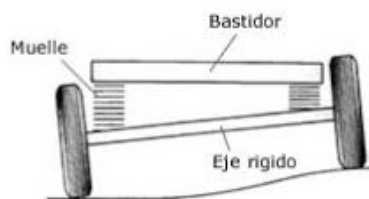
**Tabla 9**  
**Resumen de frecuencias vibratorias**

Frecuencia (Hz)	Frecuencia máxima (Hz)	Características	Síntomas
<b>0,5-0,75</b>	1	Permanece un tiempo continuo en esta frecuencia el oído interno y el aparato vestibular	Produce vértigo y mareo
<b>5-6</b>	7	Los músculos son expuestos a la resonancia y los objetos de la región visceral	Produce fatiga general
<b>4-8</b>	8	Resonancia en el diafragma	Dificultades respiratorias
<b>10-15</b>	15	Resonancia en el tórax	Dificultades respiratorias
<b>18-20</b>	20	Vibraciones que involucran cabeza y cuello	Sensibilidad en cabeza y cuello
<b>20</b>	20	Vibraciones que involucran columna vertebral	Perjudican a las vértebras cervicales

Los sistemas de suspensión son variados según el tipo de vehículo y la actividad al que va enfocado por ello tenemos sistemas básicos como mecánicas, hidráulica, con asistencia, etc.

Dentro de los sistemas de suspensión tienen subdivisiones que consisten es diferentes elementos de amortiguación.

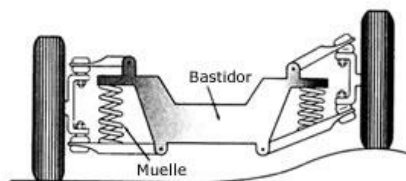
El eje rígido consiste que las dos ruedas están unidas por un eje de una sola pieza y en cada extremo se encuentra una rueda, al tener este elemento en común el movimiento de un extremo del eje se trasmite de forma directa al otro extremo del mismo de la misma forma las ruedas se van a mantener perpendiculares al suelo cuando estas curven como se muestra en la Figura 20.



**Figura 20 Suspensión de eje rígido**

Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014)

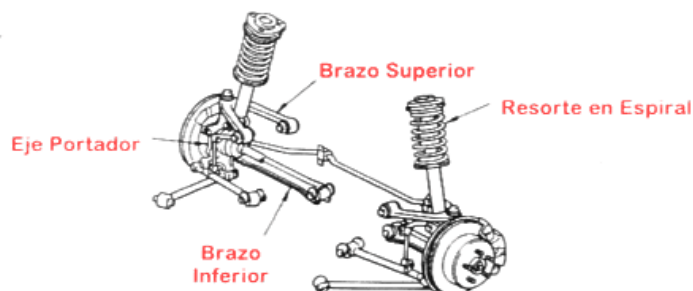
El sistema independiente consiste en que las ruedas están conectadas de forma individual a la carrocería sin tener ninguna influencia la una con la otra, en los baches mantienen su geometría mientras que en una curva la carrocería tiene a inclinarse.



**Figura 21 Suspensión independiente**

Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014)

La suspensión independiente de brazo largo y corto tiene doble brazo de control uno inferior y el otro superior, los cuales están fijos al chasis con un movimiento vertical de los extremos exteriores de los brazos, los mismo están unidos a la dirección por medio de rotulas que permiten cuatro grados de libertad (arriba, abajo, izquierda y derecha) en la punta del eje de rueda, cada una de ellas tiene un movimiento independiente como se puede apreciar en la Figura 22.



**Figura 22 Componentes de la suspensión brazo corto y largo.**

Fuente: (ForoCoches, 2010)



La suspensión doble en viga en I en un sistema semi-independiente, se utilizan dos vigas, una en cada rueda y las mismas van unidas al chasis a su extremo contrario, la rueda tiene un movimiento de arriba hacia abajo mientras que el otro extremo gira. .

En la Tabla 10 se muestran los tipos de suspensión descritos anteriormente sus características, ventajas y desventajas para realizar un análisis más profundo sobre la factibilidad de cada una de ellas para el proyecto.

**Tabla 10**  
**Resumen sistemas de suspensión**

Tipo de Sistema	Características	Ventajas	Desventajas
<b>Eje Rígido</b>	Las dos ruedas están unidas entre sí por medio de un eje en común.	Se mantienen perpendicularmente con el suelo en las curvas. Menor costo de fabricación.	En terrenos irregulares el movimiento de una rueda es transmitida directamente a la otra.
<b>Mac Person</b>	Tiene un brazo de control inferior y esta fijo a un extremo del bastidor.	Se puede utilizar en la parte delantera y/o posterior. Permite disponer más espacio para la mecánica.	Somete a grandes esfuerzos la zona donde están los amortiguadores produciendo deformaciones en sus apoyos
<b>Brazo Largo y Corto</b>	Posee un brazo inferior y otro superior los cuales están fijos al chasis.	Tiene cuatro grados de libertad y poseen movimiento independiente.	Es más costoso y ocupa más espacio
<b>Doble Viga en I</b>	Se utiliza dos vigas, los extremos están unidos a las ruedas y los otros extremos libres a la carrocería.	Mayor fijación con de las ruedas con el suelo.	Mayor costo ya que las de las vigas son de acero y una de ellas posee un diferencial.

### Voz del usuario

De acuerdo a las sugerencias del usuario el diseño del sistema de suspensión debe tener las siguientes consideraciones:

- Estabilidad al momento de la conducción
- Sistema seguro para las personas con discapacidad física.
- Sistema de suspensión liviano.
- Sistema suave al momento de caer en un bache.
- Durabilidad del sistema para varios años.
- Bajo costo de los componentes.

### Voz del ingeniero

De acuerdo a las sugerencias del ingeniero el diseño del sistema de suspensión debe tener las siguientes consideraciones:

- Geometría del sistema que sea capaz de desplazar el sistema de una manera óptima.
- Centro de balanceo adecuado para mejorar la estabilidad de las personas con discapacidad.
- Diseño a fatiga de ciertos elementos que pueden estar propensos a fallar.
- Determinar los materiales que se encuentran en el mercado para la adquisición o fabricación de los elementos del sistema.
- Adoptar procesos de construcción y ensamble de acuerdo a las herramientas disponibles.

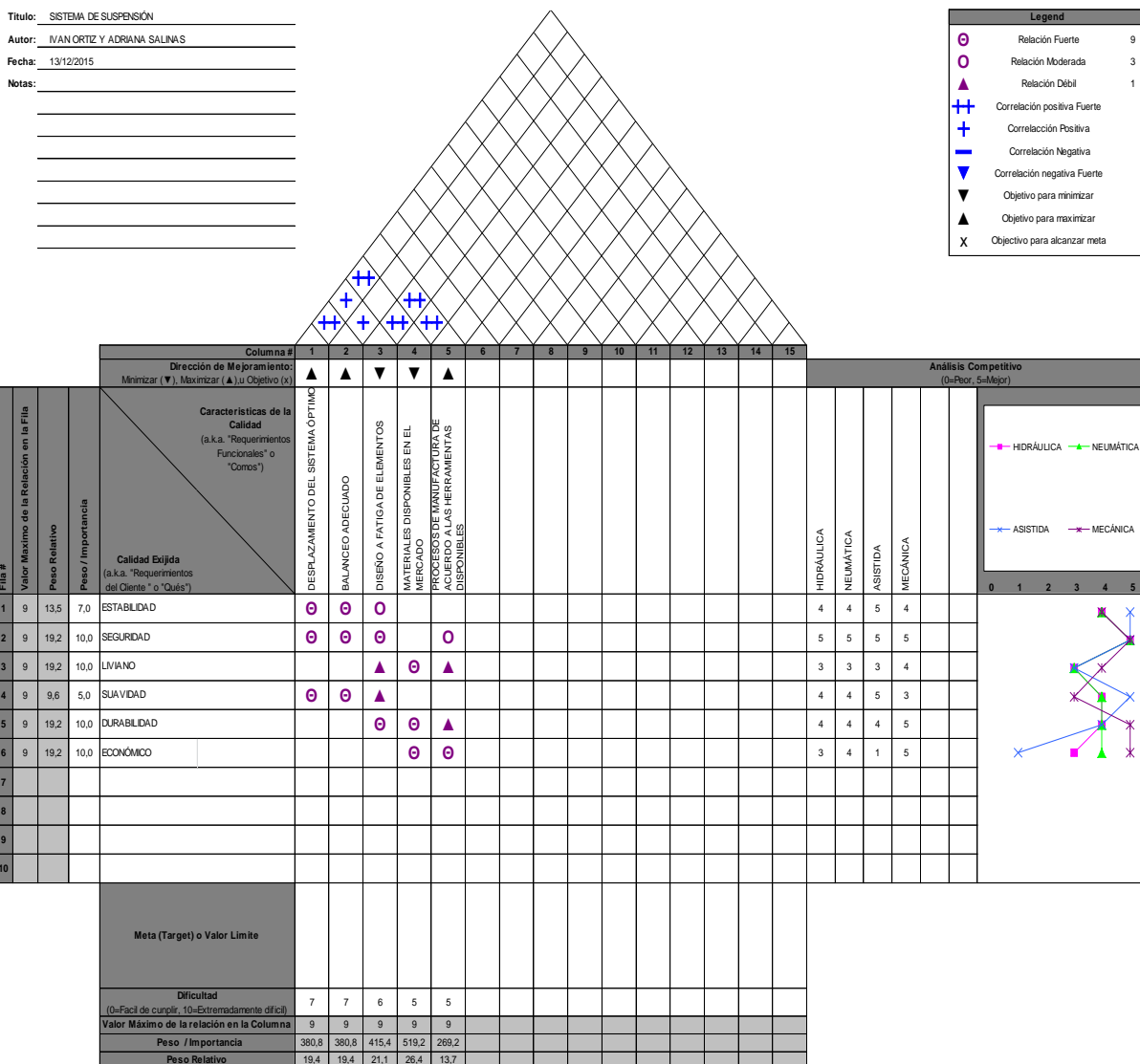


Figura 23 Casa de la calidad de la suspensión

En la Figura 23 se muestra la casa de la calidad de la suspensión, las necesidades de confort determinan el tipo de suspensión que satisfagan todas las exigencias del proyecto por ello la mecánica es la más factible según el análisis realizado, en la matriz de selección se determinará qué tipo es el más apropiado.

En la matriz de selección para el sistema de suspensión se ha tomado en cuenta factores como el espacio y seguridad que son fundamentales por el limitado espacio que se posee en la parte delantera del vehículo y la

seguridad para preservar la integridad del conductor y ocupante, además del peso, costo y fácil instalación que reducirá esfuerzos no solo físicos sino económicos.

**Tabla 11**  
**Matriz de selección de la suspensión**

Factores de selección	FP	Eje rígido	Mc Person	Brazo largo y corto	Doble viga en I
<b>Espacio disponible</b>	0,30	-	X	-	X
<b>Seguridad</b>	0,30	X	X	X	X
<b>Menor Peso</b>	0,20	X	-	-	-
<b>Costo</b>	0,10	X	X	X	X
<b>Fácil instalación</b>	0,10	-	X	-	-
<b>Total</b>	1,00	0,60	0,80	0,40	0,70

En la matriz de selección (ver Tabla11) el mayor resultado obtuvo la suspensión Mc Person, satisfaciendo la mayoría de requerimientos del proyecto pero principalmente los factores de selección espacio y seguridad que son fundamentales para implementar el sistema de suspensión.

### 2.2.3. Frenos

El sistema de frenado es fundamental en todo vehículo, es aquel que confiere la capacidad de reducir la velocidad hasta llegar a detenerse, a medida que lo requiera la persona que lo conduce. Este sistema va ligado directamente con la seguridad, debido a esto, se le presta una gran atención en su desarrollo y a su mejora continua.

#### A. Fuerza de frenado

En el proceso de frenado se encuentran presentes las diferentes fuerzas retardadoras del vehículo, las cuales son las que se desarrollan en la superficie de las ruedas, como consecuencia de su contacto continuo con la calzada, al aplicarles un par que se opone al movimiento, es decir las fuerzas de frenado.

Los esfuerzos que proporciona el sistema de frenos se traducen en pares aplicados a las ruedas en sentido opuesto a su movimiento. Estos pares han de vencer la propia inercia de las masas rotativas asociadas a las ruedas, a la vez que se producen la desaceleración de la masa del vehículo en su movimiento de traslación, suponiendo que  $I_{ej}$  representa el momento de inercia equivalente a las masas que giran conectadas a la rueda  $j$  y que esta adquiere una desaceleración angular  $\dot{\Omega}_j$ , (Aparicio, Vera, & Diaz, 2001) se puede establecer la siguiente relación para dicha rueda.

$$F_{fj} * r_c = M_{fj} - I_{ej} * \dot{\Omega}_j \quad ; \quad F_{fj} = \frac{M_{fj} - I_{ej} * \dot{\Omega}_j}{r_c}$$

### Ec. 9 Fuerza de frenado

Fuente: (Aparicio, Vera, & Diaz, 2001)

Dónde:

$F_{fj}$ = Fuerza de frenado de la rueda

$r_c$ =Radio de la rueda bajo carga

$M_{fj}$ =Par aplicado en sentido contrario al movimiento de la rueda

$I_{ej}$ =Momento de la inercia equivalente de las masas

$\dot{\Omega}_j$ = Desaceleración angular

Mientras menor sea el peso del vehículo más fácil se realizara el frenado; un estudio experimental realizado por el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) determinó las distancias de frenado para los distintos sistemas de frenos a una velocidad de 25 Km/h, los resultados obtenidos se detalla en la Tabla 12.

**Tabla 12**  
**Distancia de frenado para los diferentes sistemas de freno**

Sistemas de freno	Distancia limites (m)	Distancia (m) y desvió con Disco	Distancia (m) y desvió con Cantilever	Distancia (m) y desvió con V-Brake	Distancia (m) y desvió con varilla	Distancia (m) y desvió contra pedal
<b>Delantero y trasero</b>	7	10,9 ± 27%	9,4 ± 29%	4,7 ± 21%	6,5 ± 21%	5,5 ± 11%
<b>Sólo trasero</b>	15	25,6 ± 39%	26,5 ± 33%	14,4 ± 22%	14,0 ± 23%	8,2 ± 5%

Fuente: (Martinez & Sacavini, 2005)

### B. Tipos de Frenos

A lo largo del tiempo, el sistema de frenos para bicicletas ha ido evolucionando, tanto en su accionamiento, seguridad y ergonomía, es así que han ido apareciendo diferentes mecanismo de frenado.

Los frenos de aro toman su nombre, debido a que se aplica la fuerza de frenado directamente en el aro de la rueda, utilizándolo como un gran disco.

Frenos de caliper este tipo de frenos son fijados al cuadro de la bicicleta por medio de un tornillo, están situados generalmente sobre la rueda, son provistos por dos zapatas que se extienden alrededor de la cubierta para alcanzar la superficie de frenado del aro. Utilizan el tornillo de sujeción como pivote, es decir, funcionan como una pinza y se puede observar en la Figura 24



**Figura 24 Mecanismo del freno de caliper**

Fuente: (happy ciclista, 2013)

Los frenos Cantilever cuentan con dos pivotes, a diferencia de los de Caliper que poseen tan solo uno. Estos pivotes se encuentran uno a cada lado de la rueda como se muestra en la Figura 25, los cuales sujetan cada uno a una zapata, los cuales son accionados mediante un cable de acero.

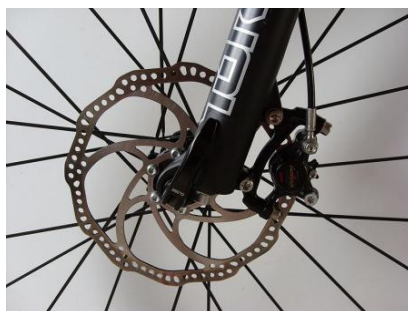


**Figura 25 Freno cantilever**

Fuente: (happy ciclista, 2013)

Los frenos de disco constan de una mangueta de freno que va montada en el manillar, una pinza sujeta al cuadro o a la horquilla, y un rotor que va fijado al buje. Cuando se oprime la maneta de freno, una pastilla de freno (material de fricción) hace pinza sobre el rotor, generando una fuerza de rozamiento en la interfaz entre la pinza y la superficie del rotor.

La fuerza de rozamiento frena la rueda convirtiendo en calor la energía cinética que adquiere la rueda al girar. En otras palabras, el frenado implica calentamiento. (SRAM, 2013).



**Figura 26 Frenos de disco**

Fuente: (happyciclista, 2013)

Hasta el momento existen dos maneras de accionar este tipo de frenos, de forma mecánica e hidráulica.

Los frenos de contrapedal pasa el movimiento para que la rueda trasera gire sin necesidad que los pedales se encuentren en actividad, emulando a una rueda libre, y al momento de pedalear hacia atrás, ejerce la función de frenado.



**Figura 27 Freno contrapedal**

Fuente: (happyciclista, 2013)

A continuación se muestra la Tabla 13 comparativa donde se encuentran los tipos de frenos, característica principal, ventajas y desventajas, la cual facilita un análisis detallado sobre el mecanismo de frenado más apropiado.



**Tabla 13**  
**Tipos de frenos**

Tipo de Freno	Característica	Ventajas	Desventaja
<b>Aro</b>	La fuerza de frenado se ejerce en el aro de la rueda, utilizándolo como un gran disco	Simples, económicos y ligeros	Los aros pueden sobrecalentarse y ponchar la llanta. El frenado es afectado por agua, lodo, etc. Desgasta el aro
<b>Disco</b>	Frena mediante pastillas las cuales son presionadas mecánica o hidráulicamente contra los discos así detiene a la rueda	Mayor potencia de frenado. No afecta las impurezas del entorno	Necesitan soportes especiales. Alto costo
<b>Contrapedal</b>	Al pedalear hacia atrás el mecanismo funciona como freno	Mantenimiento mínimo. La fuerza de accionamiento es reducido	Se recalienta fácilmente produciendo su ruptura.

#### Voz del usuario

De acuerdo a las sugerencias del usuario el diseño del sistema de frenos debe tener las siguientes consideraciones:

- Seguridad al momento de accionar el sistema.
- Ubicación adecuada de los mandos de accionamiento para las personas con discapacidad física.
- Mecanismos sencillos pero altamente eficientes.
- Instalación fácil del sistema.
- Componentes fiables.
- Costo lo más reducido posible.

### Voz del ingeniero

De acuerdo a las sugerencias del ingeniero el diseño del sistema de frenos debe tener las siguientes consideraciones:

- Sistema presente en las ruedas donde se da la tracción.
- Sistema seguro en caso de colisiones.
- Sistema de frenos de bicicleta mecánicos independientes
- Dimensionamiento y selección del sistema adecuado.
- Elementos del sistema eficientes.

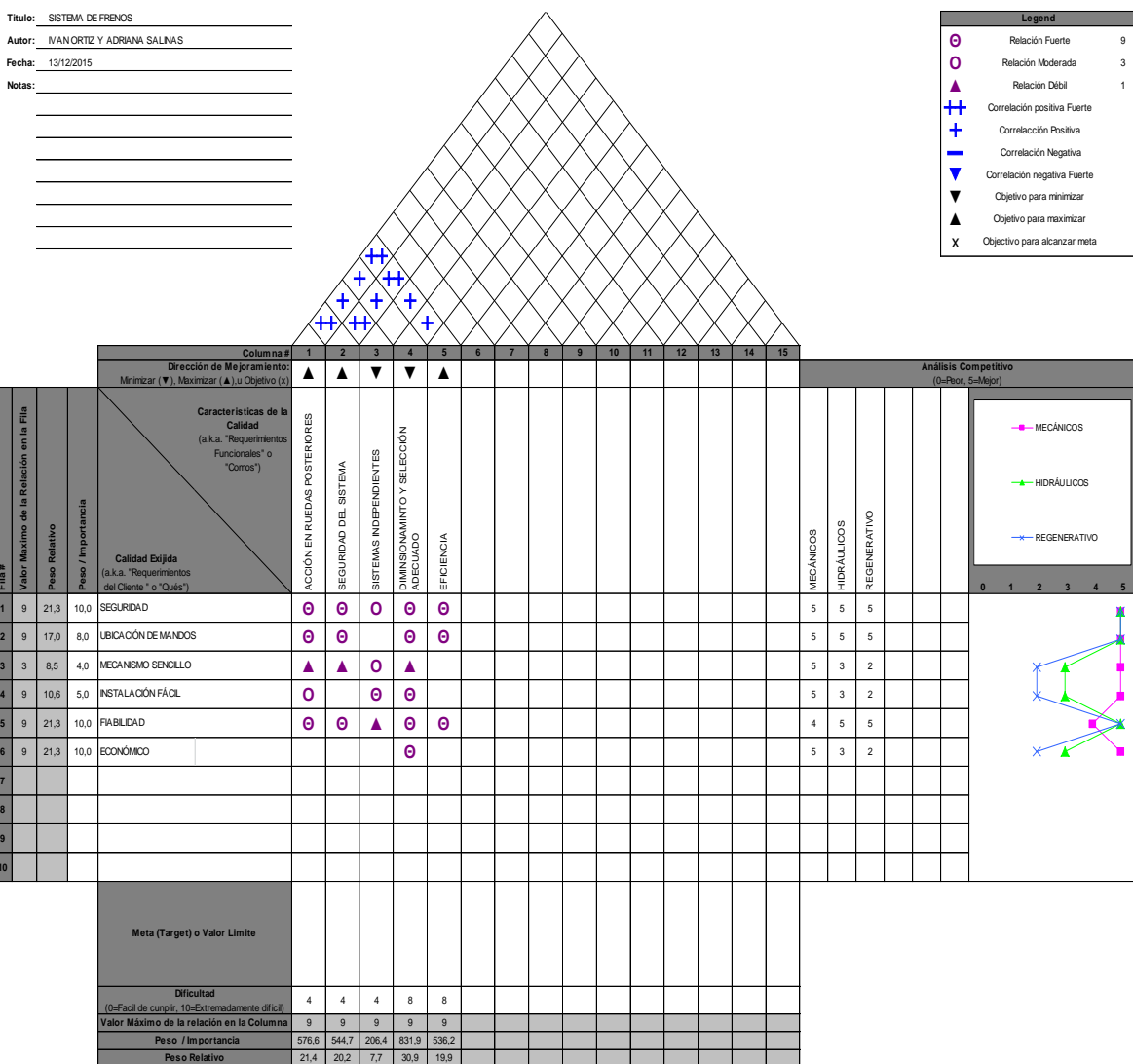


Figura 28 Casa de la calidad de frenos

En la Figura 28 se muestra la casa de la calidad de los sistemas de frenos, las necesidades de seguridad y precisión determinan el mecanismo de accionamiento de los frenos que satisfagan todas las exigencias del proyecto, los mecánicos son los más factibles según el análisis realizado, la matriz de selección determinará qué tipo es el más apropiado.

En la matriz de selección los factores son la seguridad y precisión que tienen la mayor ponderación seguidos de la fiabilidad, bajo peso (para reducir esfuerzos) y bajo costo, cada sistema tiene un mantenimiento mínimo por lo tanto este factor no se toma en cuenta por su poca importancia.

**Tabla 14**  
**Matriz de selección de frenos**

Factores de Selección	FP	Aro	Disco	Maza	Contrapedal
<b>Seguridad</b>	0.30	-	X	X	-
<b>Precisión</b>	0.30	X	X	X	-
<b>Fiabilidad</b>	0.20	X	-	-	X
<b>Bajo peso</b>	0.10	-	X	-	X
<b>Bajo Costo</b>	0.10	-	-	-	X
<b>Total</b>	1.00	0.50	0.70	0.60	0.40

La ponderación de los factores en la matriz de selección (ver Tabla 14) la mejor alternativa son los frenos de disco que en este caso será uno para cada rueda colocado en el eje posterior del cuatriciclo, de este sistema depende la integridad del conductor además tiene factores como menor peso y bajo costo, sus elementos son simples y el mecanismo de accionamiento no necesita de un gran esfuerzo para activarse.

#### 2.2.4. Ruedas

El libro “Tecnología del Automóvil” de Orovio Manuel dice:

*“Para que el automóvil se desplace las ruedas han de girar, con el par producido por el motor, transformado en la caja de cambios y llevado a las ruedas por los elementos de transmisión, incluido el diferencial.”*

Las ruedas son los elementos encargados de comunicar el vehículo con el suelo, soportando toda la carga y están conformadas por los siguientes elementos:

- Cubierta
- Cámara de aire (tubo)

La nomenclatura con normas internacionales que estandarizan los tamaños de los neumáticos, vienen marcados en el flanco de la cubierta en los tres principales sistemas internacional (ISO), británico y francés.

En el mercado existen varias medidas de los neumáticos desde 20” a 27” (Continental, 2014) , la modalidad y uso que estas van a tener son factores importantes al momento de seleccionar los neumáticos para bicicletas.

Para realizar el análisis del tamaño de neumáticos que se necesita para el vehículo se tomará en cuenta la velocidad media que puede alcanzar una bicicleta promedio que es 20 Km/h (Dekoster & Schollaert, 2002), para realizar los cálculos se tomara una velocidad de 25 Km/h por factores de seguridad.

En la Ec. 10 se describe la fórmula para determinar la velocidad del vehículo en las distintas marchas.

$$V_{(I,II,III,IV,R)} = \frac{2 \cdot R_{din} \cdot \pi \cdot n_M \cdot 3,6}{i_{t(I,II,III,IV,R)}} [km/h]$$

### Ec. 10 Fórmula de la velocidad

Fuente: (Kindler & Kynast, 1986)

Dónde:

$V_{(I,II,III,IV,R)}$  = Velocidad del vehículo en las distintas marchas (km/h)

$R_{din}$  = Radio dinámico (mm)

$n_M$  = Revoluciones del motor (1/min)

$i_{t(I,II,III,IV,R)}$  = Relación de transmisión total en las distintas marchas

La Ec. 11 es el resultado de despejar el radio dinámico de la Ec. 10, se reemplaza los datos anteriormente obtenidos y se determina el tamaño adecuado del neumático para el proyecto.

$$R_{din} = \frac{V_{(I,II,III,IV,R)} \cdot i_{t(I,II,III,IV,R)} \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot n_M \cdot 3,6} [mm]$$

### Ec. 11 Fórmula de radio dinámico

$$R_{din} = \frac{25 \cdot 1.60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 265.08 \cdot 3,6} [mm]$$

$$R_{din} = 250,16 [mm]$$

El radio dinámico es de 250,16 mm por lo tanto las ruedas deben tener un diámetro de aproximado de 500 mm que corresponde a rin 20" de las bicicletas con aro de radios, se necesita cuatro ruedas iguales dos delanteras y dos traseras.

## 2.3. Software para diseño

En el mercado se encuentra una variedad de software para realizar diseños según las necesidades del usuario, sus prestaciones son muy variadas con excelentes resultados, al adquisición de estos productos se los

puede realizar vía internet sin costo alguno con algunas restricciones sin embargo son muy útiles para realizar los análisis necesarios para determinar la factibilidad del elemento.

### 2.3.1. Software CAE

Es un software generalizado que significa ingeniería asistida por ordenador donde se usan programas informáticos para simular el rendimiento cuyo objetivo es mejorar el diseño a su vez ayudar a resolver posibles fallas. Se realiza la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación.

Se usa para sistemas gráficos interactivos, técnicas de modelado geométrico, análisis de estructuras, simulación alguna de los más conocidos son:

#### ANSYS

Es un programa que abarca todos los aspectos de la física y proporciona acceso a prácticamente cualquier campo de la simulación de ingeniería que requiera un proceso de diseño.

Tiene una simulación de ingeniería a otro nivel, las herramientas multifísico integrales establecen nuevas tecnologías, aparte de otras herramientas CAE. Utiliza el procesamiento numérico de elementos finitos para resolver una amplia variedad de problemas mecánicos como problemas de fluidos, análisis estructural estático y dinámico, transferencia de calor complementando como los problemas acústicos y electromagnéticos (ANSYS)

El proceso tiene una entrega de la eficiencia en el análisis con un optimización de tiempo en el mismo es decir los resultados son inmediatos y precisos, permitiendo pruebas simuladas que podrían no ser posible de otro modo.

## ABAQUS

Es un programa destinado a resolver problemas de ciencias e ingeniería y está basado en el método de los elementos finitos. El programa puede resolver casi todo tipo de problemas, desde un simple análisis lineal hasta simulaciones complejas no lineales (Uzcátegui, 2007).

Realiza interacción fluido-estructura y análisis de transferencia de calor con flujos transitorios o constantes además del modelado de turbulencia. El modelado para fractura de materiales compuestos y mejoras para evaluar el rendimiento de simulaciones con grandes bloques estructuras.

El montaje está basado en la accesibilidad de visión de los cortes y la geometría al momento del mallado permite visualizar el interior de los modelos esto hace más fácil el montaje de componentes y asignación de atributos (Megacam, 2010).

## NASTRAN

Es un programa orientado el análisis estático, dinámico, y térmico a través de los dominios lineales y no lineales, que a su vez se complementa con la optimización estructural automatizado y análisis de fatiga incrustadas.

Simulación para problemas estructurales que pueden ocurrir, el uso del producto utilizando método de Elementos Finitos para problemas no lineales FE ya sea con técnicas numéricas implícitas o explícitas incorporadas.

Se utiliza comúnmente en la industria aeronáutica, aeroespacial, etc.; Es un estándar industrial para simulación e ingeniería para el cálculo de tensiones, vibraciones, durabilidad, fatiga, ruido, acústica y aeroelasticidad.

En la Tabla 15 se encuentra un resumen sobre los programas computacionales expuestos anteriormente con sus características, ventajas y desventajas que ayuda a un análisis más profundo para seleccionar el más factible para realizar el diseño del cuatriciclo.

**Tabla 15**  
**Resumen de los softwares**

Programa	Características	Ventajas	Desventajas
<b>ANSYS</b>	Abarca todos los aspectos de la física y tiene herramientas multifísicos integrales	Amplia variedad para resolver problemas mecánicos Procesamiento numérico de números finitos	No existen versiones en español.
<b>ABAQUS</b>	Destinado a resolver problemas de ciencias e ingeniería	Realiza interacción fluidos-estructura Fácil montaje de componentes y asignación de tributos	Tiene limitaciones en el área de ingeniería
<b>NASTRAN</b>	Análisis estático dinámico y térmico a través de dominios lineales y no lineales	Crea un mallado que refleja la geometría.	Tiene limitaciones en cálculos de amplificación dinámica

En la Tabla 15 se ha realizado el análisis de los programas CAE que se puede ocupar para el proyecto, la amplia aplicación en ingeniería que ofrece el ANSYS se ha optado por la utilizar este software para el analizar el diseño del bastidor.



El proceso de análisis del software CAE consta de tres pasos pre-procesamiento, resolución, y post-proceso.

- El pre-procesamiento, es modelar la geometría o una representación del sistema y las propiedades físicas del diseño como las cargas o restricciones aplicadas.
- La resolución del modelo se utiliza una formulación matemática de la física subyacente.
- El post-procesamiento, se presentan los resultados para la respectiva revisión.

#### Beneficios del Uso de Software CAE

- Reducción de costos y el tiempo de producción del producto ya que los diseños pueden ser evaluados sin necesidad de tener prototipos físicos.
- Mejorar la calidad y durabilidad del producto por la gestión de riesgo y ayuda a comprender todo lo que implica que un diseño tenga mayor rendimiento.
- Interpretar datos de manera gráfica para aprovechar la capacidad de ideas de rendimiento y mejorar los diseños de tal forma que abarca una comunidad más amplia.

Aplicaciones CAE soportan una amplia gama de disciplinas de ingeniería o fenómenos que incluyen:

- El estrés y la dinámica de análisis de componentes y conjuntos utilizando análisis de elementos finitos (FEA)
- Análisis térmico y fluido utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD)
- Cinemática y análisis dinámico de mecanismos (dinámica de sistemas multi-cuerpo)

- Simulación de procesos de fabricación, como la fundición, moldeo y de la matriz de conformación en prensa
- Optimización del producto o proceso

Algunos problemas de ingeniería requieren la simulación de múltiples fenómenos con el fin de representar la física subyacente. Aplicaciones CAE que abordan estos problemas a menudo se llaman soluciones multi-física (SIEMENS).

En la Tabla 16 los factores de selección se han elegido según las necesidades de diseño y el conocimiento adquirido con anterioridad, la factibilidad de adquisición del software y la información sobre el manejo de cada uno de los programas.

**Tabla 16**  
**Matriz de selección para software CAE**

Factores de Selección	FP	ANSYS	ABAQUS	NASTRAN
<b>Fácil manejo</b>	0.30	X	X	X
<b>Menor procesamiento</b>	0.30	X	-	-
<b>Adquisición</b>	0.20	X	X	-
<b>Información</b>	0.10	X	X	-
<b>Actualización</b>	0.10	-	-	X
<b>Total</b>	1.00	0.90	0.60	0.40

Por su flexibilidad en herramientas y un menor tiempo en realizar el análisis en los modelos el software CAE y en ponderación de los factores de la matriz de selección la mejor alternativa es el ANSYS y conjuntamente el Software CAD por su aplicación intuitiva se ha optado por SOLIDWORKS 2015 (versión estudiantil) los cuales nos ayudarán a determinar fallas, antes de la construcción del cuatriciclo de esta manera se ahorra tiempo y dinero.

### 2.3.2. Software ANSYS

Es un software completo para el análisis lineal / no lineal y dinámico estructural formando un conjunto completo de comportamiento del elemento, modelos de materiales y solucionadores de ecuaciones para una amplia gama de problemas de ingeniería.

Posee herramientas para realizar el análisis térmico y capacidades físicas de los elementos según las necesidades que se requiera, el análisis térmico-estructural se muestra en un informe completo para las respectivas interpretaciones según la gama de colores que el programa posee.

Tiene rapidez para resolver complejos problemas estructurales y térmicos proporcionan la capacidad de simular todos los aspectos estructurales de un producto, incluyendo el análisis estático no lineal que proporciona las tensiones y deformaciones, análisis modal que determina las características de vibración, a través de fenómenos no lineales transitorios avanzadas que implican efectos dinámicos y el comportamiento del material complejo.

El uso de soluciones de software de ANSYS Mechanical, puede importar geometrías de conjuntos complejos, de manera óptima con malla para que ellos, y aplicar condiciones límite realistas.

El pre-procesamiento, puede realizar análisis para evaluar las características de resistencia, vibración, movimiento y de respuesta térmica del sistema. Una variedad de herramientas gráficas permiten visualizar fácilmente los resultados de la simulación (CAE Associates Inc).

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO Y ANÁLISIS DEL BASTIDOR

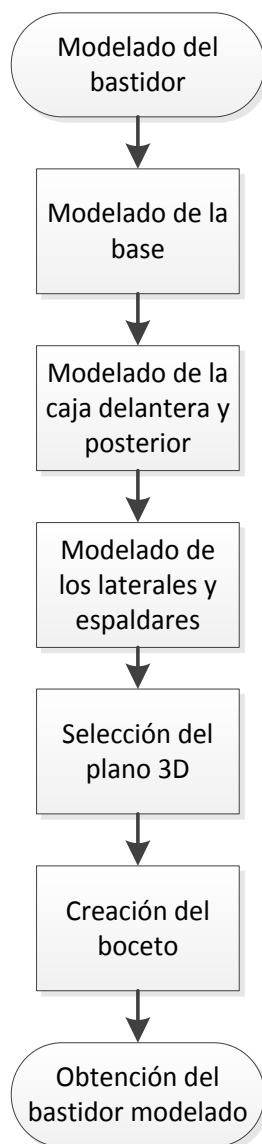
En el diseño del cuatriciclo se debe considerar varios parámetros como la estructura del bastidor (el principal componente del vehículo), la transmisión y el peso que va a soportar, por lo cual el espacio debe ser el necesario para cada uno de los sistemas y tener una buena accesibilidad para realizar los respectivos mantenimientos.

#### 3.1. Requisitos de la bicicleta

Los parámetros del cuatriciclo son varios como número de ocupantes y el peso que estos deben tener como máximo, además de las medidas generales, con estas características el diseño cubrirán los objetivos planteados.

- Número de ocupantes  
Los ocupantes pueden ser dos como máximo.
- Peso de los ocupantes.  
Cada uno de los ocupantes debe tener como peso máximo 75 Kg.
- Dimensiones

La estructura del bastidor no debe intervenir en los movimientos del conductor y acompañante al momento de conducir, además el peso debe ser lo menor posible para minimizar el esfuerzo que realiza la o las personas para que el vehículo comience a circular.



**Figura 29 Flujograma del proceso de modelado del bastidor**

#### Voz del usuario

De acuerdo a las sugerencias del usuario el diseño del bastidor debe tener las siguientes consideraciones:

- Ergonomía de los ocupantes permitirá una conducción óptima.
- Económico en términos de construcción.
- Partes accesibles en el mercado ecuatoriano.
- Su construcción debe estar al alcance de todos los medios.
- Capaz de soportar todas las cargas que se puedan considerar.

- Durabilidad de varios años de uso.

Voz del ingeniero

De acuerdo a las sugerencias del ingeniero el diseño del bastidor debe tener las siguientes consideraciones:

- Materiales disponibles en el mercado.
- Centro de gravedad lo más bajo posible.
- Distribución de cargas en puntos críticos en todo el bastidor.
- Triangulación correcta para eliminar esfuerzos.

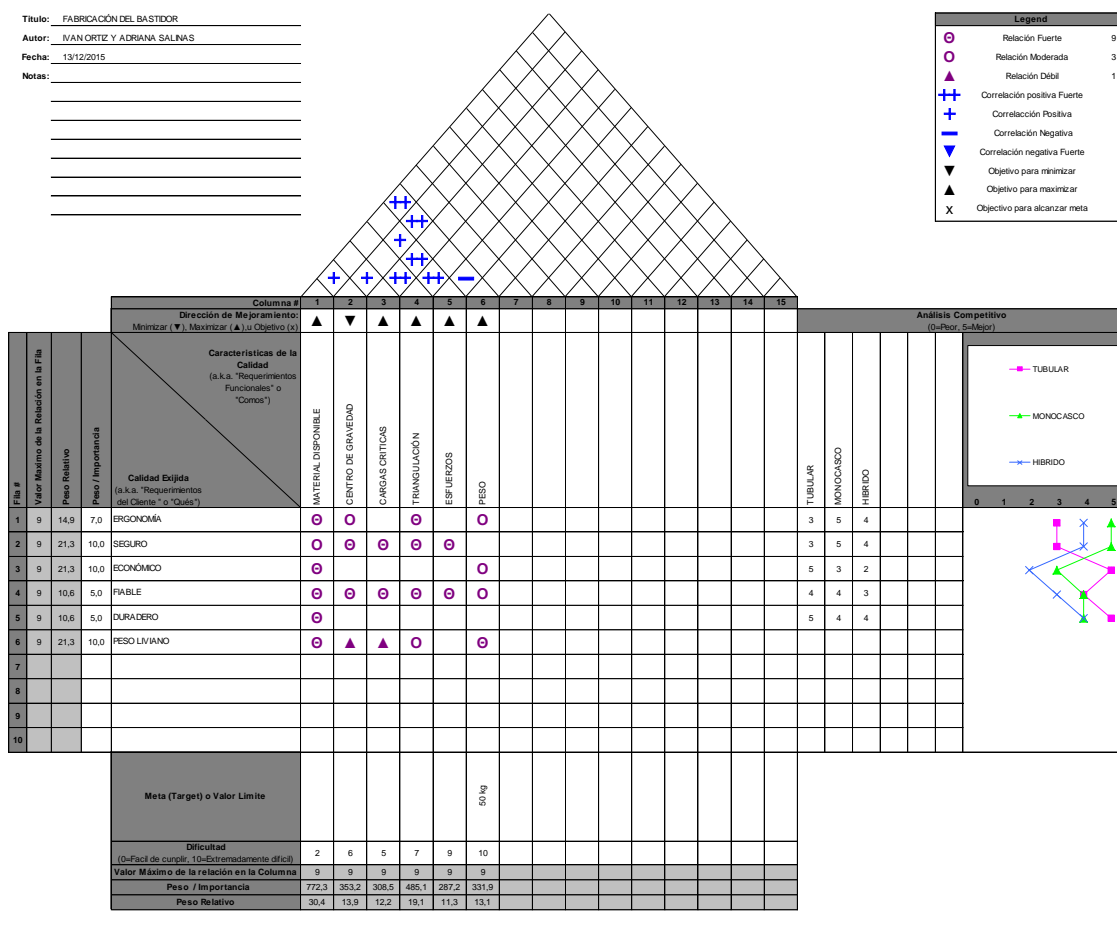
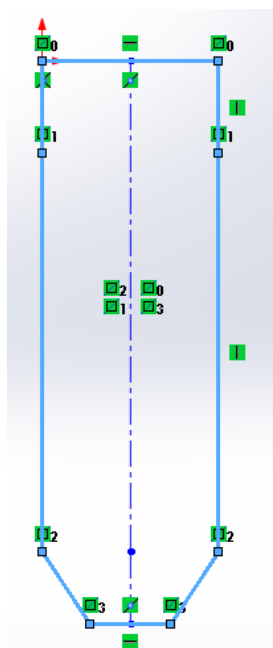


Figura 30 Casa de la calidad del bastidor

En la Figura 30 se muestra la casa de la calidad de los tipos de bastidor que pueden ser utilizados en el diseño del proyecto, las necesidades de

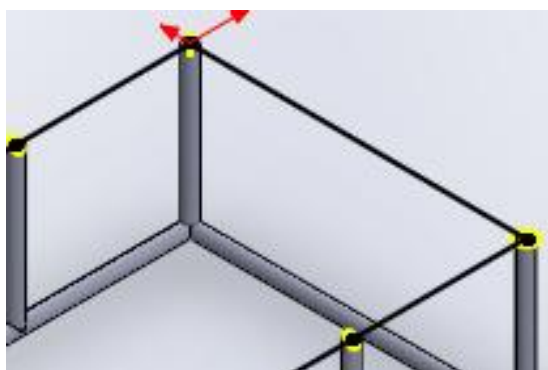
ergonomía, seguridad, durabilidad y peso, determinan el tipo de bastidor que compensen todas las exigencias del proyecto por ello el bastidor tubular es el más viable de utilizar según el análisis realizado con acero estructural A36.

Se realiza el boceto de la parte inferior del bastidor por medio de líneas correctamente unidas entre sí para evitar conflictos en el programa, como se puede apreciar en la Figura 31.

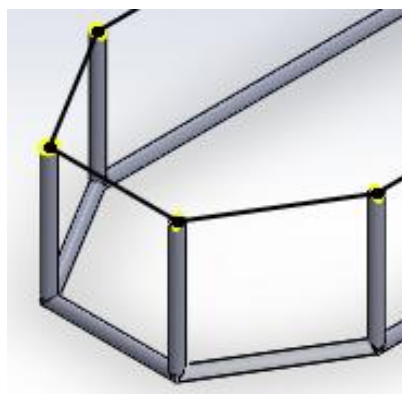


**Figura 31 Base del bastidor (superior)**

La caja delantera y posterior se la va realizando por planos, para poder realizar el barrido de los elementos como se puede apreciar en la Figura 32 y 33 donde se encuentra el boceto superior de cada caja.

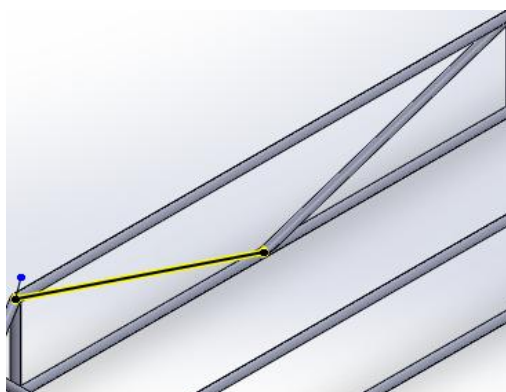


**Figura 32 Boceto superior caja posterior**



**Figura 33 Boceto superior caja delantera**

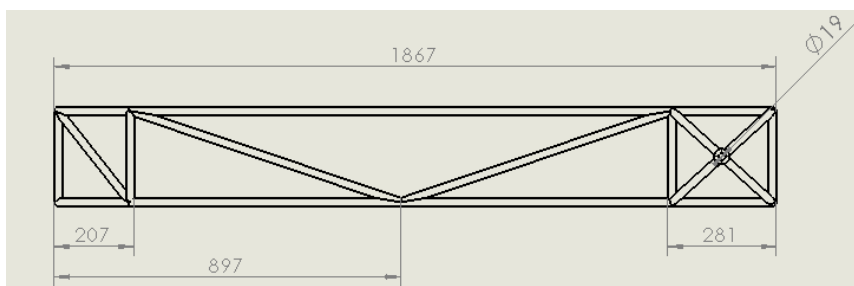
Los laterales se los realiza mediante la elaboración de un boceto, que viene a ser la caja central donde se encontraran parte de los asientos y el sistema de transmisión, este proceso se puede observar en la Figura 34.



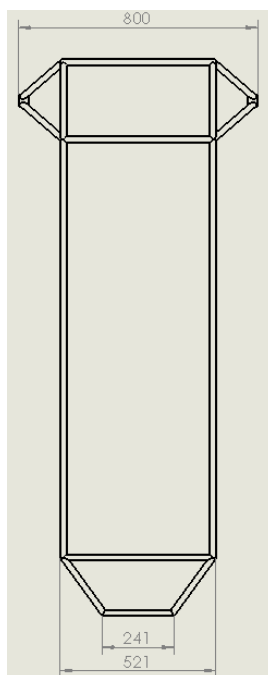
**Figura 34 Boceto laterales y espaldar**



Una vez diseñado todo el bastidor (ver Anexo B) del cuatriciclo se puede terminar las dimensiones finales son el largo total es de 1867 mm, el ancho es de 800 mm.



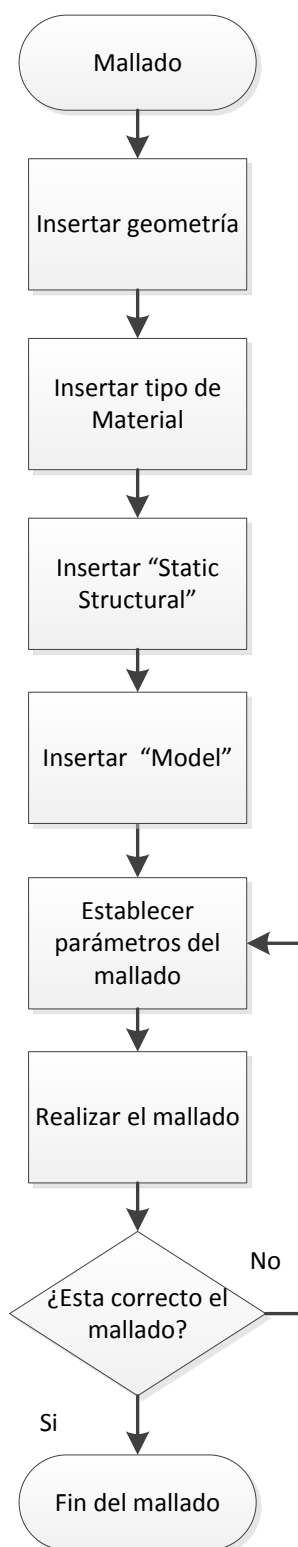
**Figura 35 Esquema del largo y altura del bastidor**



**Figura 36 Esquema ancho del bastidor**

### 3.2. Mallado

El uso del mallado en el diseño del cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física permite obtener una aproximación de una solución numérica de determinadas ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del diseño.



**Figura 37** Flujograma del mallado

En cada cara del diseño se presenta una serie de puntos representativos llamados "nodos". Los nodos que pertenecen a un mismo elemento finito se

denominan “nodos adyacentes”. La unión de varios nodos adyacentes se denomina malla.

Los cálculos de las ecuaciones diferenciales mencionadas anteriormente se las realiza sobre la malla, la cual se genera en diferentes programas computacionales (software del diseño mecánico), para el proyecto se empleó el programa ANSYS.

Una vez hecho el diseño de la estructura en un software CAD (computer-aided design), siguiendo diferentes criterios de ingeniería para una mejor distribución de cargas, se abre el “Workbench”, que es la ventana principal del programa para empezar a realizar cualquier tipo de análisis, para el proyecto se utiliza el “Static Structural” el cual se encuentra en una lista al costado izquierdo de la ventana generalmente en “Analysis System”, ya que se va a realizar un análisis estático de cargas distribuidas y puntuales en todo el diseño del proyecto.

Se toma de “Component System”, se desplaza la geometría (geometry) a la parte principal de la ventana del “Workbench”, es donde se va a cargar el diseño hecho en el software CAD, a continuación el “Engineering Data” y se lo desplaza por debajo del “Geometry”, en esta opción se seleccionan los materiales con los que el diseño se realizó, para el proyecto se utiliza tubos de acero estructural ASTM A 36.

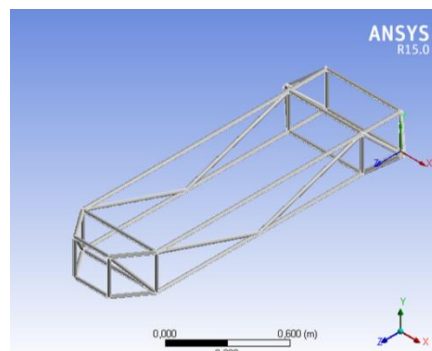
Por último se desplaza el “Static Structural” al costado derecho de la geometría. Una vez colocado el “Static Structural” se despliega la lista de acciones que se va a realizar en el análisis, se le da clic en “Model”, se despliega otra ventana en donde se observa el modelado del proyecto.

Para poder generar el mallado se realiza el ingreso de varios datos en el programa que son requisitos fundamentales para un correcto mallado.

Al costado superior izquierdo se da clic en “Mesh”, se despliega una lista en la parte de inferior denominado Details Mesh. En Sizing (dimensionamiento) se coloca las características que se desee para la malla, como por ejemplo una malla gruesa, mediana o fina, una malla suave o más espesa, la distancia entre nodos, etc.

Una vez colocado los datos que el programa requiere para la generación de la malla, se da clic en “Update” en la barra de herramientas llamada “Mesh”, y el programa automáticamente empieza a generar la malla en el diseño, cabe recalcar que este proceso tarda varios minutos, porque depende de la complejidad del diseño, del número de partes, numero de aristas, etc.

Si el diseño está correctamente dibujado en el software CAD, los datos están correctamente ingresados, se genera la malla en todo el diseño como se muestra en la Figura 38.



**Figura 38 Mallado en software ANSYS**

Si el software no es capaz de generar el mallado en el diseño, se debe a diferentes situaciones por ejemplo, el diseño realizado en el software CAD posee errores de construcción, es muy común este error al no poder generar la malla, debido a que en el diseño se presentan aristas vivas en las terminaciones geométricas, otra de las razones es que al momento de realizar un barrido de corte para realizar el tubo, el croquis de la circunferencia no está en un plano perpendicular a la trayectoria del barrido

de corte, produciendo al final de la operación un corte con un ángulo donde se producen aristas vivas internas en el tubo.

Es muy difícil eliminar todas las aristas vivas de un diseño tridimensional, pero una solución a este problema es modificar el diseño hasta que las aristas sean lo más diminutas posibles, para que se puedan generar los nodos y por lo tanto el mallado.

Mientras más fina sea la malla más exactos van a ser los datos obtenidos al término del análisis, pero para que esto sea posible, el diseño en el software CAD no debe tener errores de construcción.

### 3.3. Inserción de cargas

Para realizar el análisis del bastidor se debe determinar el tipo de cargas al que va a ser sometido el bastidor, las dimensiones y pesos exactos se determinaran al finalizar la construcción por tanto estos valores son aproximados, a continuación se detallan las cargas estimadas para el diseño.

Las cargas muertas son el peso total del bastidor en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y accesorios establecidos para la estructura tubular.

**Tabla 17**  
**Detalle de cargas muertas**

Cargas muertas en el bastidor	Masa (Kg)
<b>Motor eléctrico</b>	7
<b>Baterías</b>	3
<b>Conjunto transmisión</b>	10
<b>Asientos</b>	10
<b>Estructura</b>	13
<b>TOTAL</b>	43

Las cargas son puntuales es decir que se ejercerán en puntos fijos para simular los pesos reales.

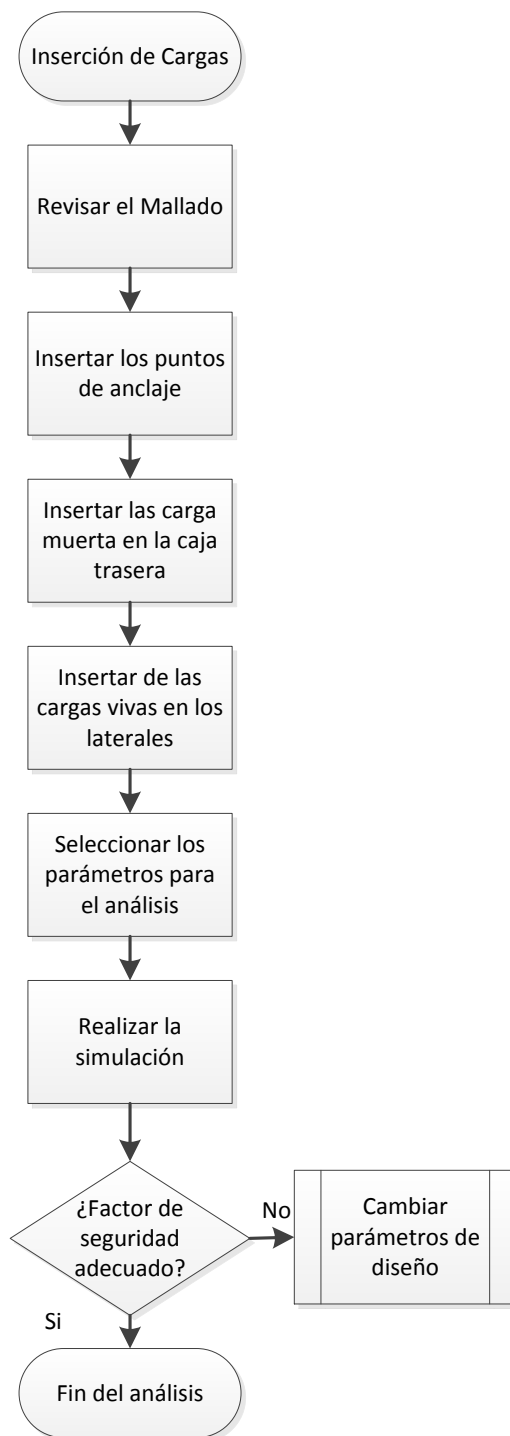
Las cargas vivas se consideran a los ocupantes; Para ello se estima el peso promedio de una persona (percentil 95%), cuyo peso es de 75 Kg, considerando que la carga es distribuida.

**Tabla 18**  
**Cargas vivas**

Cargas	Masa (Kg)	Tipo de carga
Ocupantes (2)	150	Distribuida

#### Cargas estáticas

Existen dos tipos de cargas estáticas en el diseño de un bastidor, la carga viva (CV) y la carga muerta (CM).

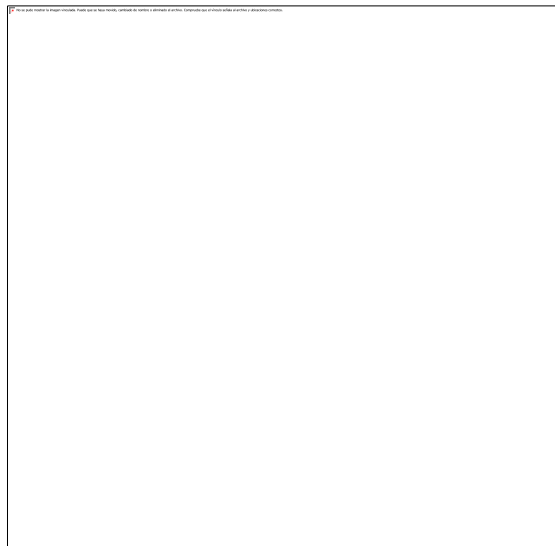


**Figura 39** Flujograma de Inserción de cargas

Para realizar la inserción de cargas el mallado del diseño debe estar correcto para evitar problemas en el análisis final y los datos sean confiables.

Los puntos de anclaje son muy importantes para el análisis del diseño, estos son el contacto que va a existir entre el vehículo y la calzada, estos puntos están colocados en el lugar donde irán las cuatro ruedas del cuatriciclo.

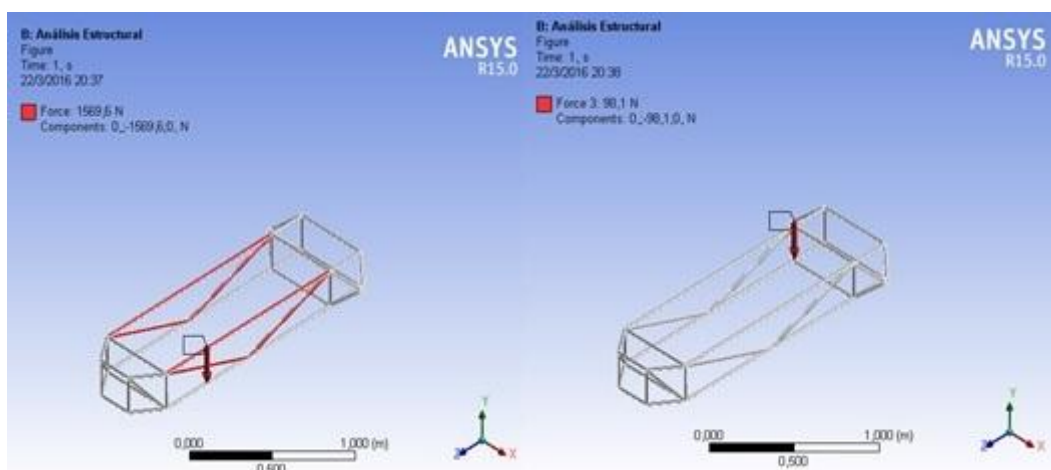
Para realizar la simulación se va a tomar en cuenta una carga puntual de 981 N en la parte posterior y lateral del bastidor simulando la máxima carga, en la Figura 40 se puede apreciar la fuerza aplicada y como es distribuida por la estructura.



**Figura 40 Fuerza total aplicada caja posterior**

Una segunda carga en la parte delantera donde se encuentran los asientos y el peso de los ocupantes, la fuerza aplicada es de 1569,60 N en cada lado además la carga del sistema de transmisión que es de 98,1 N como se muestra en la Figura 41.





**Figura 41 Inserción de cargas vivas**

Los parámetros se los inserta según el tipo de análisis a realizar y la minuciosidad con la cual se requiera realizar la simulación de cargas en el diseño, podemos apreciar los datos a ingresar en la Tabla 19.

**Tabla 19**  
**Parámetros para simulación**

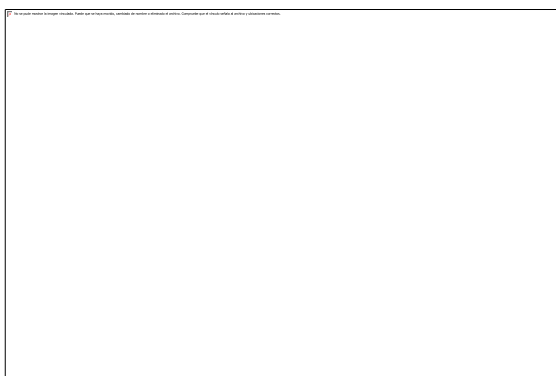
Details of "Analysis Settings"	
<input type="checkbox"/> <b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Nu...	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Steppi...	Program Controlled

Los parámetros para el análisis de diseño requerido se pueden seleccionar dentro del software ANSYS en la parte superior de la pantalla del mismo; los cuales pueden ser: deformación, fatiga, energía, etc.

Factor de seguridad.

La estructura es sometida al análisis de carga por elementos finitos dando como resultado que la zona crítica se encuentra en la parte posterior donde va ubicado el sistema de transmisión y motor, sin embargo el factor de

seguridad mínimo es de 2.1054 por lo que se concluye que el diseño es seguro.



**Figura 42 Distribución del factor de seguridad en la estructura**

#### 3.4. Tablas de resultados

En la Tabla 20 se muestra las dimensiones del bastidor conjuntamente con su volumen y masa, son datos generales sobre el objeto a analizar.

**Tabla 20**  
**Membrete del análisis**

Nombre del objeto	Geometría
Estado	Completamente definido
<b>Caja límite</b>	
Longitud X	0,8 m
Longitud Y	0,255m
Longitud Z	1,867m
<b>Propiedades</b>	
Volumen	1,621Xe-003 m <sup>3</sup>
Masa	12,725 kg

En la Tabla 21 se muestra el factor de seguridad mínimo que es de 2,1054 en un estado resuelto es decir que la estructura es segura, sin encontrar puntos de fractura.

**Tabla 21**  
**Factor de seguridad**

Nombre del Objeto	Factor de seguridad
<b>Estado</b>	Resuelto
Resultados	
<b>Mínimo</b>	2,1054

El límite de compresión elástico, es someter a un cuerpo a fuerzas opuestas de tal forma que lo comprimen sin llegar a deformarlo de forma permanente, es decir este cuerpo se puede recuperar a su forma inicial; dicho parámetro se obtuvo en el análisis de Ansys, cuyo resultado se observa en la Tabla 22.

**Tabla 22**  
**Límite de compresión elástico**

Resistencia de fluencia a la compresión (Pa)
<b>2,5e+008</b>

En la Tabla 23 se determinó el límite máximo a la tensión elástica es decir el esfuerzo interno que experimenta el cuerpo por una unidad de superficie tomando en cuenta que esta no sobrepasa su límite a deformarse definitivamente.

**Tabla 23**  
**Límite máximo de tensión elástica**

<b>Esfuerzo máximo de tensión (Pa)</b>
<b>4,6e+008</b>

En la Tabla 24 se obtuvo la resistencia a la tracción por las fuerzas que son aplicadas en la estructura provocando que sufra cierta deformación sin sobrepasar su límite elástico

**Tabla 24**  
**Resistencia a la tracción**

<b>Resistencia a la Tracción (Pa)</b>
<b>2,5e+008</b>

En la Tabla 25 se muestra la elasticidad Isotrópica que es el comportamiento del material al ser aplicado cargas y descargas sin llegar a deformarse y conservando su forma y propiedades originales.

**Tabla 25**  
**Elasticidad isotrópica**

<b>Módulo de Young (Pa)</b>
<b>2,0e+011</b>

De acuerdo a los datos obtenidos se ha concluido factible realizar la construcción del bastidor, tomando en cuenta las normas de seguridad que esto requiere, en el Anexo C se puede obtener el informe completo y más detallado del análisis realizado en ANSYS realizado al diseño del bastidor del cuatriciclo biplaza.

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y ACOPLÉ DEL MOTOR

Para realizar una correcta construcción del bastidor y acople de los sistemas que conforman el cuatriciclo, el proceso debe ser controlado y programado para evitar pérdida de tiempo en la Figura 44 se detalla el proceso de forma detallada.

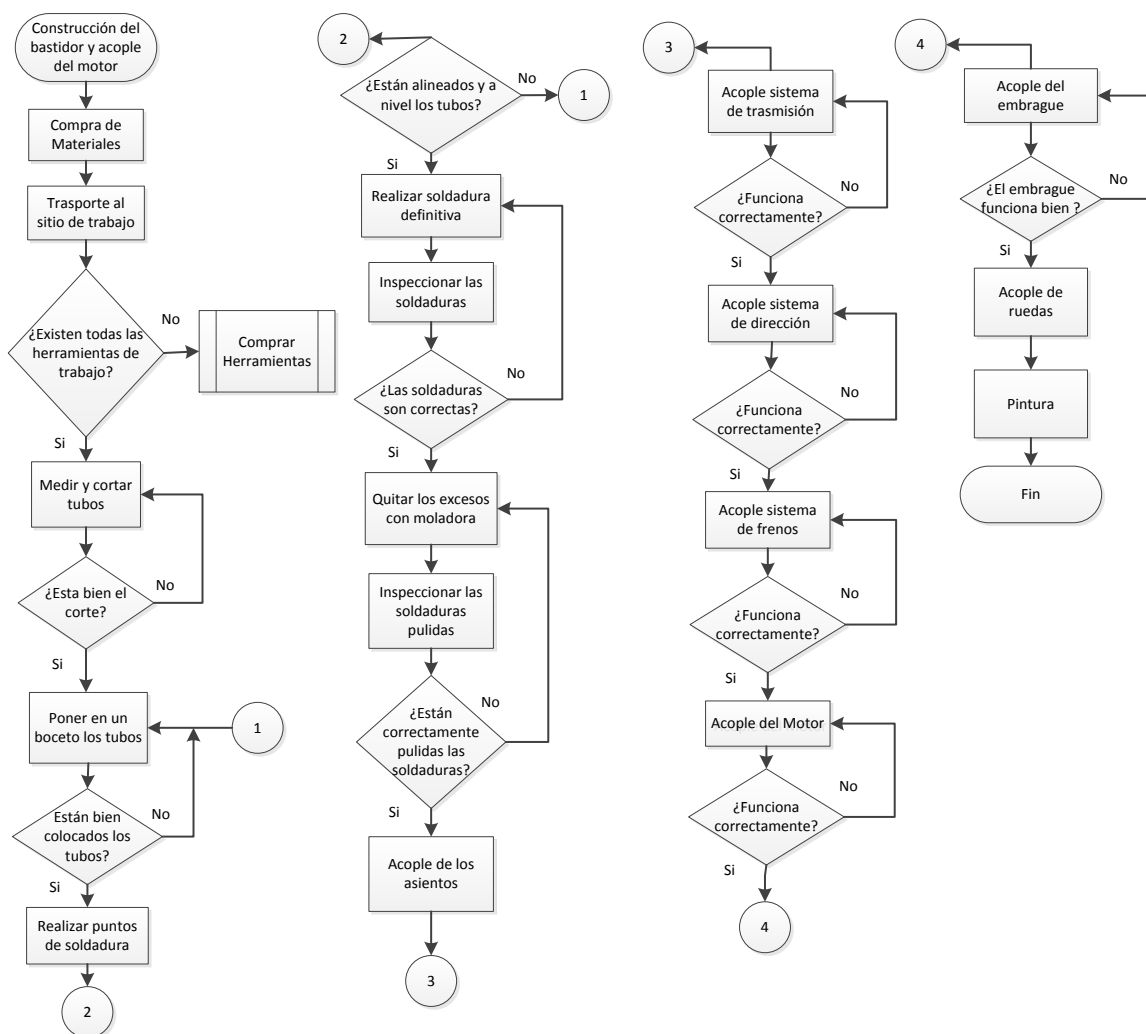


Figura 43 Proceso de construcción y acople del motor

#### 4.1. Ensamble del bastidor.

Para la construcción se ha planificado cada uno de los pasos a seguir para que no existan fallos en el proceso y optimizar al máximo el tiempo de fabricación y ensamblaje de todos los elementos que conformen el cuatriciclo.

El trazado se realiza con la medición de los soportes principales de forma exacta con la ayuda de un flexómetro y señalando cuidadosamente cada uno de los tubos para posteriormente realizar los cortes como se aprecia en la Figura 45



**Figura 44** Medición de los tubos

En la Figura 46 se utiliza una tronzadora o mejor conocida como cortadora de tubos, se la utiliza especialmente para cortes rectos o a su vez cortes con un ángulo de inclinación según sea la necesidad.



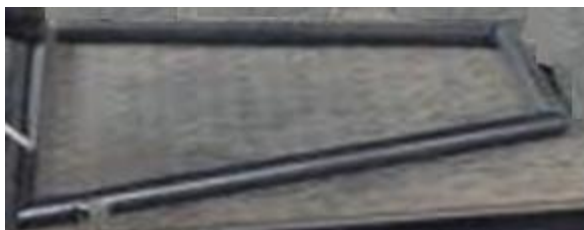
**Figura 45 Corte de los tubos**

El corte de los tubos va en conjunto con la preparación de los mismos para poder soldarlos, para realizar la unión directa entre los perfiles circulares el corte debe ser perfilado de tal forma que se acoplen entre sí para unirlos, esta técnica es también conocida como “silla de montar” como se aprecia en la Figura 47.



**Figura 46 Unión entre tubos con perfil de “silla de montar”**

Para el armado se realiza un boceto sobrepuesto con todos los tubos cortados, de esta manera se puede examinar cómo va a quedar la estructura y corregir posibles fallas en los cortes para lograr que todos los tubos estén con las inclinaciones correctas como se muestra en la Figura 48.



**Figura 47 Boceto parte delantera inferior**

En la Figura 49 se puede observar la caja delantera ya punteada y los laterales sobrepuestos en el para corregir posibles fallas.



**Figura 48 Parte delantera del bastidor**

Al boceto correctamente colocado se realiza pequeños puntos de uniones, con el fin de obtener una unión preliminar de los tubos para evitar que se muevan sobre todo los que tienen inclinaciones, obteniendo una sujeción previa a la soldadura definitiva, se ha seleccionado la soldadora MIG (Ver Figura 50) la cual utiliza un gas inerte para formar una atmosfera protectora y un cable el cual se funde conjuntamente con el material a soldar.



**Figura 49 Soldadora MIG**



Este tipo de soldadora tiene varias ventajas como son facilidad al soldar, no produce escoria, mayor penetración, se puede soldar en cualquier posición entre otras, los puntos realizados deben ser los más sutiles posibles, posteriormente formaran parte del cordón final de soldadura.



**Figura 50 Punteado parte posterior**

En la Figura 51 se puede observar que se realiza un pequeño punto de unión en las esquinas, como referencia para que no muevan y poder rectificar en caso que no se encuentren simétricos las uniones de los tubos.

#### 4.2. Soldadura del bastidor

La soldadura se realiza de adentro hacia afuera para evitar tensiones debido al calentamiento del material y del centro hacia los lados evitando que se produzcan deformaciones, las pasadas que se realice dependerá de la posición y movilidad de los elementos estructurales.



**Figura 51 Uniones parte delantera**

Básicamente se tiene cuatro posiciones para soldar en nudos de perfiles tubulares estructurales según el elemento que se desea unir.

La soldadura circular de  $360^\circ$  se la realiza hacia abajo es decir plana y alrededor de todo el tubo de forma seguida. La soldadura de  $180^\circ$  se la realiza en la parte superior de la primera mitad, después se gira y se culmina con el otro lado para terminar la soldadura.



**Figura 52 Unión en T con soldadura completa de  $180^\circ$**

Todas las soldaduras realizadas están sujetas a una inspección visual para verificar que la costura de soldadura este bien realizado y no exista exceso de material como se muestra en la Figura 55.



**Figura 53 Soldadura en las uniones**

Después de haber culminado con la inspección visual se procede a pulir las soldaduras con la ayuda de una moladora de mano para que estos bajen su contextura y posea una mejor estética.



**Figura 54 Pulido de las soldaduras**

La Figura 56 muestra los cordones de soldadura para que estos queden lo más uniformes posibles después de pulir, al momento de aplicar la pintura las soldaduras no se visualizarán a simple vista.



**Figura 55 Parte frontal**

Una vez que el bastidor este completamente soldado y retirado sus excesos como se muestra en la Figura 57, se procede a realizar el acople de los sistemas de transmisión, ruedas y frenos.



**Figura 56 Bastidor terminado**

**Tabla 26**  
**Hoja de procesos de construcción del bastidor**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON								
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:				BASTIDOR				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:				CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE				
FECHA:								
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS
		TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	
○	OPERACIONES	520	6	590	6	70	6	ESTUDIADO POR: Ivan Ortiz y Adriana Salinas
⇒	TRASPORTE	30	1	25	1	5	1	
□	INSPECCIONES	8	2	10	2	2	2	
D	RETRASOS	20	1	30	1	10	1	
▽	ALMACENAMIENTO		0		0		0	
		○	⇒	□	D	▽		
1	Adquisición de material							
2	Medición de tubos							
3	Corte de tubos							
4	Suelda de tubos							
5	Pulido							
6	Lijado de la estructura							
7	Pintura							

REVISADO POR: ING. EURO MENA - ING. HENRY IZA

### Ensamblaje de Sistemas

Se realiza un boceto en tamaño real donde se colocaran todos los tubos y bocines previamente cortados y devastados para realizar los brazos como se muestra en la Figura 58, donde se colocaran las ruedas con sus respectivas manzanas.



**Figura 57 Colocación de tubos en el boceto del brazo**

Se coloca los brazos en su posición con la ayuda de platinas, además el mismo procedimiento se realiza de manera repetitiva ocho veces para las cuatro ruedas que sostendrán al cuatriciclo, en la Figura 59 se muestra las platinas y el brazo inferior posterior colocado.



**Figura 58 Brazo inferior de la rueda posterior izquierda**

Se introducen las manzanas en el eje previamente cortado y realizado la rosca para que ingrese en las manzanas de las ruedas, para que estas se aseguren con el eje donde irán colocados los sistemas de transmisión y los frenos y posteriormente se aseguran por medio de prisioneros.



**Figura 59 Partes del eje**

En la Figura 61 se muestra la rueda colocada y ajustada en el eje posterior con los prisioneros



**Figura 60 Rueda posterior**

**Tabla 27  
Ensamblaje de la dirección**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD								
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:				DIRECCIÓN				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:				ENSAMBLAJE				
FECHA:								
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS
		TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	
○	OPERACIONES	420	4	460	4	40	4	ESTUDIADO POR: Ivan Ortiz y Adriana Salinas
⇒	TRASPORTE	30	1	25	1	5	1	
□	INSPECCIONES	10	1	20	1	20	1	
D	RETRASOS		0		0		0	
▽	ALMACENAMIENTO		0		0		0	
		○	⇒	□	D	▽		
1	Adquisición de material							
2	Traslado del material							
3	Medición de tubos							
4	Perforación							
5	Ensamblaje							
REVISADO POR: ING. EURO MENA - ING. HENRY IZA								

Una vez colocado en su posición el eje posterior con sus ruedas (Figura 61) procedemos a colocar el sistema de suspensión en la parte delantera como se muestra en la Figura 62 se colocan los amortiguadores por medio de soportes y platinas, posterior a ellos se colocaran las ruedas con la ayuda de road end y las manzanas delanteras.



Figura 61 Amortiguador

Tabla 28  
Ensamblaje de la suspensión

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON								
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:				SUSPENSIÓN				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:				ENSAMBLAJE				
FECHA:								
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS
		TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	
○	OPERACIONES	320	4	360	4	40	4	ESTUDIADO POR: Ivan Ortiz y Adriana Salinas
⇒	TRASPORTE	30	1	25	1	5	1	
□	INSPECCIONES		0		0		0	
D	RETRASOS		0		0		0	
▽	ALMACENAMIENTO		0		0		0	
		○	⇒	□	D	▽		
1	Adquisición de material							
2	Traslado del material							
3	Medición							
4	Perforación							
5	Ensamblaje							

REVISADO POR: ING. EURO MENA - ING. HENRY IZA



**Figura 62 Eje posterior**

Los elementos deben estar centrados y colocados correctamente, con la ayuda de dos chumaceras el eje tiene puntos de apoyo para evitar un posible pandeo.



**Figura 63 Soporte del eje lado izquierdo**

Los soportes laterales evitan que exista un pandeo en el eje de transmisión, las mismas que están soldadas al bastidor para evitar vibraciones con el mismo material tubo A-36.



Los discos de freno están colocados en su lugar posteriormente se coloca las mordazas con las pastillas de freno.



**Figura 64 Disco y mordaza**

Se colocan las mordazas y los cables de frenos conjuntamente con la manilla y pedal de freno.



**Figura 65 Pedal y manija**

**Tabla 29**  
**Ensamble de frenos**

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:		ENSAMBLAJE						
FECHA:		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS
		TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	
○	OPERACIONES	350	5	380	5	30	5	ESTUDIADO POR: Ivan Ortiz y Adriana Salinas
⇒	TRASPORTE	30	1	25	1	5	1	
□	INSPECCIONES	10	1	12	1	2	1	
D	RETRASOS		0		0		0	
▽	ALMACENAMIENTO		0		0		0	
		○	⇒	□	D	▽		
1	Adquisición de material							
2	Traslado de material							
3	Medición							
4	Perforación							
5	Montaje							
6	Regulacion							

REVISADO POR: ING. EURO MENA - ING. HENRY IZA

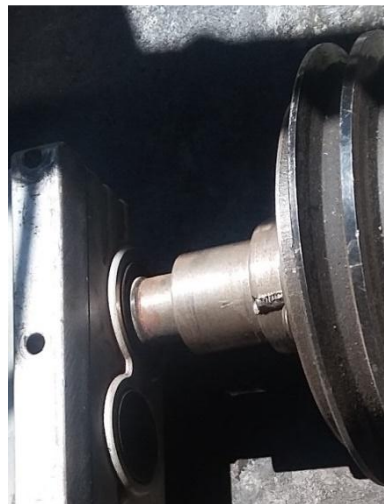
#### 4.3. Acople del motor

El cuatriciclo tiene asistencia eléctrica, el motor elegido es eléctrico sin escobillas, su accionamiento es por medio de un embrague electromagnético mostrado en el Figura 66.



**Figura 66 Embrague electromagnético**

Se realiza un eje para que el motor se acople al embrague, en el bastidor se fijan las bases del motor de forma segura como se muestra en la Figura 67.



**Figura 67 Eje del motor eléctrico de embrague**

En medio de los asientos se coloca la caja de accionamiento del motor y embrague, los botones de accionamiento son diferentes para cada uno de los elementos como se muestra en la Figura 68.



**Figura 68 Switch del motor y embrague**

Conexión de las baterías al motor y embrague por medio de cables N° 12 y bornes adecuados para cada terminal de las baterías, en las conexiones se deben respetar la polaridad de la corriente.



**Figura 69 Cableado de baterías motor**

**Tabla 30**  
**Ensamble parte eléctrico**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUATRICICLO BIPLAZA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD								
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:				SISTEMA ELÉCTRICO				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:				ENSAMBLAJE				
FECHA:								
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS
		TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	TIEMPO (min)	NUM	
○	OPERACIONES	30	4	45	4	15	4	ESTUDIADO POR: Ivan Ortiz y Adriana Salinas
⇒	TRASPORTE	30	1	25	1	5	1	
□	INSPECCIONES	10	2	13	2	3	2	
D	RETRASOS		0		0		0	
▽	ALMACENAMIENTO		0		0		0	
		○	⇒	□	D	▽		
1	Adquisición de material							
2	Traslado del material							
3	Empalmes							
4	Instalación de elementos							
5	Ensamblaje							

REVISADO POR: ING. EURO MENA - ING. HENRY IZA

Para proceso de preparación y pintado de la estructura se limpia la estructura de forma manual o mecánica como establece la norma ISO 12944 considerada como una referencia mundial en la definición de sistemas de pintado para protección anticorrosiva de estructuras de acero (Ver Anexo E), considerando también el tipo de durabilidad de la pintura es media.



**Figura 70 Lijado de la estructura**

La pintura será aplicada con todas las normas de seguridad establecidas en el Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo, que establece los elementos de protección personal (EPP) como mascarilla, guantes, gafas, etc.

Para que el vehículo esté terminado se realiza en pintado al horno, tendrán un color negro luminoso uniforme (Ver Figura 71) después de lijar se limpiar toda la estructura para aplicar la pintura en polvo como se muestra en la Figura 72.



**Figura 71 Limpieza de la estructura**



**Figura 72 Aplicación de pintura en polvo**

El pintado se tiene que realizar en un horno a 200 °C la estructura como las partes (Ver Figura 74).



**Figura 73 Pintura al horno**

Acabado final tiene un acabado granulado y el secado no es superior a 30 minutos.



**Figura 74 Pintura final**

#### 4.4. Pruebas

Las pruebas se realizaron a personas con y sin discapacidad física, que manejaron el vehículo dentro de la ciudad de Latacunga en asfalto, el sitio elegido para esta actividad fue en la planada de la tribuna por su poca afluencia de tráfico, la partida fue desde el rey moro ubicado en la Av. Trajano Naranjo y Calle Santiago Zamora hasta el Colegio Luis Fernando Ruiz ubicado en la Av. Trajano Naranjo y Av. 11 de Noviembre la ruta termina cuando el cuatriciclo regrese al punto de partida.

La hoja de satisfacción tiene puntos fundamentales como son seguridad y confort al momento de conducir el vehículo, además datos básicos que deben llenar las personas que realizaron las pruebas y al final existe un espacio para realizar observaciones.

Las pruebas realizadas a personas con y sin discapacidad física en los predios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y posteriormente nos trasladamos a los exteriores del Coliseo Mayor.



**Figura 75 Persona con discapacidad brazo izquierdo**





**Figura 76 Tracción con las manos**

En el Anexo D se puede apreciar las hojas llenadas por las personas que colaboraron en la evaluación del proyecto.

Nombres y Apellidos:			
Edad:		Número de Cédula	
Discapacidad en extremidades:	Superiores <input type="checkbox"/>	Inferiores <input type="checkbox"/>	Ninguna <input type="checkbox"/>

1. En general como le parece a Ud. el diseño del cuatriciclo
  - Excelente
  - Bueno
  - Regular
  - Malo
2. Se siente cómodo al manejar
  - Si
  - No
3. Cree Ud. que el vehículo es seguro
  - Si
  - No
4. Como siente Ud. la dirección
  - Suave
  - Dura
5. Como consideraría el sistema de frenos
  - Excelente
  - Bueno
  - Regular
  - Malo

6. Considera que el cuatriciclo es estable

- Si
- No

7. Piensa Ud. que el cuatriciclo es ergonómico.

- Si
- No

8. Observaciones

-----  
 -----  
 -----

#### 4.5. Presupuesto

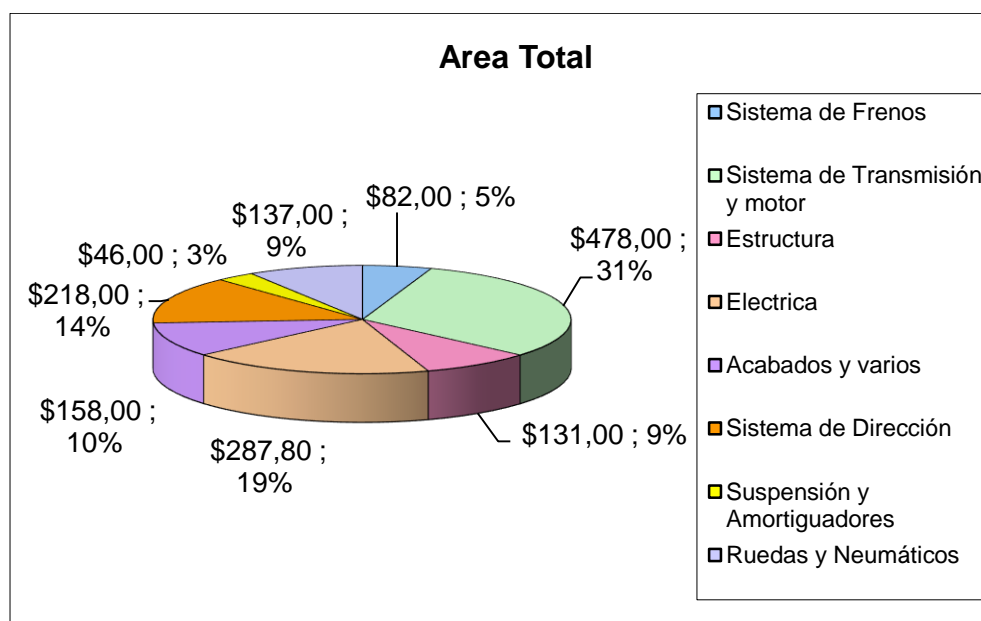
La inversión realizada para el desarrollo del presente proyecto se muestra en la Tabla 31 donde se detalla los costos de cada sistema así como el tiempo real que tomo en ensamblar y/o manufacturar los elementos al bastidor.

**Tabla 31**  
**Costos totales**

Sistemas	Sub-Total	Trabajo para el ensamblaje del vehículo	Total
Sistema de Frenos	\$ 82,00	0,40	\$ 82,00
Sistema de Transmisión y motor	\$ 478,00	0,65	\$ 478,00
Estructura	\$ 131,00	1,78	\$ 131,00
Eléctrica	\$ 259,80	0,77	\$ 259,80
Acabados y varios	\$ 158,00	1,10	\$ 158,00
Sistema de Dirección	\$ 218,00	0,90	\$ 218,00
Suspensión y Amortiguadores	\$ 46,00	0,45	\$ 46,00
Ruedas y Neumáticos	\$ 137,00	0,25	\$ 137,00
<b>Total del Vehículo</b>	<b>\$ 1.509,80</b>	<b>\$ 6,30</b>	<b>\$ 1.509,80</b>

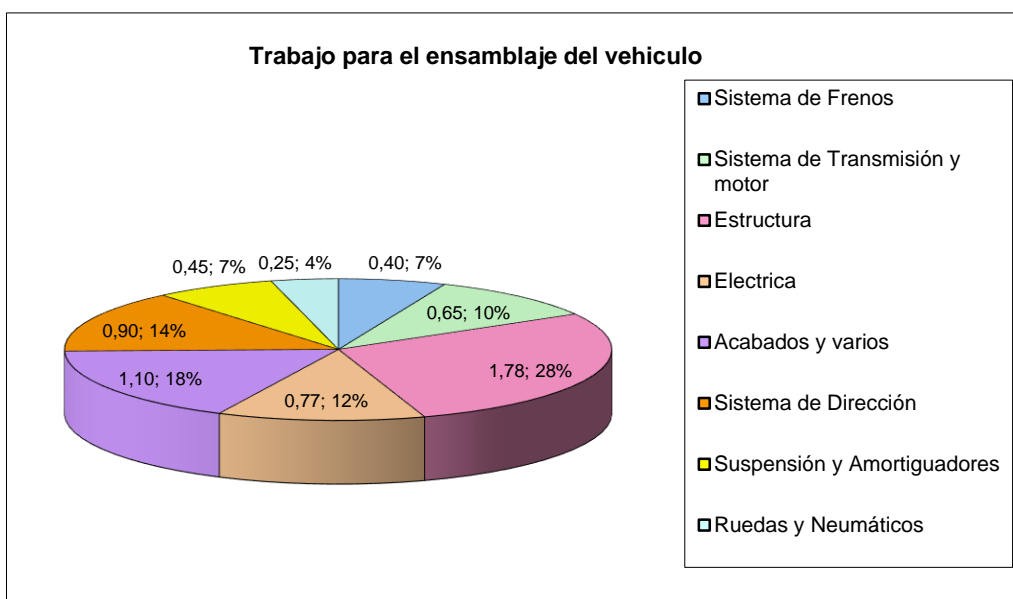
En la Figura 75 se muestra de manera gráfica los costos generales realizados para la fabricación del cuatriciclo, los gastos en porcentajes con

sus respectivas descripciones que se muestra cual es el sistema que necesita mayor inversión financiera.



**Figura 77 Gráfica de costos totales**

En la Figura 76 se muestra la inversión en tiempo realizada para cumplir con los trabajos de ensamblaje y manufactura del bastidor y los sistemas que conforman el cuatriciclo, además que tener una idea más clara el tiempo que demora en la construcción del cuatriciclo.



**Figura 78 Gráfica de trabajos de ensamblaje**

El financiamiento para la construcción es asumido en su totalidad por parte de los autores de este proyecto.

En el presupuesto se encuentran elementos que se ha reutilizado de bicicletas en mal estado las cuales no se ha perdido en su totalidad, parte de ellas han sido me de mucha utilidad para realizar el cuatriciclo, el BOM donde se encuentra el presupuesto detallado de cada sistema se encuentra en el Anexo F tomando en cuenta los elementos compradas y manufacturados.

## CONCLUSIONES

- Es factible diseñar y construir un bastidor seguro con materiales de producción nacional para personas con discapacidad física, por medio de programas que ayudan a diseñar y analizar las cargas que va a soportar para su posterior construcción.
- Se determinó los requerimientos para el diseño y construcción del bastidor de tipo tubular, constituido por tubos de acero estructural ASTM A36 para el cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física, adoptando la configuración en triángulo, debido a que dicha configuración disipa de mejor manera los esfuerzos de tracción máxima  $2,5 \times 10^2$  MPa, compresión máxima  $2,5 \times 10^2$  MPa y tensión máxima  $4,6 \times 10^2$  MPa, generados por las cargas aplicadas al bastidor tubular.
- Para el cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física se eligió la tracción mecánica por medio de cadenas, el proyecto está destinado a personas que posean o no sus extremidades superiores o inferiores, de esta forma ayuda a incentivar la actividad física en personas con discapacidad, la asistencia electrónica se la realiza por parte de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas de 1 HP.
- Las personas con discapacidad física podrán realizar actividades recreacionales logrando así mejorar su estilo de vida, las seguridades que posee el cuatriciclo como cinturón de seguridad están orientadas para que la persona sin discapacidad que sirve de acompañante ponga en práctica antes y durante la conducción.
- Se diseñó el cuatriciclo biplaza para personas con discapacidad física usando criterios de ingeniería, obteniendo un factor de seguridad mínimo de 2,1054; por lo tanto el diseño es válido.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar manufactura local para realizar la construcción de elementos que no existen en el mercado.
- No sobrepasar los 25 km/h debido al diseño del proyecto.
- Realizar un mantenimiento constante de las partes móviles del cuatriciclo principalmente la regulación de frenos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, I. F., Vera, A. C., & Diaz, L. V. (2001). *Teoría de los Vehículos Automoviles*. Madrid, España: ETS.
- Becelli Sandoval, J. A. (06 de Agosto de 2014). " *DISEÑO DE ETAPA DE POTENCIA Y CONTROL PARA UN MOTOR BRUSHLESS DE CD CON FRENADO REGENERATIVO APLICADO A UN MOTO DEPORTIVA ELECTRICA* ". Recuperado el 23 de Julio de 2015
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). Deflexión debida a flexión. En R. Budynas, & K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (pág. 144). México D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A.
- Cascajosa, M. (2005). Localización del Centro de gravedad. En M. Cascajosa, *Ingeniería de vehículos sistemas y cálculos* (págs. 41-43). México D.F.: Alfaomega.
- Jacques, H. (2011). Rigidez. En H. Jacques, *Teoría básica de estructuras* (pág. 70). Madrid: EFCA S.A.
- Jimbo, J. E. (01 de Febrero de 2015). CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ELÉCTRICO DE CORRIENTE CONTINUA SIN ESCOBILLAS BRUSHLESS CON 100 WATTS DE POTENCIA. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Luque, P., Alvarez, D., & Vera, C. (2008). En P. Luque, D. Alvarez, & C. Vera, *INGENIERÍA DEL AUTOMÓVIL* (págs. 238-242). MADRID: THOMSON.

## NETGRAFÍA

3D CAD Portal. (s.f.). *3D CAD Portal*. Recuperado el 27 de 03 de 2015, de 3D CAD Portal: <http://www.3dcadportal.com/3d-software/3d-software/>

*Aceros y sus clasificaciones*. (30 de Julio de 2009). Recuperado el 15 de Diciembre de 2015, de [http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020119025/1020119025\\_02.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020119025/1020119025_02.pdf)

*Adaptación de un vehículo monovolumen*. (15 de Julio de 2015). Recuperado el 23 de Octubre de 2015, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4396/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aficionados a la Mecánica. (01 de Enero de 2014). *Aficionados a la Mecánica*. Recuperado el 16 de Febrero de 2015, de Aficionados a la Mecánica: <http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion.htm>

Afridi, F. (03 de Noviembre de 2014). *OBTÉN EN PC*. Recuperado el 02 de Junio de 2015, de OBTÉN EN PC: <http://getintopc.com/software/3d-cad/solidworks-premium-2014-free-download/>

ANSYS. (s.f.). Recuperado el 06 de Septiembre de 2015, de ANSYS: <http://www.ansys.com/>

*BICI BLOG*. (09 de 12 de 2009). Recuperado el 02 de 02 de 2015, de BICI BLOG : <http://biciblog.com/otros/la-direccion-tipos-y-medidas/>

CAE Associates Inc. (s.f.). *CAE ASSOCIATES*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de <https://caeai.com/ansys-software-support/ansys-software/mechanical-simulation-software>

*CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PARA MANUFACTURA*. (13 de 08 de 2010). Obtenido de CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PARA MANUFACTURA: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-17.pdf>

F. Aparcio Izquierdo, C. V. (2001). *Teoría de vehículos automoviles*. Madrid: E.T.S.

FIERROS CLÁSICOS. (27 de Febrero de 2015). *FIERROS CLÁSICOS*. Recuperado el 15 de Octubre de 2015, de FIERROS CLÁSICOS: <http://www.fierrosclasicos.com/diferencias-entre-la-direccion-hidraulica-y-asistida/>

*FINNCHAIN*. (s.f.). Recuperado el 12 de Junio de 2015, de FINNCHAIN: <http://finnchain.fi/mecanismos-de-traccion-675.html>

ForoCocheS. (04 de Mayo de 2010). *ForoCocheS.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de ForoCocheS.com: <http://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=1676980&page=3>



- happyciclista*. (01 de Enero de 2013). Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de happyciclista: <http://happyciclistas.cl/el-freno/>
- INGENECÁNICA*. (19 de Diciembre de 2015). Recuperado el 16 de Noviembre de 2015, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html#seccion34>
- Kelly, P. (s.f.). *Free-energy*. Recuperado el 16 de Junio de 2015, de Free-energy: <http://www.free-energy-info.tuks.nl/Chapter1SA.pdf>
- Kindler, H., & Kynast, H. (1986). Velocidad del vehículo en las distintas marchas. En H. Kindler, & H. Kynast, *Matemática aplicada para la técnica del automóvil* (pág. 192). Barcelona: REVERTÉ S.A.
- lainformacion.com*. (08 de Junio de 2015). Recuperado el 22 de Mayo de 2015, de lainformacion.com: [http://noticias.lainformacion.com/salud/enfermedades/la-actividad-fisica-mejora-la-calidad-de-vida-y-aumenta-la-autoestima-de-las-personas-con-discapacidad\\_eCakbNQM7Wwc3rFQeVe235/](http://noticias.lainformacion.com/salud/enfermedades/la-actividad-fisica-mejora-la-calidad-de-vida-y-aumenta-la-autoestima-de-las-personas-con-discapacidad_eCakbNQM7Wwc3rFQeVe235/)
- Márquez, C. (11 de Julio de 2015). *El Comercio*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2015, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/tendencias/movilidad-tecnologia-personas-discapacidad-ecuador.html>
- Martinez, D., & Sacavini, C. (01 de Enero de 2005). *INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL*. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL: [http://www.inti.gov.ar/mecanica/pdf/sistemas\\_freno.pdf](http://www.inti.gov.ar/mecanica/pdf/sistemas_freno.pdf)
- MAXIHOBBY*. (s.f.). Recuperado el 06 de Octubre de 2015, de MAXIHOBBY: [http://www.maxihobby.com/cuatriciclos-pedales-c-161\\_633.html](http://www.maxihobby.com/cuatriciclos-pedales-c-161_633.html)
- mcgraw. (s.f.). *mcgraw*. Recuperado el 02 de Febrero de 2015, de mcgraw: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- Megacam. (20 de Noviembre de 2010). *Comunidad Industrial*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2015, de Comunidad Industrial: <http://www.comunidadindustrial.com/viewtopic.php?t=12214&p=16889>
- MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL*. (05 de Julio de 2013). Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL: <http://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/Modelo-de-Atenci%C3%B3n-de-Discapacidades.pdf>
- MUY, M., OCHOA, G., SANTIAGO, Q., & ROMOLEROUX, H. (27 de 07 de 2010). *REPOSITORIO DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. Obtenido de REPOSITORIO DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA : <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1189/16/UPS-CT001907.pdf>

- O.E.Piro. (05 de Febrero de 2014). *Notas sobre Física General: Resistencia a la rodadura*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de Notas sobre Física General: Resistencia a la rodadura:  
<http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisicageneralcn/Resistenciariodadura.pdf>
- PHIONE. (15 de Diciembre de 2015). Obtenido de  
<http://www.spanish.phione.co.uk/products/pipes/a-53>
- Public.Resource.Org. (s.f.). *Public.Resource.Org*. Recuperado el 27 de 03 de 2015, de Public.Resource.Org.: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/>
- Ruiz, J., & Siza, W. (01 de Julio de 2010). *Repositorio UTN*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2015, de Repositorio UTN:  
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2217/3/05TESIS893.pdf>
- SCRIBD. (s.f.). Recuperado el 08 de 08 de 2015, de  
<https://es.scribd.com/doc/49974227/CATALOGO-DIPAC>
- SIEMENS. (s.f.). *SIEMENS*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de  
[http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/cae.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cae.shtml)
- SlideShare. (12 de Noviembre de 2012). Recuperado el 17 de Octubre de 2015, de SlideShare: <http://es.slideshare.net/sofiaing82/estructuras-14270327>
- SRAM. (2013). *Descripción de los frenos hidráulicos*. Obtenido de  
<http://www.sram.com.cn>:  
[http://www.sram.com.cn/sites/default/files/techdocs/gen.0000000004363\\_rev\\_a\\_hydraulic\\_disc\\_brakes\\_overview\\_spanish.pdf](http://www.sram.com.cn/sites/default/files/techdocs/gen.0000000004363_rev_a_hydraulic_disc_brakes_overview_spanish.pdf)
- Tienda de Karts de Pedales. (s.f.). Recuperado el 15 de Junio de 2015, de Tienda de Karts de Pedales: <http://www.kartsdepedales.com/kart-de-pedales-clipper-f.html>
- TON-E POWER TABLE FEED. (s.f.). Recuperado el 16 de 06 de 2015, de TON-E POWER TABLE FEED: <http://www.tone-aiclass.com.tw/html/2014-e-motor.html>
- TRUM Handcycles. (2012). *TRUM Handcycles*. Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de TRUM Handcycles: <http://www.trum.cl/prensa.html>
- Tuveras. (s.f.). Recuperado el 16 de 06 de 2015, de Tuveras:  
<http://www.tuveras.com/maquinascc/motor/excitacionmotor.htm>
- UNAM. (29 de Septiembre de 2010). Recuperado el 19 de Mayo de 2015, de UNAM: [http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010\\_578.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_578.html)
- Uzcátegui, M. (30 de Abril de 2007). *Centro Nacional de Cálculo Científico Universidad de los Andes*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2015, de Centro Nacional de Cálculo Científico Universidad de los Andes:

[http://www.cecalc.ula.ve/documentacion/tutoriales/abaqus/introduccion\\_abaqus.pdf](http://www.cecalc.ula.ve/documentacion/tutoriales/abaqus/introduccion_abaqus.pdf)

Viñals, V. (s.f.). *El mussol*. Recuperado el 27 de 03 de 2015, de <https://elmussol.files.wordpress.com/2008/10/introduccion2.pdf>

CONADIS. (02 de Abril de 2015). Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de CONADIS: [http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/registro\\_nacional\\_discapacidades.pdf](http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/registro_nacional_discapacidades.pdf)

Continental. (24 de 11 de 2014). *TodoMountainBike*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2015, de TodoMountainBike: <http://www.todomountainbike.es/art/catalogo-continental-2015>

Dekoster, J., & Schollaert, U. (06 de Abril de 2002). *Ihobe En bici, hacia ciudades sin malos humos*. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de Ihobe En bici, hacia ciudades sin malos humos: <http://www.ihobe.eus/Publicaciones/Ficha.aspx?IdMenu=750e07f4-11a4-40da-840c-0590b91bc032&Cod=9008211C-FA90-4DF7-A072-AA566056C009&Idioma=es-ES>

*echumano*. (08 de Febrero de 2012). Recuperado el 28 de Mayo de 2015, de echumano: <http://echuamano.blogspot.com/2012/02/cuadriciclo-de-dos-plazas-foto-pepe.html>

*e-ducativa*. (s.f.). Recuperado el 16 de Junio de 2015, de e-ducativa: [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4933/html/462\\_motor\\_autoexcitacin\\_shunt.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4933/html/462_motor_autoexcitacin_shunt.html)

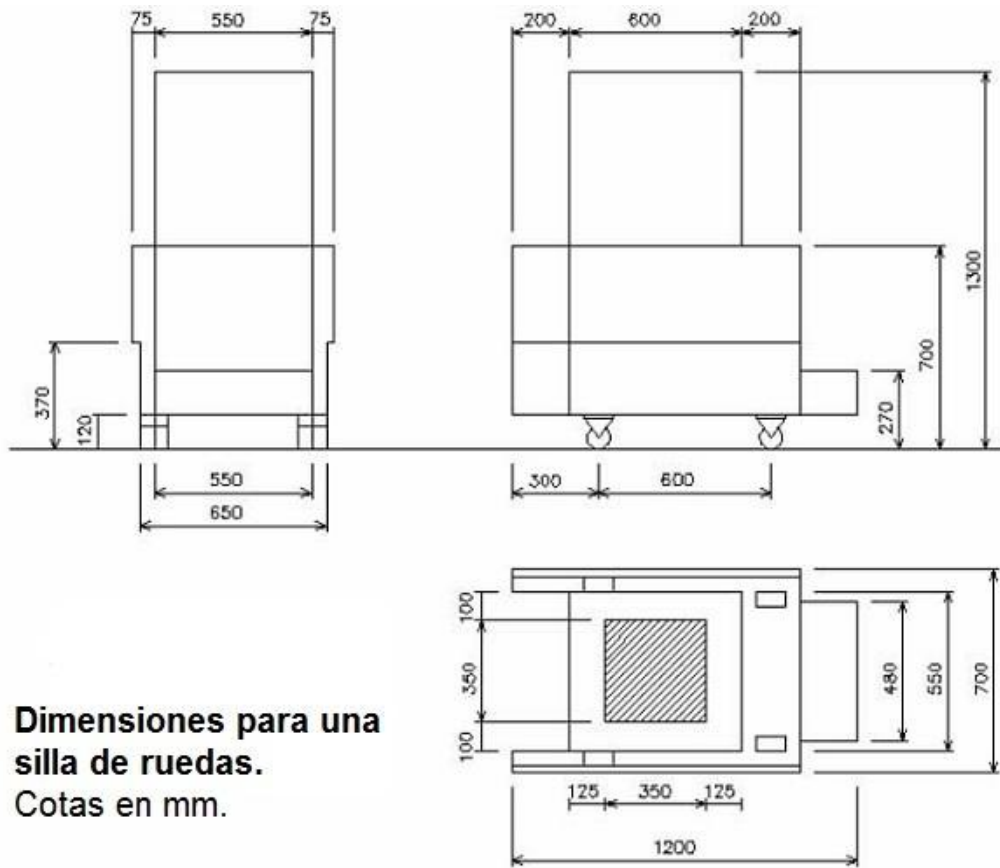
El blog de 3ike. (09 de Noviembre de 2010). *Con los pies por delante*. Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de Con los pies por delante: <https://3ikerecumbents.wordpress.com/2010/11/09/bicicletas-especiales-para-personas-con-movilidad-reducida-con-3ike/>

Espinoza, J. (01 de Febrero de 2013). *Reve*. Recuperado el 2015 de Junio de 02, de Revista Eólica y de Vehículos Eléctricos: <http://www.evwind.com/2013/02/01/baterias-de-litio-para-vehiculos-electricos-2/>

# ANEXOS

**ANEXO A**

**GÁLIBO DE LA SILLA DE RUEDAS**



**Dimensiones para una silla de ruedas.**  
Cotas en mm.

Fuente: (Adaptación de un vehículo monovolumen, 2015)

**ANEXO B**  
**PLANOS DEL BASTIDOR**

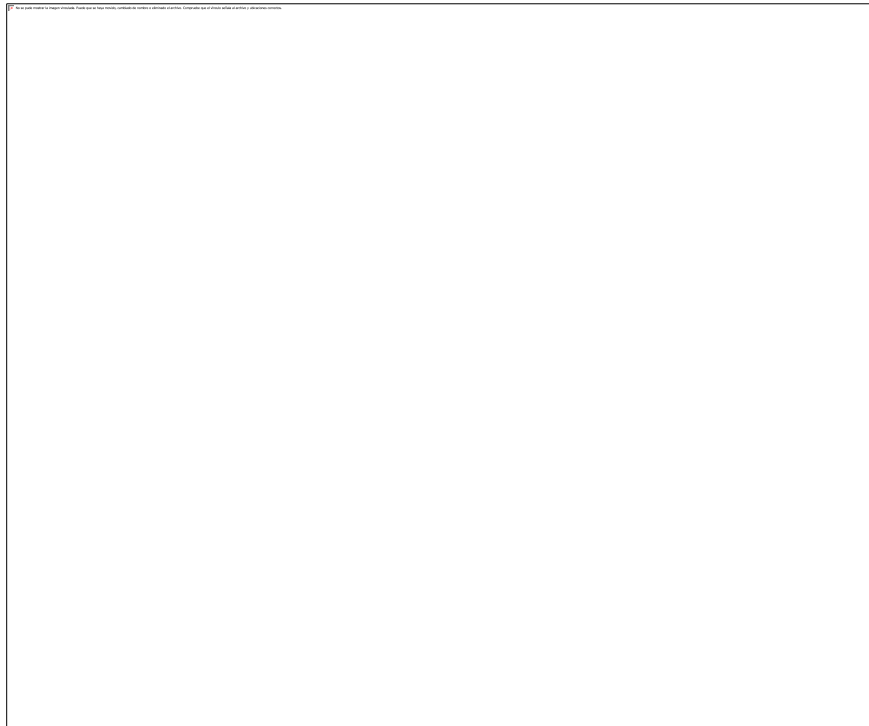
**ANEXO C**  
**ANÁLISIS DEL BASTIDOR EN**  
**ANSYS**





## Project

First Saved	Tuesday, March 22, 2016
Last Saved	Tuesday, March 22, 2016
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## Contents

- [Units](#)
- [Model \(B2\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Cuatriciclo](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
  - [Static Structural \(B3\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B4\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Stress Tool](#)
        - [Safety Factor](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (B2)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (B2) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\Jaime\Desktop\Diseño cuatriciclo\Análisis Cuatriciclo_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters

Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	0,8 m
Length Y	0,255m
Length Z	1,867m
<b>Properties</b>	
Volume	1,621e-003 m <sup>3</sup>
Mass	12,725 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	63972
Elements	33654
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No

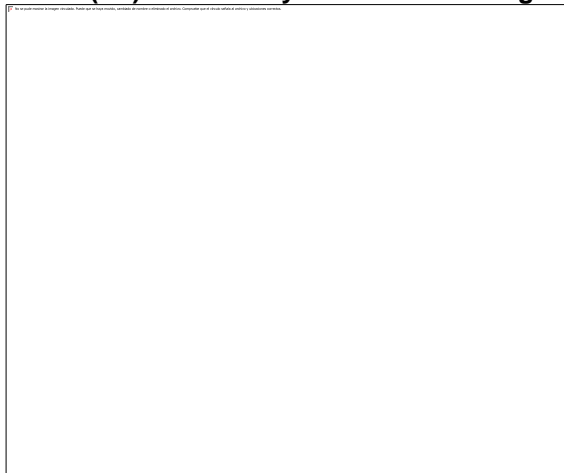
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Jaime\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B2) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Cuatriciclo</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	

Length X	0,8 m
Length Y	0,256 m
Length Z	1,8672 m
<b>Properties</b>	
Volume	1,621e-003 m <sup>3</sup>
Mass	12,725 kg
Centroid X	-0,25041 m
Centroid Y	0,11734 m
Centroid Z	0,85689 m
Moment of Inertia Ip1	5,4391 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	6,0097 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	0,82262 kg·m <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	63972
Elements	33654
Mesh Metric	None

**FIGURE 1**  
**Model (B2) > Geometry > Cuatriciclo > Figure**

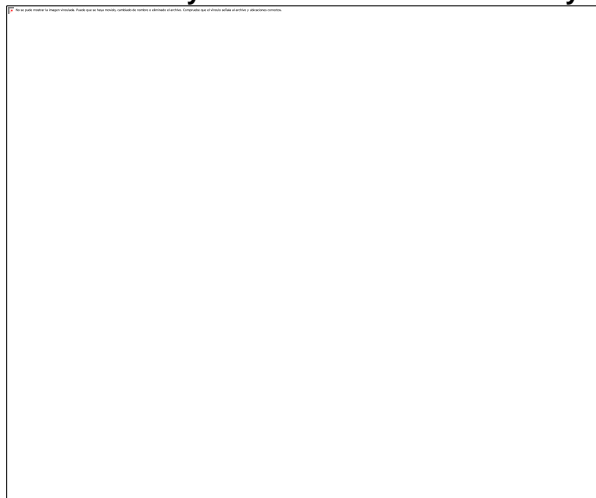


## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (B2) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, m
Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

**FIGURE 2**  
**Model (B2) > Coordinate Systems > Global Coordinate System > Figure**



## Mesh

**TABLE 5**  
**Model (B2) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	4,9694e-005 m
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled

<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	Yes
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	63972
Elements	33654
Mesh Metric	None

**FIGURE 3**  
**Model (B2) > Mesh > Figure**





Static Structural (B3)

**TABLE 6**  
**Model (B2) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (B3)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 7**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s

Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	

Solver Files Directory	C:\Users\Jaime\Desktop\Diseño cuatriciclo\Análisis Cuatriciclo_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	Mks

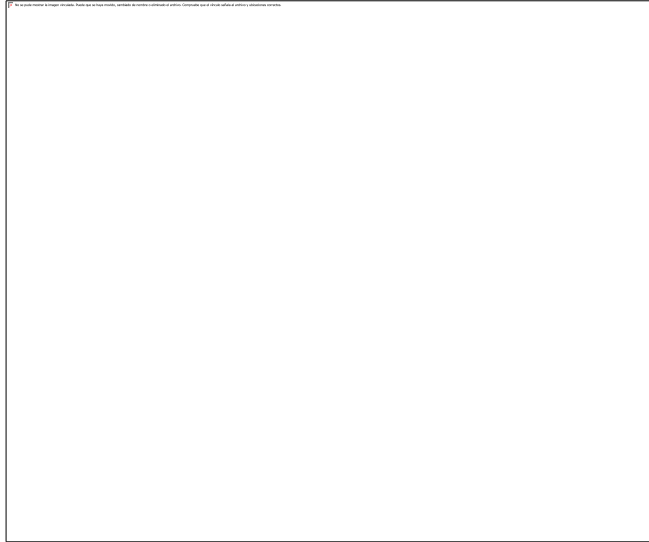
**TABLE 8**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Loads**

Object Name	Force	Force 2	Force 3
State	Fully Defined		
<b>Scope</b>			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	12 Faces	4 Faces	
<b>Definition</b>			
Type	Force		
Define By	Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	0, N (ramped)		
Y Component	-1569,6 N (ramped)	-98,1 N (ramped)	
Z Component	0, N (ramped)		
Suppressed	No		

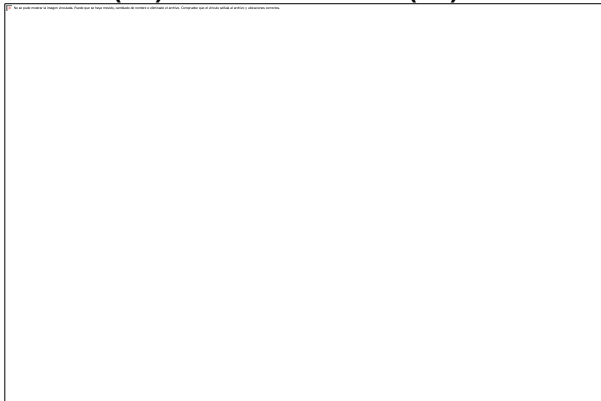
**FIGURE 4**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Force**



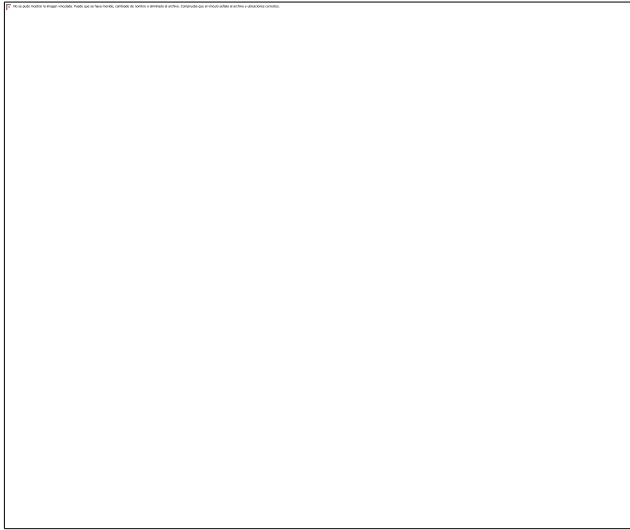
**FIGURE 5**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Force > Figure**



**FIGURE 6**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Force 2**



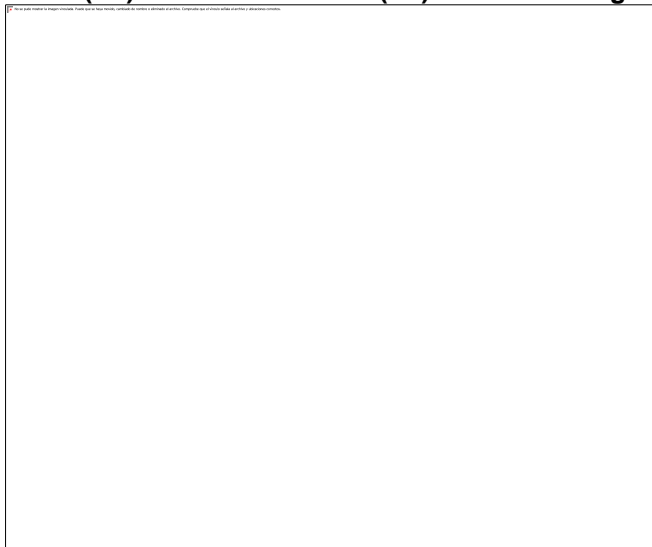
**FIGURE 7**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Force 2 > Figure**



**FIGURE 8**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Force 3**



**FIGURE 9**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Force 3 > Figure**



Solution (B4)

**TABLE 9**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B4)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 10**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 11**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Results**

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Results</b>		
Minimum	275,33 m	33344 Pa
Maximum	308,18 m	1,1874e+008 Pa
<b>Minimum Value Over Time</b>		
Minimum	275,33 m	33344 Pa
Maximum	275,33 m	33344 Pa
<b>Maximum Value Over Time</b>		
Minimum	308,18 m	1,1874e+008 Pa
Maximum	308,18 m	1,1874e+008 Pa
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

Integration Point Results		
Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

**FIGURE 10**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Total Deformation > Figure**



**FIGURE 11**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Equivalent Stress > Figure**



**TABLE 12**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Stress Safety Tools**

Object Name	<i>Stress Tool</i>
State	Solved
Definition	
Theory	Max Equivalent Stress



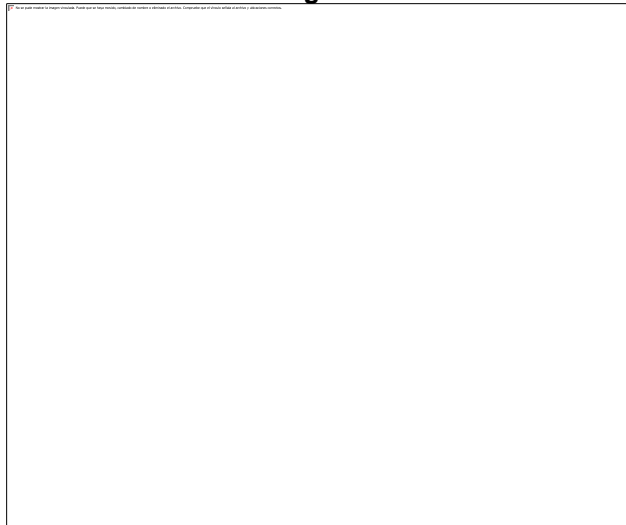
Stress Limit Type	Tensile Yield Per Material
-------------------	----------------------------

**TABLE 13**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Stress Tool > Results**

Object Name	<i>Safety Factor</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Definition</b>	
Type	Safety Factor
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
<b>Integration Point Results</b>	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No
<b>Results</b>	
Minimum	2,1054
<b>Minimum Value Over Time</b>	
Minimum	2,1054
Maximum	2,1054
<b>Maximum Value Over Time</b>	
Minimum	15,
Maximum	15,
<b>Information</b>	

Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

**FIGURE 12**  
**Model (B2) > Static Structural (B3) > Solution (B4) > Stress Tool > Safety Factor > Figure**



Material Data

Structural Steel

**TABLE 14**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7850, kg m <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	434, J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	60,5 W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1,7e-007 ohm m

**TABLE 15**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength Pa
0,

**TABLE 16**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength Pa
2,5e+008

**TABLE 17**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa
2,5e+008

**TABLE 18**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
4,6e+008

**TABLE 19**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22,

**TABLE 20**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3,999e+009	10,	0,
2,827e+009	20,	0,
1,896e+009	50,	0,
1,413e+009	100,	0,
1,069e+009	200,	0,
4,41e+008	2000,	0,
2,62e+008	10000	0,
2,14e+008	20000	0,
1,38e+008	1,e+005	0,
1,14e+008	2,e+005	0,

8,62e+007	1,e+006	0,
-----------	---------	----

**TABLE 21**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9,2e+008	-0,106	0,213	-0,47	1,e+009	0,2

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2,e+011	0,3	1,6667e+011	7,6923e+010

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000

**ANEXO D**  
**HOJAS DE CHECK LIST**

Nombres y Apellidos:	Laura Gabriela Turo Pozo		
Edad:	24 años	Número de Cédula	1809178190
Discapacidad en extremidades:	Superiores <input type="checkbox"/>	Inferiores <input type="checkbox"/>	Ninguna <input checked="" type="checkbox"/>

1. En general como le parece a Ud. el diseño del cuatriciclo

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

2. Se siente cómodo al manejar

- Si
- No

3. Cree Ud. que el vehículo es seguro

- Si
- No

4. Como siente Ud. la dirección

- Suave
- Dura

5. Como consideraría el sistema de frenos

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

6. Considera que el cuatriciclo es estable

- Si
- No

7. Piensa Ud. que el cuatriciclo es ergonómico.

- Si
- No

8. Observaciones

-----

-----

-----

Nombres y Apellidos:	MARIA VICTORIA VÉLEZ PONCE		
Edad:	23	Número de Cédula	131148003-0
Discapacidad en extremidades:	Superiores <input type="checkbox"/>	Inferiores <input type="checkbox"/>	Ninguna <input checked="" type="checkbox"/>

1. En general como le parece a Ud. el diseño del cuatriciclo

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

2. Se siente cómodo al manejar

- Si
- No

3. Cree Ud. que el vehículo es seguro

- Si
- No

4. Como siente Ud. la dirección

- Suave
- Dura

5. Como consideraría el sistema de frenos

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

6. Considera que el cuatriciclo es estable

- Si
- No

7. Piensa Ud. que el cuatriciclo es ergonómico.

- Si
- No

8. Observaciones

Es un diseño comodo e innovador.

---



---



---

Nombres y Apellidos:	Julio Andrés Ramírez Morales		
Edad:	26	Número de Cédula	12388349-0
Discapacidad en extremidades:	Superiores <input type="checkbox"/>	Inferiores <input checked="" type="checkbox"/>	Ninguna <input type="checkbox"/>

1. En general como le parece a Ud. el diseño del cuatriciclo

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

2. Se siente cómodo al manejar

- Si
- No

3. Cree Ud. que el vehículo es seguro

- Si
- No

4. Como siente Ud. la dirección

- Suave
- Dura

5. Como consideraría el sistema de frenos

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

6. Considera que el cuatriciclo es estable

- Si
- No

7. Piensa Ud. que el cuatriciclo es ergonómico.

- Si
- No

8. Observaciones

Asientos sea regulable.

---



---



---



Nombres y Apellidos:	Roberto Guevara		
Edad:	25	Número de Cédula	0503139040
Discapacidad en extremidades:	Superiores <input checked="" type="checkbox"/>	Inferiores <input type="checkbox"/>	Ninguna <input type="checkbox"/>

1. En general como le parece a Ud. el diseño del cuatriciclo

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

2. Se siente cómodo al manejar

- Si
- No

3. Cree Ud. que el vehículo es seguro

- Si
- No

4. Como siente Ud. la dirección

- Suave
- Dura

5. Como consideraría el sistema de frenos

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

6. Considera que el cuatriciclo es estable

- Si
- No

7. Piensa Ud. que el cuatriciclo es ergonómico.

- Si
- No

8. Observaciones

Ninguna

---



---



---

Nombres y Apellidos:	Vandegato Nicolas Alonso Trujillo		
Edad:	37 años	Número de Cédula	0502485745
Discapacidad en extremidades:	Superiores <input checked="" type="checkbox"/>	Inferiores <input type="checkbox"/>	Ninguna <input type="checkbox"/>

1. En general como le parece a Ud. el diseño del cuatriciclo

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

2. Se siente cómodo al manejar

- Si
- No

3. Cree Ud. que el vehículo es seguro

- Si
- No

4. Como siente Ud. la dirección

- Suave
- Dura

5. Como consideraría el sistema de frenos

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

6. Considera que el cuatriciclo es estable

- Si
- No

7. Piensa Ud. que el cuatriciclo es ergonómico.

- Si
- No

8. Observaciones

Considero que se podría mejorar con la estructura por futuras Generaciones y Seguridad del personal que los utilizas

**ANEXO E**  
**NORMA NORMA ISO 12944**

## 01 NORMA UNE EN ISO 12944

### b PREPARACIÓN DE SUPERFICIES

---

#### MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIES:

---

Limpieza con agua, disolventes y agentes químicos.

---

Limpieza mecánica (incluida en este apartado el chorreado o granallado).

---

Limpieza con llama.

---

La Norma define los grados de preparación de la superficie, pero no establece ningún requisito acerca de la condición del sustrato previa a la preparación.

La preparación de la superficie (total) hasta el acero desnudo abarca los grados de preparación: Sa, St, F1 y Be.

**Sa** (Preparación por chorreado o granallado).

**St** (Limpieza con herramienta manual o mecánica).

**F1** (Limpieza con llama).

**Be** (Decapado ácido).

**ANEXO F**  
**PRESUPUESTO DETALLADO BOM**





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

## CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores: Adriana Patricia Salinas Caguana e Iván Marcelo Ortiz Guerra.

  
Ing. Euro Mena  
DIRECTOR DEL PROYECTO

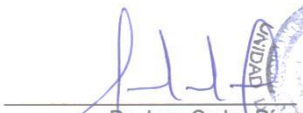
  
Ing. Henry Iza  
CODIRECTOR DEL PROYECTO


Aprobado por:

  
Ing. Víctor D. Zambrano  
DIRECTOR DE LA CARRERA  
DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Certificado por:

  
Dr. Juan Carlos Díaz  
SECRETARIO ACADÉMICO



Latacunga, Marzo del 2016