



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

**DISEÑO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE DOS  
RUEDAS BASADO EN EL PRINCIPIO DEL  
PÉNDULO INVERTIDO.**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

INGENIERÍA MECÁNICA - MECATRÓNICA

P R E S E N T A :

**ALFREDO MARISCAL CASTILLO**

TUTOR:

**DR. VICENTE BORJA RAMIREZ**

MÉXICO D.F. 2013

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Marcelo López Parra.

Secretario: Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich.

Vocal: Dr. Vicente Borja Ramírez.

1<sup>er</sup>. Suplente: M.I. María del Pilar Corona Lira.

2<sup>do</sup>. Suplente: M.I. Octavio Díaz Hernández.

**TUTOR DE TESIS:**

NOMBRE

---

**FIRMA**

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Mis agradecimientos a **CONACYT** por el invaluable apoyo para la realización de mis estudios de posgrado mediante la concesión de una beca económica. Este proyecto fue realizado también gracias al patrocinio del Programa **UNAM-DGAPA-PAPIIT-IT103012**.

**A Dios** por siempre haber guiado mis pasos con su infinita bondad y amor permitiéndome tener salud, serenidad, tenacidad y humildad para vencer momentos adversos y conseguir mis objetivos.

**A la madre de mis hijos** por haber estado conmigo apoyándome, impulsándome, motivándome y enseñándome en todos esos momentos complicados con amor y paciencia. Por haber sido mi fuerza y mi inteligencia en mis lapsos de debilidad. Por haberme dado el motor y la energía que impulsa cada movimiento de mi cuerpo y mi mente, a mi amada hija Daniela.

**A mis padres** porque fueron la base de mi formación, por haberme enseñado valores y darme las bases para ser una persona de bien. Porque con su esfuerzo y amor me sacaron adelante y me guiaron por el camino correcto.

**A mis hermanos** porque son el tesoro más grande que me regaló mi madre, por haber sido mis mejores amigos y maestros en la infancia, porque siempre han estado y estarán conmigo.

**A mi tutor el Dr. Vicente Borja Ramírez** porque sin su extraordinario e incondicional apoyo y guía durante todas las etapas de mis estudios de maestría, este logro no habría sido posible.

---

## RESUMEN

---

Este documento describe en nueve capítulos el proceso seguido por su autor para la realización del diseño de un vehículo eléctrico cuyo funcionamiento está basado en el principio del péndulo invertido.

El objetivo fue el diseñar y probar los sistemas básicos de un vehículo que funcione bajo el principio del péndulo invertido.

Se establecieron los siguientes alcances del presente proyecto:

- Hacer un estudio comparativo entre vehículos personales.
- Hacer el diseño de un vehículo alternativo que busque satisfacer necesidades de usuarios.
- Realizar planos de fabricación del prototipo.
- Manufacturar un prototipo funcional que integre parcialmente los conceptos obtenidos en el proceso de diseño.
- Hacer pruebas al prototipo.

El diseño conceptual del prototipo fue desarrollado a partir de una metodología de diseño basada en el estudio de las necesidades de usuarios para implementar características al producto de modo que se satisfagan dichas necesidades. El modelo conceptual obtenido del proceso resultó en una innovación en el campo de los vehículos personales en México.

Adyacente a esto, se realizó la investigación y el diseño de otros sistemas en forma paralela que dieron lugar a otras tesis cuyas referencias son mostradas en el documento, para finalmente integrarlas y formar un producto. Dichos sistemas fueron: Sistema de control, etapa de potencia, diseño mecánico etc.

Para concluir la etapa de diseño, se realizó un simulador para hacer pruebas en usuarios y finalmente se construyó un prototipo.

El objetivo planteado del proyecto se concluyó satisfactoriamente entregando como resultado la construcción del prototipo de un vehículo eléctrico que funciona bajo el principio del péndulo invertido que busca su estabilidad auto-balanceándose por el efecto de sus actuadores controlados. Se lograron realizar pruebas que fueron exitosas bajo ciertas condiciones iniciales. Todos los alcances definidos se realizaron exitosamente.

## CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN .....	8
CAPITULO 2. ANTECEDENTES. ....	10
2.1.    PÉNDULO.....	10
2.2.    PÉNDULO INVERTIDO.....	10
2.3.    VEHÍCULOS AFINES.....	12
2.3.1. LA BICICLETA .....	12
2.3.2. LA MOTOCICLETA. ....	12
2.3.3. LA CUATRIMOTO .....	13
2.3.4. SILLA DE RUEDAS .....	14
CAPITULO 3. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	15
3.1.    OBJETIVO .....	15
3.2.    ALCANCES DEL PROYECTO. ....	15
3.3.    DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. ....	15
3.3.1. MÓDULOS DEL PROYECTO. ....	15
3.3.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN. ....	15
3.3.3. ENFOQUE. ....	16
3.4.    PROCESO. ....	17
3.5.    EQUIPO DE TRABAJO. ....	18
CAPITULO 4. ESTUDIO COMPARATIVO.....	20
4.1.    ESTUDIO COMPARATIVO.....	20
4.2.    PATENTES RELACIONADAS. ....	26
CAPITULO 5. DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN DISPOSITIVO DE PRUEBA PARA EL CONTROL.....	28
5.1.    FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO. ....	28
5.1.1. FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO. .....	30
5.2.    MÓDULO MECÁNICO DEL PROTOTIPO 1.....	31
5.2.1. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE PROTOTIPO 1. ....	32
5.2.2. MANUFACTURA DE PROTOTIPO 1.....	33
5.3.    MÓDULO DE SOFTWARE.....	35

5.4.	MÓDULO DE CONTROL.....	36
5.4.1.	ELABORACIÓN DEL MÓDELO MATEMÁTICO. ....	37
5.4.2.	OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO MEDIANTE LAS ECUACIONES DE EULER-LAGRANGE. ....	39
5.4.3.	DIAGRAMA DE BLOQUES EN SIMULINK. ....	41
5.5.	RESULTADO DE LOS PRIMEROS PROTOTIPOS. ....	42
CAPITULO 6. REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES. ....		43
6.1.	GUSTOS Y NECESIDADES DE USUARIOS. ....	43
6.1.1.	RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	43
6.2.	MARCOS DE REFERENCIA. ....	45
6.2.1.	CARACTERIZACIÓN DE PERSONAJES.....	46
6.2.2.	DIAGRAMA DE AFINIDAD. ....	48
6.2.3.	MAPA MENTAL.....	49
6.2.4.	LÍNEA DEL TIEMPO: .....	51
6.3.	MARCO LEGAL.....	51
6.4.	NECESIDADES CREADAS POR LA ESTRATEGIA DE NEGOCIO. 52	
6.5.	NECESIDADES. ....	54
6.5.1.	MATRIZ DE NECESIDADES- MÉTRICAS.....	54
6.5.2.	OPORTUNIDAD DE INNOVACIÓN A PARTIR DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO. ....	55
6.6.	SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCEPTOS.....	56
6.7.	PRIMER PROPUESTA DE MODELO CONCEPTUAL.....	56
6.8.	PRIMERA ITERACIÓN. ....	60
CAPITULO 7. PRUEBAS CON SIMULADOR Y DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA. .....		63
7.1.	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR. ....	63
7.2.	PRUEBAS. ....	66
7.3.	EVALUACIÓN DE CONFIGURACIONES.....	68
7.4.	SELECCIÓN DE ESTRUCTURA.....	68
7.5.	ESPECIFICACIONES. ....	71
CAPITULO 8. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO. ....		73
8.1.	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO. ....	73

8.1.1. ANALISIS ESTRUCTURAL DEL VEHÍCULO. ....	73
8.2. CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	77
8.2.1. TREN MOTRIZ. ....	77
8.2.2. ESTRUCTURA SUPERIOR.....	79
8.3. LLANTAS. ....	81
8.4. ASIENTO .....	82
8.5. ANALISIS DE COSTOS .....	86
CAPITULO 9. PRUEBAS Y RESULTADOS. ....	88
9.1. DEFINICIÓN DE PRUEBAS. ....	88
9.1.2. IMPLEMENTACIÓN .....	88
9.2. RESULTADOS. ....	90
9.2.1. PRUEBAS SIN PESO AÑADIDO. ....	90
9.2.2. PRUEBAS CON PESO MUERTO AÑADIDO. ....	91
9.2.3. PRUEBAS CON USUARIOS.....	91
9.3. COMENTARIOS .....	91
CONCLUSIONES.....	92
TRABAJO FUTURO .....	94
REFERENCIAS. ....	96
ANEXOS.....	98
GRAFICAS OBTENIDAS EN ENCUESTAS. ....	98
ARTICULOS DEL REGLAMENTO DE TRANSITO RELACIONADOS CON EL PROYECTO.....	100
PLANOS.....	102

---

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

---

El continuo crecimiento de la población y de las áreas urbanas ha incrementado la necesidad de transporte [4].

Un buen porcentaje de los usuarios de los sistemas de transporte actuales hacen recorridos cotidianos menores a 20 km. Este es un hecho que demanda la búsqueda de soluciones para satisfacer las necesidades de transporte de este sector mediante el uso de vehículos más eficientes [20],[21],[22],[23], y poder así reducir el impacto generado al ambiente, aportar un impacto social y económico positivo hacia el usuario final.

Se ha tratado de dar solución al problema a partir de modificaciones en las vías de comunicación, sin embargo, se ha perdido de vista otra posible solución que es la de optimizar los vehículos de transporte particulares, a partir del diseño de un sistema sustentable, ecológico, seguro y que ocupe mucho menor espacio.

Considerando las necesidades ambientales y sociales que afectan a todas las áreas urbanas en crecimiento, y a partir de la convicción de trabajar en el diseño de un producto, que además proporcione un servicio aportando alternativas que permitan solucionar necesidades reales, se dio inicio al proyecto llamado “Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido (VEPI)”.

El proyecto estuvo dividido en varias etapas: la primera de ellas fue la realización de un vehículo a escala que tuvo el propósito de ser un prototipo de pruebas para poder adquirir los conocimientos y la experiencia necesarios para lograr el movimiento y equilibrio de un móvil utilizando el principio del péndulo invertido en él.

Como segunda etapa, se trabajó en la investigación y desarrollo de un control automático que permitiera auto-estabilizarse al vehículo.

La tercera etapa consistió en hacer una investigación etnográfica que ayudara a obtener las bases para el desarrollo de un modelo conceptual. Se analizó también en esta fase la viabilidad económica del proyecto, el mercado y se elaboró un plan de negocio. Se elaboró un modelo sólido con características extraídas de los conceptos como parte final de este proceso.

Se realizó posteriormente una iteración de la tercera etapa dando como resultado la realización de otro modelo sólido.

En la cuarta etapa se realizaron pruebas a funciones críticas con ayuda de un simulador para poder determinar la estructura y características finales del dispositivo, se construyó el tren motriz del vehículo y se trabajó en paralelo con las pruebas de control en dicho tren motriz.

Como parte final del proyecto, se construyó un prototipo y se realizaron pruebas.



La estructura de este trabajo se divide en nueve capítulos, mismos que se describen brevemente a continuación.

En el capítulo 2 es explicado el principio del péndulo y del péndulo invertido, en el cual se está basando el funcionamiento del dispositivo. En el mismo capítulo se muestra una semblanza histórica de vehículos con características afines al desarrollado en este proyecto.

En el capítulo 3 se define el proyecto enunciando el objetivo, los alcances y la descripción de proyecto, así como el proceso de trabajo seguido, los integrantes que participaron en todas las etapas en el equipo de trabajo y su función.

En el capítulo 4 se muestra el estudio comparativo realizado en vehículos de una o dos plazas para buscar áreas de oportunidad y un ejemplo de las patentes encontradas.

En el quinto capítulo se describe el diseño y la manufactura de los primeros prototipos en los cuales se realizaron pruebas de estabilidad para ajustar y evaluar al controlador.

El capítulo 6 muestra los detalles de la primera etapa del desarrollo del diseño conceptual, en el cual se obtuvieron los requerimientos y especificaciones del proyecto.

Para definir la estructura, forma y dimensiones finales del prototipo se construyó un simulador y se hicieron pruebas en usuarios. Esto fue detallado en el capítulo 7.

El diseño mecánico y la manufactura de los elementos que formaron el prototipo son mostrados en el capítulo octavo. En este capítulo se muestran también un análisis de costos.

Se concluye este trabajo emitiendo los resultados que son las pruebas realizadas en el dispositivo, conclusiones y trabajo a futuro.

## CAPITULO 2. ANTECEDENTES.

### 2.1. PÉNDULO

El péndulo (del latino- *pendŭlus*, pendiente) es un sistema físico que puede oscilar bajo la acción gravitatoria y que está configurado por una masa suspendida de un punto o de un eje horizontal fijo mediante un hilo o cuerda, una varilla, u otro dispositivo. Las únicas dos fuerzas que intervienen sobre la masa son la gravedad y la tensión de la cuerda. La fuerza resultante sobre el péndulo no es constante debido a que la tensión de la cuerda depende del ángulo respecto a la vertical y a la velocidad de la masa.

Existen muy variados tipos de péndulos que, atendiendo a su configuración y usos, reciben los nombres apropiados: péndulo simple, péndulo compuesto, péndulo cicloidal, doble péndulo, péndulo de Foucault, péndulo de Newton, péndulo balístico, péndulo de torsión, péndulo esférico, etcétera.

Sus usos son muy variados: medida del tiempo (reloj de péndulo, metrónomo etc), medida de la intensidad de la gravedad, etc.

### 2.2. PÉNDULO INVERTIDO.

El péndulo invertido es un problema de control clásico, es muy conocido por su excelente analogía para el diseño de controladores, por ejemplo: de vibraciones en las plataformas para el lanzamiento de un cohete, estabilización de grúas, edificaciones, robótica y sobre todo para aplicaciones didácticas, por ser un excelente medio de comprobación y evaluación de las diferentes metodologías de control, tanto en simulación como en la planta real.

El Péndulo Invertido es un sistema mecánico inestable en lazo abierto. El más común es el que está conformado por un péndulo montado sobre un carro impulsado por un actuador que se mueve libremente a lo largo de un eje y una barra que pende de él, pero también los hay del tipo rotacional, de doble articulación en un plano inclinado y otros. El objetivo a alcanzar es mantener el péndulo en posición vertical tanto como sea posible y tener control sobre la posición del carro. El sistema puede ser modelado como un sistema lineal considerando que las desviaciones angulares del péndulo son muy pequeñas.

Una de las claves del péndulo invertido (Imagen 1) es intentar controlar el movimiento de la masa ( $m$ ) moviendo la masa ( $M$ ) del carro inferior. Si la masa  $m$  se mueve de la vertical esta puede volver a su posición de equilibrio moviendo la masa  $M$  en la misma dirección hasta que se alcance la estabilidad del sistema.

Durante los últimos años se ha tenido un notable interés por el estudio del control asociado al problema del

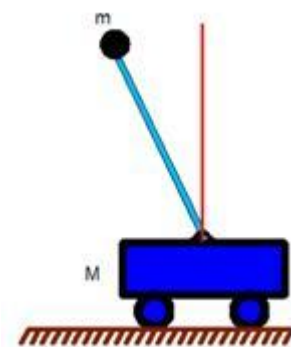


Imagen 1. Péndulo invertido.

péndulo invertido y de sus aplicaciones orientadas al diseño de vehículos [24],[25].

Este problema ha sido estudiado en diferentes universidades en todo el mundo [5], [8], [9], [10], [12], [13], obteniendo diferentes prototipos de robots móviles que se desplazan usando este mismo principio (Péndulo invertido). Algunos ejemplos son expuestos en la Tabla 1.



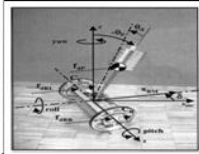
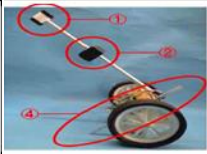

YAIP	Two-Wheel Self-Balanced Electric	JOE: A Mobile, Inverted Pendulum	Robot WV-2R	nBot Balancing Robot
Faculty of engineering, lund university, munich	College ofAutomation, Harbin Engineering University, China	The Industrial Electronics Laboratory at the Swiss Federal Institute of Technology	Department of Modern Mechanical Engineering, Waseda University	MIT
2006	2006	2002	2009	2003
				

Tabla 1. Prototipos académicos empleando el principio de péndulo invertido.



Imagen 2. Segway

La primera persona en implementar este principio en un vehículo para transporte personal fue Deam Kamen y fue presentado en diciembre de 2001. El vehículo fue llamado *Segway Personal Transporter* (Imagen 2) y es producido por la compañía Segway Inc [29].

El *Segway Personal Transporter* (Segway PT - transportador personal) es un vehículo de transporte ligero giroscópico eléctrico de dos ruedas, con autobalanceo controlado por ordenador. Es producido por la compañía Segway Inc., con sede en Bedford, Nuevo Hampshire. A principios del año 2010 la empresa fue comprada por un grupo dirigido por el millonario británico Jimi Heselden, presidente de Hesco Bastion. Nueve meses más tarde fallecería mientras probaba uno de estos Segway.

El Segway es el primer dispositivo de transporte con autobalanceo. El ordenador y los motores situados en la base mantienen la base del Segway horizontal todo el tiempo. El usuario se debe inclinar hacia la dirección que quiera tomar.

Existen diversas ventajas y desventajas que los anteriores transportes ofrecen, por lo que dentro del presente trabajo se abocó a la investigación de las mismas para establecer correctamente cuales son las necesidades reales del usuario.

Existen diversos tipos de transporte que actualmente se utilizan para recorrer distancias menores a 20 km., entre los cuales encontramos desde vehículos de tracción mecánica,

vehículos con motor de combustión interna, eléctricos, etc., de los cuales se han tomado en consideración los más populares, estableciendo su invención, uso y características, ya que los mismos son predecesores que en el paso del tiempo han dado servicio solucionando las necesidades de quienes requieren de un vehículo mono plaza.

### 2.3. VEHÍCULOS AFINES.

Se describe a continuación la historia y características de vehículos similares al desarrollado en este proyecto, mismos que formaron parte de un estudio comparativo que aportaron el fundamento de la definición del nuestro.

#### 2.3.1. LA BICICLETA

Este juguete nació en Francia y en concreto en París el 1791 en plena revolución francesa de la mano del conde Mede de Sivrac. La idea genial de Sivrac fue colocar las dos ruedas en tandem en lugar de una lado de otro como se venía haciendo desde antes.

En 1817 el ingeniero alemán Karl Von Drais quien aplicando la ingeniería de la época aplicada a los vehículos le adaptará una dirección. Estas modificaciones darán origen a la llamada “Draisiana” la cual, sin embargo, aún pareciéndose más a las bicicletas actuales se manejaba como un patinete, o sea, impulsada por el arrastre de los pies sobre el suelo. Pasarían unos 20 años para que el escocés Kirkpatrick Macmillan en 1839 incorporase unos cigüeñales que a través de dos bielas permitían girar la rueda trasera de forma rudimentaria.

Los ingleses avanzando con la idea entre 1865 y en 1870 agrandaran la rueda delantera hasta crea la llamada BI o “High Wheeler”. El objetivo es conseguir más velocidad con menos peso, pero también con un menor equilibrio. Sin embargo, con una rueda de 1,40 m de diámetro se avanzaba 4,40 m por pedaleada y si era de 1,70 m la distancia recorrida subía a 8,40 m. En esta loca escalada el récord lo ostenta Víctor Renard quién colocó a 2,50 m de altura sobre el suelo al ciclista en una rueda que permitía avanzar 12,25 m por pedaleada. La inestabilidad debida a la altura no facilitó que fuera usada como vehículo de desplazamiento, aunque si como deporte. Los fabricantes para homogenizar estas bicicletas estandarizaron la rueda delantera a un diámetro de 1,2 metros y las traseras de 40 centímetros Hacia 1880 en el Reino Unido ya circulaba la palabra bicycle para denominar este vehículo y que los franceses tradujeron por bicyclette.

#### 2.3.2. LA MOTOCICLETA.

Es un vehículo de dos ruedas, impulsado por un motor que acciona la rueda trasera, salvo raras excepciones. El cuadro o chasis y las ruedas constituyen la estructura fundamental del vehículo. La rueda directriz es la delantera. Pueden transportar hasta dos personas, y tres si están dotadas de sidecar.

El estadounidense Sylvester Howard Roper (1823-1896) inventó un motor de cilindros a vapor (accionado por carbón) en 1867. Ésta puede ser considerada la primera motocicleta, si se permite que la descripción de una motocicleta incluya un motor a vapor.

En 1894 Hildebrand y Wolfmüller presentan en Munich la primera motocicleta fabricada en serie y con claros fines comerciales. La Hildebrand y Wolfmüller se mantuvo en producción hasta 1897. Los hermanos rusos afincados en París Eugéne y Michel Werner montaron un motor en una bicicleta. El modelo inicial con el motor sobre la rueda delantera se comenzó a fabricar en 1897.

Después de volver de la Segunda Guerra Mundial (1945), los soldados estadounidenses parecían descontentos con las motocicletas que eran construidas por Harley-Davidson e Indian. Las motos que habían montado en Europa eran más ligeras y más divertidas de conducir. Estos veteranos comenzaron a andar con otros ex soldados para volver a vivir algo de la camaradería que habían sentido en el servicio. Estos grupos se dieron cuenta que sus motocicletas necesitaban los cambios que Harley no les proporcionaba. Así nació la Motocicleta Custom.

### 2.3.3. LA CUATRIMOTO

Un cuatrimoto, cuatriciclo, cuatriciclo o quad (en inglés *all-terrain vehicle* o *ATV*) es un vehículo de cuatro ruedas parecido a una motocicleta. El quad procede de los primeros triciclos o hart-trick, los cuales disponían de dos ruedas traseras y una delantera, con los consecuentes problemas de estabilidad y seguridad, además de la falta de propulsor. A pesar de ser lo mismo, se designan ATV a los vehículos de uso recreacional o para tareas agrícolas, mientras que el concepto Quad es utilizado cuando su función se aproxima más hacia la deportividad.

Hace más de treinta años, los distribuidores de motocicletas, cansados de experimentar cómo dejaban de vender sus vehículos cuando llegaba el mal tiempo, solicitaron a los fabricantes que creasen un producto capaz de circular en condiciones climáticas adversas. Aunque las primeras ideas se basaban en el concepto de motocicleta por su fácil manejabilidad y poco peso, estos proyectos se descartaron ya que las dos ruedas nunca representarían seguridad ante terrenos de baja adherencia. Fue por este motivo, por el que comenzaron a pensar en vehículos de tres, cuatro y hasta seis ruedas.

Surgieron después de varios intentos con diferentes configuraciones los ATV/Quads, principalmente en zonas agrícolas. Estos vehículos mantenían por tanto la filosofía de las motocicletas (ligera y manejable) al mismo tiempo que eran válidos en cualquier terreno y ante las condiciones climatológicas más duras. Inicialmente, los ATV fueron utilizados en labores de ayuda del trabajo diario, para pasar unos años después a convertirse también en vehículos destinados al ocio y a la competición.

#### 2.3.4. SILLA DE RUEDAS

Una silla de ruedas es una ayuda técnica que consiste en una silla adaptada con al menos tres ruedas, aunque lo normal es que disponga de cuatro.

Estas sillas están diseñadas para permitir el desplazamiento de aquellas personas con problemas de locomoción o movilidad reducida, debido a una lesión, enfermedad física, etc.

La primera silla de ruedas conocida y creada especialmente para ese propósito fue la del rey Felipe II de España. La primera patente sobre una silla de ruedas data de 1869. Se trataba de un modelo bimanual impulsado por ruedas traseras. Al poco tiempo surgieron nuevos modelos de tres ruedas y con otras modificaciones. El primer modelo impulsado eléctricamente data de 1924. La silla de ruedas, tal y como la conocemos hoy, fue creada en 1932 por el ingeniero Harry Jennings para un amigo suyo. Juntos formaron la compañía *Everest & Jennings*, que monopolizó el mercado hasta la década de los 60.

Casi todos los modelos de sillas son altamente adaptables: tamaño y posición de asiento y respaldo, apoya-brazos y apoya-pies regulables y extraíbles.

## CAPITULO 3. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.

### 3.1. OBJETIVO

El objetivo fue el diseñar y probar los sistemas básicos de un vehículo que funcione bajo el principio del péndulo invertido.

### 3.2. ALCANCES DEL PROYECTO.

Se establecieron los siguientes alcances del presente proyecto:

- Hacer un estudio comparativo entre vehículos personales.
- Hacer el diseño de un vehículo alternativo que busque satisfacer necesidades de usuarios.
- Realizar planos de fabricación del prototipo.
- Manufacturar un prototipo funcional que integre parcialmente los conceptos obtenidos en el proceso de diseño.
- Hacer pruebas al prototipo.

### 3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

#### 3.3.1. MÓDULOS DEL PROYECTO.

El proyecto fue dividido en cuatro módulos para su desarrollo.

Durante varias etapas del proyecto, se desarrollaron más de un módulo en paralelo como es expuesto en el apartado “Equipo de trabajo”.

Son mostrados en la Imagen 3 los diferentes módulos que forman parte del proyecto.



Imagen 3. Módulos del proyecto.

#### 3.3.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

Existen dos estados en los que el vehículo de péndulo invertido puede operar: En reposo y movimiento.

Para lograr una posición en reposo, el vehículo tiene que moverse en la misma dirección y sentido con una velocidad controlada tal que compense el desplazamiento angular generado por el péndulo con respecto a un valor de referencia de cero. Si no



existiera este movimiento compensatorio, el péndulo rompería su posición vertical y su estabilidad hasta caer.

El control electrónico identifica el ángulo que tiene el vehículo haciendo muestras cada intervalo diferencial de tiempo con la ayuda de un acelerómetro. Dicho elemento (acelerómetro) es un sensor inercial que entrega una señal analógica proporcional al ángulo en que se encuentra estando en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, es decir: al no experimentar aceleraciones.

La deficiencia que tiene el acelerómetro para este tipo de aplicaciones es que no entrega lecturas confiables cuando experimenta aceleraciones. Para contrarrestar este efecto o la “deriva” provocada, se emplea un giroscopio y se procesa la información entregada por ambos sensores usando un filtro digital Kalman [46]. La señal filtrada de estos sensores entrega una lectura confiable del ángulo de inclinación del péndulo.

Cuando la lógica de control detecta ángulos mayores a su tolerancia, activa señales de control que se reflejan en la actuación de motores que corrigen el error de la señal de control con respecto a su referencia para lograr estabilizar al sistema.

Para generar un estado de movimiento solo se cambia el valor de referencia haciéndolo diferente a cero.

Se explica con más detalle lo anterior en el cuerpo del documento y en [38].

### 3.3.3. ENFOQUE.

En un principio la motivación fue conocer y desarrollar los sistemas básicos del vehículo, pero durante el proceso el proyecto adquiriría un nuevo enfoque.

El enfoque que se dio al proyecto fue el satisfacer necesidades de transporte mediante el uso de vehículos mono plaza más eficientes, reducir el impacto generado al ambiente aportando beneficios sociales y económicos positivos hacia el usuario final con la creación del prototipo de un vehículo eléctrico de dos ruedas, con características que satisfagan los gustos y preferencias de los usuarios potenciales, que tenga un diseño enfocado a la sustentabilidad como valor añadido y que tenga una adecuada proyección para la creación de una empresa.

Las necesidades a solucionar de los potenciales usuarios de nuestro vehículo, se describe en función de diversos escenarios que se muestran a continuación:

- Cualquier usuario con necesidades de transportación menores a 15 km.
- Usuarios con conciencia ecológica:
  - Necesidad de uso de un vehículo que no genere emisiones contaminantes.
  - Conciencia social hacia la contaminación ambiental
- Usuarios con limitaciones físicas:
  - Necesidades de transporte dinámicas y con un mínimo o nulo esfuerzo.



- Este tipo de usuario puede dividirse en la siguiente clasificación:
  - Personas de la tercera edad.
  - Discapacitados.
  - Simplemente personas que deseen no cansarse durante un recorrido.
- Turistas:
  - Necesidad de transporte confortable para hacer recorridos de distancias relativamente cortas, del orden de los 5 a 10 km.
  - Necesidad de transporte con velocidad moderada y una buena accesibilidad a lugares con espacios reducidos.
- Fines recreativos:
  - Orientado a clientes que busquen un momento de esparcimiento o diversión usando un producto de novedad e innovación tecnológica.
  - El producto puede ser explotado meramente como un servicio dándolo en renta por un tiempo definido.
- Centros comerciales o tiendas departamentales:
  - Los clientes se verán atraídos a los centros comerciales o tiendas que ofrezcan este servicio extra dentro de sus instalaciones.
- Lugares de trabajo:
  - Orientado a personas que tengan que transportarse dentro de sus lugares de trabajo rápidamente, por repetidas ocasiones y en instalaciones grandes.
- Estudiantes:
  - Necesidades de transporte dentro de centros educativos.

### 3.4. PROCESO.

El proceso de diseño del vehículo seguido en particular por el autor de esta tesis ha consistido en varias fases enlistadas como muestra la Imagen 4:

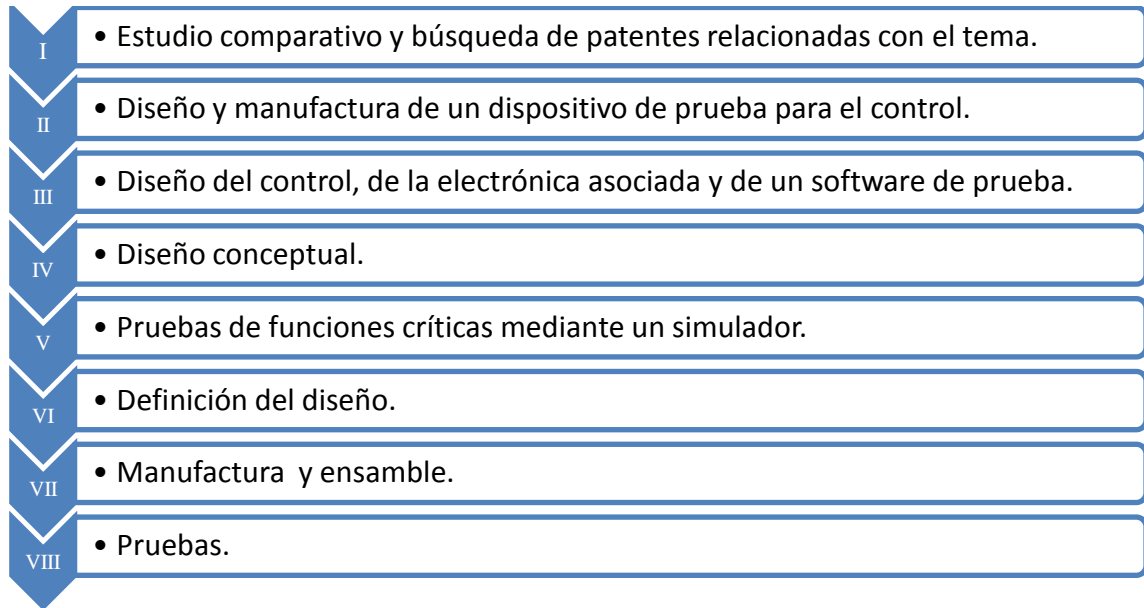


Imagen 4. Proceso seguido en el desarrollo del proyecto.

### 3.5. EQUIPO DE TRABAJO.

El desarrollo del proyecto se llevo a cabo durante los cuatro semestres de duración del programa de la maestría en mecatrónica. Durante cada uno de los semestres, el proyecto contó con la colaboración de varios estudiantes, de los cuales algunos de ellos realizaron su tesis de dicha colaboración.

En este apartado se hace mención de las personas que formaron parte del equipo de trabajo durante cada etapa y sus funciones.

Primera y segunda etapa:

- Alfredo Mariscal Castillo (Estudiante de maestría en Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
- Ricardo Vásquez Leyva (Estudiante de maestría en Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
  - Definición del proyecto.
  - Investigación.
    - Estudio comparativo y patentes.
    - Sensores y electrónica asociada.
    - Filtros digitales.
  - Diseño y construcción de un prototipo de prueba.

Tercera etapa:

- Alfredo Mariscal Castillo.
- Ricardo Vásquez Leyva.
- Rubén Darío Ortega Navarrete (Estudiante de maestría en Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
  - Diseño e implementación del circuito de control.
  - Investigación etnográfica.
  - Elaboración de un plan de negocios.

- Investigación de marco legal.
- Diseño conceptual.
- Análisis de sustentabilidad.
- Elaboración de un modelo sólido.
- Diseño de detalle.

Iteración de tercera etapa:

- Alfredo Mariscal Castillo.
- Ricardo Vásquez Leyva.
- Ariel Alonso de la Torre Ramos (Estudiante de Diseño Industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez).
  - Primera iteración del proceso de diseño.

Cuarta etapa:

- Alfredo Mariscal Castillo.
- Hugo Vargas (Estudiante de Ingeniería Mecánica, UNAM).
- Alfonso Gonzales (Estudiante de Diseño Industrial, UNAM).
  - Segunda iteración del proceso de diseño.
  - Construcción y pruebas de simulador.
  - Definición de diseño conceptual.
  - Construcción de prototipo.
- Ricardo Vásquez Leyva.
  - Construcción y adaptación de circuito de control.
  - Diseño de circuito de potencia.
  - Ajustes del control automático.
- Ingrid Irani Ibarra Romero (Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
  - Diseño del mando de operación.

El proceso de diseño mostrado en el apartado 3.4 no describe todas las actividades desarrolladas por todo el equipo de trabajo durante el desarrollo completo del proyecto debido a que fue un diseño modular en su último periodo, se remarca que éste documento solo presenta el proceso completo seguido por su autor.

## CAPITULO 4. ESTUDIO COMPARATIVO.

### 4.1. ESTUDIO COMPARATIVO.

Esta investigación se realizó como parte del Seminario de Investigación con el propósito de definir las primeras características que serían importantes contemplar en el diseño de nuestro prototipo, tomando en consideración las ventajas y desventajas de cada vehículo existente, y que represente una competencia a nuestro concepto. Este estudio fue sintetizado en las tablas mostradas en Imagen 5, Imagen 6 e Imagen 7.

Nombre	Monociclo	Bicicleta	Tandem	Cuadriciclo	Velomobile	Trikke
Empresa	Addict Unicycles, Benotto etc	BMX, Benotto, Mercurio etc	Windsor, Benotto		Allerweder, Velomobile USA	En su mayoría artesanal
Año						Trikke Tech Inc
Velocidad Máx	Baja	Media	Media	Media	Media - Alta	Media
Fuente de Energía	Propulsión Humana	Propulsión Humana	Propulsión Humana	Propulsión Humana	Propulsión Humana	Propulsión Humana
Costo Promedio	\$1200 - \$2000	De \$1000 a \$20000	\$5000 a \$10000	\$7000 a \$15000		\$900 a \$1700
Ruedas	1	2	2	4	3	3
Pasajeros	1	1	2	2	1 y 2	1
Imagen						
Tipo de uso	Transporte y recreativo	Transporte y recreativo	Transporte y recreativo	Transporte	Transporte	Recreativo
Confort	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio - alto	Medio
Estabilidad	Baja	Media	Media	Alta	Alta	Media

Imagen 5. Estudio comparativo.

Nombre	Silla de Ruedas	Silla de Ruedas Eléctrica	Monopatín	Monopatín Motorizado	Motoneta
Empresa	Drive, Quickie etc	Hover, Quickie etc	George X, BMX	m-cro	Italika, Kasam, Yamaha, etc
Año					
Velocidad Máx	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta
Fuente de Energía	Propulsión Humana	Eléctrica	Propulsión Humana	Eléctrica	Combustión interna y
Costo Promedio	\$1500 a \$6000	\$8000 a \$20000	\$300 a \$1000	\$2000 a \$3500	\$6000 a \$25000
Ruedas	4	4	2	2 o 3	2
Pasajeros	1	1	1	1	1
Imagen					
Tipo de uso	Transporte de personas enfermas	Transporte de personas enfermas o	Recreativo	Transporte y recreativo	Transporte
Confort	Alta	Alta	Bajo	Bajo	Alto
Estabilidad	Alta	Alta	Bajo	Bajo	Medio

Imagen 6. Estudio comparativo.

Nombre	Motocicleta	Scooter	Bicimotos (Kit de motor)	Cuatrimoto	ATV (All terrain vehicles)
Empresa	Honda, Ducati, Dinamo Spots etc	Racer, etc	Bicimoto	Honda, Yamaha, Polaris etc	Honda etc
Año					
Velocidad Máx	Alta	Baja y Media	Media	Alta	Alta
Fuente de Energía	Motor de combustión interna	Eléctricos, gasolina y propulsión humana	Combustión interna y electricos	Combustión Interna	Combustión Interna
Costo Promedio	Desde \$6000 a \$80000	\$1500 a \$ 9000	\$2,000	\$10000 a \$65000	\$25000 a \$5000
Ruedas	2	2	No aplica	4	4
Pasajeros	1	1	No aplica	1	1
Imagen					
Tipo de uso	Transporte	Transporte y recreativo		Transporte, recreativo	Transporte, recreativo
Confort	Alto	Medio		Alto	Alto
Estabilidad	Alta	Baja y Media		Alta	Alta
Autonomia	150 a 350 Km	Desde 10 a 40 km	Desde 15 a 50 km	De 100 a 250 km	De 85 a 200 km

Imagen 7. Estudio comparativo.

Después de analizar ventajas, desventajas y necesidades de usuarios se hizo la siguiente tabla comparativa:

Vehículo	Puntos Fuertes	Puntos Débiles
Monociclo	Bajo Costo. Dimensiones pequeñas Fuente de energía limpia Peso Ligero	Inestable. Se requiere de una gran habilidad y esfuerzo del usuario. Poco confortable. Muy bajo nivel de seguridad. Se alcanzan velocidades bajas No apto para personas mayores. No apto para todo tipo de terrenos ni inclinaciones
Bicicleta	Bajo Costo Relativa facilidad de Manejo. Fuente de energía limpia Dimensiones pequeñas Existen para todo tipo de terrenos Peso ligero	Se requiere cierta habilidad y esfuerzo por parte del usuario. Bajo nivel de seguridad y estabilidad.
Tandem	Facilidad de manejo Fuente de energía limpia	Es necesario ser operado por dos personas. Inestable, poco confortable e inseguro Se desarrollan velocidades bajas. Requiere de habilidad y esfuerzo de los usuarios. No apto para todo tipo de terrenos ni inclinaciones
Cuadriciclo	Facilidad de Manejo Fuente de energía limpia Estable	Estorbo (Grandes dimensiones). Bajas velocidades Esfuerzo del usuario No apto para todo tipo de terrenos
Velomobile	Facilidad de Manejo Fuente de energía limpia Estable	Estorbo (Grandes Dimensiones). Moderado alto costo No apto para todo tipo de terrenos
Trikke	Bajo costo. Dimensiones pequeñas. Fuente de energía limpia Peso ligero	Puede recorrer distancias cortas. Requiere mucha habilidad del usuario. Poca estabilidad en pendientes. No apto para personas mayores Bajo nivel de seguridad No apto para todo tipo de terrenos
Silla de Ruedas	Bajo costo. Muy buena estabilidad Dimensiones moderadas Fuente de energía limpia Peso Ligero	Muy bajas velocidades. Recorridos muy cortos Requiere esfuerzo de usuario



Silla de Ruedas Eléctrica	Excelente manejabilidad Excelente confort Estable	Relativo alto costo. Bajas Velocidades
Monopatín	Bajo costo Pequeñas dimensiones Fuente de energía limpia Peso ligero	Bajas velocidades. No apto para personas mayores. Distancias cortas No apto para todo tipo de terrenos
Monopatín Motorizado	Relativo bajo costo Pequeñas dimensiones Peso ligero	Bajas velocidades Distancias cortas No apto para personas mayores. Baja seguridad No apto para todo tipo de terrenos
Motoneta	Buena autonomía. Alcanza buena velocidad Buena manejabilidad	Moderado alto costo. Fuente de energía contaminante.
Motocicleta	Excelente velocidad y aceleración Buena manejabilidad Excelente para recorridos muy largos Buen desempeño en varios tipos de terrenos.	Altos costos. Por las velocidades que opera tiene un bajo nivel de seguridad. Fuente de energía contaminante.
Scooter	Buen manejo Moderadas dimensiones Moderada autonomía	Bajas velocidades.
Bicimotos (Kit de Motor para Bicicleta)	Relativo bajo costo Brinda autonomía y un menor desgaste del usuario con respecto a una bicicleta convencional. Brinda un ahorro significativo respecto a una motocicleta convencional.	Genera velocidades bajas de operación. Tiene una pobre autonomía Fuente de energía contaminante.
Cuatrimoto	Excelente manejo y estabilidad Muy buena velocidad y aceleración Muy buena autonomía Muy buen confort Buena seguridad	Altos costos Fuente de energía contaminante. Grandes dimensiones.
ATV (All terrain vehicles)	Excelente manejo y estabilidad Muy buena velocidad y aceleración Muy buen confort Muy buen desempeño en todo tipo de terrenos	Altos costos. Fuente de energía contaminante. Grandes dimensiones
Segway	Buen manejo y estabilidad. Dimensiones moderadas	Alto costo. Baja velocidad. No apto para todo terreno

Buen desempeño en varios tipos de terrenos.

Tabla 2. Tabla comparativa de vehículos afines.

Con base en la investigación previa, a la Tabla 1 y Tabla 2 se realizaron los diagramas comparativos mostrados en Imagen 8, Imagen 9 e Imagen 10. Estos fueron hechos para buscar áreas de oportunidad.

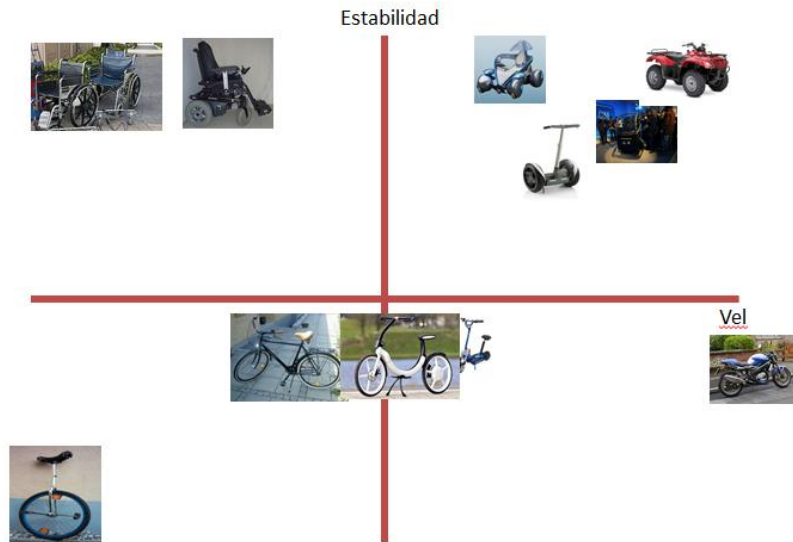


Imagen 8. Gráfica comparativa de estabilidad vs velocidad máxima

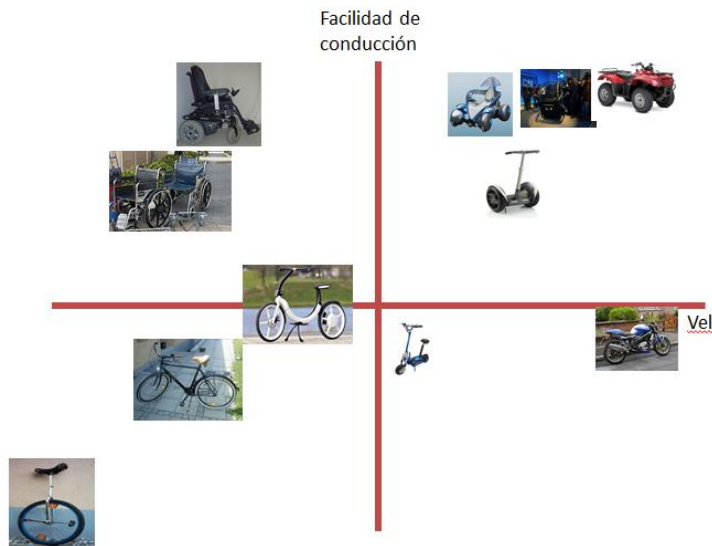
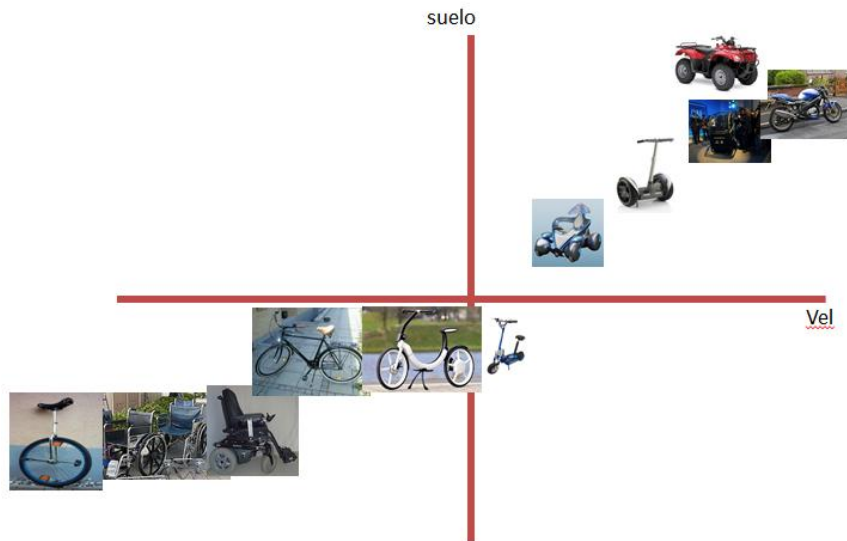


Imagen 9. Gráfica comparativa de velocidad máxima vs facilidad de conducción.





**Imagen 10. Gráfica comparativa de velocidad vs irregularidad en superficies ("Suelo")**

Las gráficas comparativas anteriores nos permitieron percatarnos de que los vehículos que ofrecen mejor desempeño y usabilidad son también aquellos que dan una solución de transporte práctica y de buena aceptación en el mercado. Algunas de las características afines entre ellos permitieron definir las “características objetivo” de nuestro proyecto.

#### 4.2. PATENTES RELACIONADAS.

Se buscaron patentes relacionadas con el tema que pudieran aportar ideas y conocimiento de lo que se ha diseñado con anterioridad con el propósito de definir aún más las características generales de nuestro proyecto.

Se muestran a continuación un ejemplo de las patentes obtenidas en esta etapa de la investigación.

##### *Riderless stabilization of a balancing transporter.*

En la patente de la Imagen 11 se muestran elementos importantes del diseño de un vehículo tipo Segway.

Existen algunas otras patentes de este tipo en donde se proponen algunas soluciones de transporte, incluso para enfermos (Imagen 12 e Imagen 13).

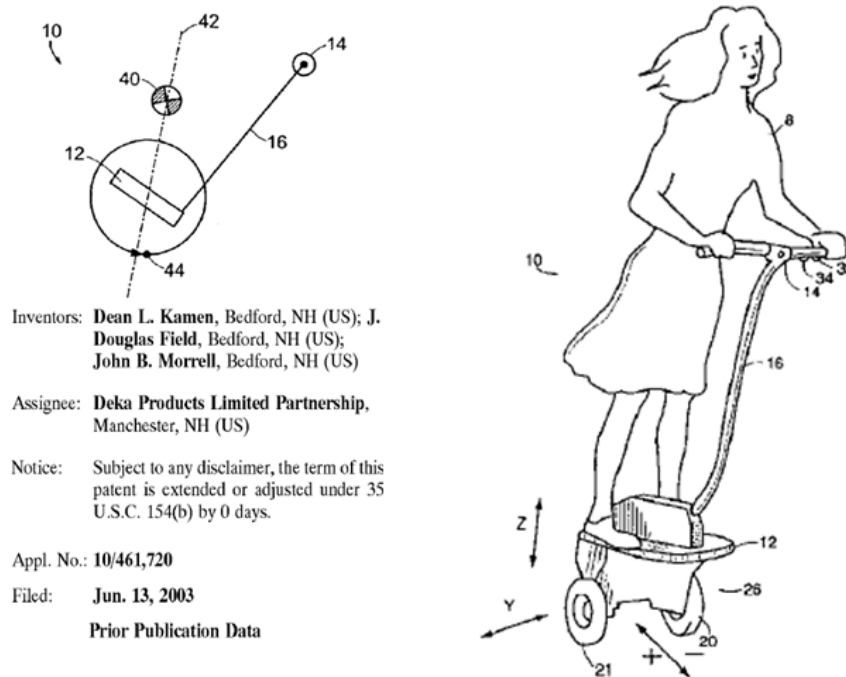


Imagen 11. Patente de vehículo tipo Segway (No. de patente- US 6,779,621 B2).

### Hospital bed power assist

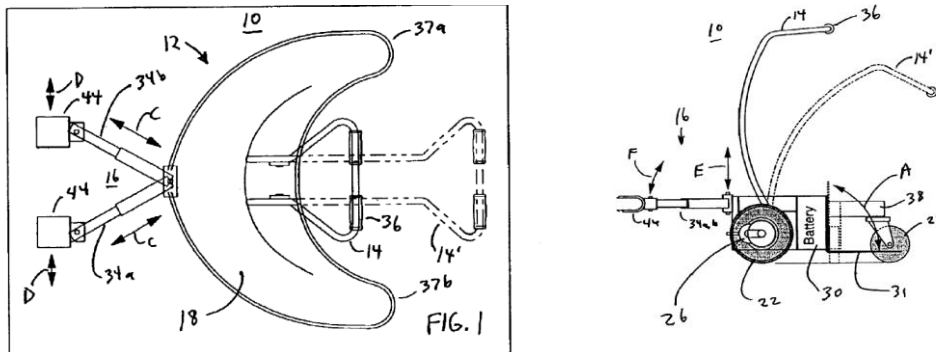


Imagen 12. Patente de una solución de Movilidad de enfermos (No. de patente- US 7,219,754 B2).

### Adjustable patient transport system

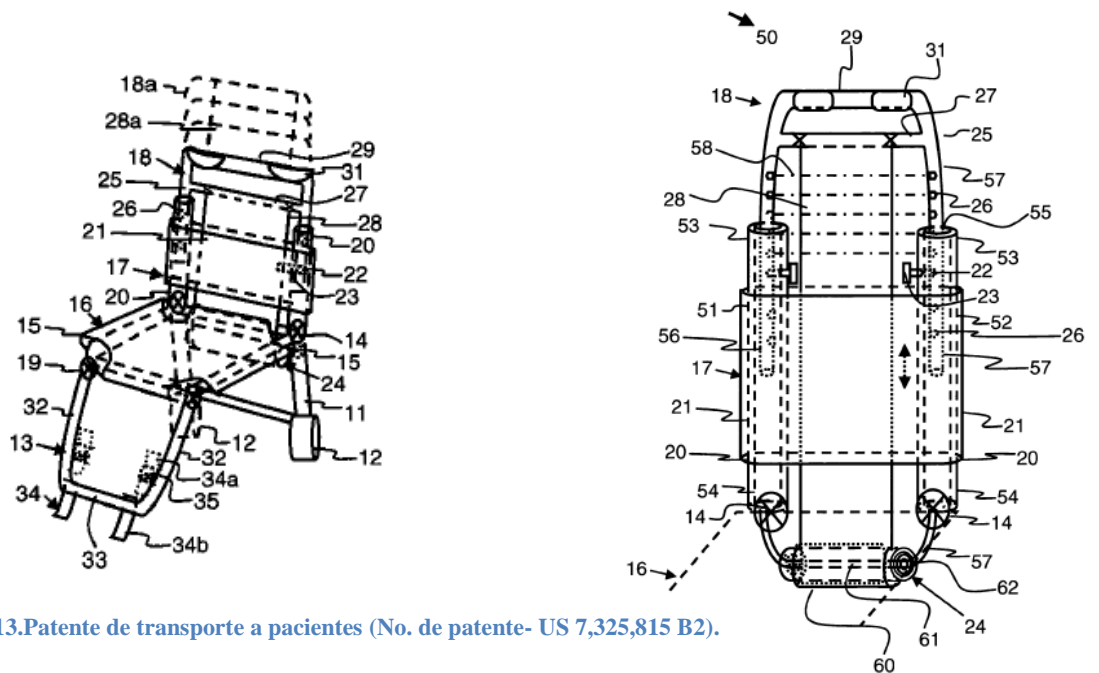


Imagen 13. Patente de transporte a pacientes (No. de patente- US 7,325,815 B2).

Se observó al finalizar esta etapa de investigación que existen ya diversas soluciones en cuanto a transporte personal se refiere, pero son muy pocas las que explotan el principio del péndulo invertido por lo que se le puede considerar hasta cierto punto un campo virgen. Esto ayudo a motivar la creación de un dispositivo móvil con movimiento auto-balanceable ya que se descubrió que en México no se ha desarrollado nada de este tipo.

---

## CAPITULO 5. DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN DISPOSITIVO DE PRUEBA PARA EL CONTROL.

---

En este apartado se presenta el desarrollo del prototipo de un vehículo que funciona bajo el principio del péndulo invertido. El desarrollo del prototipo requirió de la implementación e integración de diversos módulos (electrónico, mecánico, software y control), siendo un diseño mecatrónico completo. Sus módulos fueron diseñados en paralelo.

Este capítulo muestra cómo resolver el problema del péndulo invertido y cómo integrarlo a un vehículo empleando elementos asequibles en el país.

Se propuso el diseño de un prototipo a escala con la finalidad de probar las siguientes etapas del proyecto:

- Uso de sensores para medir el ángulo de inclinación del vehículo
- Implementación del control de estabilidad en un microcontrolador
- Caracterización del ángulo máximo de operación del vehículo

Para este diseño se propuso la estructura mecánica mostrada en la Imagen 14, esta es la configuración básica del péndulo invertido, ya que se intentó mantener estable al prototipo sobre sus 2 ruedas.

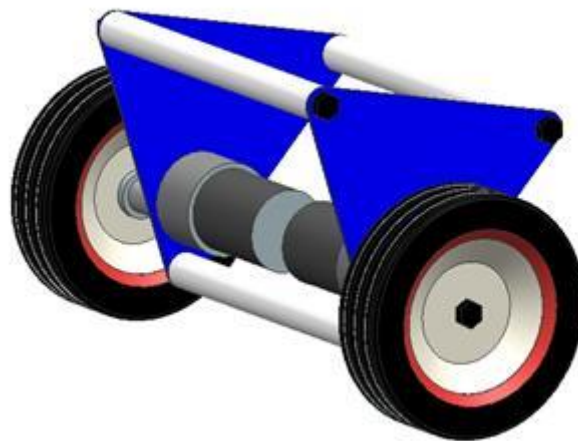
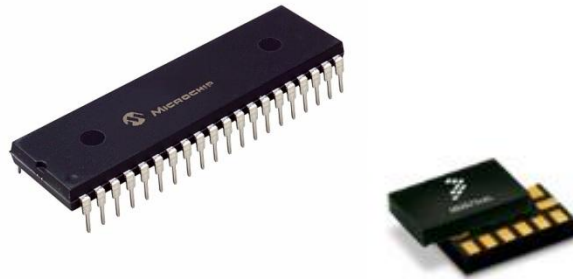


Imagen 14. Modelo Sólido del prototipo 1.

### 5.1. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.

El prototipo se instrumentó usando 2 sensores inerciales del tipo MEMS para poder medir el ángulo de inclinación del vehículo con respecto a la vertical, usando un acelerómetro (Imagen 15), y un giroscopio electrónico la señal de ambos fue filtrada para obtener el ángulo de la manera más precisa.

El funcionamiento del controlador es dar la velocidad y sentido a los motores dependiendo del ángulo al que se encuentre el vehículo respecto a la vertical, intentando llevarlo a la posición deseada. Este se realizó en un microcontrolador de gama alta de la marca Microchip 18f4550 (Imagen 15).

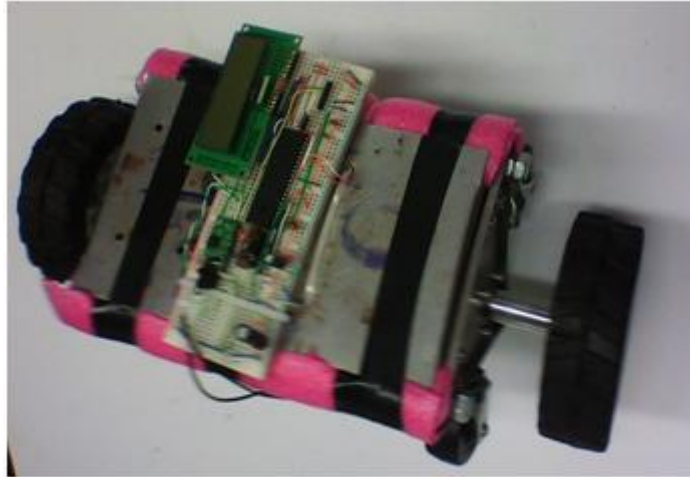


**Imagen 15. Microcontrolador y acelerómetro.**

El primer prototipo se muestra en la Imagen 16 e Imagen 17. Se muestra el circuito electrónico de control en donde estaba contenido la parte lógica, potencia e instrumentación.



**Imagen 16. Prototipo 1.**



**Imagen 17. Prototipo con circuito de control de prueba.**

Los componentes fueron seleccionados con base en lo que se puede conseguir en el país y que cumpliera con las características deseadas para el prototipo, a continuación se enlistan los componentes seleccionados para el prototipo

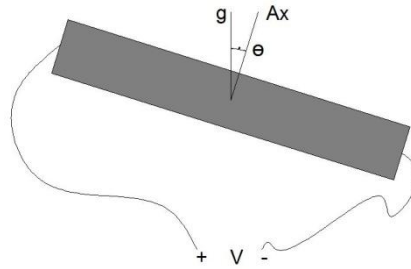
- Una batería de 12V
- Motores con un torque de 30 N.m trabajando a 12V, Imagen.
- Microcontrolador Pic 18F4553
- Acelerómetro MMA7331, Imagen.
- Giroscopio LPY510AL, imagen.
- Driver para motores L298.

#### **5.1.1. FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO.**

Para tener el conocimiento del ángulo que genera el vehículo con respecto a la vertical de manera precisa se usaron un acelerómetro y un giroscopio del tipo MEMs. La medida se logró usando las mejores características de cada uno de los sensores mencionados, ya que por sí solos cada uno es susceptible a perturbaciones, como se explica a continuación.

##### **5.1.1.1. MEDIDA DEL ÁNGULO CON ACELERÓMETRO**

El acelerómetro produce una señal proporcional a la aceleración a la que se encuentra sometido cada uno de sus ejes, por lo que en estado estático el ángulo puede ser obtenido en función de la aceleración de la gravedad con respecto a la vertical (Imagen 18) si el acelerómetro se encuentra en presencia de vibraciones o aceleraciones, la medida que se tiene es la suma de la aceleración de la gravedad y de la aceleración a la que esté sometido el acelerómetro, lo que impide tener un cálculo correcto del ángulo.



**Imagen 18.** Medición del ángulo usando el acelerómetro; donde: (g) aceleración de la gravedad, (Ax) aceleración medida en el eje X, (V) voltaje a la salida del acelerómetro, ( $\Theta$ ) ángulo entre la vertical y la medida de la aceleración en el eje X

### **5.1.1.2. MEDIDA DEL ÁNGULO CON EL GIROSCOPIO**

El giroscopio produce un voltaje de salida proporcional a la velocidad angular a la que está sometido. Para conocer el desplazamiento angular, basta con integrar la medida de la velocidad angular, multiplicando el valor medido por el tiempo de muestreo, pero con el paso del tiempo, estas medidas harán una suma de errores sistemáticos que generarán en un determinado momento valores erróneos del ángulo, además con esta técnica solo puede obtenerse un ángulo relativo a la posición anterior.

Para discriminar los errores causados por cada dispositivo, se hace uso de un filtro digital llamado “Kalman”, que por su efectividad y fácil implementación es la mejor opción para este tipo de aplicaciones, en donde se requiera conocer la posición angular de algún objeto cuando este se encuentre en movimiento.

El sentido y velocidad de los motores del prototipo son determinados en función de la salida de un controlador PID, este es el parámetro del modulador de ancho de pulso (PWM).

## **5.2. MÓDULO MECÁNICO DEL PROTOTIPO 1.**

El diseño mecánico del vehículo se ideó de forma que el centro de masa se localizara en un punto cercano al eje de los motores, y que tuviera una geometría simple de un péndulo invertido:

Los puntos más importantes en el diseño del módulo mecánico del prototipo 1 fueron:



### 5.2.1. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE PROTOTIPO 1.

En función de los motores, llantas y batería adquiridos, se definió la geometría del vehículo y se modeló en un software de CAD (Imagen 19, Imagen 20 e Imagen 21).

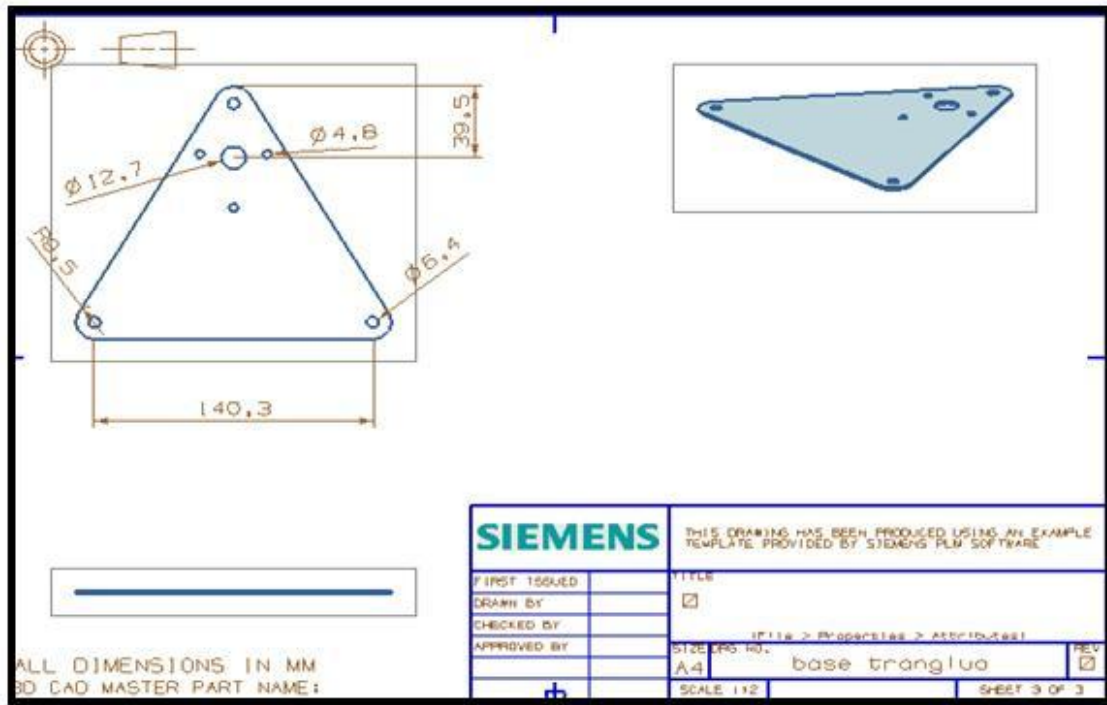


Imagen 19. Planos de láminas de soporte.

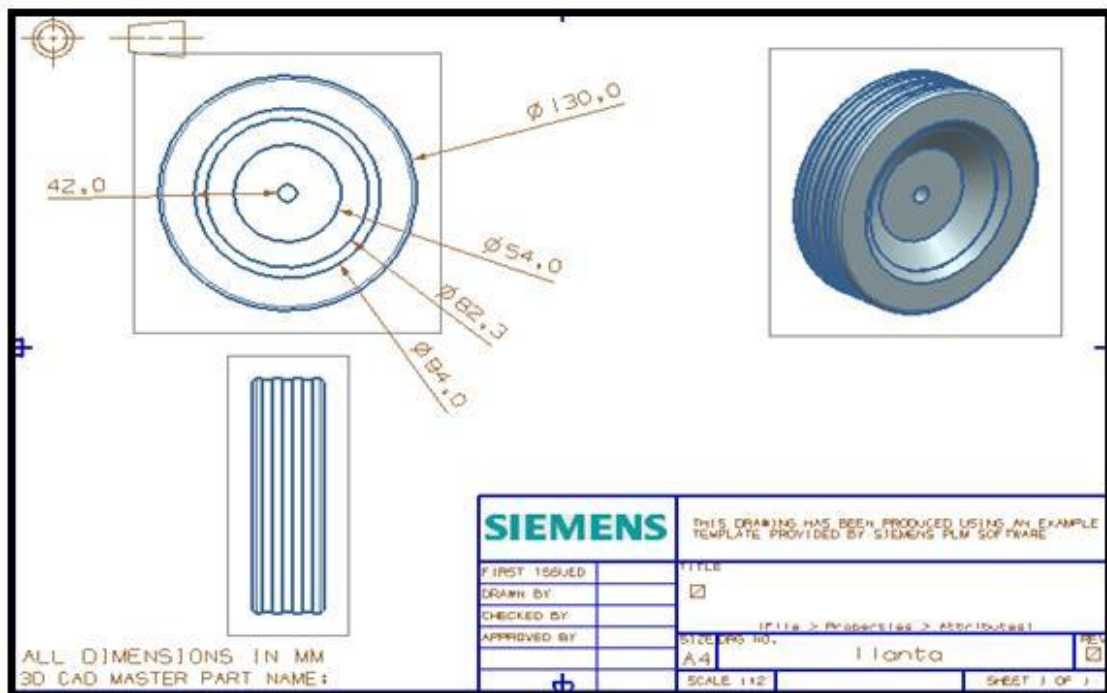


Imagen 20. Planos de llantas usadas.



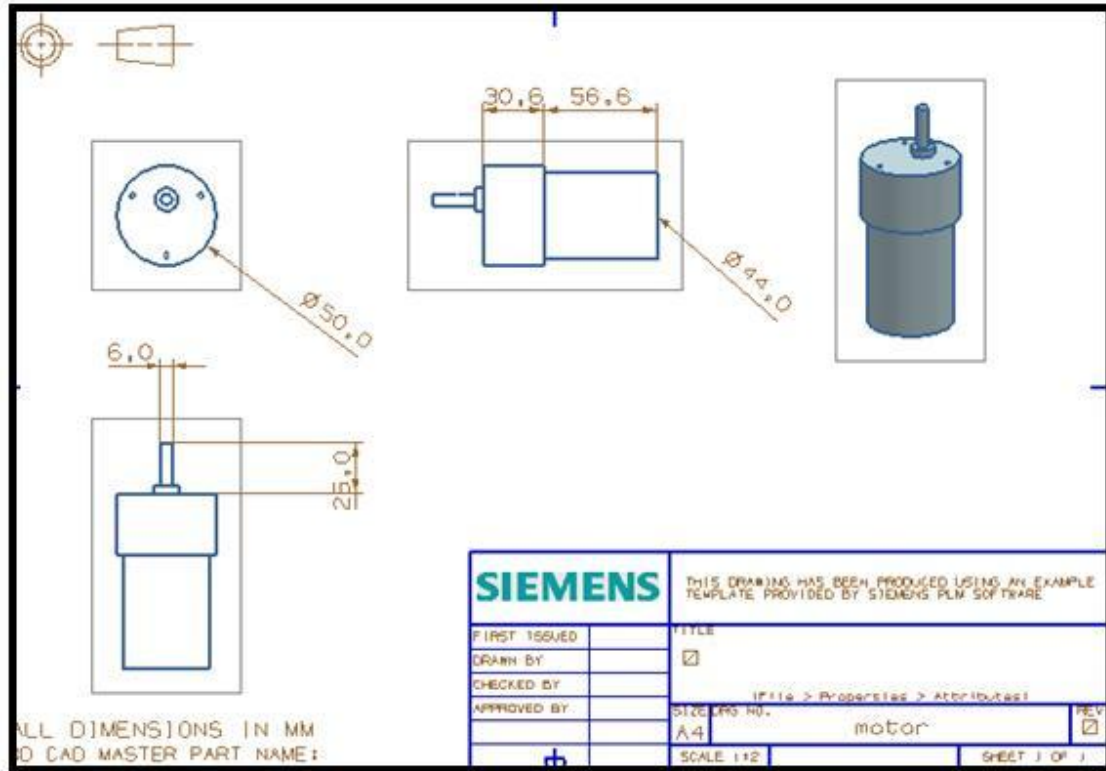


Imagen 21. Planos de motor empleado.

El modelo sólido final es mostrado en la Imagen 22.

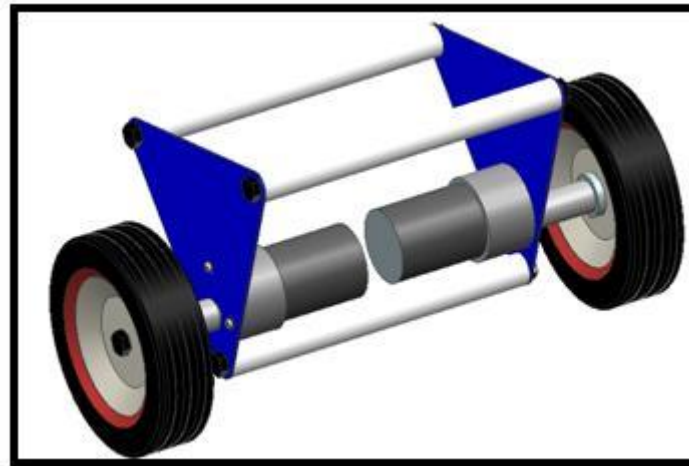
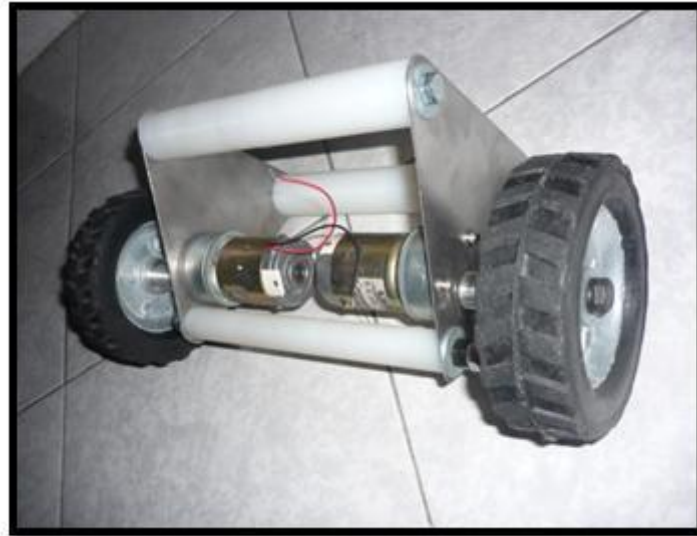


Imagen 22. Modelo final.

### 5.2.2. MANUFACTURA DE PROTOTIPO 1.

Para la construcción se utilizó lámina y Nylamid maquinado en torno para garantizar paralelismo en las llantas y colinealidad en los ejes del motor. Después del ensamble se llegó al prototipo mostrado en la Imagen 23.



**Imagen 23. Prototipo 1.**

Después de hacer varias pruebas, se encontraron deficiencias en el desempeño del prototipo 1 debido a que:

- Tenía una estructura muy pesada.
- Los motores estaban sobrecargados.
- Presencia de backlash en la reducción de los motores
- Había sobrecalentamiento del circuito de potencia.
- Inestable en ciertas condiciones.
- Baja duración de batería.

Dado los problemas que presentó el prototipo 1 en las pruebas de control se decidió realizar otro prototipo más ligero y más pequeño, con el cual se obtuvieron resultados más satisfactorios en las pruebas de estabilidad. Este dispositivo fue llamado “MiniVepi” y es mostrado en la Imagen 24.



**Imagen 24. Mini VEPI**

### 5.3. MÓDULO DE SOFTWARE.

Se diseñó y programó una herramienta que ayudara a conocer el comportamiento de los sensores empleados y a generar una comunicación con el microcontrolador para poder introducir los valores de las ganancias del controlador y graficar las variables enviadas por el microcontrolador (Imagen 25, Imagen 26 e Imagen 27).

Se utiliza comunicación serial RS-232 a una velocidad de transmisión y recepción de datos entre los dos dispositivos de 115200 Baudios y se programó en el lenguaje de programación C#.

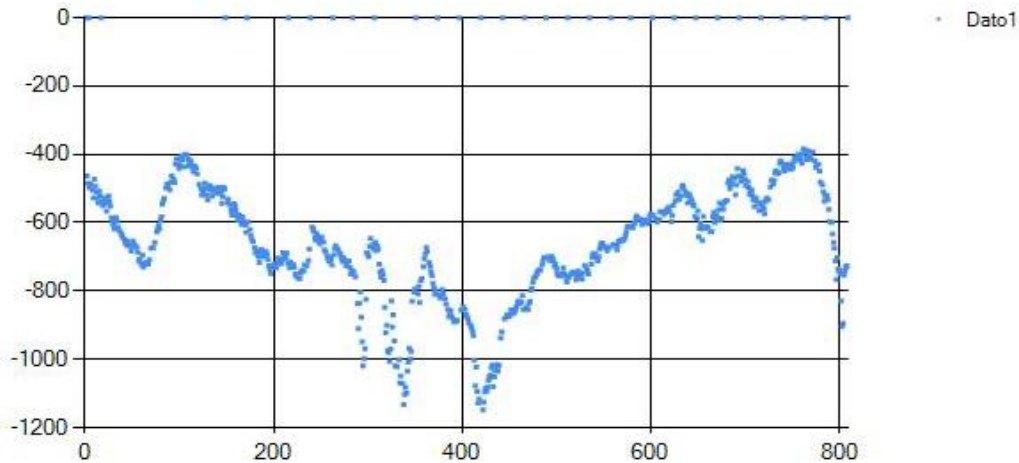


Imagen 25. Gráfica desplegada por software diseñado

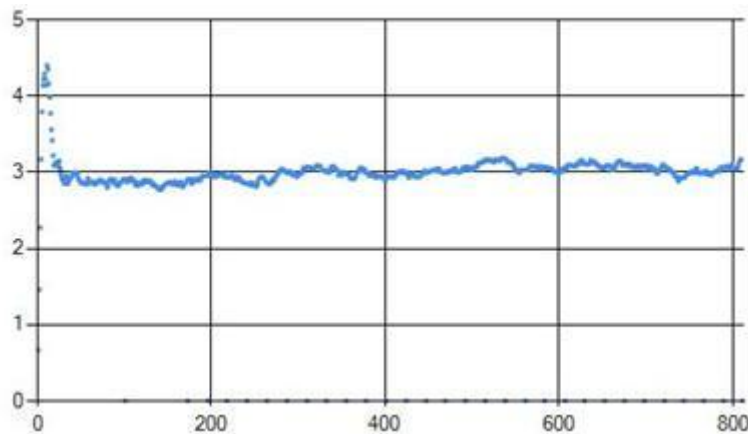


Imagen 26. Gráfica generada por el software de la medida del ángulo del vehículo

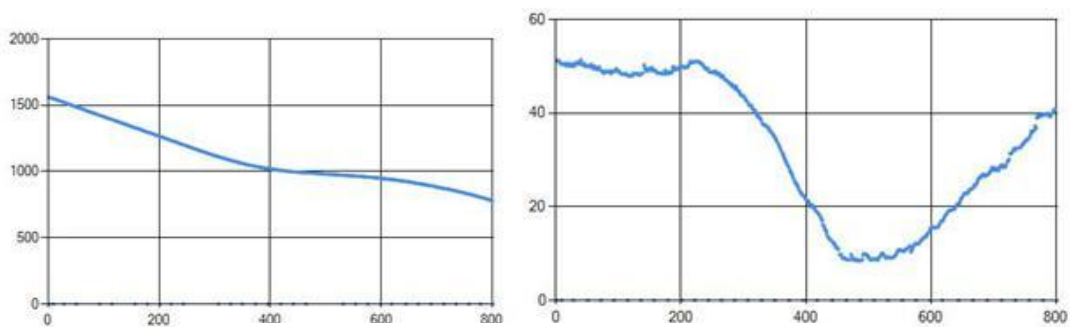


Imagen 27. Gráficas de velocidad y ángulo del vehículo.

#### 5.4. MÓDULO DE CONTROL.

El programa que se creó para el módulo de control se realizó en un microcontrolador de la familia Microchip, PIC 18F4553. El microcontrolador se encarga de realizar los cálculos del controlador PID y de adquirir las señales de los sensores para filtrarlas y calcular el valor del ángulo del vehículo. Un diagrama de flujo en pseudocódigo del programa implementado es mostrado en la Imagen 28.

El microcontrolador realiza una muestra cada 5 ms del acelerómetro y del giroscopio, para aplicarles el filtro Kalman y así usar este ángulo en el cálculo del error para el controlador PID.

El microcontrolador envía los datos hacia la computadora mediante el protocolo de comunicación serial RS232, para que en este se puedan generar las gráficas correspondientes a las variables enviadas por el microcontrolador.

El control empleado es un PID discreto, cuyos valores de ganancia fueron ajustados mediante la interfaz en la computadora.

El diagrama de flujo del filtro Kalman se muestran en la Imagen 29.

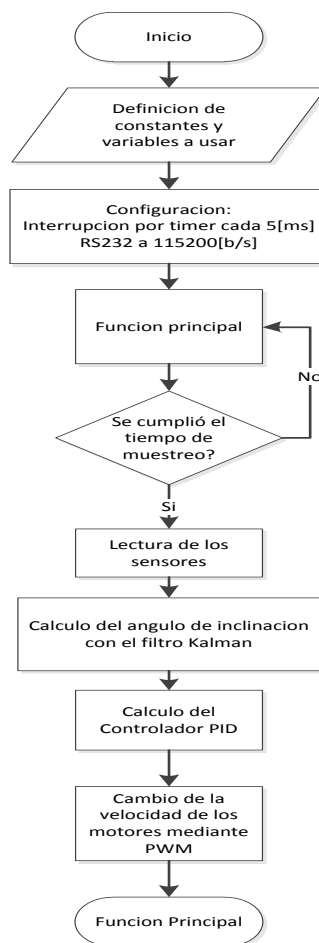


Imagen 28. Diagrama en pseudocódigo del programa implementado en el microcontrolador.

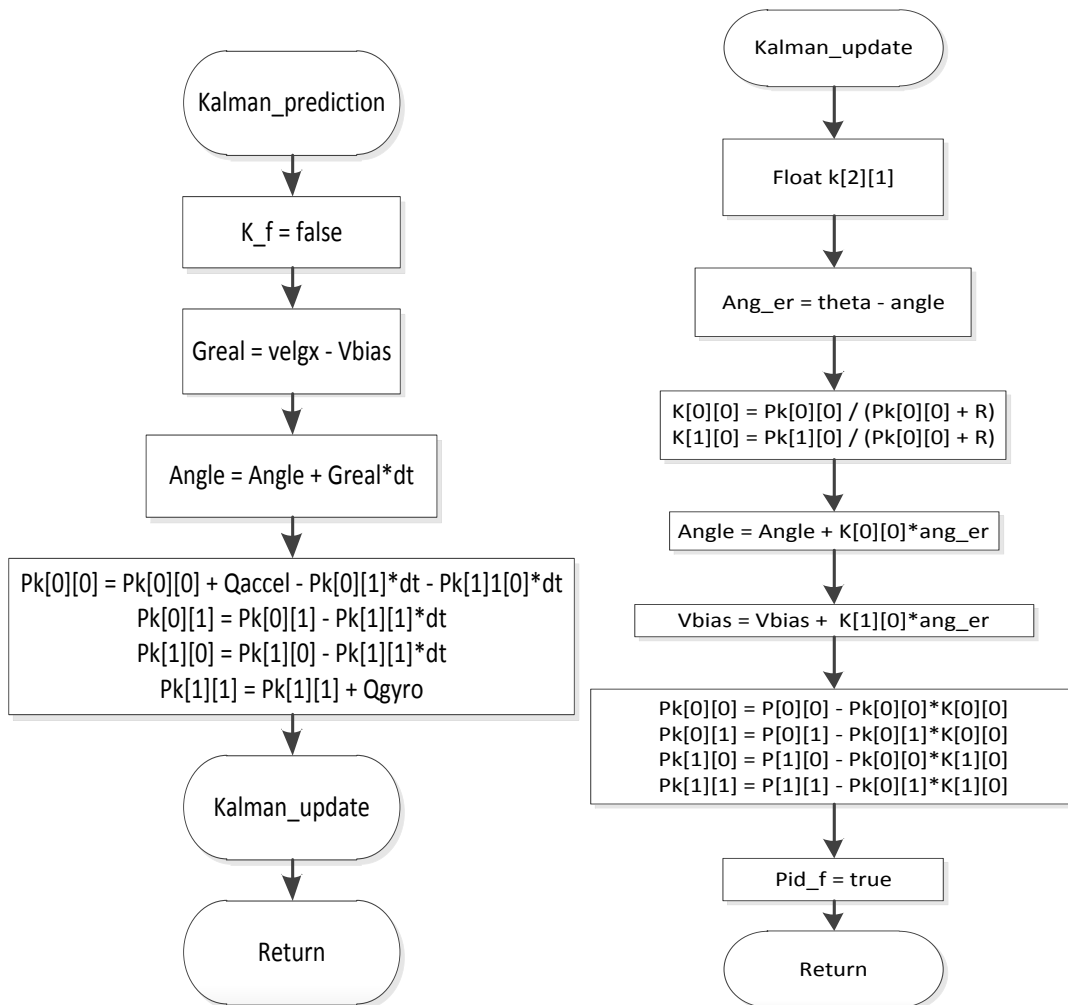


Imagen 29. Diagrama en pseudocódigo del programa del filtro kalman.

#### 5.4.1. ELABORACIÓN DEL MÓDELO MATEMÁTICO.

Para realizar el controlador, se generó como primer paso el modelo matemático, del dispositivo para conocer las respuesta libre del sistema y sus variaciones ante diferentes excitaciones. El modelo matemático fue obtenido mediante las ecuaciones de Euler-Lagrange y se muestra en este apartado.

Como primer paso en el procedimiento de obtención del modelo matemático realizarón los diagramas de cuerpo libre del dispositivo y el diagrama de velocidad total mostrado en Imagen 30 e Imagen 31.

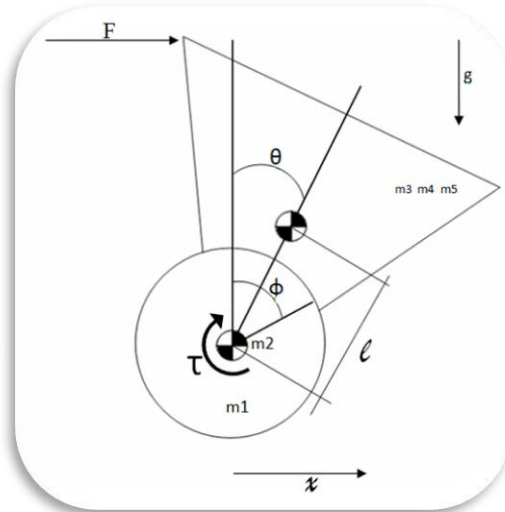


Imagen 30. Diagrama de cuerpo libre del prototipo.

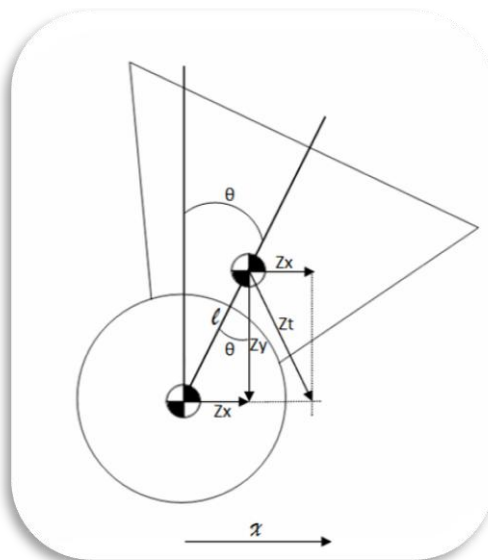


Imagen 31. Diagrama de la velocidad total del vehículo.

#### 5.4.1.1. Nomenclatura de las variables y constantes usadas.

La nomenclatura asignada a las variables y constantes empleadas se muestra en la siguiente lista.

- F- Fuerza aplicada para desequilibrar el vehículo
- b1- Coeficiente de fricción entre la rueda y el piso
- b2- Coeficiente de fricción del rodamiento de la rueda
- $\tau$ - Torque aplicado por los motores
- g- gravedad

- x- Desplazamiento del vehículo
- m1- Masa de cada llanta
- m2- Masa de los motores
- $\Theta$ - Angulo del vehículo con respecto a la vertical
- $\Phi$ - Angulo de giro de las llantas
- r- Radio de las llantas
- l- Distancia entre las llantas y el centro de masa del vehículo
- $Z_t$ - desplazamiento del centro de masa del vehículo
- $Z_y$ - componente del desplazamiento en el eje Y
- $Z_x$ - componente del desplazamiento en el eje X

#### 5.4.2. OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO MEDIANTE LAS ECUACIONES DE EULER-LAGRANGE.

La siguiente parte del procedimiento es establecer las ecuaciones de energía cinética de las variables:

$$U^* = \frac{1}{2} m V^2 \quad ; \quad U^* = \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 \quad ; \quad J = \frac{1}{2} b \dot{x}^2 \quad ; \quad J = \frac{1}{2} b \dot{\phi}^2$$

##### 5.4.2.1. FUERZAS GENERALIZADAS.

Las fuerzas externas generalizadas que el sistema experimenta en su operación son:

- La fuerza F aplicada.
- El torque  $\tau$  que genera el Motor.
- El torque que genera el mismo cuerpo del Péndulo al no estar en una posición estable:

$$m_i g l \sin \theta$$

##### 5.4.2.2. ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.

$$U^* = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_R V_T^2$$

$$V_T^2 = V_x^2 + V_y^2 = \frac{dZ_x^2}{dt} + \frac{dZ_y^2}{dt}$$

Donde:

$$Z_x = x + l \sin \theta \quad ; \quad Z_y = l \cos \theta \quad \text{Por lo tanto}$$

$$\frac{dZ_x^2}{dt} = (\dot{x} + l \cos \theta \dot{\theta})^2 \quad ; \quad \frac{dZ_y^2}{dt} = (-l \sin \theta \dot{\theta})^2 \quad \text{y por lo tanto}$$

$$V_T^2 = V_x^2 + V_y^2 = (\dot{x} + l \cos \theta \dot{\theta})^2 + (-l \sin \theta \dot{\theta})^2 = \dot{x}^2 + 2 l \dot{x} \cos \theta \dot{\theta} + l^2 \dot{\theta}^2$$

$$\text{Y como... } \phi = \frac{x}{r}$$

Finalmente  $U^*$  resulta:

$$U^* = \frac{1}{2}m_1\dot{x}^2 + \frac{1}{2}J_1\left(\frac{\dot{x}}{r}\right)^2 + \frac{1}{2}J_2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_R(\dot{x}^2 + 2l\dot{x}\cos\theta\dot{\theta} + l^2\dot{\theta}^2)$$

$$U^* = \frac{1}{2}(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R)\dot{x}^2 + \frac{1}{2}(J_2 + m_Rl^2)\dot{\theta}^2 + m_Rl\dot{x}\cos\theta\dot{\theta}$$

$T=0$

$$J = \frac{1}{2}b_1\dot{x}^2 + \frac{1}{2}b_2\dot{\phi}^2 = \frac{1}{2}\left(b_1 + \frac{b_2}{r^2}\right)\dot{x}^2$$

$$L = U^* - T = U^* = \frac{1}{2}(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R)\dot{x}^2 + \frac{1}{2}(J_2 + m_Rl^2)\dot{\theta}^2 + m_Rl\dot{x}\cos\theta\dot{\theta}$$

Para X:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial J}{\partial \dot{x}} = F$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = (m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R)\dot{x} + m_Rl\dot{\theta}\cos\theta$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) = (m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R)\ddot{x} - m_Rl\dot{\theta}^2\sin\theta + m_Rl\ddot{\theta}\cos\theta \quad ; \quad \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \dot{x}} = \left(b_1 + \frac{b_2}{r^2}\right)\dot{x}$$

La ecuación para X es entonces:

$$(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R)\ddot{x} - m_Rl\dot{\theta}^2\sin\theta + m_Rl\ddot{\theta}\cos\theta + \left(b_1 + \frac{b_2}{r^2}\right)\dot{x} = F$$

Para  $\theta$ :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} + \frac{\partial J}{\partial \dot{\theta}} = \tau_{Total}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = (J_2 + m_Rl^2)\dot{\theta} + m_Rl\dot{x}\cos\theta$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) = (J_2 + m_Rl^2)\ddot{\theta} - m_Rl\dot{x}\dot{\theta}\sin\theta + m_Rl\ddot{x}\cos\theta$$



$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -m_R l \dot{x} \dot{\theta} \operatorname{sen} \theta \quad ; \quad \frac{\partial J}{\partial \theta} = 0$$

La ecuación para  $\theta$  es entonces:

$$\begin{aligned} (J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} - m_R l \dot{x} \dot{\theta} \operatorname{sen} \theta + m_R l \ddot{x} \cos \theta + m_R l \dot{x} \dot{\theta} \operatorname{sen} \theta &= \tau_{motor} + m_R g l \operatorname{sen} \theta \\ (J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} + m_R l \ddot{x} \cos \theta - m_R g l \operatorname{sen} \theta &= \tau_{motor} \end{aligned}$$

Modelo Matemático Completo:

$$\begin{aligned} (m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R) \ddot{x} - m_R l \dot{\theta}^2 \operatorname{sen} \theta + m_R l \ddot{\theta} \cos \theta + \left( b_1 + \frac{b_2}{r^2} \right) \dot{x} &= F \\ (J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} + m_R l \ddot{x} \cos \theta - m_R g l \operatorname{sen} \theta &= \tau_{motor} \end{aligned}$$

### Forma Euler-Lagrange.

El modelo matemático en la forma Euler- Lagrange es:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R & m_R l \cos \theta \\ m_R l \cos \theta & J_2 + m_R l^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 + \frac{b_2}{r^2} & -m_R l \dot{\theta} \operatorname{sen} \theta \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_R g l \operatorname{sen} \theta \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} F \\ \tau_{motor} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

#### 5.4.3. DIAGRAMA DE BLOQUES EN SIMULINK.

El diagrama de bloques realizado para simular la respuesta del sistema con la herramienta informática Simulink de Matlab es mostrado en la Imagen 32.

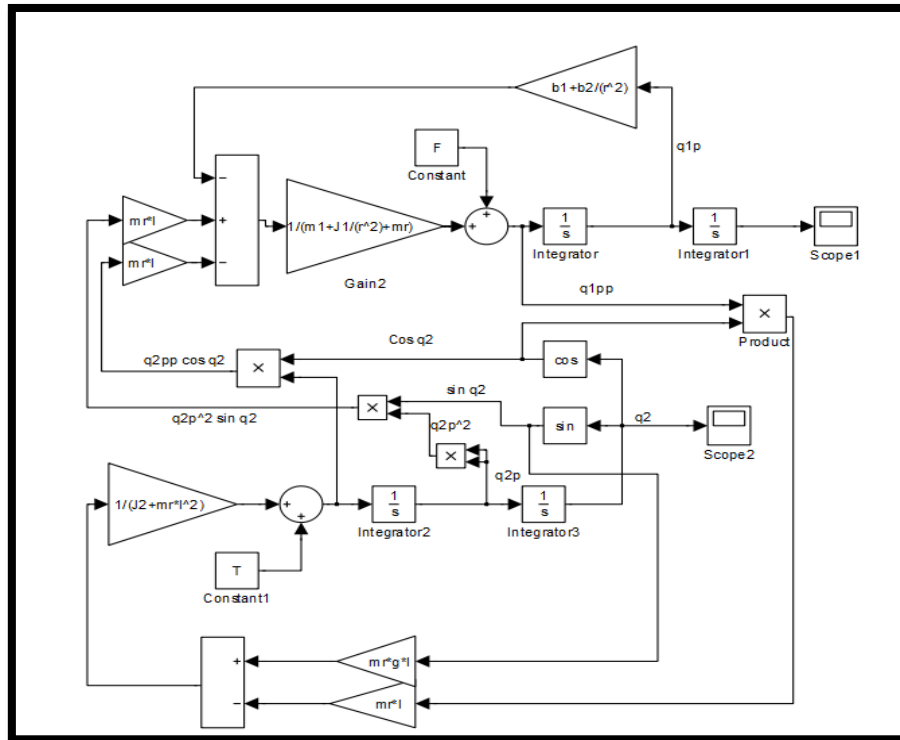


Imagen 32. Diagrama de bloques que describe el comportamiento del sistema.

La obtención del controlador y su implementación son mostradas en la tesis “Implementación de un controlador para un vehículo eléctrico de péndulo invertido” [38].

### 5.5. RESULTADO DE LOS PRIMEROS PROTOTIPOS.

Los resultados obtenidos en el primer y segundo prototipo fueron:

- Se hicieron funcionar los dos sensores inerciales y se pudo obtener una única señal de ambos usando un filtro Kalman
- Se planteó y se programó el controlador de la velocidad mediante un controlador PID usando como retroalimentación el ángulo del vehículo
- Se realizó el modelo matemático del vehículo para conocer la respuesta del mismo
- Se manufacturó el prototipo a escala.
- Se programó un software para poder monitorear el estado de las variables del vehículo en todo momento.

La experiencia obtenida en este prototipo fue la base del desarrollo de un sistema de transporte personal que trabaje bajo el mismo principio.

---

## CAPITULO 6. REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES.

---

### 6.1. GUSTOS Y NECESIDADES DE USUARIOS.

Además de los aspectos meramente técnicos del proyecto, se buscó también el identificar los gustos y necesidades de los usuarios ó posibles futuros clientes. Para esto se realizaron las siguientes actividades:

1. Se diseñaron encuestas y se utilizaron recursos informáticos para aplicarla al público en general. Como datos relevantes se mencionan:
  - Se evaluaron los gustos y preferencias de los usuarios.
  - Se obtuvo una muestra representativa de más 180 personas.
  - Se uso un Software vía internet para recabar la información.
2. Se realizaron entrevistas verbales y escritas a usuarios de Segway en el bosque de Chapultepec, en virtud de que este vehículo es el producto más similar que existe al proyecto que desarrollamos.
3. Observación de los usuarios interactuando con el vehículo para detectar aspectos relacionados con sus reacciones, gesticulación y lenguaje corporal.

La finalidad de las mencionadas actividades fue obtener información en los siguientes puntos:

- El interés del público en usar vehículos ecológicos.
- La percepción de los encuestados sobre los vehículos eléctricos.
- Las características más importantes en un vehículo según los usuarios.
- Los hábitos relacionados con el uso de vehículos.
- El valor que un vehículo podría tener para estos usuarios potenciales.
- Gustos y preferencias.
- Ventajas o desventajas que cada vehículo ofrece.
- Costos para venta y renta que el cliente potencial estaría dispuesto a pagar.
- Áreas de oportunidad para nuestro diseño.
- Edad de usuarios.
- Nivel socioeconómico.

#### 6.1.1. RESULTADOS DE LA ENCUESTA.

Algunas gráficas de los resultados de las respuestas de las encuestas se muestran a continuación:

### Vehículos usados

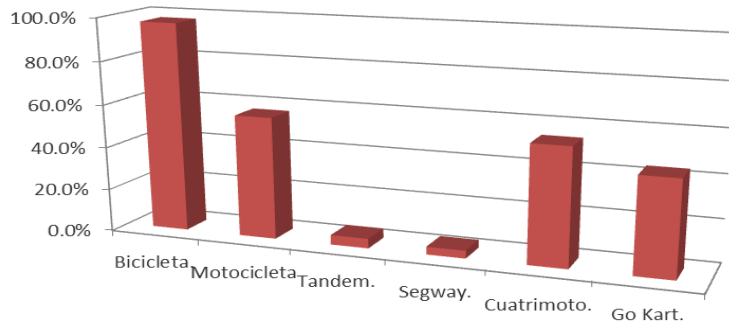


Imagen 33. Conocimiento y uso de vehículos personales en el mercado.

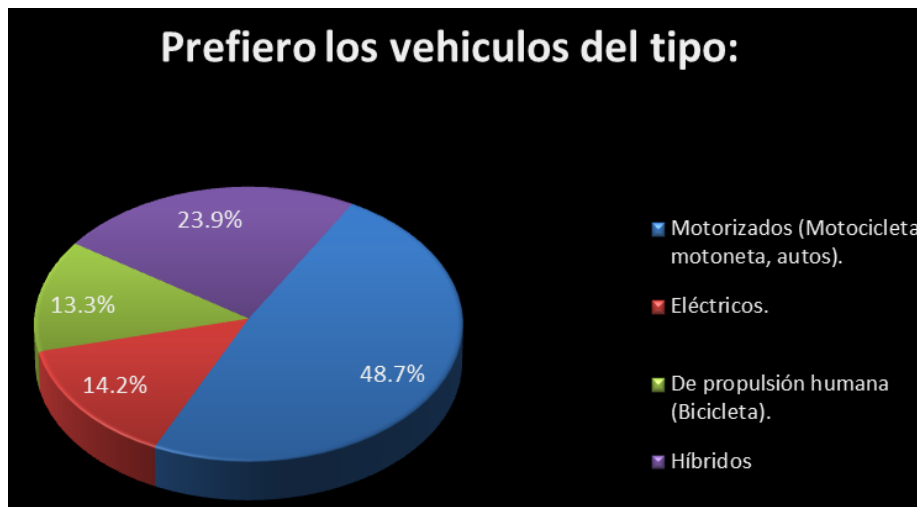


Imagen 34. Preferencia por vehículos en el mercado.

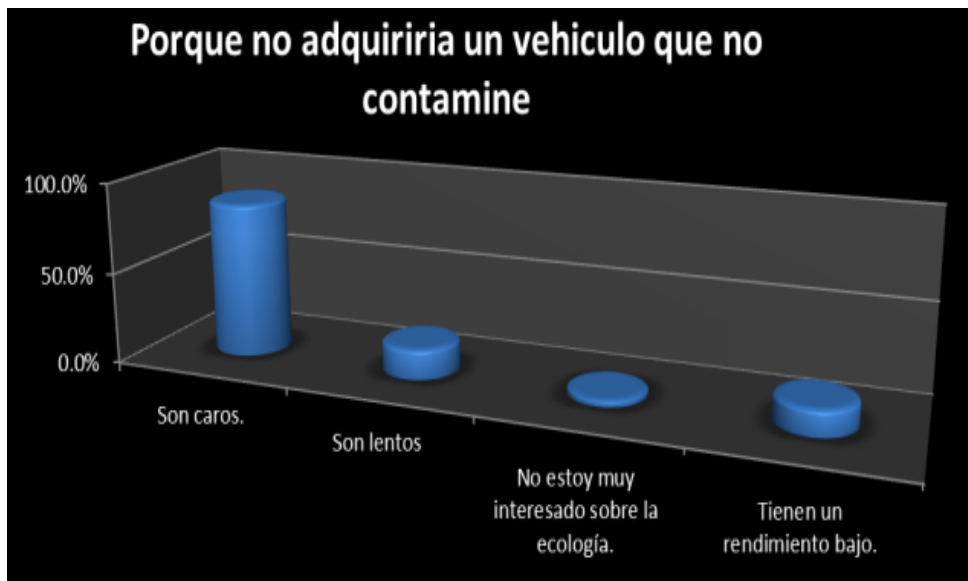


Imagen 35. Percepción sobre vehículos no contaminantes.

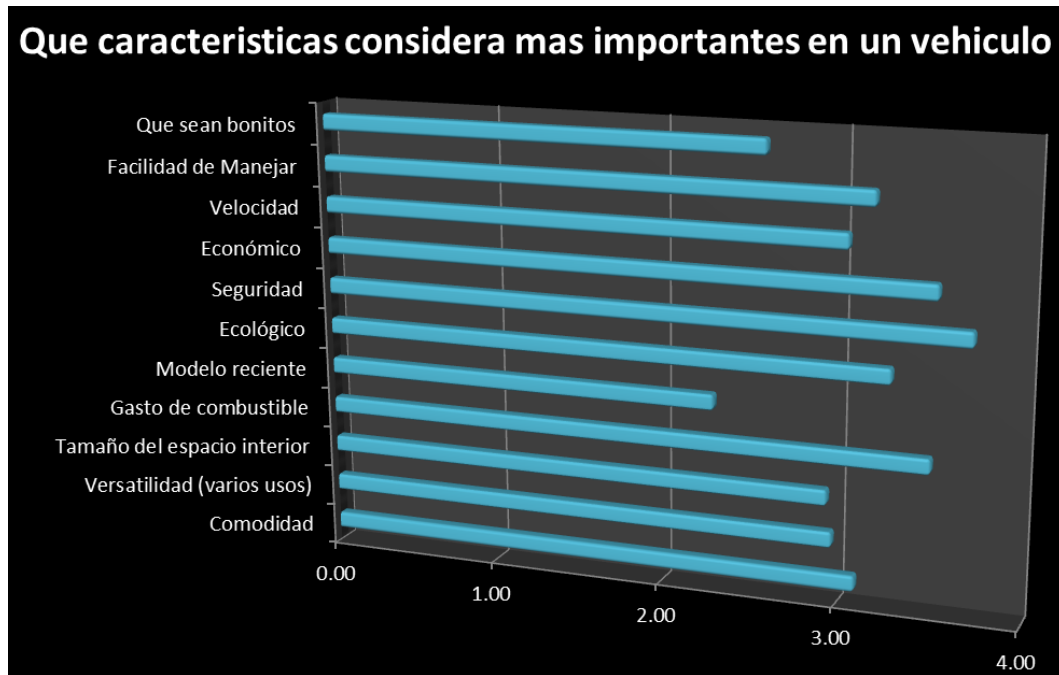


Imagen 36. Características importantes para usuarios.

Las encuestas y gráficas obtenidas en línea nos arrojaron información interesante para esta etapa de diseño, por ejemplo:

- El interés en general por usar vehículos ecológicos es bastante alto, pero la percepción de la gente es que el adquirirlos puede ser muy costoso (Imagen 35). Por este motivo el uso de vehículos motorizados es muy alto (Imagen 34). Aún así, un mayor porcentaje estaría dispuesto a pagar entre \$30,000 y \$50,000 por un vehículo que sustituya funciones del actual y que contamine menos.
- Las características más importantes en un vehículo según los usuarios son: que sean seguros, que sean económicos, que tengan un gasto energético bajo y que sean ecológicos respectivamente (Imagen 36). Esto abre una ventana de oportunidades para vehículos eléctricos.
- Los vehículos que demandan un esfuerzo físico son utilizados en su mayoría para fines de esparcimiento ó como deporte, para transporte la población prefiere vehículos que no cansen en su operación.

Más gráficas de los resultados obtenidos se pueden encontrar en el apartado de anexos.

## 6.2. MARCOS DE REFERENCIA.

Para identificar patrones particulares de comportamiento de los usuarios y detectar oportunidades de innovación, se organizó la información recopilada empleando marcos de referencia [7]. Estos se muestran en los siguientes apartados:

A partir de datos reales obtenidos como se mostró en la sección 6.1, fueron seleccionadas las experiencias de algunos usuarios con la intención de enfatizar sus

características particulares e impresiones respecto del uso del “segway”, vehículo similar al “Vepi”.

### 6.2.1. CARACTERIZACIÓN DE PERSONAJES.

Con esta técnica se representaron patrones de conducta y necesidades de usuarios reales mediante el uso de los llamados “Personajes”, que sirvieran para describir narrativamente a dichos usuarios. Las características de dichos “personajes”, fueron basados en información obtenida de encuestas y observaciones en interacciones reales con un vehículo afín [7].

Para el proyecto se definieron cinco personajes, los cuales son presentados en la Tabla 3.

---

**Nombre: Sandra López**

**Motivo del uso: Laboral**

**28 años. Empleada.**

**Experiencia:**

Considera que el “Segway” es de fácil uso, casi una extensión del cuerpo. Sin embargo expresó que después de algún tiempo de uso, resulta cansado.

**Observaciones:**

Persona joven, se desempeña como guía en el recorrido que se ofrece en el Bosque de Chapultepec.



**Nombre:** Hans Dasbeste

**Motivo del uso:** Turismo

**32 años. Estudiante extranjero.**

**Experiencia:**

Al inicio se sintió algo asustado, pero considera que el “Segway” es un vehículo ecológico novedoso y divertido.

**Observaciones:**

Persona joven, de nacionalidad Alemana, se encuentra de vacaciones en la Ciudad de México.



---

**Nombre:** Sra. Laura Flores

**Motivo del uso:** Paseo

**45 años. Ama de Casa.**

**Experiencia:**

Considera que al inicio del manejo se siente una sensación de inseguridad por la altura y el movimiento, pero después se domina con facilidad.

Le resultó muy cansado a sus piernas.

**Observaciones:**

Persona de 47 años de edad, se encontraba de paseo por el Bosque y por curiosidad decidió rentar “Segway”.



**Nombre:** Tania López

**Motivo del uso:** Paseo

14 años. Estudiante.

**Experiencia:**

Considera divertido el paseo, le pareció emocionante.

**Observaciones:**

Persona con ligero retraso mental, se encontraba de paseo por el Bosque con su familia y por curiosidad decidió rentar “Segway”.



**Nombre:** Daniel Lopez

**Motivo del uso:** Paseo

11 años. Estudiante.

**Experiencia:**

Considera entretenido y emocionante el paseo.

**Observaciones:**

En un principio se mostro temeroso de usar el “Segway” pero en algunos minutos tomo confianza y realizó el recorrido con mucho entusiasmo.

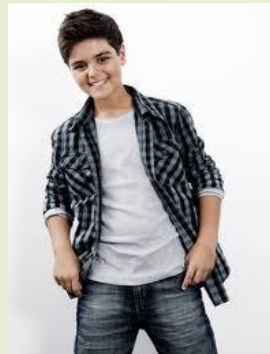


Tabla 3. Personajes.

### 6.2.2. DIAGRAMA DE AFINIDAD.

Con el propósito de clasificar en categorías lógicas la información recabada de la voz del usuario se realizaron diagramas de afinidad.

Estos diagramas tuvieron el propósito de organizar necesidades similares en categorías específicas [7].

Los conceptos claves y el diagrama de afinidad se muestran en la Tabla 4 y en la Imagen 37 respectivamente.



CONCEPTO CLAVE									
NUM.	EDAD	SENSACIÓN DE SEGURIDAD	SENSACIÓN DE COMODIDAD	OPINIÓN DEL COSTO POR RENTA DEL VEHICULO	IMPACTO FISICO AL USUARIO	IMPACTO EMOCIONAL AL USUARIO	FINALIDAD DEL USO	INTERES POR ADQUIRIR EL VEHICULO	INTERES POR MANEJAR AL AIRE LIBRE
1*	11 AÑOS	SEGURO	INCOMODO	RAZONABLE	SE CANSAN LOS PIES	EMOCION	CURIOSIDAD	SI	SI
2	42 AÑOS	AL INICIO INSEGURO, DA UNA SENSACIÓN INUSUAL DE ALTURA, DESPUÉS MUY SEGURO	COMODO	RAZONABLE	CALAMBRES, CANSANCIO	FELICIDAD	CURIOSIDAD	SI	SI
3	15 AÑOS	MUY SEGURO	COMODO	CARO	COMODIDAD	FELICIDAD	PASEO	SI	SI
4	35 AÑOS	INSEGURO AL PRINCIPIO	COMODO	RAZONABLE	MENOS EJERCICIO	EMOCION	PASEO	NO	SI
5	32 AÑOS	ALGO SEGURO	COMODO	BARATO	NINGUNO	AL INICIAR MIEDO, EMOCIÓN AL FINAL	CURIOSIDAD POR MANEJAR	NO	SI
6	40 AÑOS	POCO INSEGURO	POCO INCOMODO	MUY BARATO	CANSANCIO EN RODILLAS Y PANTORILLAS	DIVERTIDO	PASEO	SI	SI
7*	29 AÑOS	SEGURO	MUY COMODO	MUY BARATO	NINGUN IMPACTO	"MUY GRATIFICANTE"	CURIOSIDAD	SI	SI
8*	32 AÑOS	MUY SEGURO	COMODO	RAZONABLE	NINGUNO	"AGRADABLE PASEO"	PASEO	NO	SI
9	12 AÑOS	SEGURO	COMODO	NO SABE	NINGUNO	DIVERTIDO	CURIOSIDAD	SI	SI
10	39 AÑOS	INSEGURO POR ALTURA	LIGERAMENTE INCOMODO	ALGO CARO	LIGERO CANSANCIO	"NO ME GUSTO MUCHO"	CURIOSIDAD	NO	NO
11	20 AÑOS	SEGURO, YA CON PRACTICA	COMODO	ACCESIBLE	NINGUNO	DIVERTIDO	CURIOSIDAD	SI	SI
12*	50 AÑOS	INSEGURO EN TODO EL TRAYECTO	INCOMODO	BARATO	MOLESTIA EN PIES Y RODILLAS	INDIFERENCIA	CURIOSIDAD	NO	NO
13	30 AÑOS	MUY SEGURO	MUY COMODO	RAZONABLE	NINGUNO	FELICIDAD Y EMOCIÓN	YA LO HA USADO ANTES	SI	SI
14	35 AÑOS	INSEGURO EN CIERTAS SUPERFICIES	INCOMODO EN ALGUNAS SUPERFICIES	CARO	CANSANCIO	NERVIOSO AL INICIO	"ME OBLIGÓ MI ESPOSA"	NO	NO
15	14 AÑOS	INSEGURO SOLO AL INICIO	MUY COMODO	BARATO	NINGUNO	DIVERTIDO Y EMOCIONADO	PASEO	SI	SI
16	15 AÑOS	SEGURO	COMODO	MUY BARATO	NINGUNO	EUFORIA Y DIVERSIÓN	FAMA	SI	SI
17*	26 AÑOS	ES MUY SEGURO	MUY COMODO	MUY ACCESIBLE	CONFORTABLE	DIVERTIDO	TRABAJO	SI	SI
18*	22 AÑOS	ES COMO UNA EXTENSION DEL CUERPO	MUY COMODO	MUY BARATO	CANSANCIO LUEGO DE ALGUNAS HORAS	DIVERTIDO	TRABAJO	SI	SI
19*	45 AÑOS	CREE QUE ES SEGURO PERO CUALQUIER IRREGULARIDAD EN EL TERRENO SE SENTÍA MUCHO	COMODO	ACCESIBLE	CANSANCIO EN LAS RODILLAS	NERVIOSISMO	PASEO	SI	SI
20*	32 AÑOS	LE PARECIÓ SEGURO	COMODO	ACCESIBLE	LE PARECIÓ CANSADO	NERVIOSISMO AL INICIO, EMOCIÓN AL FINAL	PASEO	SI	SI

Tabla 4. Conceptos claves para diagrama de afinidad.

El diagrama de afinidad obtenido es mostrado en la Imagen 37:



Imagen 37. Diagrama de afinidad

### 6.2.3. MAPA MENTAL

Se efectuó el análisis de características importantes que pudieran arrojar oportunidades de innovación a través de mapas mentales mostrados en la Imagen 38.

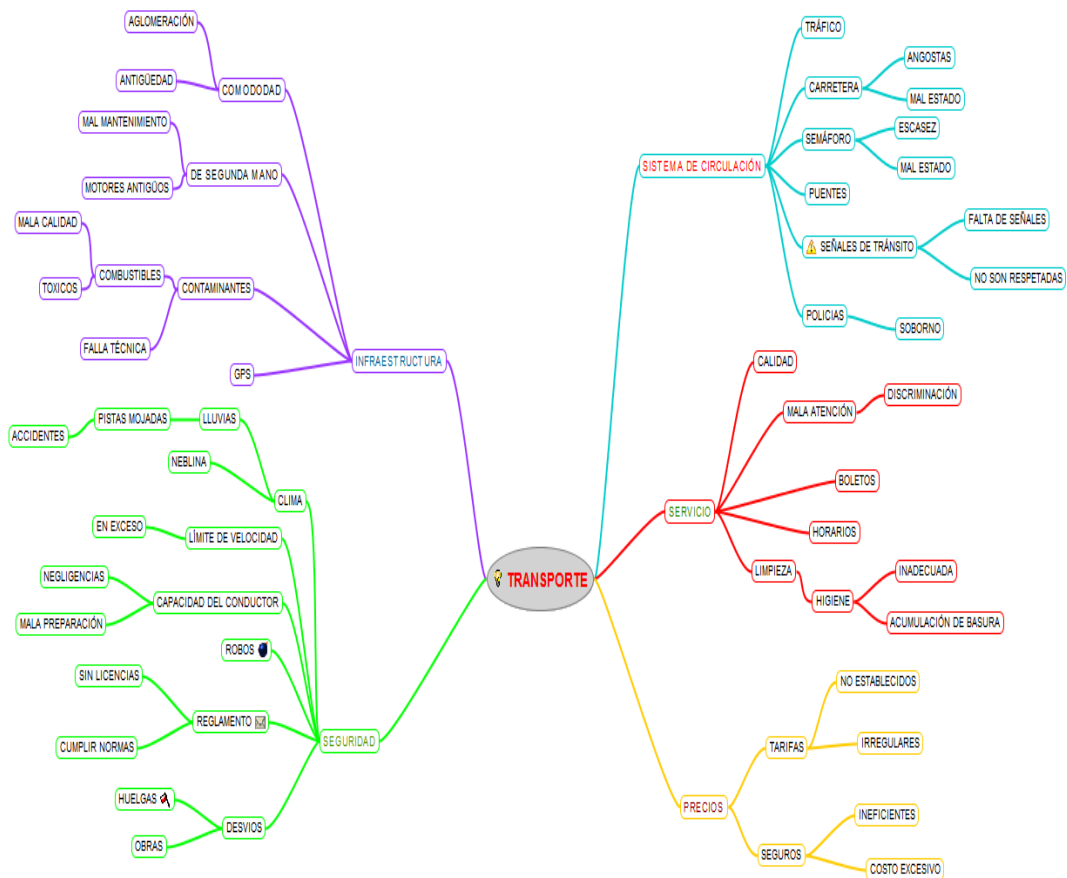
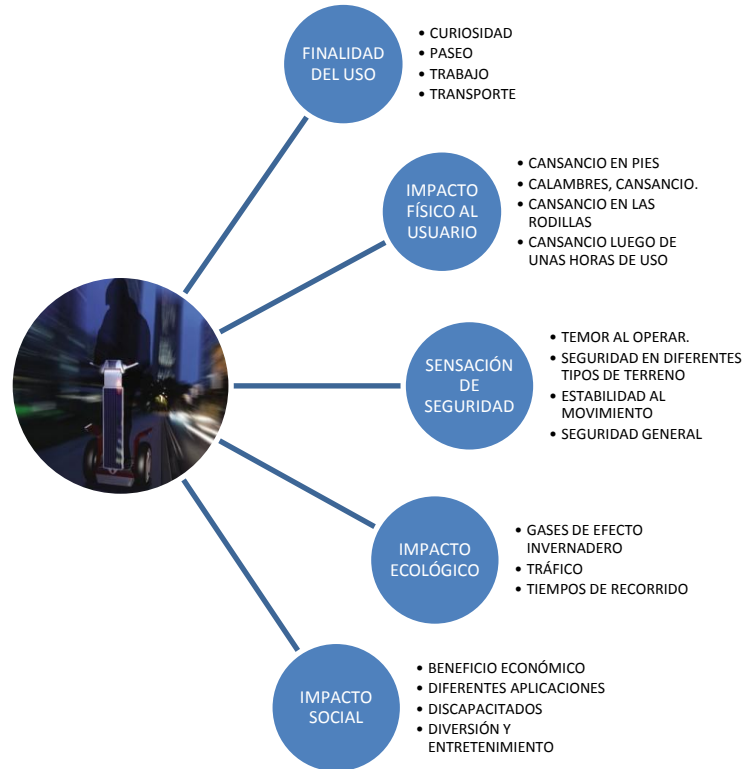







Imagen 38. Mapas mentales.

Posteriormente se efectuó el análisis de los resultados, con auxilio de Línea del Tiempo, para identificar aspectos como el seguimiento de un usuario interactuando con el producto:

**6.2.4. LÍNEA DEL TIEMPO:**

Esta herramienta del conjunto de Organizadores Gráficos, permite ordenar una secuencia de eventos o de hitos sobre un tema, de tal forma que se visualice con claridad la relación temporal entre ellos [7].

IMAGEN I	IMAGEN II	IMAGEN III	IMAGEN IV	IMAGEN V
				
<p>EL USUARIO LLEGA AL PARQUE DE CHAPULTEPEC</p>	<p>OBSERVA EL SERVICIO DE RENTA DE "SEGWAY"</p>	<p>RECIBE CAPACITACIÓN PARA EL USO DEL "SEGWAY"</p>	<p>INICIA SU RECORRIDO</p>	<p>AL TERMINAR EL RECORRIDO, EL USUARIO GENERALMENTE TOMA ASIENTO PARA DESCANSAR.</p>

Esta técnica permitió detectar características específicas del comportamiento del usuario al interactuar con el "Segway" desde el momento en el que llegó al lugar y decidió rentarlo, hasta el momento en que terminó el recorrido aportando información que no se recabó a partir de cuestionarios o entrevistas.

**6.3. MARCO LEGAL.**

No existe en México ninguna regulación que impida o limite el uso o circulación de este tipo de vehículos en espacios públicos [41]. Esta aseveración se refuerza en la página de

internet de “**Amemoving México**”, empresa dedicada a la renta y venta de soluciones alternativas de transporte [40].

Los únicos artículos del reglamento de tránsito referentes a vehículos con características similares (mencionados en este documento) son los artículos 11, 29 y 30. Estos son mostrados en un apartado de los anexos.

#### 6.4. NECESIDADES CREADAS POR LA ESTRATEGIA DE NEGOCIO.

México es un país con un rezago importante en la implementación de normas e infraestructura que promuevan el uso de vehículos alternativos y las condiciones de transportación actuales obstaculizarían la introducción (venta o renta) de un producto con las características que tiene nuestro dispositivo.

Por lo mencionado con anterioridad, fue desarrollado un plan de negocio que mostrara la viabilidad de invertir en nuestro proyecto. Se creó un nombre ficticio de una empresa para el desarrollo de dicho documento.

Se muestra a continuación un fragmento del objetivo planteado en el plan de negocios:

*V. E. P. I. S.A. DE C.V. se proyecta en su primera etapa como una compañía de servicios de transporte enfocado al sector turístico.*

*Como una segunda etapa, se proyecta la venta de los V.E.P.I. a diferentes sectores.*

*El negocio se desarrollaría principalmente en las siguientes líneas estratégicas:*

- 1. **Uso de espacios publicitarios:** Uso de publicidad impresa en espacios destinados para este fin en vehículos eléctricos de una plaza, misma que será exhibida en lugares altamente transitados y de interés para los turistas.*
- 2. **Renta:** Se hará un cobro accesible por el uso de los vehículos por parte de los usuarios al recorrer destinos turísticos. Incluso podría ofrecerse el servicio de manera gratuita si la empresa contratante del espacio publicitario así lo estipule.*
- 3. **Promoción de Destinos Turísticos:** Uso del V.E.P.I. como atractivo turístico para el recorrido de destinos o lugares de interés.*
- 4. **Venta:** Si la aceptación del vehículo en general es buena, se continuaría con la segunda etapa proyectada.*

*Los clientes naturales de V.E.P.I. S.A. DE C.V. serán:*

**1. Clientes directos:**

- a. Empresas que tengan necesidad de publicitar sus productos o servicios.*
- b. Usuarios del transporte para fines turísticos.*

**2. Clientes indirectos:** *Agencias de publicidad que precisan del uso de espacios publicitarios para satisfacer las necesidades de sus clientes y prefieren subcontratar dichos servicios.*

Esta estrategia de negocio trajo consigo mayores necesidades que satisfacer por nuestro producto.

El plan de negocios completo es mostrado en una sección de los anexos.

## 6.5. NECESIDADES.

A partir de los resultados e información obtenidos de los gustos y necesidades de los usuarios, del reglamento de tránsito así como de las necesidades creadas por la estrategia de negocio, se creó la siguiente lista de necesidades:

Núm.	Necesidad	Importancia relativa.	
1	El vehículo	Es ecológico.	5
2	El manejo	Implica un esfuerzo mínimo.	4
3	El vehículo	Es económico para renta.	3
4	El vehículo	Es económico para venta.	3
5	El asiento y el manejo	Es cómodo	4
6	El vehículo	Tiene acceso a espacios reducidos (Puertas o pasillos).	5
7	El vehículo	Es novedoso.	3
8	El vehículo	Es fácil de manejar para cualquier persona.	4
9	El vehículo	Es seguro.	5
10	El vehículo	Se puede operar sentado o de pie.	4
11	El vehículo	Es incluyente (es operado por personas de todas edades y géneros).	2
12	El vehículo	Es bonito	3
13	El vehículo	Puedes operarlo al aire libre o protegiéndote del ambiente.	2
14	La suspensión	Permite un manejo suave en toda superficie.	3
15	El vehículo	Tiene una velocidad adecuada.	3
16	La estructura	Tiene espacio para publicidad impresa.	4
17	El vehículo	Se puede usar en todo tipo de ambientes	2
18	El vehículo	Tiene una forma “diferente” de manejarse	3

Tabla 5. Necesidades del cliente respecto a un vehículo alternativo y su importancia relativa.

### 6.5.1. MATRIZ DE NECESIDADES- MÉTRICAS.

Una lista de necesidades- métricas representa la relación entre necesidades y métricas. Las filas de la matriz corresponden a las necesidades del cliente (o del proyecto), y las columnas corresponden a las métricas. Cada marca en una celda de la matriz significa que la necesidad y la métrica asociada con la celda están relacionadas [1].

MÉTRICA \ NECESIDAD	MÉTRICA																					
	PESO	VELOCIDAD MÁXIMA	CAPACIDAD DE CARGA	ALTURA MÁXIMA DE ASIENTO	ALTURA DE LA PLATAFORMA	LARGO DE LA BASE DE PLATAFORMA	ANCHO DE LA BASE DE LA PLATAFORMA	DISTANCIA DE SEPARACIÓN AL SUELO	SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE LLANTAS	RADIO MÍNIMO DE GIRO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	AUTONOMÍA DE BATERÍAS	MEDIDA DE RINES	ANCHO DE LLANTAS	TIEMPO MÁXIMO EN CICLOS DE CARGA.	ESTATURA MÁXIMA DE OPERADOR	ESTATURA MÍNIMA DE CONDUCTOR	INCLINACIÓN MÁXIMA	POTENCIA DE MOTORES	TORQUE MÍNIMO DE MOTORES.	VOLTAJE DE OPERACIÓN	COSTOS UNITARIO
Es ecológico.																			X	X	X	
Implica un esfuerzo mínimo.	X			X	X										X							
Es económico para renta.	X		X									X							X	X	X	X
Es económico para venta.	X		X									X			X				X	X	X	X
Es cómodo		X		X		X	X			X						X	X	X				
Tiene acceso a espacios reducidos (Puertas o pasillos).				X	X	X	X	X	X	X			X	X		X	X					
Es novedoso.				X		X	X		X	X		X										X
Es fácil de manejar para cualquier persona.	X	X		X						X								X				
Es seguro.	X	X	X	X	X			X			X					X	X	X	X	X	X	X
Se puede operar sentado o de pie.				X			X									X	X	X				
Es incluyente (es operado por personas de todas edades y géneros).		X	X	X			X									X	X					
Es bonito				X	X	X	X	X	X				X	X								
Puedes operarlo al aire libre o protegiéndote del ambiente.											X											X
Permite un manejo suave en toda superficie.	X	X	X					X		X			X	X								
Tiene una velocidad adecuada.	X	X	X							X	X	X	X						X			
Tiene espacio para publicidad impresa.					X	X	X	X	X				X									

Tabla 6. Matriz de necesidades- métricas.

### 6.5.2. OPORTUNIDAD DE INNOVACIÓN A PARTIR DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO.

Una vez identificadas las necesidades y ubicados los patrones de comportamiento de los usuarios, quedaron expuestas algunas oportunidades de innovación para el V.E.P.I..

De los datos obtenidos del estudio y de los marcos de referencia, se crearon posibles conceptos mediante lluvia de ideas.

Mediante el estudio hecho a vehículos similares, se obtuvieron características importantes a contemplarse en nuestro diseño.

La investigación hecha al reglamento de tránsito nos dio el conocimiento de que no existe restricción o regulación aun estipuladas para el uso de este tipo de vehículos, tal y como se le considera al Segway.

Dentro de las oportunidades de innovación más importantes se pueden mencionar:

- La posibilidad de poder brindarle al usuario más de una posición de operación, es decir: Cuando el operador experimente fatiga ó dolor en articulaciones ó músculos al manejar el dispositivo de pie, podrá sentarse y conducir en una posición segura y cómoda.
- La oportunidad de ofrecer una nueva forma de interactuar con el control de mando para operar el móvil.
- Definir las dimensiones del vehículo tal forma que el usuario pueda acceder a espacios en donde siempre se ha tenido que transitar a pie.
- Contar con espacios ó con accesorios que permitan el uso de publicidad.

## 6.6. SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE CONCEPTOS.

Los conceptos finales fueron seleccionados según el criterio de los desarrolladores, con apoyo de las matrices de necesidades.

La opinión e información de los usuarios fue en buen grado muy reiterativa, hecho que ayudo al equipo a definir los conceptos finales.

## 6.7. PRIMER PROPUESTA DE MODELO CONCEPTUAL.

Después de crear algunos bocetos que ayudaron a plasmar las ideas obtenidas se hizo la primera aproximación del modelo conceptual mostrado en la Imagen 39

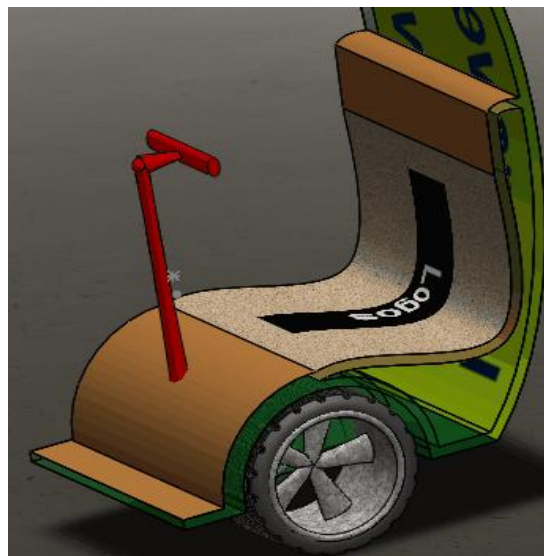


Imagen 39. Modelo sólido de la primera aproximación.



En este primer modelo (Imagen 39), se solucionan algunas de las necesidades detectadas como sería el uso de espacios para publicidad, tener acceso a espacios reducidos, posición de operación cómoda y manejo simple entre otras, aunque también se omiten algunas necesidades importantes como la posibilidad de conducir sentado o de pie.

Refinando la primera aproximación y priorizando la importancia de algunas necesidades detectadas se creó el modelo conceptual final de esta etapa (Imagen 40).



Imagen 40. Primer modelo conceptual.

Algunas necesidades integradas al concepto son mostradas en las siguientes imágenes.



Imagen 42. Usuario sentado.



Imagen 41. Usuario de pie.

En la Imagen 42 se observa la forma en la que el asiento se ajustaría para hacer posible su operación en posición sentada, así como en la Imagen 41 se muestra al asiento abatido para poder realizar la conducción del vehículo estando de pie. En estas mismas imágenes se puede ver el vehículo con y sin capota expuesta. El asiento convertible se puede visualizar en la Imagen 43.

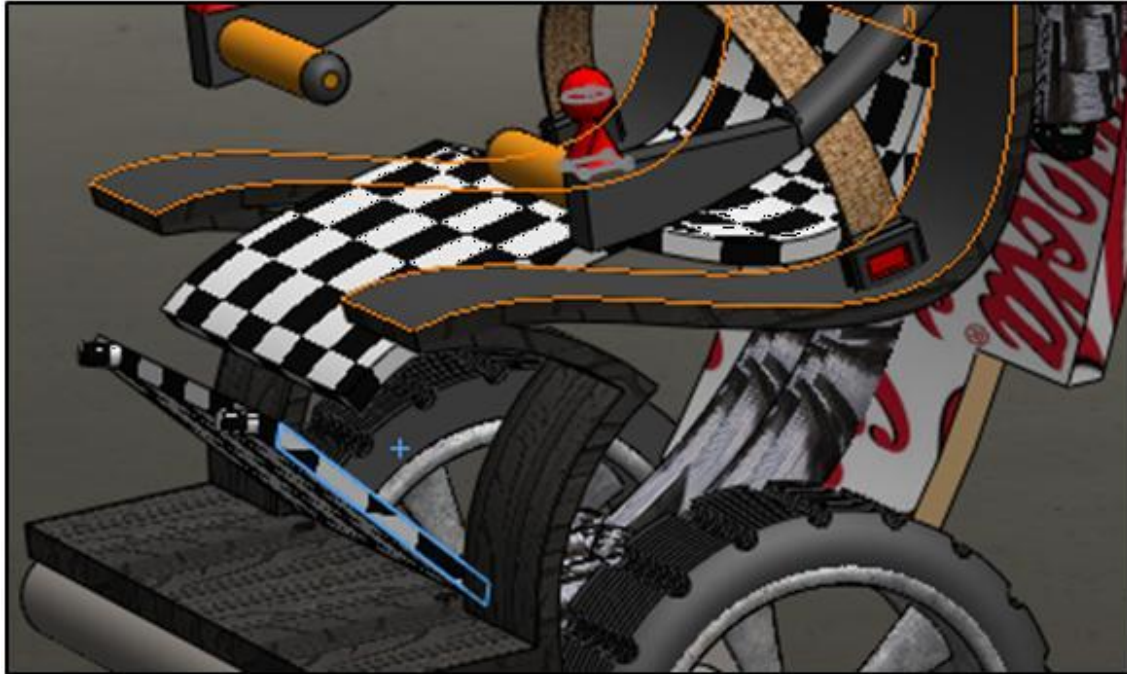


Imagen 43. Asiento convertible.

La solución propuesta en el modelo conceptual que satisficiera la necesidad de disponer de espacios publicitarios, creada a partir del plan de negocios está plasmada en Imagen 44.



Imagen 44. Espacio publicitario.

El ensamble modular del primer modelo conceptual es el mostrado en la Imagen 45.



Imagen 45. Ensamble modular.

Se muestra en la Imagen 46 el primer emblema de nuestro producto.



Imagen 46. Primer Emblema de VEPI.

## 6.8. PRIMERA ITERACIÓN.

Se realizó una primera y breve iteración con el apoyo de un estudiante de diseño industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (Ariel Alonso de la Torre Ramos), en donde se abordaron aspectos que no fueron considerados en la primera etapa del diseño conceptual. Estos fueron:

- Ergonomía.
- Antropometría.
- Estética

El procedimiento seguido en esta rápida iteración fue:

- Investigación de conceptos afines (Imagen 47).
- Encuesta realizada por internet.
- Lluvias de ideas.
- Elaboración de prototipos rápidos (Imagen 48).
- Etapa creativa (Imagen 49).
- Elaboración de propuesta final de diseño conceptual (Imagen 50).



Imagen 47. Ejemplos de conceptos afines al proyecto. "Asiento ajustable para aviones".



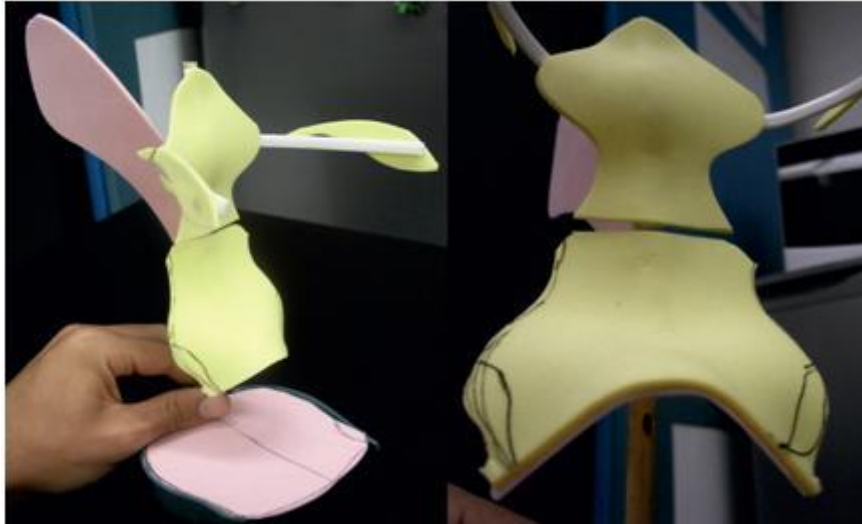
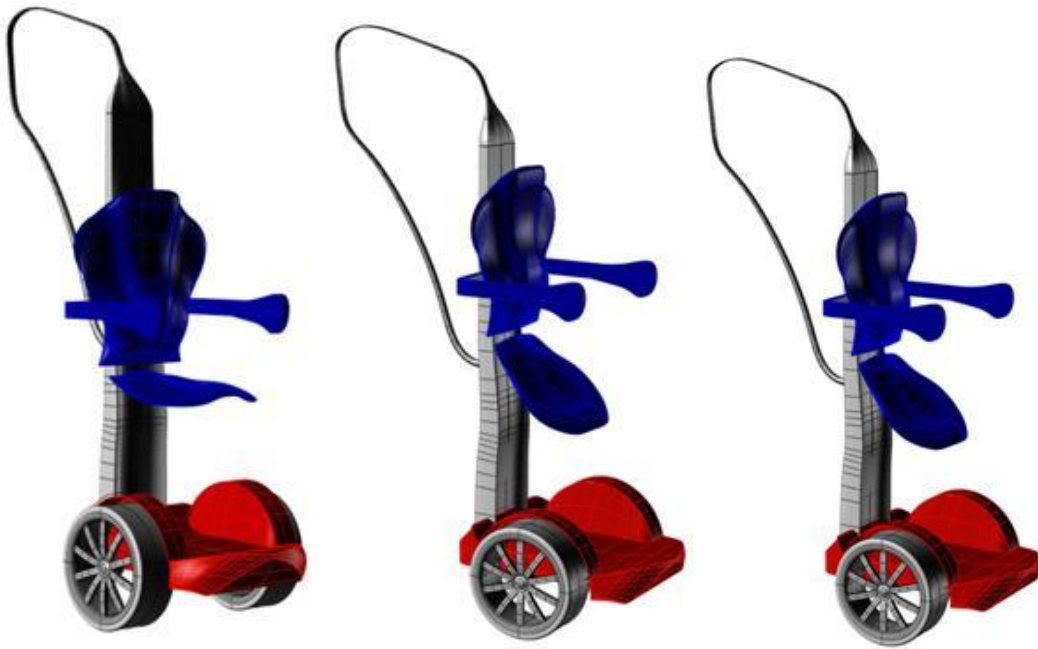


Imagen 48. Prototipo rápido.



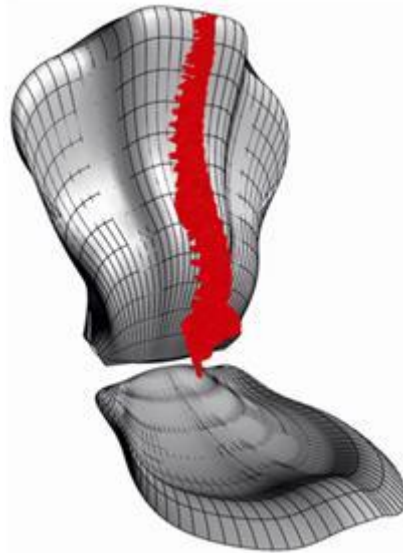
Imagen 49. Bocetos realizados en la etapa creativa.

Como resultado de esta primera y rápida iteración se obtuvo un segundo modelo sólido y es mostrado en la Imagen 50.



**Imagen 50. Segundo modelo conceptual de VEPI.**

El resultado de esta iteración en el proceso muestra soluciones interesantes en cuanto a antropometría se refiere, al brindar al usuario la posibilidad de ajustar la altura del respaldo y la posición del asiento para permitir la operación en posición semi-sentada, de pie y totalmente sentada. En cuanto a ergonomía se destacó la forma del respaldo, que se ajusta a la forma natural de la columna (Imagen 51), y el asiento da un buen soporte a los glúteos.



**Imagen 51. Propuesta de asiento ergonómico. Brinda un adecuado soporte a los glúteos y a la zona lumbar ajustándose naturalmente a la forma de la columna.**

---

## CAPITULO 7. PRUEBAS CON SIMULADOR Y DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA.

---

### 7.1. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR.

Se trabajó en el diseño y construcción de un simulador que tuviera características de las nociones percibidas por el equipo de diseño. Los objetivos principales de dicho simulador fueron:

- Definir la configuración final del vehículo:
  - Estructura.
  - Forma de ascender/ descender del vehículo.
    - Por delante o por detrás.
  - Forma y tipo del mando de control.
    - Manubrio.
      - Alto.
      - Bajo.
      - Medio.
    - Volante.
    - Celular.
  
- Probar las funciones que el equipo de diseño consideró críticas. Entre los elementos que desempeñarían las funciones críticas más importantes son:
  - Forma del asiento: Confort, seguridad, postura y fatiga.
  - Respaldo: Fatiga lumbar.
  - Manubrio o volante: Operación, seguridad y funcionalidad.
  - Altura de asiento: Seguridad y confort.
  - Estribos: Confort.
  
- Definir medidas antropométricas.
- Dimensiones generales.

El simulador fue construido completamente de madera y diseñado de modo de dar a los sujetos de prueba una sensación de movimiento similar a la que es percibida en un vehículo auto-balanceable. Para crear este efecto se construyó una base con resortes a los extremos y una articulación con un grado de libertad al centro como es mostrado en la Imagen 52.



**Imagen 52. Estructura para dar la sensación de balanceo a los usuarios.**

Se muestra en la Imagen 53 algunas fotografías tomadas durante el proceso de manufactura del simulador.



**Imagen 53. Imágenes del proceso de manufactura del simulador.**

Durante el proceso de ensamble se realizaron pruebas de resistencia a cargas estáticas y dinámicas como se observa en la Imagen 54.





**Imagen 54. Algunas pruebas de resistencia durante la manufactura.**

Se crearon varias configuraciones para hacer pruebas:

- Ascenso/ descenso por delante y manubrios laterales.
- Ascenso/ descenso por detrás y manubrio central alto.
- Ascenso/ descenso por detrás y manubrio central bajo.
- Ascenso/descenso sin apoyo y manejo alternativo (Volante suelto o celular).

Posteriormente se realizaron pruebas con y sin respaldo. Se muestran en la Imagen 55 algunas de las diferentes configuraciones obtenidas.

Las pruebas fueron realizadas en:

- Facultad de ingeniería.
- Centro de Coyoacán.
- Facultad de arquitectura.
- Diseño industrial.
- Edificio del posgrado de ingeniería.



Imagen 55. Algunas configuraciones.

## 7.2. PRUEBAS.

Se muestran a continuación imágenes de las pruebas realizadas con usuarios potenciales.



Imagen 56. Pruebas de operación con manubrio central bajo.



Imagen 57. Pruebas de descenso.



Imagen 58. Pruebas de ascenso.

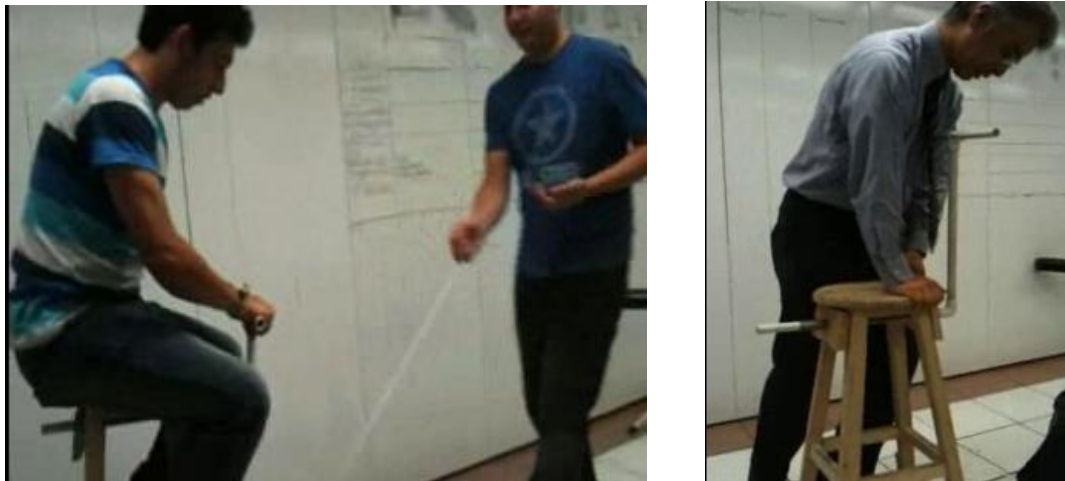


Imagen 59. Pruebas con manubrio central alto.



Imagen 60. Pruebas con manubrio lateral y con volante.

### 7.3. EVALUACIÓN DE CONFIGURACIONES.

Los resultados de los comentarios y evaluación de criterios de los usuarios correspondientes a las pruebas de la sección previa, así como las observaciones realizadas arrojaron los datos de la siguiente tabla:

Criterios Config	Comodidad	Seguridad	Manufactura	Ascenso y descenso	Conducción	Total
Config 1 Ascenso por delante. Manubrios laterales.	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>83</b>	<b>93</b>	<b>97</b>	<b>87.5</b>
Config 2 Ascenso por detrás. Manubrio central alto.	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>73</b>	<b>90</b>	<b>93</b>	<b>79.2</b>
Config 3 Ascenso por detrás. Manubrio bajo.	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>80</b>	<b>83</b>	<b>75</b>	<b>85.2</b>
Config 4 Ascenso sin apoyo. Manejo alternativo.	<b>53</b>	<b>40</b>	<b>66</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>43.8</b>

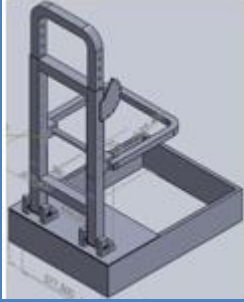



Tabla 7. Evaluación de configuraciones.

### 7.4. SELECCIÓN DE ESTRUCTURA.

Se muestra claramente en la matriz de evaluación de la Tabla 7, que las configuraciones que tuvieron más éxito en la aceptación de los usuarios fueron la configuración 1 y la configuración 3. No existió una diferencia notable que permitiera concluir firmemente en la selección de una. Se trabajó entonces en la elaboración de



bocetos y propuestas con estas dos configuraciones y se seleccionó una final con la ayuda de la siguiente matriz de selección.

Propuesta	Criterios de Selección	Número	Seguridad	Confort	Innovación	Estética	Peso (Ligero)	Fácil manufactura.	Simplicidad	Forma de abatir asiento	Resistencia	Versatilidad	Adaptabilidad de accesorios (Capota, guarda equipaje, espacio publicitario etc)	Total
		1	2	3	1	1	3	4	3	2	3	2	5	29
		2	3	3	2	2	1	3	4	4	5	3	2	32
		3	4	3	3	3	5	5	4	1	2	2	3	35
		4	1	2	4	4	5	5	5	1	1	2	1	31



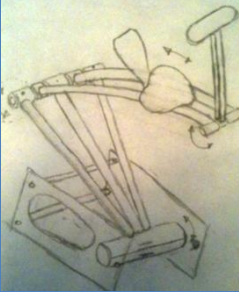

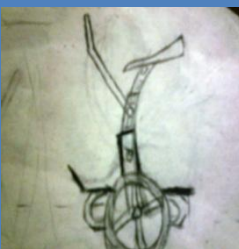
	<b>5</b>	3	4	4	4	3	5	5	3	4	4	2	<b>41</b>
	<b>6</b>	2	2	3	2	5	4	4	3	3	3	1	<b>32</b>
	<b>7</b>	3	3	4	2	3	4	4	3	4	3	2	<b>35</b>
	<b>8</b>	2	4	4	3	4	4	4	4	3	2	2	<b>36</b>
	<b>9</b>	4	3	3	2	4	5	4	3	3	3	2	<b>36</b>

Tabla 8. Matriz de selección de propuestas de diseño.

La Tabla 8 muestra que la estructura y configuración más conveniente fue la propuesta 5. Por tanto este sería el modelo a seguir para la construcción del prototipo y del modelo conceptual final.

Es importante destacar que las pruebas no fueron concluyentes respecto al uso del respaldo debido a que muchos usuarios de prueba refirieron sentirse cómodos sin él por la forma ergonómica del asiento. Algunos otros señalaron la necesidad de tener un soporte lumbar.

De este modo se concluyó en dejar a un lado al respaldo en el diseño y proponerlo como un probable accesorio a futuro.

### 7.5. ESPECIFICACIONES.

Con base a lo anterior se definieron las especificaciones a las cuales tendría que apegarse el diseño final del prototipo (Tabla 9) [1].

#	Métrica	Unidad	Valor Marginal	Valor Ideal
1	Masa total	kg	<40	30
2	Velocidad Máxima	km/h	>15	20
3	Capacidad total de carga	kg	>100	>115
4	Altura máxima de asiento	cm	<75	72
5	Altura de la plataforma	cm	<30	28
6	Largo de la base de plataforma	cm	<45	40
7	Ancho de la base de plataforma	cm	<40	35
8	Distancia de separación al suelo	cm	<14	12
9	Distancia máxima de separación entre llantas	cm	<70	<65
10	Radio mínimo de giro	cm	<30	0
11	Temperatura de operación	°C	[0 35]	[-10 40]
12	Autonomía de baterías	km	>8	>12
13	Medida de rines	in	10 a 12	12

<b>14</b>	Ancho de llantas	cm	<10	9
<b>15</b>	Tiempo máximo en ciclo de carga	h	<8	4
<b>16</b>	Estatura máxima de conductor en pie para pasar por puertas	m	>1.70	1.8
<b>17</b>	Estatura mínima de conductor sentado	m	<1.55	1.47
<b>18</b>	Inclinación máxima de pendiente	°	>10	20
<b>19</b>	Potencia de motores	Watts	>400	450
<b>20</b>	Torque de motores	N.m		1.5Nm
<b>21</b>	Voltaje de operación de motores	V	---	24
<b>22</b>	Costo unitario	\$	<25000	20000

Tabla 9. Especificaciones.



---

## CAPITULO 8. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO.

---

### 8.1. DISEÑO Y CONTRUCCÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO.

#### 8.1.1. ANALISIS ESTRUCTURAL DEL VEHÍCULO.

El chasis del vehículo consta de dos estructuras principales: el tren motriz y una estructura superior. Dentro de la estructura del tren motriz se colocaron baterías, circuitos electrónicos, motores, reductores y las llantas que se montan sobre los ejes a la salida de la reducción de los motores. Sobre este tren motriz se montó la estructura superior por lo que tiene que soportar importantes cargas tanto estáticas como dinámicas.

La resistencia de esta estructura es crítica para el óptimo desempeño del vehículo ya que al no tener un solo eje común a ambas ruedas, la estructura deberá mantener siempre alineados ambos ejes de los motores. Por otra parte la estructura superior tiene como principal objetivo el soportar el peso de cualquier usuario dentro del rango de peso de diseño, aunque también estará sujeto a varias cargas estáticas y dinámicas. La rigidez en este elemento no es tan importante debido a que si se presentan pequeñas deformaciones elásticas no afectara en mayor grado el desempeño del vehículo.

La estructura superior, encargada de las funciones de interacción con el usuario contiene:

- Soporte de usuario.
- Soporte de asiento.
- Manubrio.
- Etribos.

Previo a la manufactura de la estructura, se realizaron algunos análisis para conocer el comportamiento del chasis ante diferentes estados de cargas, se creó un modelo de elementos finitos con ayuda del Software *ABAQUS 6.10* y de los modelos tridimensionales hechos anteriormente con *CATIA V5*. Se analizaron:

- Esfuerzos a cargas estáticas.
- Esfuerzos a cargas dinámicas.
- Esfuerzos a cargas combinadas.
- Esfuerzos en uniones.

Se propuso analizar ambas estructuras por separado, de inicio se realizó un análisis completo al tren motriz considerando cargas estáticas en primer lugar y posteriormente cargas dinámicas. De los resultados obtenidos se obtuvo información acerca de cargas críticas que se le aplicaran también a la estructura superior del vehículo.

No se muestra el desarrollo completo de este análisis en este documento. Esta información completa, así como la caracterización dinámica del vehículo están

completamente detalladas y explicadas en la tesis “Análisis Mecánico de un Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido” [39].

Se muestran a continuación algunas imágenes del análisis y resultados arrojados por las simulaciones en los softwares mencionados anteriormente.

El mallado se realizó por cada elemento (Imagen 61), para la estructura se seleccionó un mallado del tipo tetraédrico 4-nodos y para los motores uno del tipo hexaédrico 8-nodos.

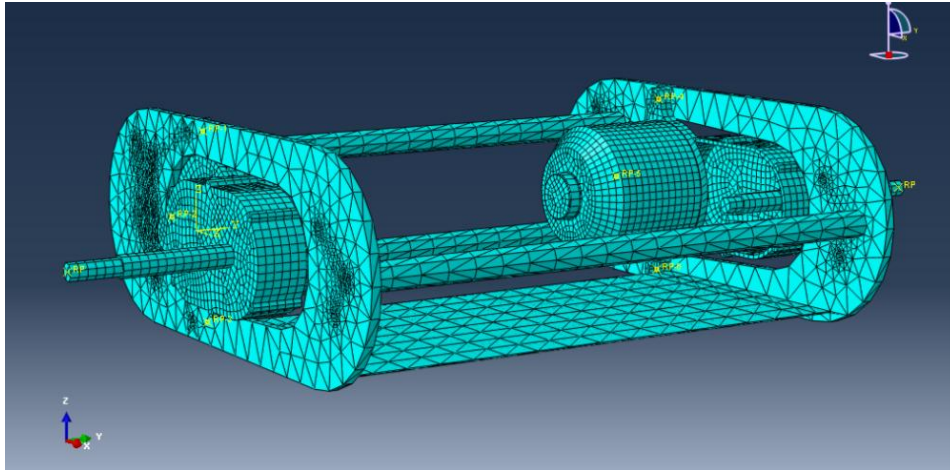


Imagen 61. Modelo mallado.

A este modelo (Imagen 61) se le aplicaron todas las cargas las cuales se deben al peso de las pilas, el peso de la estructura superior, el peso del usuario, los motores y el propio peso del tren motriz. La masa de las 4 pilas es de aproximadamente de 13 kg la cual se distribuirá sobre los nodos resaltados en amarillo sobre la lamina inferior del tren motriz (Imagen 62 a).

La masa de la estructura superior es de aproximadamente de 5 kg que sumado a una masa del usuario de 100 Kg, se reparten sobre 8 pernos (Imagen 62 b) en los soportes laterales del tren motriz que es en donde se unen ambas estructuras, la presión que ejerce este peso sobre la cara inferior de cada barreno es de unos 1.8 [MPa].

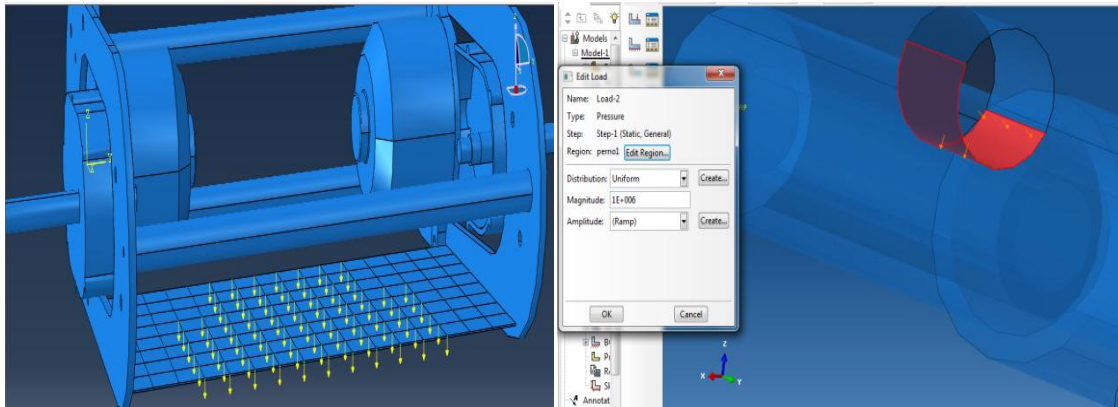


Imagen 62. a) Distribución del peso de las baterías y b) región sobre la que se apoya cada perno.

Los resultados obtenidos (Imagen 63) muestran que el esfuerzo máximo presente en la estructura no rebasa los 18 Mpa presentando deformaciones o desplazamientos por debajo de 1 mm.

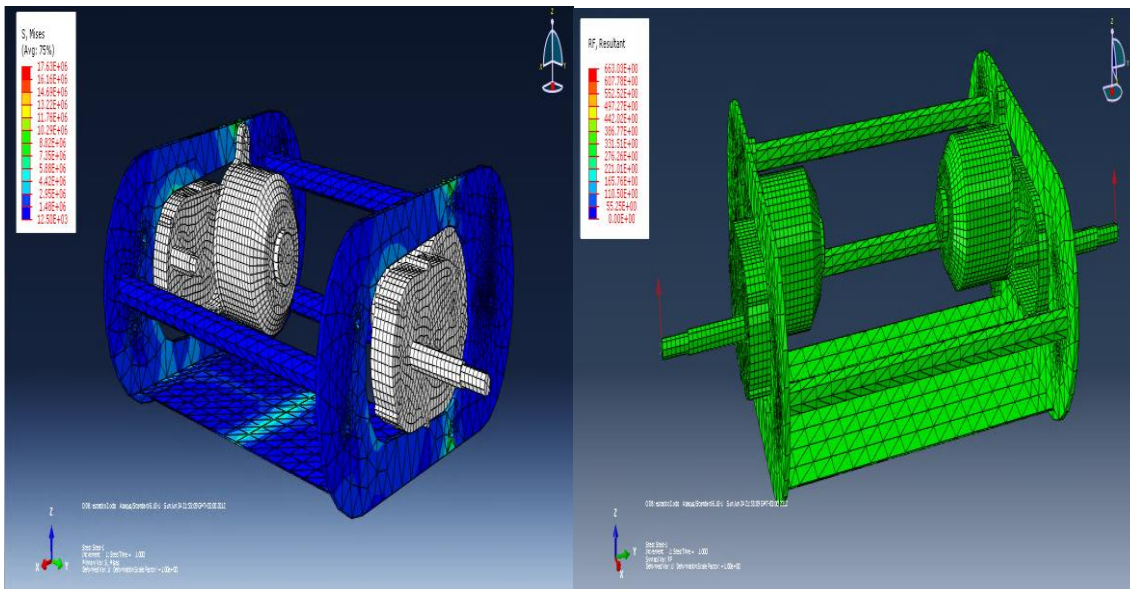


Imagen 63. Esfuerzos y fuerzas de reacción bajo carga axial.

Durante la operación, existirán fuerzas que son provocadas por la interacción entre las ruedas y las irregularidades que se pudieran presentar en la superficie de rodamiento (baches, bordos, desniveles depresiones). Debido a que estas fuerzas son desconocidas, la rigidez de la estructura es examinada con la aplicación de pequeños desplazamientos y rotaciones en alguno de los ejes para determinar las fuerzas de reacción y esfuerzos asociados con estos desplazamientos.

Los puntos críticos en la estructura son las uniones entre los soportes laterales y las barras así como los barrenos en donde se sujetan los motores. En las uniones los esfuerzos no rebasaron los 60 MPa mientras que en los barrenos se presentan esfuerzos de hasta 119.5 MPa. Se muestran los resultados en la Imagen 64.

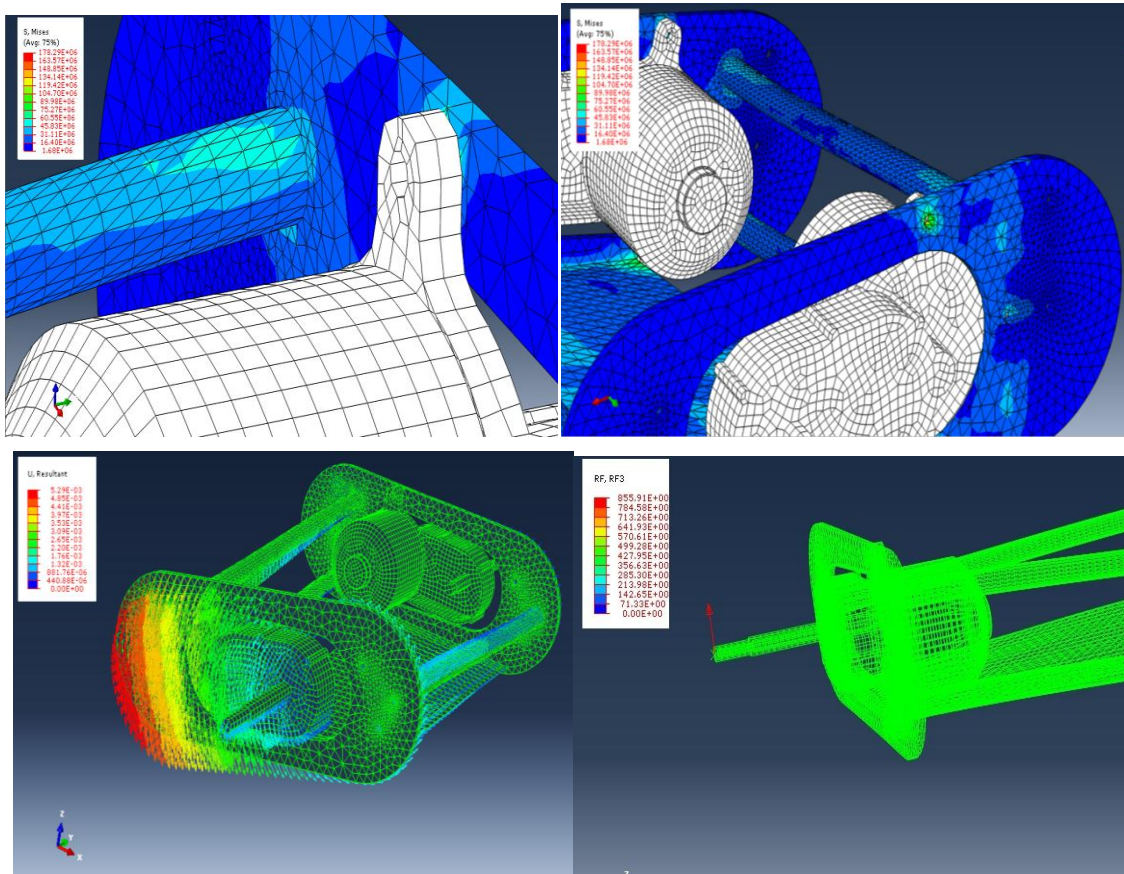


Imagen 64. En la parte superior se muestran los esfuerzos generados en la estructura y en la parte inferior los desplazamientos y fuerzas de reacción.

El primer análisis de la estructura superior corresponde a la aplicación de una carga axial a compresión sobre la estructura. Esta carga corresponde al peso máximo del usuario objetivo (1000 N aprox.). Los resultados obtenidos por el análisis muestran un esfuerzo máximo en los soportes traseros de unos 35 MPa y un desplazamiento máximo de 0.14 mm en la parte superior (Imagen 66). Por lo tanto la estructura soporta perfectamente el peso de un usuario de hasta 100 Kg bajo condiciones estáticas.

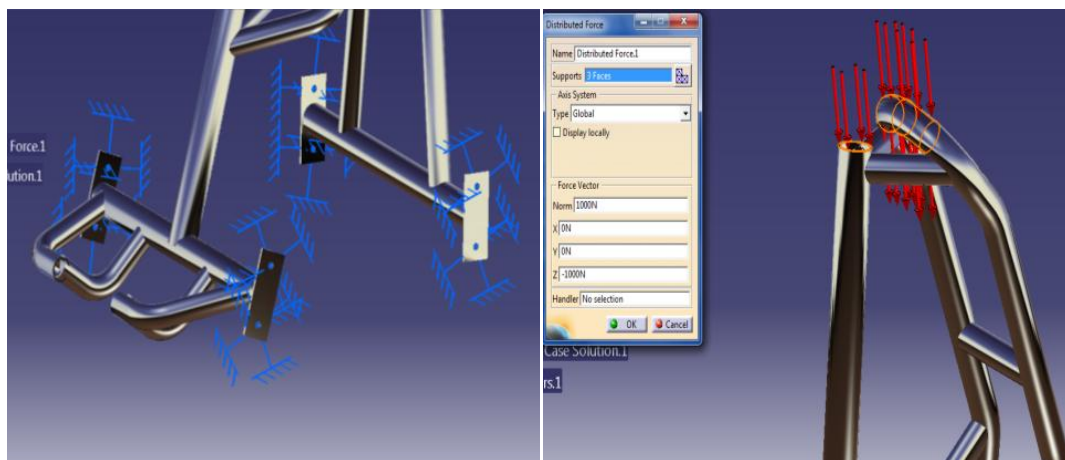


Imagen 65. Asignación de cargas y restricciones en la estructura superior.



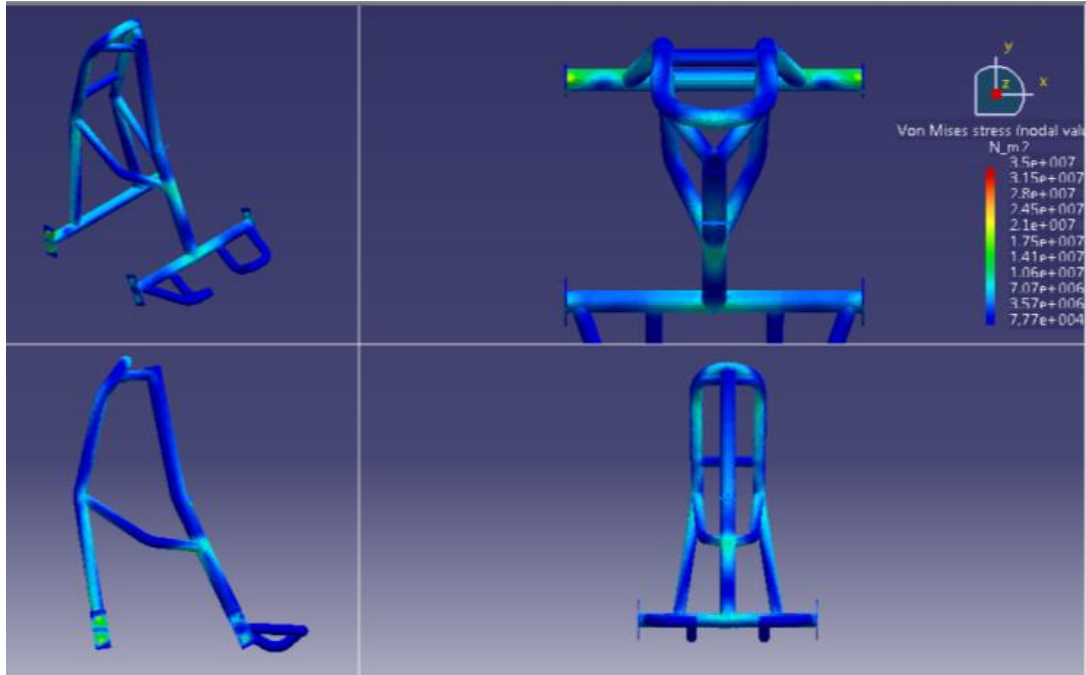


Imagen 66. Estado de esfuerzos resultante en la estructura superior.

## 8.2. CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

Una vez hecho el análisis estructural, se seleccionó el material para realizar la manufactura del prototipo.

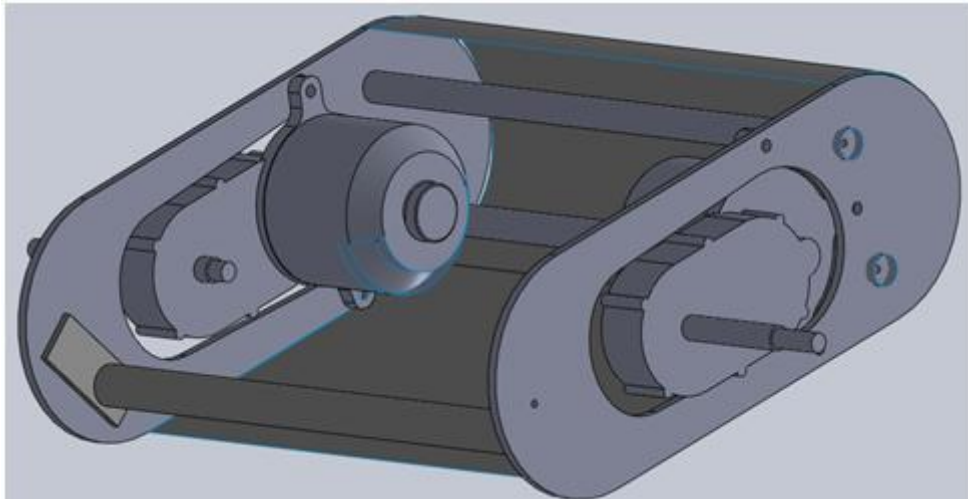
Los planos del prototipo son mostrados en un apartado de anexos.

### 8.2.1. TREN MOTRIZ.

El diseño del tren motriz (Imagen 67) fue diseñado de modo de garantizar el paralelismo entre llantas y la colinealidad entre flechas.

El tren motriz fue construido de dos placas de aluminio de  $\frac{1}{4}$ " de grosor, con geometrías idénticas y fueron maquinadas en una máquina de control numérico.

Las placas fueron unidas con soportes maquinados en torno y ajustadas para tener las mismas dimensiones.



**Imagen 67. Estructura del tren motriz.**

Se muestra en las siguientes imágenes la manufactura de los soportes del tren motriz en maquinas de control numérico.



**Imagen 68. Manufactura de placas laterales de estructura del tren motriz.**

Una vez teniendo terminadas las partes, se ensamblaron junto con los motores y llantas resultando la estructura mostrada en la Imagen 69.



Imagen 69. Tren motriz.

### 8.2.2. ESTRUCTURA SUPERIOR.

La estructura del vehículo fue hecha con tubo de acero de 3/4". Para el manubrio y el soporte frontal se usó tubo de 1".

Los modelos sólidos tanto de la estructura como del vehículo completo son mostrados en las siguientes imágenes.

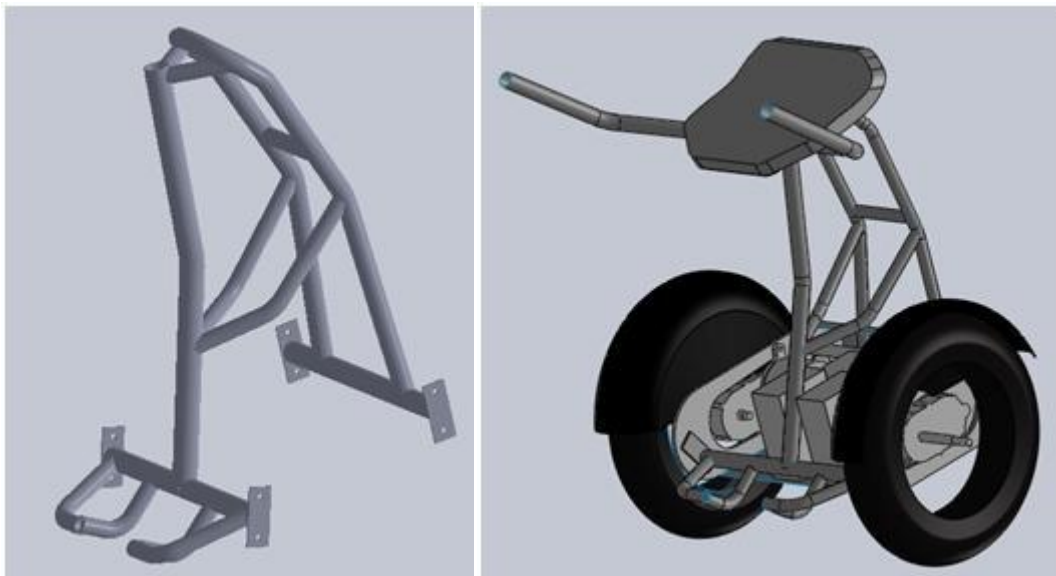


Imagen 70. Modelo sólido de la estructura y del vehículo final ensamblado.





Imagen 71. Diseño final del VEPL.

#### **8.2.2.1. MANUFACTURA DE ESTRUCTURA**

Se muestran algunas imágenes de la manufactura y la estructura resultante.



Imagen 72. Imágenes de manufactura de estructura principal.

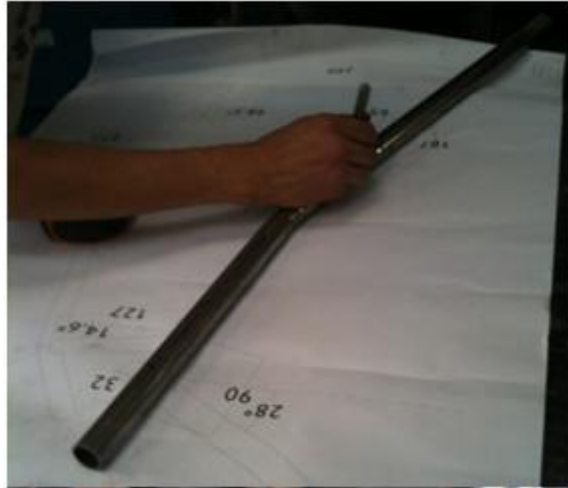


Imagen 73. Comparando en planos.



Imagen 74. Estructura resultante.

### 8.3. LLANTAS.

Se adquirieron llantas de motonetas y se adaptaron los rines para poder acoplarlas a los motores. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

- Se retiró el material sobrante y no útil para nuestra aplicación con ayuda de un torno.
- Se cortaron barrenos en el centro de los rines.
- Se maquinaron bujes con cuñero de diámetro externo igual al diámetro interno de los barrenos hechos a los rines.
- Se introdujo el buje a presión y se soldó al rin para garantizar que no se presentara deslizamiento por desgaste en la unión.

El resultado se muestra en las siguientes imágenes.



Imagen 75. Rines.



Imagen 76. Bujes maquinados a la medida para acoplar las llantas con los motores.

#### 8.4. ASIENTO

El asiento fue hecho con espuma de poliuretano para madera tallado (Imagen 77).



Imagen 77. Asiento de VEPI.

Su ergonómica geometría fue diseñada para hacer que el usuario adquiriera una postura más erguida al estar semi-sentado, haciendo que la columna se arquee menos y evitar así fatiga o dolor en la espalda al operar el vehículo.

Esto es respaldado por el hecho de que la posición derecho-de pie es altamente eficiente y permite a la espina dorsal asumir su posición natural en forma de “S” (Imagen 78). En esta posición, existe una mínima tensión localizada en las vertebrae y en los discos intervertebrales, además los músculos actúan de forma balanceada.

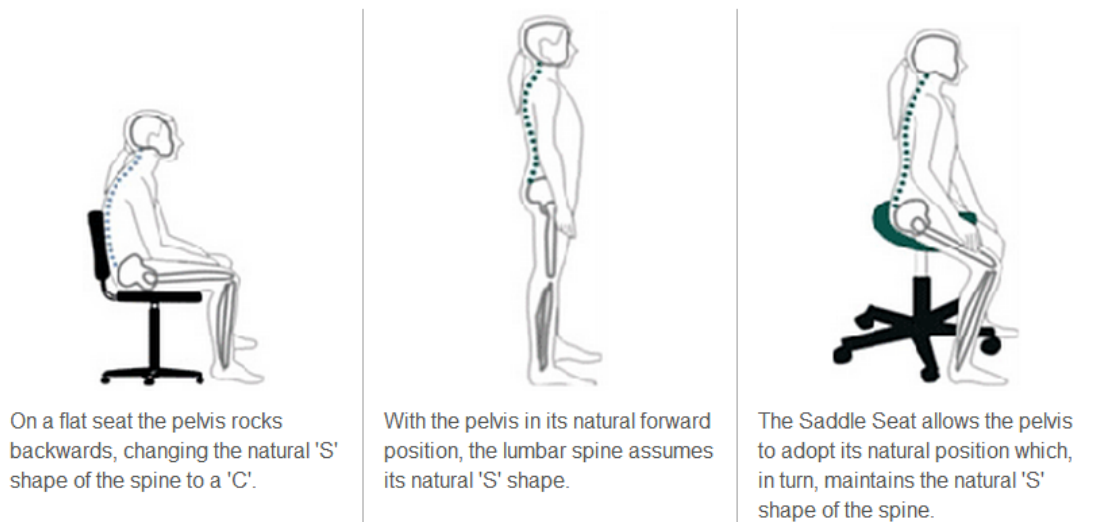


Imagen 78. La columna adopta una forma según la posición.

Los asientos planos convencionales no pueden prevenir que la postura colapse debido a la falta de soporte pélvico y la tensión alrededor de la junta de las caderas. Esto aplana la lordosis lumbar (Curva) y forma una “C” en la postura de la espina.

Algunas pruebas durante el diseño del asiento son mostradas en las siguientes imágenes.



**Imagen 79.** Pruebas hechas con asiento plano y con asiento ergonómico respectivamente.



**Imagen 80.** En el asiento plano, la curvatura de la espalda es más pronunciada y el mentón está más adelantado como se muestra.



Una vez teniendo todos los elementos del prototipo, se ensambló y sus resultados son mostrados en las siguientes imágenes.



Imagen 81. Ensamblando el VEPI.



Imagen 82. VEPI

### 8.5. ANALISIS DE COSTOS

Se muestra en el siguiente análisis de costos los gastos reales generados en la construcción del prototipo y un estimado de los costos en producción considerando precios de componentes por mayoreo, disminución de tiempos en procesos de producción en serie y menores o nulos cargos por importación al pretender comprar componentes nacionales en la mayor medida de lo posible.

Componentes	Unidad	Cantidad	Costo para prototipo (\$)	Costo aprox en producción (\$)	Costo total para prototipo (\$)	Costo total en producción (\$)
Motoreductores	---	2	2535	2000	5070	4000
Baterías	---	4	283	200	1132	800
Cargador de baterías	---	1	806	600	806	600
Cargos de importación	---	---	2500	0	2500	0
Llantas con Rin	---	2	350	600	700	1200
Tubo	m	4.5	45	40	202.5	180
Placas de Aluminio	in2	240	260	260	260	260
Barra de aluminio	m	1.5	140	140	140	140
Giroscopio	---	1	350	300	350	300
Acelerómetro	---	1	350	300	350	300
Microcontroladores	---	3	100	30	300	90
Mosfets	---	8	35	20	280	160
Drivers	---	4	40	25	160	100
Circuitos impresos	---	3	30	20	90	60
Encoders	---	2	400	350	800	700



Sensores en manubrio	---	2	15	10	30	20
Fundas de manubrio	---	2	30	20	60	40
Material de Asiento (Espuma de poliuretano)	dm3	10	30	30	300	300
Soportes de encoders	---	2	15	5	30	10
Lamina	m2	0.75	100	100	100	100
Mano de obra (Estructura)	h	8	80	40	640	320
Mano de obra (Estructura de tren motriz)	h	6	80	40	480	240
Mano de obra de asiento	h	4	80	40	320	160
Tornillería	kg	0.25	50	30	12.5	7.5
Ensamble	h	1	50	30	50	30
Total					<b>15163</b>	<b>10117.5</b>

Tabla 10. Análisis de costos.

---

## CAPITULO 9. PRUEBAS Y RESULTADOS.

---

### 9.1. DEFINICIÓN DE PRUEBAS.

Las pruebas con el prototipo fueron la etapa final de las actividades realizadas durante el proceso de diseño. Los resultados obtenidos determinaron el grado de desempeño logrado para un correcto funcionamiento del dispositivo de los sistemas de control, potencia, mando de operación etc. En cuanto a la parte mecánica se evaluó si el sistema de tracción trabaja correctamente y en general el desempeño de todos los elementos mecánicos que forman al vehículo. A partir de los resultados y su análisis se realizaron algunos comentarios y definieron los trabajos necesarios a realizar en el futuro para darle continuidad al proyecto.

#### 9.1.2. IMPLEMENTACIÓN

En principio las pruebas fueron planeadas para realizarse en tres fases en forma progresiva con el propósito de observar el comportamiento del vehículo en cada una, realizar los ajustes necesarios para poder decidir si era posible continuar con el siguiente nivel de prueba. Se definieron los tres niveles de prueba como:

1. Pruebas de estabilidad con el vehículo sin peso añadido.
2. Pruebas de estabilidad con peso muerto añadido.
3. Pruebas de estabilidad con usuarios.

La secuencia de las pruebas se describe en el diagrama de la Imagen 83.

Sólo se hicieron pruebas con movimiento rectilíneo. Los ángulos de inclinación medidos por el giroscopio y acelerómetro se monitorearon durante la duración de cada prueba mediante un modulo *Bluetooth* [38] el cual enviaba la información en forma inalámbrica hasta una terminal donde era registrada por medio de un software. Por cada prueba se colocaba al vehículo en una posición de equilibrio y mediante el software de monitoreo se determinaba el ángulo medido respecto a la vertical por el giroscopio y acelerómetro coincidente con esta posición de equilibrio. A este ángulo se le daba una tolerancia de +/- 3 grados para tener un rango en cual los motores se mantuvieran apagados y una vez rebasado el límite entrara en acción el sistema de control para estabilizar nuevamente al prototipo.

Las pruebas sin peso añadido consistieron en permitir al vehículo adquirir su posición de estabilidad después de perturbaciones externas de diferentes intensidades que le provocaran inclinaciones respecto a la vertical inferiores a 15°. Dichas perturbaciones fueron frontales y traseras.

Para las pruebas con peso muerto fueron colocadas pesas con diferentes masas en una base adaptada al prototipo en la parte superior, el máximo peso añadido fue de 40 Kg. En cuanto a pruebas con usuarios se planeó probar con individuos de no más de 75 Kg y estatura promedio de no más de 1.75 m con la finalidad de no probar a carga

máxima el prototipo hasta estar seguros de que es capaz de funcionar adecuadamente con mayor carga encima.

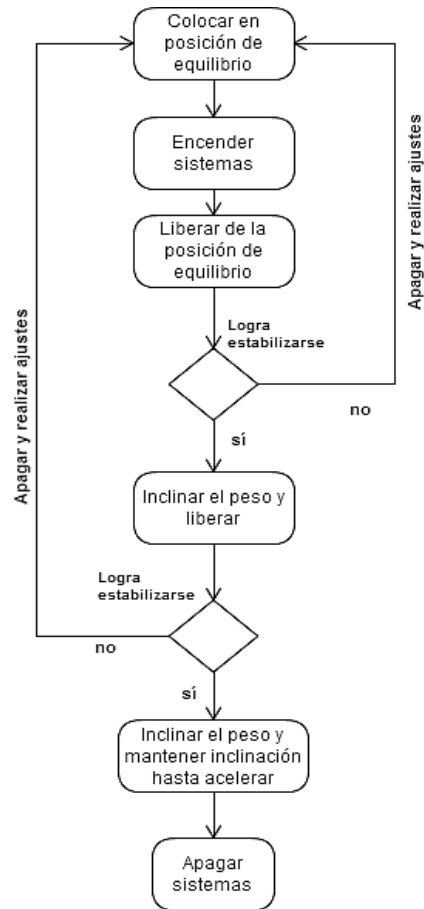


Imagen 83. Proceso seguido durante las pruebas.

Se muestran a continuación algunas imágenes tomadas durante el proceso de pruebas.



Imagen 84. Cargando el software de monitoreo.



Imagen 85. Pruebas sin peso añadido.

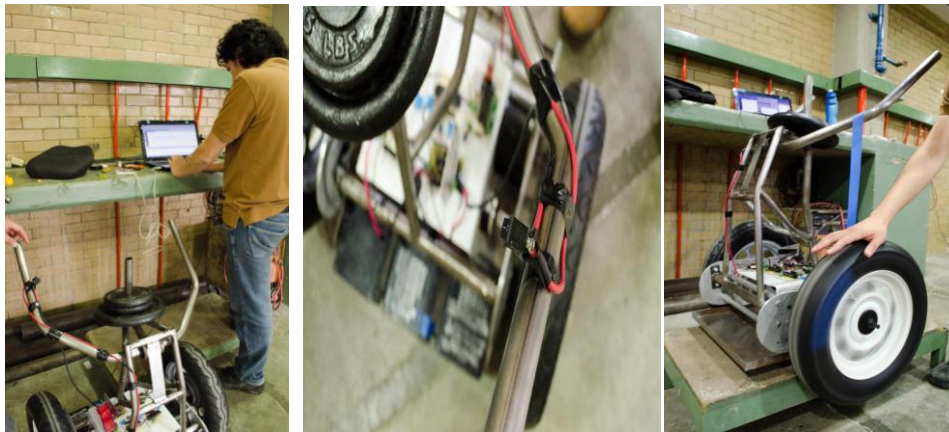


Imagen 86. Pruebas con peso añadido.

## 9.2. RESULTADOS.

### 9.2.1. PRUEBAS SIN PESO AÑADIDO.

- El prototipo al ser liberado de su posición de reposo y aplicar una pequeña fuerza que lo sacara del equilibrio logro mantener su estabilidad sin problemas.
- Al inclinar el prototipo aplicando una mayor fuerza el sistema de control logro hacer girar los motores con la velocidad necesaria para alcanzar nuevamente la posición de equilibrio.
- Se observó que el tiempo de respuesta del sistema era mayor al inclinar hacia atrás el prototipo pero en general la respuesta fue casi inmediata después de sacarlo del equilibrio.
- Se observó que si el ángulo de inclinación con respecto a la posición de equilibrio era superior a los 10 grados y menor a los 15 grados el sistema de control ya no es capaz de recuperar por sí mismo la posición de equilibrio; acelerando los motores en proporción al tamaño del ángulo de inclinación.

### 9.2.2. PRUEBAS CON PESO MUERTO AÑADIDO.

- Durante las pruebas de estabilización el sistema de control no fue capaz de equilibrar al vehículo sin importar si el ángulo de inclinación fuera grande o pequeño. En el mejor de los casos el sistema respondía activando los motores y proporcionándoles una velocidad que apenas era suficiente para no dejar caer al vehículo pero no la necesaria para recuperar la vertical. En el peor de los casos el sistema respondía de forma violenta activando los motores a gran velocidad en ambos sentidos de giro provocando sacudidas y vibraciones sin lograr nunca estabilizarse en algún punto.
- En forma similar que en las pruebas sin peso, al inclinar el prototipo más de 10 grados el movimiento es constante en línea recta adquiriendo mayor velocidad si el ángulo de inclinación aumentaba.

### 9.2.3. PRUEBAS CON USUARIOS.

- Se determinó que las pruebas con usuarios no se llevarían a cabo hasta lograr que el prototipo se estabilice con peso muerto. Hasta entonces no es seguro para una persona subirse al vehículo y operarlo.

## 9.3. COMENTARIOS

Durante las pruebas se encontraron algunos problemas que afectaban el desempeño del controlador como la presencia de vibraciones excesivas que provocan errores en las mediciones que hacen el acelerómetro y giroscopio. Durante las pruebas con peso muerto se encontró que la posible causa de que no se logre estabilizar se debe a que los encoders no están retroalimentando correctamente al sistema de control por lo que este no hace girar a los motores con la velocidad necesaria. Se realizaron varios ajustes pero no se logro determinar si el problema se debe a que existe deslizamiento de uno de los ejes ya sea del motor o el encoder dentro del acoplamiento o si uno o ambos encoders no funcionan correctamente. Dado el caso de que el sistema logre funcionar correctamente con peso muerto se ha determinado incluir una etapa de pruebas entre las hechas con peso muerto y con usuarios en la que se pueda manejar el vehículo con peso muerto vía remota mediante Bluetooth, esto permitirá observar el desempeños del vehículo sin poner en riesgo la seguridad de una persona.

---

## CONCLUSIONES

---

El objetivo planteado del proyecto se concluyó satisfactoriamente entregando como resultado la construcción del prototipo de un vehículo eléctrico que funciona bajo el principio del péndulo invertido que busca su estabilidad auto-balanceándose por el efecto de sus actuadores controlados. Se lograron realizar pruebas que fueron exitosas bajo ciertas condiciones iniciales. Todos los alcances definidos se realizaron exitosamente.

La metodología de diseño centrado en el estudio de las necesidades de usuarios potenciales desarrollado en el capítulo 6 y el trabajo multidisciplinario demostraron ser herramientas extraordinarias en la etapa creativa de diseño ya que permite tener un mejor y claro entendimiento de lo que el futuro cliente quiere en un producto. Los conceptos de diseño, aunque fueron integrados parcialmente y el prototipo no pudo ser probado con clientes reales, mostraron ser atractivos ante la retroalimentación de posibles usuarios. Las pruebas con el simulador mostraron que algunas de las características como la posición y el manejo eran cómodas y amigables. Se considera que se obtuvo un buen diseño en virtud de que se han agregado características al concepto que ningún otro vehículo personal en el mercado ofrece.

Se destaca la importancia en este proyecto de los procesos iterativos, ya que como se mostró en este escrito, la evolución que tuvo el primer diseño conceptual después de dos iteraciones es notable ofreciendo las mismas prestaciones o características que el primero, pero con un diseño más compacto, ligero, estético e innovador. Obviamente esto reduce costos, tiempos de producción, espacio de almacenaje, peso etc e incrementa la aceptación y aplicación de los posibles futuros usuarios.

Considerando a éste proceso de diseño como la primera etapa del desarrollo de un producto completo se le puede considerar exitoso debido a que se logró obtener un prototipo funcional de un sistema no lineal utilizando un controlador lineal que estabiliza al vehículo de forma satisfactoria sin peso añadido, pero se aclara que aún queda trabajo por hacer para lograr que el dispositivo tenga las suficientes medidas de seguridad y estabilidad para ser operado por una persona.

El costo total del prototipo hace ver que este vehículo puede ser una solución de transporte muy viable para un sector muy amplio de la población y en diversas aplicaciones debido a que el producto más parecido en el mercado es por lo menos seis veces más caro. Aunque hace falta hacer mejoras e implementaciones que harían subir este costo, esta ventaja competitiva no variaría mucho. Considérese también la reducción de costos al comprar materia prima en grandes volúmenes y crear un sistema

de producción en serie e incluso subir el valor agregado al integrar accesorios que ofrezcan otras prestaciones. Se considera también que una buena forma de introducir el producto al mercado y darle mejor viabilidad financiera y económica sería implementando las acciones detalladas en el plan de negocios anexo a este documento.

A nivel académico, la realización de este proyecto ha dejado mucho aprendizaje y experiencia en todo el equipo de diseño. Aprendizaje debido a que por un lado se aplicaron conocimientos de varias de las asignaturas cursadas del programa de la maestría en mecánica como son: modelado de sistemas físicos, instrumentación, diseño sustentable (optativa), diseño de nuevos productos (optativa), microcontroladores y sus aplicaciones (optativa) y control aplicado. Por otro lado se aplicaron conocimientos de licenciatura como son: Diseño e ingeniería asistidos por computadora, programación, mecánica de sólidos entre otros. También se hizo investigación que aportó información y conocimiento valioso en otras áreas.

El trabajo en equipo (haciendo énfasis en que fue multidisciplinario) aportó experiencia y formación que nos hicieron aprender a obtener beneficios de sus ventajas y a manejar las desventajas para mejorar los resultados. El desarrollo modular independiente pero coordinado tuvo destacada importancia al permitir al equipo de diseño integrar y entregar un diseño completo y funcional.

Creemos firmemente que si el proyecto se sigue desarrollando y mejorando puede hacer que VEPI sea un producto comercial altamente competitivo y aceptado, y puede ofrecer una excelente solución de transporte.



---

## TRABAJO FUTURO

---

Como es mencionado en el capítulo de “Definición del proyecto”, uno de los alcances del mismo fue la integración parcial de conceptos de diseño en el prototipo. Del tal modo que existe aún mucho trabajo a futuro por hacer para que el vehículo pueda ser un producto terminado que satisfaga las necesidades detectadas en el estudio realizado.

Los módulos o elementos que precisan de un proceso de diseño aparte, por su importancia en la formación del diseño conceptual son:

- **Mecanismo para abatir o quitar el asiento:** Diseñar un mecanismo que permita al usuario:
  - Elegir y ajustar la posición de operación del vehículo de péndulo invertido, ya sea de pie o sentado.
  - Ajustar la altura del asiento.
  - Tener una posición cómoda en el manubrio en posición de pie y sentado.
- **Módulo de manubrio:** Diseñar un módulo cuya función sea dar un movimiento suave y controlable al manubrio para indicar el sentido de giro del vehículo de péndulo invertido. Este módulo tendría que:
  - Aportar al usuario una sensación cómoda y segura de manejo.
  - Tener un mecanismo de acople a un encoder o sensor de posición.
  - Adaptarse a las posiciones de manejo de pie y sentado.
- **Módulo de seguridad:** Diseñar módulos que aporten mayor seguridad al usuario en:
  - En ascenso y descenso del móvil.
  - Durante la operación.
  - En caso de coalición.
  - En caso de volteo.
  - En caso de falla del sistema.
- **Suspensión:** Diseñar la suspensión del vehículo tal que permita al usuario tener una sensación confortable de manejo en terrenos irregulares.
- **Diseño de accesorios.**
  - Capota o chasis: Diseño de la cubierta, capota o chasis de modo que el usuario pueda protegerse ante cambios climáticos.
  - Espacio publicitario: Diseñar espacios publicitarios que puedan adaptarse como accesorios a la estructura.
  - Respaldo: Diseño de un respaldo ergonómico que pueda adaptarse como accesorio a la estructura del vehículo.
  - Canastilla: Diseño de una canastilla para portar objetos.
- **Diseño de salpicaderas y elementos que realcen una agradable apariencia estética.**

En virtud de que el prototipo no es capaz aún de avanzar con velocidad constante y que pierde estabilidad con cargas variables, se añade también como punto importante de trabajo a futuro el diseño de un controlador lineal más robusto o en su defecto un controlador no lineal. Se propone particularmente un control por lógica difusa por la relativa facilidad que representa su aplicación en sistemas no lineales.

---

## REFERENCIAS.

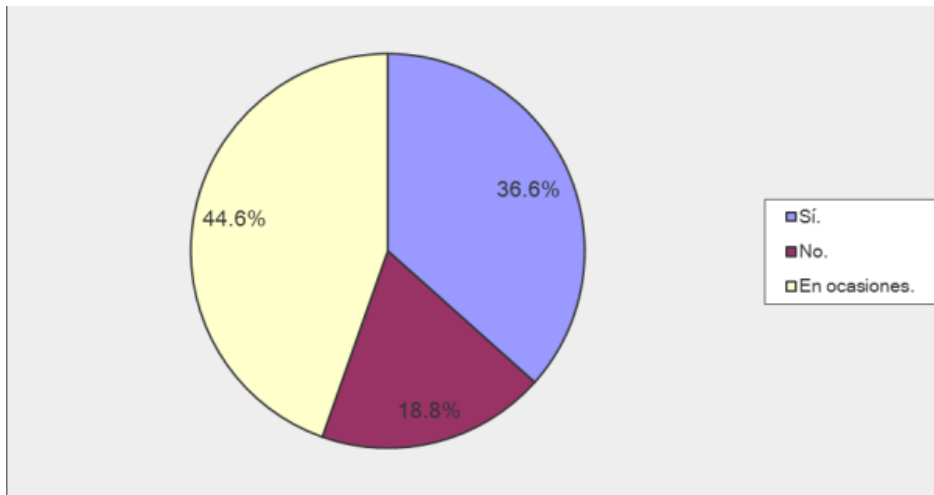
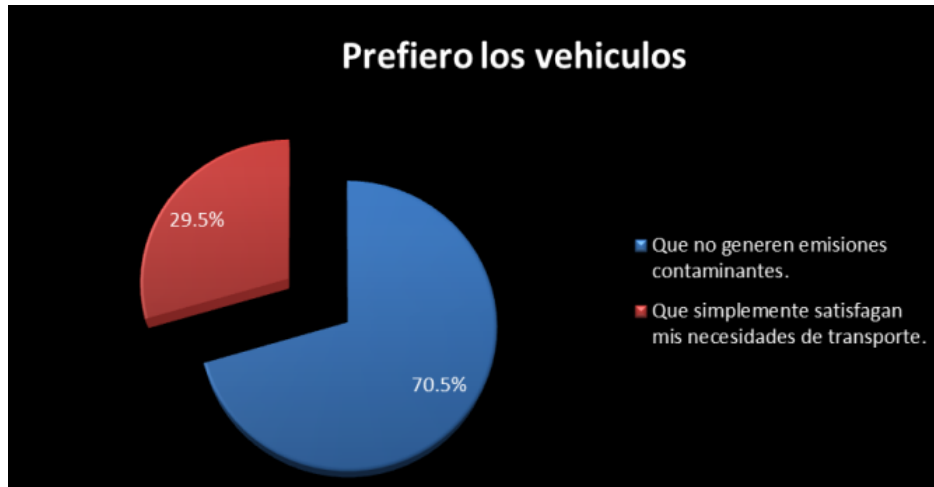
---

- [1] “Diseño y desarrollo de productos”. Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger. Cuarta Edición. Mc Graw Hill.
- [2] <http://www.ctsmexico.org/porquetransportesustentable>
- [3] **Electric vehicle battery systems**, Sandeep Dhameja, Newnes
- [4] Datos de vehículos en circulación registrados en México por el INEGI  
[http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=13158](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=13158).
- [5] **Electric Vehicle Technology Explained**; James Larminie, Oxford Brookes University, Oxford, UK.
- [6] <http://www.segway.com/puma/>
- [7] “Diseño de nuevos productos con un enfoque orientado al usuario”. Lia Gómez Mendiola, Vicente Borja Ramírez, William Eduardo Palmer Alfonso, Daniel Adrián García Garduño, Marcos Mendoza Vázquez, Rosalba Cobos de los Santos. Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [8] **Design and Control of YAIP –an Inverted Pendulum on Two Wheels Robot** (2006). Johan A° kesson, Anders Blomdell and Rolf Braun; Munich, Germany
- [9] **JOE: A Mobile, Inverted Pendulum.**(2002) Felix Grasser, Aldo D’Arrigo, Silvio Colombi
- [10] **Development of the Two-Wheeled Inverted Pendulum Type Mobile Robot WV-2R for Educational Purposes.**(2009) Jorge Solis, Ryu Nakadate, Yuki Yoshimura, Yuichiro Hama, and Atsuo Takanishi; St. Louis, USA
- [11] **Design of Inertial Navigation System Based on Micromechanical Gyroscope and Accelerometer(2009).** Qu Pingping, Fu Li, Zhao Xin
- [12] **Study on the Control of a Two-wheeled Unstable Vehicle(2009).** Yanzhao Li, Shengli Qu, Jiahui Zhu, Jianqin Sun
- [13] **Controller Design for Two-wheels Inverted Pendulum Mobile Robot Using PISMIC (2006).** Nawawi S.W, Ahmad M.N, Osman J.H.S, Husain A.R and Abdollah M.F
- [14] <http://www.buenastareas.com/ensayos/El-Transporte-Y-El-Crecimiento-De/370019.html>
- [15] <http://www.ctsmexico.org/porquetransportesustentable>
- [16] Bike, scooter, and chopper projects for evil genius. Brand Graham and Kathy McGowan (section five, electric power)
- [17] **ELECTRIC VEHICLE BATTERY SYSTEMS.** Sandeep Dhameja
- [18] **Electric Vehicle Technology Explained.** James Larminie, Oxford Brookes University, Oxford, UK

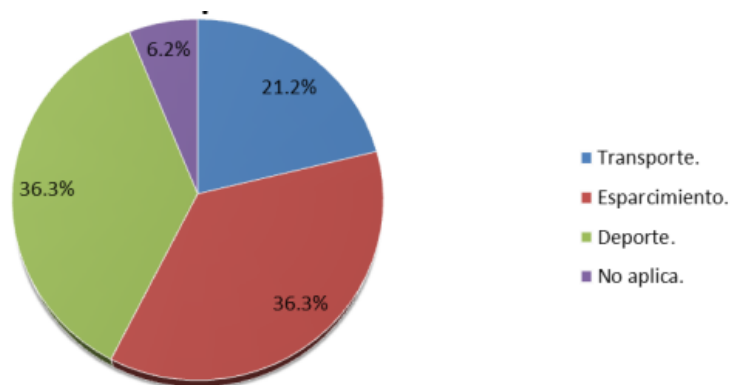
- [19] Hybrid vehicles and the future of electrical transportation. Allen E. Fuhs
- [20] [http://www.toyota.co.jp/en/news/04/1203\\_1e.html](http://www.toyota.co.jp/en/news/04/1203_1e.html)
- [21] <http://www.nissan-global.com/EN/PIVO2/>
- [22] <http://www.popsci.com/cars/article/2010-02/hondas-concept-trike-urban-commuter>
- [23] <http://www.popsci.com/gear-amp-gadgets/article/2009-09/foldable-electric-bicycle-your-urban-commuting-needs>
- [24] <http://www.popsci.com/gear-amp-gadgets/article/2009-08/orbis-scooter-concept-compacts-your-segway>
- [25] <http://www.popsci.com/cars/article/2009-04/gm-unveils-puma-and-perhaps-future-urban-transportation>
- [26] <http://www.yikebike.com/>
- [27] [http://www.youtube.com/watch?v=Iv\\_SfonG4w4&NR=1](http://www.youtube.com/watch?v=Iv_SfonG4w4&NR=1)
- [28] <http://www.fayerwayer.com/2010/05/bik-e-volkswagen-tambien-tiene-una-bicicleta-electrica/>
- [29] <http://es.wikipedia.org/wiki/Segway>
- [30] Kamen, D.L., Field, D., and Morrell, J.B. (2003).
- [31] [http://www.emprenemjunts.es/descargas/894\\_ADJUNTO\\_1.pdf](http://www.emprenemjunts.es/descargas/894_ADJUNTO_1.pdf)
- [32] [http://www.aamedios.com/docs/CICOM\\_%202007.pdf](http://www.aamedios.com/docs/CICOM_%202007.pdf)
- [33] [http://www.siiimt.com/en/siiimt/estudios\\_y\\_documentos](http://www.siiimt.com/en/siiimt/estudios_y_documentos)
- [34] “Design for the Next Generation”, Incorporating Cradle-to-Cradle Design into
- [35] Herman Miller Products. Mark Rossi, Scott Charon, Gabe Wing, and James Ewell
- [36] “Las reglas del dedo de D4S”.
- [37] “The designer’s field guide to sustainability”. An overview of sustainable product development and the product life cycle.
- [38] Tesis de Ricardo Vásquez Leyva. “Implementación de un controlador para un vehículo eléctrico de péndulo invertido”.
- [39] Tesis de Hugo César Vargas Osorio. “Diseño mecánico de un prototipo de vehículo eléctrico de péndulo invertido”.
- [40] <http://amemoving.mx/>
- [41] [http://www.ase.gob.mx/PDF/REGLAMENTO\\_TRANSITO%20METROPOLITANO.pdf](http://www.ase.gob.mx/PDF/REGLAMENTO_TRANSITO%20METROPOLITANO.pdf)
- [42] <http://www.bambach.co.uk/healthcare/rehabilitation/index.html>
- [43] [http://www.apaprevencion.com/fotos/articulos\\_tecnicos/P158\\_3.pdf](http://www.apaprevencion.com/fotos/articulos_tecnicos/P158_3.pdf)
- [44] [http://www.mujeresdeempresa.com/fitness\\_salud/060203-sillas-ergonomicas.shtml](http://www.mujeresdeempresa.com/fitness_salud/060203-sillas-ergonomicas.shtml)
- [45] [http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_1318\\_17193.pdf?PHPSESSID=c824656c29186a2a6c35318cf33fa42a](http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1318_17193.pdf?PHPSESSID=c824656c29186a2a6c35318cf33fa42a)
- [46] **Explicación del filtro Kalman.** <http://web.mit.edu/scolton/www/filter.pdf>

## ANEXOS.

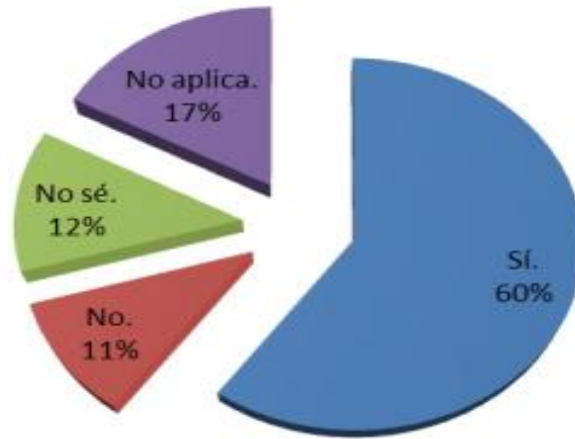
### GRAFICAS OBTENIDAS EN ENCUESTAS.



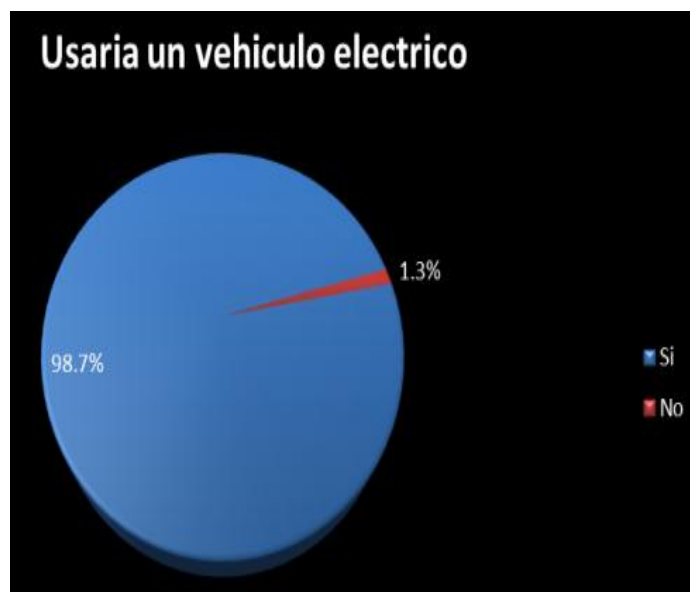
Uso de vehículos que generan esfuerzo físico.



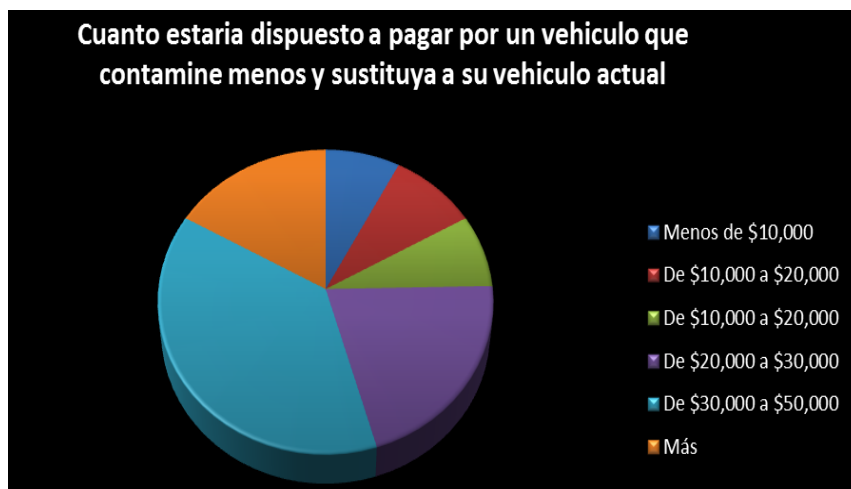
Finalidad de uso de vehículos de propulsión humana.



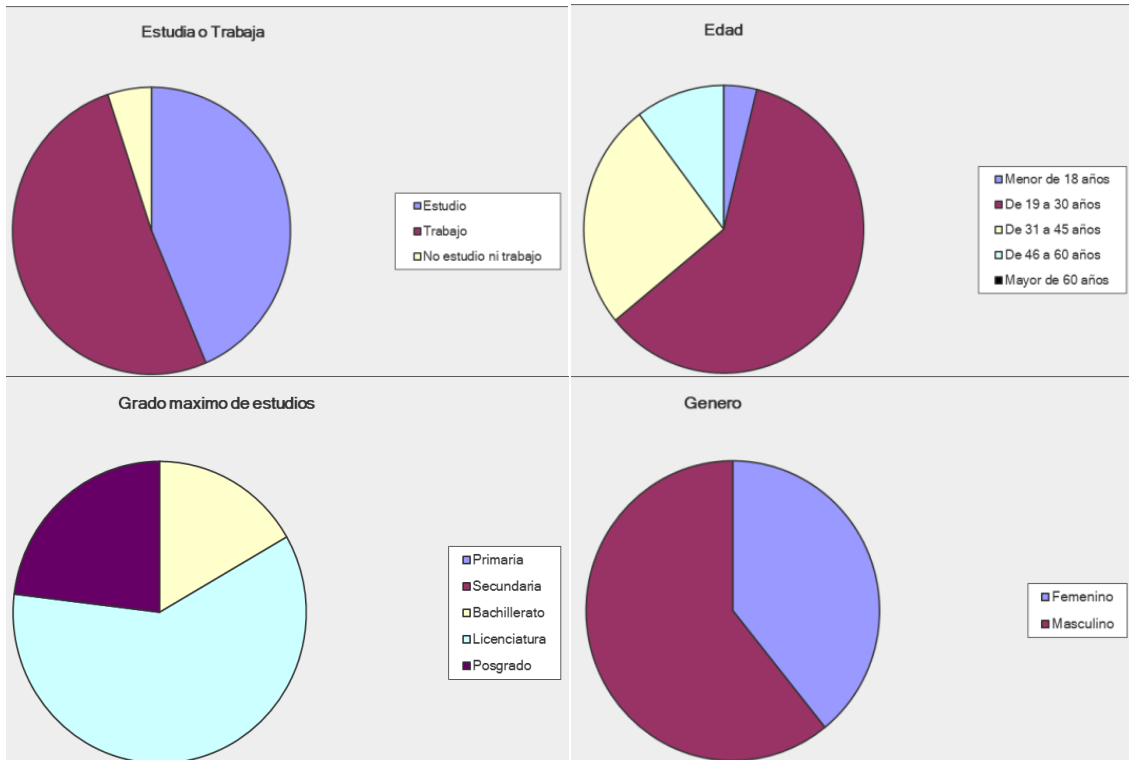
Preferencia de usuarios a vehículos que no canse su operación.



Aceptación por vehículos eléctricos.



Disposición de pagar por vehículos sustentables.



Características de personas encuestadas.

## ARTICULOS DEL REGLAMENTO DE TRANSITO RELACIONADOS CON EL PROYECTO.

**Artículo 11.-** *Los ciclistas tienen derecho de preferencia sobre el tránsito vehicular, cuando:*

- I. *Habiéndoles correspondido el paso de acuerdo con el ciclo del semáforo no alcancen a cruzar la vía;*
- II. *Los vehículos vayan a dar vuelta a la derecha para entrar a otra vía, y haya ciclistas cruzando ésta; y*
- III. *Los vehículos deban circular o cruzar una ciclovía y en ésta haya ciclistas circulando.*

**Artículo 29.-** *Los ciclistas y motociclistas deben:*

- I. *Respetar las señales de tránsito y las indicaciones de los agentes y del personal de apoyo vial;*
- II. *Circular en el sentido de la vía;*
- III. *Llevar a bordo sólo al número de personas para el que exista asiento disponible;*
- IV. *Usar casco. Los acompañantes también deberán portarlo;*
- V. *Utilizar un sólo carril de circulación;*
- VI. *Rebasar sólo por el carril izquierdo;*



*VII. El ciclista debe usar aditamentos o bandas reflejantes para uso nocturno;*

*VIII. El ciclista debe circular a la extrema derecha de la vía sobre la que transite y procederá con cuidado a rebasar vehículos estacionados;*

*IX. En el caso de motocicletas, circular en todo tiempo con las luces encendidas.*

*Dentro de la zona urbana, en las rutas donde se cuente con ciclovía, los ciclistas se encuentran obligados a circular en ella.*

*Los ciclistas que no cumplan con las obligaciones de este Reglamento, serán amonestados verbalmente por los agentes y orientados a conducirse de conformidad con lo establecido por las disposiciones aplicables.*

**Artículo 30.-** *Se prohíbe a los ciclistas y motociclistas:*

*I. Circular por los carriles centrales o interiores de las vías primarias y en donde así lo indique el señalamiento de las vías de acceso controlado, salvo cuando mediante aviso publicado en la Gaceta Oficial, la Secretaría y Seguridad Pública determinen horarios y días permitidos en dichas vialidades;*

*II. Circular entre carriles;*

*III. Circular por los carriles exclusivos para el transporte público de pasajeros;*

*IV. Circular sobre las banquetas y áreas reservadas al uso exclusivo de peatones;*

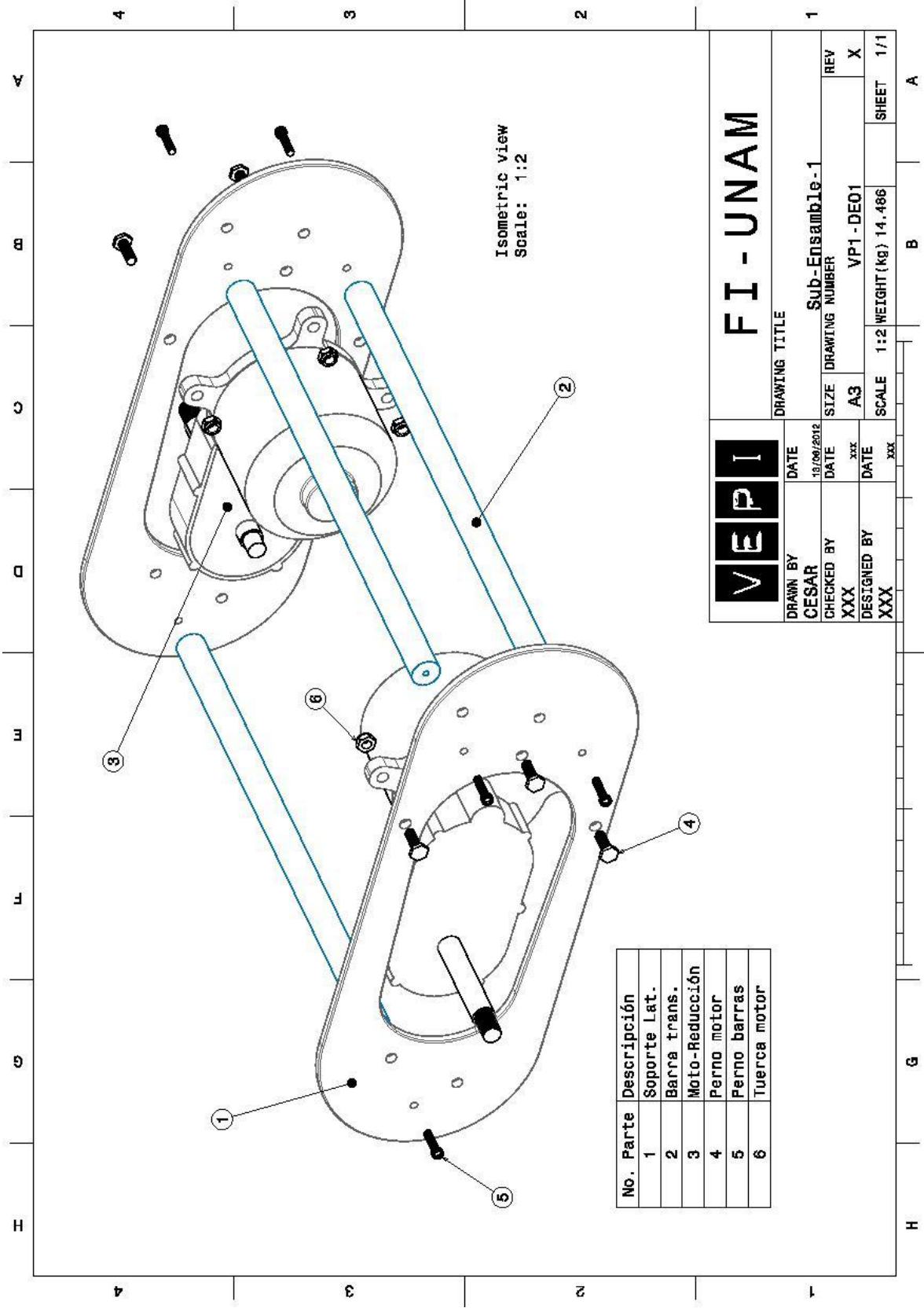
*V. Transportar a un pasajero en lugar intermedio entre la persona que conduce y el manubrio;*

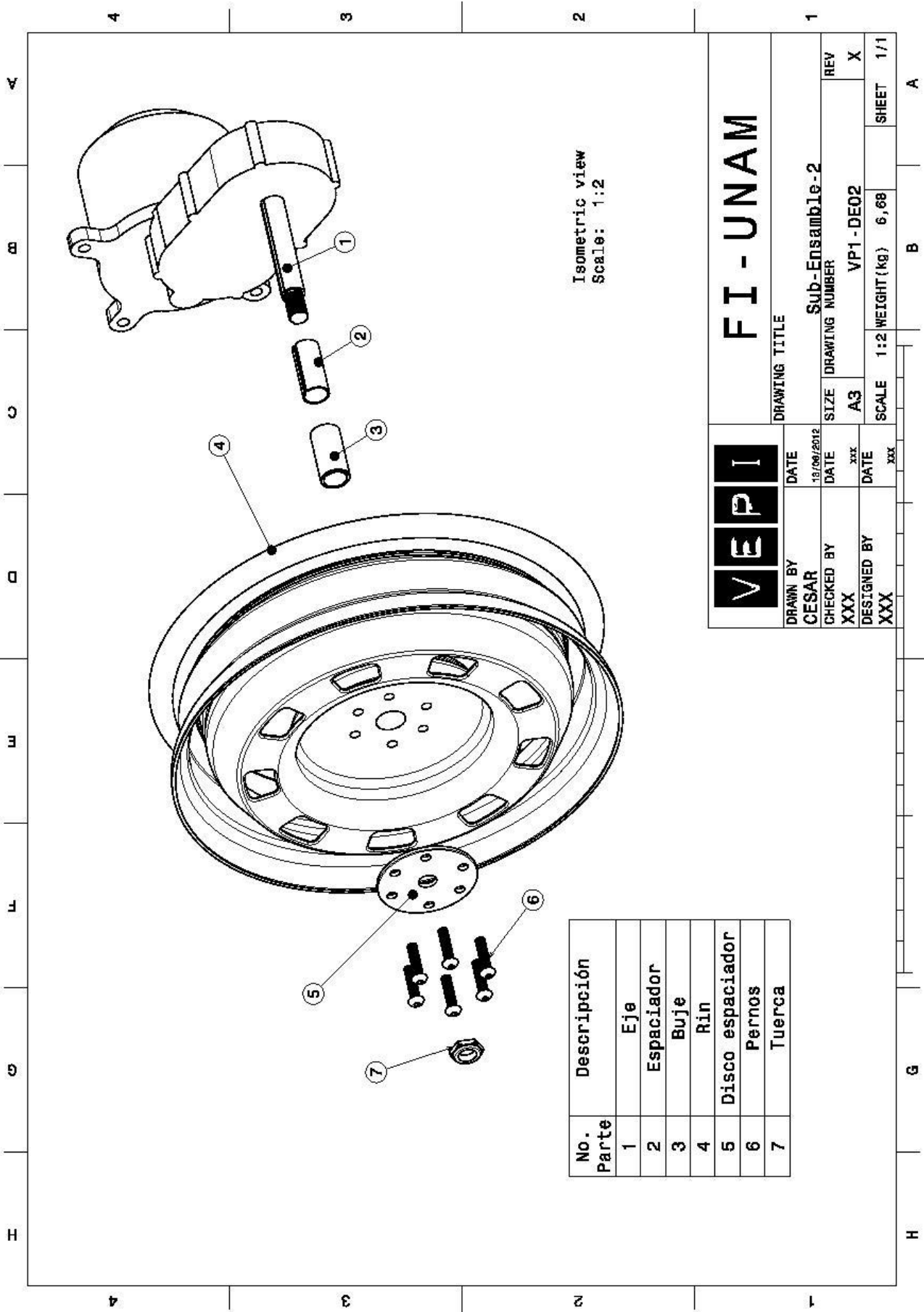
*VI. Transportar carga que impida mantener ambas manos sobre el manubrio, y un debido control del vehículo o su necesaria estabilidad; VII. Asirse o sujetarse a otros vehículos en movimiento; y*

*VIII. En el caso de motocicletas, transportar pasajeros menores de 12 años de edad.*

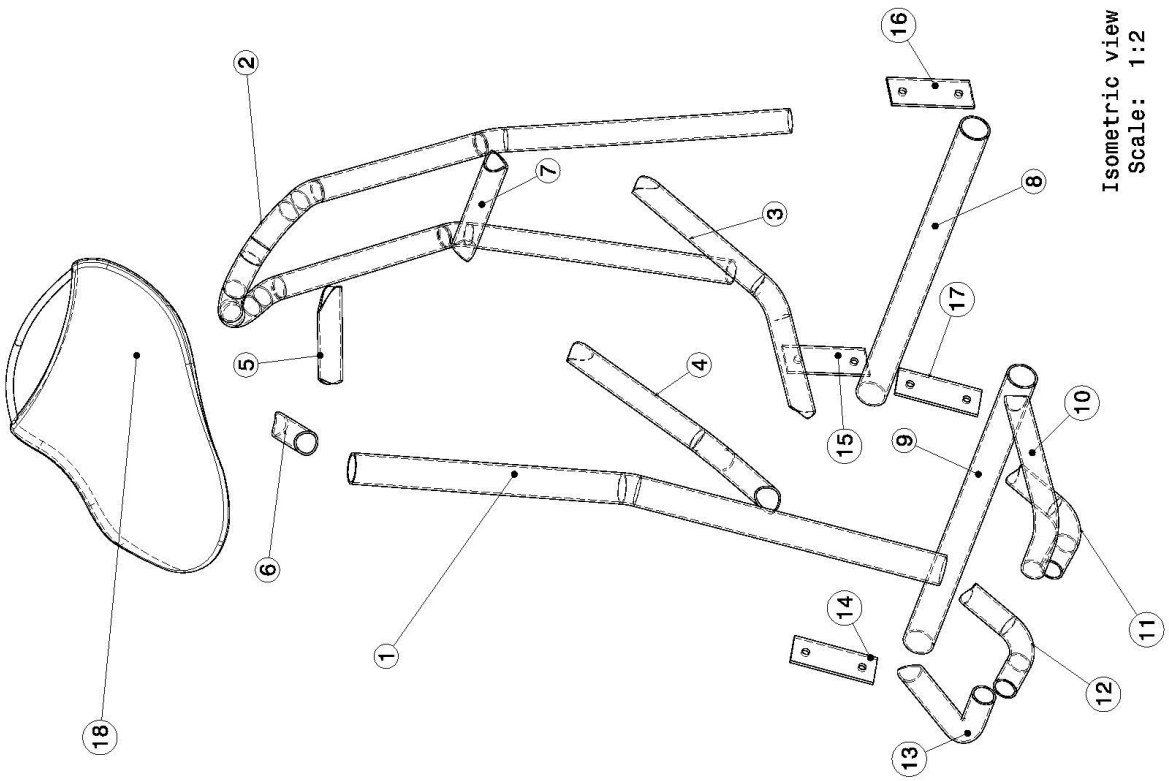
*Los ciclistas que no cumplan con las obligaciones de este Reglamento, serán amonestados verbalmente por los agentes y orientados a conducirse de conformidad con lo establecido por las disposiciones aplicables.*

PLANOS.

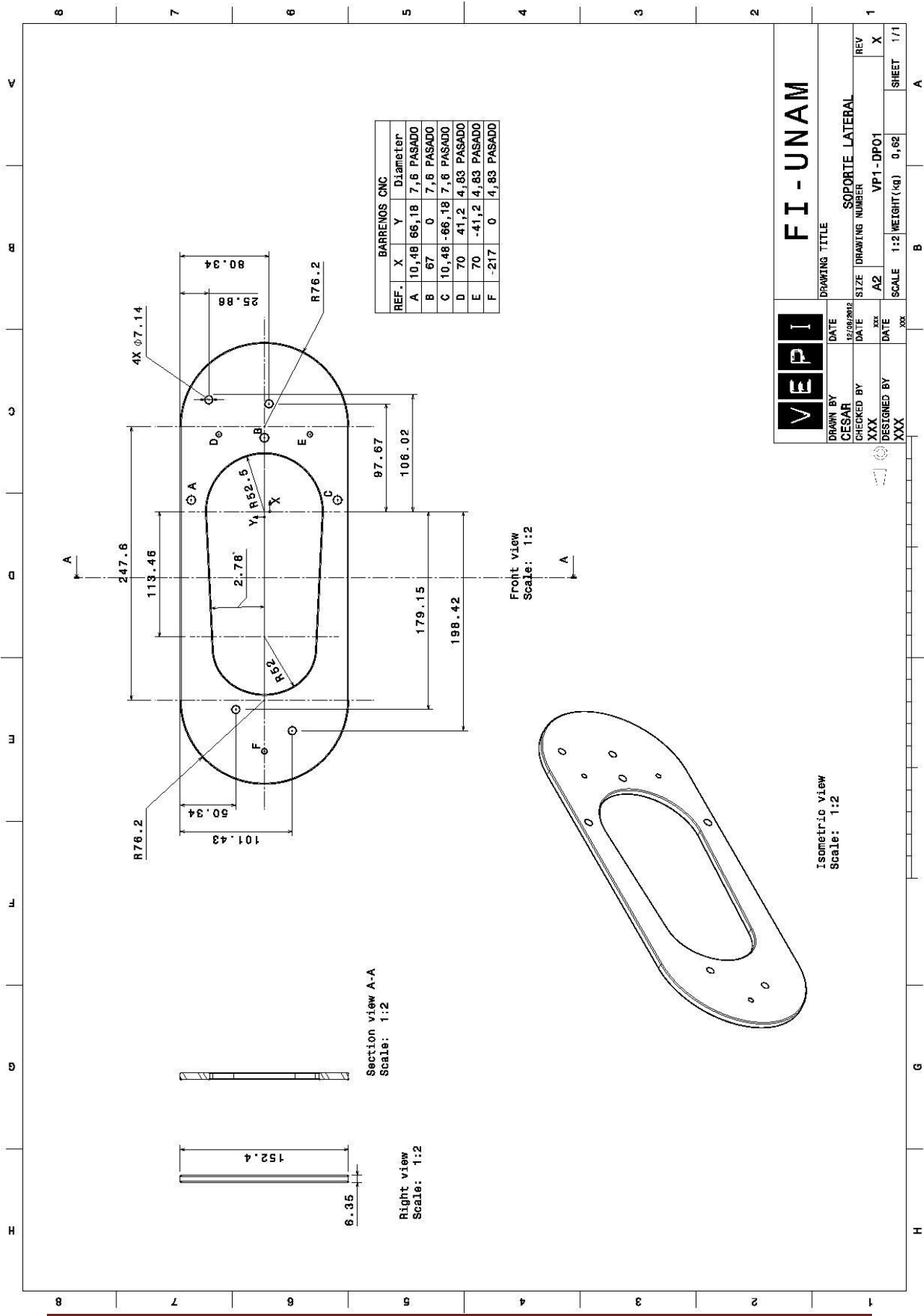


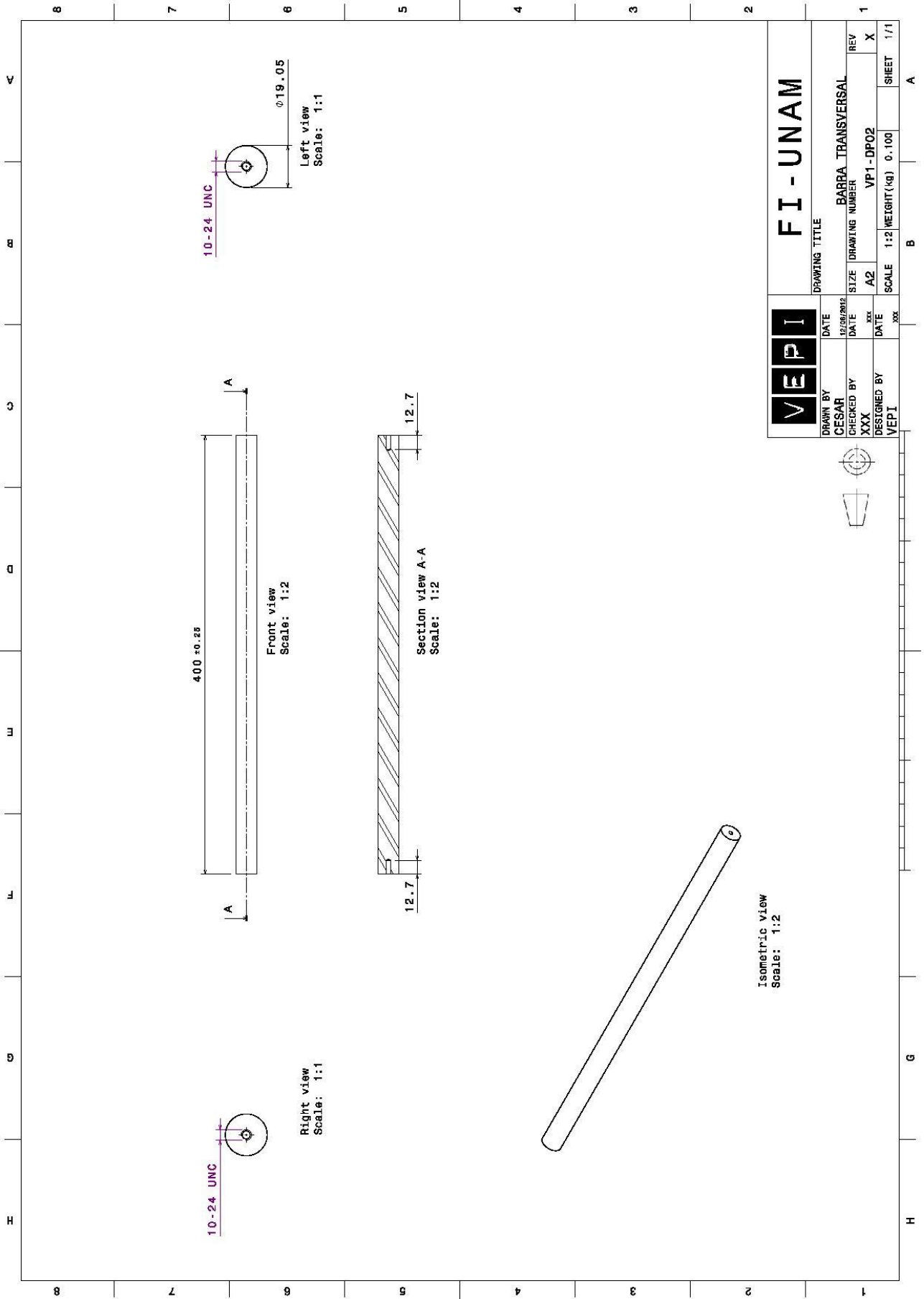


No. Parte	Descripcion
1	SOPORTE-1
2	SOPORTE-2
3	TRAVE-1
4	TRAVE-2
5	TRAVE-3
6	TRAVE-4
7	TRAVE-5
8	APOYO-1
9	APOYO-2
10	ESTRIBO-1.1
11	ESTRIBO-1.2
12	ESTRIBO-2.1
13	ESTRIBO-2.2
14	PLACA SOPORTE-1
15	PLACA SOPORTE-2
16	PLACA SOPORTE-3
17	PLACA SOPORTE-4
18	ASIENTO

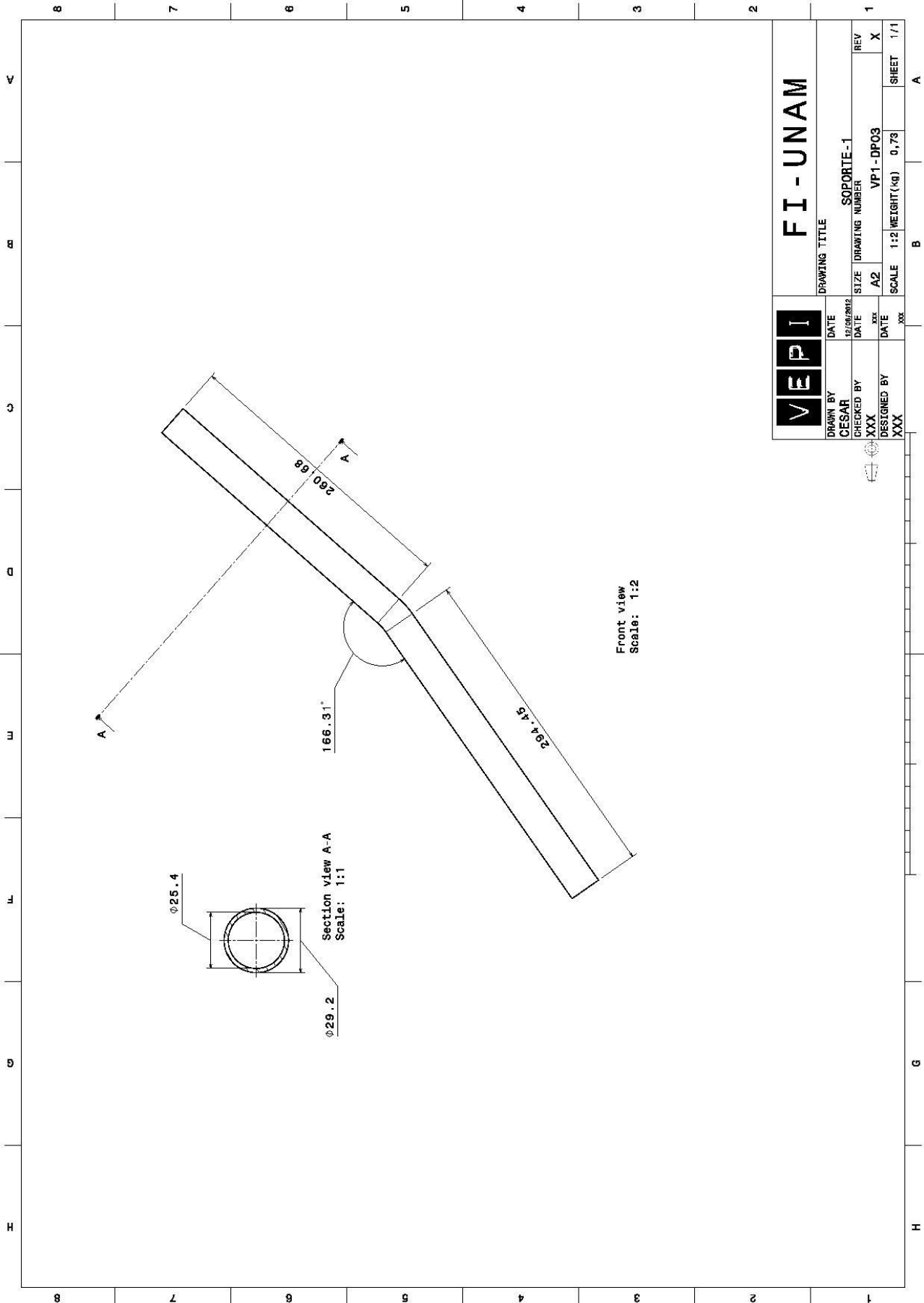


<b>VEPI</b>	DATE	DRAWING TITLE
	DATE	Sub-Ensamble-3
CESAR	DATE	SIZE
XXX	DATE	VP1-DE03
XXX	DATE	SCALE
XXX	DATE	1:2 (WEIGHT) 4,80
		SHEET
		1/1

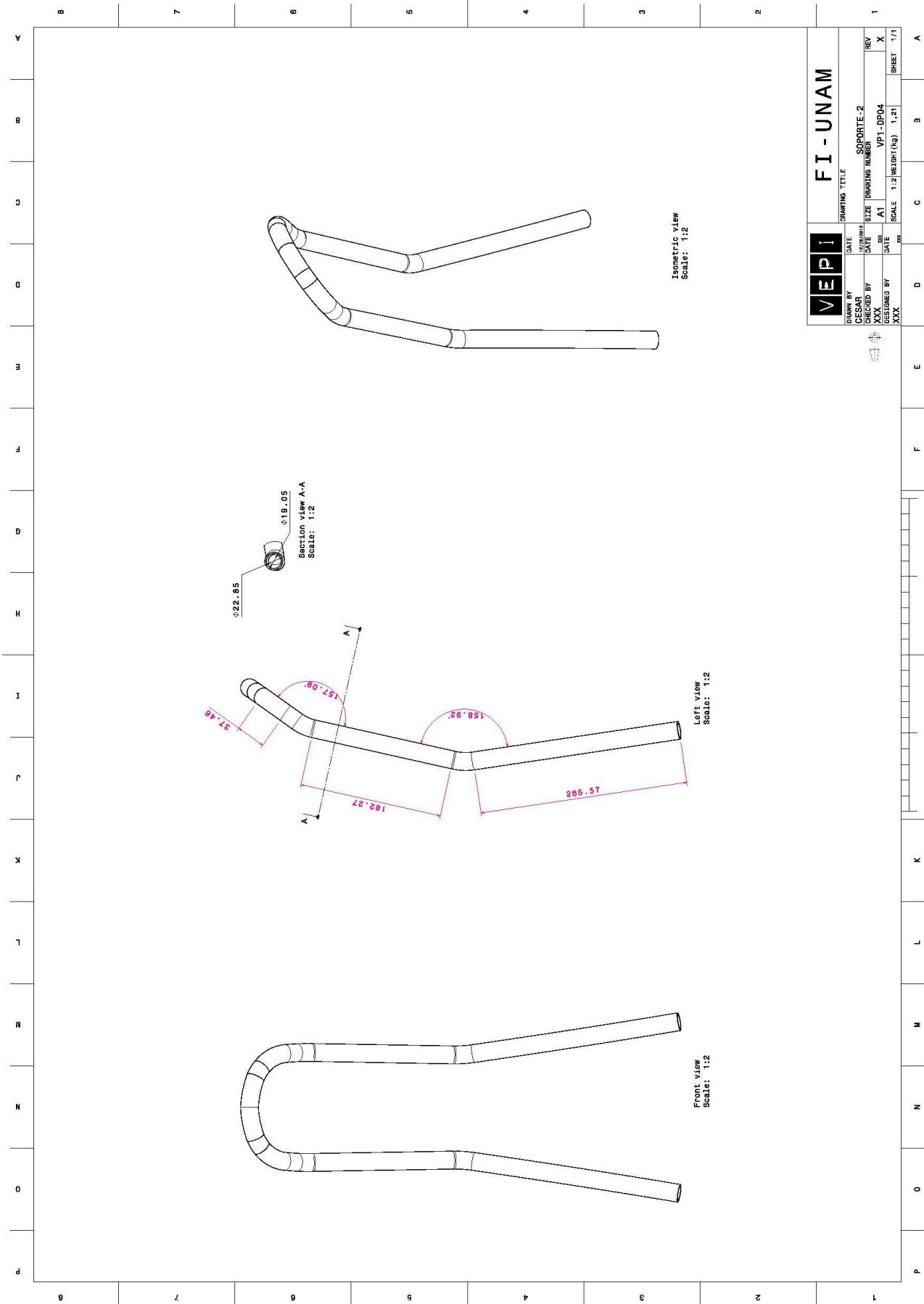




<b>VEPI</b>		DRAWING TITLE		<b>FI - UNAM</b>	
DRAWN BY	DATE	DRAWING NUMBER	SCALE	REV	SHEET
CESAR	12/06/2012	BARRA TRANSVERSAL	1:2	X	1/1
CHECKED BY	DATE	DRAWING NUMBER	SCALE	REV	SHEET
XXX	XXX	VP1 - DPO2	1:2	X	1/1
DESIGNED BY	DATE	SCALE	1:2	WEIGHT(kg)	0.100
VEPI	XXX				



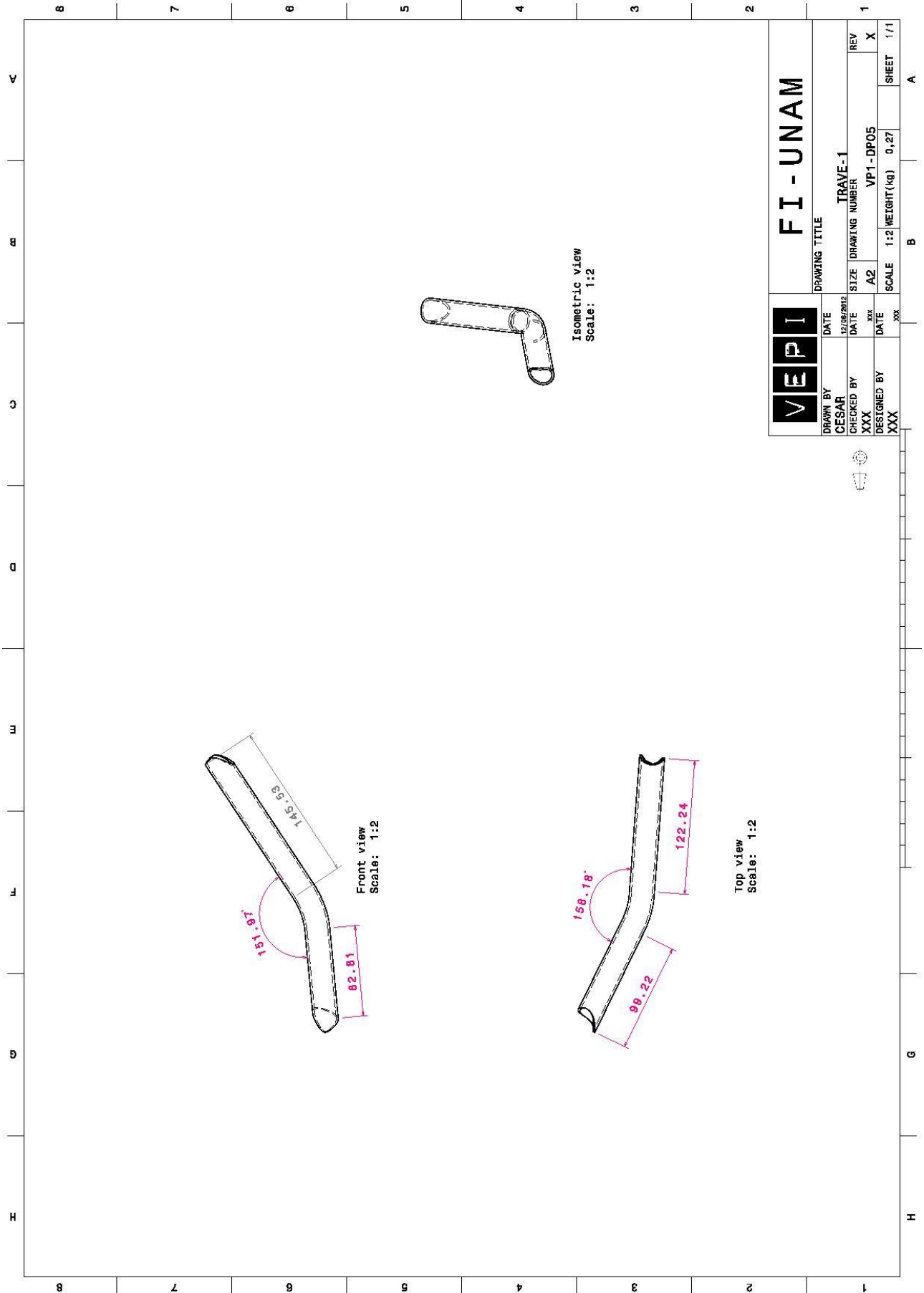


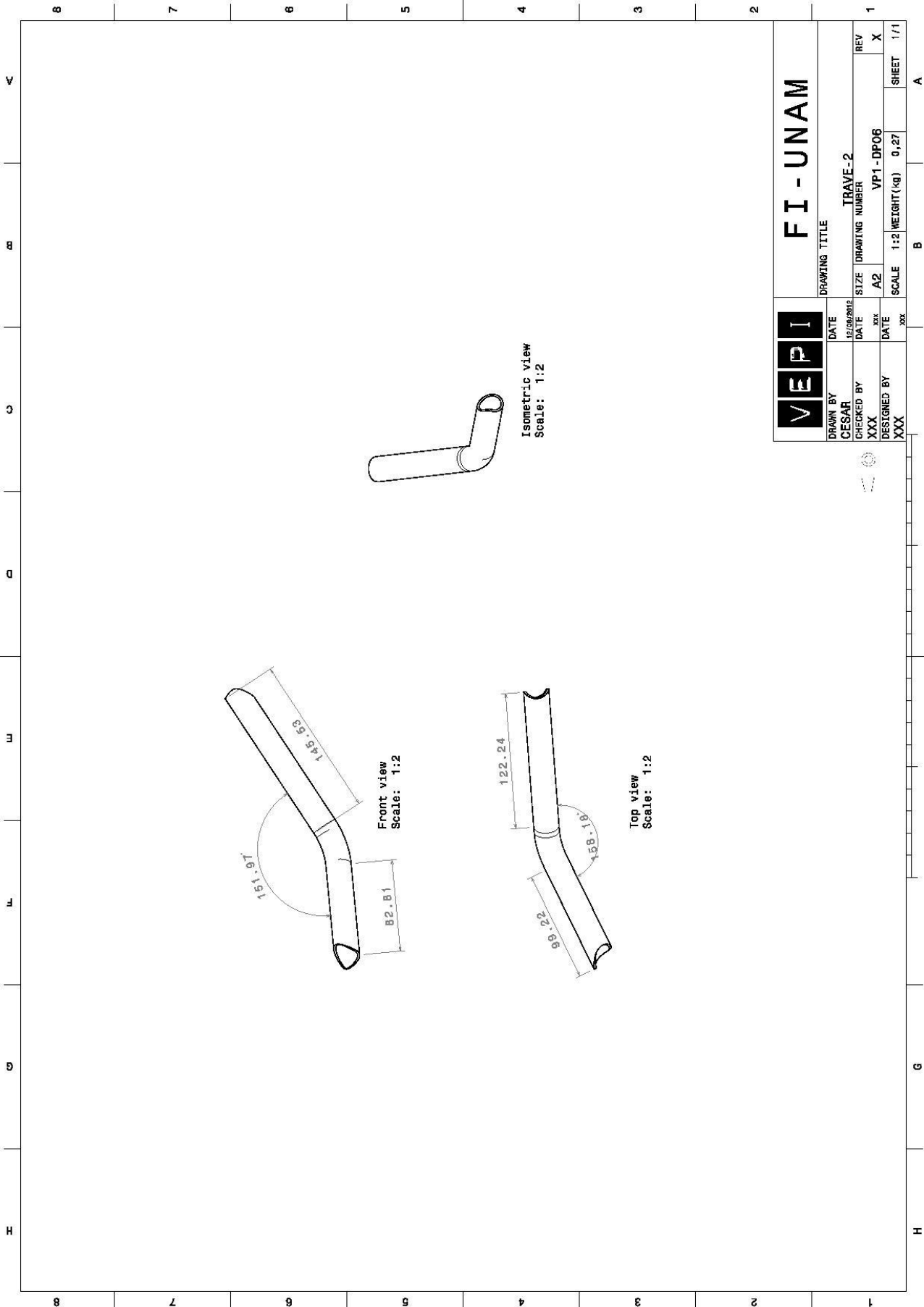


**VEPI** FI - UNAM

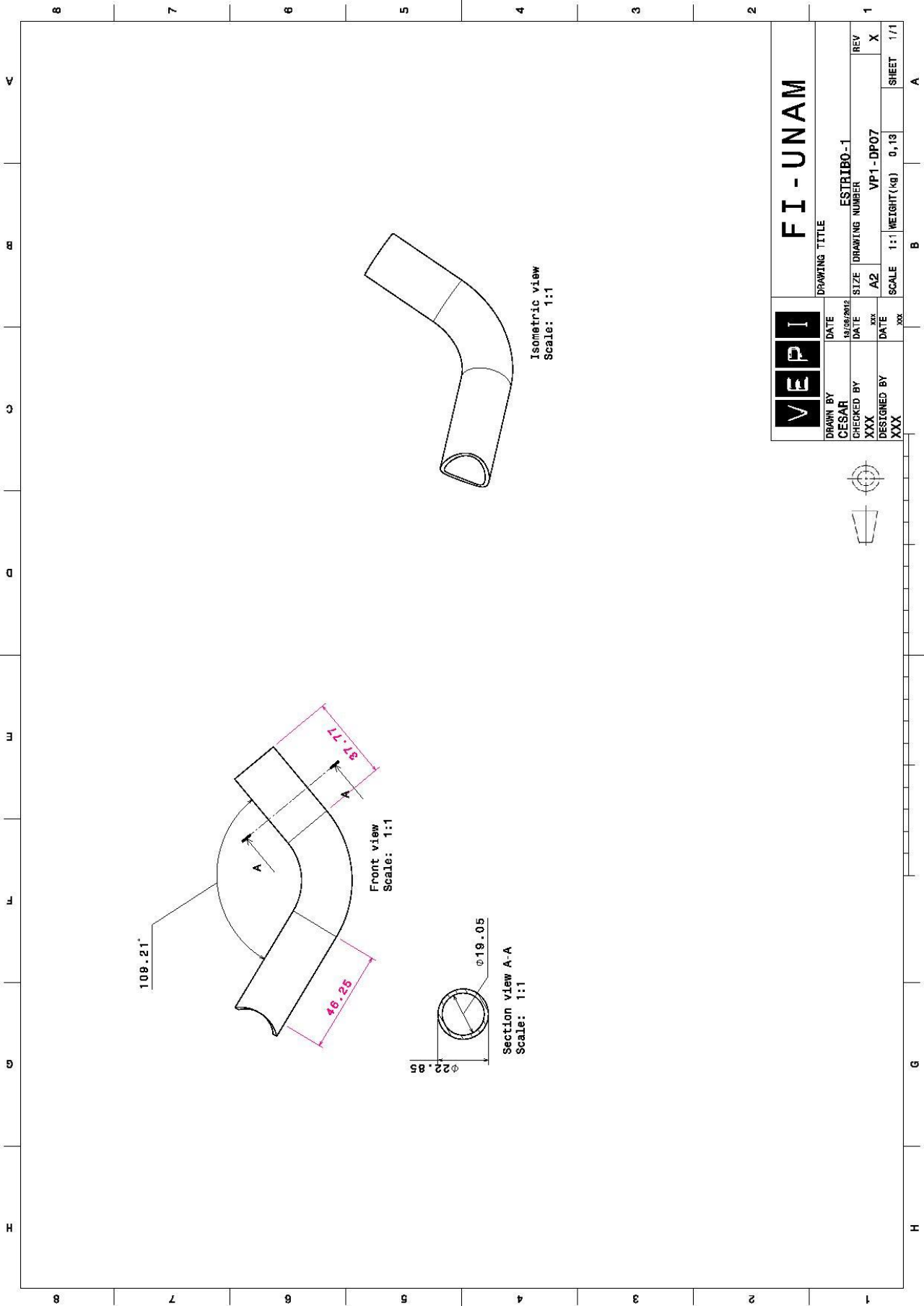
DRAWING TITLE	
DESIGN BY	DATE
CESAR	
CHECKED BY	DATE
XXX	
DESIGNED BY	DATE
XXX	
SCALE	1:2 WEIGHT (kg)
	1, 21
REV	
1	
SHEET	1/1

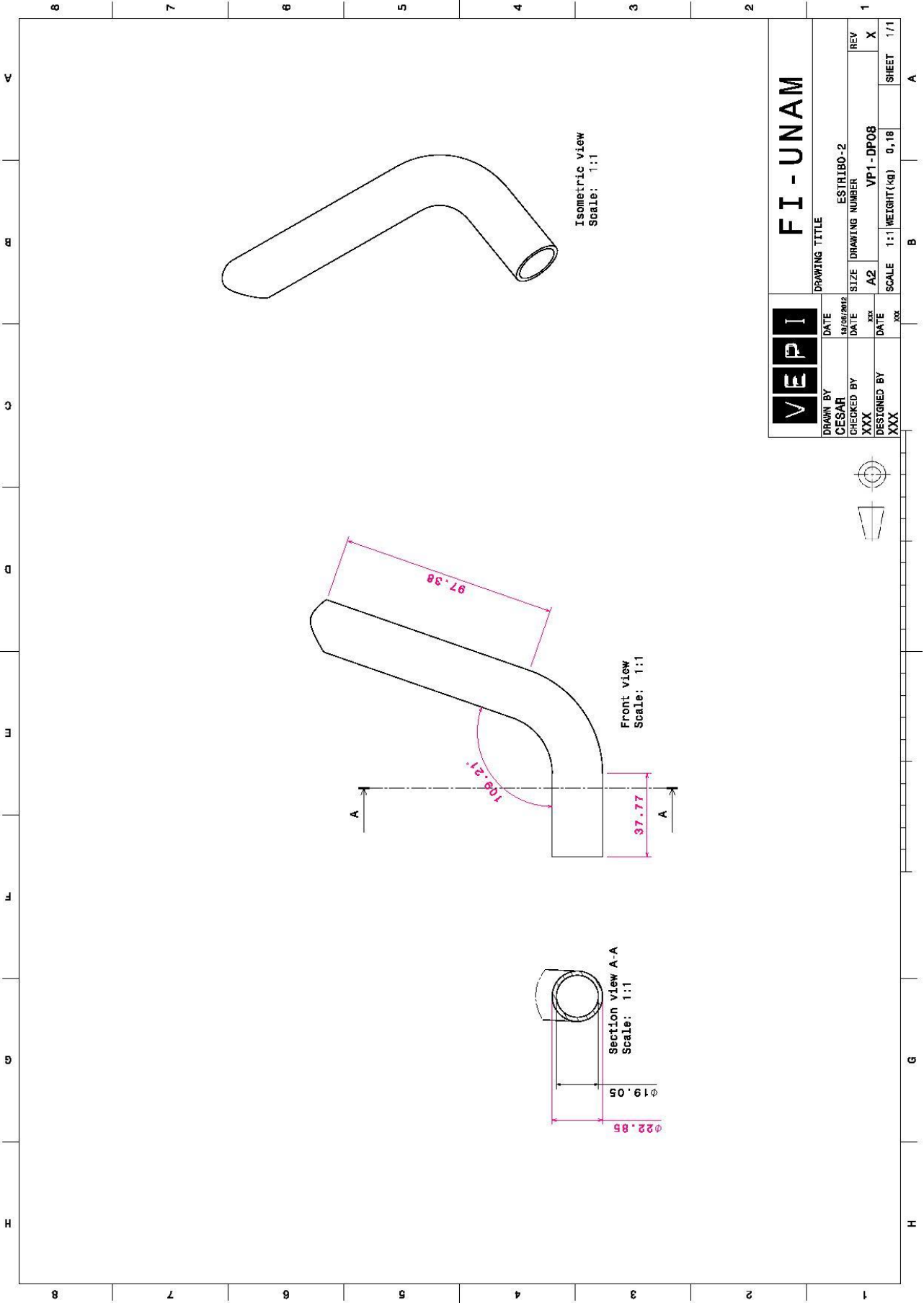
DATE	REVISION	BY	SCALE	WEIGHT (kg)

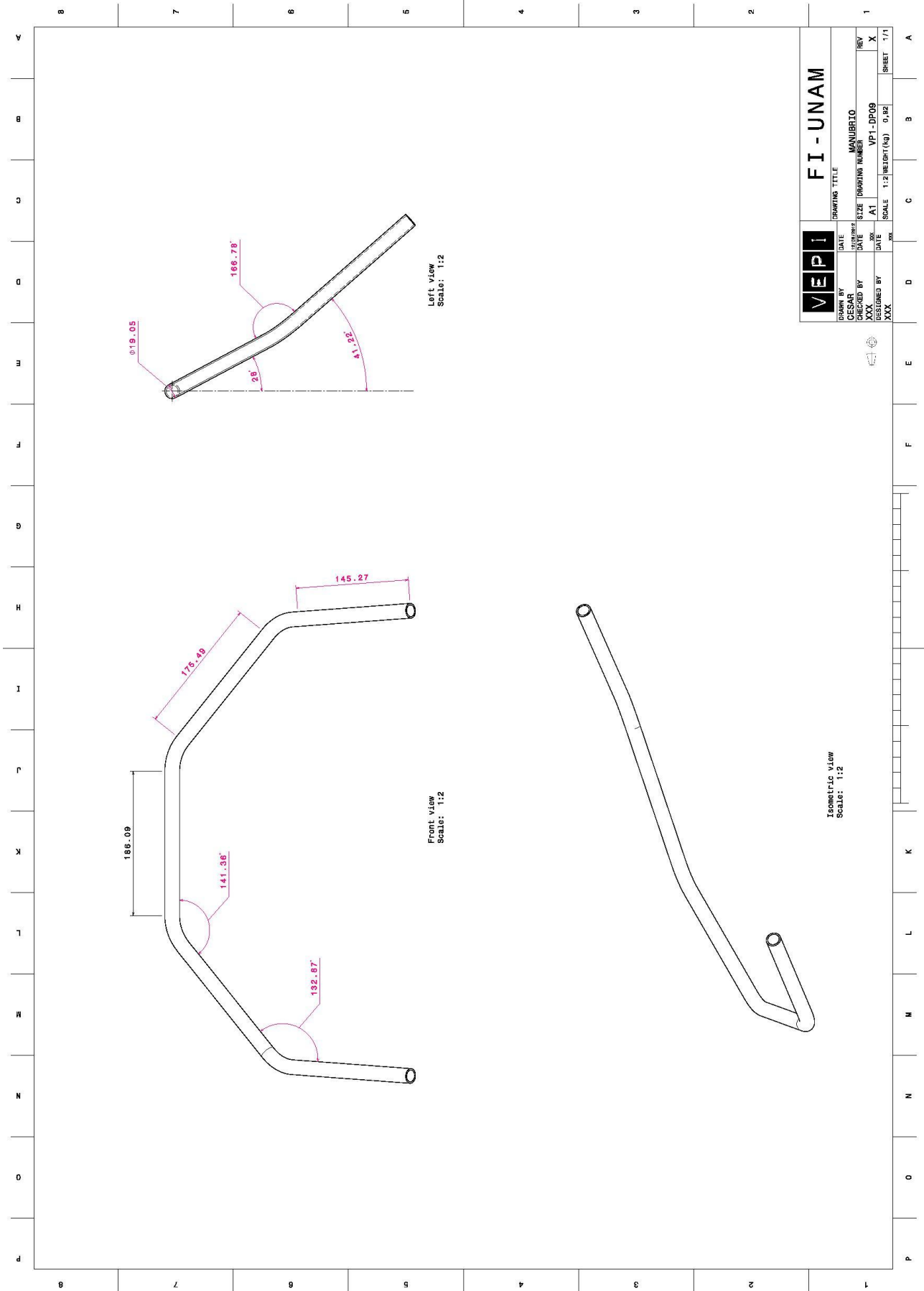




<b>VEPI</b>		<b>FI - UNAM</b>	
DRAWING TITLE			
DRAWN BY	DATE	SIZE	DRAWING NUMBER
CESAR	12/08/2015	A2	TRAVE-2
CHECKED BY	DATE	SCALE	REV
XXX		1:2 WEIGHT(kg)	X
DESIGNED BY	DATE		SHEET
XXX			1/1







**VEPI** **FI - UNAM**

DESIGN BY	DATE	DRAWING TITLE
CHECKED BY	DATE	MANUFACTURE
DESIGNED BY	DATE	SIZE
DATE	SCALE	DRAWING NUMBER
XXX	A1	VP1-DPO9
XXX	1:2 (HEIGHT) 0.12	SCALE
XXX	XXX	SHEET 1/1

Isometric view  
Scale: 1:2

Left view  
Scale: 1:2

Front view  
Scale: 1:2

PLAN DE NEGOCIOS.

**V. E. P. I. TP**  
**PLAN DE NEGOCIO**

MÉXICO DF A 7 DE JUNIO DE 2011.



---

## Contenido

---

1. Proyecto y objetivos .....	118
1.1. La idea.....	118
1.2. ¿Por qué?.....	119
1.3. Los Promotores .....	120
1.4. Misión .....	120
1.5. Visión .....	121
1.6. Objetivos. ....	121
2. Sector y Mercado .....	123
2.1. Perspectivas del sector. ....	123
2.2. Mercado.....	123
2.3. La oportunidad de V.E.P.I. TP .....	131
2.4. El crecimiento de usuarios de vehículos eléctricos. ....	131
2.5. Nuestro producto y servicio, visión general. ....	132
2.6. Puntos fuertes y ventajas. ....	133
2.7. El cliente y usuario.....	133
2.8. Targets.....	134
2.9. Claves de futuro. ....	134
3. Competitividad.....	137
3.1. Competencia.....	137
3.2. Principales competidores.....	137
3.3. Análisis de la competencia.....	138
3.4. Competitividad.....	141
4. Plan de Marketing .....	146
4.1. D.A.F.O.....	146
4.2. Políticas de Servicio y Precios. ....	147
4.3. Fidelización: .....	150
4.4. Política de Promociones y descuentos.....	151
4.5. Estrategia de Comunicación con clientes y usuarios.....	151
4.6. Estrategia de penetración en el mercado: .....	152
4.7. Publicidad y Promoción (medios).....	153
5. Plan de Ventas.....	156
5.1. Estrategia de Ventas.....	156
5.2. Fuerza de Ventas.....	156

5.3. Plan de Ventas Anual. ....	157
6. Organización y RR.HH. ....	159
6.1. Dirección de la empresa. ....	160
6.2. Organización funcional de la empresa ....	160
6.3. Condiciones de trabajo y remunerativas. ....	161
6.4. Condiciones de trabajo y remunerativas: ....	161
6.5. Previsión de Recursos Humanos. ....	162
7. Aspectos legales y de sociedad. ....	163
7.1. La sociedad y sede social/operativa. ....	164
7.2. Licencias y derechos. ....	164
7.3. Obligaciones legales.....	164
7.4. Permisos y limitaciones.....	164
8. Establecimiento, lanzamiento, inversiones y plan de financiamiento.....	166
8.1. Plan de Establecimiento: .....	167
8.2. Plan de Lanzamiento. ....	168
8.3. Inversiones .....	168
8.4. Plan de Financiación. ....	169
9. Conclusiones finales.....	172
9.1. Oportunidad:.....	172
9.2. Riesgo:.....	172
9.3. Puntos fuertes: .....	172
9.4. Rentabilidad: .....	173
9.5. Seguridad:.....	173

**V. E. P. I. TP**

PLAN DE NEGOCIO

## **1.- Proyecto y objetivos**

## 1. Proyecto y objetivos

---

### 1.1. La idea

---

**V. E. P. I. TP S.A. DE C.V.** se proyecta en su primera etapa como una compañía de servicios de transporte enfocado al sector turístico.

Como una segunda etapa, se proyecta la venta de los V.E.P.I. TP a diferentes sectores.

El negocio se desarrollaría principalmente en las siguientes líneas estratégicas:

**1. Uso de espacios publicitarios:** Uso de publicidad impresa en espacios destinados para este fin en vehículos eléctricos de una plaza, misma que será exhibida en lugares altamente transitados y de interés para los turistas.

**2. Renta:** Se hará un cobro accesible por el uso de los vehículos por parte de los usuarios al recorrer destinos turísticos. Incluso podría ofrecerse el servicio de manera gratuita si la empresa contratante del espacio publicitario así lo estipule.

**3. Promoción de Destinos Turísticos:** Uso del V.E.P.I. TP como atractivo turístico para el recorrido de destinos o lugares de interés.

**4. Venta:** Si la aceptación del vehículo en general es buena, se continuaría con la segunda etapa proyectada.

Los clientes naturales de V.E.P.I. TP S.A. DE C.V. serán:

**1. Clientes directos:**

- a. Empresas que tengan necesidad de publicitar sus productos o servicios.
- b. Usuarios del transporte para fines turísticos.

**2. Clientes indirectos:** Agencias de publicidad que precisan del uso de espacios publicitarios para satisfacer las necesidades de sus clientes y prefieren subcontratar dichos servicios.

---

## 1.2. ¿Por qué?

---

Después de los niveles tan bajos en ventas que tuvo el transportador personal de la empresa Segway Inc. en México, encontraron en la renta, en lugares o destinos turísticos, una buena oportunidad de negocio, misma que ya han explotado con relativo éxito durante varios años. Sus altos costos en venta, fueron el factor primordial para que este producto no tuviera el impacto social, económico y ecológico que Segway Inc proyectó en el inicio de sus operaciones al menos en este país.

Una limitante importante de los vehículos Segway, es que por su propio diseño, este no cuenta con espacios adecuados en su estructura para el uso de publicidad. Esto limita mucho sus posibilidades y oportunidades de negocio.

Por otro lado, su innovador concepto y llamativo diseño han llamado a tal grado la atención, que le ha permitido estar presente en el mercado del turismo durante bastante tiempo bajo el esquema de renta por Tour o por tiempo. Aunque en este rubro, su principal desventaja radica en el costo en el que finalmente los usuarios adquieren el servicio, ya que resulta alto en comparación con el poder adquisitivo en general del turista nacional.

Existen otros aspectos importantes en cuanto al uso del vehículo Segway, mismo que se obtuvieron de un estudio entre usuarios del servicio, entre los cuales se pueden mencionar: Limitada comodidad, percepción de inseguridad para personas de ciertas edades, cansancio al operarlo por tiempos relativamente largos etc.

Surge entonces la posibilidad de diseñar un vehículo con características tales que se satisfagan las áreas de oportunidad mencionadas anteriormente, desprendiéndose así las líneas estratégicas de negocio tratadas en el apartado anterior.

---

### 1.3. Los Promotores

---

Los tres promotores de este proyecto, que actualmente trabajan en el desarrollo del producto y de los aspectos del negocio son:

- **Alfredo Mariscal:** Ingeniero Mecatrónico egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, actualmente estudiando estudios de maestría en la misma rama de su Licenciatura. Cuenta con más de 5 años de experiencia en sectores de la industria en donde el uso de nuevas tecnologías es primordial para las exigencias actuales en los procesos productivos

-**Ricardo Vasquez:** Ingeniero Mecatrónico egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, actualmente realiza estudio de maestría en ingeniería Mecatrónica. Tiene una vasta experiencia en el desarrollo de procesos mecánicos, destacando como áreas de especialización: Programación de microcontroladores, diseño de sistemas de control, diseño mecánico, automatización industrial entre otras.

- **Ruben Dario Ortega:** Ingeniero Mecánico de profesión y egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México. Realiza también actualmente estudio de posgrado en la maestría de Ingeniería Mecatrónica. Experiencia en procesos de manufactura flexible. Especialista en diseño mecánico y diseño de procesos etc.

---

### 1.4. Misión

---

Nuestra misión es **proveer un servicio de transporte sustentable de alta calidad y valor añadido empleando vehículos diseñados con características vanguardistas e innovadoras.**

---

## 1.5. Visión

---

Convertirnos en los **líderes del mercado de los transportadores personales**, teniendo presencia en los destinos turísticos de gran parte del territorio nacional, y tener éxito en la venta de vehículos proporcionando mejores alternativas de transporte ecológico.

---

## 1.6. Objetivos.

---

Nuestros objetivos son muy claros:

- 1. Contactar con el mayor número posible de empresas cuya facturación por servicios publicitarios supere los \$10.000.000 anuales antes del quinto año de operación.**
- 2. Tener presencia entre tres y seis destinos turísticos importantes del Distrito Federal en el primer año** y crecer en la misma proporción todos los años hasta abarcar las plazas de mayor trascendencia en la República antes del quinto año de operación.
- 3. Conseguir de 5 a 10 clientes** en el primer año y doblarlos consecutivamente en los años siguientes hasta lograr más de 50 clientes que publiciten sus productos o servicios en nuestros vehículos.
- 4. Obtener ingresos anuales por concepto de rentas superior a \$2,000,000** antes del quinto año de operación.
- 5.-Empezar la venta de vehículos después del segundo año de operación** si su aceptación fue positiva antes de este periodo.



# V. E. P. I. TP

## PLAN DE NEGOCIO

### 2.- Sector, Producto y Mercado

## 2. Sector y Mercado

---

### 2.1. Perspectivas del sector.

---

#### **Los vehículos eléctricos:**

Derivada de la necesidad de desplazarse, el ser humano ha interactuado con diversos vehículos primero utilizando la fuerza proporcionada por los animales, después logrando avances en mecánica y utilizando energéticos derivados del petróleo.

El creciente desarrollo, y tomando en consideración el impacto que tuvo la revolución industrial en la historia de la humanidad, propició que las distancias a recorrer para trasladarse de un lugar a otro se incrementaran lo cual provocó que el uso de vehículos para lograr tal fin, fuera indispensable. Las consecuencias, se derivaron en contaminación ambiental que hasta nuestros días ha llegado a niveles alarmantes.

Aunado a ello, los espacios diseñados para necesidades básicas o recreación como hospitales o parques, fueron incrementando también sus dimensiones haciendo necesario recorrer grandes distancias a pie para llegar de un lugar a otro, lo cual resulta cansado e incluso muy complicado para sectores vulnerables.

Las áreas turísticas con las que cuenta nuestro País, son diversas y muy atractivas para el turismo en general. Sin embargo, los largos recorridos, impiden al turista conocer en su totalidad muchos sitios, o incluso desistir cuando esto implica una larga caminata que le generará cansancio.

### 2.2. Mercado.

---

El mercado está definido por los sectores en donde puede haber rentas y ventas:

#### **Rentas:**

- Empresas publicitarias o con necesidades de publicitarse.
- Turistas.
- Uso en lugares controlados para el público en general:

- Parques.
- Pistas.
- Museos.
- Playas.

Una vez que se haya comprobado la aceptación del V.E.P.I. en su primera etapa, se empezará la segunda etapa del proyecto cuya línea de negocio estará enfocada a las ventas y mantenimiento de los vehículos. Por esto motivo, el mercado se ampliaría a:

Venta a:

- Particulares.
- Empresas.
- Gobierno.
- Instituciones educativas.
- Personas con discapacidad.

Las líneas estratégicas de negocio serán mencionadas más adelante en este documento en el apartado de “Modelo de Negocios”.

### *2.2.1. Estimación del mercado del servicio.*

---

De acuerdo con las características del servicio a prestar, contempladas en el modelo de negocios, los mercados a considerar son:

- Mercado Turístico.
- Mercado de la Comunicación Comercial.

#### *2.2.1.1. Mercado Turístico:*

---

Mercado real.

De acuerdo a cifras publicadas por el Sistema Integral de Información de Mercados Turísticos (SIIMT) en su página de Internet, México es uno de los destinos turísticos más importantes a nivel mundial, ocupando el decimo puesto en llegadas de Turistas Internacionales, lo cual muestra el gran potencial de hacer inversiones en proyectos orientados a este sector (Tabla 11).

<b>Llegadas de Turistas Internacionales (millones de personas)</b>				
<b>Ranking 2009</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>Var %09/08</b>
<b>Mundial</b>	<b>901</b>	<b>913</b>	<b>877</b>	<b>-4.0%</b>
1 Francia	80.9	79.2	76.8	-3.1
2 EE. UU.	56	57.9	54.9	-5.3
3 España	58.7	57.2	52.2	-8.7
4 China	54.7	53	50.9	-4.1
5 Italia	43.7	42.7	43.2	1.2
6 Reino Unido	30.9	30.1	28.2	-6.4
7 Turquía	22.2	25	25.5	2.0
8 Alemania	24.4	24.9	24.2	-2.7
9 Malasia	21	22.1	23.6	7.2
<b>10 México</b>	<b>21.4</b>	<b>22.6</b>	<b>21.5</b>	<b>-5.2</b>
11 Austria	20.8	21.9	21.4	-2.6

Tabla 11. Top 10 del Turismo Mundial

El tamaño del mercado real para la operación de nuestro servicio está directamente en función del número de turistas que pudieran ocupar el vehículo con fines de Turismo o de esparcimiento en los diferentes destinos orientados a este fin.

Se muestra en las siguientes tablas el tamaño del mercado real tanto de turistas nacionales (Tabla 12) como de turistas internacionales (Tabla 12) en los ocho estados con mayor flujo turístico en el año 2010.

<b>Distrito Federal</b>	8,099,736
<b>Guerrero</b>	5,889,279
<b>Jalisco</b>	4,998,364
<b>Veracruz</b>	4,472,367
<b>Chihuahua</b>	3,309,882
<b>Chiapas</b>	2,820,068
<b>Michoacán</b>	2,790,978
<b>Quintana Roo</b>	2,780,106

Tabla 12. Turistas Nacionales en 2010

<b>Quintana Roo</b>	5,826,830
<b>Distrito Federal</b>	1,799,957
<b>Baja California Sur</b>	919,562
<b>Baja California</b>	902,436
<b>Jalisco</b>	803,900
<b>Estado de México</b>	626,972
<b>Nayarit</b>	578,170
<b>Sinaloa</b>	530,416

Tabla 13. Turistas Internacionales en 2010

Sumando el número de turistas nacionales e internacionales, se puede observar que el mercado turístico que mayores oportunidades representa es el Distrito Federal, en segundo y tercer lugar son para destino de playas como son Quintana Roo (Cancún) y Guerrero (Acapulco). Se muestra en la Tabla 14 el tamaño del mercado para las ocho entidades mas visitadas.

<b>Distrito Federal</b>	9,899,693
<b>Quintana Roo</b>	8,606,936
<b>Guerrero</b>	6,128,855
<b>Jalisco</b>	5,802,264
<b>Veracruz</b>	4,668,204
<b>Chihuahua</b>	3,502,226
<b>Chiapas</b>	3,234,444
<b>Estado de México</b>	3,030,155

Tabla 14. Top 8 de Total de turistas en 2010

Se muestra en Tabla 15 y Tabla 16 el flujo de turistas en museos y centros culturales, estos datos dan muestra a modo de ejemplo de la fuerte oportunidad de introducir el uso de nuestro producto, en virtud del elevado número de visitantes.

<b>Lugar</b>	<b>Museo</b>	<b>Estado</b>	<b>2010</b>
1	Museo Nacional De Antropología	Distrito Federal	1,446,506
2	Museo Nacional De Historia	Distrito Federal	1,379,047
3	Museo Del Templo Mayor con (Z.A.)	Distrito Federal	728,888
4	Museo Nacional Del Virreinato *	Mexico	249,748
5	Museo Regional. De Guadalajara	Jalisco	212,034
6	Museo Reg. De Guanajuato (Alhondiga De Granaditas)	Guanajuato	204,379
7	Museo De Las Culturas De Oaxaca	Oaxaca	158,660
8	Museo Regional. Cuauhnahuac	Morelos	145,690
9	Museo Regional De Yucatán. Palacio Caton	Yucatán	140,592
10	Museo Regional de Querétaro	Querétaro	122,929

Tabla 15. Ranking total de visitantes en museos.

Lugar	Zona	Estado	2010
1	Teotihuacan	Edo. México	1,925,100
2	Chichen-Itza c/museo	Yucatán	1,404,324
3	Tulum	Quintana Roo	992,964
4	Xochicalco	Morelos	894,810
5	Monte Albán c/museo	Oaxaca	439,736
6	Palenque	Chiapas	399,618
7	El Tajín	Veracruz	388,403
8	Coba	Quintana Roo	384,836
9	Cholula c/museo	Puebla	234,589
10	Uxmal (c/museo)	Yucatán	202,991

Tabla 16. Ranking total de visitantes en centros culturales

*Mercado potencial.*

El cálculo del tamaño del mercado potencial turístico que tendrá nuestro servicio de transporte, lo calculamos en base al método de los ratios sucesivos bajo los siguientes supuestos:

- Según información obtenida de las entrevistas a usuario de Segway, 14 de cada 20 personas están interesadas en adquirir un vehículo tipo Segway. Esto genera que un 70% del mercado estaría interesado en usarlo.
- Se toma el supuesto de introducir el producto en los primeros años a plazas en donde se concentre mínimo el 15% de la concentración turística.
- El costo o valor promedio del servicio por una hora de uso sería de \$50. Según la encuesta realizada, el 40% de la gente estaría dispuesta a pagar de \$50 a \$100 por un vehículo tipo Segway, como esta mostrado en la Figura 1.

**De tener oportunidad de rentarlo, cuanto pagaria por una hora de uso?**

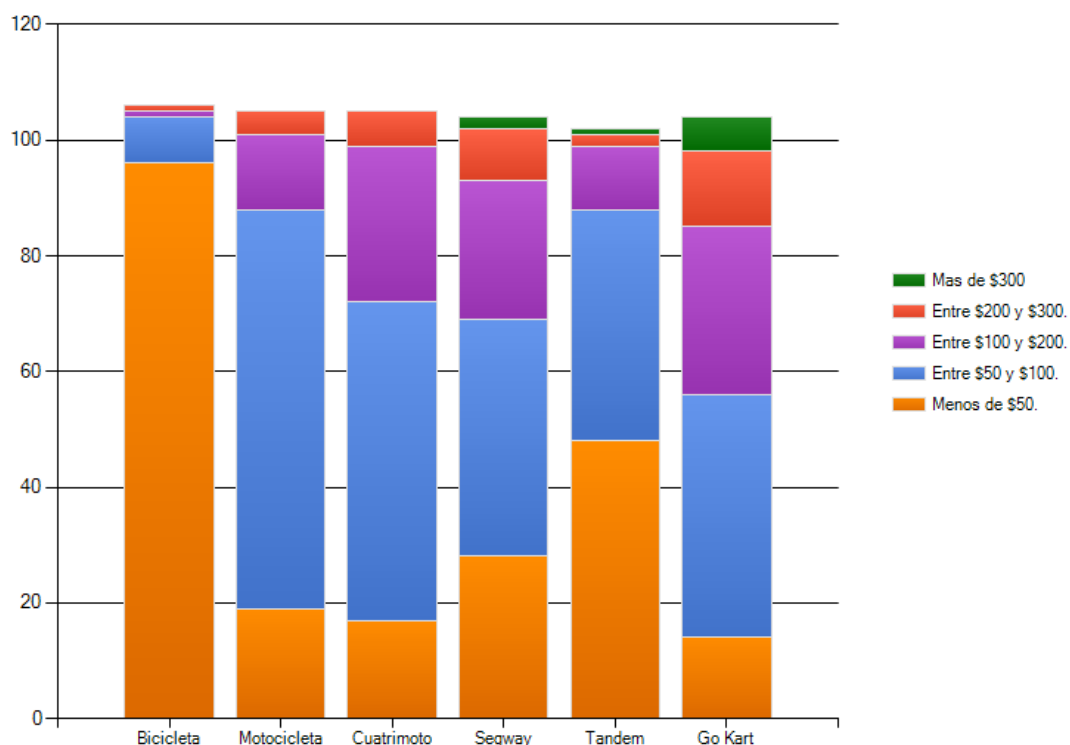


Figura 1. Disposición de pago por renta de vehículos similares.

La estimación del mercado potencial para los ocho estados de mayor flujo turístico (Tabla 17) mencionado anteriormente, junto con el valor en unidades y pesos se muestra en la tabla .

Estado	No de Turistas	Interesados (70%) [Num Turistas]	Concentración Turística (15%)	Disposición a pagar (40%) Mercado Potencial	Valor del Mercado[\$] (\$50c/usuario)
<b>Distrito Federal</b>	9,899,693	6,929,785.1	1,039,467.77	415,787.106	20,789,355.3
<b>Quintana Roo</b>	8,606,936	6,024,855.2	903,728.28	361,491.312	18,074,565.6
<b>Guerrero</b>	6,128,855	4,290,198.5	643,529.775	257,411.91	12,870,595.5
<b>Jalisco</b>	5,802,254	4,061,577.8	609,236.67	243,694.668	12,184,733.4
<b>Veracruz</b>	4,668,204	3,267,742.8	490,161.42	196,064.568	9,803,228.4
<b>Chihuahua</b>	3,502,226	2,451,558.2	367,733.73	147,093.492	7,354,674.6
<b>Chiapas</b>	3,234,444	2,264,110.8	339,616.62	135,846.648	6,792,332.4
<b>Estado de México</b>	3,030,155	2,121,108.5	318,166.275	127,266.51	6,363,325.5
<b>Total</b>	44,872,767	31,410,936	4,711,640.54	1,884,656.21	<b>94,232,810.7</b>



Tabla 17. Valor del mercado debido a turistas nacionales e internacionales.

En este análisis se toman en cuenta turistas nacionales como internacionales, aunque es importante realizar otro análisis enfocado al mercado internacional que tiene un gran potencial debido a su mejor nivel adquisitivo (Tabla 18).

Para este análisis, consideramos:

- Los ocho destinos que turistas internacionales prefieren.
- Una mayor disposición (70%) a pagar un monto propuesto de \$100.

Estado	No de Turistas	Interesados (70%) [Num Turistas]	Concentración Turística (15%)	Disposición a pagar (70%) Mercado Potencial	Valor del Mercado[\$] (\$100c/usuario)
Quintana Roo	5,826,830	4,078,781	611,817.15	428,272.005	42,827,200.5
Distrito Federal	1,799,957	1,259,969.9	188,995.485	132,296.84	13,229,684
Baja California S	919,562	643,693.4	965,54.01	67,587.807	6,758,780.7
Baja California	902,436	631,705.2	94,755.78	66,329.046	6,632,904.6
Jalisco	803,900	562,730	84,409.5	59,086.65	5,908,665
Estado de México	626,972	438,880.4	65,832.06	46,082.442	4,608,244.2
Nayarit	578,170	404,719	60,707.85	42,495.495	4,249,549.5
Sinaloa	530,416	371,291.2	55,693.68	38,985.576	3,898,557.6
<b>Total</b>	<b>11,988,243</b>	<b>8,391,770.1</b>	<b>1,258,765.52</b>	<b>881,135.861</b>	<b>88,113,586.1</b>

Tabla 18. Valor del mercado debido a turistas extranjeros.

Se observa que el tamaño del mercado puede variar en función del sector de este al que vaya dirigido. El valor del mercado es muy similar en los dos casos (cerca de \$90,000,000) en los que se consideran tarifas para turistas extranjeros exclusivamente o nacionales e internacionales mezclados.

Se concluye que se pueden manejar diferentes tarifas según el destino turístico en el que se ofrezca el servicio, para hacer más rentable el negocio.

### 2.2.1.2. Mercado de la Comunicación Comercial:

La CICOM presenta su estimación sobre el tamaño y valor del mercado de las disciplinas representadas en la Confederación, las cuales cubren un sector relevante de la industria de la mercadotecnia mexicana.

Se calcula en 86,082 millones de pesos el valor del mercado de la comunicación comercial en México en 2007, el cual se divide en varias disciplinas, donde la publicidad es la que tiene una participación muy grande como se muestra en la Figura 2.

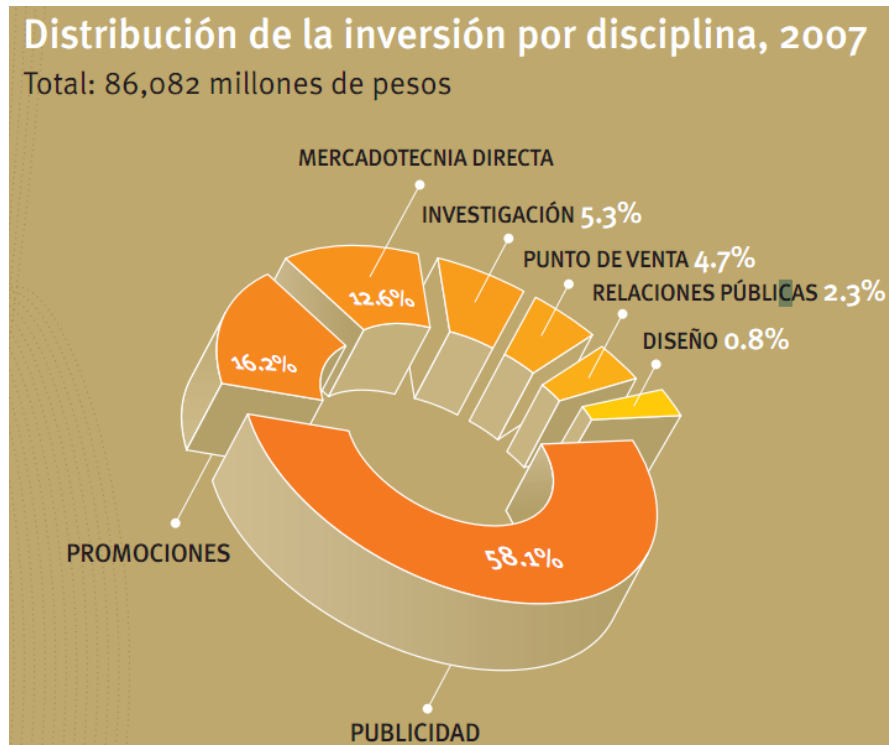


Figura 2. Mercado de la comunicación comercial.

La mayor parte de la inversión en comunicación comercial, un poco más de la mitad del monto total, se destina a publicidad en distintos canales. Estos se muestran en la Figura 3.

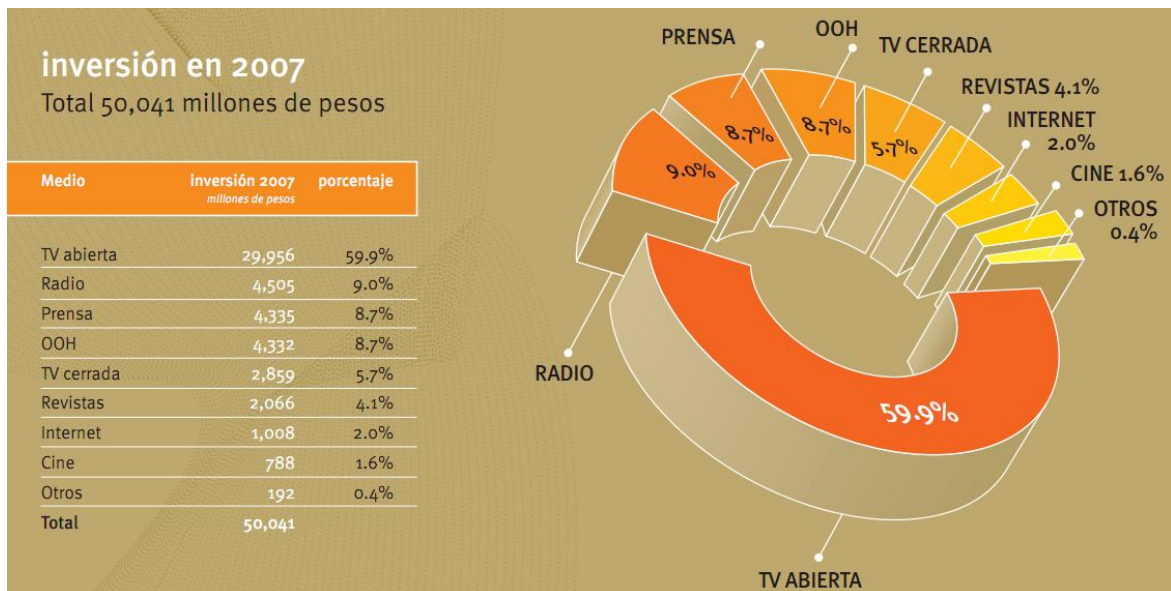


Figura 3. Mercado de la publicidad.

Nuestro mercado potencial se encuentra ubicado en la parte correspondiente a “Otros” de la tabla y gráfica anteriormente mostrados (Figura 3), lo cual muestra la cifra de \$192,000,000 como el valor del mercado potencial en cuanto a publicidad se refiere.

Este valor pudiera crecer si anunciantes que usan algún otro medio de comunicación logran interesarse en nuestro servicio viéndola como una innovadora opción de publicitarse.

---

### **2.3. La oportunidad de V.E.P.I. TP**

---

En la actualidad, no existe ninguna duda, de que los vehículos eléctricos entre otras cosas son y serán:

- 1.- Una alternativa viable para el transporte de tipo laboral, recreativo, de servicios y turísticos.
- 2.- Un medio de transporte que ofrece una solución real a los problemas ambientales generados por aquellos que requieren de comburentes contaminantes.
- 3.- Una alternativa novedosa, confortable, silenciosa de desplazarse substituyendo el esfuerzo que implica caminar y que para algunas personas es imposible.
- 4.- Una opción sustentable para el transporte debido a que utiliza energías alternativas para su desempeño.
- 5.- Una excelente oportunidad de negocio por ser un producto novedoso, sustentable, de gran aceptación para la comunidad, y atractivo para el sector turístico.

---

### **2.4. El crecimiento de usuarios de vehículos eléctricos.**

---

El crecimiento de los usuarios de vehículos eléctricos, es la clave que – a nuestro entender – iniciará un proceso de transformación en todos los sectores dedicados al transporte, durante los próximos años, lo cual podemos deducir a partir de lo siguiente:

- a. La creciente preocupación mundial por la preservación de nuestro ecosistema y recursos naturales.
- b. La necesidad de buscar energías alternativas, debido a la inminente escasez y encarecimiento de comburentes derivados del petróleo.
- c. La tendencia mundial de transformar a la industria y transporte evitando el impacto ecológico.
- d. Lo novedoso y divertido que resulta para el usuario trasladarse en un vehículo eléctrico.
- e. El interés a nivel mundial en el diseño y optimización de modelos eléctricos para el transporte.
- f. El antecedente de la aceptación de transportes personales eléctricos como el “segway”.
- g. La exitosa y probada aplicación que tienen estos vehículos, para los sectores de seguridad, servicios y turísticos.
- h. El bajo costo que implicará la renta de un V.E.P.I.
- i. El manejo sencillo, confortable y apto para todo sector de la población que representa V.E.P.I.

---

## 2.5. Nuestro producto y servicio, visión general.

---

Nuestro producto y su servicio, se basa en tres líneas que se complementan entre sí y que generarán grandes oportunidades:

- 1.- Servicio de transporte personal ecológico.
- 2.- Oportunidad de publicitarse en espacios destinados para tal fin al exterior del V.E.P.I.
- 3.- Servicio a turistas.

Para lograr el objetivo planteado, contamos con un desarrollo planeado y enfocado a partir de:

- 1.- Diseño con tecnología de vanguardia e innovadora.

- 2.- Análisis del mercado potencial y sus aplicaciones al turismo.
- 3.- Mejora del servicio a partir de la detección de necesidades y sugerencias de uso planteadas a partir de un estudio en usuarios de vehículos similares.

---

#### 2.6. Puntos fuertes y ventajas.

---

Las ventajas diferenciales de V.E.P.I.

1. Nuestro vehículo está pensado para brindar un servicio sustentable, ecológico, de costo accesible y novedoso.
2. V.E.P.I. está pensado para que cualquier persona encuentre el vehículo cómodo, de fácil manejo.
3. Los espacios publicitarios serán de un gran atractivo para todas las empresas interesadas en atraer clientes potenciales.
4. Nuestro vehículo se ha diseñado atendiendo a las tendencias mundiales para preservar la ecología.
5. Sus aplicaciones son diversas, entre ellas podemos mencionar las recreativas, de seguridad y primordialmente las turísticas.

---

#### 2.7. El cliente y usuario

---

Los clientes del servicio serán:

##### 3. Clientes directos:

Agencias de publicidad que precisan del uso de espacios publicitarios para satisfacer las necesidades de sus clientes y prefieren subcontratar dichos servicios.

##### 4. Clientes indirectos:

- a. Empresas que tengan necesidad de publicitar sus productos o servicios.
- b. Usuarios del transporte para fines turísticos o recreativos.

5. **Usuarios:** Según las características del producto, se define al usuario de la siguiente forma:

- a. Sexo indistinto.
- b. Edad de 12 años en adelante.
- c. Que tenga capacidad de operar el vehículo.

- d. Estatura entre 1.50 m a 1.90 m.
- e. Peso menor a 100 kg.

---

## 2.8. Targets.

---

Los targets a los que nos dirigimos son, esencialmente:

### **Clientes - objetivo a corto plazo:**

- 1º. Empresas interesadas en publicitar sus productos o servicios en los espacios prediseñados para tal fin en V.E.P.I.
- 2º. Agencias de publicidad medianas y pequeñas.
- 3.- Turistas que requieran de la renta de un vehículo para sus recorridos.

Estos son los targets a los que vamos a dirigir nuestros esfuerzos preferentes.

---

## 2.9. Claves de futuro.

---

Las claves del desarrollo del mercado y nuestro crecimiento como empresa residen en:

- 1º Las **nuevas oportunidades que proporcionarán los medios publicitarios**, para hacer cada vez mas familiares para el consumidor las enormes ventajas del uso de un vehículo eléctrico.
- 2º. La tendencia mundial en incremento sobre el uso de energías alternativas en vehículos, poco contaminantes y armónicas para la vida.

3º. El atractivo que tendrá para personas que tienen alguna dificultad para trasladarse a pie.

4º. El atractivo que tendrá para el sector Turístico, efectuar sus recorridos en un vehículo ecológico, seguro, entretenido y económico.



**V. E. P. I. TP**

PLAN DE NEGOCIO

### **3.- Competitividad**

### 3. Competitividad

---

#### 3.1. Competencia.

---

La competencia en el sector de los vehículos personales, se pueden definir en dos grandes grupos:

1º **Vehículos Eléctricos** de dos ruedas tipo “Segway”.

2º **Vehículos personales de combustión interna, de propulsión humana y eléctricos de cuatro ruedas.**

La competencia en el sector de la publicidad móvil es:

1. Remolques publicitarios:
2. Camionetas con publicidad (Figura 6).
3. Autos rotulados.

---

#### 3.2. Principales competidores.

---

Los competidores directos y relevantes en nuestro Mercado, en el área de los vehículos son:

- Segway PT: Creado y comercializado por la empresa Segway Inc.
- P U M A: Prototipo de GM y Segway que actualmente está en pruebas y saldrá al mercado un el corto plazo.

Los competidores indirectos en nuestro mercado son empresas dedicadas al diseño, manufactura y comercialización de los siguientes vehículos:

- Monociclos: Addict Unicles, Benotto etc.
- Bicicletas: Benotto, BMX, Mercurio etc.

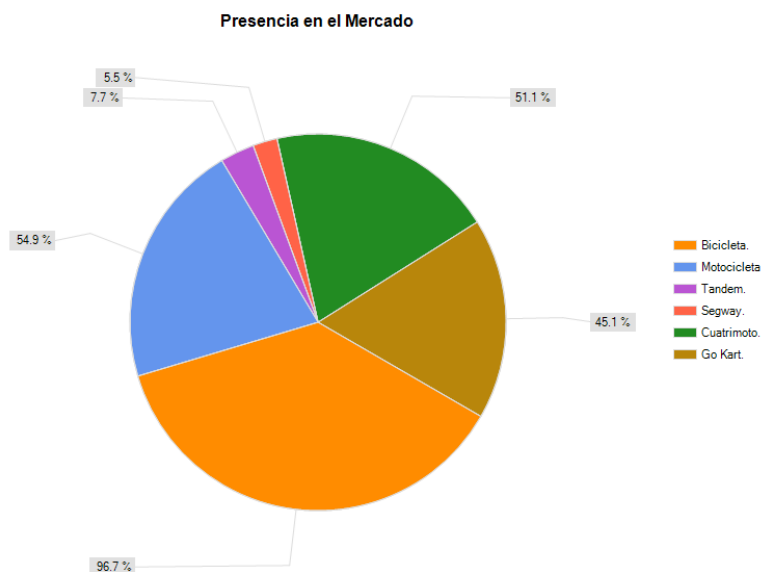
- Tandem: Windsor, Benotto etc.
- Cuadriciclo: Productores independientes.
- Velomobile: Allerweder, USA velomobile.
- Trikke: Trike Tech Inc
- Sillas de Ruedas (Eléctricas y convencionales): Drive, Quickie, Hover etc.
- Motonetas: Italika, Kasam, Yamaha etc.
- Motocicletas: Honda, Ducati, Dinamo etc.
- Scooters: Racer etc.
- Cuatrimotos: Honda, Yamaha, Polaris.

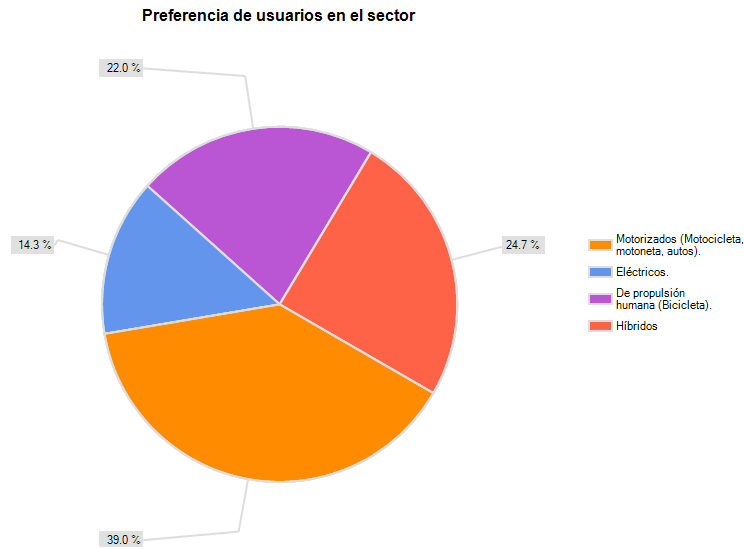
Los competidores directos en el area de la publicidad movil son:

- Grupo Sunset (Figura 4).
- Grupo siete (Figura 5).

### 3.3. Análisis de la competencia.

Hemos realizado un estudio de los competidores más representativos para establecer y comparar su posicionamiento en el mercado, del cual emanan los siguiente gráficos:





Se realizaron varios análisis de puntos fuertes y puntos débiles de los vehículos que directa o indirectamente competirían en el mercado con el concepto del vehículo planteado a desarrollar en el actual proyecto, para encontrar áreas de oportunidad en nuestro diseño.

El análisis realizado se sintetiza en la siguiente tabla:

Vehículo	Puntos Fuertes	Puntos Débiles
<b>Monociclo</b>	<p>Bajo Costo.</p> <p>Dimensiones pequeñas</p> <p>Fuente de energía limpia</p> <p>Peso Ligero</p>	<p>Muy inestable.</p> <p>Se requiere de una gran habilidad y esfuerzo del usuario.</p> <p>Poco comfortable.</p> <p>Muy bajo nivel de seguridad.</p> <p>Se alcanzan velocidades bajas</p> <p>No apto para personas mayores.</p> <p>No apto para todo tipo de terrenos ni inclinaciones</p>
<b>Bicicleta</b>	<p>Bajo Costo</p> <p>Relativa facilidad de Manejo.</p> <p>Fuente de energía limpia</p> <p>Dimensiones pequeñas</p> <p>Existen para todo tipo de terrenos</p> <p>Peso ligero</p>	<p>Se requiere cierta habilidad y esfuerzo por parte del usuario.</p> <p>Bajo nivel de seguridad y estabilidad.</p>
<b>Tandem</b>	<p>Facilidad de manejo</p> <p>Fuente de energía limpia</p>	<p>Es necesario ser operado por dos personas.</p> <p>Inestable, poco comfortable e inseguro</p> <p>Se desarrollan velocidades bajas.</p> <p>Requiere de habilidad y esfuerzo de los usuarios.</p> <p>No apto para todo tipo de terrenos ni inclinaciones</p>

<b>Cuadriciclo</b>	Facilidad de Manejo Fuente de energía limpia Buena estabilidad	Estorbo (Grandes dimensiones). Bajas velocidades Esfuerzo del usuario No apto para todo tipo de terrenos
<b>Velomobile</b>	Facilidad de Manejo Fuente de energía limpia Buena estabilidad	Estorbo (Grandes Dimensiones). Moderado alto costo No apto para todo tipo de terrenos
<b>Trikke</b>	Bajo costo. Dimensiones pequeñas. Fuente de energía limpia Peso ligero	Puede recorrer distancias cortas. Requiere mucha habilidad del usuario. Poca estabilidad en pendientes. No apto para personas mayores Bajo nivel de seguridad No apto para todo tipo de terrenos
<b>Silla de Ruedas</b>	Bajo costo. Muy buena estabilidad Dimensiones moderadas Fuente de energía limpia Peso Ligero	Muy bajas velocidades. Recorridos muy cortos Requiere esfuerzo de usuario
<b>Silla de Ruedas Eléctrica</b>	Excelente manejabilidad Buena autonomía Excelente confort Muy buena estabilidad	Relativo alto costo. Bajas Velocidades
<b>Monopatín</b>	Bajo costo Pequeñas dimensiones Fuente de energía limpia Peso ligero	Bajas velocidades. No apto para personas mayores. Distancias cortas No apto para todo tipo de terrenos
<b>Monopatín Motorizado</b>	Relativo bajo costo Pequeñas dimensiones Peso ligero	Bajas velocidades Distancias cortas No apto para personas mayores. Baja seguridad No apto para todo tipo de terrenos
<b>Motoneta</b>	Buena autonomía. Alcanza buena velocidad Buena manejabilidad	Moderado alto costo. Fuente de energía contaminante.
<b>Motocicleta</b>	Excelente autonomía Excelente velocidad y aceleración Buena manejabilidad Excelente para recorridos muy largos Buen desempeño en varios tipos de terrenos.	Altos costos. Por las velocidades que opera tiene un bajo nivel de seguridad. Fuente de energía contaminante.
<b> Scooter</b>	Buen manejo	Bajas velocidades.

	Moderadas dimensiones Moderada autonomía	
<b>Bicimotos (Kit de Motor para Bicicleta)</b>	Relativo bajo costo Brinda autonomía y un menor desgaste del usuario con respecto a una bicicleta convencional. Brinda un ahorro significativo respecto a una motocicleta convencional.	Genera velocidades bajas de operación. Tiene una pobre autonomía Fuente de energía contaminante.
<b>Cuatrimoto</b>	Excelente manejo y estabilidad Muy buena velocidad y aceleración Muy buena autonomía Muy buen confort Buena seguridad	Altos costos Fuente de energía contaminante. Grandes dimensiones.
<b>ATV (All terrain vehicles)</b>	Excelente manejo y estabilidad Muy buena velocidad y aceleración Muy buena autonomía Muy buen confort Muy buen desempeño en todo tipo de terrenos	Altos costos. Fuente de energía contaminante. Grandes dimensiones
<b>Segway</b>	Buena autonomía Buen manejo y estabilidad. Dimensiones moderadas Buen desempeño en varios tipos de terrenos.	Alto costo. Baja velocidad. No apto para todo terreno

### 3.4. Competitividad.

Se tienen dos tipos de competidores:

- Competidores en el sector de vehículo similares.
- Competidores en el sector de la publicidad móvil.

*Competencia en el sector de vehículos similares.*

Las características distintivas con respecto al resto de los vehículos similares existentes más relevantes se muestran en la siguiente Tabla 19:

Vehículo	La Competencia	Nosotros
Bicicleta	Bajo Costo Relativa facilidad de Manejo. Fuente de energía limpia Dimensiones pequeñas	No se requiere esfuerzo físico para operarlo. Mayor estabilidad y seguridad. Dimensiones adecuadas para mayor accesibilidad Manejo más fácil.

	Existen para todo tipo de terrenos Peso ligero	
Silla de Ruedas Eléctrica	Excelente manejabilidad Buena autonomía Excelente confort Muy buena estabilidad	Mejor diseño. Mayores velocidades y con un excelente nivel de seguridad
Motocicleta	Excelente autonomía Excelente velocidad y aceleración Buena manejabilidad Excelente para recorridos muy largos Buen desempeño en varios tipos de terrenos.	Mayor seguridad al operar menores velocidades. Menor precio. Vehículo ecológico Mínimo nivel de ruido
Cuatrimoto	Excelente manejo y estabilidad Muy buena velocidad y aceleración Muy buena autonomía Muy buen confort Buena seguridad	Mayor seguridad al operar menores velocidades. Menor precio. Vehículo ecológico Mínimo nivel de ruido
Segway	Buena autonomía Buen manejo y estabilidad. Dimensiones moderadas Buen desempeño en varios tipos de terrenos.	Posibilidad de operar el vehículo sentado. Velocidades y estabilidad similares. Mayor protección ante cambios climáticos. Mayor espacio para publicidad. Mayor tiempo de operación. Conceptos mas innovadores.

Tabla 19. Análisis de competitividad con respecto a otros vehículos

*Competencia en el sector de la publicidad móvil.*

La competencia directa en este sector se centra en:

2. Remolques publicitarios:
  - Grupo Sunset (Figura 4).
  - Grupo siete (Figura 5).
3. Camionetas con publicidad (Figura 6).



Figura 4. Remolques publicitarios (Grupo Sunset).

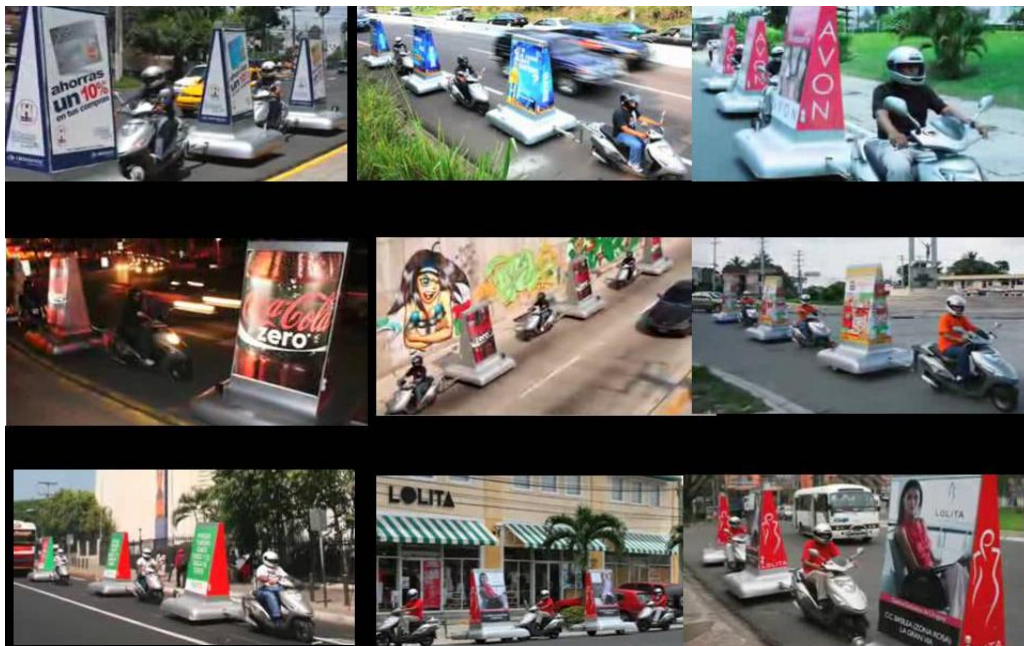


Figura 5. Remolques publicitarios (Grupo Siete).





Figura 6. Camionetas con publicidad.

Las características distintivas con respecto a las empresas de publicidad móvil más relevantes se muestran en la siguiente Tabla 20:

	<b>La Competencia</b>	<b>Nosotros</b>
Remolques	Dimensiones pequeñas Llamativo. Un nuevo concepto de publicidad Buena exposición del anunciante.	Costos mucho menores. Un diseño más llamativo e innovador. Puede dar un beneficio a la sociedad. Mayor rango de edades para usuarios. Acceso a más lugares por sus dimensiones.
Camionetas	Gran tamaño de espacio publicitario.	Todas las mencionadas anteriormente. No contamina.

Tabla 20. Análisis de competitividad de empresas de publicidad móvil.

**V. E. P. I. TP**

**PLAN DE NEGOCIO**

## **4.- Plan de Marketing**

## 4. Plan de Marketing

### 4.1. D.A.F.O.

La siguiente tabla D. A. F. O. se realizó con respecto a SEGWAY, que como se ha mencionado anteriormente se ubica como el mayor competidor directo de nuestro vehículo:

DEBILIDADES	FORTALEZAS
<p>Somos una empresa nueva. Inexistencia de legislación para este tipo de vehículos Altos costos en implementación Poca familiaridad por el uso de este tipo de productos.</p>	<p>Idea innovadora y vanguardista Se busca un diseño más económico que el vehículo competidor Diseño basado en los intereses de los usuarios. Idea de un diseño sustentable</p>
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<p>El competidor directo es muy fuerte Bajo nivel adquisitivo en general</p>	<p>Solo un competidor directo en el sector del transporte. Dicho competidor no explota el potencial publicitario del concepto Pocos competidores en el Mercado de la publicidad movil. Gran interés por este tipo de vehículos México es uno de los 10 mejores destinos turísticos del mundo Altos costos del Vehículo de la competencia Crecimiento por el interés hacia la ecología Gobierno actual con consciencia "verde".</p>

---

## 4.2. Políticas de Servicio y Precios.

---

La comercialización de nuestros servicios se orientará en las siguientes líneas:

### 1. Renta de espacios publicitarios del V.E.P.I.:

Para estimar tentativamente el costo del servicio, se partió de los siguientes supuestos:

- Se tiene que recuperar el costo de producción del vehículo en un periodo menor a 4 meses.
- El costo de producción de cada dispositivo debe ser menor a \$25000.
- El costo del servicio debe ser al menos 30% menor al de los competidores directos.
- El costo de los competidores directos oscila entre \$1000 y \$1500 por 8 horas de uso con tres unidades (Motocicleta con remolque publicitario).
- El costo del servicio estará en función de la exposición de la publicidad del anunciante. Esto dependerá de 2 variables:
  - Plaza o destino turístico.
  - Día de la semana: El costo de sábado, domingo o día festivo será aproximadamente 35% mayor a los días hábiles.

De esto se desprende:

$X = \text{Costo de día hábil.}$

$Y = \text{Costo de sábado, domingo o festivo.}$

$$Y \approx 1.35X$$

Considerando que en promedio, se tienen 22 días hábiles y 8 días de fin de semana por mes, se tiene que:

$$4_{[\text{meses}]} * (22X + 8Y) > \$25000$$

Por tanto:  $X = \text{Costo de día hábil} > \$193$

$Y = \text{Costo de día no hábil} > \$250$

Considerando el uso de equipo de protección (casco y rodilleras) y seguro, se establecen los siguientes costos:

Costo de día hábil = \$200

Costo de día no hábil = \$300

La tabla muestra la comparativa entre los costos ofrecidos por nuestro servicio y por el de la competencia:

	<b>Costo por unidad</b> (Días hábiles)	<b>Costo Hora</b> (Días hábiles)	<b>Costo por tres unidades</b> (Días hábiles)	<b>Costo por unidad</b> (Días no hábiles)	<b>Costo Hora</b> (Días no Hábiles)	<b>Costo por tres unidades</b> (Días no hábiles)
<b>NOSOTROS</b>	\$200	\$20	\$600	\$300	\$30	\$900
<b>Competencia</b>	-----	-----	\$1000	-----	-----	\$1500
<b>Diferencia</b>	-----	-----	\$400	-----	-----	\$600
<b>Porcentaje</b>	-----	-----	40%	-----	-----	40%

El servicio incluye:

- 10 horas de uso del vehículo.
- Equipo de protección.
- Permiso (previamente tramitado ante la autoridad) para el uso del vehículo en la plaza o destino turístico.
- Seguro por accidente.

El servicio no incluye:

- Operador del vehículo.
- Diseño, impresión y colocación de anuncio publicitario.

El vehículo podrá ser operado libremente por personal de la empresa anunciante o por usuarios con fines turísticos o recreativos bajo sus propios términos, siempre y cuando no se comprometa la integridad del vehículo.

Se requerirá el uso de una toma de corriente para la carga de las baterías del vehículo según las especificaciones técnicas.

En caso de daño parcial del vehículo, el cliente cubrirá los siguientes costos:

- Partes dañadas.
- Mano de obra por reparación.
- Monto equivalente a la renta de los días que el vehículo estuvo en reparación.

En caso de daño total, el cliente cubrirá el 150% del costo de producción del vehículo.

## 2. Renta Directa a Usuarios:

Partiendo de la encuesta realizada a usuarios, y como ya fue mencionado en el apartado del tamaño del mercado turístico, el costo para renta directa es de **\$50**.

De este modo se precisa de un uso en días hábiles de 4 horas y de 6 horas en días no hábiles para lograr los ingresos planteados en el anterior apartado.

Esta línea estratégica de negocios, se dará en dos modalidades:

- Tours guiados.
- Uso libre: Renta de vehículo por el tiempo deseado por el usuario, para su uso con fines recreativo dentro de un área restringida.

## 3. Combinación de las anteriores:

Para pequeñas empresas y usuarios con bajo poder adquisitivo:

- Se podrán manejar planes de rentas de espacios publicitarios con costos más bajos en lugares con menos flujo turístico.
- Se cobrarán cuotas de recuperación a usuarios con fines de esparcimiento para compensar el costo del servicio que el anunciante no cubrió

Su aplicación podría darse en:

- Parques.
- Centros comerciales.
- Escuelas etc.

## 4. Promoción de destinos turísticos:

El objetivo de esta línea estratégica de negocio es ofrecer al público en general el uso gratuito de los vehículos para atraer a los turistas a visitar:

- Museos.
- Centros culturales.
- Playas.
- Plazas etc

Destinando una sección del espacio publicitario para resaltar positivamente la imagen de la entidad que auspicie el servicio.

## 5. Ventas:

El costo de venta será definido en el momento en que comience la operación de esta segunda etapa del proyecto, y estará en función de:

- Los resultados que arrojen un estudio para medir la aceptación del producto.
- Demanda del producto.
- Costo de producción en ese momento.
- Puede variar entre un 50% a un 150% del costo de producción.

---

### 4.3. Fidelización:

---

Naturalmente, un factor esencial del éxito de la empresa es conseguir la **renovación de los contratos de los clientes** o su repetición en los servicios o la ampliación de los mismos.

Tenemos claro que este es un elemento imprescindible para optimizar nuestros esfuerzos en marketing y los costes de venta.

Por esta razón estableceremos un programa de fidelización basado en los siguientes elementos:

#### - Incentivos:

Descuentos y regalos de colaboración para incentivar la renovación, la ampliación y la repetición de servicios.

#### - Cliente preferente:

Iniciaremos un programa de cliente preferente de modo que – en función del volumen o la constancia – un cliente obtenga ventajas diferenciales de servicio y atención respecto a los demás. Las condiciones para acceder a dichos servicios no serán subjetivas y secretas sino públicas y notorias.

---

#### 4.4. Política de Promociones y descuentos

---

Independientemente de las acciones internas encaminadas a la fidelización de los clientes (que siempre serán cualitativamente superiores), basaremos nuestra estrategia de penetración en el mercado y acceso a nuevos clientes en el concepto:

#### **¡Pruébanos!**

Nuestras promociones por tanto, no se fundamentarán en la realización de descuentos sino en facilitar que los clientes potenciales prueben la calidad de nuestros servicios de forma fácil y gratuita.

A tal efecto hemos diseñado una “**prueba gratuita**” de muy bajo coste interno y alto nivel de efectividad para el cliente: se trata de:

- (1) una **demostración de los beneficios** que obtienen con nuestra gestión y
- (2) una **demostración visual y palpable de la reducción de costes** que pueden obtener a través de nuestros servicios.

---

#### 4.5. Estrategia de Comunicación con clientes y usuarios.

---

VEPI TP debe posicionarse en torno a los siguientes principios estratégicos:

##### **1º Un concepto coyuntural: “No te lo pierdas”**

Destinado a reforzar el mensaje de que el uso de nuestro vehículo para recorrer destinos turísticos, es una oportunidad que no pueden dejar escapar.

Este mensaje se irá diluyendo en el tiempo a medida que el mercado evolucione.

##### **2º Compromiso de calidad y servicio: garantía de satisfacción**

No nos limitamos a las promesas, ofrecemos nuestro compromiso por escrito con

el cliente: “garantía de total satisfacción”.

##### **3º Tecnología punta para la máxima eficacia**



Disponemos de la mejor y última tecnología para ofrecer los mejores servicios a nuestros clientes.

#### **4º Eco-movilidad.**

Fomentar la conciencia ecológica con el uso del vehículo.

#### **5º ¡Pruébanos! Gratis y sin compromiso por tu parte.**

Se ofrecerá la capacitación para el uso del vehículo gratuitamente, y un tiempo de adaptación como muestra gratis del servicio.

---

### **4.6. Estrategia de penetración en el mercado:**

---

#### **Los objetivos del marketing:**

Durante los tres primeros años y muy especialmente en el primero, realizaremos un

**importante esfuerzo publicitario** al efecto de alcanzar el objetivo de nuevos clientes e iniciar un poderoso posicionamiento de marca en el mercado.

Es importante resaltar que para conseguir nuestros objetivos, deberemos lograr tres variables en proporciones que aún desconocemos:

**1ª Obtener el interés de las empresas** que aún no se publicitan por medios similares y lo pudieran necesitar.

Este será nuestro primer objetivo en el primer año.

**2ª Llegar a las empresas que no están satisfechas con sus rendimientos** por servicios publicitarios (ya sean clientes de competidores o que lo gestionan por su cuenta).

Este será nuestro segundo objetivo cuya maduración se verá (sobretudo) a partir del segundo año.

**3ª Llegar a empresas que ganarían con nuestros servicios** pero que no conocen suficientemente dicha oportunidad.

Esta es la opción a más largo plazo y que sólo será un objetivo secundario a

corto plazo.

### **La estrategia de acceso al cliente**

Esquemáticamente nuestra estrategia para llegar a los clientes será:

- 1º Los medios publicitarios deberán **generar los contactos.**
- 2º Un departamento propio y especializado de telemarketing de recepción convertirá dichos contactos en **citas con potenciales clientes.**
- 3º El equipo de ventas concretará dichos **contactos en ventas.**
- 4º El equipo de ventas con el Dpto. de Atención al Cliente convertirá dichas **ventas en clientes fieles.**

---

#### **4.7. Publicidad y Promoción (medios)**

---

Nuestra estrategia de acciones de marketing se basará en la suma proactiva:

Multiplicidad y constancia por un lado y estricta orientación al target por otro.

Trabajaremos en tres grandes líneas:

##### **1ª Publicidad y promoción con medios tradicionales:**

- Publicidad en prensa y revistas específicas.
- Marketing Directo (mailing) a empresas.

##### **2ª Internet:**

- Creación de página web y publicidad por este medio.

##### **3ª Relaciones públicas y acuerdos con medios:**

Desarrollaremos una amplia actividad de relaciones públicas, especialmente en el primer año, con el objetivo de aparecer con frecuencia en revistas, expos, medios

tradicionales y medios electrónicos mediante nuestras iniciativas (noticias, estudios y programas).

#### **4<sup>4</sup> Uso del propio VEPI:**

Se usará nuestro propio producto como medio de auto-publicidad para demostrar la eficiencia e impacto que este generará.

# V. E. P. I. TP

## PLAN DE NEGOCIO

### **5.- Plan de Ventas**

## 5. Plan de Ventas

---

Estamos convencidos de que para el desarrollo de nuestra empresa en un entorno competitivo y en constante desarrollo, precisamos de una **poderosa fuerza de ventas** sostenida por una estrategia inteligente y soportes espectaculares. Sólo de esta forma abriremos una brecha importante y suficiente en el mercado y aceleraremos el proceso de crecimiento.

---

### 5.1. Estrategia de Ventas.

---

La estrategia de ventas se basará en:

#### **1º Concepto operativo:**

Los contactos serán obtenidos y convertidos en citas por el Dpto. de marketing .

Para convertir dichos contactos en ventas efectivas, dispondremos de una fuerza de ventas compuesta el primer año por 3 vendedores especializados.

#### **2º Estrategia de captación de nuevos clientes:**

Nuestros vendedores dispondrán y serán específicamente entrenados en un modelo de presentación específico que tiene como objetivo, en un primer paso, conseguir que el nuevo cliente haga una prueba de nuestros servicios y, en segundo lugar, conseguir su conversión (vender).

#### **3º Fidelización de los clientes:**

Esta será la segunda y decisiva tarea de la fuerza de ventas, cada vendedor tendrá una cartera de clientes asignados a los que deberá atender de forma frecuente.

---

### 5.2. Fuerza de Ventas.

---

#### **1- Estructura:**

Nuestra fuerza de ventas estará formada inicialmente por 3 vendedores (asesores) estructurados del siguiente modo:

- 1 Asesor Senior para grandes corporaciones.

- 2 Asesores para empresas en general.

El segundo año y habiendo cumplido los objetivos globales, se creará un segundo equipo y se reorganizarán las tareas en función de los objetivos anuales. Con esa ampliación se nombrará un Director de Ventas que se ocupará específicamente de la gestión de este área.

## 2- Criterios funcionales y operativos:

La gestión de la fuerza de ventas se basará en:

- **Trabajo por objetivos** (remuneración y evaluación vinculadas).

Anuales y mensuales, determinados objetivamente y en función de los intereses de la empresa.

- **Seguimiento, formación y motivación permanentes.**

Seguimiento proactivo de la actividad cotidiana, formación continuada, información y motivación permanentes de los vendedores.

- **Competitividad y orientación al éxito.**

Fomento de la competitividad y premio a los – objetivamente – mejores asesores, espíritu de equipo competitivo, orientado únicamente al éxito (obtención de resultados).

---

### 5.3. Plan de Ventas Anual.

---

Se planea empezar con una flota de 25 vehículos para el primer año, y crecer en la misma proporción en los años subsecuentes como mínimo.

Considerando como costo del servicio lo calculado en el apartado “**Renta de espacios publicitarios del V.E.P.I.**”, y haciendo incrementos del 5% cada año, se hizo un estimado de los ingresos mínimos para los cinco primeros años mostrados en la Tabla 21.

AÑO	2013	2014	2015	2016	2017
Número de clientes	5	10	15	20	25
Número de plazas	3	6	9	12	15
Flotilla [no. unidades]	25	50	75	100	125

<b>Costo por días hábiles</b>	\$200	\$210	\$220.5	\$231.525	\$243.10125
<b>Costo por días no hábiles</b>	\$270	\$283.5	\$297.675	\$312.55875	\$328.186688
<b>Ingresos mensuales por vehículo.</b>	\$6,560	\$6,888	\$7,232.4	\$7,594.02	\$7,973.721
<b>Ingresos mensuales por flotilla.</b>	\$164,000	\$344,400	\$542,430	\$759,402	\$996,715.125
<b>Ingresos anuales.</b>	\$1,968,000	\$4,132,800	\$6,509,160	\$9,112,824	\$11,960,581.5

Tabla 21. Ingresos mínimos estimados.

**V. E. P. I. TP**

**PLAN DE NEGOCIO**

## **6.–Organización y Recursos Humanos**



---

### 6.1. Dirección de la empresa.

---

**- Administración de la empresa:**

La empresa estará dirigida por un Consejo de Administración formado por 5 miembros y un secretario no consejero.

**- Composición inicial:**

Presidente: Ingrid ---.

Consejero Delegado: Carmen Magallón.

Vocal: Mario Mariscal.

2 vocales a disposición de nuevos inversores.

Secretario no consejero: pendiente de selección.

**- Dirección operativa: Comité de Dirección**

Director General: Alfredo Mariscal.

Director Financiero: pendiente de selección.

Director de Marketing y Ventas: pendiente de selección.

Director Técnico: Ricardo Vasquez.

Directora de Proyectos de Desarrollo: Ruben Dario Ortega.

---

### 6.2. Organización funcional de la empresa

---

La empresa inicialmente se organiza en los siguientes departamentos:

**- Dependientes de la Dirección General:**

- Atención al Cliente.
- Control de Calidad.

**- Dependientes de la Dirección Financiera:**

- Administración y finanzas.
- Recursos Humanos y formación.
- Servicios y mantenimiento.

**- Dependientes de la Dirección de Marketing y Ventas:**

- Marketing.
- Telemarketing.
- Ventas.

**- Dependiente de la Dirección Técnica:**

- Servicio Técnico.

**- Dependiente de la Dirección de Desarrollo de Proyectos:**

- Desarrollo de proyectos.
- Investigación y desarrollo.

---

### 6.3. Condiciones de trabajo y remunerativas.

---

**Principios generales:**

Creemos firmemente que las empresas las erigen las ideas pero las construyen las personas, en este sentido consideramos de vital importancia que nuestra organización se fundamente en:

1º **La selección y la incorporación de los mejores profesionales** en cada posición. Los mejores, los más competentes y competitivos de su área.

2º Todas las posiciones de la empresa, y muy especialmente aquellas que están en directo contacto con nuestros clientes, son muy importantes. Por esta razón se tendrá especial cuidado en no infravalorar ningún proceso de selección e incorporación.

3º Nuestra empresa está en el siglo XXI y, en consecuencia, será dirigida bajo **criterios de liderazgo, modernidad, motivación, respeto, espíritu de equipo, fidelidad y competencia interna**. Los que demuestren ser los mejores serán los que progresarán en la empresa.

4º Creemos en el equilibrio, por esta razón nuestra empresa tendrá una composición equilibrada de hombres y mujeres así como de edades (en la lógica del sector y los criterios anteriores).

---

### 6.4. Condiciones de trabajo y remunerativas:

---

En general, la nuestra no será una empresa donde – además de los salarios – se ofrecen grandes compensaciones complementarias, somos de la opinión de que la recompensa por el trabajo bien hecho es una excelente remuneración y que todo lo demás logra incrementar los gastos de la empresa pero no los rendimientos de sus empleados.

Por tanto nuestra concepción general es:

1º Todos los **colaboradores de la empresa** deben percibir un salario fijo digno en función de sus responsabilidades en la compañía y el mercado.

2º Todos los colaboradores de la empresa y muy especialmente el **equipo directivo** y los que tienen responsabilidades operativas, deben tener la oportunidad de obtener excelentes remuneraciones (bonos) complementarias vinculadas a sus resultados y-o a los propios resultados de la empresa.

3º Con la suma de ambas remuneraciones si la empresa crece saneada deben convertirse en los mejor pagados del sector.

4º El **personal de marketing** y, sobretodo, **de ventas** deben estar excelentemente remunerados pero el 80% de dicha remuneración debe obtenerse por el logro de sus objetivos personales (80%) y generales (20%).

5º El **personal de ventas** no cobrará comisiones por sus ventas, cobrará excelentes bonos por alcanzar los objetivos de venta preestablecidos.

6º La empresa no prestará compensaciones de ningún otro tipo que las obligatorias por ley. Salvo en los casos justificados operativamente no habrá cuentas de gastos, ni coches de empresa, ni similares.

---

## 6.5. Previsión de Recursos Humanos.

---

Para el primer ejercicio prevemos:

Personal Directivo: 5

Staff: 4

Middle Management: 4

Otro personal: 20 (6 en prácticas)

# V. E. P. I. TP

## PLAN DE NEGOCIO

### **7.- Aspectos legales y de sociedad.**

---

### 7.1. La sociedad y sede social/operativa.

---

#### **Sociedad actual:**

V.E.P.I se encuentra proyectado para lograr convertirse a corto plazo en una Sociedad Anónima de Capital Variable.

El domicilio de operaciones se encuentra establecido en Montecito 38, piso 28, oficina 12, Colonia Narvarte, delegación Benito Juárez, WTC. México.

El proyecto se encuentra en etapa de desarrollo en las instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el área de Posgrado de Ingeniería en Mecatrónica.

---

### 7.2. Licencias y derechos.

---

V.E.P.I., será inscrito en el Registro Público de la Propiedad, por derechos correspondientes a la autoría, marca y logotipo.

---

### 7.3. Obligaciones legales.

---

Salvo el cumplimiento de la legislación vigente respecto a cuestiones societarias y laborales, la empresa no tiene obligaciones especiales.

---

### 7.4. Permisos y limitaciones.

---

Como empresa y en nuestro ámbito de actividad, será necesario obtener de la Delegación Política correspondiente, los permisos necesarios para la renta de V.E.P.I., en plazas o destinos turísticos, del mismo modo que se ha otorgado a productos como SEGWAY, además de que serán fomentadas las labores en coordinación con la Secretaría de Turismo y Secretaría de Desarrollo Social del D.F.



# V. E. P. I. TP

## PLAN DE NEGOCIO

### **8.-Establecimiento, lanzamiento, inversiones y plan de financiamiento.**

---

8. Establecimiento, lanzamiento, inversiones y plan de financiamiento.

---

---

### **8.1. Plan de Establecimiento:**

---

#### **1º Desarrollo de V.E.P.I. TP**

Partimos de una base ya desarrollada por nuestro equipo, con lo cual sólo serán precisos una serie de ajustes enfocados a su función eminentemente productiva.

Prevedemos un desarrollo de 6 meses y un período de prueba/ajuste de 4 meses adicionales.

El desarrollo lo realizará el actual equipo de Ingenieros en Mecatrónica .

#### **2º Selección y formación del personal inicial:**

La selección se efectuará a partir de las necesidades que surjan del proceso de manufactura de V.E.P.I., además del personal dedicado a la aplicación de su servicio.

El personal contratado recibirá un curso de formación de diversa intensidad según el puesto de trabajo. Los cursos de formación se desarrollarán en el primer mes de actividad, salvo los cursos para la fuerza de ventas que se desarrollarán en el mes anterior.

#### **3º Infraestructuras:**

Prevedemos el alquiler del espacio para la manufactura en serie 7 meses antes del inicio de la actividad comercial, desde dichas instalaciones y de forma provisional se harán los trabajos preparatorios.

Las instalaciones y el equipamiento final de las oficinas se realizarán los tres meses anteriores al lanzamiento comercial.



---

## 8.2. Plan de Lanzamiento.

---

El objetivo de nuestro Plan especial de Lanzamiento es obtener notoriedad desde el primer minuto. No somos una empresa más, queremos hacernos notar en todos los ámbitos y para ello desarrollaremos una suma de acciones y mini-campañas que pretenden generar un efecto novedad positivo para nuestros intereses.

Nuestros objetivos son:

- 1.- **Hacernos notar:** que las empresas de nuestro entorno nos conozcan a la mayor brevedad.
- 2.- **Posicionarnos** desde el primer momento como una compañía muy relevante que aporta calidad y valor añadido.

---

## 8.3. Inversiones

---

La inversión estará en función de los siguientes costos iniciales:

- Se requiere contar con una flotilla de 10 vehículos antes de ofrecer el servicio para garantizar la disponibilidad y comenzar con buena imagen.
  - Costo de materiales.
  - Mano de obra (externa).
  - Motores, baterías, llantas y circuitos electrónicos.
- Es necesario garantizar el salario de las personas que intervengan en los primeros 4 meses de operación.
- Renta de oficinas y bodega para los 4 primeros meses de operación.
- Renta de Servicios de telefonía, internet y transportación.
- Gastos publicitarios.

En la siguiente tabla se muestran valores estimados a nuestro criterio de los costos de cada rubro mencionado anteriormente.

Concepto	Costo estimado aproximadamente.
Flotilla	\$250,000
Salarios	\$320,000
Oficinas y bodega.	\$100,000
Telefonía, internet y transportación.	\$50,000
Gastos publicitarios.	\$100,000
Total	\$820,000
+ 20% PARA GASTOS IMPREVISTOS	\$985,000

---

#### 8.4. Plan de Financiación.

---

Por razones de prudencia y a pesar de nuestra absoluta confianza en el negocio y en el cumplimiento de los objetivos, hemos prescindido de pretensiones de autofinanciación inicial y – en consecuencia – hemos previsto **cubrir todas las necesidades mediante el capital aportado por los socios y financiación externa.**

##### 1º Capital social:

Hemos previsto un **capital social total de \$700,000** que aportarán los socios de la compañía.

Dicho capital **cubrirá el 60% de las necesidades totales de fondos.**

##### 2º Préstamos:

El resto de la financiación necesaria se prevé de forma externa y mediante **préstamos a corto y medio plazo.**

Dadas las perspectivas y los márgenes previstos, dicha financiación se considera suficiente y perfectamente asumible por la compañía, manteniendo ratios de solvencia y de capacidad de devolución excelentes.

# V. E. P. I. TP

PLAN DE NEGOCIO

## 9.- Conclusiones

## 9. Conclusiones finales.

---

El modelo de negocios realizado plantea una forma de introducir nuestro producto al mercado de manera relativamente simple, puesto que se están ofreciendo precios muy competitivos por el servicio. Este hecho puede despertar el interés en las empresas publicitarias por anunciarse en nuestro vehículo. Otro punto por mencionar es que al usarse nuestro producto mostrando publicidad de los clientes, implícitamente se está publicitando también el vehículo.

Sin haber hecho un análisis formal de los costos generados por la operación, se percibe que será un negocio rentable pasando el primer año, debido al monto de los ingresos estimados. Otro factor que habla de la buena rentabilidad del proyecto, es que se considera que sería una tarea simple para un equipo especializado en ventas conseguir a cinco clientes y colocar 25 vehículos cada año para poder así lograr los ingresos estimados.

---

### 9.1. Oportunidad:

---

Existe solo un competidor directo en el sector del transporte (Segway) y este no explota de forma eficaz el potencial publicitario del concepto. Por otro lado, hay pocos competidores en el mercado de la publicidad móvil.

Gracias a la innovación que Segway creó, nació un fuerte interés por este tipo de dispositivos, hecho que va a aprovechar nuestro producto.

En cuanto al turismo, México es un país con un gran flujo turístico, ubicándose en el lugar número 10 de visitantes extranjeros.

Es muy notable el interés y esfuerzos que el gobierno federal está poniendo en temas ecológicos. Esto abrirá las puertas al uso masivo.

---

### 9.2. Riesgo:

---

No hay negocio sin riesgo... pero este es un riesgo controlado:

- 1.- El servicio de transporte siempre ha presentado gran demanda y crece vertiginosamente.
- 2.- Para la línea inicial de negocio, existe aún poca oferta.
- 3.- Existen muchas características que serán del interés común.

El mayor riesgo es tardar demasiado o lanzarse sin apenas recursos para posicionarse adecuadamente antes de la eclosión.

---

### 9.3. Puntos fuertes:

---

- 1.- **Demanda** que crece a un buen ritmo.
- 2.- Idea innovadora y vanguardista

- 3.- Diseño más económico.
- 4.- Diseño basado en los intereses de los usuarios.
- 5.- Diseño Sustentable
- 6.- Trabajaremos con **márgenes diferenciales muy grandes.**
- 7.- Tenemos la **motivación**, la **energía** y el **entusiasmo** necesarios.

---

#### 9.4. Rentabilidad:

---

Basta echar una ojeada a las cifras (elaboradas con criterios de prudencia) para ver que contamos con márgenes amplios de maniobra y somos capaces de generar el flujo de dinero necesario para que el **retorno de la inversión se dé en un plazo breve y se mantenga en el tiempo.**

Una muy alta rentabilidad en un negocio con muy claro presente y brillante futuro.

---

#### 9.5. Seguridad:

---

Esta es una inversión razonablemente segura porque, además de la obvia necesidad creciente de mercado, tenemos:

- 1º **Equipo y liderazgo** totalmente implicado: Capital social aportado por los promotores del negocio.
- 2º Apoyo de **profesionales** del sector.
- 3º Criterios de **planificación y gestión**: de éxito contrastado, prudentes y razonables en sus expectativas.
- 4º **Amplísimos márgenes.**

Una combinación que aleja riesgos y multiplica las posibilidades de éxito.

Un éxito en el que creemos fervientemente y por el que hemos apostado con todos nuestros recursos.