

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO VOLADOR**

**Proyecto de Investigación**

**Andrés Corral**

**Ricardo García**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 22 de diciembre de 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO VOLADOR**

**Andrés Corral**

**Ricardo García**

Calificación:

\_\_\_\_\_

Nombre del profesor, Título académico

Pedro Meneses Msc.

Firma del profesor

\_\_\_\_\_

Quito, 22 de diciembre de 2015

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Andrés Alonso Corral González

Código: 00104188

Cédula de Identidad: 172160545-7

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2015

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Ricardo David García Ortega

Código: 00104101

Cédula de Identidad: 172087516-8

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2015

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que estuvieron presentes en mi vida, siendo partícipes de cada momento de alegría y tristeza, acompañándome en cada logro y en este, que es la culminación de otra etapa de mi vida. En especial a mi madre, que siempre me impulso a seguir adelante y a toda mi familia que fue mi soporte.

Ricardo

Este proyecto y carrera, dedico a mi familia y a todas las personas que están conmigo siempre y han hecho este sueño posible de una u otra forma con su apoyo incondicional.

Andrés

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios y a nuestras familias por su apoyo incondicional en este proyecto de titulación, a los profesores que semestre a semestre nos fueron guiando, a la Universidad San Francisco de Quito, al departamento de Ingeniería Mecánica, en especial a Pedro Meneses, que siempre estuvieron para apoyarnos incondicionalmente en este trabajo de emprendimiento e investigativo.

## RESUMEN

El concepto de diseñar un automóvil híbrido entre una aeronave y un vehículo terrestre se basa en la búsqueda de una solución eficaz para la congestión vehicular en las principales ciudades del mundo, ya que esto genera gran conflicto en la movilidad y desarrollo de las mismas.

Este prototipo debe ser capaz de volar en un rango corto de distancia sin la necesidad de una pista para despegar o aterrizar, es decir, despegue y aterrizaje vertical. Además, debe ser un automóvil para transporte personal cuya circulación sea permitida en la ciudad como cualquier otro vehículo.

El proyecto se desarrolla bajo la supervisión de Pedro Meneses, Director de la Tesis, en conjunto con Creati Labs S.A. (Medellin – Colombia). Se desarrollaron parámetros de diseño, los cuales fueron pensados para resolver problemas de congestión vehicular y proyectarnos como sociedad a un futuro cercano en el cual existirían estos vehículos.

## **ABSTRACT**

The concept of designing a hybrid car between an aircraft and a ground vehicle is based on finding an effective solution to traffic congestion in major cities around the world, as this generates great controversy in mobility and developing them.

This prototype should be able to fly in a short distance range without the need for a runway to take off or land , ie , vertical takeoff and landing . Also, you must be a car for personal transport whose circulation is permitted in the city like any other vehicle.

The project is under the supervision of Pedro Meneses , Director of the thesis , together with Creatti Labs SA (Bogota - Colombia ) . Design parameters, which were intended to solve problems of traffic congestion and project ourselves as a society to a near future in which there would be these vehicles were developed.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>13</b>
<b>DOCUMENTO DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>Hoja de Firmas .....</b>	<b>15</b>
<b>Alcance .....</b>	<b>15</b>
<b>Documentos Aplicables .....</b>	<b>16</b>
<b>Estándares de Referencia.....</b>	<b>16</b>
<b>Requerimientos de Diseño .....</b>	<b>16</b>
<b>Generales.....</b>	<b>16</b>
<b>Como Vehículo Terrestre.....</b>	<b>17</b>
<b>Como Vehículo Aéreo .....</b>	<b>17</b>
<b>Usabilidad.....</b>	<b>18</b>
<b>Seguridad.....</b>	<b>19</b>
<b>Requerimientos Ambientales.....</b>	<b>19</b>
<b>Requerimientos de Pruebas y Certificaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>Certificaciones que Tiene que Aprobar.....</b>	<b>19</b>
<b>Requerimientos de Confiabilidad y Garantía .....</b>	<b>20</b>
<b>Vida Útil.....</b>	<b>20</b>
<b>Garantía.....</b>	<b>20</b>
<b>Requerimientos de Mantenimiento .....</b>	<b>20</b>
<b>Requerimientos de Mantenimiento.....</b>	<b>20</b>
<b>Costos Máximo Mantenimiento.....</b>	<b>20</b>
<b>Requerimientos Financieros.....</b>	<b>20</b>
<b>Costo Máximo.....</b>	<b>20</b>
<b>Retorno de Inversión.....</b>	<b>20</b>
<b>Plan Financiero Básico.....</b>	<b>20</b>



Requerimientos de Información de Ingeniería.....	21
Información de Diseño. ....	21
<b>REVISIÓN DE DISEÑO PRELIMINAR.....</b>	<b>22</b>
Hoja de Firmas .....	22
Diseño Conceptual.....	22
Referencias de Diseño .....	23
Esquemas de Diseño.....	25
Diseño 1. ....	25
Diseño 2. ....	25
Diseño 3. ....	26
Diseño 4. ....	27
Análisis FODA.....	28
Diseño Final.....	29
Dimensiones. ....	29
Modelado del Diseño en 3D.....	30
Cuadro BOM del Prototipo.....	31
<b>REVISION DE DISEÑO CRÍTICO .....</b>	<b>32</b>
Funcionamiento del Prototipo .....	32
Sistema Funcional del Prototipo.....	32
Motor. ....	32
Sistema Terrestre.....	34
Sistema Aéreo.....	35
Sistema Eléctrico.....	40
Análisis de Materiales .....	41
Análisis Estructural. ....	41
Viabilidad Económica .....	42
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>
<b>Anexo A: ENCUESTA .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexo B: PLANOS .....</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Análisis FODA de los cuatro diseños .....	28
<b>Tabla 2:</b> Peso Detallado en el Automóvil .....	31
<b>Tabla 3:</b> Comparación de Características de varios Motores .....	32
<b>Tabla 4:</b> Relación entre Velocidad Angular del Rotor y el Coeficiente de Empuje .....	36
<b>Tabla 5:</b> Lista de Precios por Partes .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

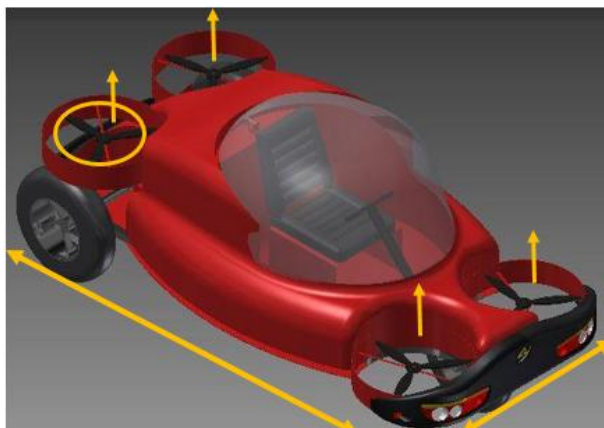
<b>Figura 1:</b> Esquema de Prototipo.....	12
<b>Figura 2:</b> Primer Auto Volador de la Historia. El AVE Mizar .....	13
<b>Figura 3:</b> AeroMobil 3.0 .....	14
<b>Figura 4:</b> Terrafugia Transition.....	14
<b>Figura 5:</b> Th 55.....	23
<b>Figura 6:</b> AK1-3 .....	23
<b>Figura 7:</b> Bell 47 .....	24
<b>Figura 8:</b> Martin Jet-Pack.....	24
<b>Figura 9:</b> Pall-V One.....	24
<b>Figura 10:</b> Prototipo 1 con Alas Desplegables.....	25
<b>Figura 11:</b> Prototipo 2 con Alas Desplegables en Neumáticos.....	26
<b>Figura 12:</b> Prototipo 3 con tres Rotores Ducted Fan.....	27
<b>Figura 13:</b> Prototipo 4 Automóvil Tricar con cuatros Ducted Fan .....	27
<b>Figura 14:</b> Vista Superior del Modelo con Medidas .....	29
<b>Figura 15:</b> Vista Frontal del Modelo con Medidas .....	30
<b>Figura 16:</b> Vista Lateral Derecha del Modelo con Medidas .....	30
<b>Figura 17:</b> Vista Isométrica del Modelo .....	30
<b>Figura 18:</b> Gráfica de Relación Peso Máximo de Despegue con Potencia.....	33
<b>Figura 19:</b> Sistema de Transmisión con dos Poleas.....	35
<b>Figura 20:</b> Gráfica de Velocidad Angular del Rotor vs Coeficiente de Empuje .....	37
<b>Figura 21:</b> Diagrama de Rotación de Rotores .....	39
<b>Figura 22:</b> Diagrama de Fuerzas en el Automóvil .....	39

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto de grado se basa en el diseño conceptual de un vehículo volador, el cual debe circular con total normalidad en tierra, sin restricciones de tamaño, y en aire el comportamiento de nuestro diseño actuaría como un helicóptero con varios rotores.

Todos los posibles diseños de un auto volador deben cumplir con ciertos requerimientos establecidos como potencia, peso y la función más importante de elevarse sin ningún riesgo y que sea capaz de mantenerse en vuelo por el rango establecido en los requerimientos de diseño.

Nuestro diseño se basa en la funcionalidad y optimizando todos los recursos que existen en nuestro medio. En tierra este vehículo opera como un tri-car para transporte personal, que cuenta con un espacio determinado en el interior para colocar objetos de uso personal. En aire, al tener como requerimiento un despegue vertical, se tomó como base de diseño helicópteros y jet packs, operando de forma similar durante el corto periodo que se encuentre en el aire (30 km) y a una altura de 2800 msnm.



*Figura 1:* Esquema de Prototipo

## ANTECEDENTES

El concepto de un vehículo volador para la mayoría de personas es un concepto de ciencia ficción o futurista, pero ya en la década de los 70's, se puso a prueba el primer auto volador denominado como AVE Mizar diseñado por Harry Smolinsky y Harold Blake (*Ingenieros Aeronáuticos*).

Este vehículo es un híbrido entre un Ford Pinto con alas y parte trasera de un Cessna Skymaster, llegando a una altura máxima de 3650m en su primera prueba de vuelo. En 1973 el AVE Mizar sufrió un accidente a dos minutos de haber despegado, falleciendo Smolinsky y Blake e impidiendo que se desarrollen más prototipos de este vehículo en la industria.

La investigación posterior determinó que el vehículo era demasiado pesado y tenía graves fallos de diseño, sobre todo en la unión entre las alas y el coche.



*Figura 2: Primer Auto Volador de la Historia. El AVE Mizar*

Al diseñar un híbrido Auto-Aeronave, se compromete a que uno de los dos no cumpla correctamente su función, menciona Robin Haynes, cabeza de una de las firmas que en Estados Unidos intentan construir un carro volador.

Una de las empresas más importantes e interesadas en este tema es Terrafugia, su principal Carl Dietrich, menciona que hoy en día gracias a diseños innovadores (no mezcla auto-avión), materiales livianos (fibra de carbón), se puede hacer posible el auto volador. Existen ya ideas plasmadas como AeroMobil 3.0, que se lanzará en el 2017 (*CNN Español, 2015*) o el Terrafugia Transition. A diferencia de nuestro diseño conceptual, estos prototipos necesitan pista para su despegue.



*Figura 3: AeroMobil 3.0*




*Figura 4: Terrafugia Transition*

# DOCUMENTO DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

## Hoja de Firmas

Cooperación entre

*Creatti Labs S.A. - Universidad San Francisco de Quito*

FECHA DE LA VERSION INICIAL: 10/12/2015	
PREPARADO POR:	Andrés Corral _____ Ricardo García _____
REVISADO POR:	Pedro Meneses _____ 
APROBADO POR:	CreattiLabs S.A.S. _____

## Alcance

El presente documento define los requerimientos de diseño y desempeño para un vehículo volador a ser desarrollado dentro del contexto de la materia Proyecto de Grado de la Universidad San Francisco de Quito, con el fin de obtener un modelo preliminar que pruebe como podría funcionar. El proyecto tiene como fin utilizar dos parejas de estudiantes

trabajando en su propio diseño de donde se elegirá un proyecto de esta etapa preliminar para entrar a diseño detallado.

El vehículo tiene como función el de un vehículo para transporte personal individual que puede ser conducido tanto en tierra como en el aire. Características como rango de vuelo, despegue, tiempo de vuelo, usabilidad, desempeño en tierra y seguridad se especifican en este documento.

## **Documentos Aplicables**

Pese a que este vehículo volador está limitado a contextos académicos, es posible emplear como referencia para conceptos y aplicaciones clave la siguiente normativa de que rige el diseño de vehículos automotores para uso en vías públicas y el diseño de vehículos voladores deportivo-liviano.

### **Estándares de Referencia.**

- Federal Motor Vehicle Safety Standards And Regulations  
(<http://www.nhtsa.gov/cars/rules/import/FMVSS/>)
- FAA Accepted ASTM Consensus Standards (PDF)
- Light-Sport Aircraft Accepted Standards, FAA Notice of Availability (NOA) Information (PDF).

## **Requerimientos de Diseño**

### **Generales.**

- Cabina despresurizada
- Un solo asiento
- Peso máximo de 800 kg todo el vehículo contemplando:
  - Una persona de 100 kg (90 percentil)



- Equipaje y objetos 20 kg
- Peso del vehículo

### **Como Vehículo Terrestre.**

- “Roadworthiness” - Especifica todos los parámetros con los que el vehículo debe cumplir para poder conducir de manera legal sobre un carretera con tráfico abierto. Para mayor detalle referirse al documento “FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARDS AND REGULATIONS”.
- Rango - El vehículo en modo terrestre debe poder entregar un rango mínimo de 60 km ya sea por tanque de combustible lleno, carga de baterías o mezcla entre ambos tipos de almacenamiento de energía.
- Aceleración - El vehículo en tierra debe poder acelerar de 0 a 100 km/h en un tiempo máximo de 12 segundos.
- Velocidad Máxima - La velocidad máxima del vehículo en tierra debe ser como mínimo los 120 km/h.

### **Como Vehículo Aéreo.**

- Despegue - Debe ser un vehículo volador con capacidad de despegar de manera práctica y segura dentro de un contexto urbano y suburbano, sin la necesidad de tener que recurrir a una pista de aeropuerto para poder tomar vuelo.
- Despegue vertical.
- Rango de vuelo - El vehículo debe poder cubrir un rango mínimo de 30 km.
- Debe superar obstáculos de más de 500 metros sobre lugar de despegue.
- Autonomía de vuelo - El vehículo debe poder tener una autonomía de vuelo mínima de 25 minutos.

- Altitud de vuelo - El vehículo debe poder volar por debajo del espacio de vuelo de aviones comerciales y poder sobrevolar obstáculos como edificios.
- Payload - El payload mínimo es de 120 kg (incluyendo un mínimo de un pasajero con un peso máximo de 100kg).
- En la cabina debe caber por lo menos una persona del 90 percentil (1.85cm).
- Velocidad máxima - 160 km/h por hora.

**Usabilidad.**

- El vehículo debe poder estacionarse dentro de un espacio de estacionamiento estándar y al interior de garajes comunes. Lugares que generalmente tiene 2.3 a 2.8 metros de ancho dependiendo de la ubicación del sitio de estacionamiento (sin obstáculos o cerca de una pared) y 5 metros de largo.

**Notas.**

- El vehículo debe poder ser conducido en tierra por cualquier persona que cuente con una licencia ordinaria de conducción.
- Se incentiva a que el proyecto use la energía eléctrica. Los proyectos que más usen esta fuente de energía en sus diseños obtendrán puntos extras.
- El vehículo debe poder ser piloteado por una persona sin entrenamiento de piloto específico de manera autónoma (sin requerir de un piloto certificado).
- En caso de requerir algún tipo de transformación para hacer la transición tierra-aire y viceversa, como el despliegue de superficies de control, etc. Estas deben de poder ser realizadas sin el uso de herramientas específicas, e implicando el mínimo esfuerzo por parte del usuario.

- Debe contar con la capacidad de cargar equipaje en un volumen mínimo de 56 cm x 45 cm x 25 cm (min 20kg).

#### **Seguridad.**

- El vehículo debe contar con sistemas de redundancia y protocolos de emergencia en caso de fallas que permitan un aterrizaje seguro para el usuario.
- El vehículo debe ser capaz de volar de manera autónoma, minimizando en el mayor grado posible la incidencia de errores humanos; el grado de experiencia y habilidad requeridos por parte del conductor.
- El vehículo en modo terrestre debe contar con todos los requerimientos de seguridad especificados por el documento.
- El vehículo en modo aéreo debe tener la capacidad de detectar obstáculos, objetos y otros vehículos que puedan estar en su trayectoria.
- Las aceleraciones soportadas por el conductor a la hora de volar no deben superar los 2G.
- Vientos Máximos (30m/s)

#### **Requerimientos Ambientales.**

- El límite máximo de emisiones establecido por el Municipio del Distrito metropolitano de Quito.

### **Requerimientos de Pruebas y Certificaciones**

#### **Certificaciones que Tiene que Aprobar.**

- El vehículo debe aprobar los requerimientos expuestos en los estándares de referencia previamente mencionados relacionados con vehículos livianos.

## Requerimientos de Confiabilidad y Garantía

### Vida Útil.

- El vehículo tendrá una vida útil de 3000 horas.( 3 veces garantía)

### Garantía.

- Garantía de dos años o 1000 horas de uso. (5 años o 100K km, 2 horas diarias, 250 días laborables año)

## Requerimientos de Mantenimiento

### Requerimientos de Mantenimiento.

- Mantenimiento de un vehículo estándar liviano y de un sistema de vuelo estándar. (Horas vuelo para 2 meses, uso completo).

### Costos Máximo Mantenimiento.

- 30 dólares americanos por dos horas de vuelo.

## Requerimientos Financieros

### Costo Máximo.

- Prototipo: 200 000 dólares americanos. Producción: 140 000 dólares americanos.

### Retorno de Inversión.

- En cinco años recuperar el 100% de la inversión.

### Plan Financiero Básico.

Modelo de negocio del Producto (Balance general, estado de resultados y flujo de caja). Se cuenta con el apoyo de Creatti Labs S.A. en caso de necesitar dinero para la investigación.

## Requerimientos de Información de Ingeniería

Se entregará un modelo de carro-volador diseñado en software CAD.

### Información de Diseño.


- Los planos contendrán: el diseño 3D, plano de despiece principal y secundarios, además de componentes principales.
- Listado de partes.
- Características y especificaciones de los materiales y equipos usados en el ensamble del carro volador con análisis de estrés.
- Reportes generados a partir de las simulaciones y cálculos realizados para demostrar el cumplimiento de la lista de especificaciones técnicas.
- Características y funcionalidades del vehículo volador, incluyendo su interacción con el usuario en las principales situaciones de uso e infraestructura complementaria necesaria para su operación.
- Este carro puede ser utilizado en cualquier tipo de medio ambiente.
- Se realizará un prototipo del elemento crítico de diseño.

## REVISIÓN DE DISEÑO PRELIMINAR

### Hoja de Firmas

Cooperación entre

*Creatti Labs S.A. - Universidad San Francisco de Quito*

FECHA DE LA VERSION INICIAL: 17/09/2015	
PREPARADO POR:	Andrés Corral _____ Ricardo García _____
REVISADO POR:	Pedro Meneses _____ 
APROBADO POR:	CreattiLabs S.A.S. _____

### Diseño Conceptual

El concepto de diseñar un automóvil híbrido entre una aeronave y un vehículo terrestre se basa en la búsqueda de una solución para la congestión vehicular en las ciudades en la que esto genera gran conflicto en la movilidad. Este vehículo debe ser capaz de volar en un rango corto de distancia sin la necesidad de una pista para despegar o aterrizar, es decir, despeje y aterrizaje vertical. Además debe ser un automóvil cuya circulación sea permitida en la ciudad como cualquier otro vehículo.

Todos los posibles diseños que se contemplan para el que auto volador cumpla con los requerimientos de potencia, peso y el precepto más importante que se eleve y sea capaz de mantenerse en vuelo por el rango establecido en los requerimientos de diseño.

## Referencias de Diseño

Pese a que este vehículo volador está limitado a contextos académicos, es posible emplear como referencia para conceptos y aplicaciones distintas características de los siguientes artefactos que se encuentran en funcionamiento. Uno de los objetivos principales del diseño es que sea atractivo y funcional, intentando llegar a un auto volador deportivo-liviano



*Figura 5:* Th 55



*Figura 6:* AK1-3



**Figura 7:** Bell 47



**Figura 8:** Martin Jet-Pack



**Figura 9:** Pall-V One

De los helicópteros se pudo obtener datos como potencia necesaria, diámetro de rotores que en la sección de *Funcionamiento del Prototipo* se detallarán; gracias a la idea del Jet-Pack la idea de usar dos rotores para la propulsión y gracias a la idea innovadora del Pall-V One el diseño aerodinámico que le permita mantenerse en el aire sin riesgo alguno.



## Esquemas de Diseño

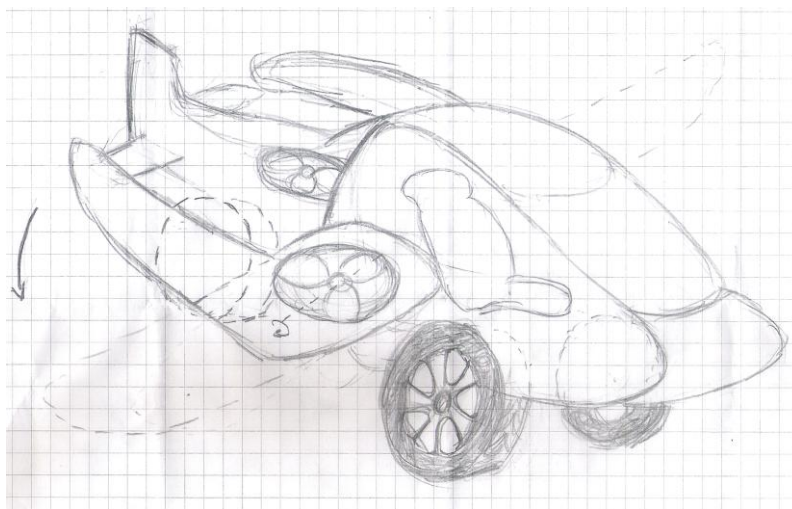
### Diseño 1.

#### **Ventajas.**

Posee alas para una mejor sustentación en el aire, y así poder disminuir potencia en los motores. El diseño en la parte trasera del tri-car, permite un mayor control en el aire, actuando como un avión

#### **Desventajas.**

La ubicación de los ducted fan puede afectar el centro de gravedad de este prototipo, por lo tanto, no va a tener estabilidad en el aire. El alcance determinado como requisito para el diseño es muy corto para utilizar alas.



*Figura 10: Prototipo 1 con Alas Desplegables*

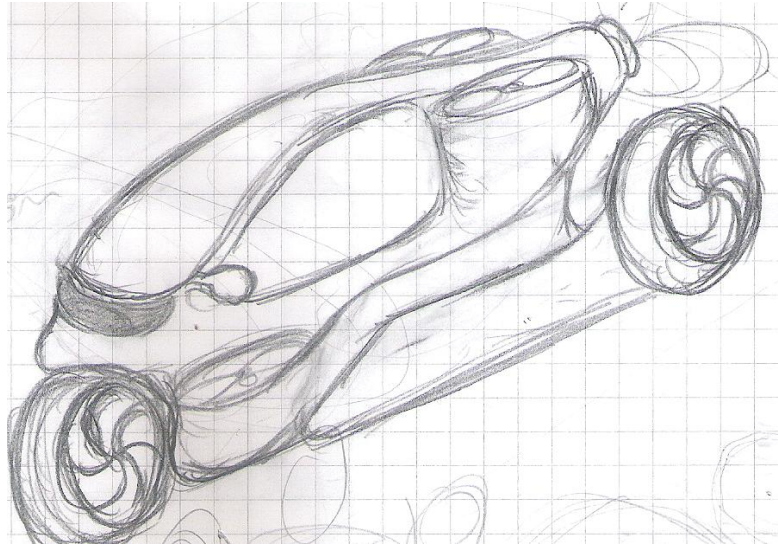
### Diseño 2.

#### **Ventajas.**

Posee alas para una mejor sustentación en el aire, y así poder disminuir potencia en motores

**Desventajas.**

En las alas están ubicados los neumáticos y esto podría afectar en la aerodinámica del diseño. El alcance determinado como requisito para el diseño es muy corto para utilizar alas.



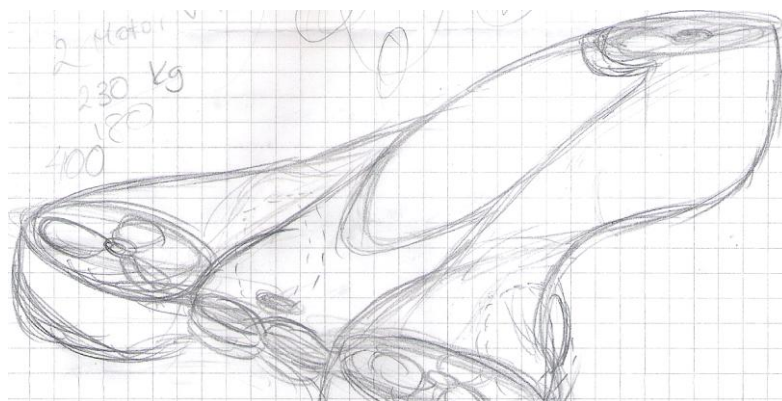
*Figura 11: Prototipo 2 con Alas Desplegables en Neumáticos*

**Diseño 3.****Ventajas.**

Este concepto se basa en un dron gigante con tres ducted fan y con un diseño aerodinámico ayudaría para disminuir potencia en los motores de los ducted fan.

**Desventajas.**

Se excedería el espacio que tiene como limitante para poder estacionarse. No se tendría total control sobre el prototipo.



*Figura 12: Prototipo 3 con tres Rotores Ducted Fan*

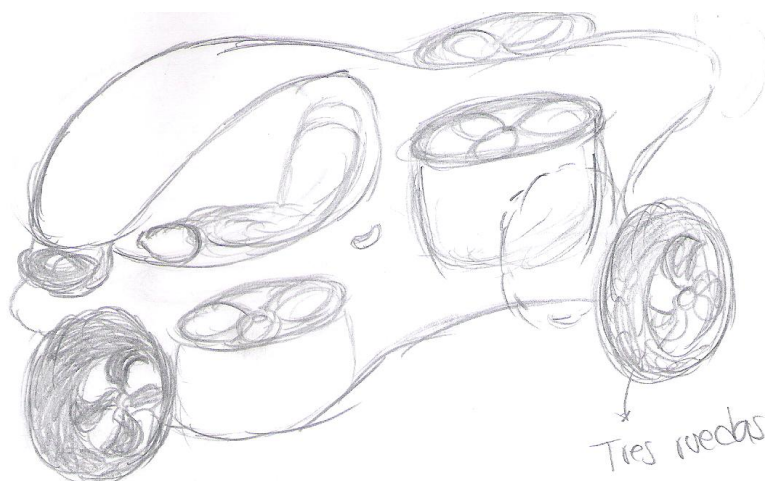
#### **Diseño 4.**

##### **Ventajas.**

Con ducted fan se puede ajustar la velocidad del aire través del ventilador para que pueda operar de manera más eficiente a velocidades de aire más altas que una hélice haría. Se usaría tres motores (dos para ducted fan, uno para en tierra) con peso permitido para poder instalar demás componentes.

##### **Desventajas.**

Al usar ducted fan puede aumentar peso, en comparación a usar hélices. Podría tener inestabilidad en el aire, por lo que se podría aumentar hélice estabilizadora en la parte posterior del tri-car.



*Figura 13: Prototipo 4 Automóvil Tricar con cuatros Ducted Fan*

## Análisis FODA

**Tabla 1:** Análisis FODA de los cuatro diseños

	Diseño Conceptual 1	Diseño Conceptual 2	Diseño Conceptual 3	Diseño Conceptual 4
<b>Fortalezas</b>				
Estética	5	8	9	8
Diseño	4	6	5	8
Potencia	5	7	6	8
Espacio	3	7	4	9
<b>Oportunidades</b>				
Apoyo a la movilidad urbana	4	7	4	7
Fácil transporte	6	8	8	8
Rango de vuelo	9	8	5	6
<b>Debilidades</b>				
Peso	4	6	7	6
Mantenimiento	5	3	4	5
Combustible	8	7	9	8
<b>Amenazas</b>				
Acogida en el mercado	7	9	9	9

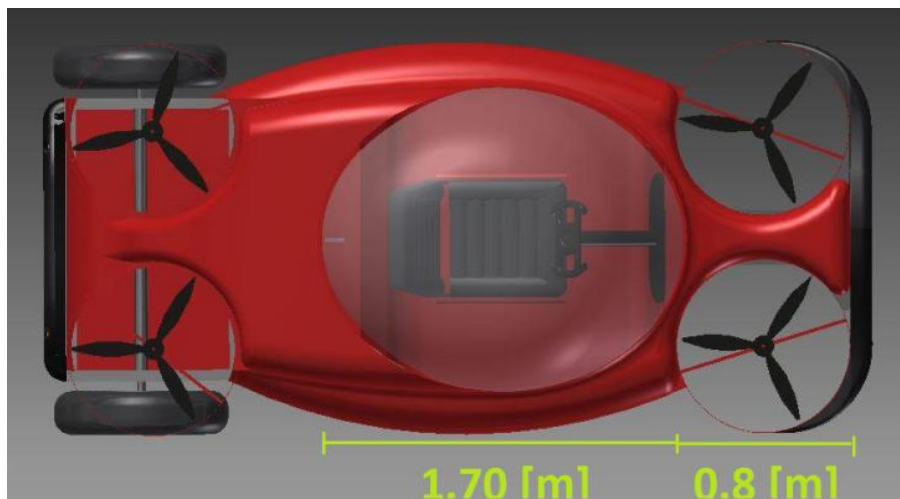
<b>Estabilidad de vuelo</b>	10	8	5	6
<b>Total</b>	70	84	75	88

La calificación se realizó de una forma numérica 0 = bajo y 10 = alto.

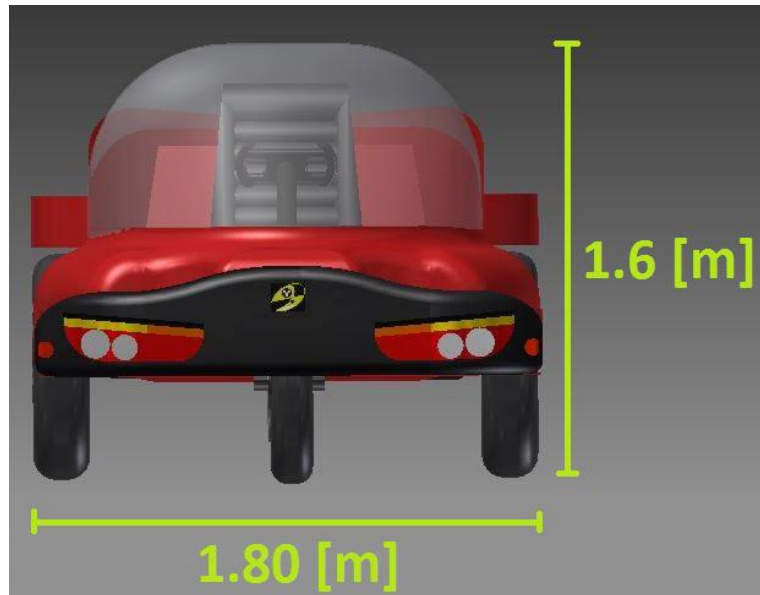
Se escogió el diseño numero 4 porque se observó en el análisis FODA que existe mayor ventaja en este diseño y cumple con los requerimientos descritos en el TRD, además era uno de los mejores diseños con el motor localizado cerca del centro de gravedad y un tamaño que permita moverse por la ciudad fácilmente, que cumple con el rango de vuelo que se pidió como requerimiento de diseño, con el menor peso para que la potencia necesaria para elevarla sea menor, y así logrando un consumo de combustible eficiente.

## Diseño Final

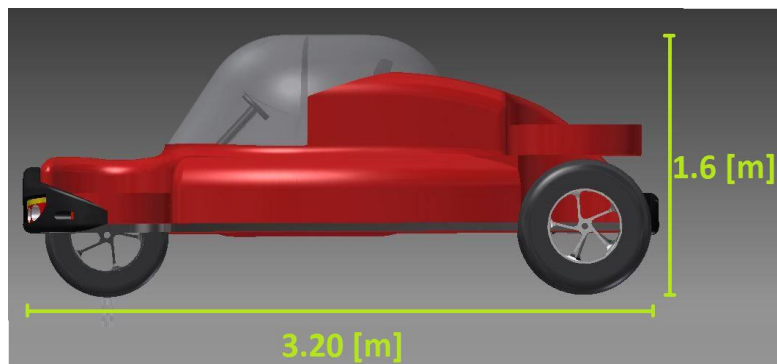
### Dimensiones.



*Figura 14: Vista Superior del Modelo con Medidas*



*Figura 15: Vista Frontal del Modelo con Medidas*



*Figura 16: Vista Lateral Derecha del Modelo con Medidas*

### **Modelado del Diseño en 3D.**



*Figura 17: Vista Isométrica del Modelo*

## Cuadro BOM del Prototipo

Lista de pesos aproximados de las partes usadas en el diseño.

**Tabla 2:** Peso Detallado en el Automóvil

Pieza	Peso [kg]
<b>Motor</b>	75
<b>Estructura chasis Aluminio (Titanio)</b>	120
<b>Partes Carrocería Policarbonato</b>	60
<b>Gasolina y aceite</b>	30
<b>3 Llantas BST Carbono</b>	15
<b>Asiento</b>	5
<b>Controles y cabina</b>	10
<b>Transmisión</b>	80
<b>4 Hélices</b>	90
<b>Otros</b>	40
<b>Total</b>	<b>525</b>

El peso total aproximado es de 525 kg, que está por debajo del peso máximo establecido como requisito de diseño, por lo tanto esta lista de pesos es válida.

## REVISION DE DISEÑO CRÍTICO

### Funcionamiento del Prototipo

#### Sistema Funcional del Prototipo.

El sistema funcional habla de cómo va a operar la maquina en aire y tierra. Se hizo un análisis detallado sobre beneficios del helicóptero y se concluyó- que en aire debe actuar como un helicóptero con cuatro rotores tri-pala. En tierra actúa como un tri-car normal dando equilibrio y confort al usuario.

#### Motor.

La selección del motor se basa en parámetros como potencia, peso del motor, economía. El motor seleccionado es basado en V-4 de dos tiempos ocupando un espacio mínimo de 0,5 x 0,45 x 0,3 m. Comparando con un motor eléctrico de 200 HP que se requiere en este prototipo, lo que varía y es determinante en la selección del motor es el precio, el costo del motor eléctrico es más alto que el de combustión, ya que no se producen en la actualidad en grandes cantidades.

#### *Motor a Combustión.*

**Tabla 3:** Comparación de Características de varios Motores

Motor	Potencia [HP]	Velocidad angular [RPM]	MTOW [kg]
Subaru EJ 25	155	5600	690
Rotax 914 UL	115	5500	500
Lycoming TVO-435-F1A	280	3500	1380
Weber Motor V-4	200	7500	645



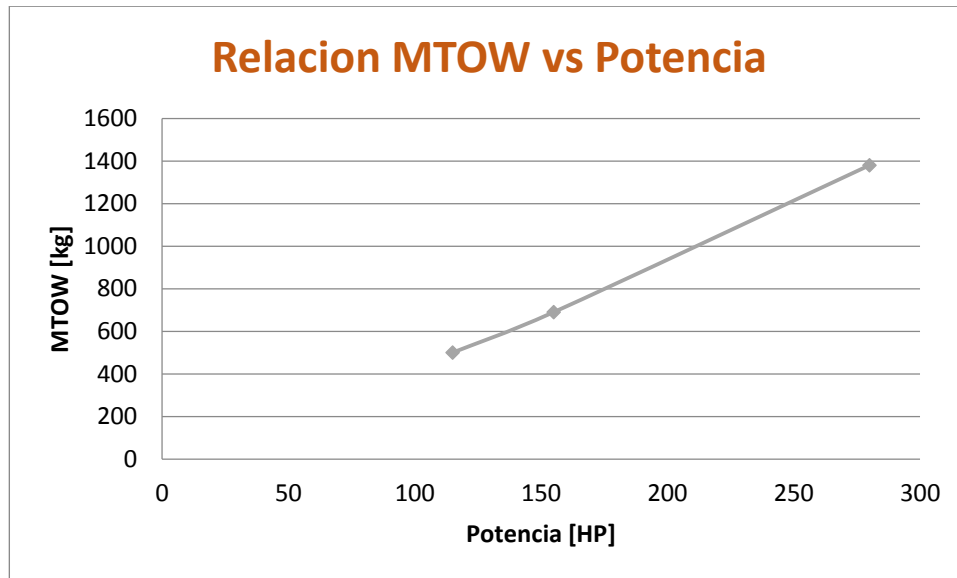


Imagen 11.-

Figura 18: Gráfica de Relación Peso Máximo de Despegue con Potencia

La ecuación que da la gráfica de MTOW sobre Potencia nos permite calcular el valor del MTOW que nuestro motor puede levantar, y posterior a esto se puede calcular el factor de seguridad gracias al peso que real de nuestro prototipo.

$$y = 4.378x - 129.29$$

en el eje de las abscisas la potencia de los motores, se reemplaza la potencia del motor seleccionado para nuestro diseño para calcular el MTOW.

$$y = 4.378(200) - 129.29$$

$$y = 746.31 \text{ [kg]}$$

El peso de nuestro prototipo gracias a los materiales livianos, detallados en el cuadro BOM, que se ocupan es:

$$w = 645 \text{ [kg]}$$

Este valor incluye el peso de la persona y sus pertenencias. Por lo tanto se concluye que en la selección del motor existe una relación de 1.15 veces el valor teórico del real, por lo tanto es correcto y apropiado el uso de este motor.

### **Sistema Terrestre.**

El sistema que actúa en tierra va a ser similar al de un tri-car. Se hizo este análisis ya que el prototipo necesita equilibrio al momento del aterrizaje y cuando esté funcionando como vehículo, este equilibrio se da gracias a los tres neumáticos. No se diseñó con cuatro neumáticos ya que la eficiencia del motor se reduciría gracias al aumento de peso.

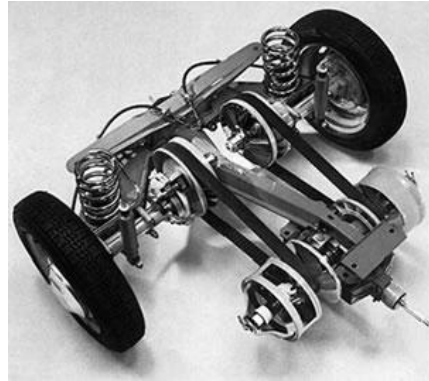
### ***Sistema de Transmisión.***

Para poder transmitir la potencia que da el motor Weber V-4 al mecanismo aéreo y terrestre, se necesita un sistema de ejes que se conecten a las hélices y a las ruedas para su funcionamiento. Para el sistema aéreo se necesita que al ser encendido el motor, su velocidad angular llegue a su velocidad nominal, 7500 rpm, y así que las hélices puedan vencer su inercia y accionarse efectivamente.

El motor seleccionado debe constar con un sistema que se encuentre a  $90^\circ$  para entregar la potencia a las hélices.

Se analizan cálculos generales para saber con qué elementos se puede trabajar para poder transmitir la potencia generada a las hélices y ruedas.

Para el sistema de transmisión se va a usar el sistema CVT, que ofrece mayores ventajas que un sistema automático normal o un sistema manual, ventajas como menor peso, mayor eficiencia ya que siempre está en su par máximo.



*Figura 19: Sistema de Transmisión con dos Poleas*

Este sistema se basa en dos poleas cuyo diámetro interior efectivo es variable. La transmisión entre las dos poleas se realiza mediante una correa o cadena elaborada con eslabones metálicos de forma que al variar el diámetro de las poleas va variando progresivamente la relación de desmultiplicación. Al ser la correa un elemento inextensible, la apertura de una de las poleas implica la reducción del diámetro de la otra.

#### **Sistema Aéreo.**

#### ***Sistema Propulsor.***

Para obtener las dimensiones de los diámetros de los cuatro rotores para el sistema aéreo se analizó de acuerdo al coeficiente de empuje y las revoluciones por minuto que proporciona el motor. La opción más favorable para este proyecto es el uso de un propeller con tres hélices, porque este sistema brinda mayor estabilidad y el empuje necesario para el vehículo.

La siguiente tabla contiene datos estadísticos de la relación entre revoluciones del rotor y el coeficiente de empuje.

**Tabla 4:** Relación entre Velocidad Angular del Rotor y el Coeficiente de Empuje

<b>RPM</b>	<b>CT</b>
2377	0,1039
2676	0,1058
2947	0,1059
3234	0,1083
3494	0,1096
3762	0,1121
4029	0,1136
4319	0,1155
4590	0,1177
4880	0,1199
5147	0,1213
5417	0,1228
5715	0,1239
5960	0,1253
6226	0,1261
6528	0,1274
7500	X

Gracias a esta tabla se puede obtener el coeficiente de empuje para las revoluciones otorgadas por nuestro motor.

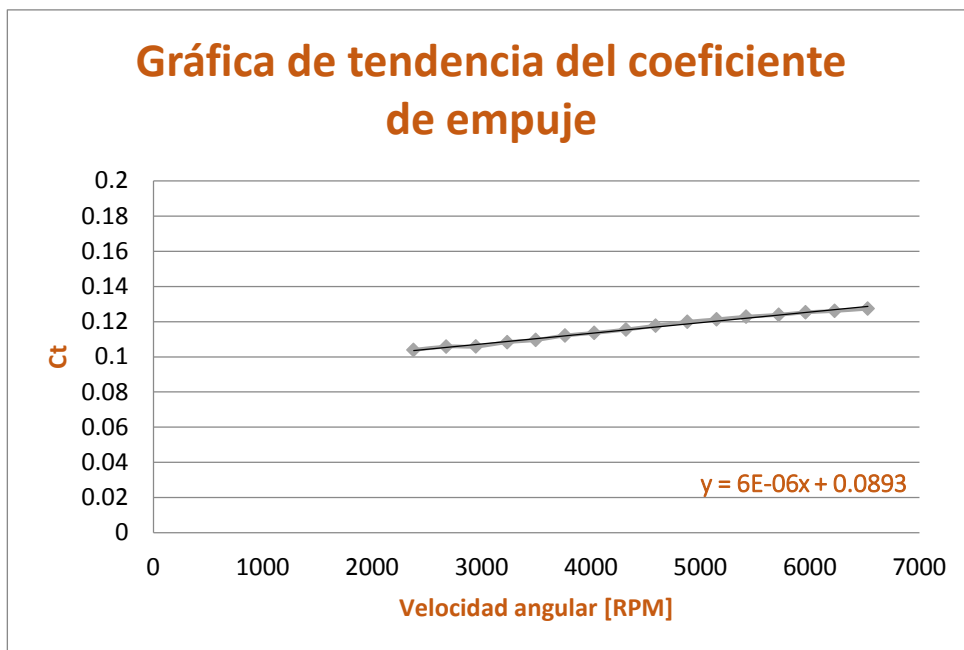


Figura 20: Gráfica de Velocidad Angular del Rotor vs Coeficiente de Empuje

Con la pendiente de la relación entre el coeficiente de empuje y las revoluciones que gira el rotor se encuentra el coeficiente de empuje para las revoluciones del motor que fue escogido previamente.

$$C_t = 6E - 06w + 0,0893$$

$$C_t = 6E - 06 (7500) + 0,0893$$

$$C_t = 0,1348$$

El coeficiente de empuje es usado en la siguiente fórmula para obtener el diámetro del rotor para nuestro prototipo

$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

Siendo la variable T la fuerza de empuje,  $\rho$  la densidad del aire, n las revoluciones del rotor en [rps] y D el diámetro del rotor.

$$D = \sqrt[4]{\frac{T}{pn^2 C_T}}$$

$$D = \sqrt[4]{\frac{800(9.8)}{(1,18) (116,66)^2 (0,1348)}}$$

$$D = 0,98 \text{ [m]}$$

Los cálculos realizados anteriormente se basaron en datos de un rotor bipala, para transferir los resultados a un propeller con tres aspas se usa el factor de carga de la hélice, que da una relación entre números de aspas y el diámetro del rotor

$$F_c = \frac{D^2 n p}{2}$$

Con el bipala se obtiene el factor de carga

$$F_c = \frac{(0.98)^2 (2) p}{2}$$

$$F_c = 0,9604p$$

Se transfiere el resultado con al tripala

$$F_c = \frac{D^2 (3) p}{2}$$

$$0,9604p = \frac{D^2 (3) p}{2}$$

$$D = 0,8 \text{ [m]}$$

La dimensión del diámetro resultante de cada rotor es 0.8 m, por lo que no va a generar inconvenientes al momento de parquear el vehículo en un espacio normal para cualquier vehículo terrestre, esto cumple con el requerimiento de dimensiones.

Normalmente, los rotores generan un par en el vehículo, esto se compensa equilibrando los sentidos de rotación de los rotores como se indica en el siguiente diagrama de rotación de los rotores.

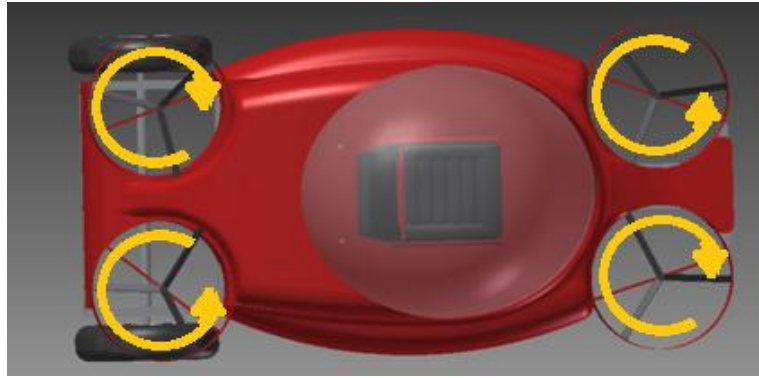


Figura 21: Diagrama de Rotación de Rotores

Para encontrar la máxima aceleración de ascenso que pueda tener nuestro vehículo, se usan datos como potencia y el peso propio del auto.

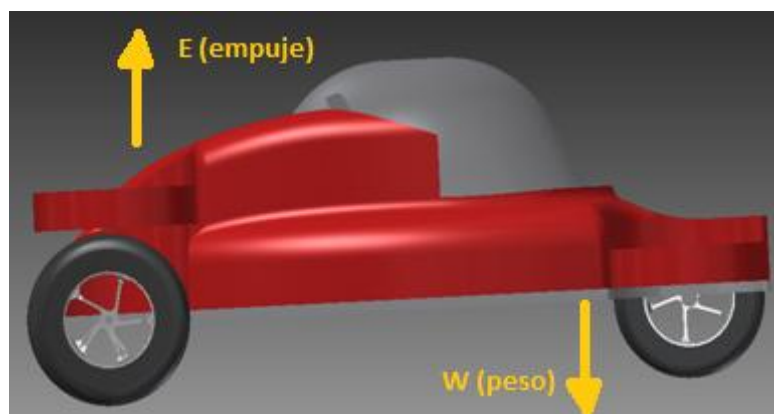


Figura 22: Diagrama de Fuerzas en el Automóvil

Gracias a la segunda ley de Newton se obtiene la aceleración:

$$F = m * a$$

$$E - W = m * a$$

$$(200 * 9.8)(4 \text{ rotores}) - (645 * 9.8) = (645) * a$$

$$a = \frac{(200 * 9.8 * 4) - (645 * 9.8)}{645}$$

$$a = 2.355 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Observando la aceleración que puede alcanzar el vehículo en su despegue vertical, la velocidad estimada de ascenso es de 15 - 30 [km/h], la velocidad de descenso puede variar dependiendo la altura donde se encuentre, aproximadamente se va a dar el descenso a 10 – 15 [km/h] hasta llegar a una velocidad aproximada de cero para un aterrizaje seguro.

### **Sistema Eléctrico.**

El sistema eléctrico es similar al de un automóvil, debe contar con sistema de iluminación.

Este vehículo va a tener movimiento en tres direcciones, cuando funcione como aeronave por la noche debe tener la mayor cantidad de luces para su seguridad. Para almacenar esta energía se usa dos baterías comunes de un vehículo, siempre colocando objetos simétricamente para dar equilibrio al vehículo. Las baterías deben tener un sistema de carga instalado para mantener constante su tensión.

El sistema electrónico debe controlar algunas variables como la estabilidad, aceleración y ángulo de la hélice, el análisis detallado de esto no es parte de este trabajo, sin embargo se presenta ciertos conceptos que implican e influyen en el diseño de este prototipo.

Este sistema debe contar con sensores para controlar la estabilidad del automotor y así verificar la inclinación, en caso llegar a una inclinación crítica, el controlador del vehículo debe acelerar o desacelerar una de las hélices para no sufrir un volteo inesperado. Esto va a ser de gran importancia, ya que en el caso de un viento fuerte en la aeronave la respuesta del control automático debe ser instantánea.



De igual forma, cuenta con sensores para controlar velocidad de ascenso y descenso, la velocidad de descenso no debe exceder cierto valor ya que puede ocurrir un accidente al momento de desacelerar el vehículo, este sensor envía señales para un sistema de control de velocidad en las hélices.

El piloto automático dentro de una aeronave es importante para la seguridad de personas en momentos de extremo riesgo. Debe contar con sistema de medición de combustible.

## **Análisis de Materiales**

### **Análisis Estructural.**

La estructura del vehículo compone el cuerpo que va a servir de soporte de todos los componentes del vehículo, rotores, motor, carrocería, etc. En este proyecto se debe emplear materiales para los triángulos estructurales tengan alta resistencia para las diferentes fuerzas a las que van a estar sometidos. La estructura debe ser liviana y se fabricará con aluminio 6063-T5 que es una aleación de aluminio, silicio y magnesio, cuya densidad es de  $2.69 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ ; con una resistencia máxima a la tracción que va desde los 16 hasta 20  $\text{[Kg/mm}^2\text{]}$ ; una de las ventajas de la estructura seleccionada es la facilidad de adquirir en el mercado, y alta soldabilidad para su unión.

El perfil de la estructura debe ser circular, ya que el momento de inercia de esta forma geométrica permite mayor resistencia a ser doblado en todas sus direcciones, además, esta forma nos entrega un área menor que los demás posibles perfiles por lo que su peso va a ser menor, esto nos indica que el perfil circular de cada componente de la estructura debe ser circular.

## Viabilidad Económica

Para diseñar el prototipo que se presenta en este proyecto, se hizo un análisis detallado de los materiales que van a usarse, esto implica costos y calidad. La siguiente tabla muestra los resultados de este análisis indicando los costos de producción de nuestro prototipo.

**Tabla 5:** Lista de Precios por Partes

<b>Pieza</b>	<b>Precio [kg]</b>
<b>Motor</b>	<b>15 000</b>
<b>Estructura chasis Aluminio (Si + Mg)</b>	<b>5 000</b>
<b>Cabina Policarbonato</b>	<b>2 000</b>
<b>Carrocería fibra de carbono</b>	<b>15 000</b>
<b>4 Hélices</b>	<b>20 000</b>
<b>3 Llantas BST Carbono</b>	<b>9 000</b>
<b>Cabina</b>	<b>2 000</b>
<b>Transmisión</b>	<b>5 000</b>
<b>Otros</b>	<b>7 000</b>
<b>Total</b>	<b>77 000</b>

El costo de producción es de 77 000 USD, este precio está dentro del precio sugerido en el PRD, por lo tanto el costo de producción es el indicado.

## CONCLUSIONES

El motor que se va a usar está en el mercado disponible, y con facilidad de tenerlo por su precio. Un motor eléctrico, que su menor peso nos va ayudar en la construcción del prototipo, no es de fácil acceso para nuestra sociedad ya que el costo es demasiado elevado y no existe variedad de estos artefactos.

El material con el que las hélices van a ser construidas es fibra de carbono, por su peso y eficiencia se ha seleccionado este material, ya que esta parte del diseño es crítica y se necesita una seguridad máxima para un correcto funcionamiento.

Una de las conclusiones principales es la selección de 4 helices en nuestro diseño, esto es debido a que va a tener una mayor estabilidad que un prototipo de 2 o 3 rotores. Siempre se debe tomar en cuenta que la velocidad de los extremos de las hélices no debe exceder la velocidad del sonido. El diámetro central y la cuerda van a ser 20% y 10% del diámetro del rotor (0.8m) respectivamente. En cuanto al perfil de las aspas se recomienda elegir el perfil de NACA 0012 con buena rigidez y  $5^\circ$  como ángulo de ataque gracias a su eficiencia en la aerodinámica.

Se concluye un proyecto con los resultados obtenidos gracias a una amplia investigación en el campo de la aeronáutica. Se analizó materiales capaces de resistir con altas exigencias mecánicas y que su precio sea accesible en el mercado ecuatoriano y colombiano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Etkin, B. & Reid, L. (1996). *Dynamics of flight: stability and control*. 3ª.Ed. New York: Wiley.

Durand, W. (1976). *Aerodynamic theory: a general review of progress*. Gloucester, MASS Peter Smith. Vol.4.

Steckin, B. (1962). Turbohélices. *Teoria de los Motores de Reaccion: procesos y características*. Madrid: Dossat

Gorke, L. & Boumer, S. (2002). *Propellers and Introduction to human factors engineering*. 2ª.Ed. Upper Saddle River. Pearson Prentice Hall. p. 252-253

Khoury, G. (2012). *Airship Technology*. 2ª.Ed. New York: Cambridge University Press.

Anderson, J. (1978). *Introduccion to flight: its engineering and history*. New York: McGraw-Hill

Leishman, G. (2006). *Principles of Helicopter Aerodynamics*. 2ª.Ed. New York: Cambridge University Press.

Montfort, A. (2008). *A New Methodology for Sizing and Performance Predictions of a Rotary Wing Ejector*. School of Aerospace Engineering Georgia Institute of Technology

Piolenc, F. (2001). *Ducted Fan Desing Edition*.

## Anexo A: ENCUESTA

### *Encuesta para determinar la demanda*

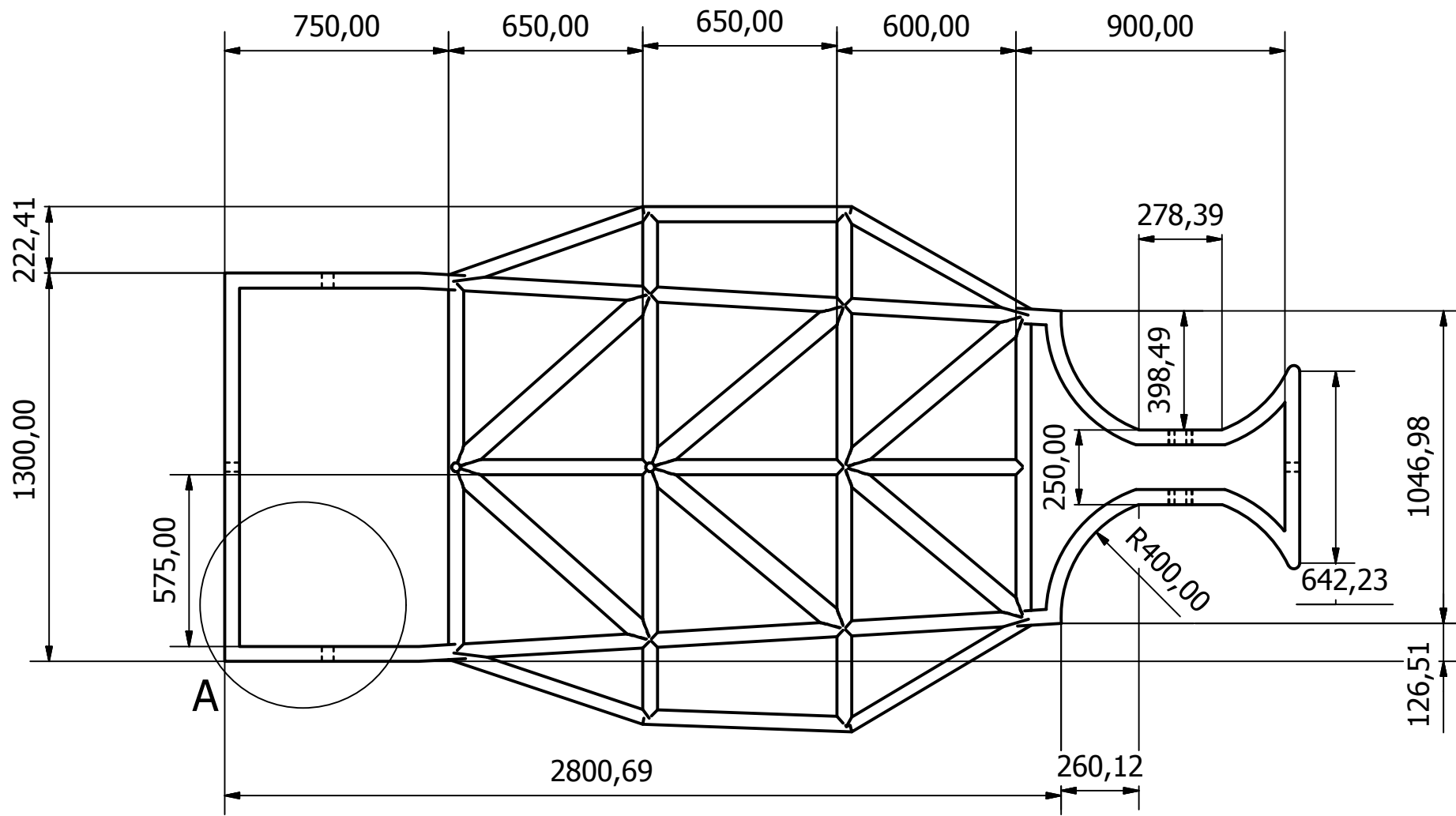
Se realizó encuestas con los resultados obtenidos en nuestro diseño, con el objetivo de verificar la aprobación del público con nuestro diseño y análisis económico.

La encuesta fue la siguiente:

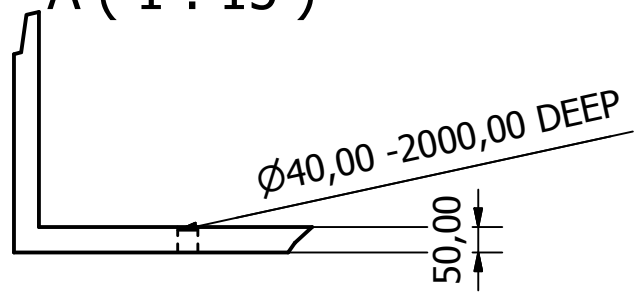
1.- ¿Es agradable estéticamente el prototipo?
SI 94%, NO 6%
2.- ¿Es útil en la actualidad?
SI 100%, NO 0%
3.- ¿El costo refleja la utilidad del vehículo?
SI 78%, NO 22%
4.- ¿Compraría el vehículo?
SI 58 % NO 42%

Esta encuesta se hizo a 50 personas con los resultados indicados.

## Anexo B: PLANOS

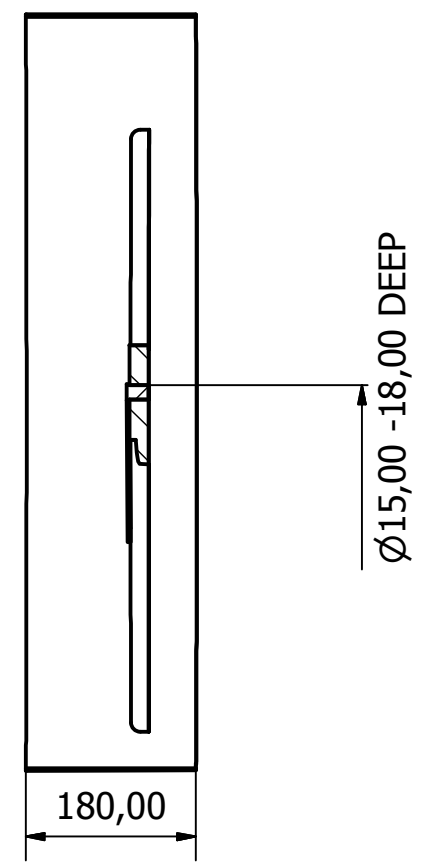
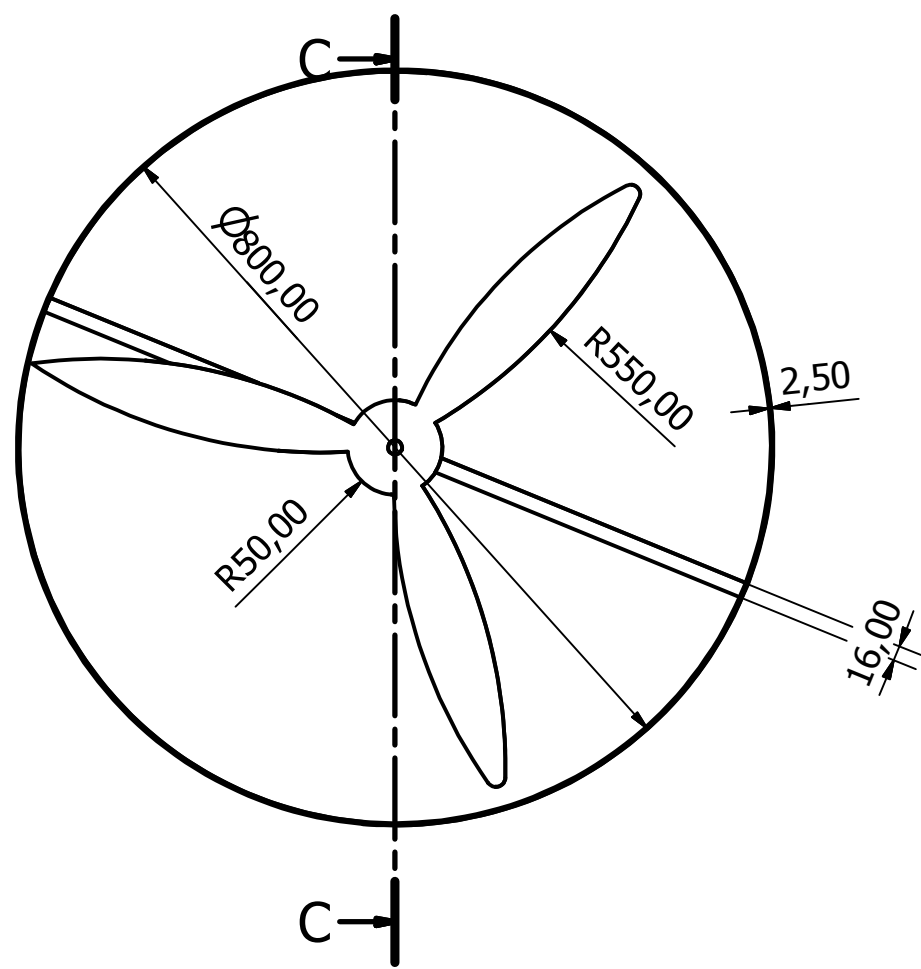


A ( 1 : 15 )

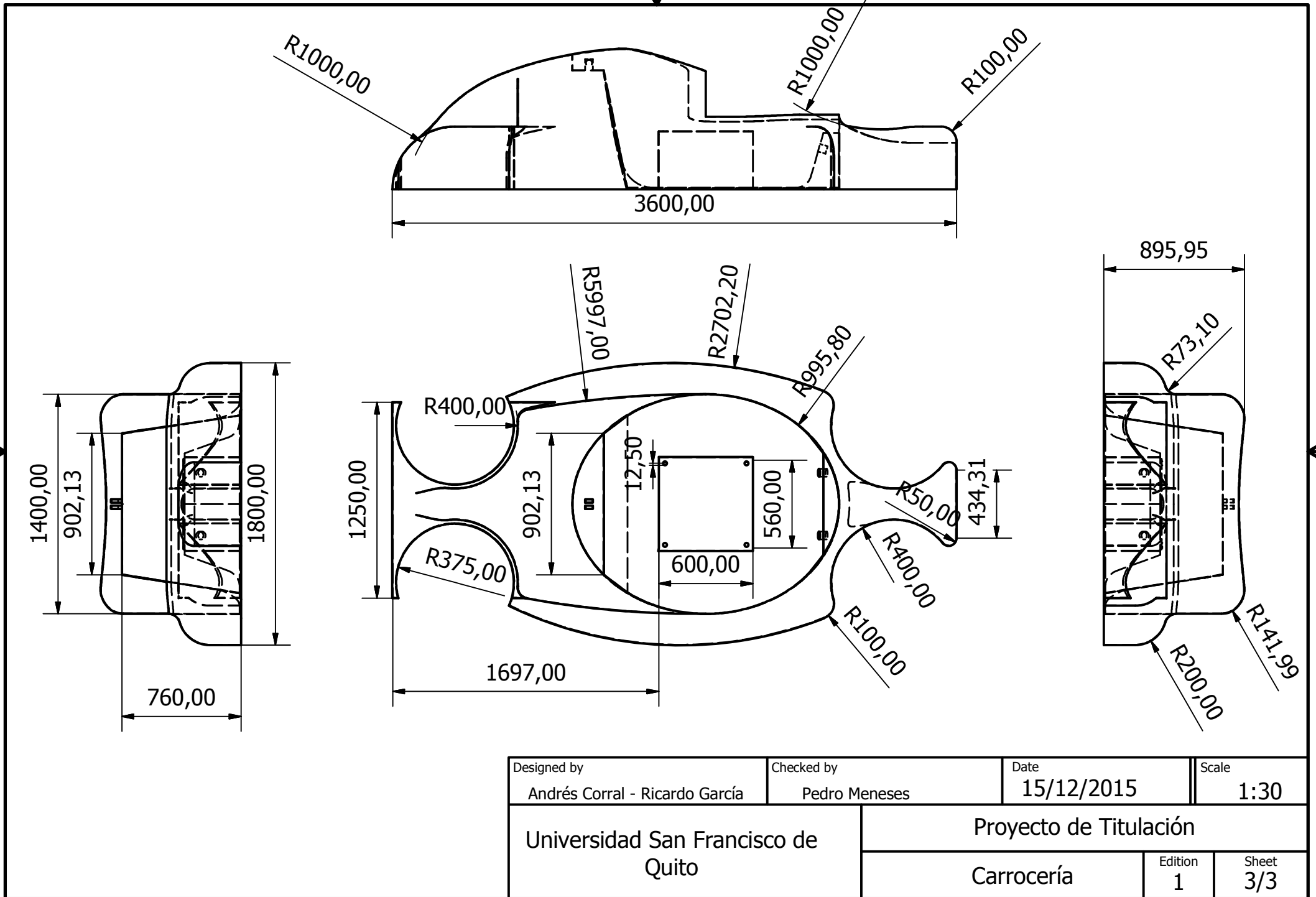


Designed by Andrés Corral - Ricardo García	Checked by Pedro Meneses	Date 15/12/2015	Scale 1:20
Universidad San Francisco de Quito		Proyecto de Titulación	
		Chasis	Edition 1 Sheet 1/3

C-C ( 1 : 8 )



Designed by Andrés Corral - Ricardo García	Checked by Pedro Meneses	Date 15/12/2015	Scale 1:8
Universidad San Francisco de Quito	Proyecto de Titulación		
	Propeler	Edition 1	Sheet 2/3



Designed by Andrés Corral - Ricardo García	Checked by Pedro Meneses	Date 15/12/2015	Scale 1:30
Universidad San Francisco de Quito		Proyecto de Titulación	
		Carrocería	Edition 1