

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

" Rediseño de la Carrocería y Chasis de un Go-Kart Híbrido."

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**  
Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Erick Miguel Arcos Andrade

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

# AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme otorgado la oportunidad de estudiar y a la fortaleza que día a día me concedió para poder enfrentar todas las adversidades en el transcurso de mi vida universitaria.

A mis padres, Iván Rodrigo Arcos y Mariana Andrade Robles, por todo el esfuerzo que hicieron por ayudarme en cada etapa de mi vida universitaria con el fin de cumplir mis metas, que sin su apoyo no hubiese podido culminar esta meta.

A mi tutor, MSc.Gonzalo Almeida, por la oportunidad de desarrollar el presente proyecto integrador, al MSc.Jorge Marcial por la ayuda en el análisis estructural en ANSYS.

Gracias a toda mi familia y amigos que de una u otra forma contribuyeron en mi vida universitaria.

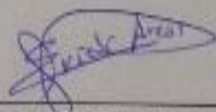
Erick Miguel Arcos Andrade

## DECLARACIÓN EXPRESA

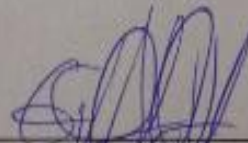
"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Erick Arcos Andrade  
Msc. Gonzalo Almeida Pazmiño

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



Erick Arcos Andrade



Msc. Gonzalo Almeida P.  
Director.

## RESUMEN

El presente proyecto surge por la necesidad de la implementación de nuevas tecnologías en energías renovables en vehículos de combustión interna para disminuir el impacto ambiental, para lo cual se propone, en un primer estudio el uso de un sistema de celdas de combustible que funcione con hidrógeno y baterías en un go-kart de competencia, pero debido a los nuevos requerimientos de carga, surge la obligación de realizar un rediseño de la carrocería y chasis que cumplan con las normas de la CIK-FIA, donde se requiere un análisis estructural y aerodinámico mediante el uso del software de análisis estructural ANSYS y ANSYSFLUENT respectivamente, así como también un análisis de costos y los planos de fabricación de las estructuras.

Para el análisis estructural se procedió a proponer cuatro modelos de forma, los cuales fueron evaluados en una matriz de decisión con respecto a ciertos criterios de diseño, donde el modelo seleccionado fue el Modelo 2. Una vez obtenido el modelo se procedió a analizar su estructura mediante tres tipos de ensayos de impacto que son: frontal, lateral y posterior, donde el material seleccionado fue el acero ASTM A 500 GRADO C, porque cumple con el reglamento CIK-FIA, a más de encontrarse en el mercado nacional. El método de soldadura utilizado es MIG (Metal Inerte Gas).

En el impacto frontal se procedió a reforzar el chasis con tuberías de 1 pulgada, lo que permitió que el esfuerzo máximo esté bajo el límite de fluencia; en el impacto lateral, se cambió la sección circular por una sección cuadrada en el soporte de la batería de 30X30mm, con un espesor de 2 mm, obteniendo un esfuerzo máximo bajo el límite de fluencia. La carrocería propuesta 5 fue la seleccionada por su bajo coeficiente aerodinámico de arrastre de 0.93.

El rediseño del chasis obtenido no va a estar sujeto a deformación plástica y el coeficiente de arrastre puede variar con un pequeño cambio de la curvatura y aumento del área frontal. La fatiga no es un problema para un periodo de durabilidad de 5 años de la carrocería, debido a que el esfuerzo de flexión no es constante ni repetitivo por ciclos muy cortos de tiempo.

**Palabras Clave:** Chasis, Rediseño, ensayos de impactos, esfuerzo de fluencia, coeficiente de arrastre.

## ***ABSTRACT***

*This project arises from the need for the implementation of new technologies in renewable energy in internal combustion vehicles to reduce environmental impact, for which it is proposed, in a first study using a system of fuel cells that run on hydrogen in a go-kart competition, but due to the new load requirements, the obligation to make a redesign of the body and chassis that comply with the rules of the CIK-FIA, where a structural and aerodynamic analysis required by arises using ANSYS structural analysis software and ANSYSFLUENT respectively, as well as a cost analysis and manufacturing drawings of the structures.*

*For structural analysis proceeded to propose four models of design, which were evaluated in a matrix of decisions regarding certain design criteria where the selected model was the Model 2. After obtaining the model was analyzed its structure through three types of impact tests that are front, side and rear, where the selected material was steel ASTM a 500 GRADE because it meets the CIK-FIA regulations, more than found in the domestic market. The welding method used is MIG (Metal Inert Gas).*

*In the frontal impact it proceeded to reinforce the chassis with 1-inch pipe, allowing the maximum effort is under the yield point; in the side impact, the circular square in the battery holder of 30x30mm section was changed, with a thickness of 2 mm, obtaining a maximum stress under the yield point. The proposed body 5 was selected for its low aerodynamic drag coefficient of 0.93.*

*The redesign of the chassis obtained will not be subjected to plastic deformation and the drag coefficient may vary with a slight change of curvature and increased frontal area .The fatigue is not a problem for a period of 5 years durability body because the bending stress is not constant or repetitive for very short cycle times.*

**Keywords:** *Chassis, crash test, yield strength, aerodynamic coefficient of drag.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Marco teórico.....	2
1.4 Cinética del impacto automovilístico.....	6
1.5 Aerodinámica de vehículos .....	7
1.6 Celda de combustible, batería y motor de combustión interna.....	10
1.7 Sistema de propulsión .....	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología del diseño.....	12
2.1 Modelo Asignado e investigación de componentes.....	13
2.2 Consideraciones de diseño .....	14
2.3 Diseño de forma .....	15
2.4 Matriz de decisiones.....	18
2.5 Análisis de cargas .....	20
2.6 Cargas dinámicas en ensayos de impacto.....	23

2.7	Material.....	24
2.8	Análisis estático.....	25
2.9	Análisis de fatiga .....	29
2.10	Análisis aerodinámico de la carrocería .....	32
2.11	Metodología de la simulación aerodinámica en ANSYS FLUENT .....	33
CAPÍTULO 3.....		37
3.	Resultados.....	37
3.1	Determinación de cargas por ensayos de impacto.....	37
3.2	Determinación de cargas dinámicas.....	38
3.3	Simulación estructural estática en ANSYS.....	40
3.4	Simulación de impactos.....	41
3.5	Análisis de fatiga .....	46
3.6	Aerodinámica de la carrocería.....	48
3.7	Análisis de Costos .....	57
CAPÍTULO 4.....		62
4.	Discusión y Conclusiones .....	62
4.1	Conclusiones.....	63
4.2	Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....		65
5.	Bibliografía .....	65
APÉNDICES.....		67

## **ABREVIATURAS**

ASTM	American Society for Testing and Materials
CIK-FIA	Comisión Internacional de Karting- Federación internacional de Automovilismo
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ENCAP	European New Car Assessment Programme
ERGOM	Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Automotriz del Azuay
FIA	Federación internacional de Automovilismo
GMAW	Gas Metal Arc Welding
ISO	International Organization for Standardization
PEM	Membrana de Intercambio Protónica



## SIMBOLOGÍA

$a$	Aceleración
$a_b$	Aceleración brusca
$a_{maxi}$	Aceleración máxima de impacto
$a_n$	Aceleración normal
$A_f$	Área frontal
$C_x$	Coefficiente de arrastre
$F$	Fuerza
$F_{Aer}$	Fuerza aerodinámica de Rozamiento
$f$	Factor de resistencia a la fatiga
$F_{ab}$	Fuerza por aceleración brusca
$F_{fb}$	Fuerza por desaceleración brusca
$F_{cc}$	Fuerza por la velocidad máxima en curva
$Gpa$	Giga Pascales
$g$	Gravedad
$k$	Energía cinética turbulenta
$kg$	Kilogramo
$k_a$	Coefficiente de superficie
$k_b$	Coefficiente de tamaño
$k_c$	Coefficiente de carga
$k_d$	Coefficiente de temperatura
$k_e$	Coefficiente de confiabilidad
$k_f$	Coefficiente de efectos varios
$kpsi$	Kilo libra / pulgada cuadrada
$N$	Newton
$N_g$	Número de gravedad
$m$	Metro
$m_T$	Masa total
$mm$	Milímetro
$MPa$	Mega Pascales
$N_g$	Número de gravedad
$pulg$	Pulgada

$R$	Radio de curvatura
$s$	Segundo
$S_{ut}$	Esfuerzo último del material
$t$	Tiempo
$\Delta T$	Tiempo de impacto
$v_f$	Velocidad final
$v_o$	Velocidad inicial
$v$	Velocidad máxima en curva
$u_d$	Coefficiente de rozamiento dinámico
$\gamma Q$	Factor de carga
$\sigma_a$	Esfuerzo Alternante
$\sigma_m$	Esfuerzo Medio
$\epsilon$	Disipación de la energía cinética turbulenta
$\$$	Dólar

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.Componentes de un go-kart .....	3
Figura 1.2 .Chasis Tony Kart Extreme.....	4
Figura 1.3.Carrocería Merlín.....	4
Figura 1.4.Rotax 125 DD2.....	5
Figura 1.5.Motenergy ME1003 PMDC Motor.....	5
Figura 1.6.Sistema de dirección de un go-kart .....	6
Figura 1.7.Tipos de impactos .....	7
Figura 1.8.Formación de la capa límite .....	8
Figura 1.9.Comportamiento de la capa límite según el tipo de flujo .....	9
Figura 1.10.Comportamiento del flujo del aire en un Mercedes CLA. ....	9
Figura 1.11.Sistemas de generación de energía .....	10
Figura 1.12.Celda de combustible tipo PEM HORIZON 3000w.....	11
Figura 1.13. Sistema de funcionamiento del go-kart con celdas de combustible .....	11
Figura 2.1 .Diagrama de flujo de la metodología de diseño .....	12
Figura 2.2. Modelo base de un go-kart de competencia.....	13
Figura 2.3.Alternativa 1 de diseño de forma de un go-kart híbrido .....	16
Figura 2.4 Alternativa 2 de diseño de forma de un go-kart híbrido .....	17
Figura 2.5. Alternativa 3 de diseño de forma de un go-kart híbrido .....	17
Figura 2.6.Alternativa 4 de diseño de forma de un go-kart híbrido .....	18
Figura 2.7.Diseño alámbrico del Modelo 2 en SolidWorks .....	26
Figura 2.8. Diseño estructural del Modelo 2 en ANSYS-APDL.....	27
Figura 2.9. Diseño estructural, fijaciones del Modelo 2 en ANSYS-APDL.....	28
Figura 2.10.Fracción de resistencia a la fatiga .....	30
Figura 2.11.Fuerza de presión normal y de rozamiento presentes en un vehículo ..	33
Figura 2.12. Selección de la cara de ingreso del flujo.....	34
Figura 2.13.Ventana de Ansys para la asignación de las condiciones de análisis ..	335
Figura 3.1.Centro de gravedad del piloto en el go-kart.....	40
Figura 3.2.Impacto frontal sin refuerzos del Modelo 2 del go-kart híbrido .....	41
Figura 3.3.Impacto frontal con refuerzo del Modelo 2 del go-kart híbrido.....	42
Figura 3.4.Dezplazamiento del centro de gravedad del Modelo 2 del go-kart híbrido .....	43
Figura 3.5.Impacto posterior del Modelo 2 del go-kart híbrido.....	44

Figura 3.6. Deformación por impacto posterior del Modelo 2 del go-kart híbrido .....	44
Figura 3.7 .Esfuerzos generados en el impacto lateral del Modelo 2 del go-kart híbrido .....	45
Figura 3.8. Esfuerzo máximo Modelo 2 del go-kart híbrido .....	46
Figura 3.9. Carrocería base del go-kart Modelo 2 .....	49
Figura 3.10. Carrocería propuesta 2 del go-kart Modelo 2 .....	50
Figura 3.11. Carrocería propuesta 3 del go-kart Modelo 2 .....	50
Figura 3.12. Carrocería propuesta 4 del go-kart Modelo 2 .....	51
Figura 3.13. Carrocería propuesta 5 del go-kart Modelo 2 .....	51
Figura 3.14. Área frontal del go-kart Modelo 2 .....	52
Figura 3.15. Vector velocidad de la carrocería propuesta .....	55
Figura 3.16. Presión de contorno de la carrocería propuesta 5.....	56
Figura 3.17. Escala residual de convergencia de la carrocería 5 .....	57
Figura 5.1. Perfiles circulares .....	71
Figura 5.2. Perfiles cuadrados.....	72
Figura 5.3. Plancha laminada en frío .....	73
Figura 5.4. Pintura anticorrosiva.....	74
Figura 5.5. Pintura de acabado .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor de la ponderación por cada consideración propuesta .....	18
Tabla 2. Matriz de decisión.....	19
Tabla 3. Pesos de los componentes del go-kart, incluyendo al piloto .....	20
Tabla 4. Propiedades Mecánicas del Acero ASTM-A500.....	25
Tabla 5. Fuerzas de impacto y número de gravedad .....	38
Tabla 6.Fuerzas de cargas dinámicas y número de gravedad .....	39
Tabla 7.Secciones estructurales seleccionadas para la simulación .....	40
Tabla 8.Valores de los factores para el análisis de fatiga.....	47
Tabla 9.Valores del área frontal por carrocería .....	53
Tabla 10.Valores de la fuerza aerodinámica de arrastre.....	53
Tabla 11.Coeficientes aerodinámicos.....	54
Tabla 12.Costo de materiales.....	58
Tabla 13.Costos de mano de obra .....	58
Tabla 14.Area de carrocería .....	59
Tabla 15.Costo por pintura .....	61
Tabla 16.Costos .....	61
Tabla 17 .Características de los componentes del diseño .....	87

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Vista del modelo base y el modelo rediseñado.
PLANO 2	Vista explosionada del go-kart rediseño.
PLANO 3	Soporte de la celda de combustible.
PLANO 4	Plano de construcción 1 de soporte de la celda de combustible.
PLANO 5	Plano de construcción 2 de soporte de la celda de combustible.
PLANO 6	Soporte de las baterías.
PLANO 7	Plano de construcción del soporte de las baterías.
PLANO 8	Plano de construcción del soporte del cilindro.
PLANO 9	Carrocería de la celda de combustible.
PLANO 10	Carrocería de la celda de combustible 1.
PLANO 11	Carrocería de las baterías.
PLANO 12	Carrocería de las baterías 1.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental generado por las emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso de motores a combustión interna, y los efectos causados sobre la salud en los seres vivos, han motivado al desarrollo de nuevos tipos de sistemas de propulsión que empleen energías renovables, por lo cual surge el proyecto de reemplazar el motor de combustión interna de un go-kart de competencia, por un motor eléctrico que funcione con celdas de combustible mediante el uso de hidrógeno como fluido de trabajo, donde cada componente del nuevo sistema híbrido fue seleccionado en un estudio previo(ver apéndice B).

### 1.1 Descripción del problema

En el Ecuador, por medio de sus universidades y politécnicas, se está promoviendo el uso de energías renovables, con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental e incentivar el consumo de este tipo de energías mediante la aplicación de nuevos proyectos energéticamente sustentables.

En la actualidad se está desarrollando mediante la ayuda de dos universidades y una politécnica, un proyecto sobre el uso del hidrógeno como combustible, por lo cual se propone el rediseño de un prototipo de vehículo de go-kart, con el fin de reemplazar el sistema de propulsión, de un motor de combustión interna a un motor eléctrico, que opere con el uso de celdas de combustible.

Debido a la inexistencia de un go-kart exclusivamente para el uso de celdas de combustibles, se requiere realizar adaptaciones mecánicas a un chasis de go-kart convencional, donde dichas adaptaciones deben realizarse para los nuevos requerimientos de carga, que modifican el comportamiento estructural del chasis, lo que implica la necesidad de realizar un análisis estructural, con la finalidad de evitar posibles fallas en las uniones soldadas que atenten contra la seguridad del piloto.

El rediseño de la estructura cambia la forma del go-kart, por lo cual también surge la necesidad de realizar una nueva carrocería, la cual debe ser lo más aerodinámica

posible, con la finalidad de disminuir el impacto de la fuerza de aerodinámica de arrastre que causa la reducción de la eficiencia del motor eléctrico.

En el presente trabajo se propone realizar el rediseño de la carrocería y chasis de un go-kart, tomando en consideración parámetros estructurales, aerodinámicos y funcionales mediante el cumplimiento de las exigencias técnicas del reglamento de la CIK-FIA (Comisión Internacional de Karting- Federación internacional de automovilismo).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Rediseñar el chasis y la carrocería de un go-kart para cumplir con los requerimientos aerodinámicos y de resistencia mecánica utilizando los reglamentos de la CIK-FIA, y usando factores de seguridad en los análisis estructurales.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el rediseño del chasis y carrocería de un go-kart para la implementación del nuevo sistema de propulsión híbrida.
- Realizar el análisis estructural del chasis mediante el análisis de elementos finitos utilizando el software de análisis estructural llamado ANSYS, y determinar el comportamiento aerodinámico por medio del software ANSYS FLUENT.
- Analizar los costos del rediseño Chasis-Carrocería.
- Diseñar los planos de fabricación del Chasis-Carrocería del go-kart.

## **1.3 Marco teórico**

Los go-kart son vehículos de competencia que funcionan, por lo general, con un motor de dos tiempos a combustión interna, son ligeros y alcanzan velocidades de hasta 156km/h (Vroomkart, 2015). Estos vehículos solo pueden rodar en pistas



denominadas kartódromos, que poseen una distancia de 800 a 1700 m de longitud y un ancho entre 7 a 12 m, aproximadamente (CIK-FIA, 2015).

### Componentes de un go-kart

El go-kart es un vehículo que posee un sistema mecánico muy sencillo. Los principales elementos que lo conforman son los siguientes (ver Figura 1.1):

- Chasis
- Carrocería
- Motor
- Columna de dirección



**Figura 1.1. Componentes de un go-kart**

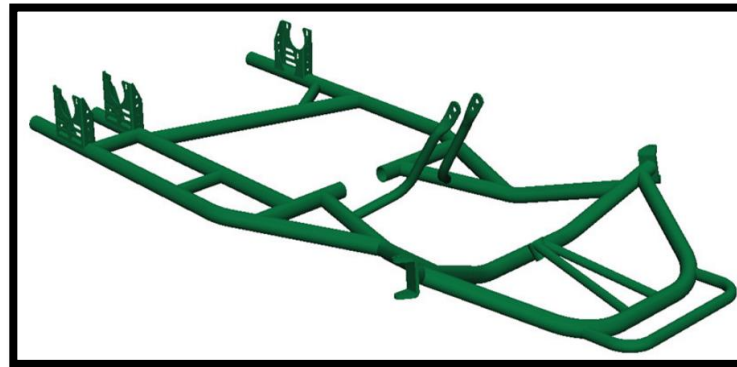
Fuente: JoyRide, 2015

### Chasis

Es una estructura tubular que sostiene la mayoría de los componentes del go-kart, está diseñada para soportar cargas dinámicas generadas por impactos en accidentes, así como también producidas por la aceleración o desaceleración en movimientos lineales o curvos durante el circuito de la competencia. El chasis debe cumplir con normas de seguridad y debe estar homologado por la CIK-FIA, para ser aceptado en los diferentes campeonatos por categorías. Se puede mencionar

algunas casas comerciales como Tonny Kart, Arrow, Intrepid Kart, Birel, CRG, Sodi Kart, entre otras.

En la Figura 1.2 se muestra un chasis de go-kart, marca Tonny Kart, homologado por la CIK-FIA. Los modelos pueden variar según la casa comercial que los manufacture.

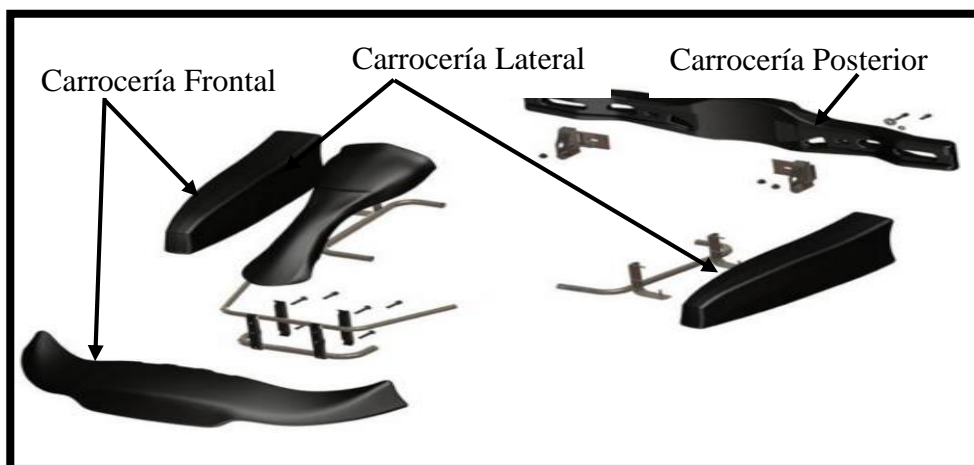


**Figura 1.2 .Chasis Tony Kart Extreme**

Fuente: 3dcadbrowser, 2015

### **Carrocería**

En la Figura 1.3 se observa una carrocería típica de un go-kart, considerada como una de las partes más importantes del vehículo debido a que tiene la función de proteger al conductor y reducir las fuerzas aerodinámicas. La carrocería se encuentra alojada en el chasis mediante soportes.



**Figura 1.3 Carrocería Merlín**

Fuente: Franklin kart,2015

## Motor

Es el elemento motriz, que permite el movimiento al go-kart. Normalmente, son motores de combustión interna de dos tiempos, pero debido al impacto ambiental que estos generan, se está experimentando con motores eléctricos accionados por batería, como en el presente trabajo, donde la energía eléctrica se genera mediante el uso de celdas de combustible.

En la Figura 1.4 se observa un motor de combustión interna marca Rotax de dos tiempos, muy utilizado en la mayoría de los circuitos de Karting.



**Figura 1.4. Rotax 125 DD2**

Fuente: 2015. Recuperado de [http:// www.drsrcing.com](http://www.drsrcing.com)

En la Figura 1.5 se observa un motor eléctrico Motenergy ME 1003, de corriente continua, seleccionado para el sistema de propulsión del presente proyecto.

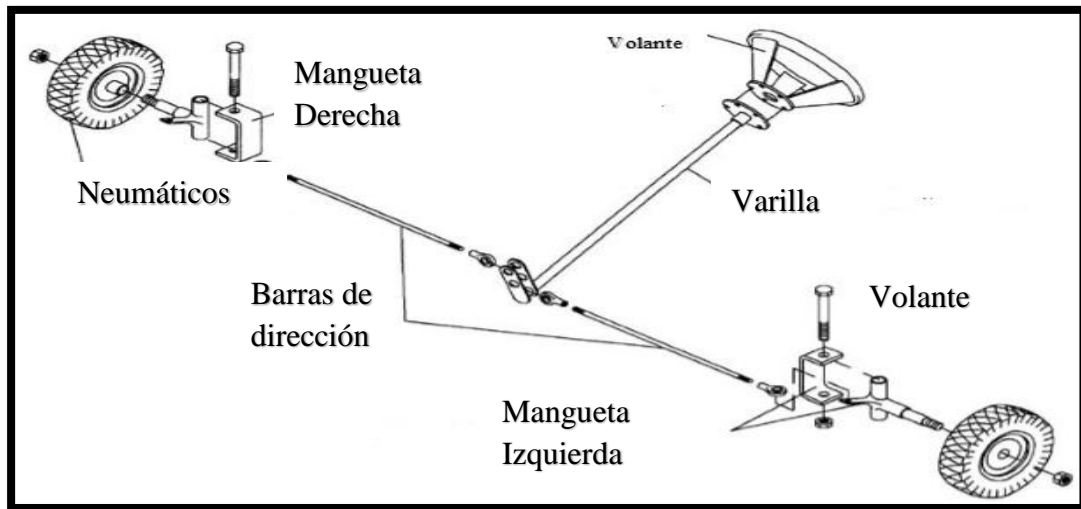


**Figura 1.5. Motenergy ME1003 PMDC Motor**

Fuente: 2015. Recuperado de [http:// www. Electricsport.com](http://www.Electricsport.com)

## Dirección

Es el conjunto de elementos que permiten direccionar el go-kart a voluntad del piloto, ya sea en un movimiento rectilíneo o curvilíneo. En la Figura 1.6 se puede apreciar los principales elementos de la dirección, que se dividen en columna de dirección (volante, varillas y barras de dirección), y manguetas.



**Figura 1.6. Sistema de dirección de un go-kart**

Fuente: 2015. Recuperado de [http:// www. educagratis.org](http://www.educagratis.org)

#### **1.4 Cinética del impacto automovilístico**

El alto riesgo de sufrir un accidente en los vehículos de transporte y competencia, genera un riguroso estudio de la resistencia mecánica en la estructura de chasis y carrocería, por lo cual la ENCAP (European New Car Assessment Programme), formada por varios gobiernos europeos, organizaciones del sector automotriz y FIA (Federación Internacional de Automovilismo), proponen realizar varios tipos de ensayo de impactos, siendo los más críticos los siguientes:

##### **Ensayo de impacto frontal**

El vehículo colisiona contra una pared o muro de forma frontal, donde la energía de impacto depende de la aceleración máxima que el vehículo alcanza en el momento de la colisión. Las deformaciones en este tipo de ensayos se generan lejos de la zona de interacción entre ocupantes y habitáculo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Espacio de un vehículo destinado a ser ocupado por el conductor y los viajeros.

### Ensayo de impacto lateral

El vehículo procede a ser impactado por una carretilla móvil por cada uno de sus lados. La aceleración máxima antes de la colisión determina la máxima fuerza de impacto. Las deformaciones de este tipo de ensayos se generan en la zona de interacción entre ocupantes y habitáculo.

### Ensayo de impacto posterior

Una barrera móvil es impactada en la parte posterior del vehículo, a una velocidad controlada, donde la fuerza de impacto se rige por la aceleración de la barrera móvil.

En la Figura 1.7 se observa el comportamiento del piloto en cada una de las colisiones de ensayo, a las cuales es sometido el vehículo.

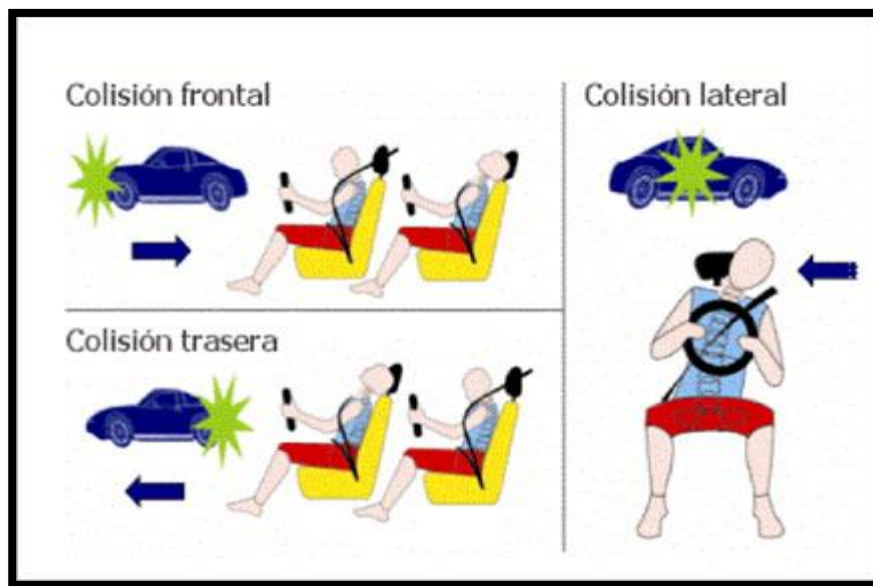


Figura 1.7. Tipos de impactos

Fuente: Jordá, 2015

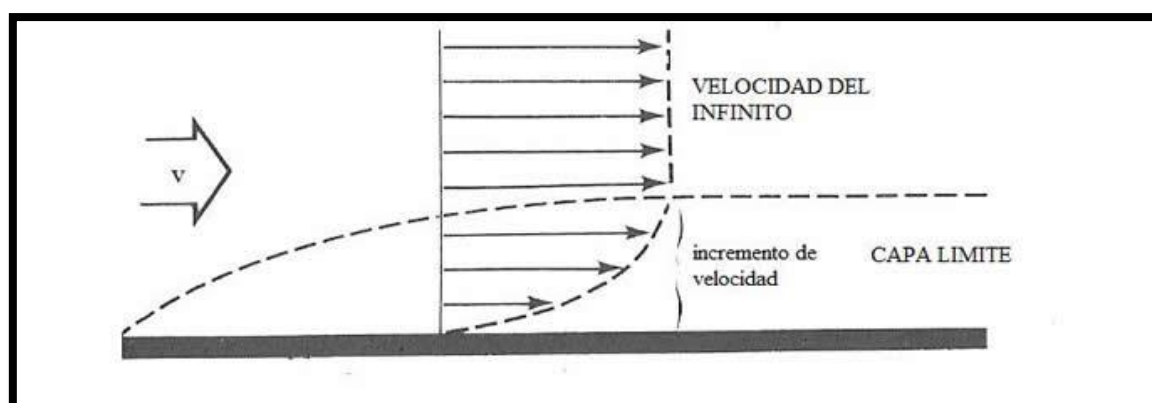
## 1.5 Aerodinámica de vehículos

La fuerza generada por la resistencia al viento en el desplazamiento del vehículo se denomina fuerza aerodinámica. Los factores principales que afectan a esta fuerza son la densidad del aire, la velocidad del vehículo, el coeficiente aerodinámico y la superficie frontal del vehículo. La densidad del aire, debido a sus pequeñas variaciones, se puede considerar constante, pero un ligero aumento en la velocidad del vehículo produce un incremento al cuadrado de la misma, causando un rápido

aumento de la fuerza aerodinámica. La vista frontal del vehículo, que es la zona que define la cantidad de volumen de aire desplazado, abarca toda el área del go-kart en su vista proyectada. El coeficiente aerodinámico es adimensional y está regido por la forma de la carrocería.

Para analizar el comportamiento aerodinámico, se debe considerar la mecánica de fluidos, que estudia los fenómenos de movimientos relativos del flujo de un fluido gaseoso (aire), sobre una superficie sólida (carrocería del vehículo), para la determinación de fuerzas y presiones.

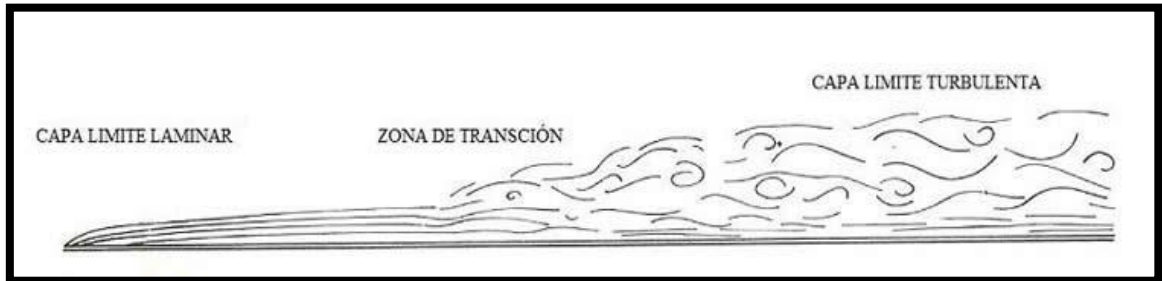
El contacto entre la superficie del vehículo y el aire forma una capa límite, generada por un flujo turbulento o laminar, que depende principalmente de la viscosidad del fluido. Un flujo laminar es el movimiento de las partículas de aire en forma ordenada, cuya trayectoria está bien definida y se representan en líneas o en capas; en cambio un flujo turbulento no posee una trayectoria definida, por lo cual genera un movimiento errático en el desplazamiento de sus partículas, y la viscosidad del fluido es despreciable. En la Figura 1.8 se observa que la velocidad del aire en la superficie de contacto es cero y es máxima en el punto más alto, donde la zona entre la velocidad cero y la velocidad del infinito forma la capa límite.



**Figura 1.8. Formación de la Capa Límite**

Fuente: García, 2015

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de la capa límite mediante un flujo laminar, de transición (laminar-turbulento) y turbulento (ver Figura 1.9).



**Figura 1.9. Comportamiento de la capa límite según el tipo de flujo**

Fuente: Oni, 2015

La manipulación de la forma de la carrocería permite disminuir el coeficiente aerodinámico del vehículo, generando menos carga aerodinámica y mejorando prestaciones como estabilidad, bajo consumo de combustible y mayor velocidad. El diseño de la carrocería debe ser suave, sin aristas, con un redondeado frontal y trasero para definir mejor la trayectoria del viento, como se puede observar en la Figura 1.10.



**Figura 1.10. Comportamiento del flujo del aire en un Mercedes CLA.**

Fuente: OmniAuto, 2015



## 1.6 Celda de combustible, batería y motor de combustión interna

En la Figura 1.11 se observa que las celdas de combustible pueden operar indefinidamente siempre que estén abastecidas de hidrógeno, siendo uno de los elementos más abundantes en el planeta tierra. Las celdas de combustibles no necesitan de recarga de energía como una batería convencional, su sistema de operación no emite gases tóxicos al ambiente, y su eficiencia es mucho mayor que un motor de combustión interna debido a que no es una máquina térmica, por lo cual no está regida por el ciclo térmico de Carnot y permite la recuperación del combustible no utilizado en el proceso de generación de energía eléctrica.

La única desventaja que posee con respecto a otras tecnologías de generación eléctrica es la vida útil de las celdas, y el alto costo de su implementación.

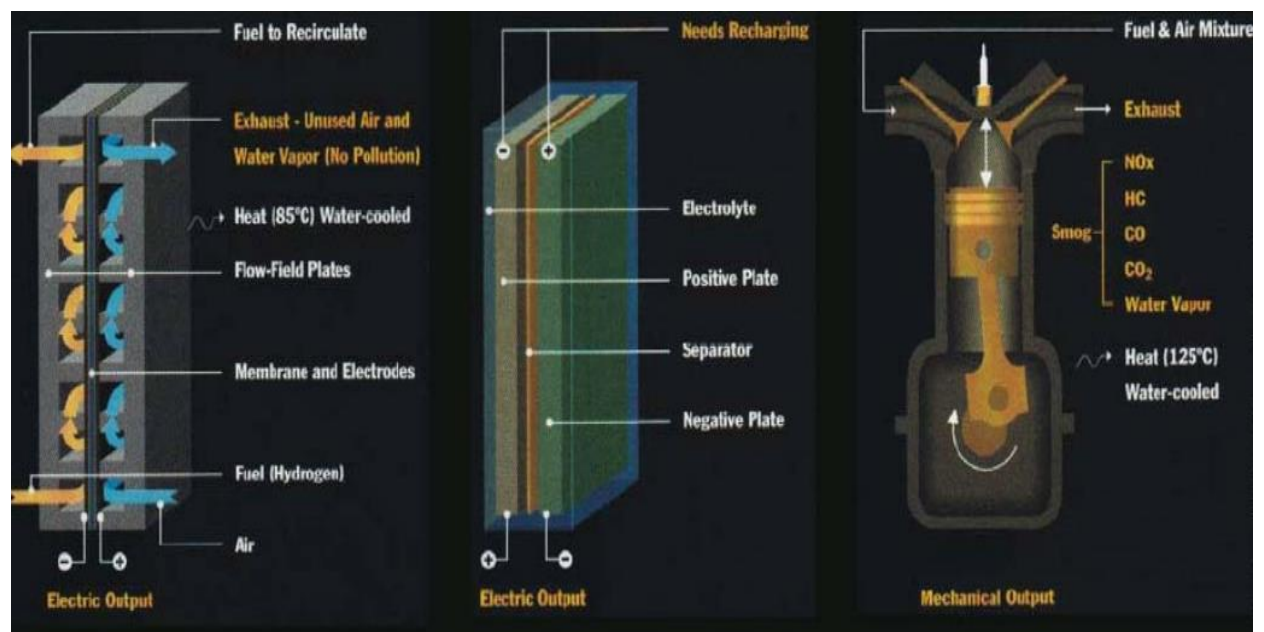


Figura 1.11. Sistemas de generación de energía

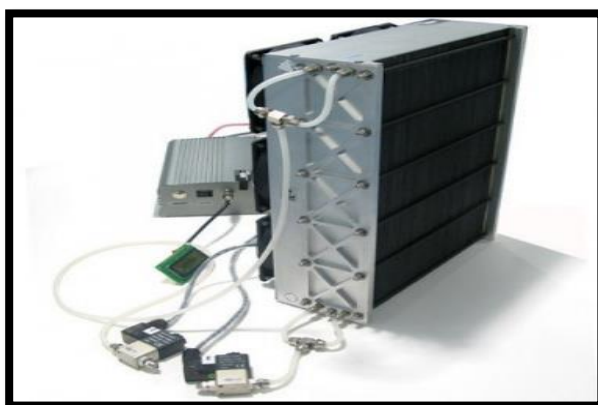
Fuente: Ávila, 2004

## 1.7 Sistema de propulsión

El sistema de propulsión del go-kart consta de una celda de combustible Horizon DE 3000w tipo PEM, que se puede observar en la Figura 1.12, para la generación de energía eléctrica, que mediante el uso de un sistema de control electrónico permitirá



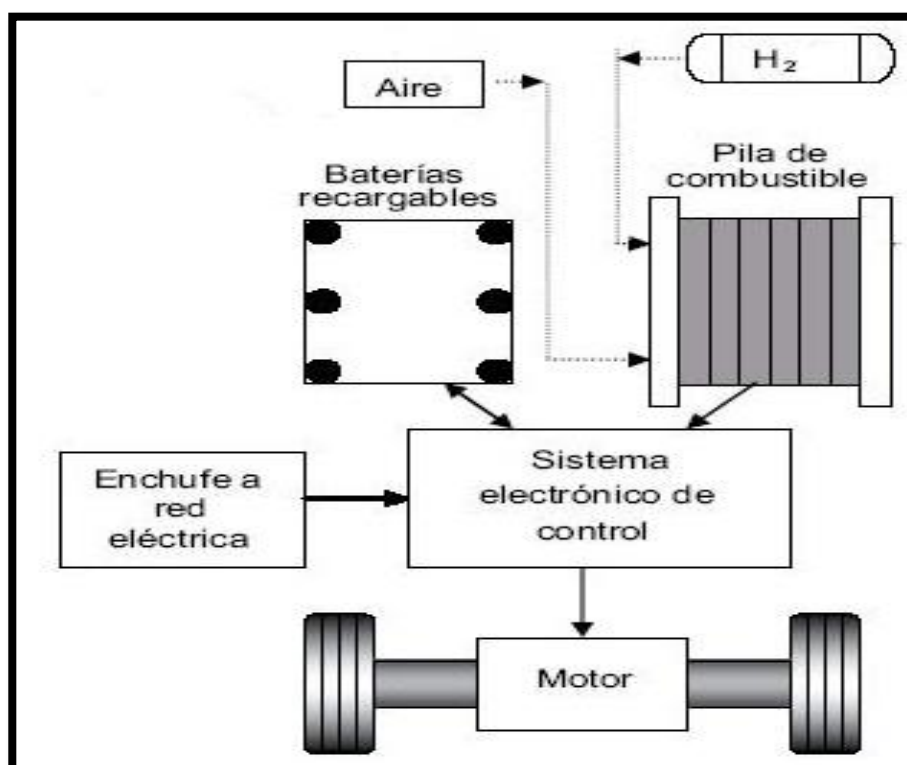
la recarga de las baterías y la alimentación de forma continua al motor, para generar la suficiente fuerza motriz que permita mantener el vehículo en movimiento.



**Figura 1.12. Celda de combustible tipo PEM HORIZON 3000w**

Fuente: 2015. Recuperado de [http:// fuelstore.com](http://fuelstore.com)

En la Figura 1.13 se aprecia el ingreso del hidrógeno y aire a la celda de combustible, como paso inicial para el funcionamiento del sistema de propulsión.



**Figura 1.13 Sistema de funcionamiento del go-kart con celdas de combustible**

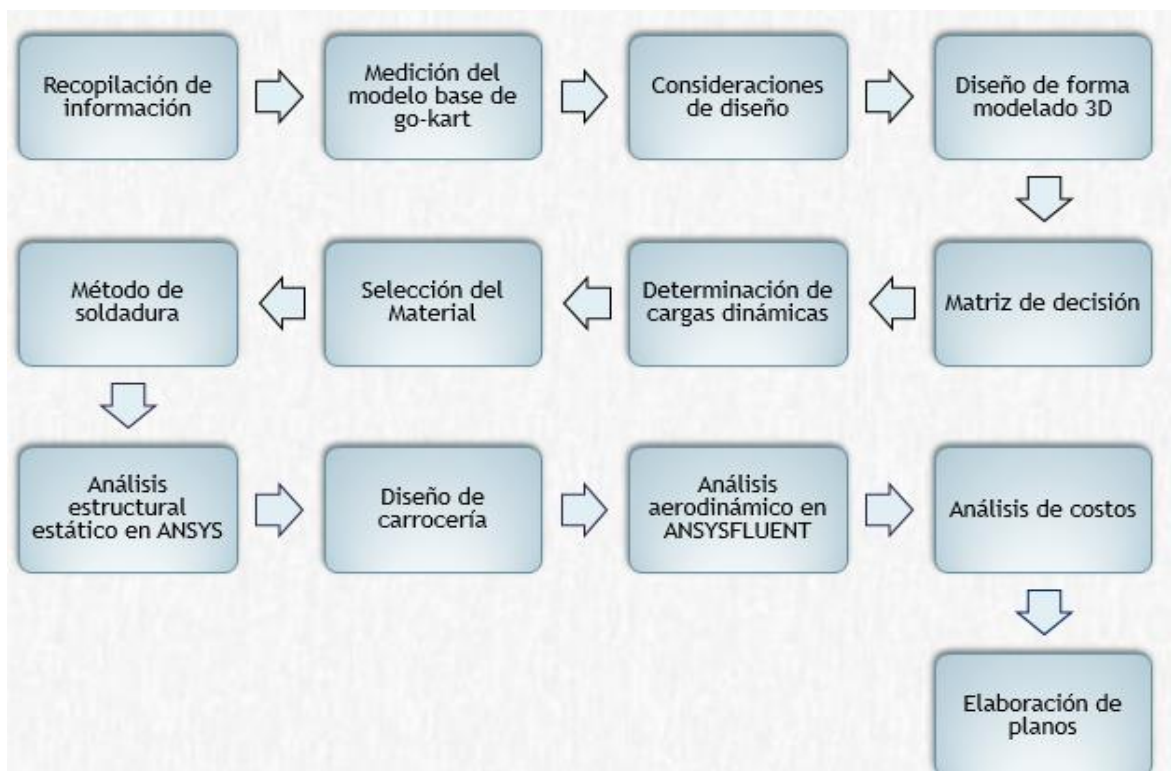
Fuente: Suárez, 2015

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

En el presente Capítulo se explica la metodología de diseño a seguir para el desarrollo del proyecto, tomando en consideración parámetros de diseño y procedimientos de análisis estructural. Una matriz de decisión permitirá seleccionar la alternativa más idónea para el estudio estructural mediante el uso de ANSYS APDL, para luego realizar el análisis aerodinámico con ANSYSFLUENT.

En la Figura 2.1 se observa el esquema de la metodología desarrollada en el presente proyecto, la cual incluye la recopilación de la información necesaria para el desarrollo del presente proyecto, modelos básicos, parámetros de diseño y normas o reglamentos que rigen el rediseño.



**Figura 2.1 .Diagrama de flujo de la metodología de diseño**

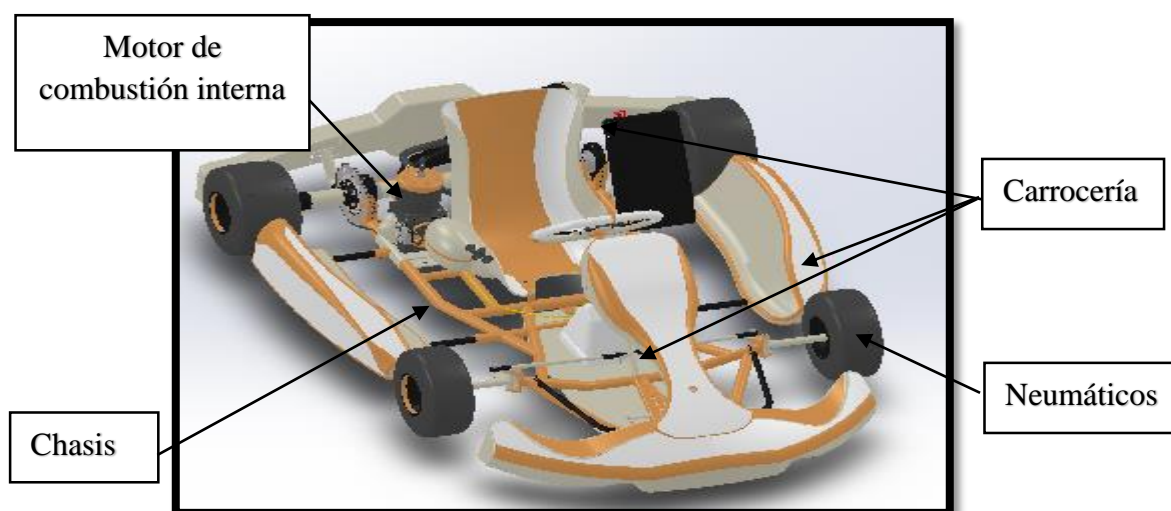
Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la información necesaria, se definen los requerimientos que rigen el rediseño del go-kart propuesto mediante el uso del reglamento de la CIK-FIA. Luego, se procede a seleccionar el tipo de chasis base (Tony Kart Extreme), para tomar las respectivas medidas del mismo y proponer cuatro modelos de forma en 3D, que muestren las alternativas de distribución de la carga mediante el uso de soportes. Estos modelos de forma serán evaluados mediante una matriz de decisión, para obtener el modelo óptimo a fin de realizar el análisis estructural y aerodinámico.

Con el diseño de forma seleccionado, se procede a calcular las cargas dinámicas y se determina el tipo de material que se va a utilizar en el rediseño, además del tipo de soldadura para realizar el análisis estructural estático del chasis rediseñado. Cuando el chasis cumpla con las condiciones estructurales de diseño, se procederá a realizar el rediseño de la carrocería mediante un análisis aerodinámico, para luego realizar un análisis de costos del rediseño. Finalmente, se elaboran los planos de construcción del go-kart.

## 2.1 Modelo asignado e investigación de componentes

Para el rediseño del chasis se utiliza un modelo base de un go-kart con motor de combustión interna, como se observa en la Figura 2.2, con el fin de obtener las medidas y proceder a realizar el respectivo dimensionamiento.



**Figura 2.2. Modelo base de un go-kart de competencia**

Fuente: Marchiorato, 2013

Usando el software SolidWorks, se realizó el respectivo modelado en 3D del go-kart básico, con los componentes existentes, el nuevo sistema de propulsión híbrida y las correspondientes estructuras de soporte.

## **2.2 Consideraciones de diseño**

El rediseño del chasis-carrocería está regido por las consideraciones de diseño de los reglamentos o normas, y los requerimientos del diseñador.

### **Reglamentos o normas**

El rediseño debe cumplir con el reglamento técnico 2015 de la CIK-FIA, cuyas reglas son las siguientes:

- El material asignado debe ser acero estructural o aleación estructural, respondiendo a la clasificación ISO 4948 y las designaciones ISO 4949.
- El chasis debe ser lo suficientemente resistente para absorber las cargas producidas cuando el kart está en movimiento.
- Las partes auxiliares del chasis deben estar sólidamente fijadas.
- Los parachoques delanteros, traseros y laterales deben ser de acero magnético.
- No se debe cortar ningún elemento de la carrocería.
- La carrocería no puede estar constituida por ningún material no metálico, fibra de carbono, kevlar (fibra de alta resistencia), o fibra de vidrio porque están prohibidos.
- Cualquier tipo de suspensión está prohibida.
- El asiento debe estar concebido de manera tal que el piloto se encuentre eficazmente encajado en el mismo, a fin de evitar deslizamientos delanteros o laterales en curvas o al frenar.
- La flexibilidad del chasis corresponde a los límites de elasticidad de la construcción tubular.
- Aleaciones de acero cuyo contenido de masa, de al menos un elemento de aleación, sea menor al 5% están prohibidas.

- Todas las partes del chasis deben estar sólidamente ensambladas entre sí al chasis tubular.
- Las conexiones articuladas están permitidas sólo para los soportes convencionales del porta mangueta y pivote de dirección.
- No se permite equipamiento de titanio en el chasis del go-kart.
- Los pesos por categoría son los mínimos absolutos.

### **Consideraciones del diseñador**

- El centro de gravedad del vehículo rediseñado se mantendrá o variará poco con respecto a un go-kart con motor de combustión interna.
- El rediseño de la nueva estructura se optimizará en su peso, para obtener el mayor rendimiento del vehículo.
- La carrocería debe ser lo más aerodinámica posible, para reducir la carga producida por el viento.
- Para los respectivos ensayos de la estructura rediseñada se escogerá un factor de seguridad, según el criterio del diseñador, debido a que no existe una normativa que indique valores de esfuerzos y deformaciones permisibles.
- El material usado para el rediseño se encontrará en el mercado nacional y debe ser de bajo costo.
- El aspecto final del go-kart debe ser estético.
- La estructura de los soportes se diseñará con el fin de proteger la vida del piloto en todo momento.

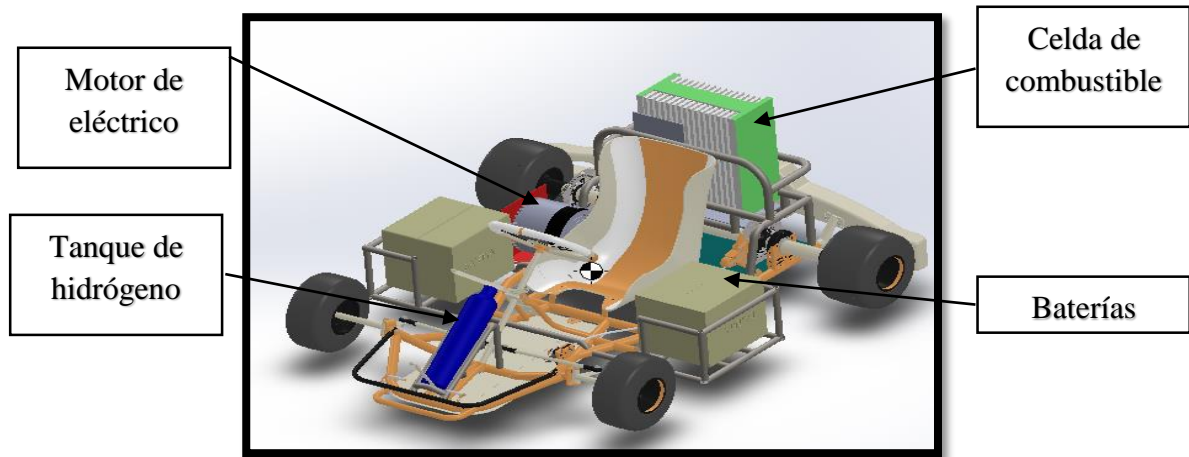
### **2.3 Diseño de forma**

El diseño de forma para el nuevo sistema de propulsión, está regido por la ubicación de los componentes principales y de sus respectivos soportes, donde los componentes principales incluyen una celda de combustible, 4 baterías, un motor y tanque de hidrógeno. Se proponen 4 modelos de forma, donde se varían las ubicaciones de los componentes principales y los diseños de sus respectivos soportes, con la finalidad de seleccionar el mejor diseño de forma (ver sección 2.4),

mediante una matriz de decisión. A continuación se muestran cada uno de los modelos de forma planteados.

### Modelo 1

En este modelo se coloca la celda de combustible de forma vertical para evitar realizar extensiones en el chasis. Las 4 baterías son colocadas por pares en ambos lados por medio de un soporte, para mantener el centro de gravedad lo más bajo posible. El tanque de hidrógeno es colocado en la parte delantera del go-kart, considerando su facilidad de manipulación y su correcta distribución de pesos, como se observa en la Figura 2.3

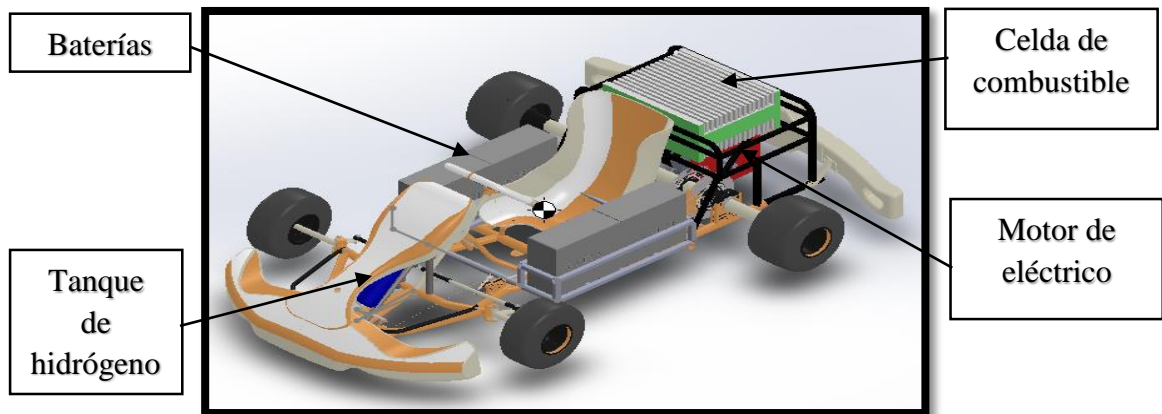


**Figura 2.3. Alternativa 1 de diseño de forma de un go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

### Modelo 2

En este modelo se coloca la celda de combustible de forma horizontal, con las baterías situadas longitudinalmente, el tanque de hidrógeno colocado en la parte frontal, y el motor en la parte posterior (ver Figura 2.4).

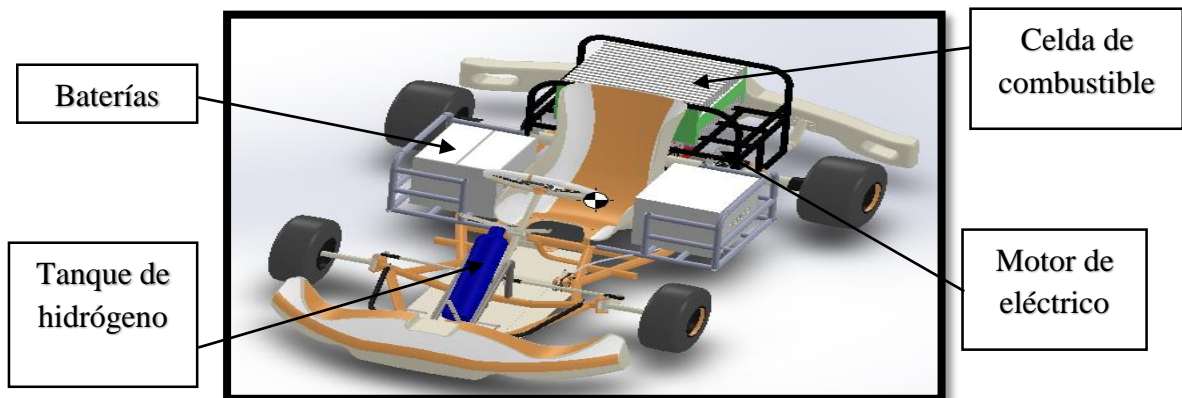


**Figura 2.4 Alternativa 2 de diseño de forma de un go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

### Modelo 3

En este modelo se mantiene la posición horizontal de la celda de combustible con el motor en la parte posterior, sujeto a la estructura del soporte de la celda. El soporte de las baterías ya no es una sola estructura, sino que son dos estructuras individuales. El tanque de hidrógeno permanece con la ubicación propuesta en el Modelo 1 (ver Figura 2.5).



**Figura 2.5. Alternativa 3 de diseño de forma de un go-kart híbrido**

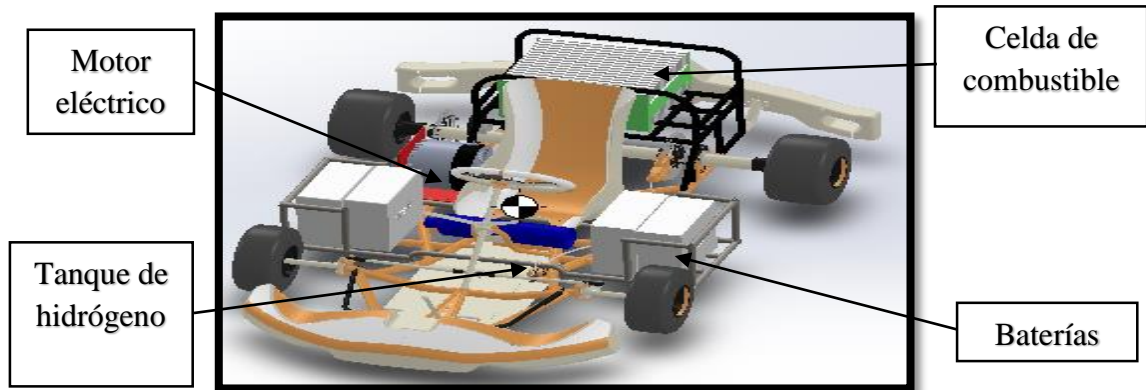
Fuente: Elaboración propia

### Modelo 4

En la Figura 2.6 se observa que el tanque de hidrógeno se encuentra en posición horizontal, debajo del sistema de dirección, el motor está ubicado en el mismo espacio que ocupaba el motor de combustión interna, los soportes de las baterías



están diseñadas de manera similar al Modelo 1, y la celda de combustible está colocada de forma horizontal, como en el Modelo 3.



**Figura 2.6. Alternativa 4 de diseño de forma de un go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

## 2.4 Matriz de decisión

Para la selección del modelo óptimo, se compara cada una de las alternativas propuestas debido a las consideraciones más importantes que van a regir el rediseño, asignándoles un valor porcentual. Por un lado, se designó un valor de 30% al peso de la estructura, ya que éste no debe ser mayor a 250 kg, considerando proyectos similares y la integridad física del piloto; por otro lado, se tomó una ponderación del 20% a la ergonomía que debe tener el modelo rediseñado, para evitar la fatiga e incomodidad del piloto en la conducción, debido a la disminución del espacio ocupado, y finalmente una ponderación del 10% a consideraciones de fabricación y estética. Estos criterios son mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1. Valor de la ponderación por cada consideración propuesta**

Seguridad	Peso	Ergonomía	Estética	Fácil Fabricación
<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>
<b>1-10: Nodeseable</b>	1-10: Nodeseable	1-8: incómodo	1-2: Mala	1-2: Mala
<b>11-20: Poco deseable</b>	11-20: Poco deseable	9-15: Poco cómodo	3-5: Regular	3-5: Regular
<b>21-39: Deseable</b>	21-39: Deseable	15-19: cómodo	6-9: Muy Buena	6-9: Muy Buena
<b>30: Óptima</b>	30: Óptimo	20: muy cómodo	10: Excelente	10: Excelente

Fuente: Elaboración propia



Una vez revisados los criterios de ponderación para cada una de las alternativas propuestas se procede a calificarlas, con el fin de obtener el modelo de forma óptimo mediante una matriz decisión, donde el modelo ganador es el que obtenga el mayor valor porcentual (ver Tabla 2).

**Tabla 2. Matriz de decisión**

<b>Criterio</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Peso</b>	<b>Ergonomía</b>	<b>Estética</b>	<b>Fácil Fabricación</b>	<b>Total</b>
<b>Alternativas</b>	30%	30%	20%	10%	10%	100%
<b>Modelo1</b>	11%	20%	18%	7%	9%	65%
<b>Modelo2</b>	25%	25%	12%	7%	9%	78%
<b>Modelo3</b>	23%	18%	15%	7%	5%	68%
<b>Modelo4</b>	25%	20%	12%	5%	7%	69%

Fuente: Elaboración propia

El Modelo 2 (Figura 2.4) posee un mayor porcentaje de calificación debido que proporciona mayor seguridad en el diseño del go-kart, que viene dado principalmente por la ubicación de la celda de combustible en forma horizontal, lo que otorga mayor seguridad contra la colisión del piloto en comparación con una ubicada verticalmente, ya que evita que la cabeza impacte directamente con la misma. Otro aspecto de seguridad lo constituye el arreglo de las baterías de forma longitudinal por cada lado del vehículo, lo que permite que exista una mayor área de impacto lateral, con el fin de disminuir la presión de impacto y se pueda disipar en gran medida la energía generada. La calificación del peso del go-kart se basó principalmente en las estructuras de soporte diseñadas; para esto se determinó el peso usando el programa SolidWorks, donde se asignaron los valores de cada uno de los materiales del go-kart y de los soportes diseñados a cada uno de los modelos de forma propuestos, no sobrepasando el límite de 250 kg, incluyendo el peso del piloto. Este último parámetro es muy relevante en el desarrollo del proyecto porque afecta directamente al rendimiento del vehículo.

El parámetro de ergonomía se refirió al espacio que tiene el piloto, tanto para entrar o salir del vehículo como para estar cómodamente dentro del mismo. El valor dado a la estética del carro fue similar para todas las alternativas debido a las pocas

variantes existentes entre los modelos. La fácil fabricación se calificó según la complejidad de los soportes diseñados para cada modelo propuesto.

## 2.5 Análisis de cargas

Para el análisis de cargas se toman en consideración los diferentes componentes designados para la implementación del nuevo sistema de propulsión del go-kart (ver Apéndice B).

Las cargas del vehículo, en su posición de reposo como en su desplazamiento, vienen dadas por:

**Cargas estáticas:** Se generan por el propio peso de la estructura del chasis, peso del piloto y los demás elementos que van colocados en el chasis. En la Tabla 3 se observa la masa total parcial del sistema del go-kart más el piloto, debido a que la masa total de la estructura está por definirse en el diseño de los soportes y en el análisis estructural.

**Tabla 3. Pesos de los componentes del go-kart, incluyendo al piloto**

Componentes	Masa(Kg)
Bateria4 x GBS 12V (4-Cell) 100Ah LiFeMnPO4	51,2
Elektromotus EMUS 16-Cell BMS	2,00
ELCON PFC1500 Charger 1.5kW, 24-120VDC	6,33
Crydom Solid State Relay 25A 240V DC IN	0,740
Lenovo A1000 7" Portable	3,41
Programable DC Electronic Loads 8510	14,0
VBOX Mini 10Hz GPS Data Logger	0,230
<b>Partes de motor</b>	
Motenergy ME1003 PMDC Motor	17,7
Controlador ALLTRAX	2,9
Curtis PB8 Pot Box	0,280
<b>Celda de combustible</b>	
Horizon 3000 Pem FUEL CELL	15,2
Albright Estilo Sw180 Solenoide / Contactor	0,680
Cilindro de hidrógeno	6,50
<b>Peso total de componentes</b>	119
<b>Peso del piloto</b>	75,0
<b>Peso total del go-kart+piloto<sup>2</sup></b>	195

Fuente: Elaboración propia

<sup>2</sup> El peso total está dado por las cargas más representativas del proyecto, no están incluidas las cargas de las estructuras rediseñadas.

**Cargas dinámicas:** Se generan por la inercia del piloto y del vehículo al acelerar o desacelerar en movimiento lineal o rotacional. Estas pueden ser:

### **Carga por aceleración brusca**

Viene dada por la aceleración, masa total del vehículo con el piloto, y el factor de carga.

La aceleración máxima (brusca) se determina mediante la expresión matemática:

$$a_b = \frac{v_f - v_o}{t} \quad (1)$$

*Donde;*

$a_b$  = *aceleración brusca*

$v_f$  = *velocidad final*

$v_o$  = *velocidad inicial*

$t$  = *tiempo*

Donde la velocidad final (máxima), alcanzada en la aceleración brusca corresponde a 50 km/h, y el tiempo transcurrido en llegar esta velocidad al partir del reposo (0 km/h) es 9.72 segundos. Estos datos de velocidad y tiempo, fueron obtenidos mediante un estudio de simulación realizado por ERGOM (Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Automotriz del Azuay), con el motor eléctrico Motenergy ME1003 PMDC, utilizando la herramienta de SIMULINK, del software de análisis matemático MATLAB.

La carga generada por la aceleración brusca se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$F_{ab} = m_t * a_b * \gamma Q \quad (2)$$

*Donde;*

$F_{ab}$  = *carga de aceleración brusca*

$m_t$  = *masa total*

$\gamma Q$  = *factor de carga dinámico*

El factor de carga dinámico representa un coeficiente de seguridad adoptado por la carga dinámica, similar al coeficiente utilizado en el diseño estructural, definido en 1.5 (Narvaez, 2012).

### **Carga por frenado brusco**

Esta carga se determina con las mismas expresiones matemáticas y con el mismo procedimiento que la aceleración brusca, considerando la velocidad más crítica de análisis del vehículo cuando viaja a 50 Km/h (ERGOM), y el tiempo mínimo requerido para que se detenga completamente es de 5 segundos (Narvaez, 2012).

### **Carga por máxima velocidad en curva**

Al ingresar a una curva a máxima velocidad, el go-kart puede llegar a volcarse debido a la influencia de la fuerza centrífuga. Para lo cual se procede a determinar la carga por aceleración máxima normal, usando la siguiente expresión:

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Donde;

$a_n$  = *aceleración normal*

$v$  = *velocidad máxima en curva*

$R$  = *radio de curvatura*

Donde la velocidad máxima que puede desarrollar, sin volcarse en una curva, está dada por:

$$v = \sqrt{u_d * R * g} \quad (4)$$

Remplazando la expresión 4 en 3 se obtiene:

$$a_n = \frac{[\sqrt{u_d * R * g}]^2}{R}$$
$$a_n = u_d * g \quad (5)$$

$u_d$  = *coeficiente de rozamiento dinámico*

$g$  = *gravedad*

Una vez obtenida la aceleración, se determina la máxima carga en curva, utilizando la ecuación 2.

## 2.6 Cargas dinámicas en ensayos de impacto

Debido a la complejidad del análisis dinámico del vehículo, y a las investigaciones previas realizadas para este caso de análisis, se realiza una equivalencia estática de todas las cargas dinámicas de impacto, con el fin de realizar un análisis puramente estático, donde las cargas se determinan mediante la siguiente expresión matemática:

$$F = \left( \frac{m_t \cdot v_f}{\Delta T} \right) \quad (6)$$

*Donde;*

$\Delta T =$  tiempo de impacto

La expresión matemática (6) permite determinar las cargas de impacto frontal, lateral y posterior, generadas en una colisión. Los valores del tiempo dependen del tipo de impacto y la superficie de impacto con la que colisiona el go-kart, siendo el caso más crítico el choque con una pared de concreto, para lo cual el rango de tiempo para un impacto elástico se encuentran entre 0.1 y 0.5 s (NIPUM JAL, 2015), donde la aceleración máxima producida en cada ensayo de impacto se denomina aceleración máxima de impacto y se encuentra expresada por la siguiente ecuación:

$$a_{maxi} = \left( \frac{v}{\Delta T} \right) \quad (7)$$

*Donde;*

$a_{maxi} =$  aceleración máxima de impacto

El análisis de las cargas en el ensayo de impacto se determina de la siguiente manera:

### **Impacto frontal**

Para el presente proyecto se requiere que la fuerza frontal generada en la colisión del go-kart sea puramente elástica, con una velocidad máxima del vehículo de 50km/h, determinada según un estudio realizado por la universidad del Azuay mediante un prototipo de similares características, con una masa de 250 kg, donde el tiempo de colisión varía entre 0.1 y 0.5 s, dependiendo de tipo de pared o superficie de impacto, y de la existencia de la carrocería frontal también llamada

bumper<sup>3</sup>, como se observa en la Figura 1.3, la cual permite la disipación de la energía en el impacto. Debido a la existencia de la carrocería frontal, y asumiendo una colisión contra una pared de concreto, se define un rango de tiempo de 0.3 s.

### **Impacto lateral**

La fuerza de colisión lateral del go-kart es puramente elástica, y se determina a una velocidad máxima de 40.32 km/h, obtenida mediante una relación proporcional a los estándares de ENCAP para este tipo de ensayos, con una masa de 250 kg. En el presente proyecto, la carrocería no posee disipadores para impactos laterales, por lo que el tiempo de impacto se define en 0.1 s.

### **Impacto posterior**

La fuerza de colisión posterior es determinada con una velocidad de 20 km/h (ENCAP), con una masa de 250 kg y un tiempo de impacto crítico de 0.3 s, debido a la existencia de un bumper posterior.

## **2.7 Material**

El material para el rediseño debe cumplir con el Reglamento Técnico de la CIK-FIA, que indica que el acero estructural seleccionado para el rediseño no debe contener un valor mayor o igual al 5% en sus elementos aleantes en toda su composición química, Por este motivo, y debido a las excelentes propiedades mecánicas y disponibilidad en el mercado ecuatoriano, se escogió el acero ASTM-A500 Grado C. En la Tabla 4 se muestra el límite de fluencia y a la tracción del acero ASTM-A500 Gr A, B, C, de diferentes tipos de perfiles.

---

<sup>3</sup> Es una pieza del automóvil que permite la amortiguación de golpes. Normalmente, se encuentra ubicado en la parte delantera y posterior del vehículo.

**Tabla 4. Propiedades Mecánicas del Acero ASTM-A500**

Norma ASTM A500 Grado del acero		Propiedades Mecánicas (mínimas)				
		Límite de Fluencia (MPa)	Límite de Fluencia (kpsi)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Resistencia a la Tracción (kpsi)	% Elongación
Circular	A	228	33	310	45	25
	B	290	42	400	58	23
	C	317	46	427	62	21
Cuadrado y rectangular	A	269	39	310	45	25
	B	317	46	400	58	23
	C	345	50	427	62	21

Fuente: Ternium, 2015

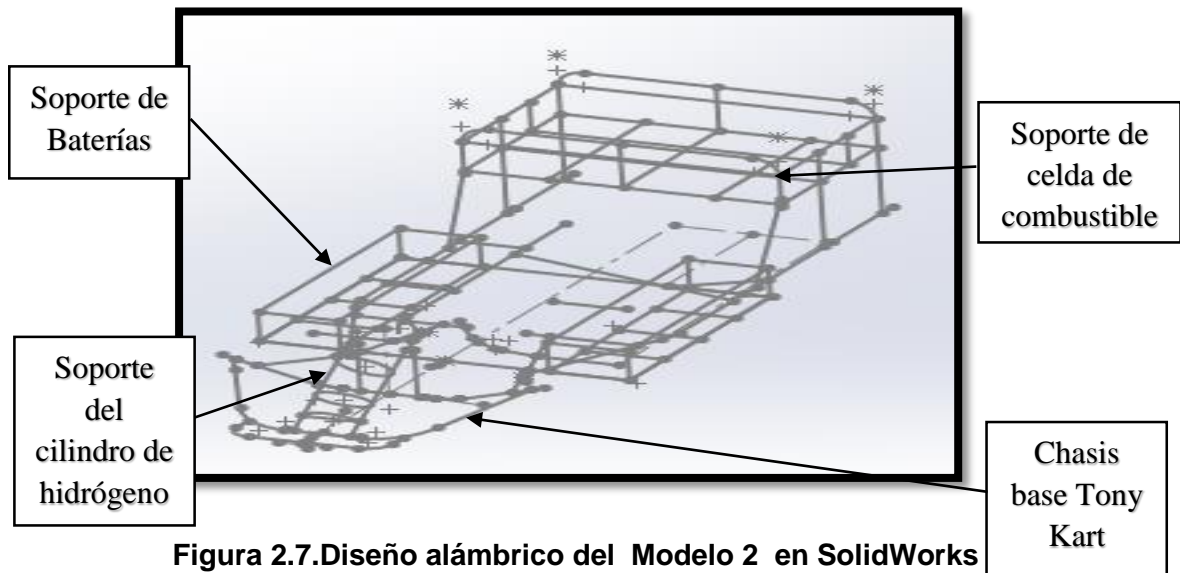
## 2.8 Análisis estático

Para determinar el comportamiento y validar cada uno de los soportes diseñados en cada estudio de impacto, se plantea analizar el comportamiento de la estructura del chasis rediseñado mediante la implementación de la masa total del sistema y la aceleración máxima de cada impacto, que es determinada por la velocidad final del vehículo (máxima), dividida para el tiempo de impacto. Donde el valor de la aceleración máxima se divide para el valor de la gravedad ( $9.81m/s^2$ ), con el fin de obtener un valor adimensional que es el número de gravedad ( $N_g$ ), que permite determinar cuántas veces el valor de la aceleración de la gravedad está soportando el chasis, y todos sus componentes, con el objetivo de determinar esfuerzos máximos por cada ensayo de impacto, mediante el método aproximado de Von Mises en ANSYS.

### Metodología del análisis estructural estático en ANSYS

El análisis estructural inició con el diseño en líneas (alámbrico) del chasis en SolidWorks, verificando que todas las medidas cumplan con la regulación técnica de la CIK-FIA, para luego diseñar cada uno de los soportes de los componentes principales.

En la Figura 2.7 se observa el diseño alámbrico del chasis rediseñado con cada nueva estructura de soporte.



**Figura 2.7. Diseño alámbrico del Modelo 2 en SolidWorks**

Fuente: Elaboración propia

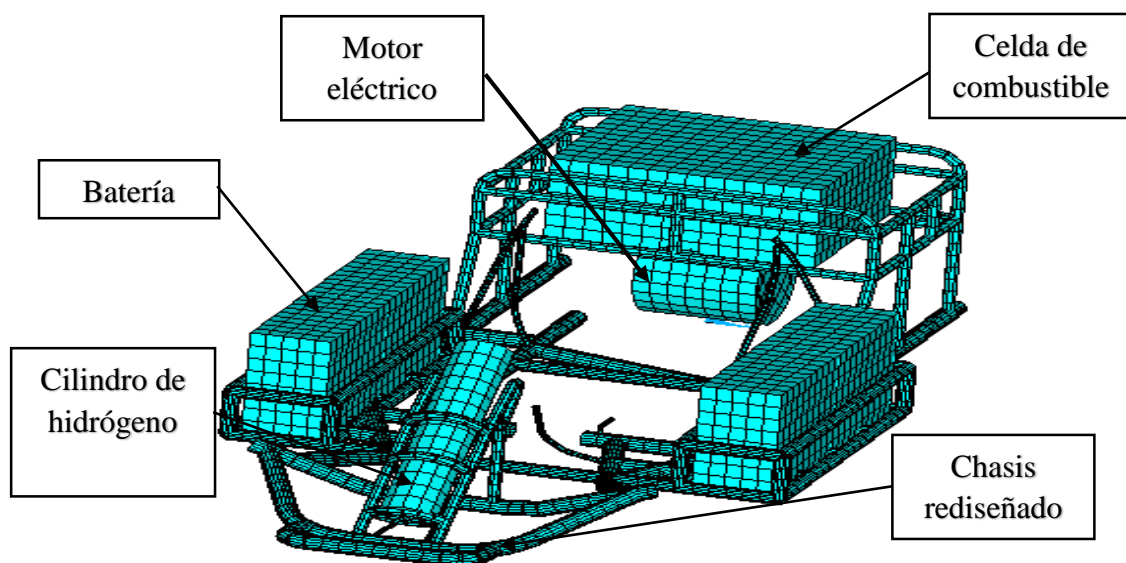
Al importar el chasis rediseñado a ANSYS, se procede a verificar que cada línea que forme el chasis converja, es decir que todas las líneas formen un solo conjunto y estén conectadas entre sí, con el fin de evitar errores en el análisis, ya sea por desencajes de los soportes o por secciones internas que conforman el chasis base. En caso de no haber convergencia, el software de análisis estructural los reconoce como elementos independientes y no unidos. Una vez revisada la convergencia de las líneas en el dibujo, y las secciones definidas en el chasis base, proporcionan al chasis rediseñado 6 grados de libertad  $(F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)$ . Los volúmenes de los componentes principales son dibujados en la ubicación ya definida en el diseño de forma del Modelo 2.

Para el tipo de análisis planteado, el programa de análisis estructural ANSYS requiere el valor del volumen y la densidad de cada componente incluido el chasis rediseñado (ver Apéndice I), con el objetivo obtener toda la masa del sistema. El valor de la densidad de los componentes en estudio es determinada previamente mediante el modelado en 3D realizado en SolidWorks con sus respectivas dimensiones y masas, cuyos valores se encuentran en el apéndice H. La densidad seleccionada para el acero es una densidad promedio para todos los aceros definida en  $7850 \text{ kg/m}^3$ .



Una vez asignado las densidades en el programa, se procedió a la realización del mallado, designando un mallado grueso de 3 cm de forma mapeada para todos los volúmenes y para el chasis de 2 cm de igual forma, con el objetivo de reducir el número de iteraciones en el cálculo estructural.

En la Figura 2.8 se puede observar el mallado de los volúmenes y el chasis rediseñado.

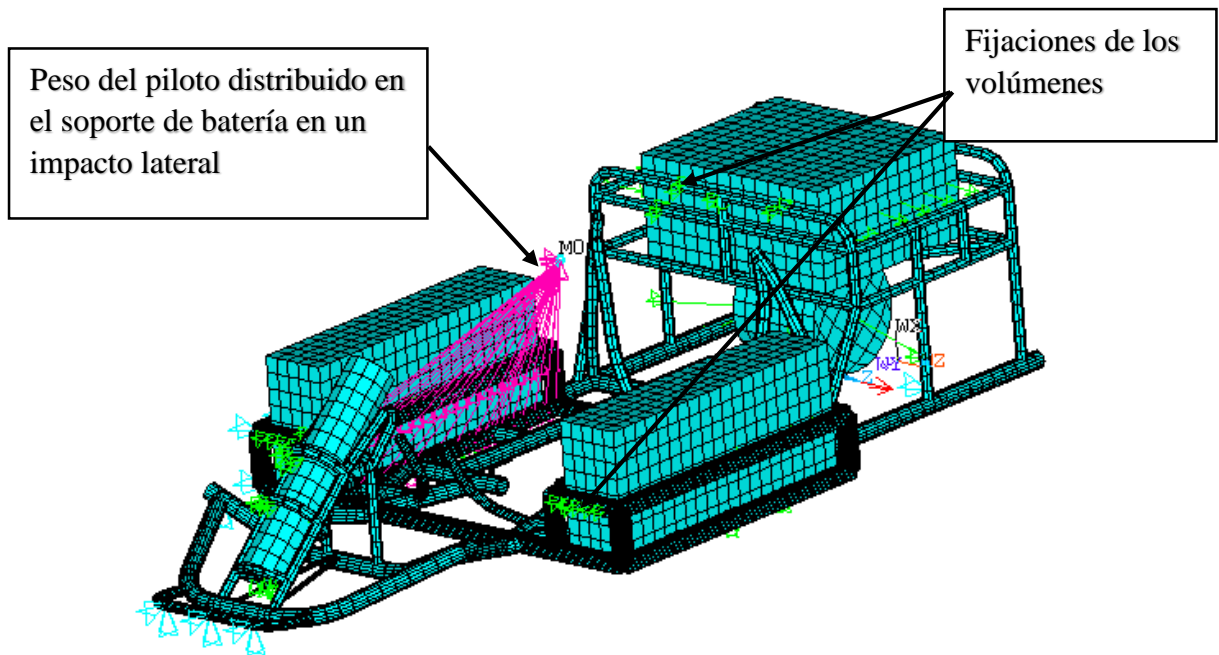


**Figura 2.8. Diseño estructural del modelo 2 en ANSYS-APDL**

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizado el mallado, ANSYS requiere una relación similar a la relación de posición utilizadas en SolidWorks, con el fin de que los volúmenes dibujados y el chasis formen una sola pieza, y evitar así que los volúmenes en la simulación se encuentren suspendido en el aire, para lo cual se procede a sujetar los volúmenes con el chasis mediante punto generados por la malla de cada componente. EL piloto es la única masa que se puede asignar en el programa para este tipo de análisis, y se representa mediante la colocación de un punto en el centroide del piloto, que tiene la particularidad gracias al programa de no comportarse como una masa puntual sino distribuida, que simula su distribución mediante líneas conectadas desde el centroide hasta los punto de apoyo o de acción de la carga.

En la Figura 2.9 se observa que los puntos de fijación de los volúmenes al chasis están representados de color verde, y las líneas de distribución de la masa del piloto desde el centroide a los puntos de apoyos en el go-kart son de color morado. Esta gráfica corresponde a un ensayo de impacto lateral. Cabe recalcar que esta distribución varía con respecto al tipo de ensayo de impacto.



**Figura 2.9. Diseño estructural, fijaciones del Modelo 2 en ANSYS-APDL**

Fuente: Elaboración propia

Las restricciones dependen de cada tipo de impacto, normalmente van colocadas en los puntos de apoyo donde van sujetas las ruedas al chasis, debido a que permiten una distribución uniforme de todo el peso del go-kart. Este tema se tratará con más detalle en la sección 3.4.

Una vez colocadas las restricciones se procede a ingresar el valor de la aceleración de la gravedad multiplicado por el valor de número de gravedad que está soportando cada una de las masas de los componentes y chasis rediseñado para el presente proyecto, donde el método de obtención de los esfuerzos máximos fue por método aproximado de Von Mises, por cada tipo de impacto en la simulación estructural.

## 2.9 Análisis de fatiga

Para el análisis de fatiga se identifica cuál de las tres cargas dinámicas descritas en la sección 2.5 es mayor, para lo cual se procede a determinar el máximo esfuerzo en cada caso mediante la simulación en la plataforma APDL de ANSYS, de forma similar a los ensayos de impacto, pero con la diferencia de que el tiempo que se le otorga a las cargas dinámicas en el análisis de fatiga es mayor que en el ensayo de impacto, debido a que el tiempo de colisión es menor a un segundo ( (NIPUM JAL, 2015)).

El análisis de fatiga viene dado por las fuerzas constantes o variables que soporta un elemento en su ciclo de trabajo, las cuales producen la falla del material en un periodo prolongado de tiempo, por lo cual se requiere verificar, si realmente en el rediseño final del chasis, la fatiga es un factor importante, para lo cual se propone realizar el cálculo de fatiga mediante la determinación del número de ciclos que puede soportar el chasis antes de que surja una falla en su estructura. Se fija una duración de 5 años del chasis.

Para determinar el esfuerzo alternante en el análisis de los ciclos de vida, con la carga dinámica que genera el máximo esfuerzo en flexión, se procede a utilizar la teoría de Goodman modificado, representada por la siguiente expresión matemática:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (8)$$

Donde;

$\sigma_a$  = *esfuerzo alternante*

$\sigma_m$  = *esfuerzo medio*

$S_e$  = *límite de resistencia a la fatiga*

$S_{ut}$  = *esfuerzo último del material*

Donde el número de ciclos ( $N$ ) está dado por la ecuación:

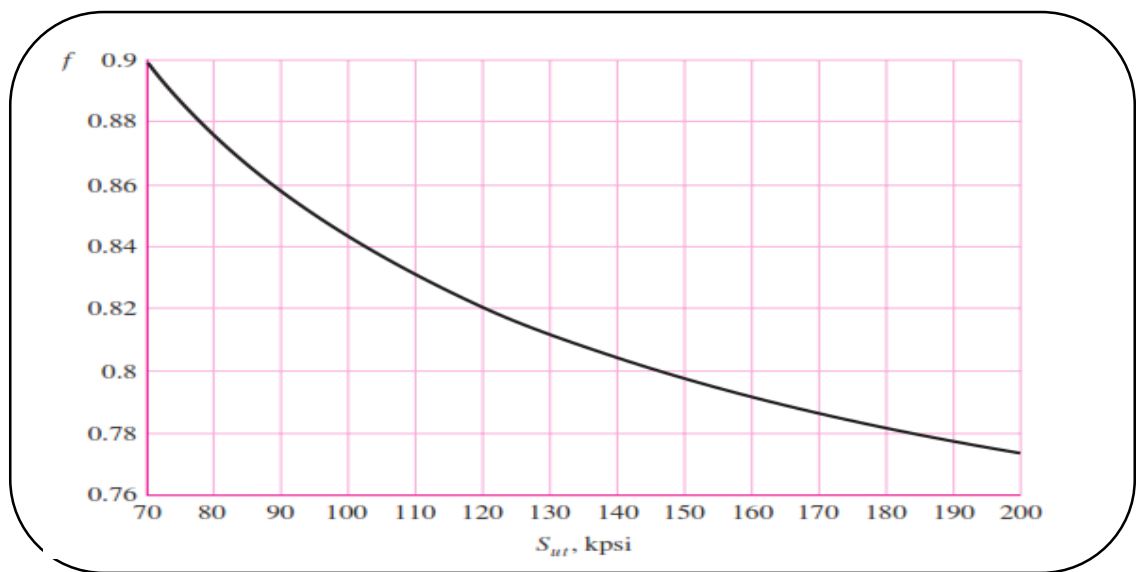
$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (9)$$

Donde  $a$  y  $b$  es igual a

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \quad (10)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right) \quad (11)$$

En la Figura<sup>4</sup> 2.10, se muestra la curva para la determinación del coeficiente de fracción de la resistencia a la fatiga ( $f$ ), que depende del valor del esfuerzo último de cualquier tipo de acero, mientras mayor sea este esfuerzo el número de ciclos de vida de la estructura aumenta. El valor de coeficiente de fracción de la resistencia a la fatiga se reemplaza en la ecuación (9).



**Figura 2.10. Fracción de resistencia a la fatiga**

Fuente: Shigley, 2008

El valor de  $S_e$  se calcula mediante los diferentes factores:

$$S_e = k_{a1} k_{b2} k_c k_d k_e k_f S_e \quad (12)$$

Donde,

**Factor de superficie  $k_{a1}$** , se caracteriza por la calidad del acabado de superficie del elemento analizar. El factor se determina mediante la siguiente ecuación:

$$k_{a1} = c S_{ut}^{b1} \quad (13)$$

Donde las varias  $c$  y  $b1$ , son obtenidas con respecto a una sección circular (ver Apéndice H).

<sup>4</sup> Esta gráfica puede ser utilizada para ciclos altos bajos ( $1 \leq \text{ciclos bajos} \leq 1 \times 10^3$ ) y altos comprendidos ( $1 \times 10^3 < \text{ciclos altos} \leq 10^7$ ), recomendado por el libro de Diseño Mecánico de Shigley.

**Factor de modificación del tamaño  $k_{b2}$** , se determina mediante el tipo de carga generada, siendo para este caso a flexión. El factor se halla con la siguiente expresión matemática:

$$k_{b2} = (1.24d_1)^{-0.107} \quad (14)$$

Donde  $d$ ,

$$2.79 \leq d \leq 51\text{mm} \text{ (Ver Apéndice H).}$$

**Factor de modificación de carga  $k_c$** , se genera normalmente con carga a flexión, axial y torsión, y sus valores vienen dados respectivamente por:

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

**Factor de Temperatura  $k_d$** , dependen principalmente de la temperatura de operación a la que está sujeta la estructura o pieza de estudio. Pero debido a que el chasis está sometido a temperatura ambiente no existe grandes cambios y su factor se aproxima a 1.

$$k_d = 1$$

**Factor de confiabilidad  $k_e$** , permite conocer mediante un análisis estadístico la dispersión de los datos obtenidos, para lo cual se emplea la siguiente expresión matemática:

$$k_e = 1 - 0.08z_a \quad (15)$$

Donde  $z_a$ , representa la desviación estándar a la fatiga y se determina mediante la en el Apéndice H, pero no sin antes fijar un porcentaje de confiabilidad del sistema, en este caso se desea un 95% de confiabilidad.

**Factor de efectos varios  $k_f$** , estos factores se originan principalmente por la concentración de esfuerzo y la corrosión. Pero en este caso, las superficies del chasis son lisas y las juntas de soldadura son tratadas.

**Límite de resistencia a la fatiga de una probeta  $S_e$** , viene dado por la mitad del esfuerzo último del material que se desea analizar. Como se presenta en la ecuación 16.

$$\text{Donde } S_{\dot{\epsilon}} = 0.5 S_{ut} \text{ (16)}$$

## 2.10 Análisis aerodinámico de la carrocería

Una vez aprobado la estructura del chasis, se procede a diseñar la carrocería base, que consta de la cubierta para cada batería y celda de combustible, pero sin ningún perfil aerodinámico trazado, manteniendo del modelo base la carrocería frontal. Se plantea realizar 4 alternativas a partir de la variante de la carrocería base. En cada variante se proponen realizar diseños suavizados mediante perfiles curvos, se utiliza el programa de modelado 3D Solidworks para realizar cada uno de los 5 diseños de carrocería.

El análisis aerodinámico, se realiza mediante simulaciones en ANSYSFLUENT, con el fin de determinar la menor fuerza aerodinámica de arrastre en cada una de las 5 carrocerías. Donde los parámetros que se deben tomar en cuenta para el análisis, es el tipo de fluido definido como aire para el presente proyecto, las condiciones de temperatura a las que este se encuentra (25°C), el tipo de comportamiento del fluido seleccionado en el software y el área frontal del go-kart rediseñado con cada una de las alternativas de carrocería planteadas.

La fuerza de rozamiento, es la fuerza que interesa para el presente estudio y está dada por la siguiente expresión matemática:

$$F_{Aer} = \frac{1}{2} C_x \rho A_f v^2 \text{ (17)}$$

*Donde :*

$F_{Aerr}$  = carga aerodinámica de rozamiento

$C_x$  = coeficiente de arrastre

$\rho$  = densidad del viento

$A_f$  = área frontal

Con la ecuación 17, se puede determinar el coeficiente de arrastre aerodinámico, requerido también para definir su comportamiento

En la Figura 2.11 se observan las fuerzas que se presentan en un análisis aerodinámico.



**Figura 2.11 Fuerza de presión normal y de rozamiento presentes en un vehículo**

Fuente: Rodríguez, 2014

Hay que aclarar que la fuerza aerodinámica es un vector, y está compuesta por una fuerza de sustentación o presión y una fuerza de rozamiento en el vehículo debido al paso del fluido sobre su superficie.

## 2.11 Metodología de la simulación aerodinámica en ANSYS FLUENT

Para comenzar se toman las medidas del espacio que va ocupar la carrocería en el modelo 3D del go-kart, con el objetivo de no reducir el espacio del piloto en el interior del vehículo y asegurarse que todos los dispositivos no se vean afectados por un mal diseño de la carrocería. Luego, se procede a diseñar el modelo base y sus 4 alternativas de carrocería en SolidWorks, donde cada una de las curvaturas planteadas en las alternativas surgen de la observación de las superficies de la carrocería realizadas en modelos de go-karts accionados por celdas de combustible, utilizadas en la carrera **Fórmula Cero**<sup>5</sup>, ya extinta en la actualidad.

Una vez obtenidos todos los modelos de carrocería se importan las geometrías una por una a ANSYSFLUENT, con el objetivo de realizarlas el análisis independientemente. Este programa para realizar el análisis aerodinámico, utiliza la metodología del túnel de viento, donde el programa encierra con las medidas justas

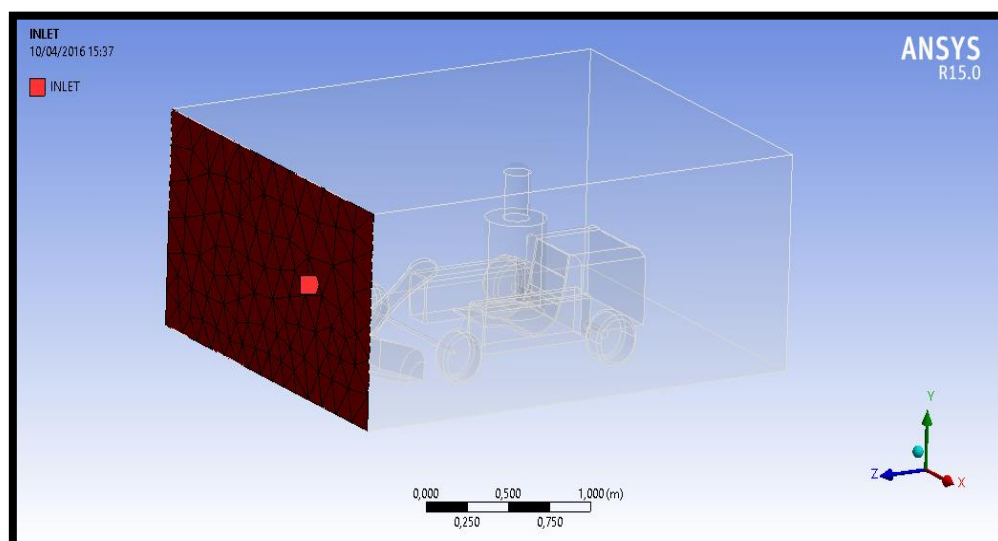
---

<sup>5</sup> Fue una competencia de go-kart que utilizaban celdas de combustibles para su funcionamiento.

en un prisma rectangular al go-kart, por lo cual ANSYSFLUENT, permite aumentar estas dimensiones, donde se le asigna 1mm desde la llanta hacia abajo del go-kart, 50 cm más desde cada lado del go-kart, 50 cm más en la parte delantera y trasera del vehículo y 20 cm por arriba de la parte superior del go-kart, estos valores fueron elegidos mediante la guía de videos tutoriales mecánicos (Tutorial, 2015), debido a no encontrar una normativa para el análisis aerodinámicos en go-kart.

Una vez dimensionado, el programa para su correcto funcionamiento procede a restar el volumen del go-kart al túnel de viento aerodinámico, con el objetivo de realizar el respectivo mallado de todo el túnel de tipo triangular y refinado en toda la superficie que barca la silueta del go-kart. Luego, se procede a definir la dirección del flujo de viento a través de las caras del túnel del viento.

En la Figura 2.12 se observa la cara de ingreso del fluido definida en el programa, cuya dirección va de izquierda a derecha, esta es una de las consideraciones que hay que tomar en cuenta cuando se define los parámetros de análisis del fluido en ANSYSFLUENT.

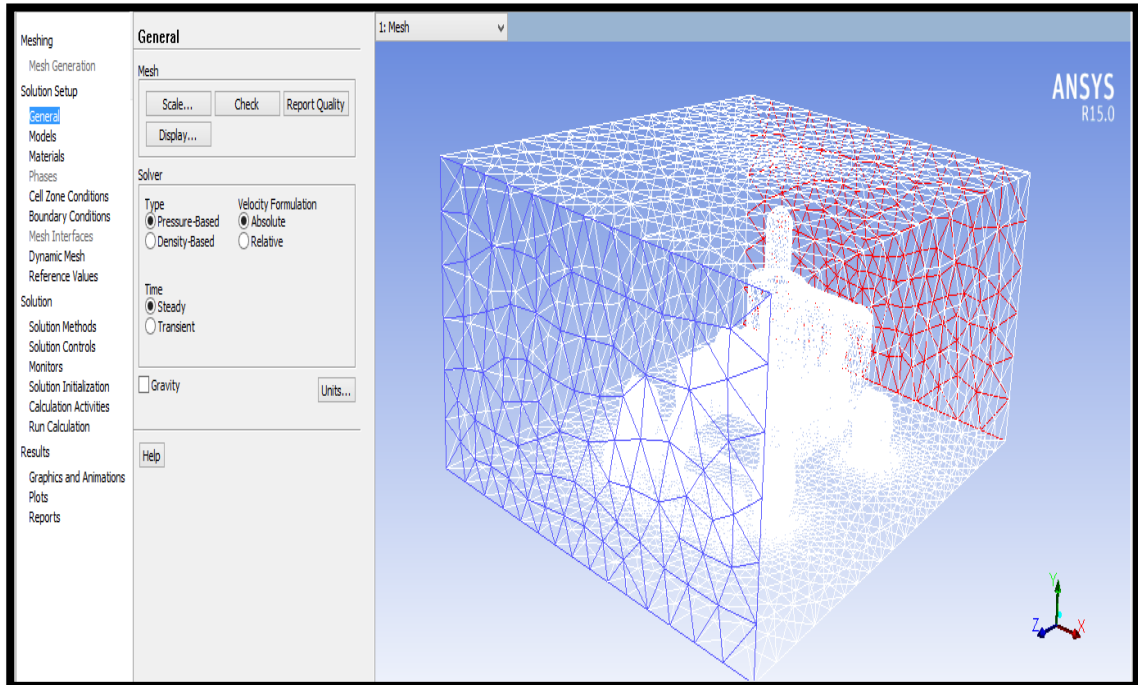


**Figura 2.12. Selección de la cara de ingreso del flujo**

Fuente: Elaboración propia



En la Figura 2.13 se observa la ventana de comando de ANSYSFLUENT donde se asigna aire como fluido de análisis y se colocan todas las consideraciones del comportamiento del fluido.



**Figura 2.13. Ventana de ANSYS para la asignación de las condiciones de análisis**

Fuente: Elaboración propia

Se asignó como flujo de trabajo al aire con sus respectivas propiedades a 25 °C. El comportamiento del fluido se definió con K-epsilon, debido a que este modelo posee una ecuación para el análisis de la energía cinética turbulenta ( $k$ ) y una ecuación para la disipación de la energía cinética turbulenta ( $\epsilon$ ), que cumple con el análisis turbulento requerido para este proyecto, y con el objetivo de evitar simulaciones de tiempos prolongados. La velocidad del aire para la simulación fue de 50km/h (13.89); donde las propiedades más importantes para el análisis aerodinámico son la densidad, temperatura, viscosidad, velocidad y el área frontal de la carrocería. Este procedimiento se llevó a cabo en las 5 carrocerías diseñadas. Los resultados de este análisis se muestran en el Capítulo 3.

### **Tipo de soldadura**

Se seleccionó el método GMAW (Gas Metal Arc Welding), que es uno de los métodos más utilizados en la fabricación de chasis y cumple con los requerimientos del presente proyecto. El material de aporte y los parámetros de la soldadura dependen del metal base que se utiliza. En este proyecto se utiliza como material de aporte de soldadura el alambre ER70s-6, que normalmente se emplea para soldar el acero ASTM A500 Gr C, que es el material para el rediseño del chasis. El procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure specification), para el presente proyecto se encuentra ubicado en el apéndice C.

Para el proceso de corte se utiliza una cortadora de perfil donde cada tubo es cortado según las especificaciones de los planos adjuntos en el apéndice para cada una de las estructuras de soporte diseñadas. Para el corte de la medida deseada por cada sección se procede a colocar 5 milímetros extras por el espesor del disco de corte con el fin de obtener las medidas correctas. Para el doblado del perfil circular se procede a dejar una distancia extra acorde al diámetro del perfil para un doblado de 90 grados, para doblados con mayor ángulo se procede a dejar dos veces el diámetro de la tubería. Con respecto al corte de las planchas de acero de la carrocería se procederá a realizar el corte de tres milímetros extras por cada una de las dimensiones, para el doblado se especifica el lado de pliegue en los planos donde las líneas discontinuas especifican el eje de doblado de cada una de las planchas.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

En el presente capítulo se procede a obtener los resultados del análisis estructural y aerodinámico planteado en el Capítulo 2, mediante simulaciones en ANSYS y ANSYSFLUENT.

### 3.1 Determinación de cargas por ensayos de impacto

Debido a que la ecuación (6), permite determinar la fuerza dinámica y el número de gravedad en cada uno de los ensayos de impacto, se procede a realizar un solo análisis como ejemplo, donde los demás valores se muestran en la tabla 5. Ejemplo:

#### Impacto frontal

*Datos,*

$$m = 200kg$$

$$v = \frac{50km}{h} = 13.89 \frac{m}{s}.$$

$$\Delta T = 0.3s.$$

Reemplazando en la ecuación (6) se obtiene

$$F = 11575N$$

Cálculo del número de gravedad  $N_g$  soportada por la estructura del vehículo

$$a_{maxi} = 46.3 \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$N_g = 4.72$$

Valor aproximado 5.

En la Tabla 5, se observa los valores de las fuerzas máximas y el  $N_g$ , de cada tipo de ensayo de impacto.

**Tabla 5. Fuerzas de impacto y número de gravedad**

Impacto	Fuerza(N)	Número de gravedad
Frontal	11575	5
Lateral	22400	11
Posterior	3704	2

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Determinación de cargas dinámicas

Para realizar el análisis de fatiga se necesita obtener el esfuerzo máximo en flexión generado por cada una de las cargas dinámicas especificadas en la sección 2.5. Donde las fuerzas se determinan mediante la expresión matemática (2), y el número de gravedad es determinando a partir del cálculo de cada una de las aceleraciones máximas por cada impacto, dividido para  $9.8m/s^2$ . A continuación se procede a realizar el cálculo de las fuerzas y el número de gravedad:

#### Carga por aceleración brusca

$$F_{ab} = 562N$$

Entonces  $a_b$  es,

$$a_b = 1.43m/s^2$$

Cálculo del número de gravedad soportada por la estructura del vehículo.

$$N_g = 0.15$$

### Carga por frenado brusco

$$a_b = 2.78m/s^2$$

$$F_{fb} = 1042.5N$$

Cálculo del número de gravedad soportada por la estructura del vehículo

$$N_g = 0.15$$

### Carga por máxima velocidad en curva

$$a_n = 1.96/s^2(4)$$

$$F_{cc} = 250 * 1.96 * 1.5$$

$$F_{cc} = 735N$$

Cálculo del número de gravedad soportada por la estructura del vehículo

$$N_g = 0.15$$

En la Tabla 6, se observa el valor de las fuerzas dinámicas y el número de gravedad obtenida por cada carga dinámica analizada, siendo la carga por frenado brusco la más crítica.

**Tabla 6. Fuerzas de cargas dinámicas y número de gravedad**

Tipo de carga	Fuerza(N)	Número de gravedad
Carga por aceleración brusca	562.5	0.15
<b>Carga por frenado brusco</b>	<b>1042.5</b>	<b>0.30</b>
Carga por máxima velocidad en curva	735	0.20

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Simulación estructural estática en ANSYS

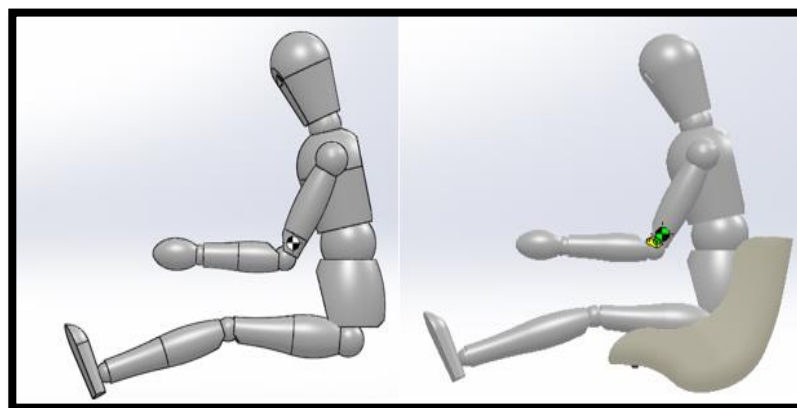
Para realizar el análisis estructural en ANSYS, se consideró la asignación de secciones iniciales por tipo de elemento, con la finalidad de validarlos en la simulación estructural, los cuales se detallan en la Tabla 7. Cabe recalcar que en la sección circular del chasis, el espesor es constante e invariable.

**Tabla 7. Secciones estructurales seleccionadas para la simulación**

Tipo	Sección
Chasis	Tubo redondo 1 1/4" x e=2mm
Soporte batería	Tubo cuadrado 20x20 e=1.5mm
Soporte de celda	Tubo circular 3/4" e=1.5mm
Soporte de tanque de hidrógeno	Tubo circular 3/4" e=1.5mm

#### EL centro de gravedad

EL centro de gravedad del piloto es representado como un punto en el prototipo del rediseño, el cual se determinó mediante las características de una persona de una altura promedio de 1.60 m de alto y de 75 cm de ancho, mediante el uso de un maniquí de impactos (ver Figura 3.1), al cual se le asignó la densidad correspondiente para a una masa total de 75 kg, debido a que la norma CIK-FIA determina que éste es el peso máximo que debe poseer un piloto de Karting.



**Figura 3.1. Centro de gravedad del piloto en el go-kart**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Simulación de impactos

#### Impacto frontal

Para la simulación de este ensayo de impacto en ANSYS se procedió a definir las restricciones de movimientos que fueron fijadas en los apoyos (llantas y el eje en el chasis), en todas las direcciones excepto en z, permitiendo que la estructura se desplace solamente en la dirección z (desplazamiento hacia delante y atrás), también se fijó la tubería de la parte frontal del chasis en todas las direcciones, con el objetivo de observar el comportamiento de la estructura, mediante la aplicación de una aceleración de 5g a toda la masa del go-kart. El resultado obtenido para la validación estructural del rediseño del chasis se observa en la Figura 3.2, donde el esfuerzo máximo que se generó es de 402 MPa, sobrepasando ampliamente el esfuerzo de fluencia del material, definido en el capítulo 2. Cabe recalcar que el peso del piloto en este impacto se distribuye en la parte delantera del chasis y en los soportes de la dirección, los cuales tiende a sufrir deformación plástica debido a su pequeño espesor.

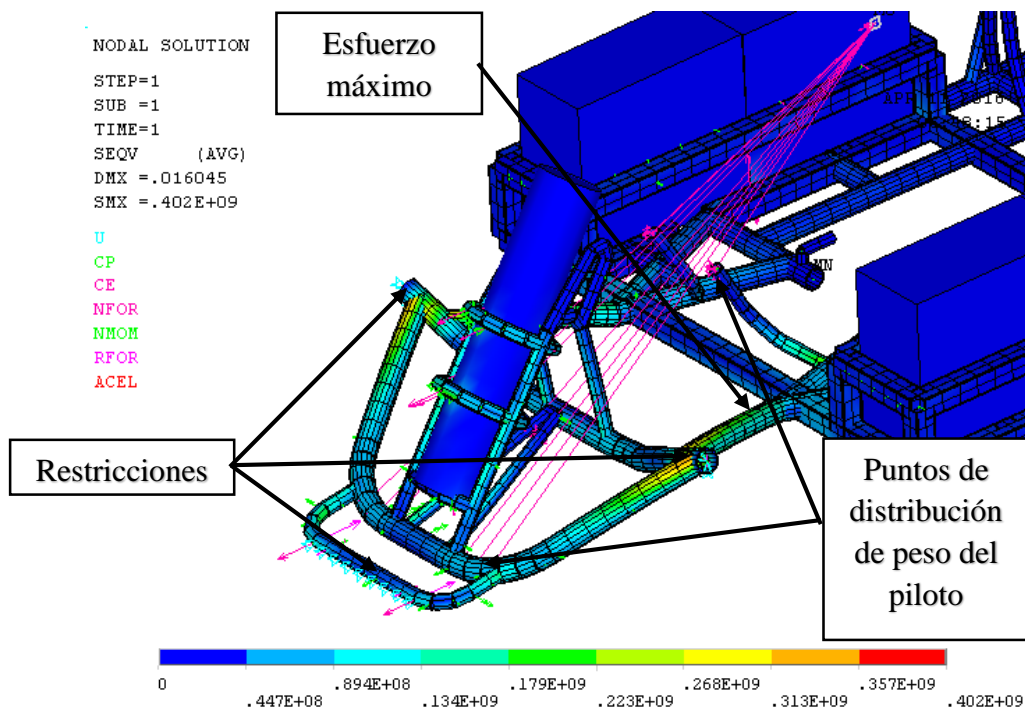
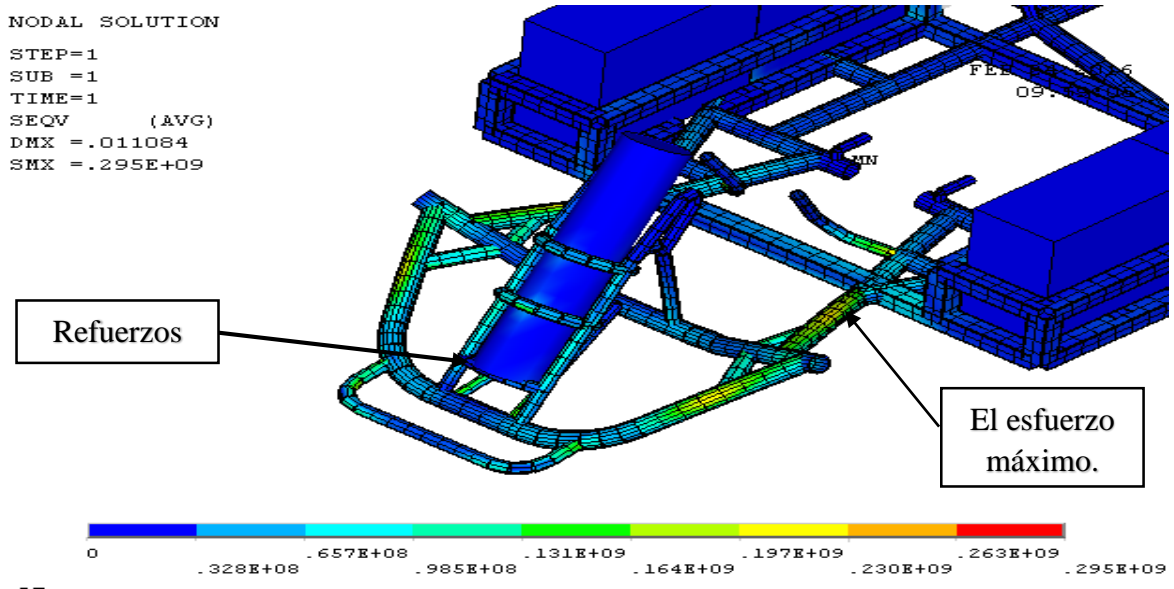


Figura 3.2. Impacto frontal sin refuerzos del modelo2 del go-kart híbrido

Fuente: Elaboración propia

Debido a la deformación plástica producida en el impacto frontal, se propone reforzar la parte frontal afectada del chasis con una tubería circular de 1 pulgada de acero

ASTM A 500 grado C, como observa en la Figura 3.3 obteniendo un esfuerzo de 295 MPa, donde le factor de seguridad con respecto a la falla es de 1.45.



**Figura 3.3. Impacto frontal con refuerzo del modelo2 del go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.4 se puede observar el desplazamiento que sufre el chasis y el centro de gravedad del piloto, desde una aceleración cero que representa cuando el vehículo se encuentra estático, hasta la aplicación de 5 veces la aceleración de la gravedad a toda la masa del go-kart en el impacto frontal.



1

NODAL SOLUTION

STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
SEQV (AVG)  
DMX =.011084  
SMX =.295E+09

U  
CP  
CE  
ACEL

FEB 24 2016  
10:05:49

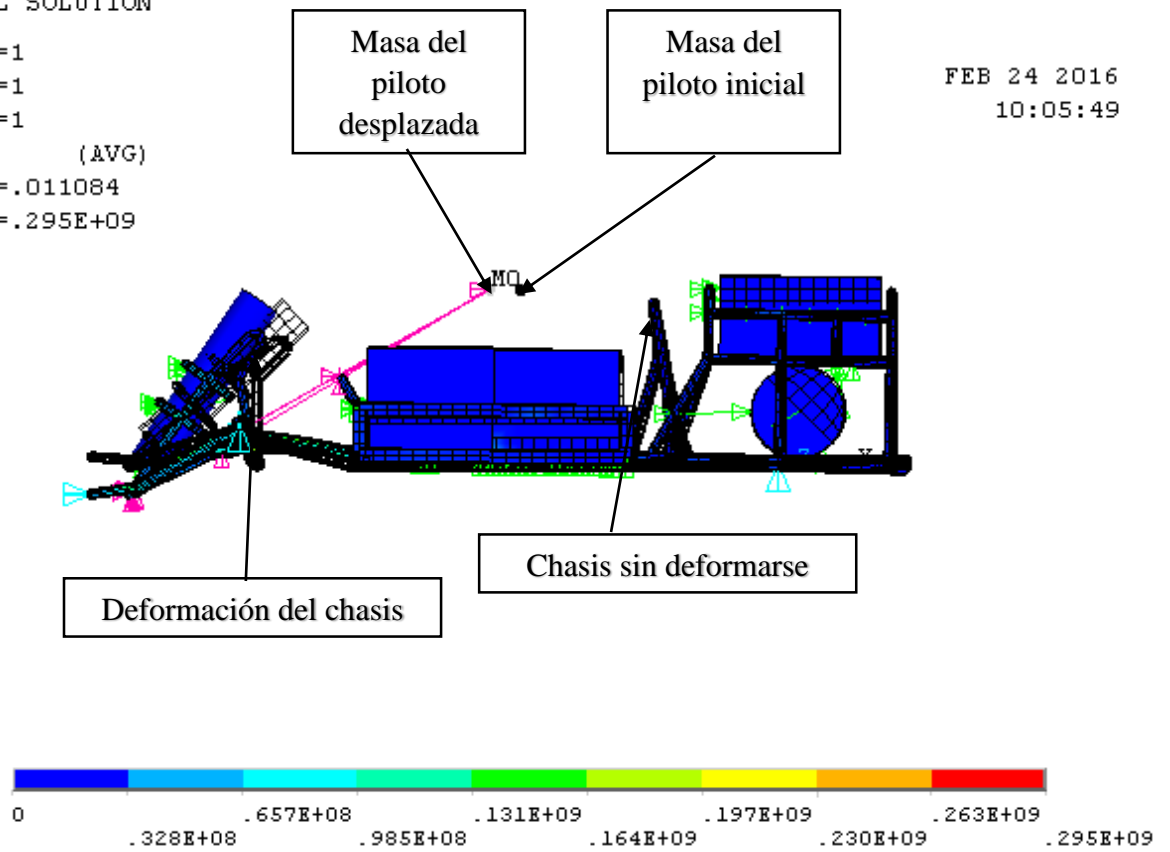


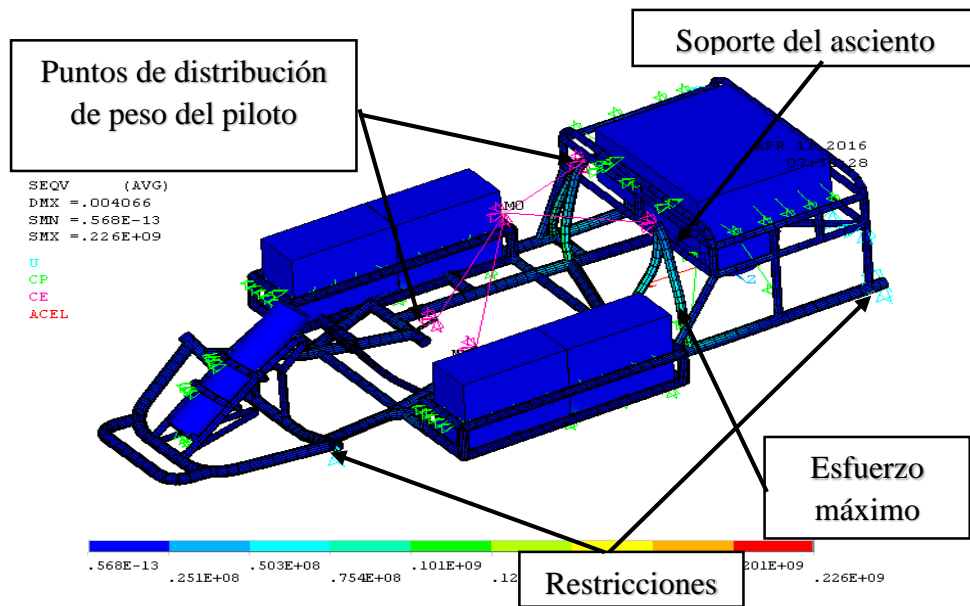
Figura 3.4. Desplazamiento del centro de gravedad del modelo2 del go-kart híbrido

Fuente: Elaboración propia

### Impacto posterior

Para este ensayo la masa total del go-kart es acelerada dos veces el valor de la gravedad, como observa en la tabla 5, produciendo un esfuerzo máximo de 200MPa en la estructura rediseñada, el cual se mantiene debajo el límite de fluencia del acero ASTM A500 GRADO C, evitando así la necesidad de colocar refuerzos o realizar cambios en los espesores de los perfiles del chasis rediseñado. Las restricciones están colocadas de forma similar al impacto frontal, con la única diferencia que la parte frontal no está restringida sino la parte posterior.

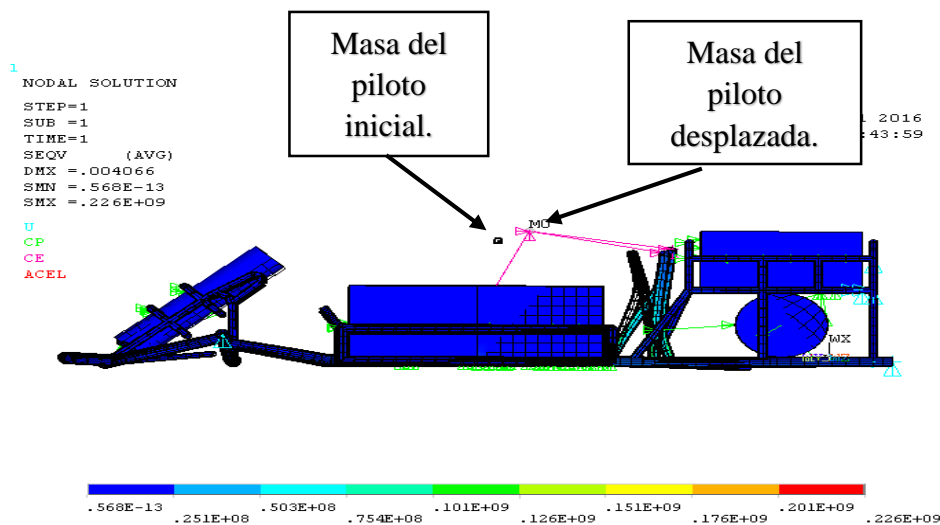
En la Figura 3.5 se observa el valor del esfuerzo máximo sufrido por el go-kart en un impacto posterior.



**Figura 3.5. Impacto posterior del Modelo 2 del go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.6 se observa el desplazamiento del centro de gravedad del piloto en el impacto posterior, así como también las líneas de distribución del peso del piloto, que están representadas de color morado. El factor de seguridad a la falla con respecto a una sección circular un acero ASTM A500 GRADO C es aproximadamente es de 1.8.



**Figura 3.6. Deformación por impacto posterior del Modelo 2 del go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

## Impacto Lateral

En este impacto, la masa total del go kart es acelerado 11 veces el valor de la gravedad debido a la inexistencia de disipadores de energía laterales (Bumper). El esfuerzo máximo generado en la simulación fue de 522MPa, el cual sobrepasa el esfuerzo último del acero seleccionado causando la fractura en los soportes de la batería, por lo cual se procedió a cambiar el perfil de las baterías de un tubo cuadrado de 20x20 de 1.5 mm de espesor, a un tubo cuadrado de 30x30 de 2mm de espesor con el fin de aumentar la resistencia del material. Una vez realizado el cambio se obtuvo un esfuerzo de 248MPa, que es menor al límite de fluencia del acero ASTM A500 GRADO C, con un coeficiente de seguridad a la falla de 1.72 con respecto de sección cuadrada.

En la Figura 3.7 se observa la ubicación donde se genera el máximo esfuerzo debido al impacto lateral.

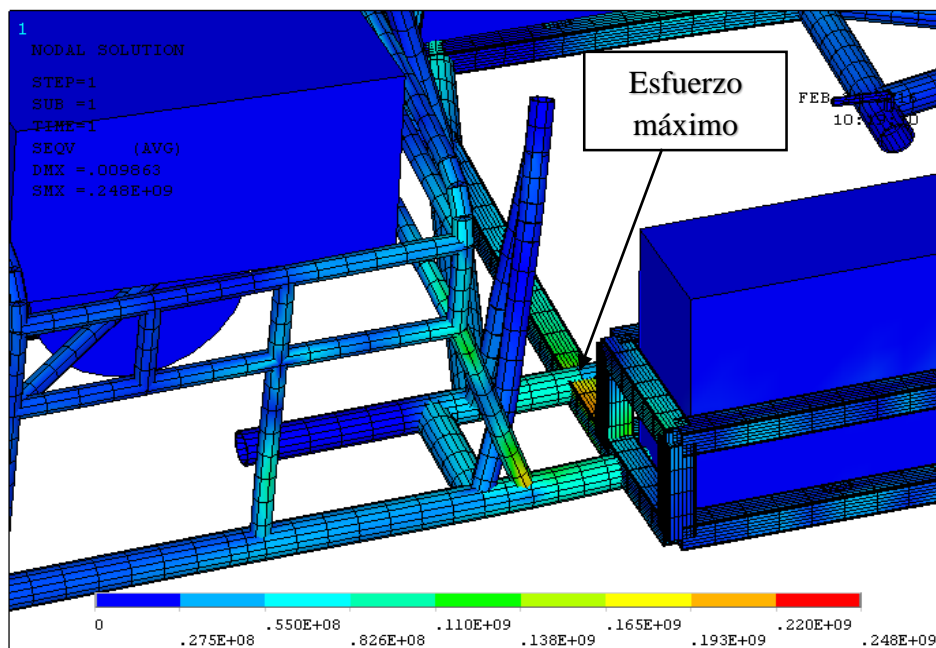
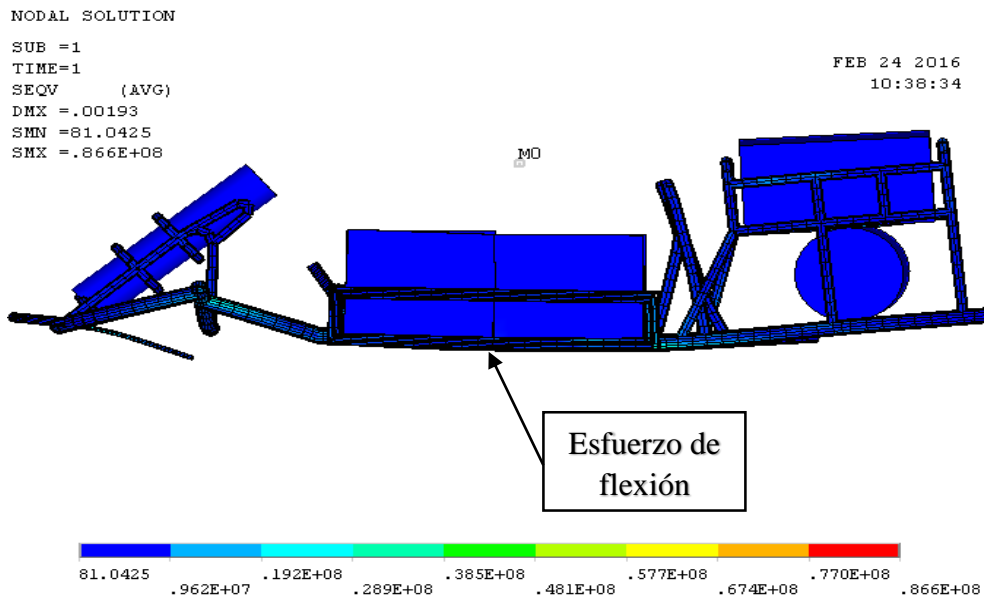


Figura 3.7 .Esfuerzos generados en el impacto lateral del Modelo 2 del go-kart híbrido

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Análisis de fatiga

Como se observa en la Tabla 6, la carga dinámica por frenado brusco genera un mayor esfuerzo, por lo cual el análisis de fatiga se realiza con respecto a esta carga, donde el chasis va a estar en flexión, por lo tanto se procede a determinar el esfuerzo máximo mediante el uso de ANSYS, como se muestra en la Figura 3.8.



**Figura 3.8. Esfuerzo máximo Modelo 2 del go-kart híbrido**

Fuente: Elaboración propia

El esfuerzo máximo obtenido por frenado brusco es aproximadamente de 86.6Mpa, este valor se utiliza para determinar el límite de fatiga en la ecuación (13).

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_{\acute{e}}$$

Para lo cual se determina  $S_{\acute{e}}$  con la ecuación (14) definida en la sección 2.8, y con el valor del esfuerzo último del acero ASTM a 500 grado C, para una sección rectangular (427Mpa).

$$S_{\acute{e}} = 0.5 * 427Mpa$$

$$S_{\acute{e}} = 213.5Mpa$$

En la tabla 8, se observan los valores de todos los factores necesarios para el cálculo de fatiga.

**Tabla 8. Valores de los factores para el análisis de fatiga**

Tipo de factor	Valor
Factor de superficie ( $k_a$ )	0.922
Factor de tamaño ( $k_b$ )	0.858
Factor de carga ( $k_c$ )	1.00
Factor de temperatura ( $k_d$ )	1.00
Factor de confiabilidad ( $k_e$ )	0.869
Factor de efectos varios ( $k_f$ )	1.00

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_\epsilon$$

$$S_e = 146.77 \text{ Mpa}$$

Luego, se utiliza la ecuación (11), donde el factor de resistencia a la fatiga es determinado de la Figura 2.8, mediante el valor del esfuerzo último del acero seleccionado (427MPa), donde el libro de Shigley especifica que para valores menores a un esfuerzo último de 70 kpsi, (482.63 MPa), se asigna un coeficiente a la fatiga de 0.9.

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e} \quad (11)$$

$$a = 1006.24 \text{ Mpa}$$

Ahora se obtuvo b de la ecuación (12)

$$b = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{0.9 * 427 \text{ Mpa}}{146.77 \text{ Mpa}} \right)$$

$$b = -0.1393$$

Donde el número de ciclos viene dado por la ecuación (10)

$$N = \left( \frac{S_f}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Para una vida finita se reemplaza  $S_e$  por  $S_f$  en la ecuación (9) obteniendo:

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$S_f = 48.19 \text{ Mpa}$$

Donde el número de ciclos es

$$N = 29.8 \times 10^8 \text{ ciclos}$$

Esto quiere decir que el chasis rediseñado del go-kart va a soportar  $29.8 \times 10^8$  frenadas bruscas, antes de que falle a flexión. Con lo cual se entiende que cada frenado brusco genera un ciclo en fatiga.

### **Vida del chasis**

La duración de la vida útil del chasis se determinó en 5 años, lo que indica que se van a realizar  $29.8 \times 10^8$  frenadas bruscas en este periodo de tiempo, se propone determinar la cantidad de frenadas bruscas que realizaría el go-kart por semana, donde se obtiene:

$$\frac{29.8 \times 10^8 \text{ frenadas bruscas}}{5 \text{ años}} * \frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}} = 11.46 \times 10^5 \frac{\text{frenadas bruscas}}{\text{semana}}$$

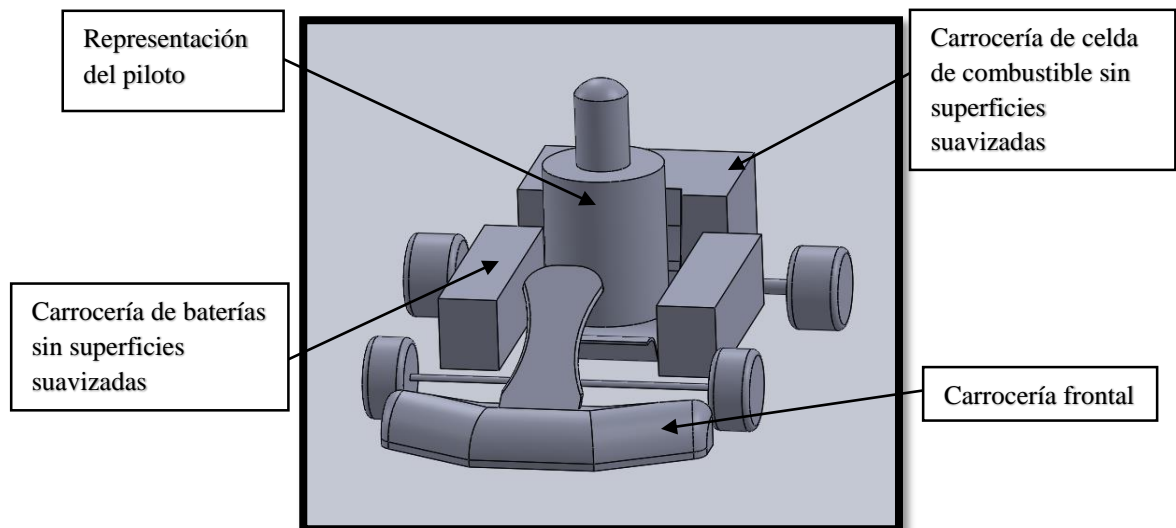
Esto nos indica que el go-kart realiza  $11.46 \times 10^5$  en una semana, lo cual no es correcto, pero permite dar entender que el go-kart va a tener una vida útil mayor a 5 años.

### **3.6 Aerodinámica de la carrocería**

Para obtener un perfil aerodinámico de carrocería óptimo, se procede a realizar un análisis aerodinámico a las 5 carrocerías propuestas, donde la primera es la carrocería modelo y las otras 4 son alternativas de esta. Cada alternativa posee cambios en su superficie, mediante el diseño de curvas y aristas suavizadas, con el fin de obtener el mejor perfil aerodinámico, que genere un bajo valor de la fuerza aerodinámica de arrastre. A continuación se describirán cada uno de los diseños propuestos:

### Carrocería propuesta 1

El primer modelo de carrocería para la simulación aerodinámica posee pocas superficies suavizadas, siendo esta la carrocería modelo, donde resalta la parte frontal de la carrocería como un perfil aerodinámico, debido a que se mantuvo la carrocería frontal del modelo de base del go-kart. En la Figura 3.9 se observa todas las partes que conforman la carrocería, y la representación del piloto como un cilindro, debido a que la carrocería no está formada mediante una superficie continua como la de un auto común, sino que está formada por varios elementos como el piloto, las llantas y toda superficie expuesta que ejerza una resistencia al flujo del aire, que es considerada en la simulación aerodinámica.

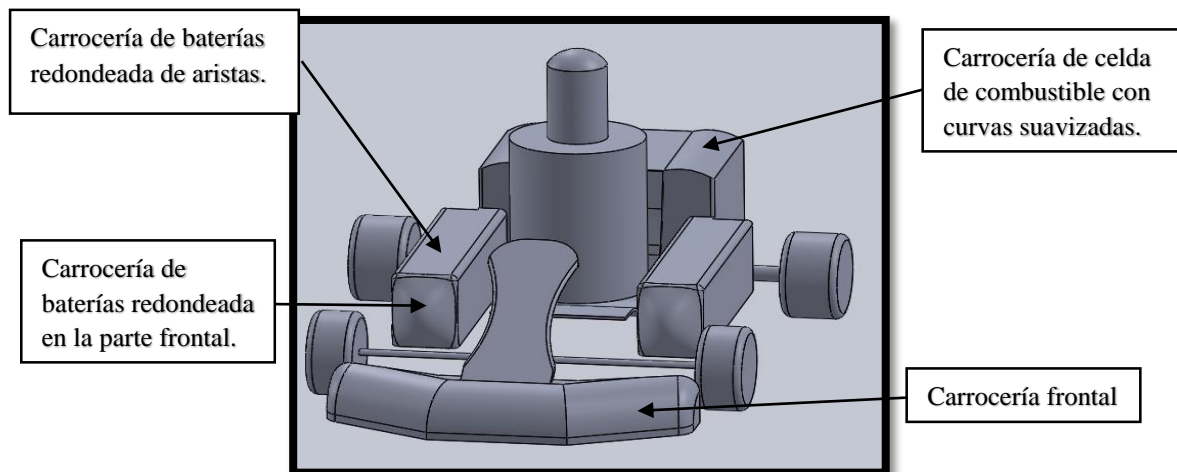


**Figura 3.9. Carrocería base del go-kart Modelo 2**

Fuente: Elaboración propia

### Carrocería propuesta 2

En la alternativa 1 de la carrocería se presenta varios cambios en su superficie, como se muestra en la Figura 3.10, donde se procedió a realizar redondeos en cada lado de la carrocería de las baterías y se añadió en la parte frontal una forma más redondeada, además se incluyó dos curvaturas en la parte superior de la carrocería de la celda de combustible, con el fin de reducir la fuerza y el coeficiente de arrastre.

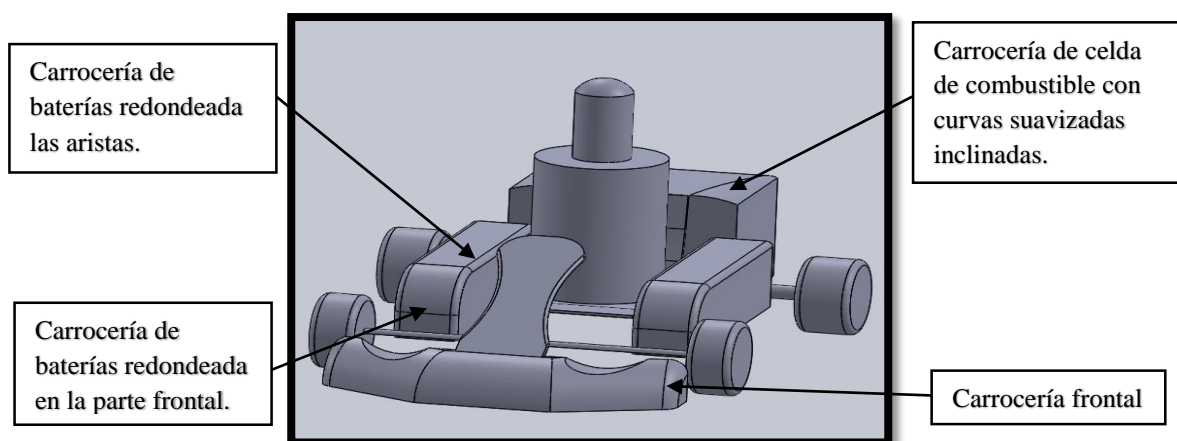


**Figura 3.10. Carrocería propuesta 2 del go-kart Modelo 2**

Fuente: Elaboración propia

### Carrocería propuesta 3

En la alternativa 2 de la carrocería, se procedió a realizar nuevos tipos de curvaturas, en las que consistió en cambiar la parte frontal de la carrocería de las baterías y redondear las aristas de la misma, como se observa en la Figura 3.11, también se propuso un cambio de forma en las curvas de la carrocería de la celda de combustible, con la finalidad de reducir la fuerza de arrastre aerodinámica, donde los resultados de la simulación se encuentran en la Tabla 11 y 12.



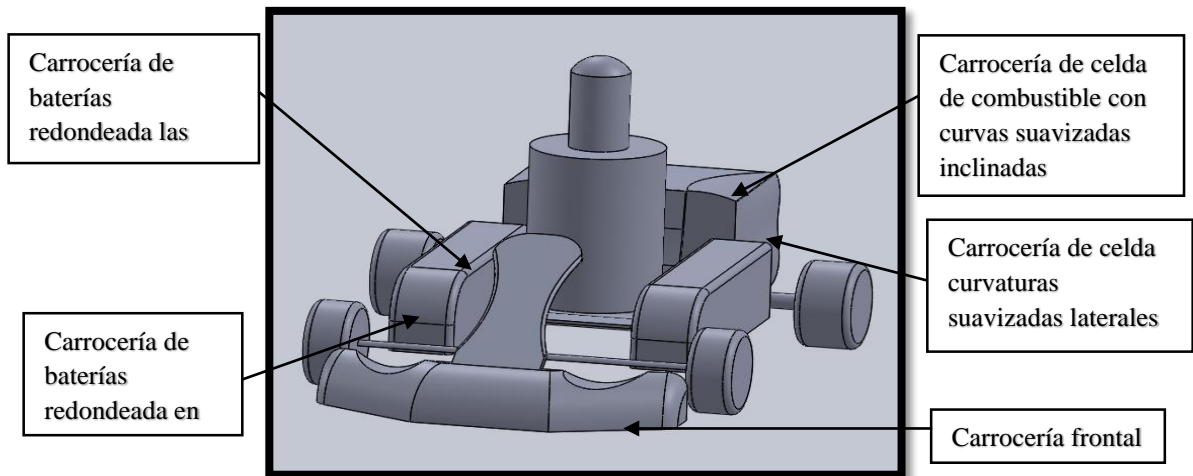
**Figura 3.11. Carrocería propuesta 3 del go-kart Modelo 2**

Fuente: Elaboración propia



#### Carrocería propuesta 4

En la alternativa 3 de la carrocería, se muestra en la Figura 3.12, aunque posee cierta similitud con la carrocería anterior, para lo cual se propone el diseño de nuevas curvaturas en las superficies laterales de la carrocería de la celda de combustible.

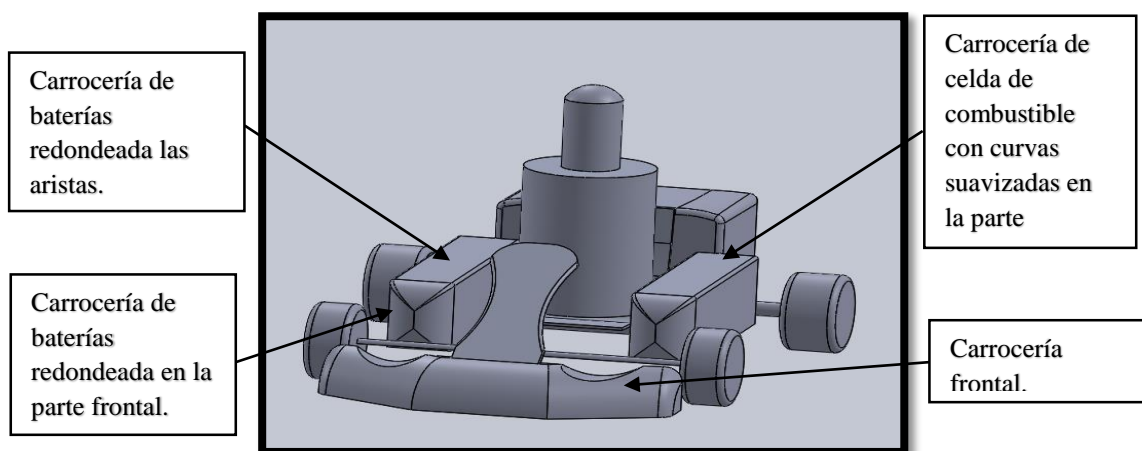


**Figura 3.12. Carrocería propuesta 4 del go-kart Modelo 2**

Fuente: Elaboración propia

#### Carrocería propuesta 5

En la alternativa 4 de la carrocería, se observa en la Figura 3.13, donde se procedió a suavizar la superficie superior y lateral de la carrocería de la celda de combustible, mediante el diseño de varias curvas suaves, donde además la carrocería de las baterías posee una forma redondeada en la parte frontal y curvas suaves a cada lado de esta.

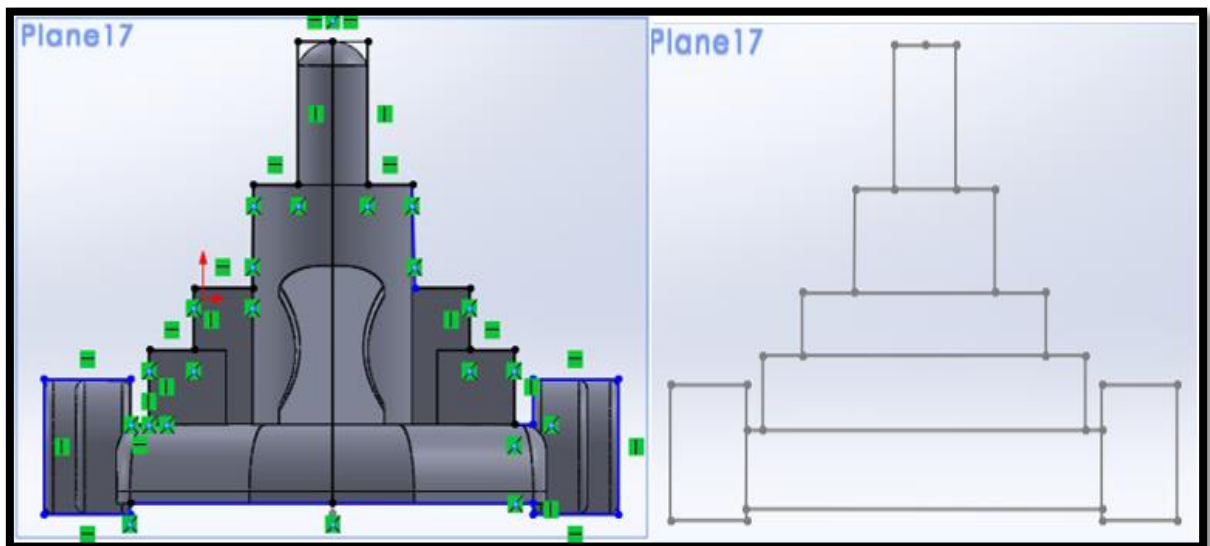


**Figura 3.13. Carrocería propuesta 5 del go-kart Modelo 2**

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo del área frontal

Para la determinación del área frontal se procedió a utilizar el software de modelado en 3D Solidworks, con el objetivo de que a cada de las carrocerías se las ubique en vista frontal, y que con la ayuda de un plano, se puede obtener el área proyectada de cada carrocería, obteniendo la silueta frontal de cada modelo, para determinar mediante el dibujo de rectángulos en el plano, de forma más simplificada el área total aproximada de cada carrocería. En la Figura 3.14, se puede observar la silueta frontal del modelo de la carrocería 1 formada por rectángulos, que permiten determinar el área frontal por cada tipo de carrocería.



**Figura 3.14. Área frontal del go-kart Modelo 2**

Fuente: Elaboración propia

Para la simulación del análisis aerodinámico, se procedió a colocar el valor del área frontal por cada modelo el cual se basó en el área proyectada del vehículo visto en un plano frontal, como se especificó en el capítulo 2.

En la tabla 9, se observan los valores totales de las áreas calculas por cada una de las carrocerías, mediante el método de áreas rectangulares, donde los cálculos se realizaron mano utilizando las medidas del dibujo.

**Tabla 9. Valores del área frontal por carrocería**

Tipo	Área Frontal ( $m^2$ )
Carrocería 1	0.6193
Carrocería 2	0.6314
Carrocería 3	0.6292
Carrocería 4	0.6319
Carrocería 5	0.6291

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos de la fuerza aerodinámica de arrastre en cada simulación por carrocería se muestran en la Tabla 10, donde los parámetros requeridos por el por el software ANSYSFLUENT, para determinan el comportamiento del fluido sobre la superficie de análisis fueron especificados en el capítulo dos.

**Tabla 10. Valores de la fuera aerodinámica de arrastre**

Tipo	Fuerza aerodinámica de arrastre
Carrocería 1	80
Carrocería 2	76
Carrocería 3	156
Carrocería 4	161
<b>Carrocería 5</b>	<b>74</b>

Fuente: Elaboración propia

Con la fuerza aerodinámica de arrastre obtenida por cada carrocería, el software ANSYSFLUENT me indica de forma inmediata el valor del el coeficiente aerodinámico de arrastre generado por la superficie de la misma, aunque también se puede determinar mediante la utilizando de la ecuación (17).

Para obtener los datos de la fuerza y el coeficiente de arrastre se realizó mediante 100 iteraciones en el software ANSYS FUENT, debido al tiempo que se tomaba en la simulación, porque existía una convergencia en la escala residual de  $1 \times 10^{-2}$  que se detalla en el análisis de carrocería ganadora más adelante.

A continuación se obtiene el coeficiente de arrastre de la carrocería propuesta 1, utilizando la expresión matemática (17):

Datos,

$$F_{Aer} = 80.19N.$$

$$A_f = 0.619 m/s^2.$$

$$v^2 = 13.89 m/s.$$

$$F_{Aer} = \frac{1}{2} C_x \rho A_f v^2$$

Donde,

$$C_x = 1$$

En la tabla 11 se observa los valores de los coeficientes aerodinámicos obtenidos mediante cálculo a mano de cada uno de las carrocerías.

**Tabla 11. Coeficientes aerodinámicos**

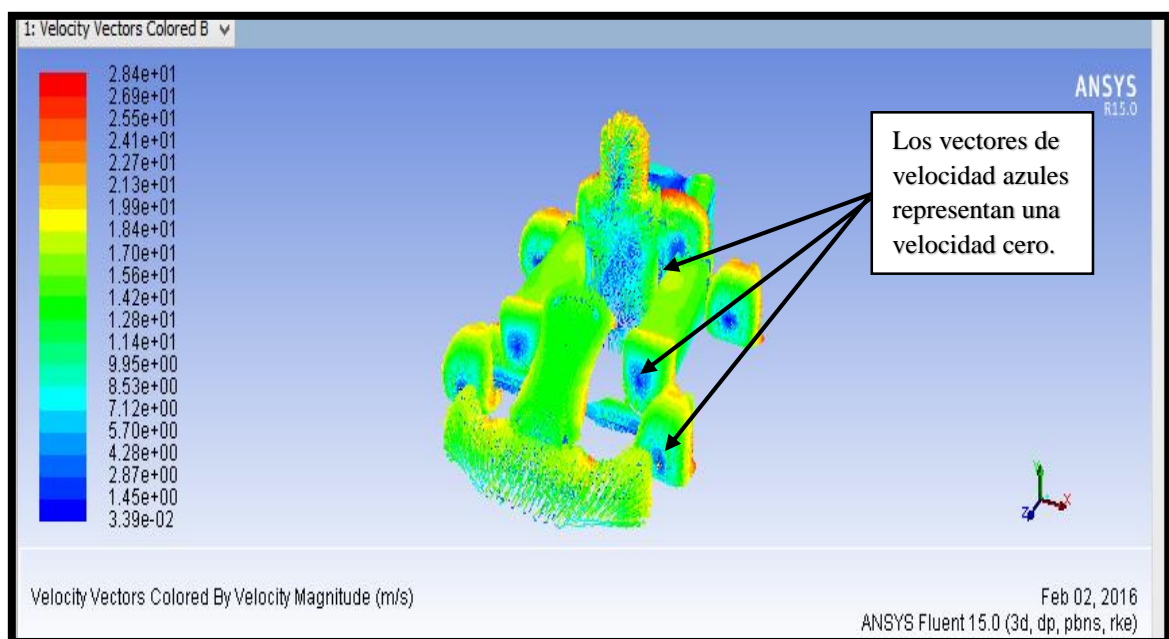
Tipo	Coefficiente aerodinámico
Carrocería 1	1.000
Carrocería 2	1.025
Carrocería 3	1.370
Carrocería 4	1.500
<b>Carrocería 5</b>	<b>0.9350</b>

Fuente: Elaboración Propia

Observando la Tabla 10 y 11 se puede determinar que la carrocería más idónea es la carrocería 5, debido a que posee el valor más bajo de fuerza y de coeficiente de arrastre aerodinámico.

### Comportamiento de la velocidad en ANSYSFLUENT

El perfil de velocidad del aire que fluye a través de la superficie de la carrocería 5, se observa en la Figura 3.15, donde se aprecia el comportamiento de la velocidad por medio de la formación de líneas de corriente en el flujo del aire sobre el contorno de la carrocería del go-kart. Observando que en las áreas donde los vectores de velocidad están de color azul, el fluido se encuentra detenido esto quiere decir que existe una velocidad cero, también conocido como puntos de estancamientos, los cuales generan presiones altas sobre su superficie de acción.



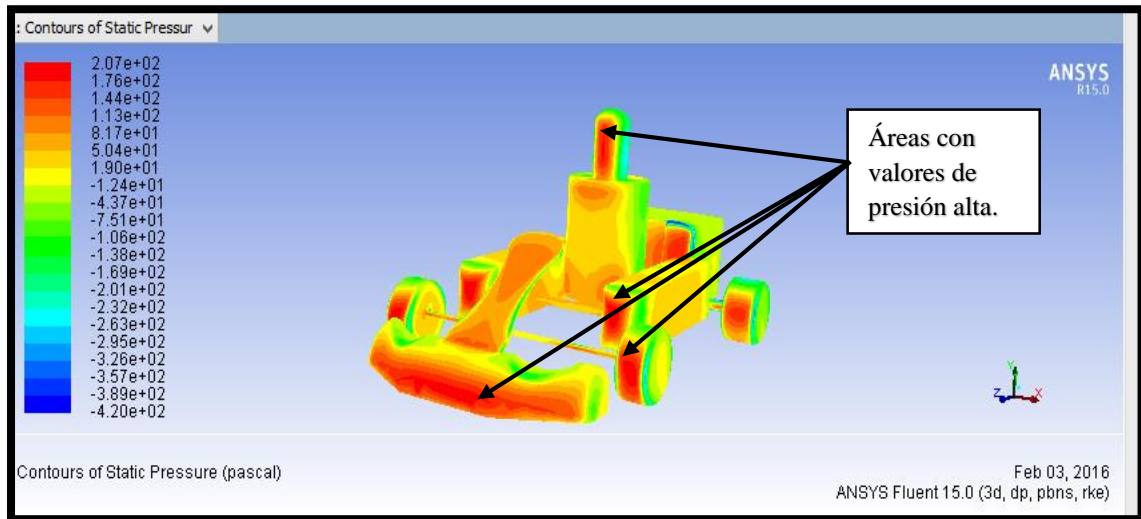
**Figura 3.15. Vector velocidad de la carrocería propuesta**

Fuente: Elaboración propia

### Comportamiento de la Presión en ANSYSFLUENT

En las áreas donde se encuentran los puntos de estancamiento la presión es alta, lo cual favorece al aumento de la carga aerodinámica, por ende siempre es recomendable en un análisis aerodinámico, disminuir estos puntos de estancamiento en lo mejor posible, con el fin de reducir la fuerza aerodinámica.

En la Figura 3.16 se observa que las superficies con mayor presión se encuentran sobre las áreas donde la velocidad es cero.

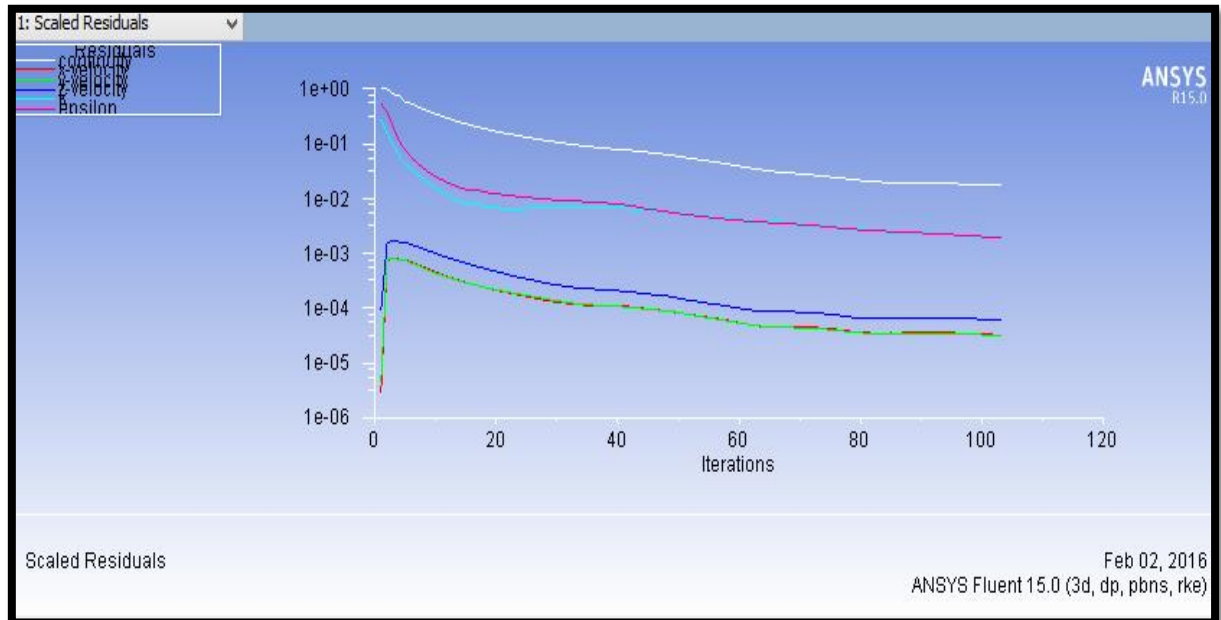


**Figura 3.16. Presión de contorno de la carrocería propuesta 5**

Fuente: Elaboración propia

Una de las principales consideraciones que se debe tener en cuenta para aceptar los valores obtenidos en la simulación es la convergencia de las ecuaciones y esto se puede verificar mediante la escala residual en ANSYSFLUENT, donde todas las componentes de velocidad y la continuidad de la velocidad del fluido debe encontrarse por debajo de  $1 \times 10^{-1}$ , y se comprueba que los valores de la fuerza de arrastre y de la valores sean coherentes mediante el número de iteraciones, en el presente proyecto se verificó por cada 25 iteraciones y los valores variaba su magnitud en forma descendente, y se escogió un total de 100 iteraciones por el tiempo que se demoraba en realizar las iteraciones.

En la Figura 3.17 se observa la escala residual de la carrocería 5 en ANSYSFLUENT, donde las componentes de velocidad y la continuidad de la velocidad se encuentran debajo  $1 \times 10^{-1}$ , con 100 iteraciones realizadas.



**Figura 3.17. Escala residual de convergencia de la carrocería 5**

Fuente: Elaboración propia

### 3.7 Análisis de costos

La descripción del análisis de costos abarca primeramente todos los valores de los materiales involucrados en la fabricación de los soportes y la carrocería del go-kart rediseñado, así como también la mano de obra utilizada para este proceso. Primeramente se procede a tomar las medidas de la cantidad de material que se necesita para la fabricación de los soportes y de la carrocería mediante los planos realizados que se encuentran en el apéndice C, para lo cual se procedió a realizar una llamada telefónica a la empresa IPAC, para realizar la respectiva cotización y verificación de la disponibilidad de la tubería previamente seleccionada por el catálogo virtual en internet, donde una parte de este, se encuentra en el apéndice C subrayando el tipo de tubería y planchas deseadas para el rediseño, y contando un servicio de corte para la placa de 30x60mm A-36 que se necesita.

En la Tabla 12, se observa el costo de cada uno de los materiales estructurales necesarios para el rediseño del chasis y la carrocería del go-kart, donde estos

precios pueden variar dependiendo del tiempo en que se realice la compra, debido a que el precio del acero no permanece constante.

**Tabla 12. Costo de materiales**

Material	Cantidad	P/neto	IVA (%)	Precio total(\$)
Tubería cuadrada 30x30 e=2mm(6m)	2	7.65	12	17.14
Tubería redonda de 1 1/4' e=2mm(6m)	1	6.70	12	7.50
Tubería redonda 3/4, e=1.5mm(6m)	3	3.30	12	11.01
<b>Total</b>				<b>69.92</b>

Fuente: Elaboración propia

Los gastos de transporte del material ascenderán a un valor de 10 dólares, y la compra de fajas la sujeción para la celda de combustible y las baterías suman un valor de 135 dólares, que se deben incluir en los costos de los materiales.

### **Costos de mano de obra del montaje de la estructura**

Para la manufactura de este proyecto se consultó al taller especializado en construcciones metalmecánicas de Hugo Enrique González, cuya oficina se encuentra ubicada en el barrio “Los Matías” en el Cantón Salinas provincia de Santa Elena, donde los costos de manufactura son por cada tipo de elemento como se observa en la Tabla 13.

**Tabla 13. Costos de mano de obra**

Tipo	Costos
Soporte de Celda de Combustible	\$400
Soporte Baterías	\$100
Soporte Tanque de hidrógeno	\$300
Carrocería	\$100
Total de costos	\$900

Fuente: Elaboración propia

Una vez manufacturada la carrocería se procede a realizar el análisis de costos por pintura, donde se selecciona dos tipos de pinturas una anticorrosiva y otra de acabado, con el objetivo de cuidar al go-kart, si se expone ambientes corrosivos.



Antes de seleccionar el volumen de pintura a comprar se debe calcular el área de la superficie total a pintar de la carrocería, la cual se determina con las medidas mediante los planos que se encuentran en el apéndice C. En la Tabla 14 se observan los valores del área total de la carrocería a pintar por elemento.

**Tabla 14. Área de carrocería**

Tipo de elemento	Área(m <sup>2</sup> )
Cubierta de celda de combustible	1.2
Cubierta de baterías	1.3
<b>Total</b>	<b>2.5</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **Cálculo de la cantidad de pintura necesaria**

Para determinar cuántos litros de pintura se necesitan para pintar la carrocería, primeramente se define el uso de dos tipos de pintura: la pintura base anticorrosiva y la pintura de acabado. Cada tipo de pintura tiene su propia ficha técnica, pero la característica más importante en cada una de ellas, es el rendimiento de la pintura, para lo cual se procede a seleccionar dos tipos de pinturas, la anticorrosiva marca WESCO nombrada como Anticorrosivi Stop Mate (Cromato de zinc) y la de acabado nombrada ATOMIX (esmalte alquílico, sintético) marca WESCO.

### **Pintura base (anticorrosiva)**

Los parámetros iniciales para la pintura base son obtenidos de la ficha técnica de la pintura que se encuentra en el apéndice C:

1. Rendimiento teórico de la pintura 10 m<sup>2</sup>/litro
2. Área total de la carrocería a pintar 2.5 m<sup>2</sup>
3. Número de pasadas 2

Entonces se tiene, que para determinar el área total a pintar, se debe multiplicar por el número de pasadas determinada por la ficha técnica de la pintura:

**Área total a pintar:** Área total de la carrocería a pintar x Número de pasadas.

$$\text{Área total a pintar: } 2.5 \times 2$$

$$\text{Área total a pintar: } 5\text{m}^2$$

La cantidad de litros que se emplea de pintura anticorrosiva en el pintado de la carrocería se determina mediante la siguiente expresión matemática:

**Cantidad de litros:** Área total a pintar x Rendimiento teórico de la pintura.

$$\text{Cantidad de litros: } 5\text{m}^2 \times \frac{1 \text{ litro}}{10\text{m}^2}$$

$$\text{Cantidad de litros: } \frac{1}{2} \text{ litro de pintura anticorrosiva.}$$

Los diferentes factores como el desperdicio de pintura que se genera por la utilización de soplete, se recomienda comprar **1 litro de pintura**.

### **Pintura de acabado**

Los parámetros iniciales para la pintura de acabado son obtenidos de la ficha técnica de la pintura que se encuentra en el apéndice C, donde sus datos característicos son:

1. Rendimiento teórico de la pintura  $12 \text{ m}^2/\text{litro}$
2. Área total de la carrocería a pintar  $2.5 \text{ m}^2$
3. Número de pasadas 2

**Cantidad de litros:** Área total a pintar x Rendimiento teórico de la pintura.

$$\text{Cantidad de litros: } 5\text{m}^2 \times \frac{1 \text{ litro}}{12\text{m}^2}$$

$$\text{Cantidad de litros: } 0.42 \text{ litros de pintura.}$$

Por los diferentes factores que influyen en el proceso de pintado se recomienda comprar 1 litro de pintura.

En la tabla 15 se observa los costos por cada litro de pintura y el valor del thinner que es un diluyente que permite disminuir la densidad de la pintura. Cada costo fue consultado en la página web de Pintulac.

**Tabla 15. Costo por pintura**

Tipo	Cantidad (Litros)	P/neto	IVA (%)	Precio total(\$)
Pintura Anticorrosiva blanca	1	6.64	12%	7.44
Pintura de acabado	1	4.74	12%	4.31
Thinner	1	1.20	12%	1.34
			<b>Total</b>	13.09

Fuente: Elaboración propia

### **Costo de la mano de obra por pintura.**

Una vez seleccionada la cantidad de pintura que se desea comprar, se propone contratar la mano, para lo cual se consultó el valor al taller metalmeccánico con un costo de 30 dólares por toda la carrocería. La descripción del tipo de pintura utilizada se encuentra en el apéndice B.

En la tabla 16 se observan el valor total de los costos del proyecto, donde los imprevistos se calculó por un valor de 50 dólares, para la adquisición en el caso de ser necesario hacer el caso de pequeños materiales y de movilización, que surjan en el transcurso de la construcción del rediseño.

**Tabla 16. Costos**

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
Costos de materiales	\$ 69.62
Costos de construcción	\$ 900.00
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
Imprevistos	\$ 50.00
<b>COSTO TOTAL (APROX)</b>	<b>\$ 969.62</b>

Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO 4

En el presente capítulo, se explica la importancia de los resultados obtenidos en el Capítulo 3, debido a las simulaciones estructurales y aerodinámicas realizadas para el rediseño del go-kart. Así como también se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones, en base a los objetivos del proyecto en cuestión.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo la estructura rediseñada del go-kart se validó mediante el estudio estructural de tres tipos de ensayo de impacto que fueron frontal, lateral y posterior, teniendo en cuenta que los números de gravedad del impacto frontal(5) y lateral(11) son mucho mayor con respecto al impacto posterior(11), por lo cual los esfuerzos máximos generados en cada uno de los impactos no deben generar deformaciones plásticas, donde el impacto frontal y lateral en las simulaciones iniciales obtuvieron un esfuerzo máximo 402MPa, 552MPa, que sobrepasaron el límite de fluencia y último del acero ASTM A500 GRADO C ( $S_y = 317MPa, S_{ut} = 427MPa$ ), para lo cual se reforzó la parte frontal del chasis y se cambió la sección estructural del soporte de la batería reduciendo el esfuerzo a 295,MPa y a 248 MPa respectivamente cuyos valores cumplen con el comportamiento elástico de la estructura por encontrarse bajo el límite de fluencia del acero seleccionado, en el impacto posterior no se necesitó realizar ningún tipo de refuerzo, cambio de sección o aumento de espesor por el bajo esfuerzo generado de 226 MPa. Se obtuvo que el impacto frontal es el ensayo más crítico comparado con los otros tres tipos de ensayos.

En el análisis de fatiga se observó que debido a  $29.8 \times 10^8$  ciclos que soporta el chasis antes de que falle por flexión, este va a obtener una vida útil mayor a los 5 años requeridos y este resultado posee coherencia debido a que el esfuerzo generado por frenado brusco, no es constante sino por periodos de tiempo lo que permite tolerar más ciclos a flexión al chasis antes de que se produzca una falla.

En el análisis aerodinámico del diseño de la carrocería del go-kart, se validaron 5 carrocerías, con el objetivo de obtener el mejor perfil aerodinámico, donde la carrocería propuesta 5 fue la ganadora debido a que posee un menor coeficiente de arrastre de 0.9350 y una menor fuerza aerodinámica de 74N con respecto a las otras carrocerías, donde al comparar este resultado se consultó el trabajo realizado por el Ing. Marcos Evangelos Biancolini, que puede consultarse en la bibliografía al final, donde se puede observar que en un go-kart convencional, el coeficiente de arrastre es de 0.8990 que corresponde a un valor menor al obtenido, pero guarda coherencia con el resultado obtenido. Cabe resaltar que debido a las limitaciones de tiempo, solo se realizó una cantidad de 100 iteraciones en la simulación, esto quiere decir que si aumentamos los números de iteraciones se obtendrá un valor más cercano a la realidad.

#### **4.1 Conclusiones**

- En el desarrollo del presente proyecto se logró la realización del rediseño del chasis y la carrocería del go-kart, validando cada uno de los soportes rediseñados mediante simulaciones en ANSYS, donde los esfuerzos máximos generados en cada una de las estructuras rediseñadas se ubican bajo los límites de fluencia del material seleccionado, con el fin de evitar las deformaciones plásticas en la estructura y proteger la vida del piloto en todo momento.
- No siempre, es aconsejable aumentar el espesor de las secciones porque aumentan el peso del vehículo, por lo cual se propone colocar refuerzos
- La fatiga no es un factor importante para la falla del chasis en 5 años, debido a que el chasis tolera un gran número de ciclos por frenado brusco.
- La simulación aerodinámica lograda en ANSYSFLUENT, permitió obtener el perfil más apropiado para la carrocería, donde se concluyó que no toda curvatura realizada en la carrocería, ayuda a la disminución de la carga aerodinámica, debido a que cualquier aumento del área frontal, por muy poco que sea, incrementa el coeficiente de arrastre. Donde el coeficiente de arrastre posee una relación directamente proporcional a la fuerza aerodinámica de arrastre.

- Los costos obtenidos para el presente proyecto dependen principalmente del proceso de soldadura y del personal contratado para el montaje de la estructura.
- Los planos fueron realizados tanto para el rediseño de la carrocería como para el rediseño de la estructura.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda para la implementación del nuevo sistema de propulsión, la compra de un chasis de alquiler, debido a que estos poseen una mayor rigidez y permiten una mayor capacidad de absorción de impactos con respecto a los chasis de competencia, debido a que están diseñados para pilotos inexpertos, por lo cual no se los utiliza en competencia. Pero se ajustan de mejor manera a los requerimientos del presente proyecto. En el apéndice E, se observan los planos de un go-kart de la misma tecnología de estudio y un go-kart de alquiler.
- El piloto debe llevar todo su equipo de seguridad personal, debido a que no existe ningún tipo de fijación del go-kart al piloto, que le proteja su vida en un fuerte impacto. En el apéndice D, se adjunta un caso de estudio médico.
- Para realizar un análisis más avanzado de la carrocería del go-kart, se deben realizar pequeños cambios en su superficie y simularlos con diferentes condiciones y comportamientos del fluido, con una reducción del tamaño de malla en ANSYS FLUENT, y un mayor número de iteraciones.

# BIBLIOGRAFÍA

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila, F. L. (2004). Energías Renovables:Celdas de Combustible. *Ciclo de Charlas*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
2. Biancolini, M. (05 de 11 de 2007). *Academia educativa*. Obtenido de [www.academia.edu](http://www.academia.edu)
3. CIK-FIA. (4 de 12 de 2015). Obtenido de REGULATIONS:  
<http://www.cikfia.com/home.html>
4. DELAROSA. (3 de 02 de 2008). *8000vueltas*. Obtenido de  
<http://8000vueltas.com/2008/02/03/formula-zero>
5. Fontán, M. M. (2010). *Asociación Española de Pediatría*. Recuperado el 4 de 02 de 2016, de <http://www.analesdepediatría.org/es/son-seguros-los-karts/articulo/S1695403309005426/>
6. García, J. R. (2 de 9 de 2015). TURBULENCIAS Y REBUFO: ACCIDENTE DE TRÁFICO SIN COLISIÓN. Recuperado el 3 de 12 de 2015
7. IPAC. (s.f.). *IPAC*. Obtenido de Catálogo: <http://www.ipac-acero.com/>
8. Jordá, D. C. (16 de 12 de 2015). *abomedia.es*. Obtenido de  
[http://www.abomedia.es/latigazo\\_cervical\\_y\\_rehabilitacion.aspx](http://www.abomedia.es/latigazo_cervical_y_rehabilitacion.aspx)
9. JoyRide. (2015). Recuperado el 24 de 12 de 2015
10. Marchiorato, M. (2013). *Go-Kart 3d Fully complete*.
11. NIPUM JAL, S. S. (05 de 11 de 2015). *DYNAMICS OF AN ELECTRIC KART*. Obtenido de  
<http://www.euroasiapub.org/download.php?filename=NMbZP13u9gUtkzN.pdf&new=15EASJuly-2388.pdf>.
12. OmniAuto. (16 de 12 de 2015). *Omniauto*. Obtenido de  
<http://www.omniauto.it/foto/17489/mercedes-cla-aerodinamica-da-record>
13. Oni. (2015). Obtenido de Inmerso en un mar de aire:  
[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/BUENOS\\_AIRES/1315/pq2.html](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/BUENOS_AIRES/1315/pq2.html)
14. RFEDA. (30 de 10 de 2015). *DPTO.TÉCNICO*. Obtenido de <http://www.rfeda.es/>
15. Rodríguez, C. (4 de 8 de 2014). Estudio de la Aerodinámica de un vehículo. Coruña, España. Recuperado el 22 de 12 de 2015

16. Rosa de Guadalupe González Huerta, A. M. (2010). Descripción General de Celdas de Combustible. *Celdas de Combustible*. Canada: E. Hernández Pacheco.
17. Shigley. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: MCGRAW-HILL.
18. SODYKART. (s.f.). *kART RENTAL*. Obtenido de <http://www.sodikart.com/es/karts-sodi-rental.html>
19. Suárez, K. (30 de 10 de 2015). *Design and construction of a hybrid go-kart PEM fuel* . Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992008000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992008000400004)
20. Ternium. (16 de 12 de 2015). *Ternium*. Obtenido de <http://www.terniumcentroamerica.com/productos-placa/>



# APÉNDICES

**APÉNDICE A**  
**Planos Esquemáticos**

## APÉNDICE B

### Recursos Materiales

	Costo EEUU	Costo estimado Ecuador
<b>ME1003 Drive kit with Motor,Controller,Trothe,Contactor,Wire Kit and Fuse Block</b>	<b>\$1.350,00</b>	<b>\$2.700,00</b>
<p style="text-align: right;"><b>Motor</b></p> <p>1 x Motenergy ME1003 PMDC Motor, 12-72V, 15.4 hp cont, 30.8 hp pk +\$650.00</p> <p style="text-align: right;"><b>Controller</b></p> <p>Alltrax AXE4844 24-48V 400<sup>a</sup> \$390.00</p> <p style="text-align: right;"><b>Throttle</b></p> <p>Curtis PB8 Pot Box +\$130.00</p> <p style="text-align: right;"><b>Contactor</b></p> <p>Albright 12V SW180 (200A cont.) +\$85.00</p> <p style="text-align: right;"><b>Wire kit</b></p> <p>4 AWG Wire Kit for Brushed Motor Drive Kit +\$65.00</p> <p style="text-align: right;"><b>Fuse Block*</b></p> <p>1 x Fuse and Fuse Holder for Motor Drive Kit +\$30.00</p>		
<b>GBS 48V 100Ah Li-Ion Battery Pack with EMUS BMS and charger</b>	<b>\$4.280,13</b>	<b>\$8560,26</b>
<p style="text-align: right;"><b>Batteries</b></p> <p>4 x GBS 12V (4-Cell) 100Ah LiFeMnPO4 +\$2,460.00</p> <p style="text-align: right;"><b>BMS</b></p> <p>1 x Elektromotus EMUS 16-Cell BMS +\$759.53</p> <p style="text-align: right;"><b>Charger</b></p> <p>ELCON PFC1500 Charger 1.5kW, 24-120VDC +\$575.00</p> <p style="text-align: right;"><b>Optional Accessories</b></p> <p>1 x Lucent 20W DC-DC Converter +\$50.00</p> <p>1 x Crydom Solid State Relay 25A 240V DC IN +\$65.00</p> <p>1 x EIcon CAN Bus Interface Installed (Compatible with EIcon charges only) +\$105.00</p> <p>1 x Lenovo A1000 7" Portable Tablet with EMUS Dashboard Preloaded +\$195.00</p>		
<b>ARROW Chassis X2 TAG/ROTAX/Leopard 30/32mm tubing50mm Axle</b>	<b>\$3.696,00</b>	<b>\$7.392,00</b>
<b>Horizon 3000W PEM Fuel Cell</b>	<b>\$15.000,00</b>	<b>\$20.000,00</b>
H-3000 PEM FUEL CELL 3000W FCS-C3000		
<b>Programmable DC Electronics Loads</b>	<b>\$1.848,75</b>	<b>\$3.697,50</b>
BK 8510 600W Programmable DC Electronic Load		
<b>VBOX Mini/ 10hz Data Logger</b>	<b>\$1.500,00</b>	<b>\$3.000,00</b>

<b>Carga Hidrógeno (2 cargas de hidrógeno ultra puro 7 m<sup>3</sup> c/u) +alquiler cilindro</b>	<b>\$3.324,80</b>	<b>\$3.324,80</b>
<b>Cilindro de h2 en vehículo</b>	<b>\$1.200,00</b>	<b>\$2.240,00</b>
Cilindro toma muestra doble conexión inoxidable 304, 1/4 pulg NPTIL 3785 cm <sup>3</sup> (1gal), 124 bar <b>Cilindro de h2 en vehículo</b>		
	<b>TOTAL</b>	<b>\$48.674,56</b>

Fuente: REDU<sup>6</sup>, 2015

---

<sup>6</sup> REDU= Red Ecuatoriana de Universidades para Investigación de postgrados.

## APÉNDICE C

Características de los perfiles Y la plancha seleccionados del catálogo de IPAC.



### Especificaciones:

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Norma de calidad:	ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:	NTE INEN 2415
Espesores:	Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:	Otras dimensiones, espesores y largos previa consulta

### Tubería Estructural Redonda

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
D	e			Flexión			
D	e	A	P	I	W	I	
pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
3/4	19,10	1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,62
		2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,60
7/8	22,20	1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,74
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,50	1,43	1,12	1,64	1,03	1,07
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 3/4	44,50	1,50	2,02	1,59	4,67	2,10	1,52
		2,00	2,67	2,09	6,02	2,71	1,50
1 7/8	47,60	1,50	2,17	1,71	5,78	2,43	1,63
		2,00	2,87	2,25	7,48	3,14	1,61
2	50,80	1,50	2,32	1,82	7,06	2,78	1,74
		2,00	3,07	2,41	9,14	3,60	1,73
		3,00	4,51	3,54	12,92	5,09	1,69
2 3/8	60,30	1,50	2,77	2,18	12,00	3,98	2,08
		2,00	3,66	2,88	15,66	5,17	2,07
		3,00	5,40	4,24	22,26	7,38	2,03
2 1/2	63,50	1,50	2,92	2,29	14,00	4,42	2,19



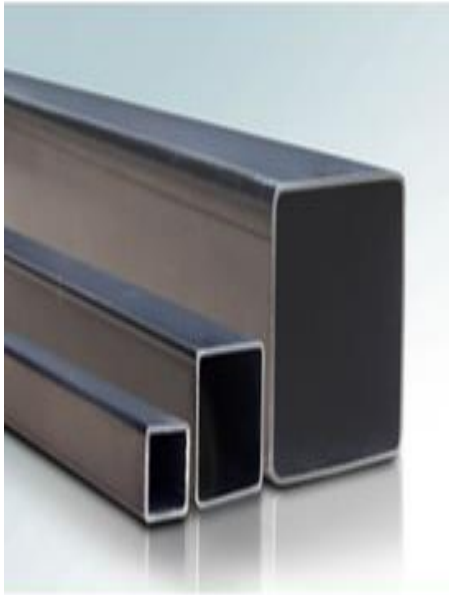
### Aplicaciones

- Estructuras: portantes, galpones y naves industriales
- Construcción: rejas, portones, columnas.
- Automotriz y de autopartes: carrocería, remolques y rodados.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes.
- Equipos y máquinas de todo tipo.

### Beneficios

Figura 5.1. Perfiles circulares

Fuente: (IPAC, s.f.)



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

especificaciones:

- Largo Normal: 6 metros
- Recubrimiento: Negro o Galvanizado
- Forma de calidad: ASTM A 500 Gr. A, B ó C
- Forma de Fabricación: NTE INEN 2415
- Espesores: Desde 1,50 a 6,00 mm
- Otras dimensiones, espesores y largos previa consulta

## Tubería Estructural Cuadrada

Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x e y-y			
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,05	0,69	0,69	0,72
25	1,50	1,35	1,06	1,41	1,11	0,97
	2,00	1,74	1,36	1,48	1,18	0,92
30	1,50	1,65	1,30	2,19	1,45	1,15
	2,00	2,14	1,68	2,71	1,81	1,12
	3,00	3,01	2,36	3,50	2,34	1,08
40	1,50	2,25	1,77	5,48	2,74	1,56
	2,00	2,94	2,31	6,92	3,46	1,53
	3,00	4,21	3,30	9,28	4,64	1,48
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,85	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89
60	1,50	3,45	2,71	18,04	6,31	2,43
	2,00	4,54	3,56	25,12	8,37	2,35
	3,00	6,61	5,19	35,06	11,09	2,30
75	2,00	5,74	4,50	51,90	13,84	3,00
	3,00	8,41	6,60	76,13	19,99	2,97
	4,00	10,95	8,59	94,02	24,74	2,92
100	2,00	7,74	6,07	122,99	24,60	3,99
	3,00	11,41	8,96	190,94	37,53	4,04
	4,00	14,95	11,73	235,87	46,54	3,96
125	2,00	9,74	7,64	350,00	56,00	6,00
	3,00	14,41	11,31	588,00	86,80	4,96
	4,00	18,95	14,67	857,00	112,12	4,91
150	6,00	27,63	21,69	1193,92	105,20	31,46
	4,00	20,55	16,13	581,38	86,13	5,32
	5,00	25,36	19,90	704,23	104,33	5,27
6,00	30,03	23,58	818,50	121,26	5,22	

Figura 5.2. Perfiles cuadrados

Fuente: (IPAC, s.f.)



## Plancha Laminada en Frío (Estándar)

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1.000	2.000	0,70	10,99	
1.000	2.000	0,90	14,13	Embutición
1.000	2.000	1,10	17,27	
1.000	2.000	1,40	21,98	
1.220	2.440	0,40	9,35	Comercial
1.220	2.440	0,45	10,52	
1.220	2.440	0,50	11,68	
1.220	2.440	0,60	14,02	
1.220	2.440	0,70	16,36	
1.220	2.440	0,75	17,53	
1.220	2.440	0,90	21,03	
1.220	2.440	1,10	25,70	
1.220	2.440	1,40	32,72	
1.220	2.440	2,00	46,74	

### Especificaciones:

Recubrimiento:	Negro
Norma de Fabricación:	NTE INEN 115
Norma de Calidad:	ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD / SAE 1010
Observaciones:	Dimensiones y largos especiales, previa consulta.

### Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceite.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.

**Figura 5.3. Plancha laminada en frío**

Fuente: (IPAC, s.f.)

## Pinturas

### Anticorrosivo



#### ANTICORROSIVO STOP MATE CROMATO DE ZINC

##### ESPECIFICACIONES

Acabado:	Mate
Secamiento al tacto bajo condiciones normales:	1 a 2 horas
Secamiento para segundas manos:	4 horas
Espesor recomendado película seca:	25 - 38 micrones
Rendimiento teórico (a 25 micrones película seca):	Hasta 10 m <sup>2</sup> /litro
Método de aplicación:	brocha o soplete
Disolvente para dilución y lavado de equipos:	Thinner Corriente
Dilución: corriente.	4 partes pintura con 1 de Thinner

Figura 5.4. Pintura anticorrosiva

Fuente: Pintulac, 2015

### Acabado



#### ATOMIX "Esmalte alquídico sintético"

##### ESPECIFICACIONES:

Acabado:	Brillante
Número de manos recomendadas:	2 a 3 manos según color y superficie
Espesor recomendado película seca:	35 a 45 micrones
Rendimiento teórico (a 25 micrones película seca):	Hasta 12 m <sup>2</sup> /l y por mano a 25 micrones
Punto de Chispa:	Inflamable
Método de aplicación:	Brocha, rodillo, o soplete
Dilución para aplicación a soplete:	4 partes de Atomix con 2 de thinner corriente por volumen
Tiempo de secado	Entre 2 a 3 horas a un espesor de 25 micrones y a una temperatura ambiente de 25 oC.
Disolvente para lavado de equipos	Thinner corriente

**Nota:** Para el cálculo del rendimiento práctico se debe tener en cuenta el tipo de superficie, espesor de película, equipos de aplicación y condiciones atmosféricas

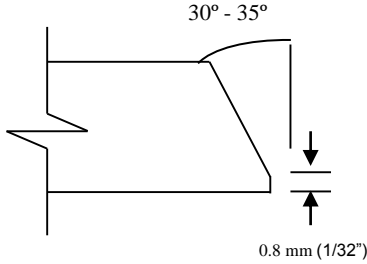
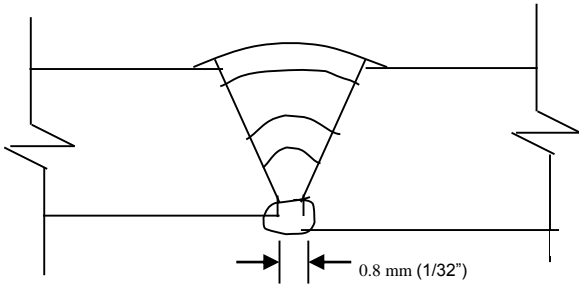
Figura 5.5. Pintura de acabado

Fuente: Pintulac, 2015



## APÉNDICE D

### Proceso de soldadura WPS

<b>CLIENTE:</b> Erick Arcos <i>(Client)</i> <b>PROYECTO:</b> Rediseño de chasis y Carrocería de go-kart <i>(Project)</i>	<b>WPS N°:</b> Rev.:  <b>Fecha</b> <i>(Date)</i> :	<b>HOJA</b> <i>(Page)</i> : 1 / 3	
<b>6. ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b> <i>(Welding Procedure Specification)</i>			
<b>6.1.1.1 PROCESO DE SOLDADURA</b> <i>(Welding Process)</i>  <b>ELECTRODO REVESTIDO</b> <i>(GMAW-GAS METAL ARC WELDING)</i>	<b>6.1.1.2 TIPO</b> <i>(Type)</i>  <b>SEMI-MANUAL</b> <i>(SEMI-MANUAL)</i>	<b>PQR S</b> <i>(Supporting PQR No.s)</i>	<b>6.1.1.3 NORMA APLICABLE</b> <i>(Referenced Standard)</i>  <b>ASME section IX</b>
<b>UNIDAD ( TO TAMA )</b>  <b>Tipo de Junta:</b> Ranura en V <i>(Joints Design) ("V"Groove)</i> <b>Placa de Respaldo:</b> N/A <b>Material:</b> N/A <i>(Backing) (Backing Material)</i> <b>Otros:</b> N/A <i>(Other)</i>	<b>6.2.1.1 DETALLES (DETAILS)</b>  <div style="text-align: center;">  </div>  <div style="text-align: center;">  </div>		
<b>METALES BASE (BASE METALS)</b>  <b>Especificación del Material Base:</b> A-500 <i>(Material Specification)</i>  <b>Grado:</b> C <i>(Grade)</i>  <b>Rango de Espesor Calificado:</b> 1.5 mm a 10 mm <i>(Thickness Range) (1/16" to 3/8")</i>  <b>Rango de Diámetro Calificado:</b> 25,4 mm a 50,8 mm <i>(Diameter Range) (1,500"to 3,000"O.D.)</i>  <b>Fabricante de la Tubería:</b> Todos <i>(Manufacturer): (All)</i>			
<b>METAL DE APORTE</b> <i>(FILLER METALS)</i> <b>Pase (Pass No(s)):</b> <b>Diámetro (Size):</b> <b>EspecSFA (SFA Specification):</b> <b>Clasificación AWS</b> <i>(AWS Class.):</i>	<b>Raíz</b> <i>(Root pass)</i> 0,9 mm (0,035") 5.18 ER70S-6	<b>Pase Caliente</b> <i>(Hot Pass)</i> 0,9 mm (0,035") 5.18 ER70S-6	<b>Pases Relleno / Presentación</b> <i>(Fill and Cap)</i> 0,9 mm (0,035") 5.18 ER70S-6

<b>CLIENTE:</b> Erick Arcos <i>(Client)</i> <b>PROYECTO:</b> Rediseño de chasis y Carrocería de go-kart <i>(Project)</i>	<b>WPS N°:</b> <b>Rev.:</b> 0  <b>Fecha</b> <i>(Date):</i>	<b>HOJA</b> <i>(Page):</i> 2 / 3
<b>PRECALENTAMIENTO</b> <i>(PREHEAT)</i>  Temp. Pre calentamiento (Min.): N/A <i>(Preheat Temp. (Min.))</i> Nota 1&2 <i>(Note 1&amp;2)</i>  6.2.4.1 <b>Temp. Entre Pasadas:</b> N/A 6.2.4.2 (Interpass Temp. (Max))  6.2.4.3 <b>Método de Pre calentamiento:</b> N/A <i>(Preheat Method)</i>  <b>Método de Medición de Temp.:</b> N/A <i>(Temp. Measurement Method)</i>	<b>GAS</b> <i>(SHIELDING/PURGE GAS)</i> 6.2.4.3.1.1.1 <i>Pase Tipo Mezcla (%) Flujo</i> <b>6.2.4.3.1.1.2 (Pass No.) (Type)</b> <b>(Mixture %) (Flow Rate)</b> <b>Raíz:</b> CO <sub>2</sub> 100% 25 ft <sup>3</sup> /h <i>(Root)</i> <b>Caliente / Relleno:</b> CO <sub>2</sub> 100% 25 ft <sup>3</sup> /h <i>(Hot/Fills)</i> <b>Presentación:</b> CO <sub>2</sub> 100% 25 ft <sup>3</sup> /h <i>(Cap)</i>	
<b>POSICION DE SOLDADURA</b> <b><i>(WELDING POSITION)</i></b>  <b>Tubo Rotando:</b> N/A <b>Tubo Fijo:</b> Todas ( 6G ) <i>(Rolled) (Fixed) All (6G)</i> 6.2.7.1 <b>Sentido de Avance:</b> <i>Descendente</i> <i>(Welding Progression) (Vertical Down Hill)</i> <b>Otros:</b> N/A <i>(Other)</i>	<b>TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUES DE SOLDAR</b> <i>(POSTWELD HEAT TREATMENT)</i>  <b>Temperatura</b> <i>(Temperature):</i> N/A <b>Tiempo</b> <i>(Time):</i> N/A <b>Otros</b> <i>(Other):</i> N/A	



## 7.3.1

**7.3.2 TECNICA (TECHNIQUE)**

**Tipo de Pase:** Cordón Angosto en Pases de Raíz y Caliente; Cordón Oscilado o Ancho en Relleno y Presentación  
(Stringer or Weave Bead) (Stringer Bead in Root and Hot; Weave Bead in Fill and Cap)

**Oscilación:** Máximo 3 veces el diámetro de electrodo  
(Oscillation): (Max 3 times electrode diameter)

**Limpieza:** Esmerilado después del Pase de Raíz y Cepillado entre los demás Pases  
(Cleaning): (Grinding After First Pass & Brushing Between Other Passes)

**Herramientas:** Amoladora, Grata, Disco de Corte y Disco de Desbaste  
(Tools: ) (Grinding and Brush Power)

**Tipo de Corriente:** Corriente Continua

8. PASE DE	9. SE NTIDO DE AVANCE	METAL DE APORTE (FILLER METAL)				VARIABLES ELÉCTRICAS		15. VELOC. DE AVANCE TRAVEL SPEED in/min	VELOC. DE ALAMB. (Roll Speed) in/min
		10. (PROGRESION)	19. VELOCIDAD (WFS)	OSCILACIÓN MÁXIMA (MAX OSCILLATION)		23. AMPERAJE (Amperage) (A)	24. VOLTAJE (Voltage) (V)		
				DIÁMETRO (DIAMETER)	20. MIN (IPM)				
28. 1-RAIZ (Root)	Descendente (Down Hill)	0,9 mm (0,035")	N/A	Ø electrodo (Ø electrode)	N/A	80-160	CONST.	3-6	280
31. 2 CALIENTE (Hot pass)	Descendente (Down Hill)	0,9 mm (0,035")	N/A	Ø electrodo (Ø electrode)	N/A	80-160	CONST.	3-6	280
34. 3 RELLENO (Fill)	Descendente (Down Hill)	0,9 mm (0,035")	N/A	3 x Ø electrodo (3 x Ø electrode)	N/A	80-160	CONST.	3-6	280

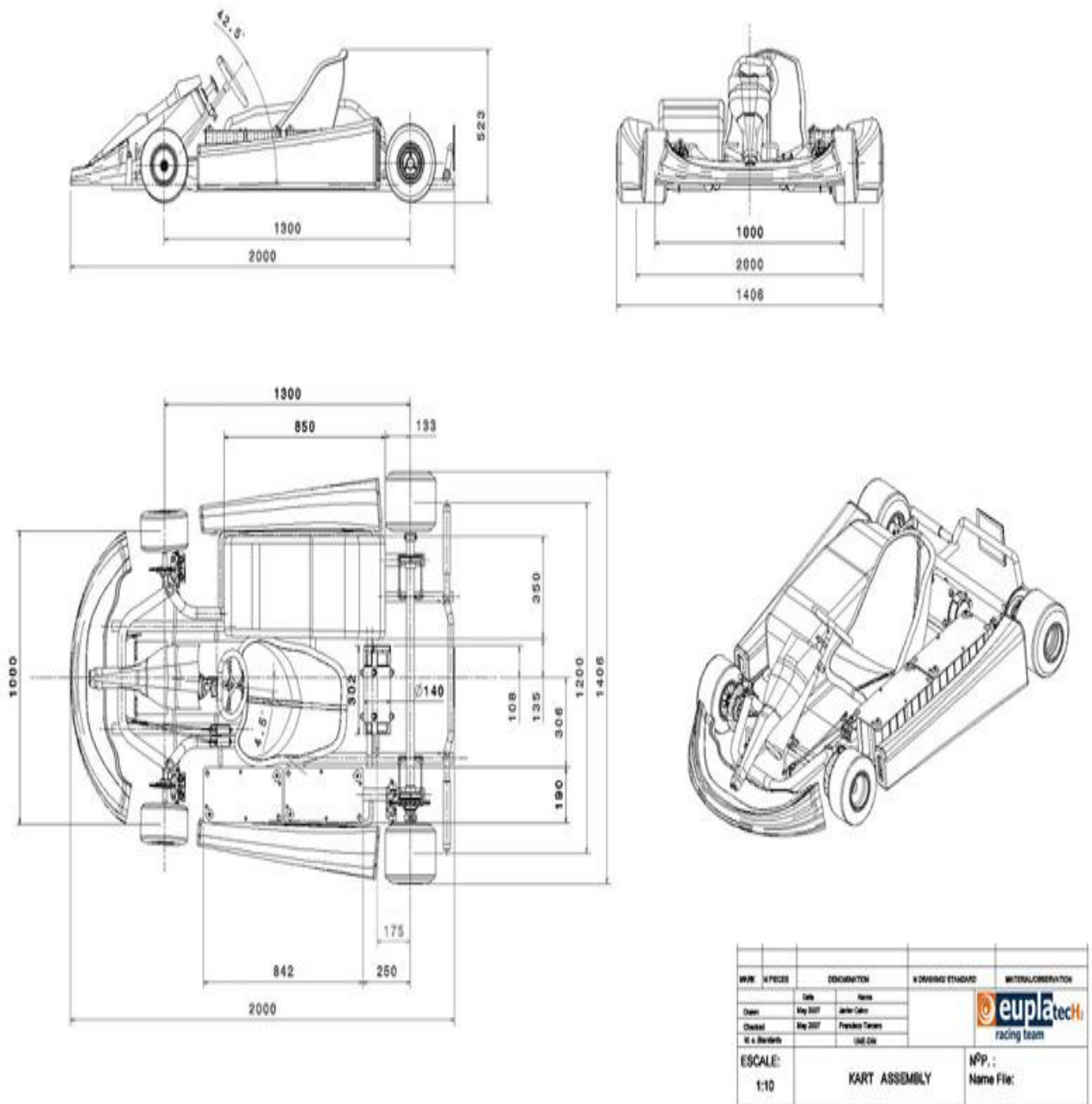
**Notas (Notes):**

1. La soldadura no debe ser ejecutada cuando la superficie del tubo este húmeda o con una temperatura inferior a 10 °C, en este caso la junta a soldar debe ser secada con antorcha, a una temperatura mínima de 55°C. (Welding must not be performed on moist pipe surface or under 50 °C, if this happen, pipe must be dried with torch at 131 °F).
2. Se realizará precalentamiento a 100°C de ser requerido, dependiendo de las condiciones existentes en el campo.

Fuente: Elaboración propia

## APÉNDICE E

### Planos esquemáticos de un go-Kart de la misma tecnología de estudio.



**Figura 5.6. Plano de ensamble**

Fuente: (DELAROSA, 2008)

## **Go-kart de Alquiler**

Los go-kart de alquiler no sirven para ser utilizados en circuitos oficiales de competencia, debido a que están diseñados para la industria de la diversión y el entretenimiento, donde se somete a la estructura del chasis a constantes esfuerzos, generados por los choques de los pilotos inexpertos contra los muros o entre go-karts, lo que exige un diseño más robusto del chasis implicando mayor rigidez, que repercute directamente en la amortiguación y el peso del vehículo.

En las recomendaciones de este proyecto se menciona la compra de un chasis de alquiler, con el finalidad de de obtener una estructura con mayor rigidez, que se adapte de la mejor manera a los requerimientos necesarios para el nuevo rediseño, debido principalmente por el aumento de las cargas del sistema híbrido.

Existen algunas fábricas que manufacturan go-karts de alquiler, pero una de las más reconocidas por su calidad es la empresa francesa Sodikart, que mediante su página web, explica los diferentes de kart. Accionados con diferentes tipos de energía como se muestra a continuación:

### **Extracto de la página oficial de sodikart**

La gama «Sodi Rental» ha sido diseñada para los profesionales del alquiler. Con más de 1 000 circuitos (interior y exterior) equipados por todo el mundo, los karts «Sodi Rental» hacen gala de una notoriedad excepcional .y son considerados, desde hace muchos años son considerados los mejores kart de alquiler del mundo.

En la gama existen tres niveles de materiales: «Classic», «Prestige» y «Ekokart». Cada uno responde a una necesidad específica si bien en todos prevalecen aspectos como la calidad, la seguridad y unas prestaciones únicas. Los karts «Sodi Rental», térmicos, eléctricos o de GPL, ofrecen a todos los profesionales exigentes un material sin igual en el mercado.

En la Figura 5.7 se observa un go-kart de alquiler, de accionamiento eléctrico, con protectores alrededor de todo el vehículo.



**Figura 5.7.Go-kart de alquiler**

Fuente: SODYKART

## APÉNDICE F

### Casos de estudio Médico por accidentes de Karting

	Caso 1	Caso 2
Sexo	Mujer	Varón
Edad	16 años	11 años
Antecedentes	Asma leve intermitente	Epilepsia parcial benigna de la infancia Rasgos de TDAH, no tratado
Circunstancias del accidente	Circuito de karting	Circuito de karting
Mecanismo de lesión	Traumatismo abdominal contra el volante	TCE
Protecciones	Casco	Casco (tamaño inadecuado)
		• •
	•	TCE grave (Glasgow 5-6 bajo sedación)
	Traumatismo abdominal cerrado grave	• •
	•	Fracturas craneofaciales (frontal y temporal izquierda, ambos senos frontales, etmoidal, pared medial órbita izquierda, seno maxilar izquierdo, pirámide nasal)
Lesiones	Contusión intestinal	• •
	•	• •
	Perforación yeyunal	Hematoma epicraneal frontal izquierdo y periorbitario izquierdo
	•	• •
	Hematoma en el colon transverso	Traumatismo ocular con hipertensión intraocular
	•	• •
Tiempo en cuidados intensivos	3 días	8 días
	• •	• •
	Cuidados intensivos	Cuidados intensivos
	• •	• •
Tratamientos	Laparotomía media	Monitorización presión intracraneal
	• •	• •
	Resección yeyunal	Ventilación mecánica 3 días



	Caso 1	Caso 2
		• • Tratamiento de hipertensión intraocular
Evolución	Favorable	Favorable
Tiempo de hospitalización	16 días	24 días
	• • Anemia secundaria	
	• •	• •
Complicaciones/secuelas	Reingreso a los 8 días del alta por dolor abdominal (pruebas de imagen normales)	Anemia secundaria
	• •	• •
	Cicatriz de laparotomía valorada en cirugía plástica	Mínima ptosis izquierda

TCE: traumatismo craneoencefálico; TDAH: trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

Las lesiones más frecuentemente descritas como consecuencia de accidentes con karts son las derivadas de la contusión (torácica, abdominal o pélvica) a alta velocidad contra el volante del vehículo, tal como ocurrió en nuestra primera paciente. Teniendo esto presente, llama la atención que la utilización de cinturón de seguridad no sea un requisito para la conducción de estos vehículos

Toda la información aquí suscrita fue tomada de la página web de la Asociación Española de Pediatría (AEP), el link de la página se encuentra en bibliografía (Fontán, 2010).

## APÉNDICE G

### Consulta a los organismos de la CIK-FIA y RFDA

#### CIK-FIA

#### Mail de consulta:

RE: CIK FIA Contact Form

↑ ↓ ×

**De :** Erick [mailto:[irarcos@hotmail.com](mailto:irarcos@hotmail.com)]

**Envoyé :** vendredi 20 novembre 2015 02:51

**A :** [cik@fia.com](mailto:cik@fia.com)

**Objet :** CIK FIA Contact Form

First Name Erick

Last Name Arcos

Country Ecuador

Phone 0989004700

Email [irarcos@hotmail.com](mailto:irarcos@hotmail.com)

Message Good night, I am making chassis of go-kart and i would like to know what is the norm that me permit maximum allowable deformation that can withstand the chassis and different types of tests(statics and dynamic) that apply to be approved.. thank very much for your help.

#### Mail de respuesta:

RE: CIK FIA Contact Form

↑ ↓ ×



[cik@fia.com](mailto:cik@fia.com) (cik@fia.com) Agregar a contactos 26/11/2015 Fotos  
Para: Erick ✉

[cik@fia.com](mailto:cik@fia.com) es de confianza. Mostrar siempre el contenido.

Dear Sir,

Thank you for your e-mail.

We inform you that there is no indication in our regulations regarding this matter.

Best regards,



FEDERATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE

## RFDA

### Mail de consulta:

---

De: Ivan Rodrigo Arcos [<mailto:irarcos@hotmail.com>]  
Enviado el: sábado, 28 de noviembre de 2015 16:34  
Para: RFDeA <[rfeda@rfeda.es](mailto:rfeda@rfeda.es)>  
Asunto: Chassis-Gokart

Buenos días,

Estoy fabricando un chasis para go-kart y me gustaría saber si existe una norma que me indique la máxima deformación que se puede tolerar en los test o ensayos de impacto frontal o lateral.

También estoy rediseñando un chasis de go-kart, para el cual se va a reemplazar el motor de combustión interna por un motor eléctrico a baterías que funcione con celdas de combustibles. Me gustaría saber si existe alguna normativa sobre el chasis y sus respectivos test.

Muchas gracias por la ayuda.

-----Mensaje original-----

De: Ivan Rodrigo Arcos [<mailto:irarcos@hotmail.com>]  
Enviado el: lunes, 30 de noviembre de 2015 19:07  
Para: Alvarez, Fernando <[homologa@rfeda.es](mailto:homologa@rfeda.es)>  
Asunto: Chasis -carrocería

Muy buenos días.

Estimado Fernando,

Si es correcto, estoy haciendo para competencia, y la verdad desconozco la normativa que me indique la deformación máxima permisible o el parámetro que me permita encontrar el equivalente estático para omitir el análisis dinámico (para los test de impacto) como se encuentra indicado para los carros rally o buggy en el anexo j . He buscado información acerca de alguna norma y no he tenido suerte por lo cual es mi inquietud. Muchas gracias por la ayuda

### Mail de respuesta:

Buenos días,

Lamentablemente, el reglamento de homologaciones para homologar material de karting no especifica estos valores. La homologación solo se refiere a aspectos de material y dimensiones de chasis pero no a su comportamiento.

Si estuvieras interesado en homologar material en el futuro, te remitiría la documentación una vez esté lista para este 2016.

Saludos,

Fernando Álvarez Aragonés  
Dpto. Técnico/Technical Department  
Real Federación Española de Automovilismo  
C/ Escultor Peresejo, 68 bis. - 28.023 Madrid  
Tel. +34 91 729 94 30 - Fax: +34 91 357 02 03  
[www.rfeda.es](http://www.rfeda.es)

Antes de imprimir este mensaje, asegúrate de que es necesario.

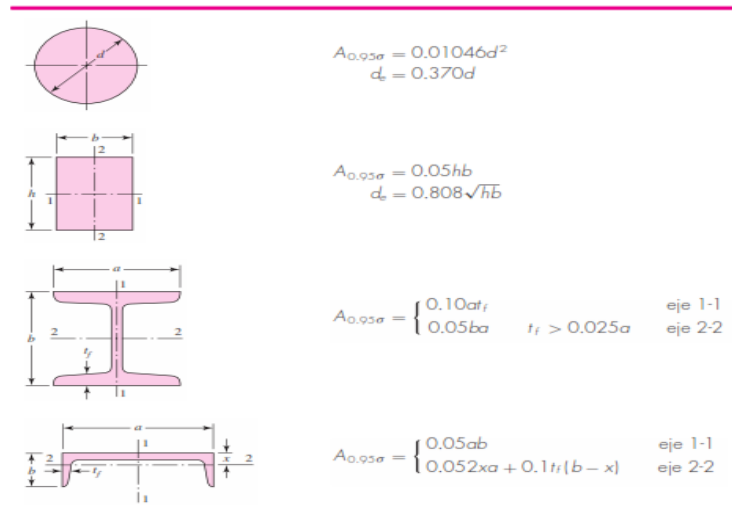
De conformidad con la Ley Orgánica 15/1999, le informamos que los datos que nos ha facilitado y los que nos facilite en el futuro por cualquier medio serán incorporados a fichero/s automatizado/s de la REAL FEDERACION ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO, con la finalidad de mantener relaciones con terceros. Usted podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición dirigiendo un escrito firmado, acompañado de fotocopia de su DNI, a REAL FEDERACION ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO, c/ Escultor Peresejo 68 bis, 28023, Madrid, España.

## APÉNDICE H

Acabado superficial	Factor $a$		Exponente $b$
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

**Figura 5.8.** Parametros en el factor de la condición de Marin

Fuente: (Shigley, 2008)



**Figura 5.9.** Áreas de perfiles estructurales no rotativos

Fuente: (Shigley, 2008)

Confiability, %	Variación de transformación $z_\sigma$	Factor de confiabilidad $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

**Figura 5.10.** Factores de confiabilidad  $k_e$

Fuente: (Shigley, 2008)

## APÉNDICE I

Tabla 17 .Características de los componentes del diseño

Tipo de elemento	Peso(kg)	Dimensiones(mm)	Densidad(Kg/m)
<b>Celda</b>	15,2	481x350x183	5677,38
<b>Batería</b>	12,8	125x280x234	1562,88
<b>Tanque</b>	6,5	∅ =90 l=419	2438,51
<b>Motor</b>	17,72	∅ =201 l=188.9	2721,31

Fuente: Elaboración propia