



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

TEMA: DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y
CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO
TIPO FORMULA SAE

AUTORES: CAIZA CHASI, VINICIO FABIÁN
VILAÑA MONTEROS, JUAN PABLO

DIRECTOR: ING. ARTEAGA, OSCAR
CODIRECTOR: ING. MENA, STALIN

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)

ING. STALIN MENA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE”**, realizado por Caiza Chasi Vinicio Fabián y Vilaña Monteros Juan Pablo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Siendo un proyecto con un excelente contenido científico y de calidad que contribuirá a la enseñanza y aplicación de conocimientos para el desarrollo profesional, por lo que se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a CAIZA CHASI, VINICIO FABIÁN Y VILAÑA MONTEROS, JUAN PABLO que lo entreguen al ING. JUAN CASTRO, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Marzo 2015

Ing. Oscar Arteaga
DIRECTOR

Ing. Stalin Mena
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

CAIZA CHASI VINICIO FABIÁN
VILAÑA MONTEROS JUAN PABLO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE”**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Marzo 2015

Caiza Chasi Vinicio Fabián

C.C: 172355946-2

Vilaña Monteros Juan Pablo

C.C:172502432-5

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Caiza Chasi Vinicio Fabián y Vilaña Monteros Juan Pablo

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Marzo 2015

Caiza Chasi Vinicio Fabián

C.C: 172355946-2

Vilaña Monteros Juan Pablo

C.C:172502432-5

DEDICATORIA

Dedico esta obra principalmente a mi padre, Héctor Fabián Caíza Sangucho, que ha sido el encargado de formar mi carácter con su ejemplo, consejos y experiencias vividas, para que sepa cumplir mis objetivos, siempre con honestidad y responsabilidad.

A mi abuelita, que me acogió en su hogar durante el tiempo que me tomaba llegar a cumplir una meta más en mi vida.

A mi madre, que este donde este, siempre la llevo en mi corazón.

Y a todas las personas que siempre desearon lo mejor para mí.

Vinicio Fabián Caíza Chasi

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por permitirme cumplir esta etapa de mi vida y encaminarme en tan hermosa profesión.

A mi madre Sara Monteros, que ha sido el pilar fundamental en mi vida, quien siempre se preocupó por mí y me enseñó a esforzarme al máximo para conseguir mis metas, gracias madrecita.

A mis hermanas Verónica, Daisy y Lorena, quienes siempre estuvieron cuando más las necesitaba, me supieron aconsejar y guiar para cumplir esta etapa de mi vida.

A mi novia Gaby, por su tiempo y todo su apoyo incondicional.

Y a todas las personas que siempre desearon lo mejor para mí.

Juan Pablo Vilaña Monteros

AGRADECIMIENTOS

*Agradezco primeramente a Dios, porque gracias a él he tenido
la vida y la fortaleza de seguir aquí.*

*A mi padre, que junto con mi abuelita y familiares, estuvieron
apoyándome económica y moralmente hasta cumplir un
objetivo más en mi vida.*

*A mi compañero Juan Pablo Vilaña Monteros, gracias a su
apoyo y responsabilidad se pudo cumplir con este proyecto.*

*A mis tutores, Ingeniero Oscar Arteaga e Ingeniero Stalin
Mena, por ser los pilares de este proyecto, el cual se cumplió con
satisfacción.*

*Y a mis amigos, con los que se ha vivido experiencias y me han
ayudado en proyectos, deberes y trabajos durante toda mi vida
universitaria.*

Vinicio Fabián Caiza Chasi

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme estar en esta instancia de mi vida y por brindarme la fuerza para seguir siempre adelante.

A mi madre por el apoyo incondicional durante estos cinco años, brindándome todo su amor y paciencia.

A mis hermanas que siempre se preocuparon por mí y me ayudaron económicamente hasta cumplir mi objetivo.

Al Ing. Oscar Arteaga y el Ing. Stalin Mena por el apoyo, opiniones, consejos que me supieron brindar en cada tutoría durante el desarrollo de este minucioso proceso.

A mis compañeros y amigos, por cada momento vivido en la universidad.

Juan Pablo Vilaña Monteros

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1 Tema	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Planteamiento del problema	1
1.4 Descripción resumida del proyecto.....	2
1.5 Justificación e importancia.....	2
1.6 Objetivos del proyecto	2
1.6.1 Objetivo general	2
1.6.2 Objetivos específicos.....	3
1.7 Metas	3
1.8 Hipótesis.....	4
1.9 Variables de investigación	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Formula SAE	5
2.1.1 Normativas para la carrocería	5
2.2 Aerodinámica aplicada	7
2.2.1 Aerodinámica	7

	x
2.2.2 Líneas de corriente	8
2.2.3 Flujo laminar y turbulento	9
2.2.4 Número de Reynolds	10
2.2.5 Propiedades del fluido	10
2.2.6 Distribución de presión en un vehículo	11
2.2.7 Fuerzas aerodinámicas	13
2.2.8 Fuentes de resistencia	17
2.2.9 Dispositivos aerodinámicos	20
2.2.10 Tipos de chasis	22
2.3 Tipos de análisis	23
2.3.1 Análisis CFD	23
2.4 Materiales de construcción	25
2.4.1 Introducción	25
2.4.2 Componentes	26
2.4.3 Fibra de vidrio	27
2.4.4 Fibras naturales	28

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA CARROCERÍA	30
3.1 Consideraciones de diseño	30
3.2 Proceso de diseño	30
3.2.1 Bosquejo inicial	30
3.2.2 Diseño mediante software SolidWorks	31
3.2.3 Configuración de SolidWorks Flow Simulation	32
3.2.4 Nariz	34
3.2.5 Trompa	41
3.2.6 Pontones	45
3.2.7 Fondo plano – Parte delantera	49
3.2.8 Fondo plano y difusores	52
3.3 Simulación completa del vehículo	61
3.4 Selección de material	71
3.4.1 Materiales de uso común	71
3.4.2 Ensayo de tracción	72
3.4.3 Construcción de probetas	73

3.4.4 Experimentación.....	xi
3.4.4 Experimentación.....	75
3.4.5 Resultados obtenidos.....	77
CAPÍTULO IV	
CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA Y MONTAJE.....	80
4.1 Primer positivo – Molde base	80
4.2 Primer negativo.....	85
4.3 Segundo positivo – Pieza final.....	87
4.4 Pintura y acabados	89
4.5 Construcción del fondo plano y difusores	95
CAPÍTULO V	
OPTIMIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CARROCERÍA.....	100
5.1 Estética y aerodinámica.....	100
5.2 Optimización en peso	101
5.3 Costos de materiales	105
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
6.1 Conclusiones	107
6.2 Recomendaciones	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109
NETGRAFÍA.....	110
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Participación de estudiantes	5
Figura 2.2 Zona de seguridad.....	6
Figura 2.3 Paso de aire sobre un Formula 1	7
Figura 2.4 Líneas de corriente sobre un perfil alar	8
Figura 2.5 Flujo unido sobre un auto aerodinámico	9
Figura 2.6 Flujo separado en una forma realista de auto	9
Figura 2.7 Distribución de presión en la línea central de un vehículo.....	11
Figura 2.8 Vórtices generados en el flujo de aire	12
Figura 2.9 Fuerzas de arrastre y elevación en estilos diferentes de vehículo.....	13
Figura 2.10 Sistema de coordenadas para fuerzas aerodinámicas	14
Figura 2.11 Influencia del diseño frontal en la resistencia	18
Figura 2.12 Influencia de la inclinación de la parte trasera en la resistencia	18
Figura 2.13 Flujo de aire dentro de los ductos de refrigeración.....	19
Figura 2.14 Difusor de un Formula 1.....	20
Figura 2.15 Pontón de refrigeración de un Formula 1	21
Figura 2.16 Fondo plano de un Formula 1	21
Figura 2.17 Chasis tubular universidad de la Fuerzas Armadas ESPE	22
Figura 2.18 Chasis monocasco universidad de Stuttgart	23
Figura 2.19 Análisis computacional en un auto deportivo	24
Figura 2.20 Campo de aplicación de los materiales.....	25
Figura 2.21 Configuración básica del material compuesto	26
Figura 2.22 Vehículos fabricados con fibra natural	28
Figura 2.23 Fibra de yute.....	29
Figura 3.1 Bosquejo inicial del vehículo	31
Figura 3.2 Ingreso de ecuación de resistencia aerodinámica.....	33
Figura 3.3 Atenuador de impactos	34
Figura 3.4 Gráfica del diseño versus coeficiente de resistencia - nariz	40
Figura 3.5 Gráfica de diseño versus resistencia - trompa	45
Figura 3.6 Gráfica de diseño versus velocidad - trompa	45
Figura 3.7 Velocidad en función del coeficiente de arrastre	52
Figura 3.8 Resistencia aerodinámica en el fondo plano	59
Figura 3.9 Sustentación en el fondo plano.....	60
Figura 3.10 Criterio de selección fondo plano	61
Figura 3.11 Área frontal del prototipo.....	62
Figura 3.12 Ensamble completo del Colibrí.....	62
Figura 3.13 Caja de simulación para el vehículo.....	63
Figura 3.14 Ingreso ecuación del drag y lift.....	63
Figura 3.15 Reconocimiento del volumen del fluido	63
Figura 3.16 Contorno de presión del vehículo.....	64
Figura 3.17 Zona de presión en el fondo plano.....	64
Figura 3.18 Flujo de aire sobre todo el vehículo	65
Figura 3.19 Vista superior flujo de aire.....	66
Figura 3.20 Vista inferior del flujo de aire.....	66
Figura 3.21 Vista lateral del flujo de aire	67
Figura 3.22 Flujo de aire sobre el casco del piloto	68

Figura 3.23 Comportamiento del coeficiente de resistencia aerodinámico	69
Figura 3.24 Comportamiento del coeficiente de sustentación aerodinámica	70
Figura 3.25 Finalización del prototipo	71
Figura 3.26 Probeta para ensayos de piezas planas en pulgadas	73
Figura 3.27 Materiales para construcción de probetas	73
Figura 3.28 Plancha terminada de fibra mixta para probeta	74
Figura 3.29 Fabricación de probetas	74
Figura 3.30 Probetas terminadas de diferentes materiales	74
Figura 3.31 Máquina para ensayos de tracción	75
Figura 3.32 Mordaza en V para placas planas	75
Figura 3.33 Medición de las probetas	76
Figura 3.34 Colocación de las probetas para el ensayo de tracción	76
Figura 3.35 Rotura de la probeta	76
Figura 3.36 Ensayos realizados en las 5 probetas de fibra de vidrio	77
Figura 3.37 Ensayo de un composite de fibra de vidrio	77
Figura 3.38 Ensayo de la fibra de yute tejida	78
Figura 3.39 Ensayo sobre una composite mixta (vidrio - yute)	78
Figura 4.1 Esqueleto de la carrocería	80
Figura 4.2 Trazado de planos en madera	80
Figura 4.3 Corte de madera mdf	81
Figura 4.4 Armado de la estructura principal de la trompa	81
Figura 4.5 Estructura delantera terminada	82
Figura 4.6 Colocación de cartón en la estructura	82
Figura 4.7 Relleno de la parte delantera	83
Figura 4.8 Masillado y lijado de la superficie	83
Figura 4.9 Estructura de los sidepods	84
Figura 4.10 Relleno terminado de los sidepods	84
Figura 4.11 Acabado final del molde base	85
Figura 4.12 Aplicación de cera desmoldante	86
Figura 4.13 Primer negativo carrocería	87
Figura 4.14 Proceso de masillado primer negativo	87
Figura 4.15 Aplicación fondo gris en la superficie	88
Figura 4.16 Aplicación de la resina sobre la superficie	88
Figura 4.17 Aplicación de la fibra de yute	89
Figura 4.18 Segundo positivo - Pieza final	89
Figura 4.19 Masillado de la pieza final	90
Figura 4.20 Aplicación de fondo gris	90
Figura 4.21 Último masillado de la carrocería	91
Figura 4.22 Capa final de fondo gris	91
Figura 4.23 Sistema de pintado tricapa	92
Figura 4.24 Aplicación final de pintura	92
Figura 4.25 Acabado final tricapa en la carrocería	93
Figura 4.26 Sistema de pintado bicapa	93
Figura 4.27 Carrocería colocada en el vehículo	94
Figura 4.28 Acabados finales carrocería	94
Figura 4.29 Recubrimiento de tela fondo plano	95
Figura 4.30 Preparación de resina para la aplicación	95

	xiv
Figura 4.31 Primer negativo fondo plano	96
Figura 4.32 Preparación de masilla con talco industrial	96
Figura 4.33 Proceso de lijado con máquina	97
Figura 4.34 Molde negativo del fondo plano	97
Figura 4.35 Segundo positivo del fondo plano	97
Figura 4.36 Aplicación de fondo verde y masillado	98
Figura 4.37 Sistema de pintado monocapa.....	98
Figura 4.38 Aplicación de pintura color negro brillante.....	99
Figura 4.39 Vehículo compitiendo en fsg	99
Figura 5.1 Estética y aerodinámica Colibri 2014	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades de los fluidos comunes en automotriz	11
Tabla 2.2 Coeficientes de resistencia y sustentación en vehículos	15
Tabla 2.3 Rango de las contribuciones a la resistencia aerodinámica.....	20
Tabla 3.1 Condiciones ambientales en Hockenheim - Alemania	32
Tabla 3.2 Diseños de nariz	35
Tabla 3.3 Distribución de presión en la nariz	36
Tabla 3.4 Flujo de aire en la nariz.....	38
Tabla 3.5 Parámetros de selección de nariz	40
Tabla 3.6 Distribución de presión sobre la trompa.....	41
Tabla 3.7 Flujo de aire en la trompa	42
Tabla 3.8 Parámetros de selección de trompa.....	44
Tabla 3.9 Distribución de presión en los pontones	46
Tabla 3.10 Flujo de aire en los pontones	47
Tabla 3.11 Parámetros de selección de los pontones	48
Tabla 3.12 Flujo de aire bajo el fondo plano	49
Tabla 3.13 Parámetros de selección de altura requerida.....	51
Tabla 3.14 Diseños de fondo plano y difusores	53
Tabla 3.15 Distribución de presión en los difusores.....	55
Tabla 3.16 Flujo de aire en los difusores	57
Tabla 3.17 Fuerzas generadas sobre el fondo plano.....	59
Tabla 3.18 Diferencia entre resistencia y sustentación.....	60
Tabla 3.19 Resultados obtenidos por la simulación del vehículo.....	68
Tabla 3.20 Resultados de los ensayos de los diferentes materiales.....	78
Tabla 3.21 Valoración de características del material.....	79
Tabla 5.1 Peso por carrocería COTOPAXI 1	102
Tabla 5.2 Peso por carrocería COTOPAXI 2	103
Tabla 5.3 Peso por carrocería COLIBRI 2014	104
Tabla 5.4 Materiales de construcción	106

RESUMEN

El presente trabajo muestra la investigación realizada para diseñar una carrocería aerodinámica acorde a las normas que exige la organización SAE para un prototipo de auto de carreras tipo Formula SAE, así como también evidenciar la optimización en materiales de construcción con una excelente resistencia y menor peso. Empezando por el diseño, se tendrá que estudiar los efectos que causa el aire a determinadas velocidades para poder aprovechar las corrientes del fluido con miras a aumentar el desempeño del vehículo. Se tiene que analizar la carrocería en si para ubicar curvas que ayuden a direccionar el aire hacia los dispositivos aerodinámicos tales como pontones, difusores, piso, casco, y la estructura de todo el vehículo mediante un software de diseño mecánico y simulación CFD. La segunda parte se basa en el estudio de los materiales de construcción, para ello se ha optado por analizar la resistencia mecánica de tres plásticos reforzados con fibras naturales y minerales. Con los resultados del análisis y el proceso de diseño se tiene el criterio necesario para continuar con la siguiente fase que es la construcción del diseño computacional. En el proceso de construcción se toma en cuenta el área que va a ser cubierta por cada tipo de material para adquirir la cantidad necesaria. Se toma en consideración el sistema de construcción para obtener el resultado deseado, que es reducir los pesos en comparación con los anteriores diseños realizados para participar en la misma competencia.

PALABRAS CLAVE:

- **FORMULA SAE**
- **CARROCERÍA – FIBRA DE VIDRIO Y YUTE**
- **AERODINÁMICA EN VEHÍCULOS**
- **FLUJO DE AIRE EXTERNO**
- **PISO DEL MONOPLAZA**

ABSTRACT

This paper presents the research for designing an aerodynamic bodywork according to the standards required by the organization SAE for a prototype of Racing car type Formula SAE, as well as demonstrate the optimization in building materials with excellent strength and lighter weight. Starting with the design, you will have to study the effects caused by air at certain speeds to take advantage of the fluid flows in order to increase vehicle performance. You have to analyze the bodywork itself to locate curves that help direct the air to the aerodynamic devices such as sidepods, diffusers, floor, helmet, and the structure of the entire vehicle by mechanical design software and CFD simulation. The second part is based on the study of building materials, for it has been chosen to analyze the strength of three plastics reinforced with naturals and minerals fibers. With the results of this analysis and the design process, you have the criteria necessary to continue the next phase which is the construction of computational design. In the construction process takes into account the area to be covered by each type of material to acquire the necessary amount. The build system is taken into account to obtain the desired result is to reduce the weights compared with previous designs made to participate in the same competition.

KEY WORDS:

- **FORMULA SAE**
- **BODYWORK – FIBERGLASS AND JUTE**
- **AERODYNAMICS OF VEHICLES**
- **EXTERNAL AIR FLOW**
- **FLOOR OF SINGLE SEATER**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 TEMA

Diseño, simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo tipo Formula SAE.

1.2 ANTECEDENTES

Uno de los retos del ingeniero automotriz es el ser un diseñador; y que mejor el plasmar todos sus conocimientos adquiridos en la construcción de una carrocería para un vehículo de competición.

En el mundo existe una competencia organizada por la SAE, dedicada a convocar a las mejores universidades a participar en el diseño de vehículos de competición monoplace, donde se aplique todos los conocimientos sobre diseño de sistemas automotrices.

Sabiendo que la universidad cuenta con el laboratorio de prototipos y que se participa cada año con un diseño nuevo de vehículo monoplace en la competencia Formula Student Germany.

Ante ello se decidió colaborar con el diseño de la nueva carrocería que es de vital importancia para un desempeño eficaz del vehículo dentro de la competencia y mejorar la parte aerodinámica con referencia a un diseño adecuado.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema radica que en los anteriores diseños de carrocería existe un elevado peso en comparación con vehículos que participan en la misma competencia con carrocerías ligeras. La carrocería de un vehículo de competición debe ser ligera y resistente, al tener una carrocería pesada aumenta el peso total del vehículo consumiendo una gran parte de potencia del motor para su desplazamiento.

1.4 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

El presente proyecto propone diseñar y construir un prototipo ligero y resistente, basado en técnicas de construcción que faciliten disminuir en gran parte el material innecesario sin perder la resistencia de la carrocería. Con ello se obtiene una carrocería de eficiencia superior a las anteriores en peso y de la misma manera en la parte aerodinámica, añadiendo dispositivos que ayuden al direccionamiento de las corrientes de aire que se presentan durante el desplazamiento del vehículo, analizando la geometría de la carrocería y añadiendo el fondo plano con difusores para aprovechar el efecto suelo, siguiendo todos los lineamientos que se establecen en el reglamento de la competencia Formula SAE.

El diseño y la simulación se llevarán a cabo mediante la asistencia del computador con softwares de diseño CAD Y CAE para verificar el desempeño de la carrocería antes de pasar a la construcción.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En la actualidad existe un diseño de carrocería que es pesado en relación con vehículos que participan en la misma competencia, por lo que es de vital importancia crear un diseño más ligero. La razón por la que se llevará a cabo este proyecto es para construir una carrocería con nuevos materiales de construcción como son las fibras naturales que son amigables con el ambiente y tienen una buena resistencia. Además se implementa la parte aerodinámica que hoy en día juega un papel importante dentro de las competencias automovilísticas, donde un diseño eficaz ayuda a evacuar rápidamente el flujo de aire logrando un desplazamiento más suave del vehículo a altas velocidades.

1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y simular una carrocería aerodinámica de tipo Formula SAE a través del uso óptimo de materiales de construcción para obtener un rendimiento adecuado del vehículo.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Optimizar la carrocería seccionándola por partes a través de trazos de diferentes formas y medidas para determinar el diseño adecuado tomando en cuenta resultados.
- Analizar el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie mediante el uso de software computacional para una selección adecuada basada en criterios aerodinámicos.
- Realizar ensayos de tracción con probetas de diferentes materiales para inferir resultados de selección en función de la tensión que soporta el material.
- Construir la carrocería de un vehículo tipo Formula SAE, en base a un proceso de moldes para reducir considerablemente el peso y obtener una buena resistencia a la tracción.

1.7 METAS

- Recopilación de información necesaria sobre los parámetros a los cuales se deben regir las carrocerías que participen en la competencia Formula SAE, así como también libros y artículos sobre aerodinámica que ayuden a tener una idea más clara sobre vehículos de competición.
- Diseño acorde a la estructura del chasis para fijar de manera adecuada cada componente de la carrocería.
- Diseño de la carrocería tomando en cuenta estética y rendimiento para mejorar el desempeño durante la carrera.
- Construir una carrocería más ligera en comparación con la diseñada anteriormente, aplicando estudio aerodinámico y la implementación del fondo plano y difusores para aprovechar el efecto suelo.

- Elaborar el trabajo escrito final de todos los análisis realizados para la ejecución del proyecto, se establecerá conclusiones y recomendaciones para que se realicen futuros proyectos.

1.8 HIPÓTESIS

La selección adecuada de los materiales de construcción en aerodinámica permite obtener una carrocería ligera con excelente resistencia a la tracción, permitiendo reducir el peso total del vehículo Formula SAE.

1.9 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Para el proyecto de investigación de tesis se aplicará las variables como son: variables independientes y variables dependientes.

- **Variable Independiente**

Materiales de construcción

- **Variable Dependiente**

Peso de la carrocería

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 FORMULA SAE

La Formula SAE¹ es una división de la organización SAE que brinda a los equipos participantes la flexibilidad máxima y la libertad de expresar su creatividad e imaginación con muy pocas restricciones en el diseño general del vehículo participante.



Figura 2.1 Participación de estudiantes

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/BVj8CfqMrgc/s1600/group-L.jpg>

El reto es desarrollar un vehículo que pueda competir con éxito en pruebas estáticas y dinámicas. El evento brinda la oportunidad de demostrar y probar tanto la creatividad y habilidad de ingeniería en comparación con las diferentes universidades participantes a nivel mundial.

2.1.1 NORMATIVAS PARA LA CARROCERÍA

Para diseñar un vehículo tipo formula, se tomará en cuenta el reglamento que otorga la formula SAE en su página web. Este reglamento se va actualizando de acuerdo a los avances tecnológicos y seguridad del piloto.

¹ SAE: Society of Automotive Engineers, (Sociedad de Ingenieros Automotrices)

- Según el artículo A1.2.3, el diseño debe considerar factores tales como: estética, costos de producción, mantenimiento, fabricación y fiabilidad.
- De acuerdo al artículo T2.1 numeral 3, ningún accesorio del vehículo debe estar en la zona de seguridad de 68.6 mm, como se indica en la figura 2.2 los pontones no deben estar cerca de los neumáticos, deben guardar la distancia de seguridad.

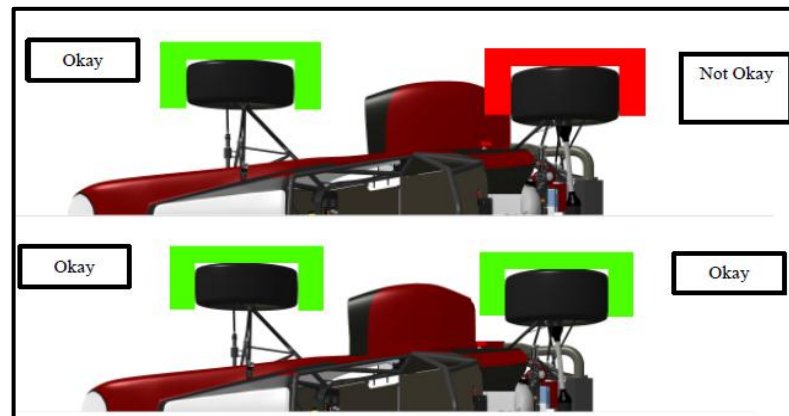


Figura 2.2 Zona de seguridad
Fuente: SAE. 2014. Formula SAE rules.

- El artículo T2.2 manifiesta que no debe existir agujeros en la parte delantera del vehículo que permitan observar la estructura, solo se permiten pequeños orificios que faciliten el funcionamiento de la suspensión.
- El artículo T9.3 manifiesta un radio mínimo de 1.5 mm para cualquier dispositivo que pueda entrar en contacto con peatones.
- Se prohíbe utilizar dispositivos que saquen el aire que se encuentra debajo del suelo del vehículo, exceptuando ventiladores de refrigeración.
- El recubrimiento inferior debe estar provisto de dos agujeros de 25 mm de diámetro como mínimo para evitar la acumulación de fluidos como combustible, aceite o refrigerante, según el artículo IC2.7.3.

- La sección S2.2.2 se refiere a la visibilidad de los componentes internos u ocultos del vehículo, se debe desmontar con facilidad la carrocería para la inspección.
- Según la sección D1.1.2, el vehículo quedará automáticamente desclasificado si la carrocería se arrastra durante el movimiento o si se desprende alguna de sus partes.

2.2 AERODINÁMICA APLICADA

2.2.1 AERODINÁMICA

De acuerdo con López (2006) la aerodinámica es “una rama de la física encargada del estudio del comportamiento de los fluidos y su importancia radica en la necesidad de predecir su comportamiento cuando hay cuerpos inmersos en ellos” (p.12).

Es elemental deducir las formas geométricas de los cuerpos para aprovechar su aplicación. La finalidad básica de su geometría es reducir la resistencia producida principalmente por el rozamiento viscoso del aire a su paso a través de él.

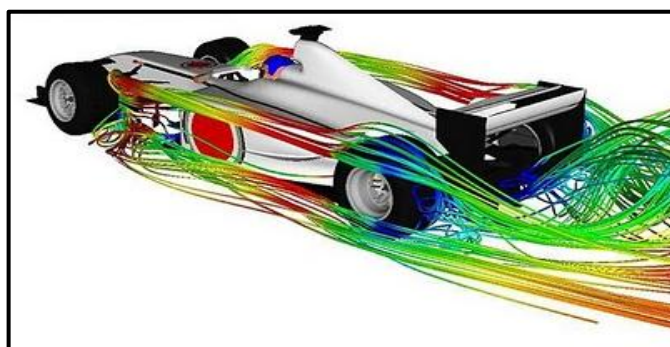


Figura 2.3 Paso de aire sobre un Formula 1

Fuente: <http://www.taringa.net/ciencia-educacion/17706683/Aerodinamica.html>

La aerodinámica tiene su mayor impacto en automóviles modernos, camiones y vehículos de competición ya que contribuye a las cargas que se generan en carretera. Las fuerzas aerodinámicas interactúan con el vehículo causando resistencia, elevación, fuerzas laterales, balanceo, derrape y ruido. Esto impacta sobre la economía de combustible y manejo.

Las fuerzas aerodinámicas y momentos afectan el rendimiento, estabilidad y control del vehículo e incrementan rápidamente con la velocidad. Además de los efectos directos de las fuerzas aerodinámicas, la interacción de la aerodinámica y las fuerzas en los neumáticos pueden tener un gran efecto en el rendimiento de la aceleración lateral.

Según Milliken (1995) la aerodinámica de un vehículo de competición es confrontada por problemas como:

- La reducción de la resistencia aerodinámica por la forma externa, el control de flujo y la eficiencia del diseño del ducto para el flujo interno.
- Generación de sustentación aerodinámica o fuerza lateral como sea posible, con la restricción de no generar demasiado arrastre (p.83).

2.2.2 LINEAS DE CORRIENTE

De acuerdo con Katz (1995) las líneas de corriente “son las curvas asociadas con una descripción pictórica de un flujo en movimiento” (p. 24). Si el vehículo está avanzando a velocidad constante, el flujo es llamado flujo en estado estacionario. En este caso las partículas de aire se mueven a lo largo de las líneas de corriente.

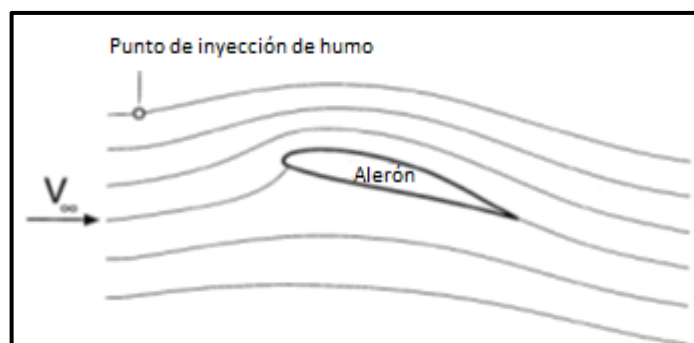


Figura 2.4 Líneas de corriente sobre un perfil alar
Fuente: (Joseph Katz, 1995)

Mediante la observación de diversos trazos en el flujo, es posible apreciar si el flujo sigue la forma del cuerpo del vehículo en su superficie.

a) FLUJO UNIDO

El flujo unido es cuando las líneas de corriente que pasan cerca de la superficie sólida siguen exactamente la forma del cuerpo.

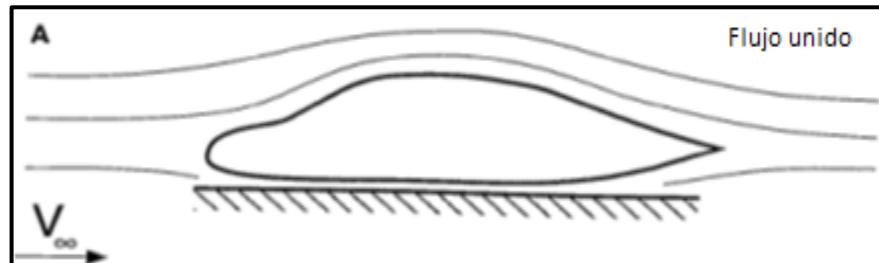


Figura 2.5 Flujo unido sobre un auto aerodinámico
Fuente: (Joseph Katz, 1995)

b) FLUJO SEPARADO

El flujo separado es cuando el flujo no sigue la forma de la superficie del cuerpo.

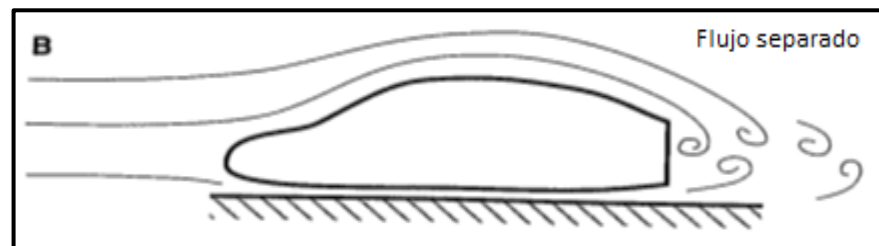


Figura 2.6 Flujo separado en una forma realista de auto
Fuente: (Joseph Katz, 1995)

Generalmente el flujo separado detrás del vehículo sería el resultado de un flujo inestable, que se puede sentir hasta largas distancias detrás del vehículo.

2.2.3 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

Laminar si las líneas de corriente son paralelas siguiendo la dirección de la velocidad promedio y el movimiento del fluido se observa organizado.

Turbulento si se tiene la misma velocidad promedio en el flujo, pero adicionalmente a esta velocidad las partículas del fluido estarían momentáneamente moviéndose en otra dirección.

Los ingenieros en aerodinámica deben conocer si el flujo es laminar o turbulento, también sus características como la separación del flujo y la resistencia al avance porque los valores pueden cambiar drásticamente entre estos dos flujos.

2.2.4 NÚMERO DE REYNOLDS

El propósito para la aerodinámica del número de Reynolds representa efectos de escala y puede ser usado para cuantificar el producto de velocidad versus tiempo.

Su importancia se convierte evidente cuando se compara los resultados de pruebas de diferentes modelos a escala o diferentes velocidades.

“Conociendo la magnitud del número de Reynolds puede indicar si el flujo es en su mayoría laminar o turbulento, si es menor de 1.0×10^6 es laminar caso contrario es turbulento” (Mezquita y otros; 1997, p.267).

“El número de Reynolds es adimensional representando la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas creadas en el aire” (Katz; 1995, p.29). Es definida por la siguiente formula:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

ρ = Densidad del fluido $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

V = Velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s} \right]$

L = Longitud característica del cuerpo inmerso en el fluido $[m]$

μ = Viscosidad dinámica del fluido $[Pa * s]$

2.2.5 PROPIEDADES DEL FLUIDO

La carga ejercida sobre un vehículo en movimiento depende de las propiedades del fluido: temperatura, presión, densidad, viscosidad, etc.

La densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen y la viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir.

Los valores para densidad y viscosidad de los fluidos comunes se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Propiedades de los fluidos comunes en automotriz

FLUIDO	DENSIDAD $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	VISCOSIDAD $\mu \left[\frac{Nsec}{m^2} \right]$
Aire	1.22	$1.8 * 10^{-5}$
Agua	1000	$1.0 * 10^{-3}$

Fuente: (Joseph Katz, 1995)

De la tabla 2.1 se concluye que la densidad y viscosidad del aire son pequeñas en comparación con otros fluidos. Sin embargo, a altas velocidades la carga aerodinámica es notable pudiendo ser generada a pesar de la insignificante magnitud de sus propiedades.

2.2.6 DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN EN UN VEHÍCULO

Representa la distribución de presión estática a lo largo del cuerpo del vehículo. En la figura 2.7 se muestra medidas de presión experimentales trazadas perpendicularmente a la superficie. Las presiones son indicadas como negativa o positiva, con respecto a la presión ambiente medida a cierta distancia del vehículo.

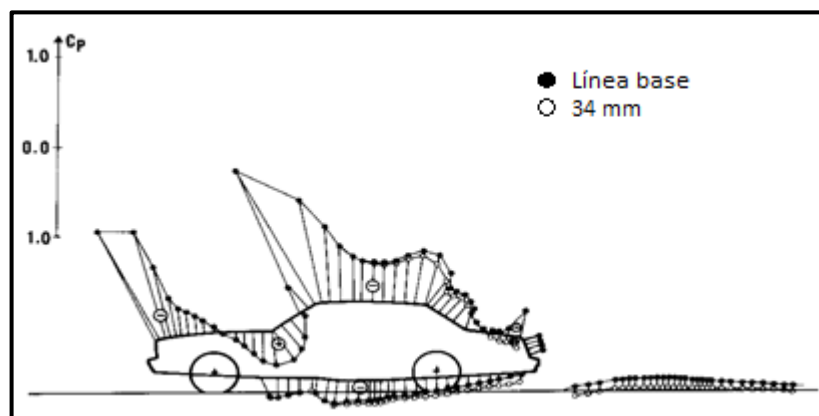


Figura 2.7 Distribución de presión en la línea central de un vehículo

Fuente: (Thomas Gillespie, 1992)

La presión negativa se desarrolla al borde frontal del capo, donde el flujo se levanta sobre la parte delantera, intentando que siga horizontalmente a lo largo del capo.

El diseño de los ángulos y detalles de la parte posterior del contorno del vehículo requiere preocupación crítica para la aerodinámica. Debido a la baja presión, el flujo a lo largo de los costados del auto también tratará de llenar de aire esta región y puede agregar la posibilidad de separación del flujo.

Los flujos de aire en general que actúan en la parte superior y los costados del vehículo se muestran en la figura 2.8. El flujo a lo largo de los costados está dibujado en la región de baja presión en la zona posterior, combinándose con el flujo sobre el techo para formar vórtices detrás de la parte posterior del vehículo.

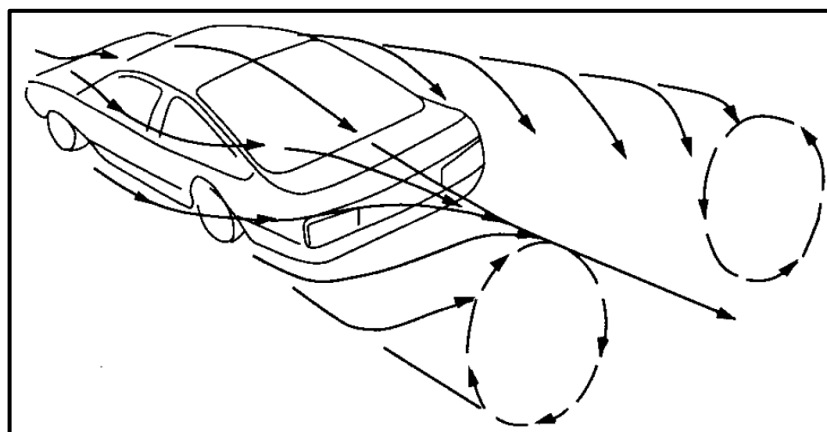


Figura 2.8 Vórtices generados en el flujo de aire
Fuente: (Thomas Gillespie, 1992)

La elección de los ángulos y longitudes de la parte posterior de un vehículo tiene un impacto directo sobre las fuerzas aerodinámicas a través del control del punto de separación. La separación debe ocurrir en algún momento y cuanto menor sea el área, generalmente menor es la resistencia.

Teóricamente, lo ideal desde un punto de vista aerodinámico es la terminación en forma de gota, una forma cónica que se estrecha a un punto con ángulos poco profundos de 15° o menos.

Mientras el tamaño del área de separación afecta directamente la resistencia aerodinámica, a medida en que el flujo se ve obligado a girar por detrás de los vehículos afecta a la sustentación aerodinámica en la parte trasera. En la figura 2.9 se ilustra el efecto de la sustentación y resistencia en cuatro estilos de vehículos.

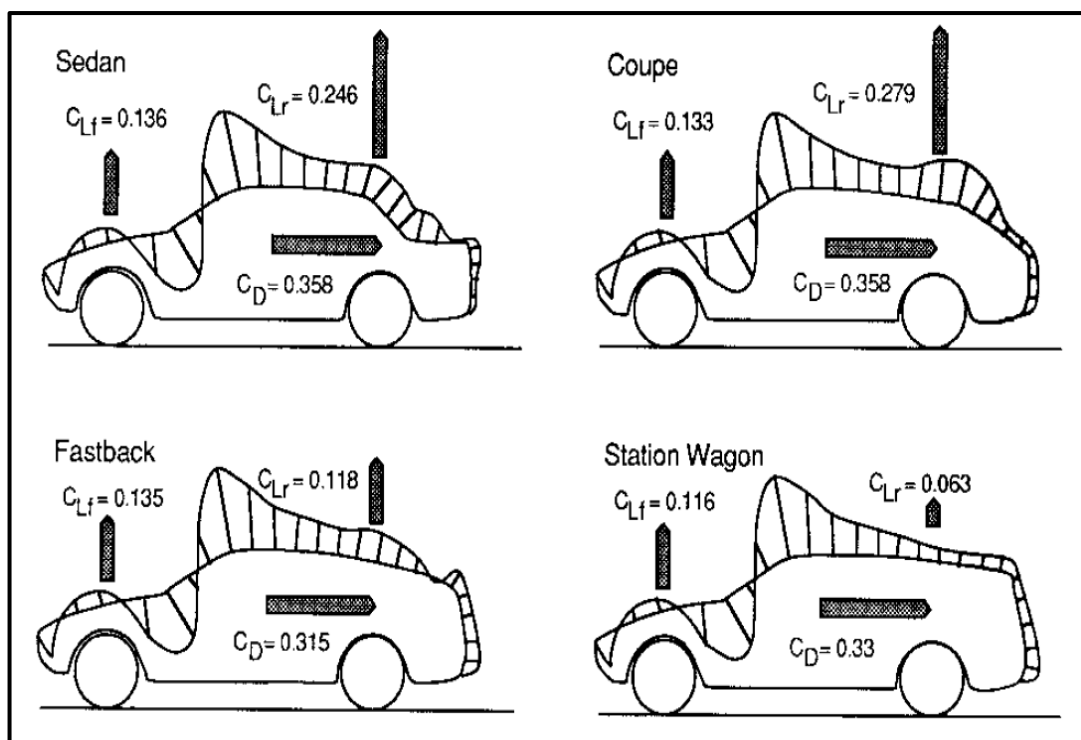


Figura 2.9 Fuerzas de arrastre y elevación en estilos diferentes de vehículo
Fuente: (Thomas Gillespie, 1992)

El alto grado de turbulencia en la zona de separación arrastra humedad y suciedad que levanta de la calzada los neumáticos.

2.2.7 FUERZAS AERODINÁMICAS

De acuerdo con Katz (1995) “existen dos categorías básicas de fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el vehículo.

La primera es la presión, que actúa normal a la superficie y es responsable de sustentación y parte de la resistencia de un vehículo. La segunda fuerza es la fricción, que actúa paralela a la superficie del cuerpo y contribuye únicamente a la resistencia” (p.45).

Sobre la base de este sistema de coordenadas se define tres fuerzas, pero se puntualizará en las fuerzas más comunes que son sustentación y resistencia. La fuerza lateral es importante en casos de fuertes vientos cruzados pero en competición se requiere autos más veloces donde esta fuerza es insignificante.

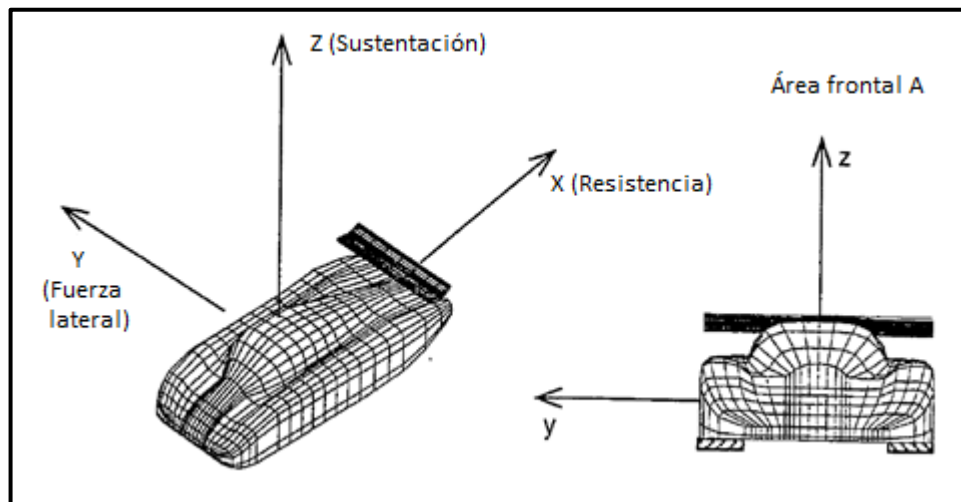


Figura 2.10 Sistema de coordenadas para fuerzas aerodinámicas
Fuente: (Joseph Katz, 1995)

2.2.7.1 RESISTENCIA AERODINÁMICA

Debido a que el flujo de aire sobre un vehículo es tan complejo, es necesario el desarrollo de modelos para representar el efecto. Por lo tanto, la resistencia aerodinámica se caracteriza por la ecuación.

$$D = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_D * A \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde:

D = Resistencia aerodinámica (DRAG) [N]

ρ = Densidad del aire $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

V = Velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

C_D = Coeficiente de resistencia aerodinámica [adimensional]

A = Área frontal del vehículo [m^2]

Según Gillespie (1992) manifiesta que “el coeficiente de arrastre se determina para la zona frontal del vehículo. Debido a que el tamaño de un vehículo tiene influencia directa sobre la resistencia, las propiedades del arrastre de un vehículo se caracterizan por el valor del coeficiente de resistencia C_D ” (p.97).

- **COEFICIENTE DE RESISTENCIA AERODINÁMICA**

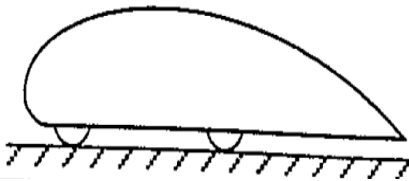
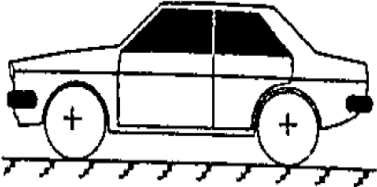
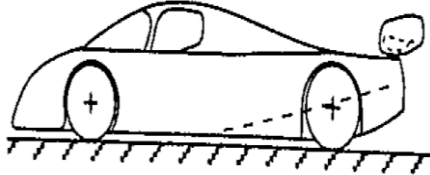
El coeficiente de resistencia se determina experimentalmente a partir de pruebas en túnel de viento o simulaciones en software CFD. La definición de C_D viene del despeje de la ecuación de la resistencia aerodinámica:

$$C_D = \frac{D}{\left(\frac{1}{2} * \rho * V^2\right) * (A)} = \frac{\text{Resistencia}}{(\text{Presión dinámica}) * (\text{Área})} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

El coeficiente de resistencia varía en una amplia gama de formas diferentes. En cada caso, se asume que el aire se aproxima al cuerpo y no tiene ningún componente lateral. En la tabla 2.2 se muestra las diferentes formas de vehículos que se analizan en túneles de viento para sacar el coeficiente de resistencia y sustentación.

Tabla 2.2

Coeficientes de resistencia y sustentación en vehículos

Descripción	Forma	Coficiente sustentación	Coficiente resistencia
Vehículo de baja resistencia-cerca del suelo		0.18	0.15
Automóvil estándar		0.32	0.43
Prototipo de auto de carreras		-3	0.75

Fuente: (Joseph Katz, 1995)

En conclusión con un mejor diseño aerodinámico, el coeficiente de resistencia aerodinámica no es tan sensible a cambios porque el flujo no se separará tan fácilmente.

Cuerpos más largos pueden tener un coeficiente de resistencia aerodinámica inferior (dentro de la gama de la geometría del automóvil práctico).

2.2.7.2 SUSTENTACIÓN AERODINÁMICA

La presión diferencial desde la parte superior a la parte inferior del vehículo provoca una fuerza de sustentación. Estas fuerzas son significativas en la optimización aerodinámica de un vehículo debido a su influencia en la estabilidad de conducción. La fuerza de sustentación se mide en la línea central del vehículo en el centro de la distancia entre ejes. Esta fuerza se representa en la ecuación:

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_L * A \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Dónde:

L = Sustentación aerodinámica (LIFT) [N]

ρ = Densidad del aire [$\frac{Kg}{m^3}$]

V = Velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$]

C_L = Coeficiente de sustentación [*adimensional*]

A = Área frontal del vehículo [m^2]

La fuerza de sustentación es dependiente de la forma del vehículo. Con ángulo de viento cero, coeficientes de sustentación normalmente caen en el rango de 0 a 0.5 para vehículos modernos, pero bajo condiciones de viento cruzado el coeficiente puede aumentar considerablemente alcanzando valores de 1 o más. La sustentación positiva en los automóviles tiene un impacto negativo sobre el manejo a través de la reducción del control disponible en los neumáticos.

- **SUSTENTACIÓN FRONTAL**

Afecta al control de la dirección, es reducida con un spoiler en la parte delantera y por la inclinación hacia atrás de la superficie frontal.

- **SUSTENTACIÓN POSTERIOR**

La sustentación en la parte trasera del vehículo, que reduce la estabilidad, es más variable con el diseño del vehículo. En general, los diseños que causan el flujo de salida con un ángulo hacia abajo en la parte trasera del vehículo crean sustentación trasera.

La sustentación puede ser disminuida por el uso de fondo plano debajo de la carrocería, alerones con un cambio en el ángulo de ataque de 3° que disminuye la fuerza de sustentación en un 40%.

2.2.8 FUENTES DE RESISTENCIA

La resistencia es la fuerza aerodinámica más grande y más importante encontrada en los vehículos a una velocidad normal de carretera. Varios dispositivos aerodinámicos son usados para reducir los efectos que produce.

Según Gillespie (1992) manifiesta que “En un vehículo aproximadamente el 65% de resistencia surge de la carrocería (parte frontal, parte posterior, piso y la fricción de superficie)” (p.88).

- **PARTE FRONTAL**

De acuerdo a Gillespie (1992) la resistencia en la parte frontal “está influenciada por el diseño del frente y el ángulo. Generalmente la redondez de la parte delantera establece el área sobre la que la presión dinámica puede actuar para inducir la resistencia” (p.90).

La figura 2.11 visualiza la influencia de la altura del borde delantero del vehículo. La ubicación de este punto determina la línea de corriente que fluye hacia el punto de estancamiento.

Esta línea de corriente es importante ya que establece la separación de flujo por encima y por debajo del vehículo. Se obtiene una resistencia mínima cuando el punto de estancamiento se mantiene bajo el perfil frontal del vehículo.

Un frente bien definido con líneas nítidas produce la reducción del 5 al 15% en el coeficiente global de resistencia.

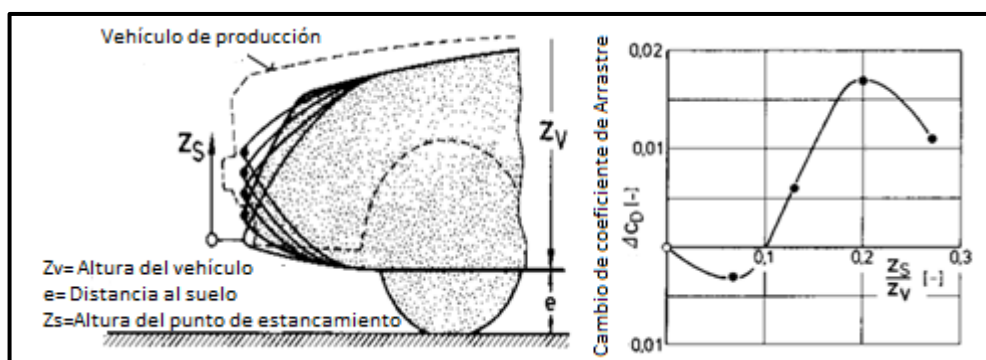


Figura 2.11 Influencia del diseño frontal en la resistencia
Fuente: (Thomas Gillespie, 1992)

• PARTE POSTERIOR

El mayor aporte para la resistencia es la parte posterior, debido a la fricción producida por la zona de separación en la parte trasera. Con ángulos de hasta 15 grados se reduce la resistencia. Cuando los ángulos aumentan, la resistencia aumenta debido a la separación del flujo.

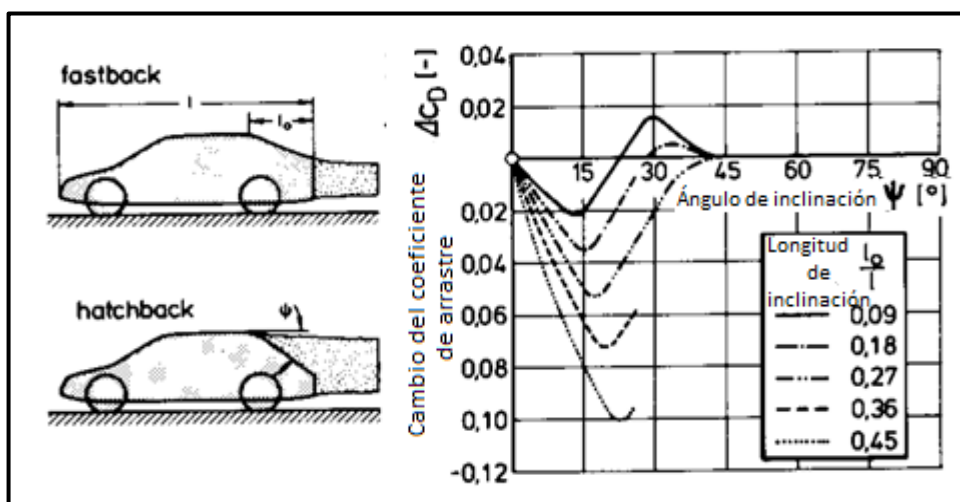


Figura 2.12 Influencia de la inclinación de la parte trasera en la resistencia
Fuente: (Thomas Gillespie, 1992)

La figura 2.12 indica la zona de separación del flujo para diferentes formas y ángulos de la parte posterior y cómo influye en la variación del coeficiente de resistencia aerodinámica.

- **PISO O PARTE BAJA**

El piso o parte baja es un área crítica que genera resistencia. Las suspensiones, sistema de escape y otros componentes que sobresalen por debajo son responsables de la resistencia.

El flujo de aire en esta zona es un plano de corte controlado por la velocidad del aire en la superficie de la carretera y el flujo inducido por la fricción de los componentes de la parte baja. La solución para minimizar el arrastre en la parte baja es el uso de un panel liso o fondo plano.

- **REFRIGERACIÓN**

De acuerdo con Gillespie (1992) el sistema de refrigeración “es el mayor generador de resistencia. El flujo de aire pasa a través de los paneles del radiador impactando en el motor y todo su compartimiento, el aire que entra a través del radiador disipa gran parte del impulso hacia adelante. Esta pérdida de impulso se traduce en un aumento de la resistencia.” (p.93).

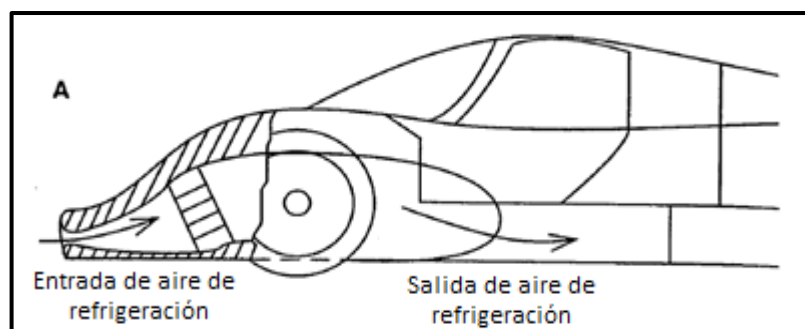


Figura 2.13 Flujo de aire dentro de los ductos de refrigeración
Fuente: (Joseph Katz, 1995)

La figura 2.13 indica el sistema de refrigeración de un automóvil de competición. El flujo que actúa en el sistema de enfriamiento puede afectar el coeficiente de resistencia hasta en un 0,025.

Un diseño cuidadoso para dirigir el flujo permite mantener su velocidad de modo que la presión estática sigue siendo baja y pueda reducir el arrastre producido. Con el fin de reducir el arrastre en vehículos modernos, el tamaño de la entrada de refrigeración se mantiene a la mínima posible.

Tabla 2.3

Rango de las contribuciones a la resistencia aerodinámica

Ubicación	ΔC_D
Fricción en la superficie	0.04 – 0.05
Arrastre por refrigeración	0.00 – 0.06
Flujo interno, ventilación	0.00 – 0.05
Forma de arrastre (separación de flujo)	0.00 – 0.45
Sustentación- arrastre inducido	0.00 – 0.60

Fuente: (Joseph Katz, 1995)

2.2.9 DISPOSITIVOS AERODINÁMICOS

Son dispositivos que ayudan a direccionar el flujo de aire sobre el vehículo para así lograr disminuir la resistencia y crear sustentación.

- **DIFUSOR**

De acuerdo con Blane (2013) manifiesta que “gran parte de la carga aerodinámica se obtiene de un difusor que se endereza por debajo del eje de las ruedas traseras y tiene una geometría tal que mejora las propiedades aerodinámicas del vehículo.

Funciona proporcionando un espacio para el flujo por debajo del vehículo para desacelerarse y expandirse de forma que la capa entre el flujo de aire del vehículo y el externo sea menos turbulento” (s/p).

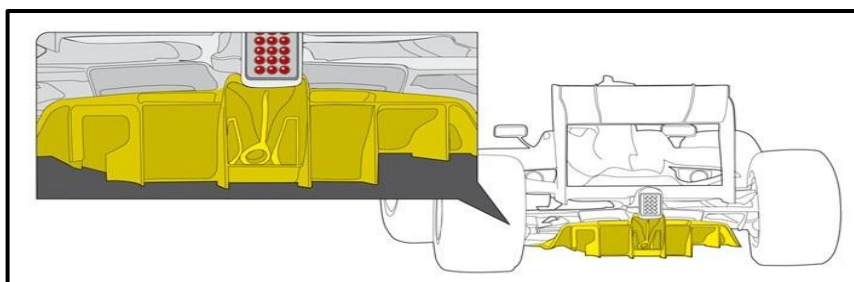


Figura 2.14 Difusor de un Fórmula 1

Fuente: <http://truzonef1.wordpress.com/el-difusor/>

De esta forma el flujo de aire debajo del vehículo se controla mediante el difusor trasero. Su diseño es de vital importancia, ya que una salida más rápida del flujo de aire por debajo del vehículo producirá más carga aerodinámica.

- **PONTONES**

Son la parte ancha y baja de la carrocería, se extienden por cada lado del habitáculo del piloto hasta el extremo final de los radiadores cubriéndolos por completo. Desde ahí hacia atrás, se van estrechando hacia la zona central trasera, dando forma de botella a la silueta del automóvil.

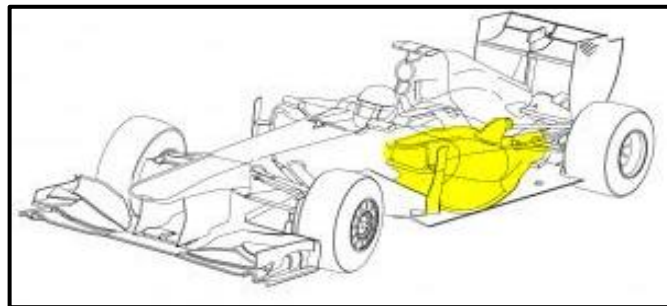


Figura 2.15 Pontón de refrigeración de un Fórmula 1

Fuente: http://www.gocar.gr/en/races/f1-tech/Technical_side_of_F1.html

- **FONDO PLANO**

De acuerdo con Blane (2013) acota que “el fondo plano, es la parte más baja del monoplaza, la parte más cerca al asfalto. El objetivo, en lo que respecta al fondo plano, es hacer que circule la menor cantidad de flujo de aire posible por debajo del vehículo, para que la carga aerodinámica del monoplaza aumente.” (s/p)

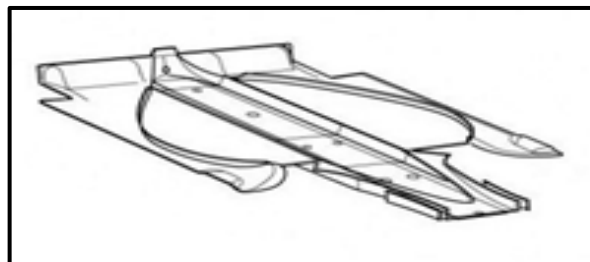


Figura 2.16 Fondo plano de un Fórmula 1

Fuente: <http://www.taringa.net/comunidades/f1fans/6161390/Tecnica-formula-1.html>

2.2.10 TIPOS DE CHASIS

El chasis es la estructura que une las cuatro ruedas y donde se sujetan todos los componentes del vehículo como: motor, suspensión, dirección, transmisión, etc.

- **CHASIS TUBULAR**

Este tipo de chasis está formado por tubos y es uno de los chasis más eficientes, debido a su bajo peso, la gran resistencia a la torsión y la flexión que soportan, los materiales de construcción son económicos y poseen alta durabilidad.

La carrocería y el chasis son independientes en donde la carrocería se utiliza para aerodinámica y el chasis para soportar cargas que se generan al desplazarse o en caso de colisión proteger al conductor.



Figura 2.17 Chasis tubular Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE

- **CHASIS MONOCASCO**

La carrocería y el chasis forman un solo cuerpo, para el chasis monocasco las cargas son absorbidas por todo el contorno y la mayoría de los vehículos son hechos de fibra de carbono.

Además de ser más rígidos, son ligeros y soportan gran cantidad de cargas, el principal inconveniente radica en una construcción costosa.



Figura 2.18 Chasis monocoque Universidad de Stuttgart
 Fuente: <http://www.forocompeticion.com/foro/circuitos/10277-formula-sae-formula-student-temporada-2013-a.html>

2.3 TIPOS DE ANÁLISIS

La evaluación y el perfeccionamiento aerodinámico es un proceso continuo de ingeniería en un auto de carreras.

Cuando se realiza estudios aerodinámicos, es necesario seguir un proceso de validación de datos y resultados. Principalmente se comienza con un estudio computacional o análisis CFD (Computational Fluid Dynamics). Una vez obtenidos los resultados de este estudio, se realizan pruebas a diferentes escalas del prototipo en un túnel aerodinámico, para determinar su comportamiento. Como último paso se procede a diseñar un prototipo a escala real y probarlo en condiciones de uso es decir en la pista de competición.

2.3.1 ANÁLISIS CFD

El análisis computacional de fluidos dinámicos (CFD) hoy en día tiene gran campo de aplicación en la ingeniería ya que permite realizar simulaciones del comportamiento dinámico de los fluidos y aproxima a una realidad del diseño, además que la utilización de este método ayuda a comprobar todas las condiciones de carga antes que el prototipo sea construido a escala real.

Su gran aportación es su bajo precio y la cantidad de datos que se obtiene una vez completo el cálculo computacional. Económicamente, es más barato ya que un análisis en túnel de viento consume gran cantidad de energía para mover las turbinas, lo que implica un gasto considerable en cada ensayo.

La simulación CFD es un método fiable para obtener predicciones de flujos internos como en un motor o tuberías y para flujos externos como son alas de aviones, vehículos.

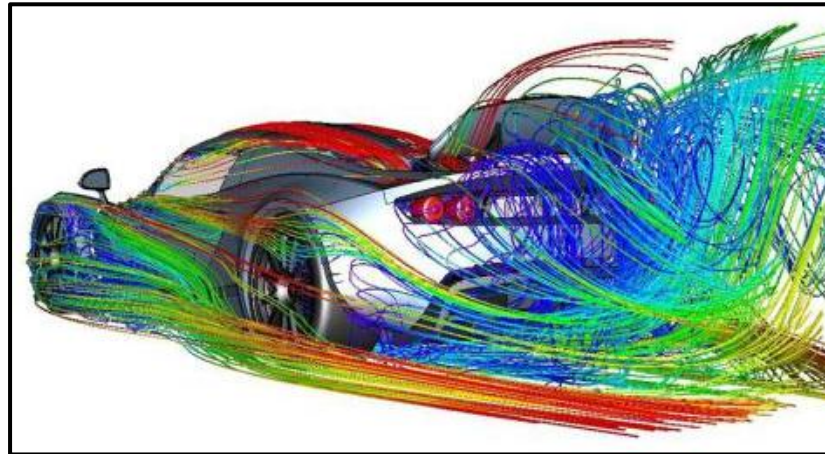


Figura 2.19 Análisis computacional en un auto deportivo
Fuente: <https://albrodpulf1.wordpress.com/2014/03/08/analisis-dinamica-computacional-de-fluidos-cfd/>

Otra ventaja de este tipo de análisis es la utilidad de los datos que se obtiene. Los cálculos obtenidos mediante las ecuaciones introducidas, la obtención de distribución de presión, desarrollo de flujo o la obtención de fuerzas se obtienen con rapidez y solo se necesita una interpretación exacta de los datos que presenta.

Como todo método de análisis, ninguna herramienta es fiable y tiene sus limitaciones establecidas. En el caso de CFD, está limitada a la capacidad computacional de microprocesadores empleados. Aunque permite desarrollar mallas con millones de celdas para analizar y tener datos más exactos se vería afectado en la rapidez de procesamiento, es por eso que para el mallado se utiliza un aproximado a la realidad, que genere márgenes de error aceptables y emplee menor tiempo.

La comparación entre resultados experimentales y mediante CFD, se ha probado que pueden llegar a ser realmente similares mediante un buen control de los errores numéricos que se puedan producir, así como de la correcta definición de las condiciones de contorno.

2.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

2.4.1 INTRODUCCIÓN

Los materiales pueden utilizarse principalmente en dos tipos de aplicaciones:

- Estructurales
- Funcionales.

Según Guerrero (2011) manifiesta que “los materiales estructurales se utilizan en aplicaciones que requieren ciertas propiedades mecánicas específicas. Es decir, un nuevo material estructural es aquel que una vez incorporado a algún componente tiene la función principal de soportar cargas. Los materiales estructurales generalmente forman parte de sistemas complejos, dentro de los cuales cada componente tiene que cumplir una función específica, la misma que define su diseño. Por otra parte, un material funcional tiene el objetivo de satisfacer una función o propiedad en particular.” (s/p).

En el campo de los materiales compuestos o composite, el avance tecnológico y la reducción de costos de producción han hecho posible la utilización de este material a industrias como la automotriz y transporte.



Figura 2.20 Campo de aplicación de los materiales
Fuente: (Revista nuevos materiales, 2011)

Dada la relativa facilidad de procesamiento, el bajo costo y el elevado potencial industrial, los composites que han tenido mayor impulso son aquellos en los que utiliza un material polimérico en calidad de matriz y fibras en calidad de refuerzo

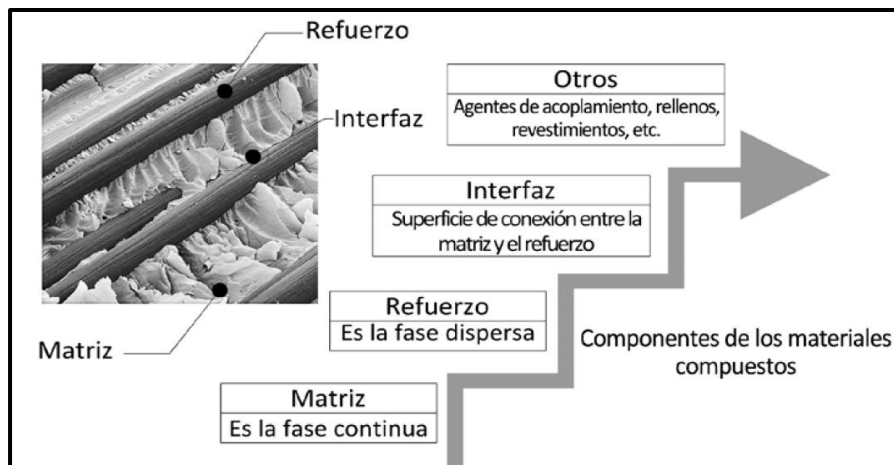


Figura 2.21 Configuración básica del material compuesto

Fuente: http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced_

En la fotografía que forma parte de la figura 2.21 se observa un plástico reforzado con fibras. La matriz es una resina epoxi resistente al calor (hasta 400°C). El refuerzo con fibras de carbono, las mismas que absorben los esfuerzos generados en el material. Este material compuesto es usado en la industria aeroespacial y automotriz.

2.4.2 COMPONENTES

2.4.2.1 MATRICES POLIMÉRICAS

Según Guerrero (2011) se refiere “al compuesto que engloba y sostiene el elemento de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material. Entre las funciones básicas se tienen las siguientes:

- Aglutinar los refuerzos.
- Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos.
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica.
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad.” (s/p).

El material utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas y mecánicas del compuesto.

Las matrices poliméricas son usadas en una diversidad de aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. Estas matrices pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas.

2.4.2.2 REFUERZOS FIBROSOS

El principal papel del refuerzo es mejorar las características de la matriz. El refuerzo es el componente del material que soporta la carga y que también puede aportar con propiedades al material compuesto como propiedades estructurales, etc. Los refuerzos pueden ser partículas, fibras o elementos estructurales.

La mayoría de estos materiales alcanza una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras resistentes y rígidas, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la carga a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

También la utilización de fibras naturales como abacá, yute, cabuya y coco, incorporadas como elementos de refuerzo en una matriz polimérica. Este tipo de materiales ofrecen muchas ventajas, entre las cuales cabe resaltar la reducción de costo de manufactura y su menor impacto ambiental.

2.4.3 FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es un material que consiste en numerosas y finas fibras de vidrio que forman una superficie a manera de tela o malla. También se utiliza como agente de refuerzo para muchos productos poliméricos, para formar un material compuesto muy fuerte y ligero denominado plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

2.4.3.1 FIBRA TIPO E

La fibra de vidrio tipo E, que será utilizada en el proyecto debido a la facilidad con la que se encuentra en Ecuador, se podrá decir que su uso está destinado en gran mayoría a la industria automotriz para la fabricación de componentes estéticos debido a las siguientes propiedades:

- **COMPOSICIÓN**

Fibra inorgánica compuesta de 53 - 54% SiO₂, 14 - 15.5% Al₂O₃, 20 - 24% CaO, MgO y 6.5-9% B₂O₃, y escaso contenido en álcalis. Este tipo de fibra posee buenas propiedades dieléctricas, además de sus excelentes propiedades frente al fuego. El vidrio tipo E tiene un peso específico de $2.6 \frac{g}{cm^3}$.

- **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Según Mariano (2011) “las propiedades mecánicas del material son:

Tenacidad (N/tex): 1.30

Fuerza a la tracción (MPa): 3400

Elongación hasta rotura (%): 4.5

Módulo de Young (GPa): 70 -73” (s/p).

2.4.4 FIBRAS NATURALES

La industria del automóvil hoy en día se basa en el diseño ecológico de los productos transformando los desafíos en oportunidades. Es por ello que los diseñadores y fabricantes se han visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas para la construcción de sus productos.



Figura 2.22 Vehículos fabricados con fibra natural
Fuente: www.altonivel.com.mx

Las fibras vegetales se han convertido en una alternativa realista, señalando una gran posibilidad de aplicación industrial en materiales compuestos. Además, son una fuente importante de ingresos para las sociedades agrícolas que impliquen impactos sociales positivos.

2.4.4.1 FIBRA DE YUTE

Entre las diversas fibras vegetales disponibles para el sector del automóvil uno de los más utilizados es la fibra de yute, que crece en los países subtropicales como: Bangladesh, India y Brasil.

- **COMPOSICIÓN**

La fibra de yute tiene secciones transversales irregulares y su estructura micro-celular se compone de micro fibrillas. Tienen una longitud media de aproximadamente 0,5 - 6,0 mm con un diámetro de fibra que varía de 0,01 a 0,04 mm.

Según Alves (2006) manifiesta que” la composición química varía de acuerdo con la edad de la planta y la maceración, se presenta como componentes principales: la lignina 12,5% - 13,5%, celulosa de 59% a 61%, grasas y ceras 0,9% - 1,4%, minerales 0.5% - 0,79%, nitrogenados con 1,56% - 1,87%”. (s/p).



Figura 2.23 Fibra de yute
Fuente: marinacolecciones.bligoo.com

- **PROPIEDADES MECÁNICAS**

Según Alves (2006) “Las principales propiedades de la fibra de yute son:

Densidad $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$: 1.3 – 1.49

Resistencia a la tensión [MPa]: 393 – 800

Módulo de Young [GPa]: 13 – 26.5

Elongación [%]: 1.16 – 1.5” (s/p).

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA CARROCERÍA

3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Cuando se realiza un proyecto de este tipo, como es el diseño de un prototipo de competición para la participación en la competencia de la Formula Student, es necesario hacer un énfasis tanto en el diseño de la parte aerodinámica como en la selección de materiales para la construcción, ya que de esto dependerá el peso total por carrocería del vehículo.

3.2 PROCESO DE DISEÑO

La carrocería para un mejor estudio aerodinámico se dividió por secciones como: nariz, trompa, pontones, fondo plano y difusores; con esto se logra verificar el comportamiento de cada componente frente a la resistencia aerodinámica y si el flujo es laminar o turbulento al circular alrededor de la superficie del vehículo.

Consecuencia del análisis se experimentó con diferentes medidas y formas con el fin de conseguir la menor resistencia e implementar nuevas líneas aerodinámicas que ayuden al direccionamiento de las corrientes de aire.

En conclusión cada línea, forma, medida; está diseñado para reducir al máximo la resistencia aerodinámica y seguir los fundamentos aerodinámicos en diseño de automóviles, como punto importante hacer que las corrientes de aire se comporten en flujo laminar, evitando que se produzcan turbulencias.

3.2.1 BOSQUEJO INICIAL

Para empezar con el diseño de la carrocería aplicando los fundamentos aerodinámicos, se procede a realizar un bosquejo inicial de lo que se quiere conseguir como objetivo, buscando acoplarse a las características del chasis y cumpliendo con la normativa impuesta por la competencia.

Este bosquejo será realizado a lápiz tratando de incorporar todos los dispositivos aerodinámicos como alerones delantero y posterior, fondo plano y difusores.

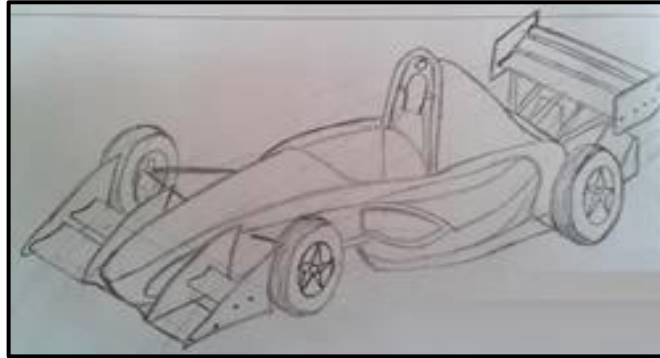


Figura 3.1 Bosquejo inicial del vehículo

A partir del bosquejo se empieza a analizar cada componente buscando una forma aerodinámica adecuada a las necesidades de la competencia y si ayudaría o sería inadecuado utilizar ciertos dispositivos, ya que el reglamento restringe en cierta forma el rendimiento del motor, limitando la velocidad máxima del vehículo en donde los alerones serían innecesarios debido a que las velocidades máximas que alcanzan son 80 km/h y la utilización de estos solo provocaría mayor peso al vehículo.

3.2.2 DISEÑO MEDIANTE SOFTWARE SOLIDWORKS

Una vez que se tiene el bosquejo inicial al que se pretende llegar, se necesita de una potente herramienta de diseño para analizar todas las partes que conforman la carrocería. Por medio de un manejo adecuado se puede crear formas complejas a través de la utilización de superficies.

El software de diseño utilizado fue SolidWorks 2014 que sirve como principal programa para el diseño de toda la carrocería.

Para visualizar el comportamiento del aire sobre la carrocería este software viene incorporado con paquetes de simulación como es el caso de SolidWorks Flow Simulation, que a través de los resultados y gráficos que arroja después de un análisis, permite evaluar los diferentes diseños para una correcta selección.

Además esta herramienta permite configurar algunas características del fluido como densidad, humedad, velocidad, etc.

Como la aerodinámica se refiere al estudio del comportamiento de los fluidos al pasar por diferentes formas, el estudio está enfocado en encontrar una forma óptima a través de algunos diseños analizando las características individuales para una correcta selección.

3.2.3 CONFIGURACIÓN DE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

La configuración del programa es muy importante ya que de acuerdo a los datos ingresados se obtienen los resultados en todas las simulaciones y es necesario mantener estos datos para evitar grandes variaciones en los análisis.

La primera configuración es la selección del sistema de unidades con el cual trabajará la herramienta de simulación de fluidos, para este estudio se utiliza el sistema internacional (m, kg, s).

Otro parámetro a considerarse es la gravedad que es de -9.81 m/s^2 y la selección del tipo de fluido a utilizarse en la simulación como es el caso de aire.

La velocidad máxima a la cual circula el vehículo es otro dato importante y el valor se obtuvo de la Formula Student Germany, que hace referencia a la velocidad promedio alcanzada por los vehículos en la competencia que es de 80 Km/h que al sistema internacional es 22.22 m/s.

Tabla 3.1

Condiciones ambientales en Hockenheim - Alemania

Parámetro	Valor
Temperatura	30.12 °C
Humedad:	0.4 %
Presión atmosférica:	973.88 hPa
Dirección y Velocidad del viento:	1.296 KPH NNW

Fuente: <http://quehoraesen.net/hockenheim>

La tabla 3.1 indica las condiciones ambientales para la competencia, estos valores han sido analizados de acuerdo al lugar donde se efectuará la competencia, como es la ciudad de Hockenheim - Alemania. Además estos valores sirven para simular las condiciones reales para la competencia.

La selección del tipo de mallado para el análisis es un parámetro importante, ya que un mallado alto obtendrá resultados más confiables y un mallado bajo obtendrá menor cantidad de datos para analizar. La capacidad de procesamiento de la computadora influye también al seleccionar el tipo de mallado, debido al tiempo que empleará para obtener resultados con un mallado alto según la complejidad del diseño.

Flow simulation permite obtener los resultados por medio de diferentes formas de visualización como son curvas, flujo de aire, contornos de presión, flujos turbulentos, velocidad de aire, etc.

Otra herramienta a utilizar es Equation Goal, que permite ingresar ecuaciones para realizar cálculos durante el desarrollo del análisis. Las ecuaciones a ser introducidas son de los coeficientes de resistencia y sustentación aerodinámica.

Los datos necesarios para la ecuación del coeficiente de resistencia son la densidad de 1.2 kg/m^3 la cual es de acuerdo a las condiciones de Hockenheim Alemania y el área frontal del vehículo de 0.765879 m^2 . La figura 3.2 indica la introducción de la ecuación en el programa.

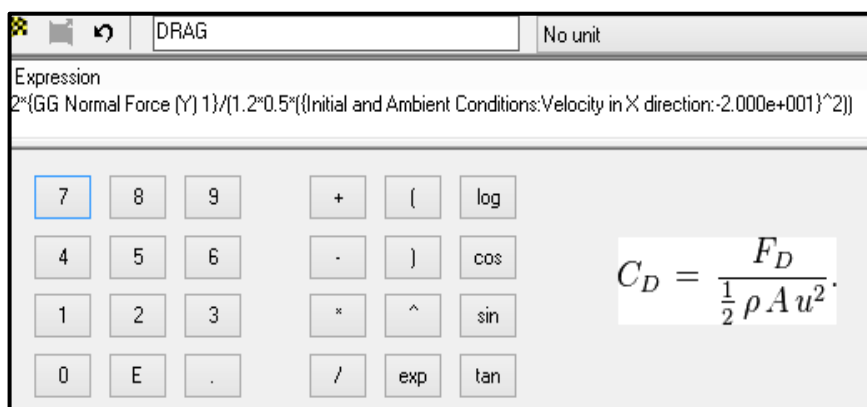


Figura 3.2 Ingreso de ecuación de resistencia aerodinámica

3.2.4 NARIZ

La primera parte que toma contacto con el aire y donde se genera la alta presión por el choque directo de las corrientes de aire. Además es la encargada de direccionar el flujo del aire a las demás partes de la carrocería, la forma y tamaño juega un papel importante para reducir la resistencia aerodinámica.

Para el diseño de la nariz se toma en cuenta el tamaño del atenuador de impactos ya que va colocado bajo la nariz, aquí se restringe en gran medida la forma de la misma debido a que si el atenuador es grande la nariz también lo será, limitando el diseño. El atenuador incorporado en el vehículo tiene las dimensiones de 25x25x20 cm.

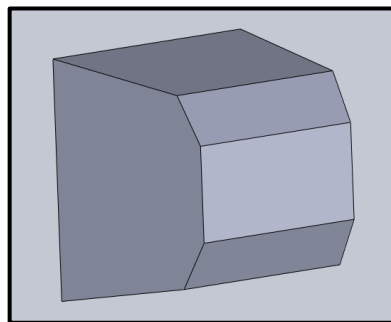


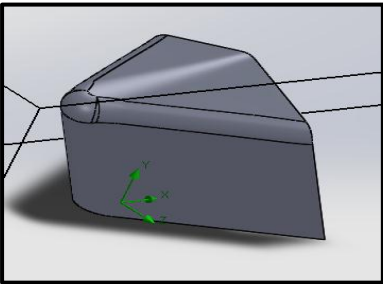
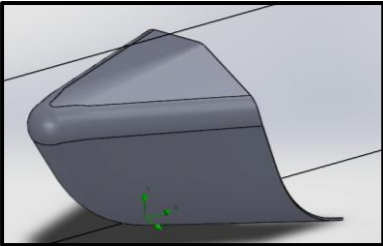
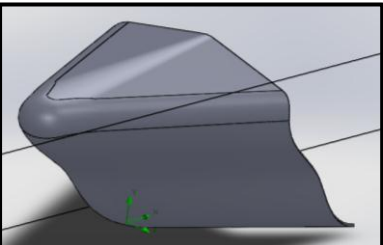
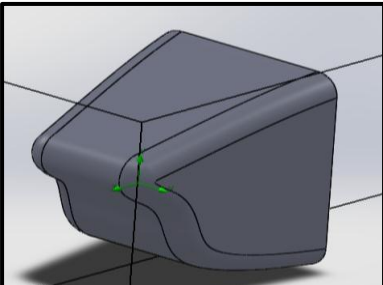
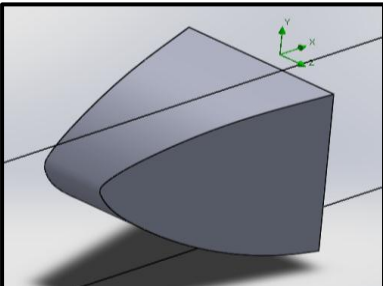
Figura 3.3 Atenuador de impactos

Tomando en cuenta las consideraciones geométricas del atenuador de impactos se procede a realizar diferentes prototipos de nariz buscando una mejor distribución de presión y un menor coeficiente de resistencia aerodinámica. Los flujos de corriente de aire también son de gran ayuda para ver la distribución del aire alrededor de la nariz y su comportamiento. Se realizaron siete prototipos de nariz con diferentes formas y alturas.

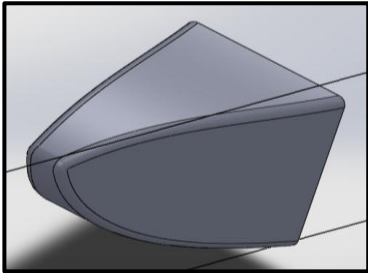
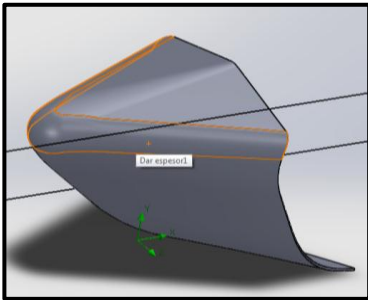
La tabla 3.2 indica los diferentes diseños que se realizó de la nariz basándose en algunos tipos de narices que aparecen en la competencia, de ahí se crea nuevas formas en base a la necesidad, el rediseño de las mismas para así someterlas al flujo de aire y visualizar el comportamiento de cada forma para seleccionar la nariz correcta de acuerdo a resultados de la simulación.

Tabla 3.2

Diseños de nariz

DISEÑO	FORMA	DESCRIPCIÓN
1		<p>Nariz triangular recta con la forma de una flecha.</p>
2		<p>Modificación del primer diseño en la inclinación de la nariz, dándole una forma más estilizada y redondeada.</p>
3		<p>Modificación del segundo diseño con una curvatura de la nariz en forma de S.</p>
4		<p>Forma cuadrada, parte superior plana con inclinación y los laterales cerrándose en la punta con una curvatura en forma de S.</p>
5		<p>Inclinación de la superficie superior e inferior, teniendo una altura media en la punta y tomando la forma de una bala.</p>

CONTINÚA →

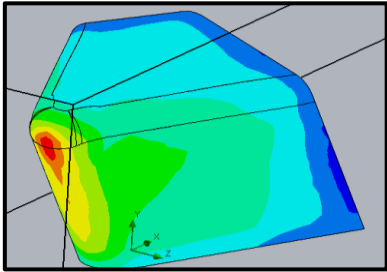
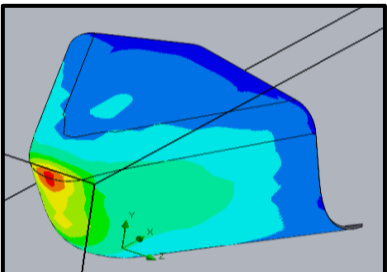
6		Modificación del quinto diseño, alargamiento y alzado de la altura de la nariz. Además se ensancha en la punta.
7		Recopilación de diseños anteriores, escogiendo los mejores trazos, geometría y líneas aerodinámicas más nítidas para el paso del flujo de aire.

- **DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN**

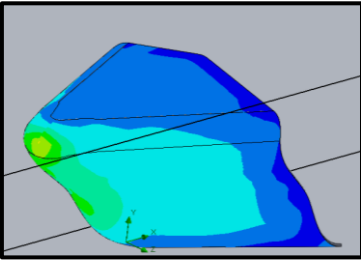
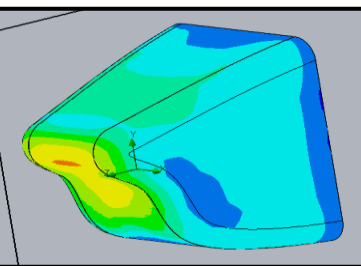
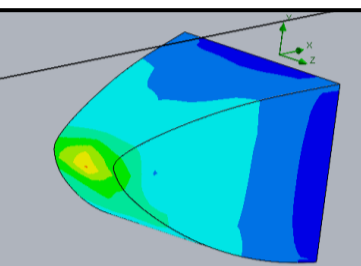
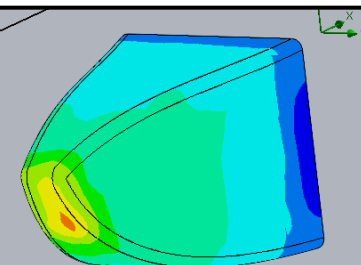
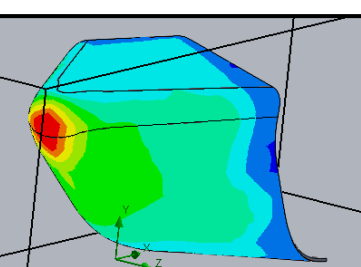
La tabla 3.3 permite visualizar las coloraciones de la superficie de los diferentes diseños, que indican la intensidad de presión generada al circular el flujo de aire y los respectivos valores de la presión máxima generada.

Tabla 3.3

Distribución de presión en la nariz

DISEÑO	DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN	PRESIÓN MÁXIMA
1		101470.48 Pa
2		101525.48 Pa

CONTINÚA →

3	 A 3D surface plot showing the pressure distribution on a curved, nose-like object. The pressure is concentrated at the tip, indicated by a yellow and red area, and decreases towards the base, shown in blue.	101509.20 Pa
4	 A 3D surface plot showing the pressure distribution on a curved, nose-like object. The pressure is concentrated at the tip, indicated by a yellow and red area, and decreases towards the base, shown in blue.	101478.44 Pa
5	 A 3D surface plot showing the pressure distribution on a curved, nose-like object. The pressure is concentrated at the tip, indicated by a yellow and red area, and decreases towards the base, shown in blue.	101496.39 Pa
6	 A 3D surface plot showing the pressure distribution on a curved, nose-like object. The pressure is concentrated at the tip, indicated by a yellow and red area, and decreases towards the base, shown in blue.	101443.20 Pa
7	 A 3D surface plot showing the pressure distribution on a curved, nose-like object. The pressure is concentrated at the tip, indicated by a yellow and red area, and decreases towards the base, shown in blue.	101520.06 Pa

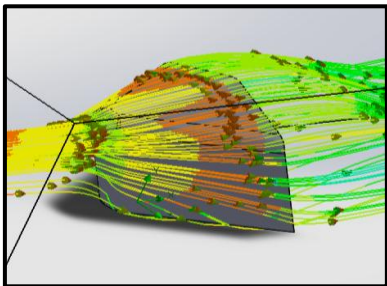
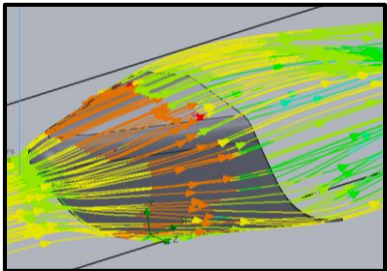
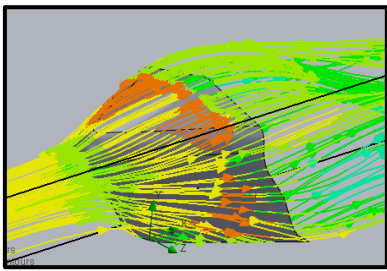
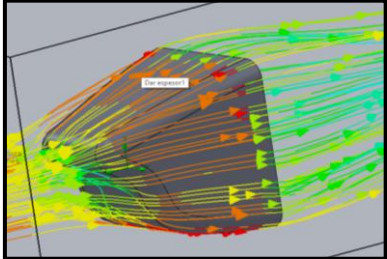
La distribución de presión busca una repartición uniforme de la presión generada sobre toda la superficie de la nariz, el diseño siete muestra una distribución uniforme en toda la punta, además que el punto de presión está ubicado justo al inicio de la nariz siendo la mejor opción en base a presión.

- **VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE**

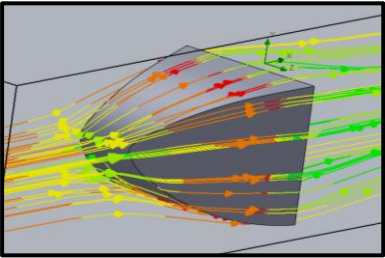
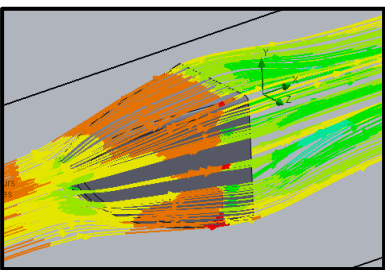
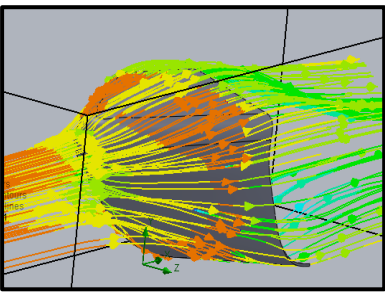
La tabla 3.4 indica el flujo de aire sobre los diferentes diseños, además permite visualizar el comportamiento de los flujos de aire al impactar con la superficie obteniendo una distinta velocidad mientras continúa el aire circulando por la superficie.

Tabla 3.4

Flujo de aire en la nariz

DISEÑO	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD MÁXIMA
1		16.80m/s
2		17.30 m/s
3		18.03 m/s
4		18.45 m/s

CONTINÚA →

5		18.75 m/s
6		16.54 m/s
7		17.685 m/s

La velocidad máxima generada en las superficies es consecuencia de un flujo suave debido a la poca resistencia presente y como punto importante debe existir una distribución adecuada de la velocidad para que tenga una salida rápida del flujo de aire.

El diseño cinco según el flujo de aire es el más óptimo debido a la velocidad máxima que alcanza el aire sobre su superficie que es de 18.75 m/s, al visualizar las corrientes de aire se observa que existe un aumento de velocidad de color rojo en la parte superior de la nariz.

3.2.4.1 SELECCIÓN DE NARIZ

La selección se basa mediante un análisis de todos los parámetros pero el más importante es el coeficiente de resistencia aerodinámica, el cual debe ser bajo para lograr la menor resistencia al circular a altas velocidades. En la tabla 3.5 se relaciona los parámetros más importantes obtenidos después de la simulación que ayudarán para una selección adecuada.

Tabla 3.5

Parámetros de selección de nariz

	Coefficiente de resistencia C_D	Resistencia (DRAG) (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
Diseño 1	0,0431752	11,959	16,8
Diseño 2	0,0343788	8,022	17,3
Diseño 3	0,0299324	7,477	18,03
Diseño 4	0,2361417	7,037	18,45
Diseño 5	0,2174234	8,028	18,75
Diseño 6	0,1945414	7,783	17,54
Diseño 7	0,0270861	7,197	17,685

Al analizar los siete diseños se establece que el diseño 7 genera un coeficiente de resistencia de $C_D = 0.0270861$, que indica una menor resistencia al desplazarse por el flujo de aire.

La velocidad máxima del flujo de aire que pasa por la superficie es de 17.685 m/s y se distribuye uniformemente por todo el contorno de la nariz. En el diagrama de presiones mostrado en la tabla 3.3 se visualiza una mejor distribución de presión en toda la superficie del diseño 7 con el punto de presión máximo ubicado en la punta de la nariz, que es la primera parte que toma contacto con el aire.

La resistencia aerodinámica es $D = 7.197$ N, y es una fuerza mínima en comparación con los otros diseños, esta fuerza debe vencer el vehículo para que el flujo de aire alcance una velocidad de $V = 17.685$ m/s. En la figura 3.4 se visualiza cómo influye cada forma del diseño de la nariz, que afecta directamente al coeficiente de resistencia aerodinámica.

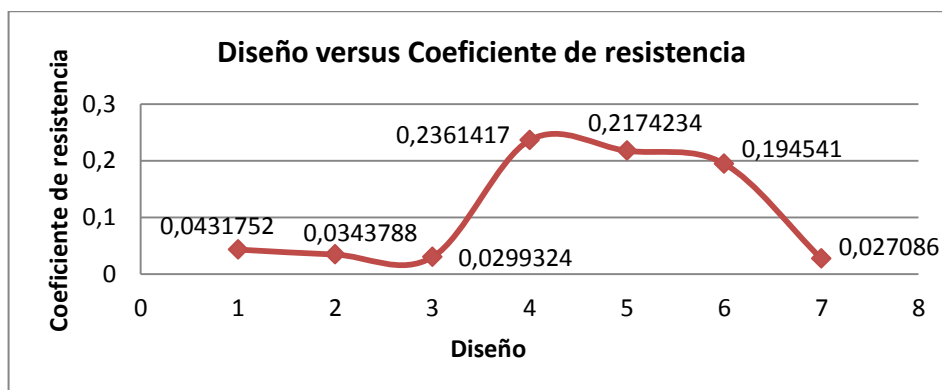


Figura 3.4 Gráfica del diseño versus coeficiente de resistencia - Nariz

Con la selección del diseño 7 de nariz se procede la continuación de la carrocería como es la trompa.

3.2.5 TROMPA

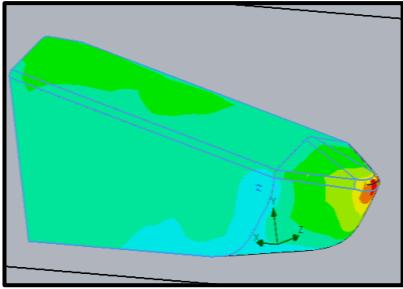
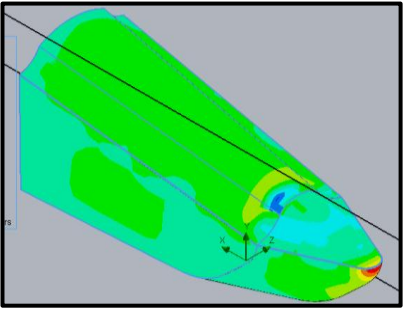
La trompa es la continuación de la nariz y es la encargada de hacer que el flujo de aire se direcciona a la parte posterior del vehículo utilizando todo su contorno, además permite ingresar aire a los pontones por la parte lateral para el enfriamiento y hacer fluir el aire por la parte superior hacia la toma de admisión. Las formas y los ángulos ayudan a cumplir estas funciones en donde se procedió a realizar líneas aerodinámicas para hacer fluir el aire a la parte lateral del vehículo.

- **DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN**

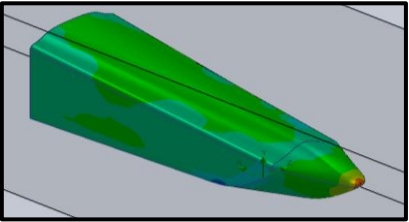
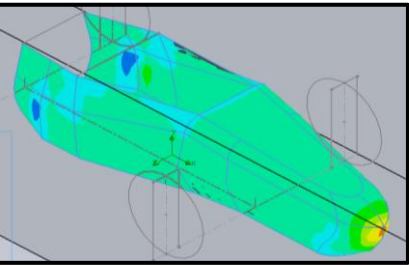
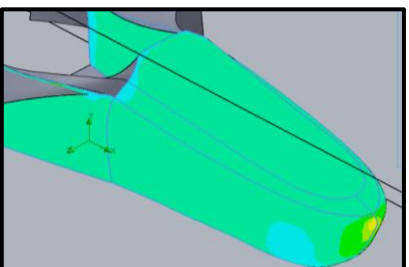
La tabla 3.6 indica la distribución de presión sobre los cinco diseños propuestos de trompas con su respectiva presión máxima generada, además se presenta una descripción breve de la forma aplicada.

Tabla 3.6

Distribución de presión sobre la trompa

DISEÑO	DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN	DESCRIPCIÓN	PRESIÓN MÁXIMA
1		Partes planas para los laterales y la parte superior con un alzado en la parte central.	101356.74 Pa
2		Partes planas para los laterales y la parte superior con una forma redondeada. En las esquinas se realizó un arco.	101358.64 Pa

CONTINÚA →

3		Modificación del segundo diseño con un alzado al inicio de la trompa para dividir el flujo.	101359.37 Pa
4		Partes laterales redondeadas, la parte superior plana con ángulo de inclinación y las esquinas redondeadas.	101356.74 Pa
5		Modificación del cuarto diseño con la diferencia de un mayor ángulo de inclinación en la parte superior y las esquinas en chaflán.	101289.40 Pa

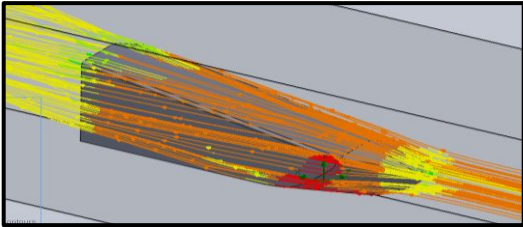
El quinto diseño indica un contorno de presión reducido, que se distribuye por toda la superficie y corresponde al diseño adecuado en cuanto a presión.

- **VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE**

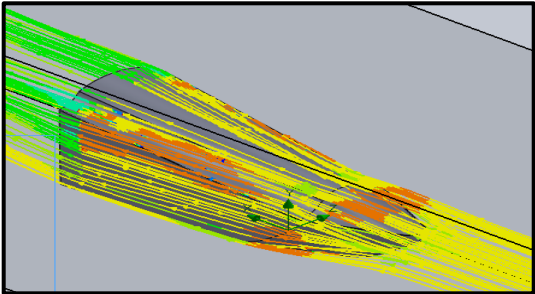
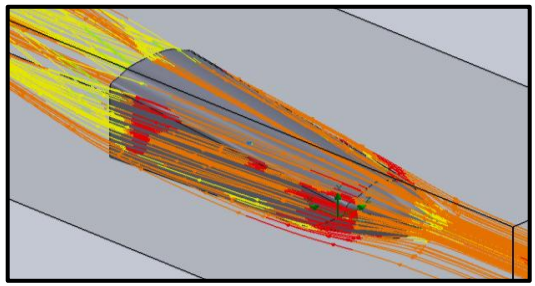
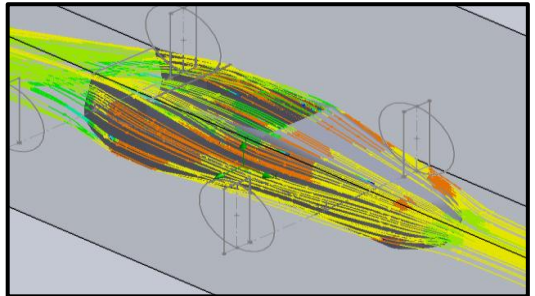
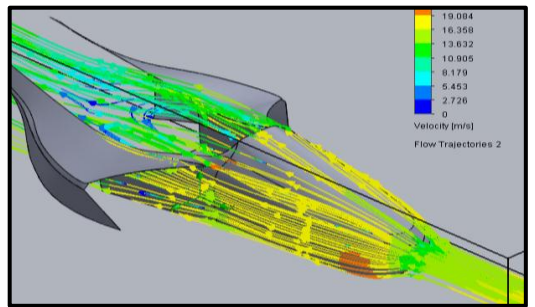
La tabla 3.7 se refiere al flujo de aire que se genera en los cinco diseños, permite visualizar cómo se comporta las corrientes de aire sobre las superficies y la velocidad máxima que alcanza.

Tabla 3.7

Flujo de aire en la trompa

DISEÑO	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD MÁXIMA
1		19.543 m/s

CONTINÚA →

2		18.987 m/s
3		19.735 m/s
4		19.084 m/s
5		19.292 m/s

La velocidad máxima generada en las superficies es consecuencia de un flujo suave debido a la poca resistencia presente y como punto importante debe existir una distribución adecuada de la velocidad para que tenga una salida rápida del flujo de aire.

El diseño cinco según el flujo de aire es el más óptimo debido a la distribución de velocidad constante de color amarillo por toda la superficie, que alcanza una velocidad máxima de 19.292 m/s.

3.2.5.1 SELECCIÓN DE TROMPA

Los criterios para la selección de la trompa son la distribución de presión sea constante sobre toda la superficie, el coeficiente de resistencia C_D sea el menor posible, generar resistencia aerodinámica en la parte superior de la trompa debido al choque del flujo de aire, la velocidad del flujo de aire este bien distribuida y que sea mayor a la velocidad de la nariz para que circule rápidamente, el flujo llegue a la toma de admisión por medio del casco del piloto.

La tabla 3.8 indica los resultados obtenidos de la simulación con los datos más importantes para la selección de la trompa.

Tabla 3.8

Parámetros de selección de trompa

	Coeficiente de resistencia C_D	Fuerza de resistencia (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
Diseño 1	0,2672225	16,575	19,54
Diseño 2	0,3526994	26,255	18,987
Diseño 3	0,2667969	15,791	19,735
Diseño 4	0,2560738	35,22	19,084
Diseño 5	0,1512329	22,092	19,292

Al analizar todos los datos tomando en consideración los parámetros de selección, el diseño 5 cumple con generar el coeficiente de resistencia menor con $C_D = 0.1512329$ indicando una mayor circulación de flujo, la resistencia aerodinámica que ejerce en la parte superior es $D = 22.092$ N. La distribución de presión es constante a lo largo de la trompa con ligeras variaciones en ciertas áreas, la velocidad del flujo de aire es $V = 19.292$ m/s siendo mayor a la velocidad de la nariz. La inclinación de la parte superior es la correcta porque el flujo llega hacia el casco impactándolo y lo introduce a la toma de admisión.

En la figura 3.5 se visualiza como varía la fuerza de resistencia aerodinámica de acuerdo al diseño, con una fuerza alta indica que se genera una mayor fuerza sobre el eje delantero por la presión del aire sobre la trompa, que se traduce en un mejor agarre de los neumáticos delanteros.

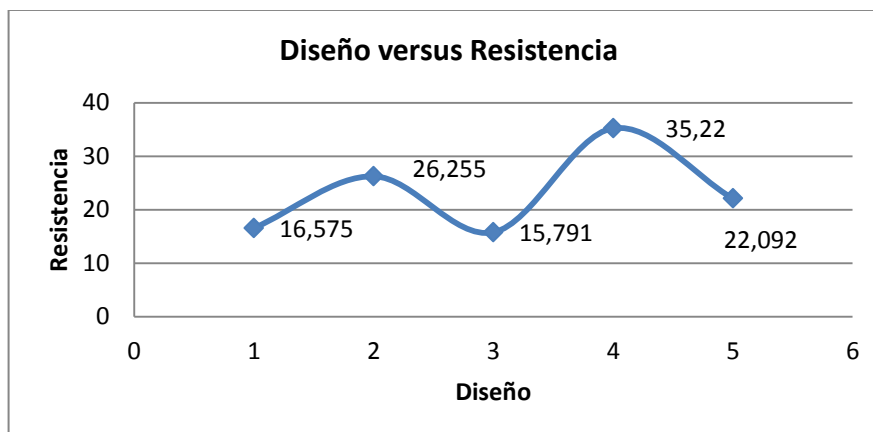


Figura 3.5 Gráfica de diseño versus resistencia - Trompa

La figura 3.6 indica los resultados de la velocidad del flujo de aire versus el diseño, analizando los cinco diseños se establece que a menor ángulo de inclinación en la parte superior de la trompa se consigue una mayor velocidad. El diseño 5 genera una distribución de velocidad uniforme alrededor de toda la superficie de la trompa y cumple que el flujo de aire llegue a la toma de admisión. La velocidad de flujo de aire en la superficie es de 19.0292 m/s.

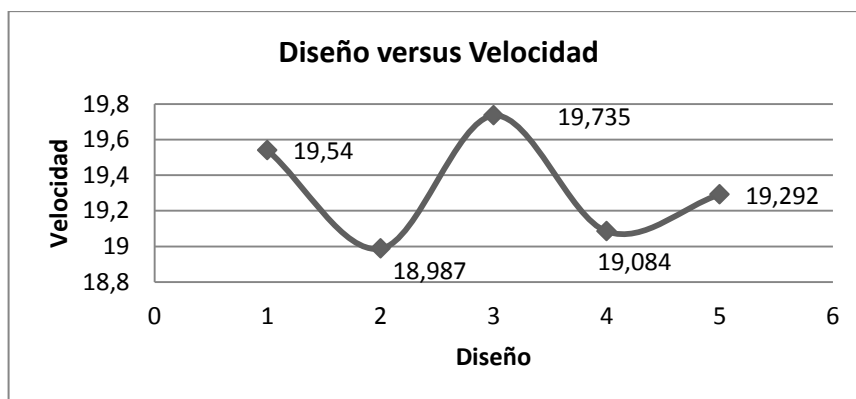


Figura 3.6 Gráfica de diseño versus velocidad - Trompa

Con la selección de la nariz y la trompa se continúa el diseño con los llamados pontones o sidepods.

3.2.6 PONTONES

Son utilizados para el enfriamiento del motor, los radiadores de agua y aceite. Para la refrigeración del motor se necesita un alto flujo de corrientes de aire y esto se logra mediante el efecto Venturi donde se reduce la sección para conseguir menor presión y aumentar la velocidad del aire.

El flujo de aire se enfrenta al choque directo sobre el radiador por lo que se produce el aumento de la resistencia aerodinámica.

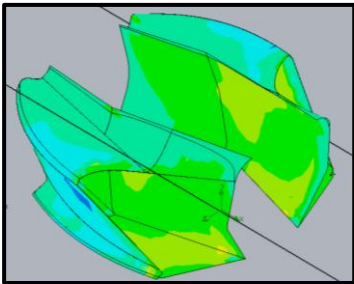
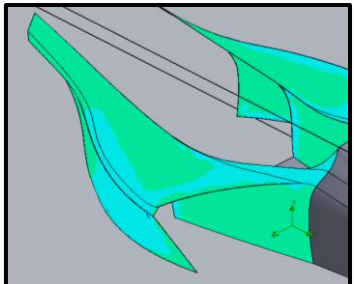
Los pontones están ubicados hasta casi el ancho de las ruedas para lograr que todo el aire de los neumáticos delanteros sea direccionado hacia los pontones para el enfriamiento del motor y radiadores, evitando así que el aire choque con el neumático posterior. Además cuenta con un deflector lateral para así recoger todo el flujo de aire lateral y direccionarlo hacia atrás sin topar el neumático posterior.

- **DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN**

Los dos diseños se fundamentan en lo que es conocido como cuello de botella que es aplicado en la Formula 1, en donde la trompa y los pontones toman la forma de una botella visto desde la parte superior.

La tabla 3.9 indica la distribución de presión generada en los dos diseños con su respectiva presión máxima, además se presenta una descripción breve de la forma aplicada.

Tabla 3.9
Distribución de presión en los sidepods

DISEÑO	DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN	DESCRIPCIÓN	PRESIÓN MÁXIMA
1		Abertura grande a la entrada y reducida en la parte de salida. Las superficies son planas con esquinas redondeadas.	Externa: 101292.83 Pa Interna: 101442.45 Pa
2		Modificación del primer diseño con una forma estilizada y con superficies redondeadas, con puntas largas.	101389.45 Pa

Para el primer diseño se pretende disminuir la presión en la parte interna del pontón para lograr introducir la mayor cantidad de aire para el enfriamiento del motor.

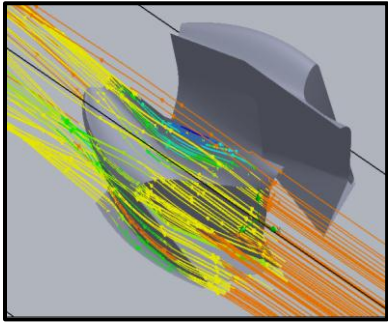
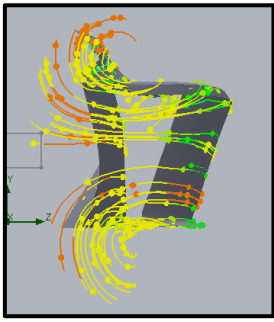
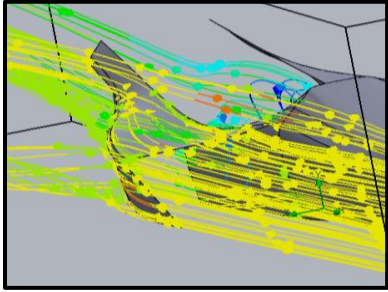
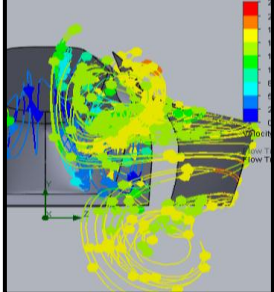
El segundo diseño del pontón inicia con la línea de la trompa para ayudar a ingresar mayor cantidad de aire para el enfriamiento. Se complementa el diseño con los deflectores de aire que se realizan en el fondo plano.

La selección del segundo diseño como óptimo se basa en la distribución constante de la presión en toda la superficie interna y externa, evitando cambios bruscos con un valor de presión de 101389.45 Pa.

- **VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE**

La tabla 3.10 se refiere al flujo de aire que se genera en los dos diseños, permite visualizar cómo se comporta las corrientes de aire sobre las superficies interna y externa, la velocidad máxima que alcanza y los vórtices que se generan en la parte posterior por la unión de los flujos de aire.

Tabla 3.10
Flujo de aire en los pontones

DISEÑO	VELOCIDAD DEL FLUJO		VELOCIDAD MÁXIMA
	VISTA LATERAL	VISTA POSTERIOR	
1			16.037 m/s
2			19.084 m/s

Basado en la velocidad del flujo de aire el diseño dos es el óptimo por la velocidad máxima de 19.084 m/s que genera, además tiene una velocidad constante de color amarillo en el interior y exterior del pontón. Los vórtices que se producen en la parte posterior indican mayor salida de flujo de aire en la zona intermedia.

3.2.6.1 SELECCIÓN DE PONTONES

Los criterios de selección para los pontones es que exista una presión reducida en el interior y exterior del ducto, la velocidad del flujo debe ser constante y conseguir una velocidad alta a la salida del ducto, el coeficiente de resistencia no se toma en cuenta debido a la presencia de los radiadores por eso se genera valores altos.

En la tabla 3.11 se analiza los datos de los dos diseños obtenidos después de la simulación.

Tabla 3.11

Parámetros de selección de sidepods

	Coficiente de Resistencia Cd	Velocidad del fluido (m/s)	Fuerza de resistencia D (N)
Diseño 1	0,3800059	16,037	17,56
Diseño 2	0,5168589	19,084	36,342

La selección del segundo diseño como óptimo, se basa en la distribución constante de la presión en toda la superficie interna y externa, evitando cambios bruscos con un valor de presión de 101389.45 Pa.

La velocidad del flujo de aire con una distribución uniforme y una velocidad máxima de $V = 19.084$ m/s, que indica un alto flujo de aire para el enfriamiento.

El coeficiente de resistencia aerodinámica C_D es elevado porque el aire ingresa a alta velocidad chocando contra el motor y radiador, además esto se produce por la reducción del ducto en la zona media que hace elevar la fuerza de resistencia.

Al finalizar con toda la selección de la carrocería, se procede con el diseño del fondo plano y difusores.

3.2.7 FONDO PLANO – PARTE DELANTERA

Un análisis correcto de la parte baja del vehículo logra que el flujo de aire que ingresa por la parte baja delantera atraviese el vehículo con mayor velocidad.

Obtenido el diseño de la carrocería, una vez cumplido con todas las condiciones de selección, se procede al diseño del fondo plano que vendrá acoplada a la carrocería para tener un sello hermético y evitar resistencia aerodinámica por fisuras en la carrocería o piso.

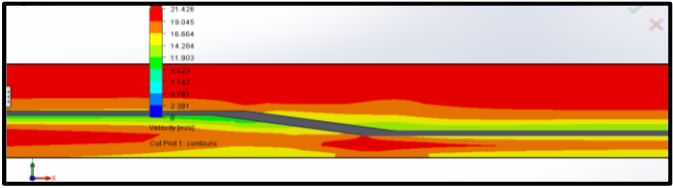
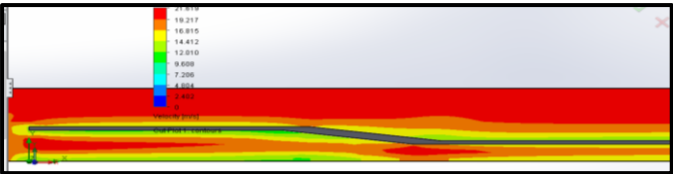
Para el análisis se hizo simulaciones con diferentes alturas, para visualizar el flujo de aire que pasa por debajo y como se distribuye la velocidad. Todas las alturas tienen como base la distancia del suelo al fondo plano de 50 mm.

- **FLUJO DE AIRE BAJO EL PISO**

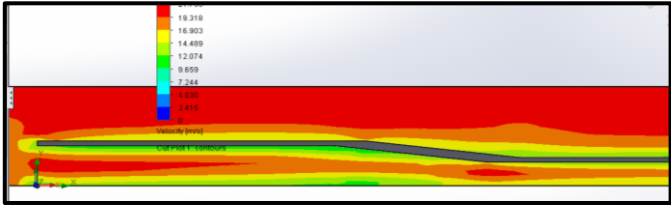
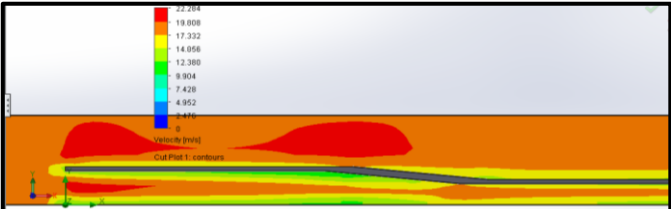
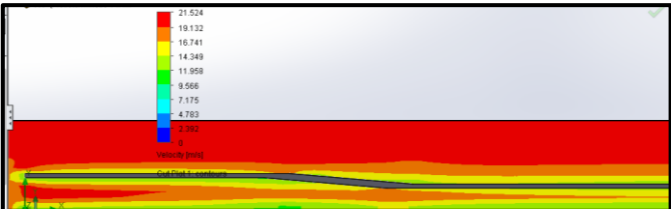
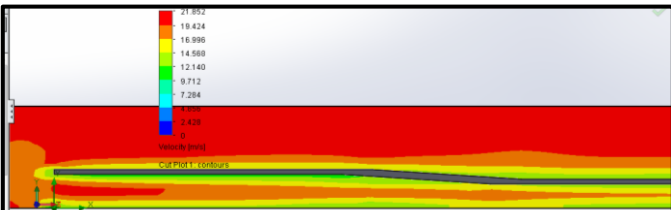
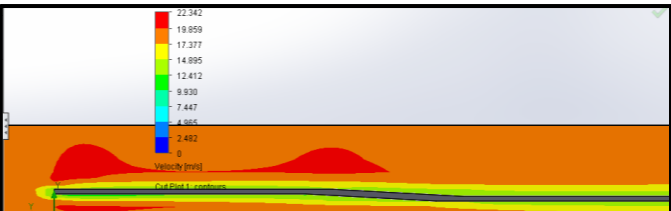
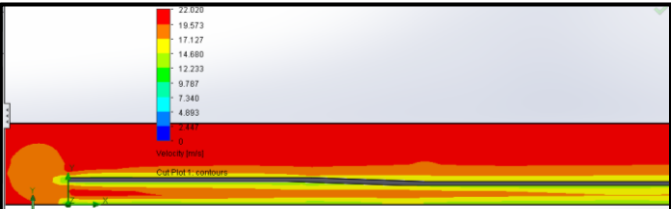
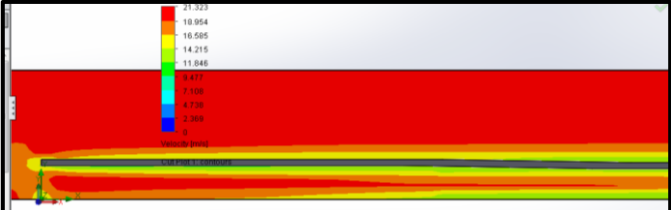
La tabla 3.12 indica los nueve diseños a diferentes alturas realizados en la parte delantera del fondo plano, se visualiza los flujos de aire con su velocidad máxima y su respectivo ángulo de inclinación.

Tabla 3.12

Flujo de aire bajo el fondo plano

ALTURA	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD MÁXIMA
1: 45mm		Vmax = 21.442 m/s, con un ángulo de 8.82°
2: 40 mm		Vmax = 22.273 m/s, con un ángulo de 7.85°

CONTINÚA →

<p>3: 35mm</p>		<p>$V_{max} =$ 22.802 m/s, con un ángulo de 6.88°</p>
<p>4: 30mm</p>		<p>$V_{max} =$ 23.261 m/s, con un ángulo de 5.91°</p>
<p>5: 25mm</p>		<p>$V_{max} =$ 22.252 m/s, con un ángulo de 4.93°</p>
<p>6: 20mm</p>		<p>$V_{max} =$ 22.252 m/s, con un ángulo de 3.95°</p>
<p>7: 15mm</p>		<p>$V_{max} =$ 23.084 m/s, con un ángulo de 2.96°</p>
<p>8: 10mm</p>		<p>$V_{max} =$ 22.994 m/s, con un ángulo de 1.97°,</p>
<p>9: 5mm</p>		<p>$V_{max} =$ 21.1361 m/s, con un ángulo de 0.99°</p>

El flujo de aire en la selección de una altura adecuada es fundamental para el ingreso de aire a altas velocidades, debido a que el aire tendrá una salida rápida bajo el fondo plano.

El diseño uno es el más adecuado en referencia al flujo de aire, debido a la alta velocidad que ingresa el aire en toda la entrada, luego se reduce en la inclinación delantera y vuelve a aumentar la velocidad al ingresar al fondo plano, lo que significa un flujo de aire rápido para la salida.

3.2.7.1 SELECCIÓN DE ALTURA REQUERIDA

Para la selección de la altura adecuada se toma en cuenta un coeficiente de resistencia aerodinámica bajo que en este caso es $C_D = 0.4877555$, a una altura de 45 mm y un ángulo de 8.82° . El coeficiente resulta ser bajo debido a que no se genera el choque de flujo de aire contra el suelo, pasando directamente hacia el fondo plano. Además la altura 1 cuenta con todos los parámetros para la entrada de corrientes de aire a altas velocidades. La velocidad máxima alcanzada por el flujo de aire a la entrada del fondo plano es $V = 21.353$ m/s. En la tabla 3.13 se muestran los resultados obtenidos para las diferentes alturas.

Tabla 3.13

Parámetros de selección de altura requerida

ALTURA (mm)	ÁREA (m ²)	ÁNGULO (°)	COEFICIENTE DE ARRASTRE C_d	VELOCIDAD (m/s)	V/ C_d
45	0,01606	8,82	0,4877555	21,353	43,7780814
40	0,0146	7,85	0,5270803	21,611	41,0013427
35	0,01314	6,88	0,5677001	21,366	37,6360688
30	0,01168	5,91	0,5961446	22,121	37,1067691
25	0,01022	4,93	0,6807217	21,395	31,429878
20	0,00876	3,95	0,8629938	21,753	25,2064383
15	0,0073	2,96	0,9474385	22,179	23,409435
10	0,00584	1,97	1,1955294	21,771	18,2103426
5	0,00438	0,99	1,5412696	21,175	13,7386736

Con la tabla 3.13 se realiza la gráfica 3.7 de $V f(C_D)$, velocidad en función del coeficiente de resistencia aerodinámica, determinando que con un $C_D = 0.487755$ se logra una velocidad de $V f(C_D) = 43.7780814$ m/s.

Con respecto a la altura adecuada la velocidad del flujo de aire será mayor en comparación con el coeficiente de resistencia y la primera altura cumple todos los requerimientos para una canalización de aire hacia el fondo plano y difusores.

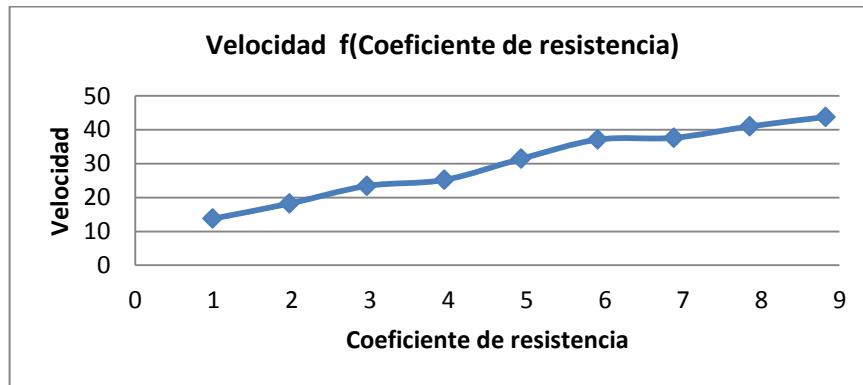


Figura 3.7 Velocidad en función del coeficiente de arrastre

Con la selección de toda la carrocería y la inclinación adecuada del piso en la parte delantera se continúa con el diseño del fondo plano y difusores.

3.2.8 FONDO PLANO Y DIFUSORES

El fondo plano es una parte fundamental en el desempeño aerodinámico de los vehículos de competencia ya que ayuda a mantener al vehículo sobre el asfalto a grandes velocidades; es por ello que una parte de la investigación será desarrollar un diseño acorde a los parámetros establecidos en el reglamento de la Formula SAE.

Conocer las restricciones es un punto esencial para realizar los diferentes diseños en cuanto al espacio requerido en la colocación del fondo plano y difusores, ya que las medidas del chasis están restringidas en gran medida al reglamento.

Para la selección del diseño adecuado se parte con un diseño inicial al cual se someterá a simulaciones, para observar el desempeño del mismo y así buscar modificaciones que ayuden al aumento de su rendimiento.

El fondo plano sirve para evitar la formación de turbulencias que eviten al flujo del aire circular con rapidez, eliminar la resistencia generada por elementos sobresalidos en la parte baja del vehículo.

Además, al realizar formas variadas se obtiene fuerza de sustentación que ayudará a mantener al vehículo sobre el asfalto a grandes velocidades, ya que se crea una succión bajo el fondo plano.

La función del difusor es generar sustentación gracias al vacío causado por el efecto Venturi que se forma bajo su geometría, es decir se debe reducir la zona de separación del flujo que se produce en la parte posterior del vehículo.

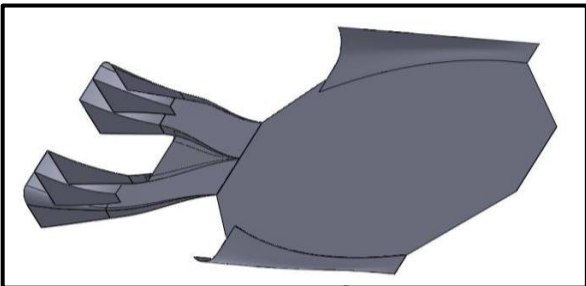
La sustentación que se obtendrá no influye con la generación de resistencia aerodinámica del vehículo, debido a que se crea una succión debajo por la salida rápida del flujo de aire.

El inicio del ángulo de inclinación es de 7 grados para todos los diseños, debido a que en la parte posterior no hay suficiente espacio por el motor y la configuración del chasis; realizando otras modificaciones en el difusor como mayor inclinación, forma redondeada o alargamiento en la parte de salida.

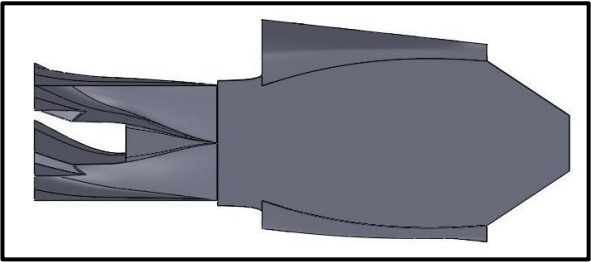
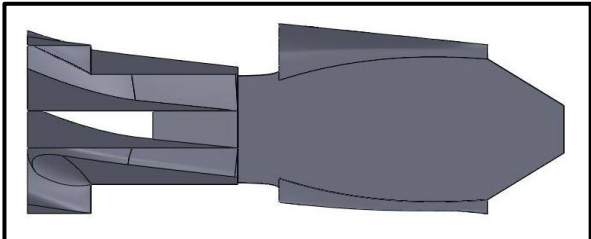
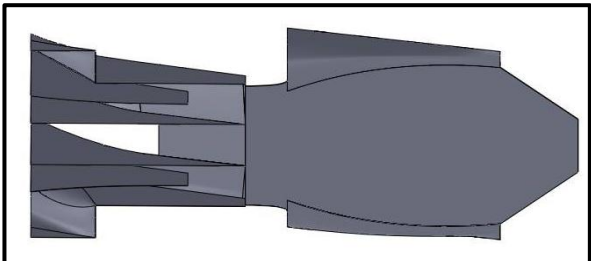
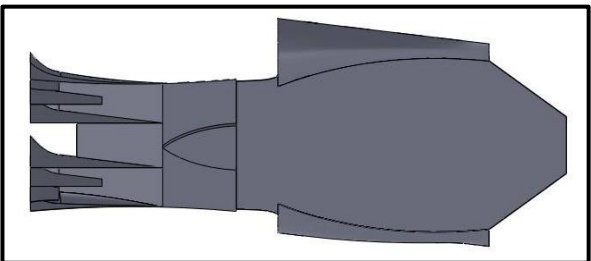
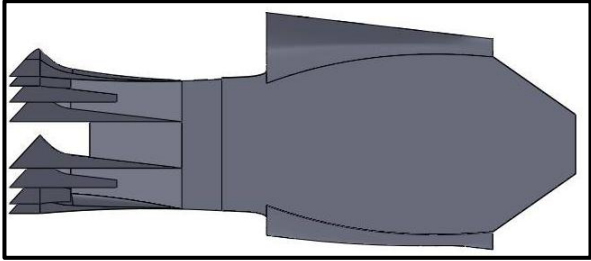
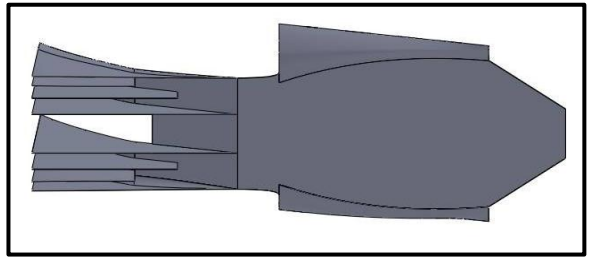
La tabla 3.14 indica los diferentes diseños que se realizan del fondo plano y difusores, basándose en algunas formas utilizadas en la competencia, de ahí se crea nuevas formas en base a la necesidad, el rediseño de las mismas para así someterlas al flujo de aire y visualizar el comportamiento de cada forma para una selección correcta de acuerdo a resultados de simulación.

Tabla 3.14

Diseños de fondo plano y difusores

DISEÑO	FORMA	DESCRIPCIÓN
1		4 difusores, dos a cada lado

CONTINÚA →

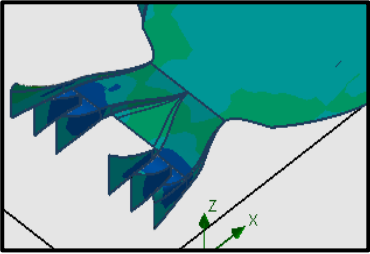
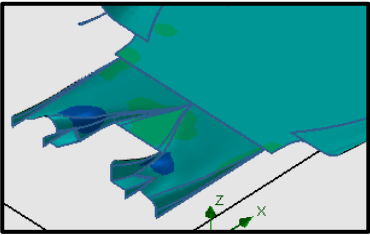
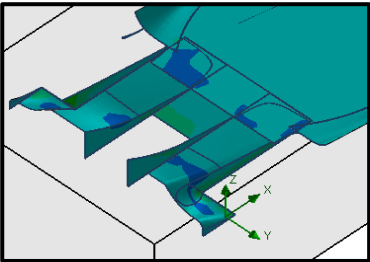
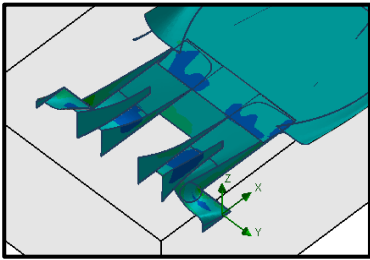
2		4 difusores con la modificación de un difusor grande y otro pequeño a cada lado
3		2 difusores, uno a cada lado
4		2 difusores a cada lado con la misma área, la diferencia es el difusor con mayor longitud
5		6 difusores, tres a cada lado reduciendo el área de los difusores.
6		6 difusores, tres a cada lado con la modificación que los 2 difusores internos conservan su área y el difusor exterior es de menor tamaño.
7		6 difusores, tres a cada lado con la diferencia que cada difusor tiene diferente medida

• DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN

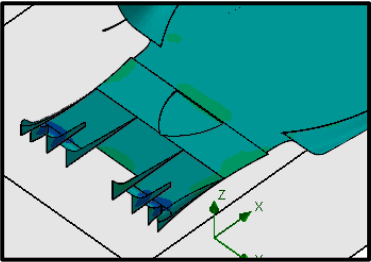
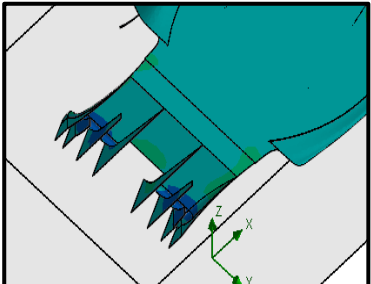
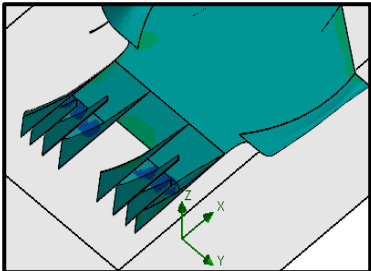
En la tabla 3.15 se muestra la distribución de presión que se genera bajo el fondo plano en los diferentes diseños de difusores, con un contorno celeste indica la baja presión que establece que a menor presión el flujo de aire sale rápidamente sin provocar arrastre. Al pasar el flujo por los difusores alcanza la mínima presión en ciertas zonas de color azul, con salida rápida del aire hacia la parte posterior del vehículo.

Tabla 3.15

Distribución de presión en los difusores

DISEÑO	DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN	PRESIÓN
1		Max = 101446.31Pa Min = 100998.10 Pa
2		Max = 101332.32 Pa Min = 100998.10 Pa
3		Max = 101404.32 Pa Min = 101103.40 Pa
4		Max = 101446.01 Pa Min = 101103.40 Pa

CONTINÚA →

5		<p>Max = 101410.25 Pa Min = 101103.40 Pa</p>
6		<p>Max = 101446.68 Pa Min = 101103.40 Pa</p>
7		<p>Max = 101332.25 Pa Min = 101103.40 Pa</p>

La distribución de presión en los difusores busca una menor presión en la entrada de los difusores, que ayude a sacar con rapidez el flujo de aire. El diseño siete cumple con estas condiciones, de color azul y con la misma intensidad en los seis difusores con una presión mínima de 101103.40 Pa. Además conserva una presión máxima de 101332.25 Pa en todo el contorno del fondo plano siendo constante.

- **VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE**

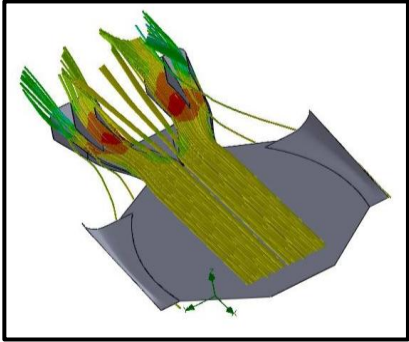
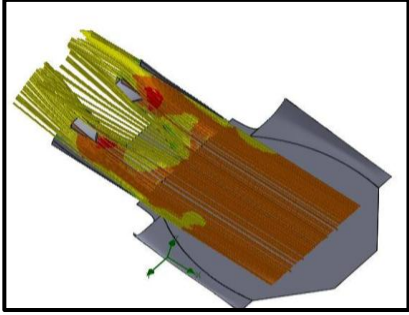
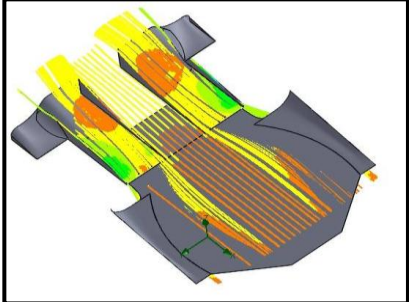
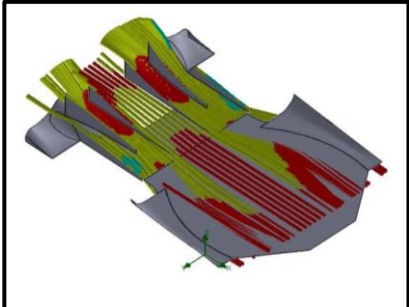
La tabla 3.16 indica el flujo de aire sobre los siete diseños realizados con su respectiva velocidad tanto en el fondo plano como en los difusores.

Para una selección correcta del tipo de difusor a utilizar, este debe cumplir con las condiciones de tener una velocidad constante de flujo de aire sobre todo el contorno del fondo plano, sin tener variaciones.

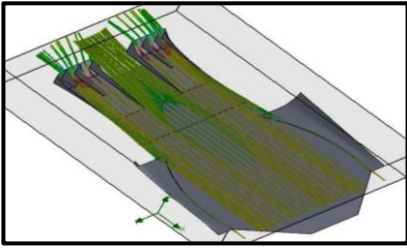
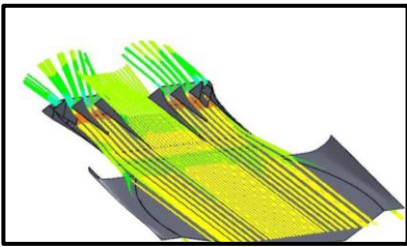
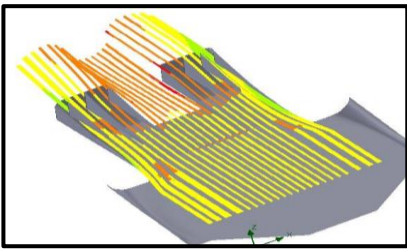
En los difusores debe aumentar la velocidad del flujo de aire con respecto al fondo plano para una salida rápida y provocar el vacío necesario debajo del vehículo.

Tabla 3.16

Flujo de aire en los difusores

DISEÑO	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD MÁXIMA
1		<p>Fondo plano: 20 m/s Difusor: 26 m/s</p>
2		<p>Fondo plano: 21 m/s Difusor: 17 m/s</p>
3		<p>Fondo plano: 20 m/s Difusor: 17 m/s</p>
4		<p>Fondo plano: 25 m/s Difusor: 23 m/s</p>

CONTINÚA →

5		<p>Fondo plano: 18 m/s Difusor: 25 m/s</p>
6		<p>Fondo plano: 20 m/s Difusor: 23 m/s</p>
7		<p>Fondo plano: 20 m/s Difusor: 24 m/s</p>

Bajo las condiciones de selección, el diseño siete cumple con el primer parámetro, al tener una distribución de la velocidad del flujo de aire en todo el contorno del fondo plano de color amarillo de $V = 20$ m/s. En la zona de los seis difusores el flujo aumenta de velocidad a $V = 24$ m/s que ayuda a evacuar las corrientes de aire bajo el vehículo de manera eficaz.

3.2.8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS FONDO PLANO Y DIFUSOR

Todas las imágenes indican cómo se llevó a cabo las respectivas simulaciones para la obtención de datos. Pero las imágenes muestran el comportamiento del flujo y la distribución de presión que genera a través de colores; para respaldar la selección del diseño se emplean otros datos arrojados en la simulación.

La tabla 3.17 indica las fuerzas generadas en los siete diseños a través de los datos arrojados por simulación. La resistencia aerodinámica es producida porque el flujo se estanca debajo del fondo plano, la sustentación se genera por la salida rápida de las corrientes de aire debajo del fondo plano.

Tabla 3.17

Fuerzas generadas sobre el fondo plano

Nombre	Unidad	Valor	Valor Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
1					
Resistencia	[N]	-100.892	-102.067	-111.594	-100.367
Sustentación	[N]	-38.346	-39.228	-45.993	-37.645
2					
Resistencia	[N]	-89.463	-90.677	-100.745	-88.517
Sustentación	[N]	-38.752	-39.085	-44.904	-37.786
3					
Resistencia	[N]	-106.197	-106.779	-119.022	-103.195
Sustentación	[N]	-101.069	-102.125	-115.137	-99.897
4					
Resistencia	[N]	-107.590	-108.232	-121.036	-104.470
Sustentación	[N]	-99.016	-100.568	-113.386	-8.288
5					
Resistencia	[N]	-89.699	-90.658	-103.850	-86.833
Sustentación	[N]	-62.724	-62.641	-69.471	-60.187
6					
Resistencia	[N]	-97.509	-99.165	-113.469	-95.355
Sustentación	[N]	-68.281	-69.593	-81.203	-67.577
7					
Resistencia	[N]	-91.737	-93.311	-107.287	-89.082
Sustentación	[N]	-71.234	-71.600	-82.348	-68.497

En la figura 3.8 se analiza la resistencia aerodinámica a través de un gráfico de barras, para una selección adecuada evaluando los valores mínimo, máximo y promedio de los siete diseños.

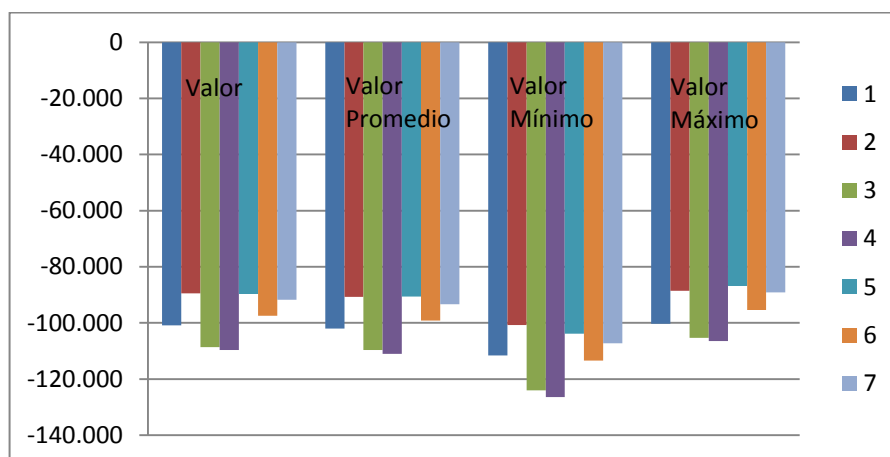


Figura 3.8 Resistencia aerodinámica en el fondo plano

En la figura 3.8 la menor resistencia (DRAG) ofrece el diseño 2 con $D = - 89.463 \text{ N}$, y el valor máximo el diseño 4 con $D = - 107.590 \text{ N}$.

La figura 3.9 indica la sustentación (LIFT) generada sobre el fondo plano a través de un gráfico de barras.

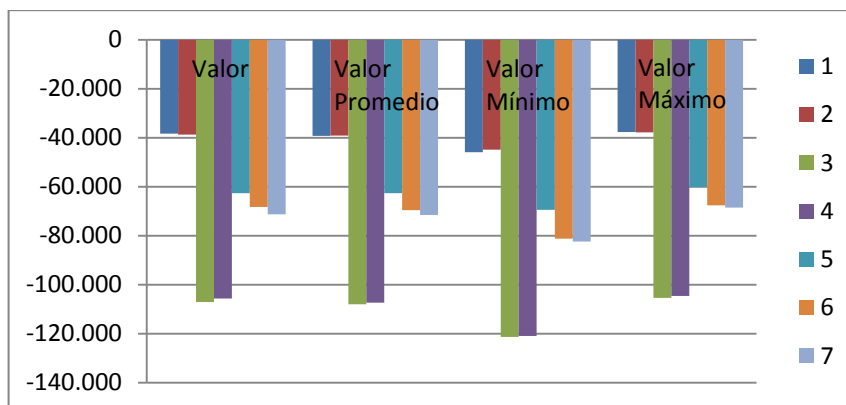


Figura 3.9 Sustentación en el fondo plano

Se observa que los diseños 3 y 4 presentan las mejores condiciones para sustentación con $L = - 107.148 \text{ N}$ y $L = - 105.699 \text{ N}$ respectivamente.

Para otro criterio de selección se analiza la tabla 3.18 que se refiere a la diferencia existente entre la resistencia y la sustentación, para visualizar si es equitativa en cuanto a la magnitud de las fuerzas.

Tabla 3.18

Diferencia entre resistencia y sustentación

Diseño	Nombre	Unidad	Valor	Diferencia
1	Resistencia	[N]	-100.892	-62.546
	Sustentación	[N]	-38.346	
2	Resistencia	[N]	-89.463	-50.711
	Sustentación	[N]	-38.752	
3	Resistencia	[N]	-108.672	-1.524
	Sustentación	[N]	-107.148	
4	Resistencia	[N]	-109.685	-3.986
	Sustentación	[N]	-105.699	
5	Resistencia	[N]	-89.699	-26.975
	Sustentación	[N]	-62.724	
6	Resistencia	[N]	-97.509	-29.228
	Sustentación	[N]	-68.281	
7	Resistencia	[N]	-91.737	-20.503
	Sustentación	[N]	-71.234	

Los datos tabulados se grafican por medio de barras en la figura 3.10 y se analiza los valores de las fuerzas y la diferencia generada entre los distintos diseños presentados para una selección correcta

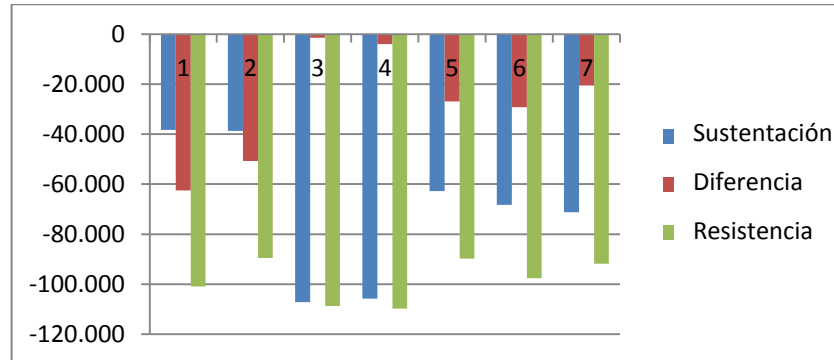


Figura 3.10 Criterio de selección fondo plano

En la figura 3.10 se analiza que los diseños 3 y 4 que parecían idóneos no lo son en verdad ya que al generar mayor sustentación (LIFT), también generan mayor resistencia (DRAG) y esto es perjudicial. Además la desventaja que tienen es el difusor pequeño que se encuentra alejado del bastidor y este vibrará cuando el vehículo esté en movimiento.

Otros diseños como el 1 y 2 generan poco DRAG, pero el LIFT es demasiado bajo. Al analizar los diseños 5, 6 y 7, se observa al diseño 7 generando mayor LIFT, el diseño 5 genera menor DRAG pero el LIFT es demasiado bajo y el diseño 6 genera un buen LIFT, pero el DRAG es mayor en comparación al diseño 7.

Bajo el criterio de selección de conseguir LIFT sin generar alto DRAG, se deduce que el diseño 7 es óptimo al conseguir $L = - 71.234 \text{ N}$ de LIFT y $D = - 91.737 \text{ N}$ de DRAG. En conclusión, el diseño 7 contiene las mejores condiciones para el trabajo deseado.

3.3 SIMULACIÓN COMPLETA DEL VEHÍCULO

Una vez concluido todo el criterio de selección de las partes que conforman la carrocería, se debe realizar la simulación completa de la carrocería con todos los componentes del vehículo y a través de la simulación obtener datos reales del comportamiento del flujo de aire.

Antes de ingresar a realizar la simulación completa, el primer paso es sacar el área frontal del vehículo, ya que este dato es necesario para sacar las diferentes fuerzas que actúan como la resistencia y sustentación. Para conseguir esto en el programa se realiza un croquis de todo el perfil del vehículo y se calcula el área, esto se visualiza en la figura 3.11.

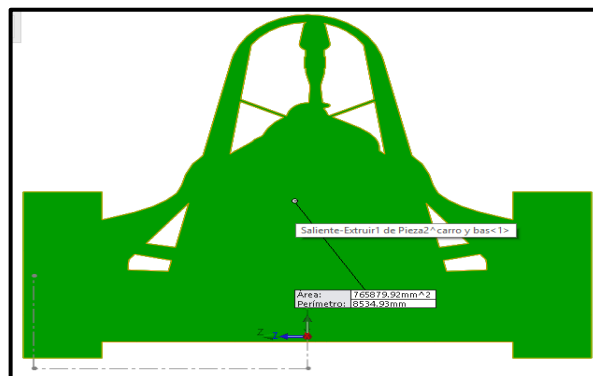


Figura 3.11 Área frontal del prototipo

El área frontal del vehículo es de 0.765879 m^2 , este dato se ingresa en las ecuaciones de resistencia y sustentación.

En la figura 3.12 se muestra al Colibrí 2014 totalmente ensamblado en el programa SolidWorks para realizar la simulación con todos los componentes y el piloto.

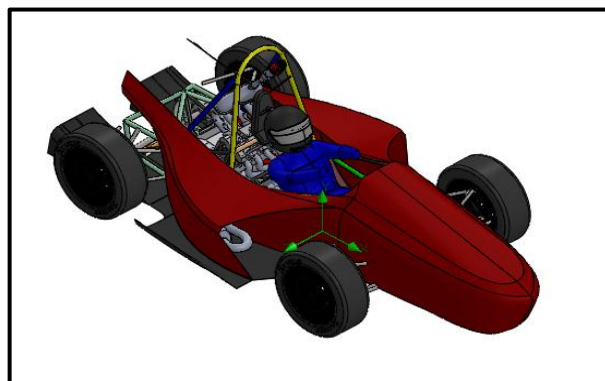


Figura 3.12 Ensamble completo del COLIBRÍ

Una vez listo todo el ensamblaje se procede a realizar la caja de simulación para todo el vehículo y se ingresa las condiciones ambientales a las que se va a someterlo en la simulación que son los datos para el día de la competencia. En la figura 3.13 se muestra la caja de simulación.

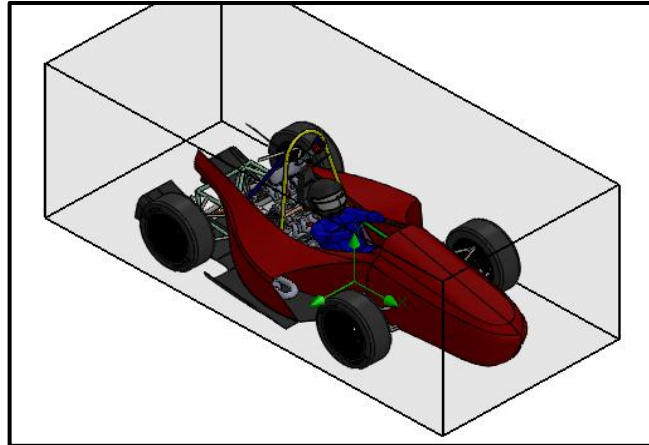


Figura 3.13 Caja de simulación para el vehículo

Para la simulación se ingresa la ecuación del DRAG y el LIFT como se muestra en la figura 3.14.



Figura 3.14 Ingreso ecuación del Drag y Lift

Una vez ingresadas las ecuaciones y seleccionar los resultados para que muestre el programa, empieza la simulación con el reconocimiento del volumen del fluido, esto tarda algún tiempo hasta que reconozca todos los componentes inmersos en la simulación.

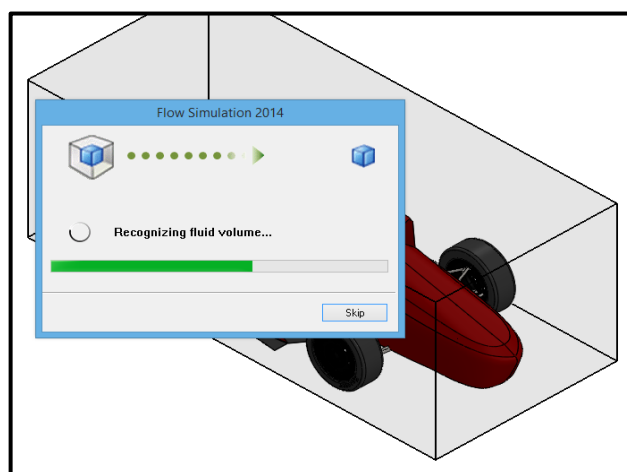


Figura 3.15 Reconocimiento del volumen del fluido

- **DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN**

En la figura 3.16 se puede visualizar que la mayor presión solo se genera en la punta de color café y en el resto del contorno la presión es baja de color amarillo, siendo constante en toda la superficie de la carrocería. La variación de presión indica que en ciertas zonas existe mayor o menor presión que ayuda a la canalización del flujo de aire.

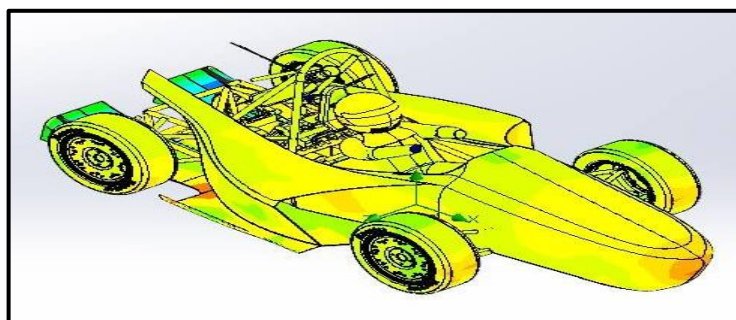


Figura 3.16 Contorno de presión del vehículo

La presión mínima generada es de 101200.15 Pa y la presión máxima es de 101425.80 Pa. Todos estos resultados indican que hay una distribución de presión adecuada sobre todo el vehículo. En la figura 3.17 se indica la zona de presión sobre el fondo plano con una reducción de presión de color azul en los difusores de 100675 Pa.

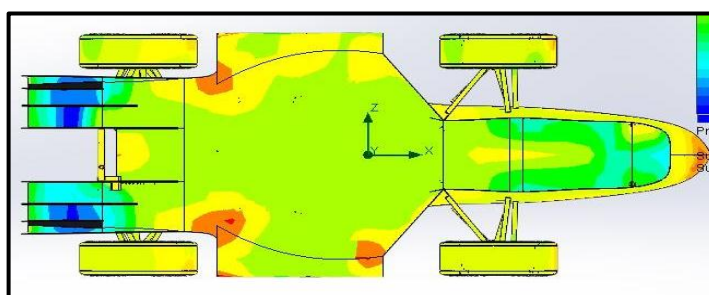


Figura 3.17 Zona de presión en el fondo plano

- **VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE**

La velocidad del flujo de aire son las gráficas más importantes ya que por medio de ellas, se visualiza el comportamiento de las corrientes del flujo de aire sobre todos los componentes y como fluye a lo largo de las superficies de la carrocería y fondo plano.

La figura 3.18 muestra las corrientes de flujo de aire sobre todo el vehículo en una perspectiva isométrica para visualizar de mejor manera toda la canalización del aire.

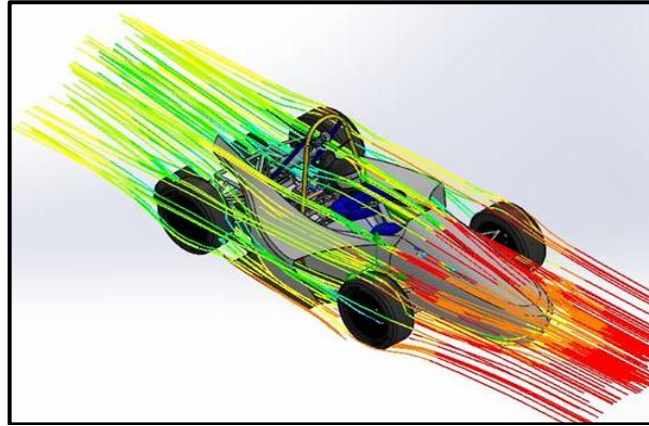


Figura 3.18 Flujo de aire sobre todo el vehículo

Como se visualiza en la figura 3.18, en la nariz con una coloración verde que es donde primero impacta el aire a 17 m/s, sigue de color amarillo sobre la punta a 19 m/s lo que indica un aumento de velocidad, continúa de color anaranjado al finalizar la punta y aumenta la velocidad por todo el contorno de la trompa de color rojo con una velocidad máxima de 25 m/s. Todo ello indica que la carrocería tiene muy buena penetración frente a las corrientes del aire y las hace circular rápidamente hacia la parte posterior del vehículo.

Ya en la parte posterior, el flujo es controlado ya que se canaliza a los sidepods y difusores por eso se reduce la velocidad en estas zonas de color verde con 17 m/s y amarillenta en otras con 19 m/s.

Con esto se comprueba que el flujo de aire circula por toda la superficie de forma suave, logrando reducir el coeficiente de resistencia aerodinámica por la buena penetración que tiene en la parte delantera, además que el área frontal es la menor posible.

A continuación se muestra las gráficas de flujo de aire vista desde otra perspectiva para un mejor análisis.

- **VISTA SUPERIOR**

Desde la perspectiva de vista superior que indica la figura 3.19, se visualiza que el aire choca contra los neumáticos delanteros y después ingresa a los sidepods para enfriamiento, teniendo una menor cantidad de aire que pase hacia los neumáticos posteriores.

Además la salida del flujo de aire en el interior de los sidepods es mayor con esto se comprueba que el diseño es válido, porque se logra el comportamiento adecuado para el cual fue diseñado.

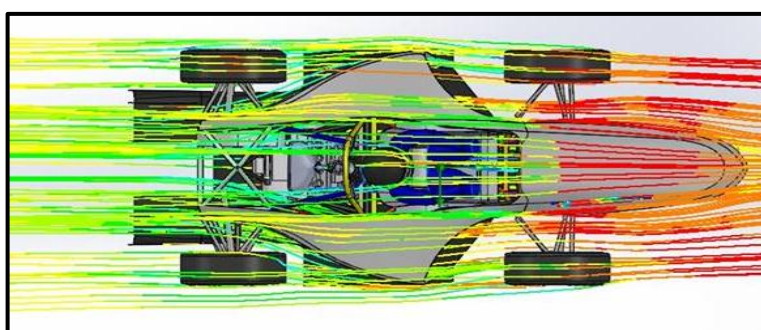


Figura 3.19 Vista superior flujo de aire

- **VISTA INFERIOR**

La figura 3.20 muestra la canalización del flujo de aire sobre el fondo plano y difusores visto desde la perspectiva inferior. De color amarillo con velocidad de 20 m/s, tiene una velocidad distribuida a lo ancho del fondo plano para aumentar la velocidad de color anaranjado en la zona de los difusores a 23 m/s. Con esto se comprueba el rendimiento del fondo plano y difusores para la canalización del aire que pasa por debajo del vehículo y crear succión por medio de vacío generado por la salida rápida del aire.

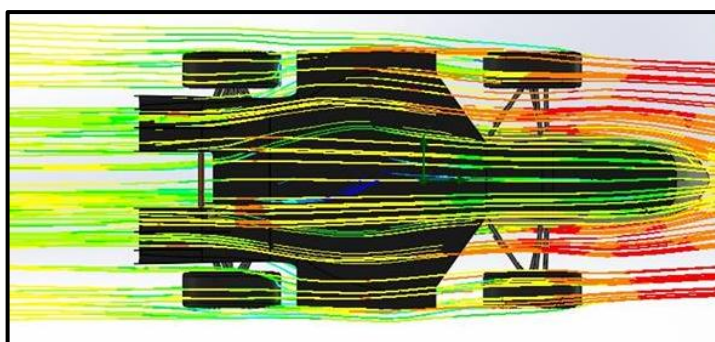


Figura 3.20 Vista inferior del flujo de aire

- **VISTA LATERAL**

La figura 3.21 muestra el flujo de aire desde la perspectiva lateral, en la parte delantera se muestra la canalización del aire hacia los sidepods con altas velocidades de color rojo. En la zona de los sidepods se visualiza el alto ingreso de aire para el enfriamiento del motor de color amarillo y una salida de color verde amarillenta, que indica el choque del aire contra los paneles del radiador, por eso disminuye su velocidad.

En la parte superior, el flujo de aire conserva su velocidad de color rojo y en la zona más alta de color amarillo para el ingreso de aire a la toma de admisión.

En la parte posterior se visualiza una reducción considerable de la zona de succión donde se genera turbulencia, debido a la unión de los flujos tanto superior, inferior y lateral.

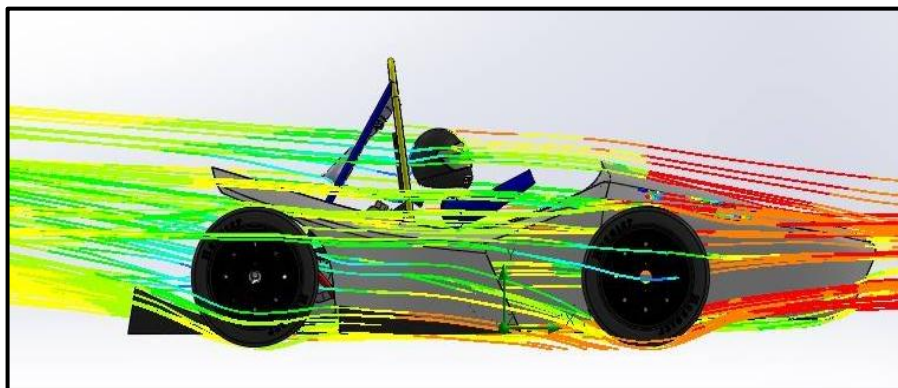


Figura 3.21 Vista lateral del flujo de aire

- **CASCO DEL PILOTO**

El casco del piloto influye mucho en la parte aerodinámica ya que al chocar las corrientes de aire sobre este, el flujo toma la forma del casco y lo direcciona hacia la toma de admisión. En la figura 3.22 el casco direcciona el flujo hacia la toma de admisión con una ligera variación de velocidad de color verde y amarillo de 17 a 21m/s. Se comprueba que el ángulo que se le dio a la trompa es el adecuado.

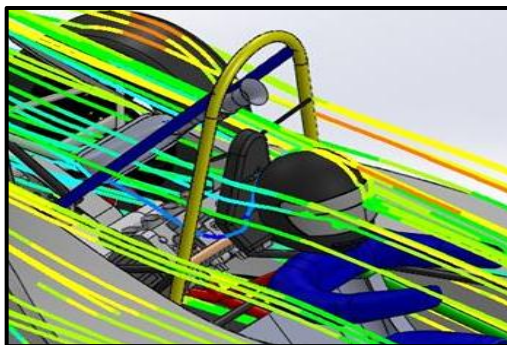


Figura 3.22 Flujo de aire sobre el casco del piloto

• RESULTADOS OBTENIDOS

Con la visualización de las anteriores figuras que representan al flujo de aire sobre el vehículo, se comprobó que el diseño está de acuerdo a lo planificado y responde adecuadamente al interactuar el aire sobre el vehículo, pero para verificar el diseño es necesario analizar los datos arrojados por la simulación.

La tabla 3.19 muestra los resultados arrojados por la simulación de acuerdo a los parámetros seleccionados para el análisis.

Tabla 3.19

Resultados obtenidos por la simulación del vehículo

Nombre	Unidad	Valor	Valor Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Máxima Presión Estática	[Pa]	108822,0431	108823,9895	108822,0431	108826,2771
Máxima Presión Total	[Pa]	108822,0798	108824,2375	108822,0798	108826,723
Máxima Presión Dinámica	[Pa]	461,3993494	665,0883759	460,509815	947,1898527
Velocidad Máxima	[m/s]	27,6864121	32,81255572	27,65982298	39,55035076
Resistencia	[N]	-135,987131	-135,6775462	-136,6708516	-135,1453709
Sustentación	[N]	-22,96613221	-22,85506966	-23,14694025	-22,41463058
Fuerza Lateral	[N]	-2,181791166	-2,265581614	-2,647308649	-1,920086851
Coefficiente de Resistencia	[]	-0,037811995	-0,028609565	-0,038075205	-0,01844767
Coefficiente de Sustentación	[]	-0,017284705	-0,013057061	-0,017454293	-0,008347542

Los datos de presión estática, presión dinámica y velocidad sirven para resolver las ecuaciones de los coeficientes de resistencia y sustentación. Los datos importantes son las tres fuerzas generadas en los tres ejes.

La fuerza en X corresponde a la resistencia aerodinámica $D = - 135.9 \text{ N}$, esta es la fuerza que debe vencer el vehículo para desplazarse.

La fuerza en Y corresponde a la fuerza de sustentación $L = - 22.966 \text{ N}$, es generada por el fondo plano y la presión del flujo de aire sobre la carrocería.

La fuerza en Z corresponde a la fuerza lateral de $S = - 2.18\text{N}$, como se indicó anteriormente esta fuerza es insignificante ya que en esta competencia se busca velocidades punta.

Estas tres fuerzas también sirven como dato para la resolución de las ecuaciones y hallar los coeficientes de resistencia aerodinámica C_D y el coeficiente de sustentación C_L .

- **COEFICIENTE DE RESISTENCIA AERODINÁMICA**

El coeficiente de resistencia aerodinámica C_D , depende de la forma a la cual el flujo atraviesa; un menor coeficiente que tienda a 0 indica una buena circulación del aire sobre la superficie pero si el coeficiente llega a 1 indica que el componente ofrece mucha resistencia a fluir.

El coeficiente de resistencia aerodinámica arrojado por la simulación fue $C_D = 0.037811995$, que indica una buena circulación del flujo de aire sobre toda la superficie del vehículo.

La figura 3.23 indica el comportamiento del coeficiente de resistencia aerodinámica al pasar por la superficie.

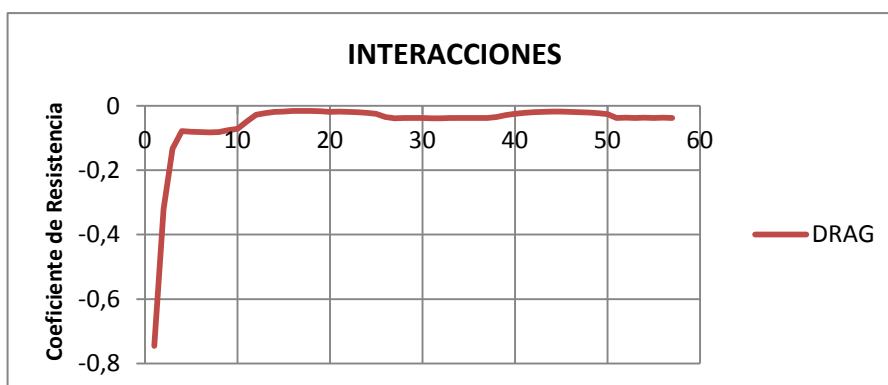


Figura 3.23 Comportamiento del coeficiente de resistencia aerodinámico

Al principio se visualiza que al no hacer contacto el aire sobre ningún componente empieza en un valor alto, pero a medida que va teniendo interacciones con las superficies va disminuyendo ya que se logra canalizar el flujo y seguir la forma de la superficie de todo el vehículo.

- **COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN AERODINÁMICA**

El coeficiente de sustentación aerodinámica indica si el vehículo genera sustentación debido a la succión de la parte baja para que los neumáticos se peguen al piso. A mayor velocidad del vehículo el coeficiente de sustentación aumenta hasta valores de 3 generando mayor agarre de los neumáticos a la pista.

La simulación arrojó un coeficiente de sustentación aerodinámico de $C_L = 0.017284705$, indica una generación de sustentación por la adición de fondo plano y difusores.

La figura 3.24, indica el comportamiento del coeficiente de sustentación producido en el vehículo, al iniciar el flujo y al no tener interacción con la superficie empieza por un valor alto de 0.5, al tener interacción con la parte baja de la trompa tiende a cero y al entrar a la zona del fondo plano y difusores aumenta el valor del coeficiente logrando la sustentación requerida por el diseño.

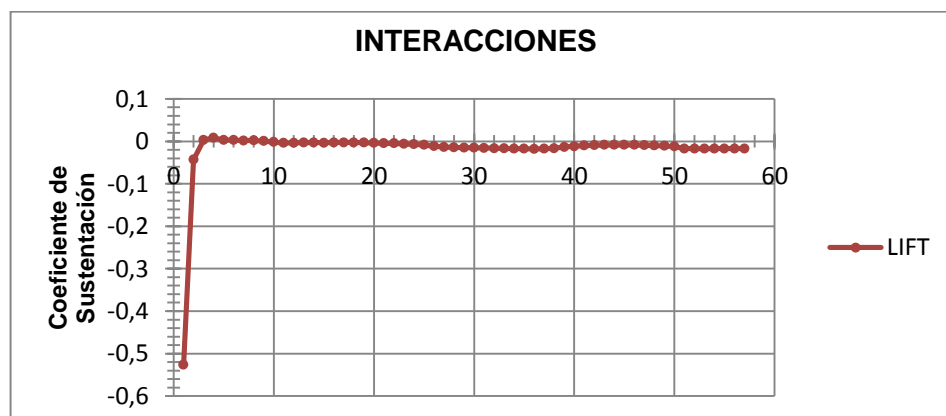


Figura 3.24 Comportamiento del coeficiente de sustentación aerodinámica

Una vez realizados todos los análisis, se concluye que el diseño es óptimo para la construcción debido a que genera un $C_D = 0.037811995$ que tiende a cero, lo que indica que no existe mucha resistencia.

Además la zona de succión que se genera en la parte posterior del vehículo se reduce por la unión de flujos tanto superior, inferior y lateral; en la figura 3.25 se visualiza el prototipo ya construido mediante el software.

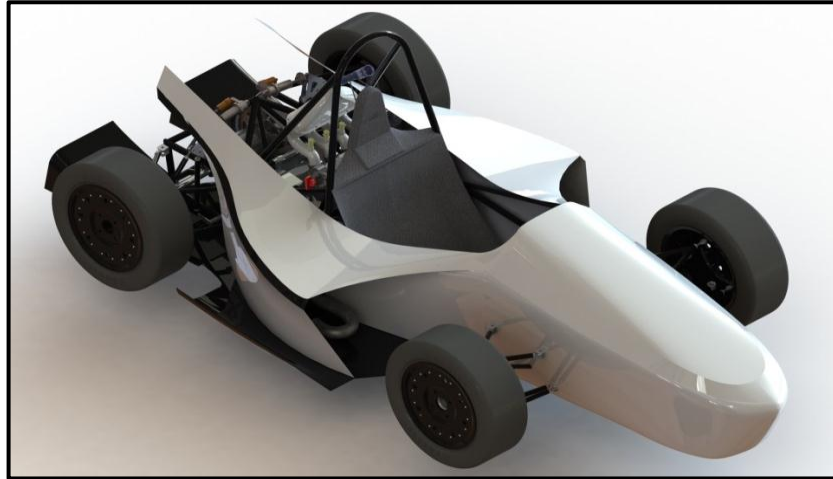


Figura 3.25 Finalización del prototipo

3.4 SELECCIÓN DE MATERIAL

El estudio de los materiales para la construcción de diferentes piezas es de vital importancia ya que la fabricación de un composite tiende a variar las propiedades de acuerdo a la fabricación, humedad, materiales, y otros diversos factores.

Para saber si la resistencia es la adecuada para el diseño se ha recurrido a realizar un ensayo de tracción de diferentes probetas para garantizar el buen desempeño del diseño durante su funcionamiento normal.

3.4.1 MATERIALES DE USO COMÚN

Los materiales utilizados para este tipo de proyectos son de acuerdo a la facilidad de encontrarlos en Ecuador y se describen a continuación.

3.4.1.1 RESINA POLIÉSTER

La resina es un material de poca resistencia a fuerzas externas por lo que casi siempre va acompañado de un refuerzo de fibras, partículas sintéticas o naturales para mejorar sus propiedades físicas.

Para trabajar con este tipo de resina es necesario utilizar un agente catalizador (peróxido) y un acelerante (cobalto) que ayuden a generar una reacción química para que la resina obtenga una consistencia firme y rígida.

Otra de las precauciones que se debe tener con este material es su compatibilidad con las fibras a utilizar, ya que si utilizamos una fibra no compatible, se tendrá un resultado deficiente al deseado debido a que la resina actuará como un degradador de la fibra de refuerzo.

3.4.1.2 FIBRA DE VIDRIO

Se utiliza usualmente como un material aislante, pero con el pasar del tiempo y distintos experimentos, se ha llegado a utilizar como un elemento de refuerzo para materiales plásticos debido a su gran resistencia a la tracción. Es de fácil obtención en el país en sus diferentes formas y diseños.

3.4.1.3 FIBRA DE YUTE

La fibra de yute es un material orgánico y por lo tanto biodegradable, con lo que ayuda a disminuir desechos de basura contaminante. Su uso está muy dirigido a la fabricación de tejidos como costales.

3.4.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Un ensayo de tracción permite determinar la capacidad que tiene un material para soportar una determinada carga estática. Mediante este ensayo se obtiene la curva Tensión-Deformación, que es la relación de fuerza aplicada sobre la deformación existente.

Mediante este ensayo se obtiene los siguientes datos:

1. **Límite elástico:** es la tensión mínima que se aplica para que un material sufra una deformación permanente.
2. **Resistencia a la tracción:** es la tensión máxima que se produce antes de que se produzca una fisura en el material.
3. **Alargamiento a la rotura:** es la deformación que se presenta en el material después de haber fallado.

3.4.2.1 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS

Se utiliza una probeta de acuerdo a la norma ASTM E8 para piezas planas; las medidas se muestran en la figura 3.26.

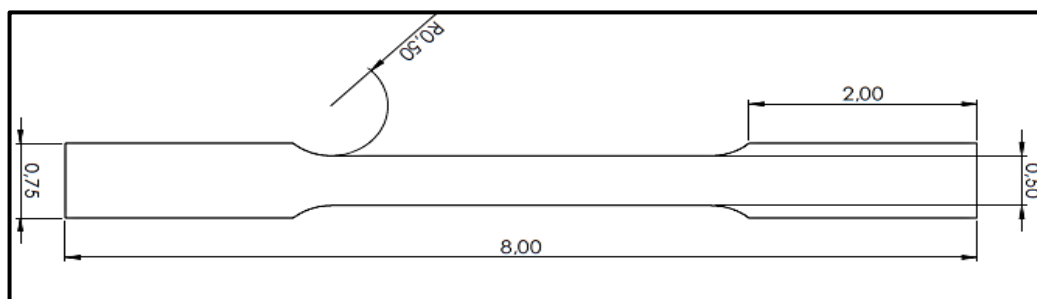


Figura 3.26 Probeta para ensayos de piezas planas en pulgadas

3.4.3 CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS

La elaboración de las probetas se realizó con planchas del material con el cual se va a trabajar y es de fácil adquisición en el país, como es la fibra de vidrio tipo E y la fibra de yute tejida. Para recortar las planchas se toma en cuenta la longitud de la probeta como se indica en la figura 3.27.



Figura 3.27 Materiales para construcción de probetas

Con la obtención de los materiales se procede a la aplicación de la resina previamente preparada con una brocha. Para obtener mejores resultados y consistencia en las probetas se coloca en una superficie lisa libre de imperfecciones como puede ser madera.

Se obtendrá tres planchas de los materiales: una solo fibra de vidrio, una de fibra de yute tejida y por ultimo una mixta entre fibra de yute y vidrio. Al estar bien seca la plancha se obtiene la superficie como indica la figura 3.28.



Figura 3.28 Plancha terminada de fibra mixta para probeta

Para sacar las probetas con medidas exactas a las especificadas en la norma ASTM E8 para placas planas, se realizó planos en SolidWorks y se imprime a escala real. Se recorta el molde colocándole sobre la superficie y con la ayuda de una lima se iguala el contorno como indica la figura 3.29.



Figura 3.29 Fabricación de probetas

En la figura 3.30 se visualiza las probetas terminadas con los diferentes materiales propuestos, cinco probetas de cada material y dejándolas listas para la aplicación de carga en los ensayos de tracción.



Figura 3.30 Probetas terminadas de diferentes materiales

3.4.4 EXPERIMENTACIÓN

Para los ensayos de tracción la Universidad Politécnica Nacional proporcionó los laboratorios de ensayos de materiales con la asistencia de los operadores de la máquina. La máquina de ensayos de tracción es mostrada en la figura 3.31.



Figura 3.31 Máquina para ensayos de tracción

Existe un tipo de mordaza para cada probeta, las mordazas en V son utilizadas para placas planas, que se cierran y sujetan la probeta con mayor fuerza mientras se eleva la carga.

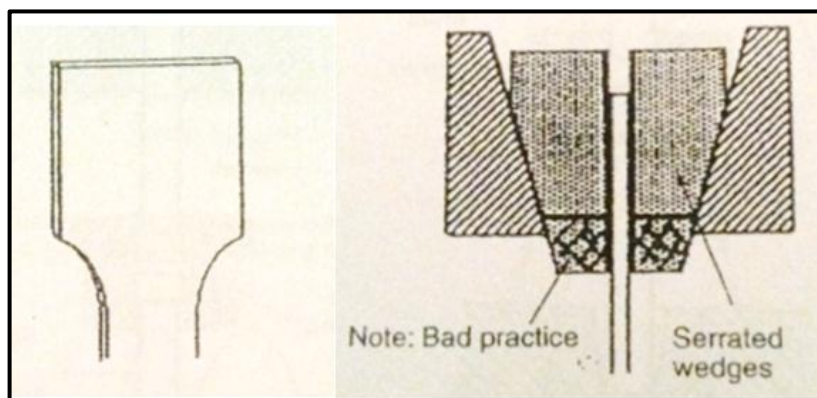


Figura 3.32 Mordaza en V para placas planas

Fuente: Hand Book Metal

Antes de realizar el ensayo se coloca la numeración en las probetas y se señala la zona de rotura para poder visualizar la deformación que sufre después de aplicada la carga como se muestra en la figura 3.33.



Figura 3.33 Medición de las probetas

Terminado de señalar todas las probetas se las coloca de una en una en las mordazas de la máquina de ensayos de tracción para su respectiva aplicación de carga como indica la figura 3.34.



Figura 3.34 Colocación de las probetas para el ensayo de tracción

Como la aplicación de la carga es constante, el material llega a un punto en donde la probeta empieza a ceder y se produce la rotura o deformación permanente como se muestra en la figura 3.35.



Figura 3.35 Rotura de la probeta

Terminado todos los ensayos de las cinco probetas de fibra de vidrio, fibra de yute tejida y mixta entre fibra de vidrio y yute. En total se realizó el ensayo en 15 probetas de diferentes materiales. En la figura 3.36 se visualiza como fue la rotura en las probetas.



Figura 3.36 Ensayos realizados en las 5 probetas de fibra de vidrio

3.4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Después de haber realizado los ensayos, el software envía una imagen donde se puede apreciar el comportamiento de cada material durante la ejecución del ensayo. A continuación se muestran las gráficas generadas para los diferentes materiales.

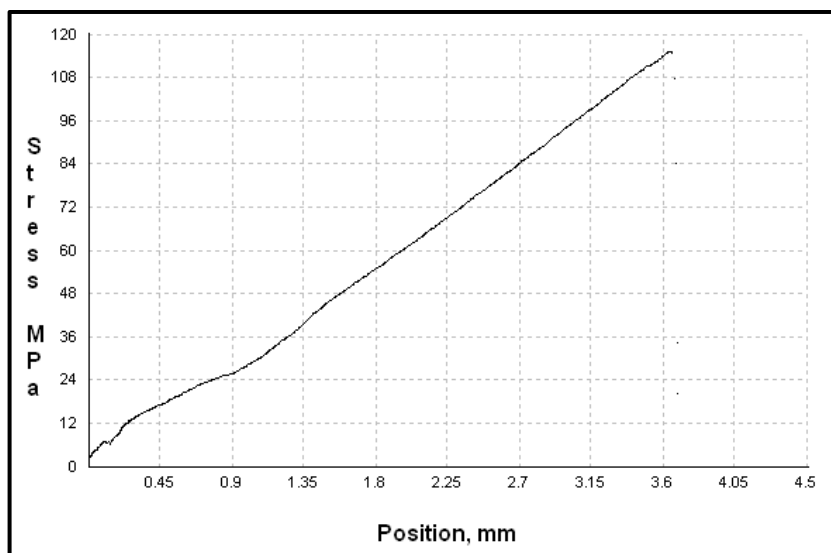


Figura 3.37 Ensayo de un composite de fibra de vidrio

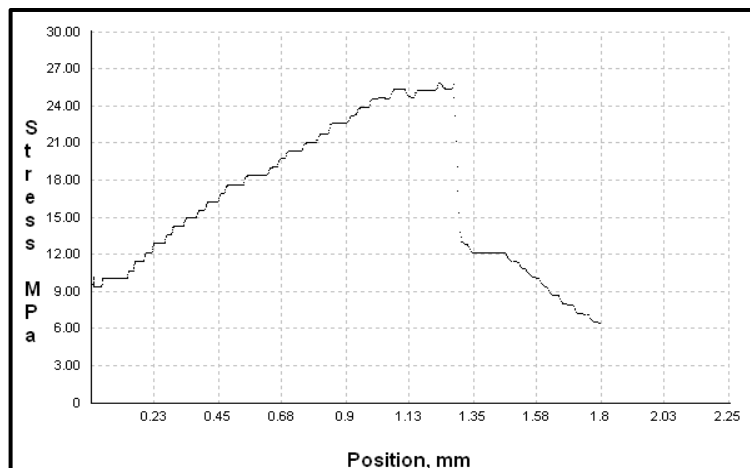


Figura 3.38 Ensayo de la fibra de yute tejida

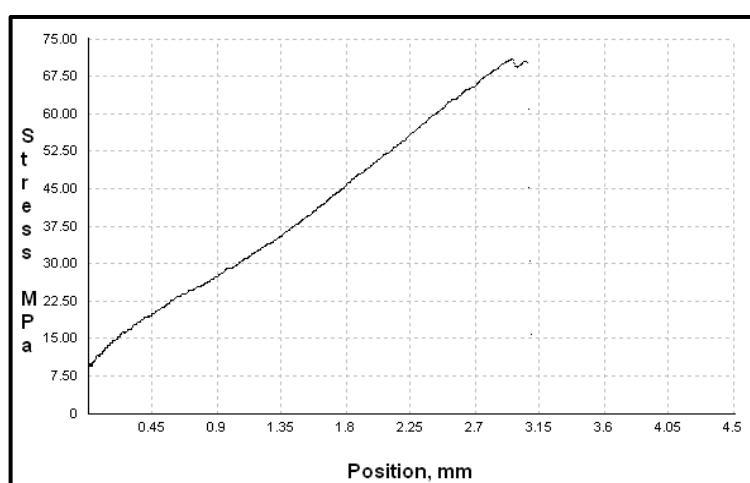


Figura 3.39 Ensayo sobre una composite mixta (VIDRIO - YUTE)

De una forma más explícita, en la tabla 3.20 se mostrará un resumen de los ensayos realizados a los distintos materiales indicando los datos máximos que se obtuvo en las gráficas, la sección mixta se refiere a una composición de fibra de vidrio y fibra de yute en un solo elemento.

Tabla 3.20

Resultados de los ensayos de los diferentes materiales

	Fibra de vidrio		Fibra de yute		Mixta	
	MPa	mm	MPa	mm	MPa	mm
1	95	5,9	20	1,7	47	3,4
2	115	3,7	25	1,2	38	2,4
3	118	4,3	24	2	70,5	2,9
4	98	3,6	21	1,8	46	3,6
5	95	3,2	16	1,58	39	3,15
Promedio	104,2	4,14	21,2	1,656	48,1	3,09

Dando como resultado que el composite con mayor resistencia es el material con refuerzo de fibra de vidrio, seguido del refuerzo mixto y con menor resistencia la fibra de yute.

En ciertos ensayos soporta mayor carga debido a que la resina formo correctamente la estructura en cambio en otros fue frágil y por eso fallo rápido. Antes de seleccionar una alternativa de material para la construcción, en la tabla 3.21 se evalúa los requerimientos necesarios que debe tener el material.

Tabla 3.21

Valoración de características del material

CARACTERÍSTICAS	COMPOSITE		
	FV	FY	MX
Costo del material	3	5	4
Resistencia	5	2	3
Método de Procesamiento	5	3	4
Versatilidad geométrica	3	5	4
Taladrabilidad	5	2	5
Comportamiento frente a la humedad	5	5	5
Comportamiento frente a altas temperaturas	4	1	3
SUMA	30	23	28
1: muy mala; 2: mala; 3: media; 4: buena; 5: muy buena.			

De acuerdo a los requerimientos se utiliza un tipo de fibra para cada sección, el composite de fibra de vidrio será el adecuado para construir el fondo plano del vehículo ya que soporta mayor esfuerzo al generar vacío y debe estar firme durante su desempeño.

El composite mixto servirá para fabricar la carrocería debido a que sus exigencias de deformación son menores ya que el chasis absorberá las cargas de impacto y a través de esta fibra mixta se lograra aligerar peso teniendo una resistencia media lo que es muy satisfactorio para el vehículo.

El composite de solamente yute quedará exento de aplicación ya que su estructura no es firme y ocasionará complicaciones en el momento de ensamblaje.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA Y MONTAJE

4.1 PRIMER POSITIVO – MOLDE BASE

Para la construcción de la carrocería a escala real se opta por iniciar con la realización de los planos en SolidWorks, aquí se elabora el esqueleto de toda la carrocería sacando los croquis de la forma cada 100mm para luego imprimir los planos a escala real y a través de éstos lograr la forma original del diseño. A continuación se muestran los planos generados por el software de simulación de toda la carrocería en la figura 4.1.

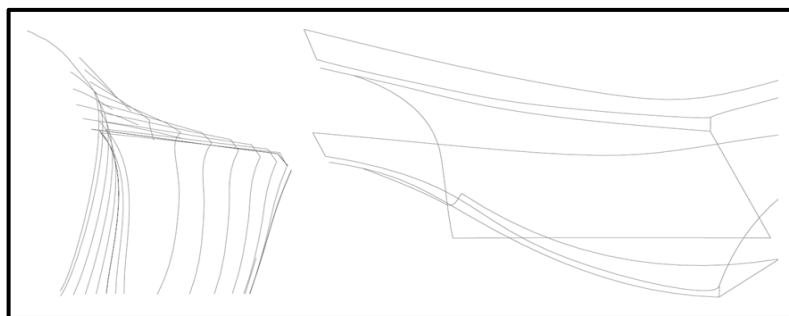


Figura 4.1 Esqueleto de la carrocería

Para empezar con la construcción, se realiza el mismo proceso de diseño que se llevó a cabo con la nariz, trompa y sidepods.

Al tener todos los planos de la carrocería impresos a escala real, el siguiente paso es colocar los planos encima de la madera MDF y trazar la forma deseada como se visualiza en la figura 4.2. Para las siguientes formas se sigue recortando los planos a medida que se avanza con todo el esqueleto de la carrocería.

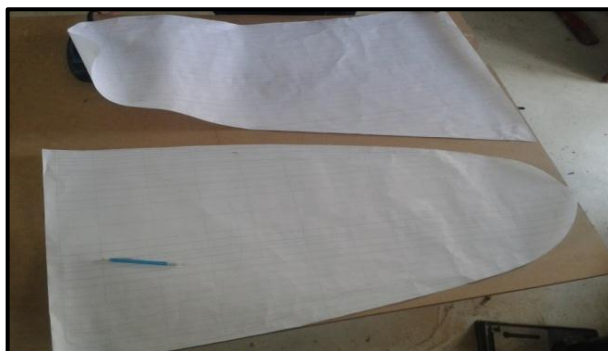


Figura 4.2 Trazado de planos en madera

Una vez trazada la forma deseada se procede con el corte de la madera MDF con una caladora como se muestra en la figura 4.3; el uso de la madera ayudará a armar un molde rígido que será el esqueleto de toda la carrocería.



Figura 4.3 Corte de madera MDF

Terminado el corte de los moldes se continúa con el armado de las partes en madera sobre el chasis, esto ayuda a visualizar de mejor manera la forma geométrica y tener un centrado preciso de todas las piezas. Para iniciar con el armado se empieza colocando la estructura base de todo el conjunto ya que ahí se enlazara la demás piezas como indica la figura 4.4. Se coloca un plástico sobre el chasis para evitar que se ensucie con el uso de los materiales; para pegar la estructura se utiliza pistolas de silicona que ayuda a un secado rápido y fácil de desmontar.



Figura 4.4 Armado de la estructura principal de la trompa

Con la estructura base armada se continúa recortando las demás partes para luego ser ensambladas sobre la estructura y dando forma al esqueleto de la nariz y trompa, cabe acotar que la separación entre las partes que forman la estructura es de 100 mm.

Para el corte de las formas redondeadas hay que tener cuidado de mantener la forma con el fin de evitar que ingrese mucho material de relleno. En la figura 4.5 se visualiza la estructura delantera acabada con mucha precisión para mantener la forma original del diseño.



Figura 4.5 Estructura delantera terminada

Terminada la estructura se coloca cartón por debajo de la estructura como se indica en la figura 4.6 para minimizar el material de relleno y conseguir la optimización del material.



Figura 4.6 Colocación de cartón en la estructura

El siguiente paso es el relleno de la estructura para dar forma a toda la trompa y eliminar con esto las imperfecciones de la madera e igualar todos los lados. Para el relleno se utiliza espuma de poliuretano que se mezcla en una proporción de 50% componente A o polioliol y 50% componente B o isocianato, la aplicación se efectúa sobre toda la estructura y para minimizar al máximo la utilización del material se utiliza un plástico que ayuda a expandir toda la espuma sobre la superficie.

En la figura 4.7 se muestra el relleno de toda la estructura y con la ayuda de un rayador se iguala toda la superficie dejando la forma deseada.



Figura 4.7 Relleno de la parte delantera

El siguiente paso fue aplicar masilla sobre la trompa para dar el acabado, se utilizó talco industrial o llamado talco chino para realizar la masilla, con la resina, y el estireno como diluyente; se mezclan los tres componentes hasta obtener una mezcla homogénea, como catalizador se utiliza MECK. Este tipo de masilla es de gran utilidad para rellenar y se requiere de menor presupuesto para obtener mayor cantidad de masilla.

En la figura 4.8 se muestra la superficie masillada de toda la trompa con su respectivo acabado mediante lijado de dicha superficie.



Figura 4.8 Masillado y lijado de la superficie

Ya casi terminada la trompa el siguiente paso fue realizar los dos sidepods para el enfriamiento del motor. El proceso de construcción es el mismo utilizado para la trompa y se comienza con el armado de la estructura por medio de la madera MDF y se sigue la línea de diseño de la trompa.

En la figura 4.9 se visualiza la estructura armada de los sidepods mediante la madera MDF.



Figura 4.9 Estructura de los sidepods

Terminada toda la estructura de los dos sidepods y la parte interna, el siguiente paso fue colocar el cartón en el interior para ahorrar material de relleno. Colocado el cartón se continúa con la espuma de poliuretano para el relleno y a través de un plástico lograr expandir el material a lo largo de la superficie y optimizar el material por construcción. Por medio de un rayador se iguala la superficie devastando la espuma sobrante. En la figura 4.10 se muestra los dos sidepods terminado el relleno y las superficies lisas.



Figura 4.10 Relleno terminado de los sidepods

Una vez finalizado el relleno se procede a masillar las superficies de los sidepods, igualando la superficie de la trompa con los sidepods. El siguiente paso es el lijado de todas las superficies para obtener una superficie bien lisa, pero como todo proceso de construcción se obtiene ciertas fallas y se debe seguir masillando hasta obtener los acabados deseados. Cuando se localiza fallas pequeñas la mejor opción de masilla es la de tipo poliéster que es de fácil aplicación y no requiere mucho tiempo de secado.

En la figura 4.11 se visualiza el molde base terminado después de haberlo masillado y lijado las veces necesarias, obteniendo resultados muy buenos y quedando listo para la aplicación de la fibra de vidrio.



Figura 4.11 Acabado final del molde base

Al estar terminadas todas las superficies con un acabado liso este componente viene hacer el primer positivo o molde base de la carrocería.

4.2 PRIMER NEGATIVO

Con el molde base acabado el siguiente paso es la elaboración del primer negativo, este molde ayuda para realizar una carrocería de menor peso.

Sobre la superficie del molde base se coloca cera desmoldante en crema para evitar que se pegue el primer negativo y pueda salir con facilidad, esta crema se aplica con un trapo limpio o guaipe sobre toda la superficie una cinco capas en total dejando un lapso de tiempo entre capas, además evitar la aparición de grumos de la cera ya que provoca imperfecciones en el primer negativo.

Otro punto importante es que no exista polvo sobre el molde porque todo quedara adherido en el primer negativo al aplicar la resina y la fibra de vidrio.

En la figura 4.12 se muestra la aplicación de la cera sobre el molde base.



Figura 4.12 Aplicación de cera desmoldante

La superficie debe quedar totalmente cubierta de la cera desmoldante, el siguiente paso se coloca una capa de resina previamente preparada con una brocha sobre toda la superficie.

Una vez puesta la capa de resina se coloca pedazos de fibra de vidrio a lo largo de toda la superficie y se aplica otra vez la resina sobre la fibra, evitando que se formen burbujas de aire que afectaran al molde. Con un total de dos capas sobre toda la superficie y la colocación de pequeños palos de madera para conservar la forma del molde y que sea resistente.

Una vez aplicada todas las capas de fibra y los refuerzos de madera se procede al secado del primer negativo, el tiempo aproximado es de dos días para un buen secado.

Cuando el primer negativo está totalmente seco se procede a sacar el molde con mucha técnica para evitar que se rompa por la utilización de fuerza excesiva para el desprendimiento, esto se logra con la ayuda de pequeños palos de madera para lograr separar los dos moldes.

En la figura 4.13 se muestra el primer negativo ya desprendido del molde base.



Figura 4.13 Primer negativo carrocería

Una vez desprendido el molde se procede a cortar todos los filos de la fibra de vidrio que quedan en el molde mediante una amoladora para evitar cortaduras. Con esto queda terminado el primer negativo que servirá de molde para la elaboración del segundo positivo o pieza final.

4.3 SEGUNDO POSITIVO – PIEZA FINAL

Con el primer negativo ya terminado el siguiente paso es arreglar las pequeñas fallas que se generan al momento de aplicar la fibra como poros, para esto se utiliza la masilla roja que es de fácil aplicación y secado rápido.

En la gráfica 4.14 se muestra el primer negativo en el proceso de masillado, cubriendo la mayoría de poros que se encontraban en los laterales. La masilla utilizada fue la roja que se lija con agua y deja un acabado liso además de rellenar.



Figura 4.14 Proceso de masillado primer negativo

Al terminar con el proceso de lijado se le aplica pintura base que en este caso es el fondo gris como se indica en la figura 4.15, este fondo permite visualizar los poros que a la vista son imperceptibles, además muestra las imperfecciones en las superficies.



Figura 4.15 Aplicación fondo gris en la superficie

Una vez seco el fondo se pasa una lija fina con el fin de quitar porosidades de la pintura.

Al estar ya la superficie con acabados perfectos, el molde está listo para la aplicación de la cera desmoldante que va en un número de 5 capas por toda la superficie, después se aplica la resina previamente preparada con una brocha como se muestra en la figura 4.16



Figura 4.16 Aplicación de la resina sobre la superficie

Aplicada la resina por toda la superficie se empieza a colocar la fibra de vidrio que es la primera capa por ser de fácil moldeo, se la coloca en trozos largos y pequeños conforme la superficie. Luego como segunda capa se pone la fibra de yute como refuerzo en pedazos cuadrados debido a su difícil moldeo como se muestra en la figura 4.17.



Figura 4.17 Aplicación de la fibra de yute

Se debe esperar al menos 48 horas para que seque completamente, una vez confirmado el secado se procede con el desprendimiento del molde con la ayuda de palos de madera. Al desprender completamente se obtiene el segundo positivo o pieza final, que luce con acabados lisos y lo más importante se consigue buena resistencia con poco peso como indica la figura 4.18.



Figura 4.18 Segundo positivo - molde final

Como último paso de construcción de la pieza final se recortan todos los filos de la superficie para evitar cortes con los sobrantes de fibra colocando la pieza sobre el chasis y cortándolo a la medida exacta. La pieza final queda lista para el proceso de pintura y acabado.

4.4 PINTURA Y ACABADOS

Con la pieza final lista es tiempo de aplicar la pintura, pero antes se sigue ciertos procedimientos para preparar la superficie.

Primero se coloca la masilla roja en las imperfecciones pequeñas como agujeros o rajaduras, esta masilla rellena y seca rápidamente, se lija con agua para rebajar la masilla y dar la forma adecuada. En la figura 4.19 se muestra el masillado de la carrocería.



Figura 4.19 Masillado de la pieza final

Una vez terminado el lijado y con todas las superficies lisas se procede a la aplicación de fondo gris como se muestra en la figura 4.20.



Figura 4.20 Aplicación de fondo gris

Secado el fondo permite visualizar ciertas imperfecciones que son imperceptibles a la vista y se vuelve a masillar pero en menor cantidad, se lija con agua y se seca completamente las superficies.

En la figura 4.21 se muestra la carrocería fondeada y masillada.



Figura 4.21 Último masillado de la carrocería

La figura 4.22 se muestra la aplicación de otra capa de fondo gris como ultima mano de capa base para luego proseguir a la aplicación de la pintura.



Figura 4.22 Capa final de fondo gris

Una vez seco el fondo gris se pasa una lija fina sobre toda la superficie con el fin de quitar las impurezas que genera la aplicación de fondo y a la vez queda toda la superficie lisa.

Para la aplicación de la pintura se optó por utilizar el sistema de pintado por tricapa que consta de color base, capa de efecto y barniz, que da un cambio de tonalidad desde diferentes ángulos de visualización. Este sistema es utilizado en vehículos de alta gama que da un acabado de primera, en la figura 4.23 se visualiza como está conformado el sistema de pintado tricapa.

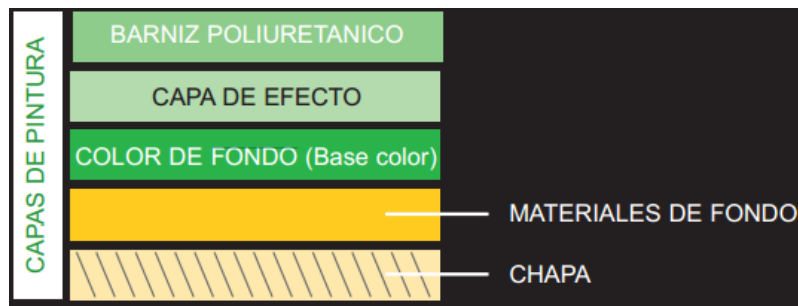


Figura 4.23 Sistema de pintado Tricapa

Fuente: <https://www.cesvi.com.ar/revistas/r35/PinturaTricapa35.pdf>

El color seleccionado fue blanco perlado, para aplicar la primera capa o capa base se utiliza el blanco poliéster que previamente se mezcla en una proporción adecuada de pintura diluyente. El número de manos de pintura fue tres en toda la carrocería. En la figura 4.24 se muestra el proceso de aplicación de pintura.



Figura 4.24 Aplicación final de pintura

Al finalizar la aplicación de la pintura base se espera 10 minutos de secado, trascurrido el tiempo se aplica la segunda capa o capa de efecto que en este caso fue perla metálica previamente mezclada.

Una vez aplicada la segunda capa se espera 15 minutos de secado, al pasar este tiempo se aplica la tercera capa o barniz que se mezcla con thinner acrílico sellado y catalizador en una proporción adecuada.

El número de capas de barniz fue tres sobre toda la carrocería, en la figura 4.25 se indica la carrocería terminada con el sistema tricapa.



Figura 4.25 Acabado final tricapa en la carrocería

El último detalle fue realizar líneas con pintura sobre la carrocería, para esto se utilizó el sistema bicapa perlado que consta del color base y el barniz. En la figura 4.26 se muestra como está compuesto el sistema de pintado bicapa.

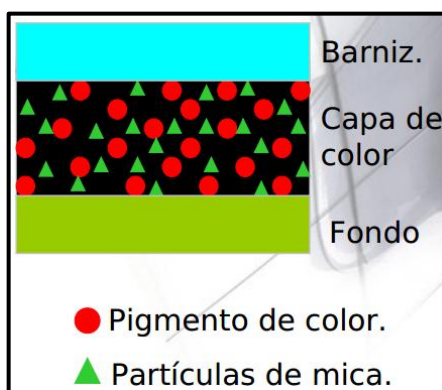


Figura 4.26 Sistema de pintado Bicapa

Fuente: http://www.latinpressinc.com/pdfs/eventos/cclmemorias/z-Color-brillo-acabados-para-vehiculos_Ruben-Moreno.pdf

El color negro perlado fue el seleccionado para las líneas sobre la carrocería, antes de aplicar la pintura se dibuja las líneas y se coloca papel sobre todo el contorno para evitar que se ensucie el resto de la superficie. La pintura fue de color negro con perla azul, la aplicación es la utilizada para el sistema tricapa.

Una vez seca toda la pintura se coloca la carrocería sobre el chasis y se realiza las respectivas sujeciones con ocho pernos que se distribuyen de la siguiente manera; dos delanteros, dos a cada lado y dos en la parte superior de los sidepods. Con esto la carrocería queda sujeta firmemente. En la figura 4.27 se muestra a la carrocería colocada en el vehículo.



Figura 4.27 Carrocería colocada en el vehículo

En los acabados finales se coloca los adhesivos de los auspiciantes y los números respectivos del vehículo para la competencia, además de la protección en todos los fillos de la carrocería como indica la figura 4.28.



Figura 4.28 Acabados finales carrocería

Con los acabados finales termina el proceso de construcción de la carrocería con una disminución considerable en peso y excelente resistencia.

4.5 CONSTRUCCIÓN DEL FONDO PLANO Y DIFUSORES

Del análisis de materiales para la construcción se dedujo que la fibra de vidrio es la más óptima para el fondo plano. El proceso de construcción para formar figuras a partir de moldes, denominado POSITIVO - NEGATIVO - POSITIVO, es un método utilizado para obtener una pieza con mayor resistencia sin exceder en peso.

Para iniciar con la construcción se realiza la estructura con materiales fáciles de conseguir y manipular como la madera. Cortar pedazos de madera en forma del diseño con las medidas exactas y unirla como un esqueleto, para recubrirlo con tela como indica en la figura 4.29.



Figura 4.29 Recubrimiento de tela fondo plano

La tela debe estar bien estirada y sujeta de tal forma que se vayan notando las curvas y contornos del diseño; para ello se utiliza tachuelas y silicona en barra para que se adhiera a la madera MDF.

El siguiente paso es la aplicación de la resina previamente preparada como se observa en la figura 4.30 sobre toda la superficie, esto ayuda a que la fibra de vidrio quede adherida sobre la tela. Se aplica dos capas con un lapso de tiempo entre capas para evitar formación de burbujas de aire.



Figura 4.30 Preparación de resina para la aplicación

Una vez aplicadas las dos capas de fibra de vidrio hay que esperar un lapso de tiempo de 24 horas para secar completamente la resina. Para un secado rápido una buena opción es exponer el componente al sol o colocar mayor cantidad de peróxido a que acelere la reacción, también se logra esto con la colocación de MECK. Al estar completamente seca la estructura, quedara como indica la figura 4.31



Figura 4.31 Primer negativo fondo plano

Luego se corta los filos sobrantes, se aplicará masilla sobre las zonas con imperfecciones para corregirlas hasta obtener un molde positivo con las medidas del diseño original. La figura 4.32 muestra la preparación de masilla con el talco industrial.



Figura 4.32 Preparación de masilla con talco industrial

Al masillar toda la superficie del fondo plano se procede al lijado, para esto se utiliza una maquina lijadora para ahorrar tiempo en el proceso de construcción como indica la figura 4.33.



Figura 4.33 Proceso de lijado con máquina

Terminado el proceso de lijado queda culminado el molde POSITIVO, el siguiente paso es aplicar la cera desmoldante sobre el molde con la superficie lisa. Al secar la cera se aplica una capa de resina; luego aplicar las capas de fibra de vidrio para obtener el molde negativo que indica la figura 4.34



Figura 4.34 Molde negativo del fondo plano

Con el molde terminado NEGATIVO, se vuelve a realizar el proceso de aplicar cera desmoldante y fibra de vidrio con resina para obtener el último molde POSITIVO. Al terminar el proceso se obtiene el molde positivo como indica la figura 4.35; se coloca platinas de aluminio para ayudar en la sujeción de los pernos del fondo plano.



Figura 4.35 Segundo positivo del fondo plano

El último paso es la preparación de la superficie para la aplicación de pintura; se coloca masilla roja en las imperfecciones generadas con el fin de obtener una superficie lisa y uniforme. Es fundamental dejar la cara inferior lisa y en ciertas zonas de la cara superior porque el flujo de aire circula por ambos lados.

La aplicación de fondo verde o base sobre la superficie sirve para verificar las porosidades que no se visualizan con facilidad, se vuelve a masillar en esas zonas como indica la figura 4.36.



Figura 4.36 Aplicación de fondo verde y masillado

Para la aplicación de pintura se utilizó el sistema monocapa que consta solo del color base como se indica en la figura 4.37



Figura 4.37 Sistema de pintado monocapa

Fuente: <https://www.cesvi.com.ar/revistas/r35/PinturaTricapa35.pdf>

Para mezclar la pintura se utiliza tres componentes como es el negro poliuretano, el catalizador y el diluyente; que se mezcla en proporción 4, 1, 1 respectivamente.

Al corregir todas las imperfecciones se aplica la pintura previamente mezclada en las dos caras del fondo plano como indica la figura 4.38.



Figura 4.38 Aplicación de pintura color negro brillante

Al secarse toda la pintura se coloca el fondo plano en el chasis, la sujeción se la realizo con 18 tornillos ubicados estratégicamente por todo el chasis, además están al ras de la superficie.

Una vez colocado el piso, se sujetó los difusores hacia el chasis por medio de cable metálico para sostenerlos firmes. El acabado final puesto la carrocería y el fondo plano se indica en la figura 4.39, visualizando gran diseño aerodinámico y estética al circular por la pista.



Figura 4.39 Vehículo compitiendo en FSG

CAPÍTULO V

OPTIMIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CARROCERÍA

En este capítulo se realiza la comprobación de tanto el diseño como la relación de peso con los anteriores diseños y la optimización de materiales, motivo por el cual se demuestra la hipótesis si se obtuvo un menor peso por carrocería.

Una parte importante del diseño era conceptualizar los fundamentos aerodinámicos y ponerlos en práctica para lograr un mayor rendimiento del vehículo frente a las corrientes de flujo de aire que se generan al desplazarse a altas velocidades.

Además otro punto importante fue reducir el peso total por carrocería conservando una resistencia adecuada y validar si el proceso de construcción ayuda a reducir considerablemente los materiales utilizados.

5.1 ESTÉTICA Y AERODINÁMICA

En la parte aerodinámica, se podrá constatar la implementación de dispositivos que en anteriores diseños realizados en la institución, no habían sido tomados en cuenta como son las formas geométricas de la carrocería (bodywork) acompañado del fondo plano (undertray); en conjunto forman una carrocería que ayuda a evacuar el flujo de aire de manera homogénea debido al cierre de la estructura tubular que presenta el vehículo.

Además, el piso del vehículo genera fuerza de sustentación que ayuda al auto a adherirse a la superficie, cosa que en anteriores diseños fuera descartado.

La aerodinámica tuvo gran influencia para reducir la resistencia generada por las corrientes de flujo de aire y canalizarlo de una manera homogénea sobre las superficies logrando flujos suaves y evitando turbulencias.

Esto se logró con un estudio minucioso de diferentes diseños y de acuerdo a una serie de criterios se selecciona el diseño óptimo. Todo esto se ha demostrado mediante el estudio en los anteriores capítulos.

Una regla importante de la carrocería es la parte estética en donde llame la atención de futuros compradores si el vehículo sale a la venta, para esto se creó un diseño estilizado con excelentes acabados, líneas y formas bien definidas.

En la figura 5.1 se muestra al vehículo tanto en la parte estética y aerodinámica con una forma estilizada y deportiva.



Figura 5.1 Estética y aerodinámica COLIBRI 2014

5.2 OPTIMIZACIÓN EN PESO

Para comprobar la optimización en lo referente al peso se realiza una comparación con los anteriores diseños construidos para la misma competencia mediante materiales utilizados y pesos finales de cada componente.



- **COTOPAXI 1**

Cuenta con una carrocería hecha a base de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio y placas de aluminio. Las placas metálicas otorgaban gran resistencia que va acompañado de la resina y la fibra, la carrocería ofrecía rigidez y no se deformaba con facilidad. La carrocería está constituida por dos partes la trompa y los sidepods.

En la tabla 5.1 se muestra los pesos tomados de la carrocería de cada componente utilizando una balanza de la tilt table.

Tabla 5.1

Peso por carrocería COTOPAXI 1

CARROCERÍA	IMAGEN	PESO (kg)	ESPELOR (mm)
COTOPAXI 1 Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 2.2 mm		1.08	5.9
		7.94 x 2 = 15.88	
	TOTAL	26.96	



- **COTOPAXI 2**

La carrocería está hecha a base de resina poliéster con fibra de vidrio, acompañado de masilla plástica para otorgar buenos acabados y formas onduladas. Al presentar placas de aluminio en zonas estratégicas, su peso se redujo de manera significativa y se cambió el proceso de construcción referente al anterior prototipo. La carrocería está constituida por dos partes la trompa y los sidepods.

En la tabla 5.2 se muestra los pesos tomados de esta carrocería de cada componente utilizando una balanza de la tilt table.

Tabla 5.2

Peso por carrocería COTOPAXI 2

CARROCERÍA	IMAGEN	PESO (kg)	ESPESOR (mm)
COTOPAXI 2 Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 1.8 mm			4.2
			3.5
			3.6
	TOTAL	22.66	





- COLIBRI**

Este nuevo diseño se llama COLIBRI, en el cual se ha tratado de reducir los pesos al máximo para obtener una mejor relación de peso-potencia, para ello se ha utilizado la cantidad de material necesario para que el prototipo no falle durante su desempeño. Utilizando composites adecuados después de realizar ensayos de tracción y comprobar una resistencia adecuada. Se ha construido una carrocería aerodinámica monococo de una sola parte complementada por un fondo plano ligero.

En la tabla 5.3 se muestra los pesos tomados de esta carrocería de cada componente utilizando una balanza de la tilt table.

Tabla 5.3

Peso por carrocería COLIBRI 2014

CARROCERÍA	IMAGEN	PESO (kg)	ESPEJOR (mm)
<p>COLIBRI Carrocería: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio y yute.</p>			2
<p>Fondo plano: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio.</p>			2.5
	TOTAL	20.78	

• RESULTADOS OBTENIDOS

Al analizar los pesos solo de carrocerías, el diseño del COLIBRI ha disminuido su peso casi 18 Kg en relación al COTOPAXI 1, que representa un 67.50 % de peso neto aligerado; y comparando con la carrocería del COTOPAXI 2, que pesa 22.66 Kg, se puede afirmar que se ha reducido un 61.34 % de peso. Este análisis está hecho con respecto a carrocería.

Esta reducción considerable de pesos da la opción de incorporar un elemento muy importante dentro del desempeño aerodinámico, que es el fondo plano con difusores al vehículo. Los anteriores diseños contaban con carrocerías exageradamente pesadas que restringían colocar aditamentos que ayuden al desempeño del vehículo.

Con un análisis total de pesos se observa que mantiene la optimización del peso. El peso total del conjunto aerodinámico es de 20.78 Kg, que en relación al modelo uno, que pesa 26.96 Kg, determina una disminución del 22.92 % de su peso total; y tomando en cuenta el segundo diseño que pesa 22.66 Kg, se tiene una disminución del 8.3 %.

A través de este análisis se confirma que la hipótesis es verdadera, por medio de una disminución del peso se obtiene una buena resistencia con los materiales adecuados y optimiza el rendimiento del vehículo al disminuir la resistencia aerodinámica.

5.3 COSTOS DE MATERIALES

En lo referente a costos la tabla 5.4 detalla los materiales utilizados para conseguir un conjunto aerodinámico ligero; se utilizaron materiales reciclados como madera, materiales de fácil obtención como fibra de vidrio, fibra de yute y son de bajo costo en el mercado.

Cabe indicar que la construcción del diseño total con la carrocería y el fondo plano tuvo un tiempo aproximado de un mes para obtener buenos resultados, tomando más tiempo en el proceso de secado al aire libre y el lijado.

En la tabla 5.4 se detallan los materiales utilizados para la construcción del diseño de la carrocería y fondo plano.

Tabla 5.4

Materiales de construcción

Ord.	Cant.	Detalle	Precio unitario	Precio total
1	15	Fibra de vidrio (funda de 4Kg)	25,00	375,00
2	6	Fibra de yute (m)	3,00	18,00
3	10	Resina Galón	10,00	100,00
4	8	Kit MEK Y Cobalto	3,50	28,00
5	2	Plancha de MDF	18,00	36,00
6	6	Plotter	5,00	30,00
7	30	Barras de silicon	0,25	7,50
8	1	Espuma de poliuretano (gln)	20,00	20,00
9	5	Cuchillas	2,50	12,50
10	50	Lijas	0,30	15,00
11	5	Tela (m)	1,20	6,00
12	2	Talco chino (saco)	20,00	40,00
13	2	Masilla plástica	4,50	9,00
14	4	Masilla roja	6,00	24,00
15	3	Pintura (gln)	8,00	24,00
16	1	Thinner (gln)	4,00	4,00
17	1	Impresión de publicidad	30,00	30,00
18	2	Rollos de vinil	20,00	40,00
19	30	Juego de tornillos	0,40	12,00
20	20	Cubrefilos (m)	0,50	10,00
21	10	Brochas 2"	0,75	7,50
22	1	Guantes y enceres	10,00	10,00
Total				858,50

En relación al costo de materiales es un precio aceptable para lograr reducir considerablemente el peso.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se implementó en el diseño diversas formas y geometría en la carrocería acompañado del fondo plano para formar el conjunto aerodinámico que ayuda a evacuar el flujo de aire de manera homogénea debido al cierre de la estructura tubular que presenta el vehículo.
- Se simuló las condiciones de carretera por medio del análisis computacional de fluidos dinámicos (CFD) que obtiene resultados de acuerdo a las condiciones del viento sobre el vehículo y a través de este software se selecciona los diferentes diseños basándose en coeficientes de resistencia aerodinámica, velocidades de flujo y zonas de presión.
- Se obtuvo un coeficiente de resistencia aerodinámico bajo para todo el diseño de $C_D = 0,037811995$, que indica una buena circulación del flujo de aire sobre toda la superficie del vehículo.
- Se comprobó que a través de la realización de ensayos de tracción por medio de probetas se logra una correcta selección de materiales de acuerdo con la resistencia a la tracción necesaria para el diseño.
- La fibra de yute es una buena alternativa de refuerzo orgánico para la construcción de materiales estéticos a base de plásticos, teniendo la resistencia mecánica suficiente para reemplazar a materiales tales como la fibra de vidrio, que es de procedencia mineral.
- Se construyó un conjunto aerodinámico ligero siguiendo el proceso de construcción por moldes que ayuda a reducir el material innecesario y el peso total por carrocería en más del 50%, con una resistencia a la tracción adecuada para la competencia.

6.2 RECOMENDACIONES

- Diseñar un nuevo prototipo donde se trabaje con fibra de carbono, creando una estructura monocasco con mayor rigidez y menor peso.
- Investigar la manera de obtener mayor sustentación sin aumentar la resistencia aerodinámica con efectos tales como Coanda, ala invertida y nuevos dispositivos aerodinámicos.
- Utilizar el equipo tecnológico que dispone la universidad, como son las cámaras GoPro, para analizar el efecto de las corrientes de aire sobre la estructura, colocando cintas en todo el contorno para visualizar la fluidez del aire con las ondulaciones de las cintas al circular el vehículo a altas velocidades.
- Innovar con nuevos materiales naturales que sean amigables con el ambiente y que estén disponibles en nuestro país a un bajo costo.
- Implementar el uso de alerones delantero y posterior para un vehículo ligero con el fin de conseguir mayor adherencia de los neumáticos a la pista.

BIBLIOGRAFÍA

- *Alves C., Silva A., Reis L., Ferrão P., Freitas M. (2003). Sustainable Design of Automotive Components through Jute Fiber Composites: An Integrated Approach, Lisboa; Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.*
- *Blanes T., Scalabroni E., Suárez I. (2013). Aerodinámica y Aero Post Rig aplicados al Diseño de Coches de Competición. 1era. ed. España. Editorial Círculo Rojo .*
- *Callister, W. (2007). Materials Science and Engeneering: An introduction, 7ma. ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.*
- *Christen, H. (1986). Fundamentos de Química general e inorgánica, Volumen 1. Barcelona España: REVERTÉ.*
- *Font Mezquita J., Dols Ruiz J. (1997). TRATADO SOBRE AUTOMOVILES – Tomo IV: La Dinámica del Automóvil. Valencia España: Universidad Politécnica de Valencia.*
- *Guerrero, V. H., Dávila, J., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). NUEVOS MATERIALES: Aplicaciones Estructurales e Industriales. Quito Ecuador: IMREFEPP.*
- *Katz J. (1995). Race Car Aerodynamics: Designing for Speed. Estados Unidos de América: Bentley Publisher.*
- *López M., Sanchez R. (2006). Análisis CFD de un flap Gurney instalado en perfiles NACA., Madrid; Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid.*
- *McBeath, S. (2005). Aerodinamica Del Automovil de Competicion. España: CEAC.*
- *P. K. Mallik. (1993). Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Second Edition. New York USA: CRC Press.*
- *Smith C. (1978). TUNE TO WIN: The art and science of race car development and tuning. Estados Unidos de América: AERO PUBLISHERS.*
- *Milliken W., Milliken D. (1995). Race Car Vehicle Dynamics. SAE International. Estados Unidos de América: SAE International Inc.*

NETGRAFÍA

- Corum, J., Battiste, R., & Ruggles, M. (Febrero de 2000). *Basic Properties of Reference Crossply Carbon-Fiber Composite*. Obtenido de ORNL: <http://web.ornl.gov/~webworks/cpr/v823/rpt/106099.pdf>
- Díez, S. G. (Octubre de 2011). *FIBRAS Y MATERIALES DE REFUERZO: LOS POLIÉSTERES REFORZADOS APLICADOS A LA REALIZACIÓN DE PIEZAS EN 3D*. Obtenido de EHU: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/OCT11/garcia.pdf>
- Formula SAE. (2013). *2014 Formula SAE® Rules*. Obtenido de SAE International: http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf
- Mariano. (6 de Diciembre de 2011). *Fibra de vidrio*. Obtenido de Tecnología de los Plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- Miranda, R. (s.f.). *Una Matriz Polimérica*. Obtenido de Terapias Fisiológicas: <http://terapiasbiologicas.cl/inbioderm/>
- UCAB Fórmula SAE Team. (7 de Marzo de 2013). *Formula SAE*. Obtenido de UCAB Fórmula: <http://ucabformula.blogspot.com/2013/03/blog-post.html>
- Tenenbaum, D. J. (1999). *Polímeros y Personas*. Obtenido de BEYOND Discovery: http://www7.nationalacademies.org/spanishbeyonddiscovery/bio_008231-08.html#TopOfPage

ANEXOS

ANEXO A
CARROCERÍA Y FONDO PLANO

ANEXO B
PLANOS CARROCERÍA

ANEXO C
PLANOS FONDO PLANO

ANEXO D
ARTÍCULO

DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FÓRMULA SAE.

Oscar Arteaga¹
Stalin Mena²
Vinicio Caiza³
Juan Vilaña⁴

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Extensión Latacunga

Quijano Ordoñez y Marqués de Maenza S/N Latacunga, Ecuador

Email: obarteaga@espe.edu.ec¹, jsmena@espe.edu.ec², vinicio.caiza@yahoo.com³, juanpi.91@hotmail.com⁴

Latacunga – Ecuador

RESUMEN

El presente trabajo muestra una investigación realizada para diseñar una carrocería acorde a las normas que exige la organización SAE para un prototipo de auto de carreras tipo Formula Student, así como también la construcción de la misma para evidenciar la optimización realizada durante el proceso llevado a cabo para su posterior competencia.

Empezando por el diseño, se tendrá que estudiar los efectos que causa el aire a determinadas velocidades para poder aprovechar las corrientes del fluido con miras a aumentar el desempeño del vehículo. Se tiene que analizar la carrocería en sí para ubicar curvas que ayuden a direccionar el aire hacia los dispositivos aerodinámicos tales como pontones, difusores, piso, casco, y la estructura de todo el vehículo mediante un software de diseño mecánico y simulación CFD.

La segunda parte se basa en el estudio de los materiales de construcción, para ello se ha optado por analizar la resistencia mecánica de tres plásticos reforzados con fibras naturales y minerales. Con los resultados de análisis y con los resultados del proceso de diseño se tiene el criterio necesario para continuar con la siguiente fase que es la construcción del diseño computacional.

En el proceso de construcción se toma en cuenta el área que va a ser cubierta por cada tipo de material para adquirir la cantidad necesaria. Se toma en consideración el sistema de construcción para obtener el resultado deseado que es reducir los pesos en comparación con los

anteriores diseños realizados para participar en la misma competencia.

ABSTRACT

This paper presents an investigation to design an bodywork according to the standards required by the organization SAE for a prototype of racing car type Formula Student, as well as the construction of it to demonstrate the optimization performed during the process carried out for subsequent competition.

Starting with the design, you will have to study the effects caused by air at certain speeds to take advantage of the fluid flows in order to increase vehicle performance. You have to analyze the bodywork itself to locate curves that help direct the air to the aerodynamic devices such as sidepods, diffusers, floor, helmet, and the structure of the entire vehicle by mechanical design software and CFD simulation.

The second part is based on the study of building materials, for it has been chosen to analyze the strength of three plastics reinforced with naturals and minerals fibers. With the results of this analysis and the results of the design process, you have the criteria necessary to continue the next phase which is the construction of computational design.

In the construction process takes into account the area to be covered by each type of material to acquire the necessary amount. The build system is taken into account to obtain the desired result is to reduce the weights compared with previous designs made to participate in the same competition.

1. INTRODUCCIÓN

La carrocería de un vehículo de competición debe ser ligera y resistente, porque si es pesada, aumenta el peso total del vehículo, consumiendo una parte de potencia del motor para su desplazamiento, además se analiza la parte aerodinámica mediante simulación para obtener un diseño eficiente.

2. CONTENIDO

La carrocería fue instalada en un vehículo tipo Formula SAE² que compitió en Alemania en Agosto del 2014. La FSG³ es una división de la organización SAE, que brinda a los equipos participantes la flexibilidad máxima, la libertad de expresar su creatividad y la imaginación para realizar el diseño del prototipo de competición con muy pocas restricciones.

2.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Cuando se realiza un proyecto de este tipo, como es el diseño de un prototipo de competición para la participación en la competencia de la Formula Student, es necesario hacer un énfasis tanto en el diseño de la parte aerodinámica como en la selección de materiales para la construcción, ya que de esto dependerá el peso total del vehículo.

Se considera las dimensiones del vehículo, partes a cubrir, entradas de aire, estética, materiales alternativos amigables con el ambiente y un bajo costo.

2.2 PROCESO DE DISEÑO

La carrocería para su estudio aerodinámico se dividió por secciones como: nariz, trompa, pontones, fondo plano y difusores; con esto se logra verificar el comportamiento de cada componente frente a la resistencia aerodinámica y si el flujo es laminar o

turbulento al circular alrededor de la superficie del vehículo.

Para el análisis se experimenta con diferentes medidas y formas con el fin de conseguir la menor resistencia e implementar nuevas líneas aerodinámicas que ayuden al direccionamiento de las corrientes de aire, cumpliendo con el Reglamento de la SAE.

2.2.1 BOSQUEJO INICIAL

Para empezar con el diseño de la carrocería aplicando los fundamentos aerodinámicos, se realizó un bosquejo de lo que se quiere conseguir, buscando acoplarse a las características del chasis y cumpliendo con la normativa impuesta por la competencia.

Este bosquejo se realizó a lápiz incorporando todos los dispositivos aerodinámicos como el alerón delantero y posterior, fondo plano y difusores, como se muestra en la Figura 1.

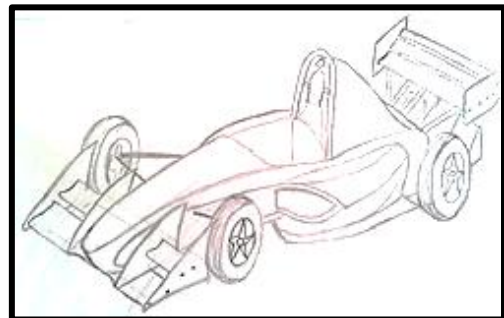


Figura 0.1 Bosquejo Inicial
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

A partir del bosquejo se empezó a analizar cada componente, buscando una forma aerodinámica adecuada a las necesidades de la competencia y si ayudaría o sería inadecuado utilizar ciertos dispositivos, ya que el reglamento restringe el rendimiento del motor (SAE International, 2013), limitando la velocidad máxima del vehículo.

Los alerones serían innecesarios debido a que las velocidades máximas que alcanzan los vehículos es de 80 km/h y la utilización de estos solo provocaría mayor peso.

² SAE : Sociedad de Ingenieros Automotrices

³ FSG:Formula Student Germany

2.2.2 CONFIGURACIÓN DE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

La configuración del programa es muy importante ya que de acuerdo a los datos ingresados se obtienen los resultados en todas las simulaciones y es necesario mantener estos datos para evitar grandes variaciones en los análisis.

La tabla 1 indica las condiciones ambientales para la competencia, estos valores han sido analizados de acuerdo al lugar donde se efectuará la competencia, como es la ciudad de Hockenheim en Alemania. Además estos valores sirven para simular las condiciones reales para la competencia.

Tabla 5 Condiciones Ambientales en Hockenheim – Alemania

Parámetro	Valor
Temperatura	30.12 °C
Humedad:	0.4 %
Presión atmosférica:	973.88 hPa
Dirección y Velocidad del viento:	1.296 KPH NNW

Fuente: *quehoraesen.net* (2014)

La velocidad máxima a la cual circula el vehículo es otro dato importante y el valor se obtuvo de la FSG, que hace referencia a la velocidad promedio alcanzada por los vehículos en la competencia que es de 80 Km/h que al sistema internacional es 22.22 m/s.

2.2.3 NARIZ

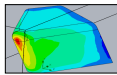
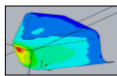
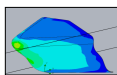
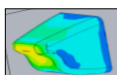
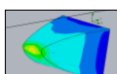
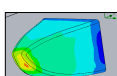
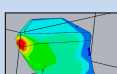
Es la primera parte que toma contacto con el aire y donde se genera la alta presión por el choque directo de las corrientes de aire. Además es la encargada de direccionar el flujo del aire a las demás partes de la carrocería, la forma y tamaño juega un papel importante para reducir la resistencia aerodinámica.

Para el diseño se considera el tamaño del atenuador de impactos (SAE International, 2013) ya que irá colocado dentro de la nariz, restringiendo la forma.

El atenuador incorporado en el vehículo tiene las dimensiones de 25x25x20 cm.

En la tabla 2 se muestra los nueve diseños realizados para la nariz con los parámetros más importantes obtenidos después de la simulación, que ayudaran para una correcta selección. Cada diseño se basa en diferentes formas, ángulos y medidas.

Tabla 6 Parámetros de Selección de Nariz

Gráfica	Coefficiente resistencia C_d	Resistencia (DRAG) (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
	0,04317	11,959	16,8
	0,03437	8,022	17,3
	0,02993	7,477	18,03
	0,23614	7,037	18,45
	0,21742	8,028	18,75
	0,19454	7,783	17,54
	0,02708	7,197	17,685

Fuente: *Caiza, Vilaña* (2015)

Para la selección de la nariz se busca que el punto de presión se genere en la punta y se distribuya sobre toda la superficie uniformemente, además que el coeficiente de resistencia sea el mínimo posible.

Al analizar los siete diseños se establece que el diseño 7 de color celeste, genera un coeficiente de resistencia de $C_d = 0.0270861$, que indica una menor resistencia al desplazarse por el flujo de aire. El punto de presión de color rojo se genera en la punta con la resistencia aerodinámica de $D = 7.197$ N y una velocidad máxima de flujo sobre la nariz de $V = 17.685$ m/s.

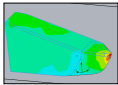
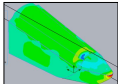
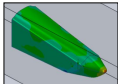
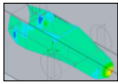
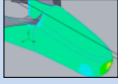
2.2.4 TROMPA

La trompa es la continuación de la nariz y es la encargada de hacer que el flujo de aire se dirija a la parte posterior del vehículo utilizando todo su contorno, ingresar aire a los pontones por la parte lateral para el enfriamiento y hacer fluir el aire por la parte superior hacia la toma de admisión. Las formas y los ángulos ayudan a cumplir estas funciones en donde se procedió a realizar líneas aerodinámicas para hacer fluir el aire a la parte lateral del vehículo.

Se plantean cinco diseños diferentes de trompa, los tres primeros conservan la forma de la nariz y los dos últimos se redondea todo el contorno de la nariz y trompa para evitar cambios de sección.

La fuerza provocada sobre la parte superior de la trompa es producida por el choque del flujo de aire y sirve para crear carga en las ruedas delanteras. La tabla 3 indica los resultados obtenidos de la simulación con los datos más importantes para la selección de la trompa.

Tabla 7 Parámetro de Selección de Trompa

Gráfica	Coefficiente resistencia C_D	Fuerza de resistencia (N)	Velocidad del flujo de aire (m/s)
	0,26722	16,575	19,54
	0,35269	26,255	18,987
	0,26679	15,791	19,735
	0,25607	35,22	19,084
	0,15123	22,092	19,292

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Los criterios para la selección de la trompa son que la distribución de presión sea constante sobre toda la superficie, el coeficiente de resistencia C_D sea el

menor posible, generar resistencia aerodinámica en la parte superior para producir carga en el eje delantero, una velocidad de flujo de aire mayor a la de la nariz para que circule rápidamente y que el flujo llegue a la toma de admisión por medio del casco del piloto.

Tomando en cuenta las consideraciones explicadas anteriormente, se elige el diseño 5 de color celeste, debido al coeficiente de resistencia generado que es menor con $C_D = 0.15123$ indicando una mayor circulación de flujo, la resistencia aerodinámica que ejerce en la parte superior es $D = 22.092$ N. La distribución de presión es constante a lo largo de la trompa con ligeras variaciones en ciertas áreas, la velocidad del flujo de aire es $V = 19.292$ m/s siendo mayor a la velocidad de la nariz. La inclinación de la parte superior es la correcta porque el flujo llega hacia el casco impactándolo y lo introduce a la toma de admisión.

2.2.5 PONTONES

Son utilizados para el enfriamiento del motor, los radiadores de agua y aceite. Para la refrigeración del motor se necesita un alto flujo de corrientes de aire y esto se logra mediante el efecto Venturi donde se reduce la sección para conseguir menor presión y aumentar la velocidad del aire.

El flujo de aire se enfrenta al choque directo sobre el radiador por lo que se produce el aumento de la resistencia aerodinámica.

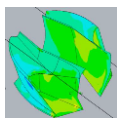
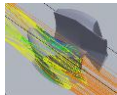
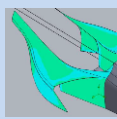
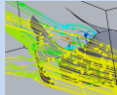
En la tabla 4 se analiza los dos diseños planteados con sus respectivos resultados obtenidos después de la simulación.

Los dos diseños se fundamentan en lo que es conocido como cuello de botella, en donde la trompa y los pontones toman la forma de una botella visto desde la parte superior.

Los criterios de selección para los pontones es que exista una presión reducida en el interior y exterior del ducto, la velocidad del flujo debe ser constante y

conseguir una velocidad alta a la salida del ducto, el coeficiente de resistencia no se toma en cuenta debido a la presencia de los radiadores por eso se genera valores altos.

Tabla 8 Parámetros de Selección de Pontones

Gráficas	Coficiente Resistencia C_d	Velocidad del fluido (m/s)	Presión Máxima (Pa)
 Presión  Velocidad	0,38000	16,037	Externa: 101292.83 Interna: 101442.45
 Presión  Velocidad	0,51685	19,084	101389.45

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

La selección del segundo diseño como óptimo de color celeste, se basa en la distribución constante de la presión en toda la superficie interna y externa, evitando cambios bruscos con un valor de presión de 101389.45 Pa.

La velocidad del flujo de aire con una distribución uniforme y una velocidad máxima de $V = 19.084$ m/s, que indica un alto flujo de aire para el enfriamiento.

2.2.6 FONDO PLANO –PARTE DELANTERA

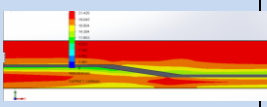
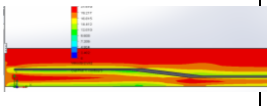
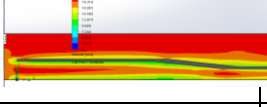
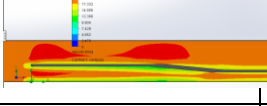
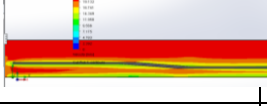
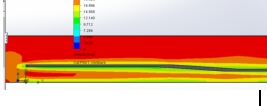
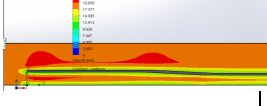
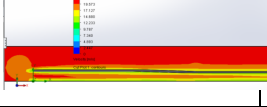
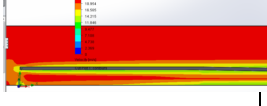
Con el diseño completo de la carrocería, se procedió al análisis del fondo plano que se acopla a la carrocería.

Un análisis correcto de la parte baja del vehículo logra que el flujo de aire que ingresa por la parte baja delantera atraviese el vehículo con mayor velocidad.

En la tabla 5 se indica las nueve alturas

desarrolladas, cada una con la variación de 5mm y los datos arrojados por la simulación, la distancia del suelo al vehículo se conserva de 50 mm.

Tabla 9 Selección del Fondo Plano - Delantero

ALTURA (mm)	DISEÑO	ÁREA (m ²)	
45		0,01606	
40		0,0146	
35		0,01314	
30		0,01168	
25		0,01022	
20		0,00876	
15		0,0073	
10		0,00584	
5		0,00438	
ÁNGULO (°)	COEFICIENTE ARRASTRE C_d	VELOCIDAD AD (m/s)	V/Cd
8,82	0,4877555	21,353	43,778081
7,85	0,5270803	21,611	41,001342
6,88	0,5677001	21,366	37,636068
5,91	0,5961446	22,121	37,106769
4,93	0,6807217	21,395	31,429878
3,95	0,8629938	21,753	25,206438
2,96	0,9474385	22,179	23,409435
1,97	1,1955294	21,771	18,210342
0,99	1,5412696	21,175	13,738673

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para la selección de la altura se considera el coeficiente de resistencia aerodinámica más bajo, que en este caso es $C_D = 0.4877555$, a una altura de 45 mm y un ángulo de 8.82° .

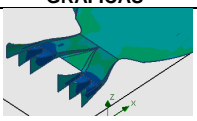
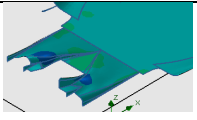
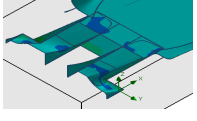
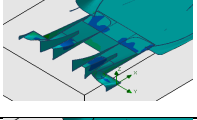

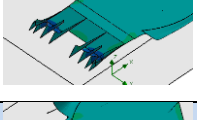

El coeficiente resulta ser bajo debido a que no se genera el choque de flujo de aire contra el suelo, pasando directamente hacia el fondo plano.

La velocidad máxima alcanzada por el flujo de aire a la entrada del fondo plano es $V = 21.353$ m/s.

2.2.7 FONDO PLANO Y DIFUSORES

La tabla 6 indica las fuerzas generadas en los siete diseños con los datos arrojados por simulación. La resistencia aerodinámica es producida porque el flujo se estanca debajo del fondo plano, la sustentación se genera por la salida rápida de las corrientes de aire debajo del fondo plano.

Tabla 10 Valores de la Simulación

GRÁFICAS	NOMBRE	VALOR (N)
	Resistencia	-100.892
	Sustentación	-38.346
	Resistencia	-89.463
	Sustentación	-38.752
	Resistencia	-106.197
	Sustentación	-101.069
	Resistencia	-107.590
	Sustentación	-99.016
	Resistencia	-89.699
	Sustentación	-62.724
	Resistencia	-97.509
	Sustentación	-68.281
	Resistencia	-91.737
	Sustentación	-71.234

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para el diseño del fondo plano y los difusores, se sigue el criterio de generar sustentación sin generar demasiada resistencia por acumulación de flujos.

Los diseños 3 y 4 generan mayor sustentación pero también genera alta resistencia y esto es perjudicial. Además la gran desventaja es el difusor pequeño que se encuentra alejado del bastidor y este vibrara cuando el vehículo esté en movimiento.

Los diseños 1 y 2 generan menor resistencia, pero la sustentación es demasiada baja. Al analizar los diseños 5, 6 y 7 se observa al diseño 7 con mayor sustentación, el diseño 5 genera menor resistencia pero la sustentación es demasiada baja y el diseño 6 tiene una buena sustentación pero la resistencia es mayor al diseño 7.

El diseño 7 cumple con el criterio de selección, debido a que genera una sustentación adecuada de $L = -71.234$ N y una resistencia de $D = -91.737$ N.

2.3 SIMULACIÓN COMPLETA DEL VEHÍCULO

Antes de ingresar a realizar la simulación completa, el primer paso es conocer el área frontal del vehículo, ya que este dato es necesario para sacar las diferentes fuerzas de resistencia y sustentación. Para conseguir esto en el programa se realiza un croquis de todo el perfil del vehículo y se calcula el área frontal, esto se visualiza en la figura 2. El área frontal del vehículo es de 0.765879 m².

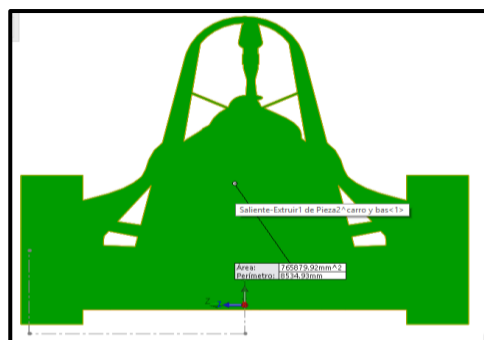


Figura 0.2 Área frontal del prototipo
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

2.3.1 DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN

En la figura 3 se puede visualizar que la mayor presión solo se genera en la punta de color café y en el resto del contorno la presión es baja de color amarillo y verde en ciertas zonas, siendo constante en toda la superficie de la carrocería. La variación de presión indica que en ciertas zonas existe mayor o menor presión que ayuda a la canalización del flujo de aire.

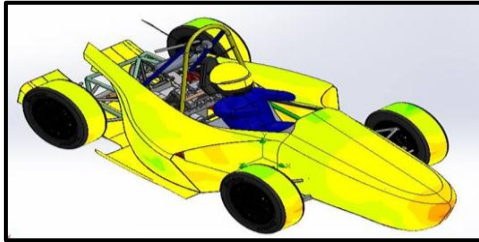


Figura 0.3 Contorno de presión del vehículo

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

La presión mínima generada es de 101200.15 Pa y la máxima presión es de 101425.80 Pa. Todos estos resultados indican que hay una distribución de presión adecuada sobre todo el vehículo.

2.3.2 VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE

Como se visualiza en la figura 4, en la nariz con una coloración verde que es donde primero impacta el aire a 17 m/s, sigue de color amarillo sobre la punta a 19 m/s lo que indica un aumento de velocidad, continua de color anaranjado al finalizar la punta y aumenta la velocidad por todo el contorno de la trompa de color rojo con una velocidad máxima de 25 m/s, que indica que la carrocería tiene muy buena penetración frente a las corrientes del aire y las hace circular rápidamente hacia la parte posterior del vehículo.

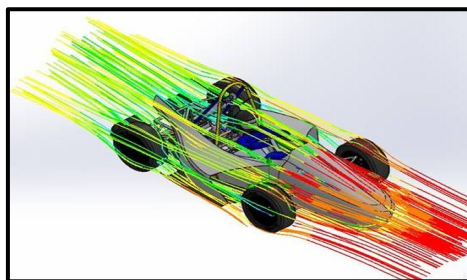


Figura 0.4 Flujo de aire sobre el vehículo

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

En la zona de los pontones se reduce la velocidad del flujo al ingreso de color verde con 17m/s, debido al cambio de sección y sale con una mayor velocidad de color amarillo con 20 m/s.

El casco del piloto influye mucho en la parte aerodinámica ya que al chocar las corrientes de aire sobre este, el flujo toma la forma del casco y lo direcciona hacia la toma de admisión. En la figura 5 el casco direcciona el flujo hacia la toma de admisión con una ligera variación de velocidad de color verde y amarillo de 17 a 21m/s. Se comprueba que el ángulo que se le dio a la trompa es el adecuado.

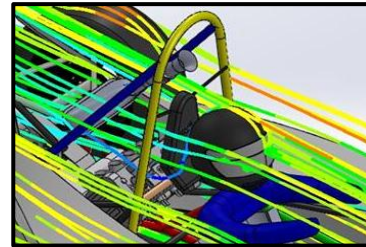


Figura 0.5 Flujo sobre el casco del piloto

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

2.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Con la visualización de las anteriores figuras que representan al flujo de aire sobre el vehículo, se comprobó que el diseño está de acuerdo a lo planificado y responde adecuadamente al interactuar el aire sobre el vehículo, pero para verificar el diseño es necesario analizar los datos arrojados por la simulación.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos por la simulación con los datos más relevantes.

Tabla 11 Resultados de la simulación CFD

Nombre	Unidad	Valor	Valor máximo
Presión Estática	[Pa]	108822,04	108826,27
Presión Total	[Pa]	108822,07	108826,7
Presión Dinámica	[Pa]	461,39934	947,18985
Velocidad	[m/s]	27,68641	39,550350
Fuerza	[N]	137,93006	138,6385
Resistencia	[N]	-135,9871	-135,14537
Sustentación	[N]	-22,966132	-22,414630
Lateral	[N]	-2,1817911	-1,9200868
C _D	[-]	-0,0378119	-0,018447
C _L	[-]	-0,0172847	-0,0083475

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Los datos de presión estática, presión dinámica, velocidad, fuerzas de resistencia y sustentación sirven para resolver las ecuaciones de los coeficientes de resistencia y sustentación aerodinámicos.

La resistencia aerodinámica $D = -135.9$ N, es la fuerza que debe vencer el vehículo para desplazarse.

La fuerza de sustentación $L = -22.966$ N, es generada por el fondo plano y la presión del flujo de aire sobre la carrocería.

La fuerza lateral de $S = -2.18$ N, es insignificante ya que en esta competencia se busca velocidades punta.

El coeficiente de resistencia aerodinámica C_D , depende de la forma a la cual el flujo atraviesa; un coeficiente que tienda a 0 indica una buena circulación del aire sobre la superficie pero si el coeficiente llega a 1 indica que el componente ofrece mucha resistencia a fluir. El coeficiente de resistencia aerodinámica obtenido en la simulación es $C_D = 0.037811995$, que indica una buena circulación del flujo de aire sobre toda la superficie del vehículo.

El coeficiente de sustentación aerodinámica indica si el vehículo genera sustentación debido a la succión de la parte baja para que los neumáticos se peguen al piso. La simulación obtuvo un coeficiente de sustentación aerodinámico de $C_L = 0.017284705$, indica la generación de sustentación por la adición del fondo plano y difusores.

La figura 6 muestra el prototipo ensamblado en el software de diseño.

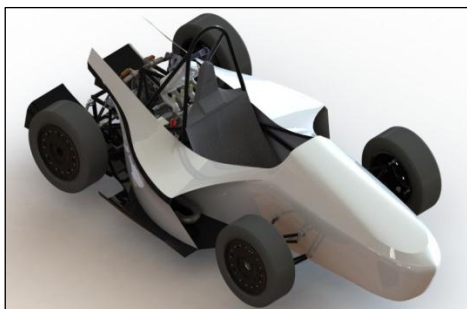


Figura 6 Prototipo finalizado en SolidWorks
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

2.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El estudio de los materiales para la construcción de diferentes piezas es de vital importancia ya que la fabricación de un composite tiende a variar sus propiedades de acuerdo a la fabricación, humedad, materiales, y otros diversos factores.

Para saber si la resistencia es la adecuada para el diseño, se ha recurrido a realizar un ensayo de tracción con diferentes probetas de fibra mineral y natural para garantizar el diseño durante su funcionamiento normal.

2.4.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Un ensayo de tracción permite determinar la capacidad que tiene un material para soportar una determinada carga estática.

En la tabla 8 indica un resumen de los ensayos de tracción realizados, con los valores máximos obtenidos en las gráficas de la tensión que soporta cada material, se realizaron 5 probetas de acuerdo con la norma ASTM E8 para piezas planas. Los materiales utilizados fueron fibra de vidrio tipo E, fibra de yute tejida y mixto (fibra de vidrio - fibra de yute).

Tabla 12 Resultados del ensayo de tracción

Fibra de vidrio		
Ensayo	MPa	mm
1	95	5,9
2	115	3,7
3	118	4,3
4	98	3,6
5	95	3,2
Promedio	104,2	4,14
Fibra de yute		
Ensayo	MPa	mm
1	20	1,7
2	25	1,2
3	24	2
4	21	1,8
5	16	1,58
Promedio	21,2	1,656

Mixto		
Ensayo	MPa	mm
1	47	3,4
2	38	2,4
3	70,5	2,9
4	46	3,6
5	39	3,15
Promedio	48,1	3,09

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

2.4.2 ASIGNACIÓN DE MATERIALES

Para la asignación de materiales se tendrá en cuenta los resultados de las presiones máximas sobre las superficies del prototipo y los análisis de los ensayos de tracción en los materiales indicados en la tabla 8.

En la figura 7 se indica la distribución de cada fibra sobre toda la carrocería. La fibra de yute queda descartada debido a la baja carga que soporta de 21.2 MPa. La fibra Mixta (vidrio – yute) se utiliza en toda la superficie de la carrocería debido a que soporta una carga promedio de 48.1 MPa y se consigue menor peso. La fibra de vidrio será utilizada para el fondo plano y difusores debido a la alta carga que soporta de 104.2 MPa.

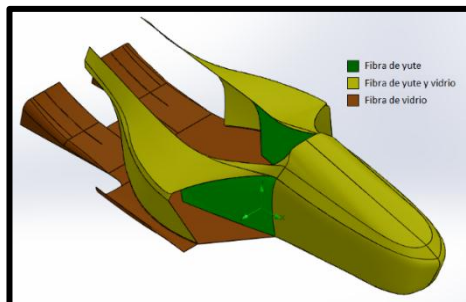


Figura 7 Aplicación de fibras
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Para la construcción de todo el prototipo se utilizó el método por moldes llamado positivo - negativo - positivo, que permite reducir al máximo el material y obtener excelentes acabados.

La construcción de la carrocería confirma dichas aplicaciones que se definieron durante el estudio realizado para el nuevo prototipo.

En la figura 8 se observa el prototipo ya construido con su respectiva pintura y en pleno desempeño durante la competencia.



Figura 8 Vehículo compitiendo en la FSG
Fuente: Caiza, Vilaña (2015)


2.5 RESULTADOS OBTENIDOS

El nuevo diseño se llama COLIBRI, en el cual se ha tratado de reducir los pesos al máximo para obtener una mejor relación de peso-potencia, para ello se ha utilizado la cantidad de material necesario para que el prototipo no falle durante su desempeño. Utilizando composites adecuados después de realizar ensayos de tracción y comprobar una resistencia adecuada. Se ha construido una carrocería aerodinámica monococo de una sola parte complementada por un fondo plano ligero.

En la tabla 9 se muestra los pesos tomados de la carrocería de cada componente utilizando una balanza.

Tabla 13 Peso Total

CARROCERÍA	IMAGEN	PESO (kg)
COLIBRI Carrocería: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio y yute		

<p>Fondo plano y difusores: Resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio</p>		<p>1202</p>
<p>TOTAL</p>		<p>20.78</p>

Fuente: Caiza, Vilaña (2015)

Existen dos vehículos desarrollados en anteriores años para la misma competencia los cuales son pesados en referencia a carrocería.

El COTOPAXI 1 realizado en el 2011, tiene un peso por carrocería de 26.96 Kg.

El COTOPAXI 2 realizado en el 2012, tiene un peso por carrocería de 22.66 Kg.

El COLIBRI realizado en el 2014, tiene un peso por carrocería de 8.76 Kg.

Si se analiza los pesos solo de carrocerías, se puede apreciar que el diseño del COLIBRI ha disminuido su peso en 18 kg en relación al COTOPAXI 1, lo que representa un 67.5 % de peso neto aligerado. Comparando con la carrocería del COTOPAXI 2, se puede afirmar que se ha reducido un 61.34 % de peso. Este análisis está hecho solo con respecto a carrocería

Esta reducción considerable de pesos da la opción de incorporar un elemento muy importante dentro del desempeño aerodinámico, que es el fondo plano con difusores al vehículo. Los anteriores diseños contaban con carrocerías exageradamente pesadas que restringían colocar aditamentos que ayuden al desempeño del vehículo.

Ahora se realiza un análisis total de pesos en donde se sigue manteniendo la optimización del peso. El peso total del conjunto aerodinámico es de 20.78 Kg, que en relación al modelo uno, que pesa 26.96 Kg, determina una disminución del 22.92 % de su peso total; y tomando en cuenta el segundo diseño que pesa 22.66 Kg, se tiene una disminución del 8.3 %.

A través de este análisis se confirma que la hipótesis es verdadera por medio de una disminución del peso se obtiene una buena resistencia con los materiales adecuados y se optimiza el rendimiento del vehículo en cuanto a la parte aerodinámica al disminuir el arrastre.

3. CONCLUSIONES

- Se implementó en el diseño diversas formas y geometría en la carrocería acompañado del fondo plano para formar el conjunto aerodinámico que ayuda a evacuar el flujo de aire de manera homogénea debido al cierre de la estructura tubular que presenta el vehículo.

- Se simuló las condiciones de carretera por medio del análisis computacional de fluidos dinámicos (CFD) que obtiene resultados de acuerdo a las condiciones del viento sobre el vehículo y a través de este software se selecciona los diferentes diseños basándose en coeficientes de resistencia aerodinámica, velocidades de flujo y zonas de presión.

- Se obtuvo un coeficiente de resistencia aerodinámico bajo para todo el diseño de $C_D = 0,037811995$, que indica una buena circulación del flujo de aire sobre toda la superficie del vehículo.

- Se comprobó que a través de la realización de ensayos de tracción por medio de probetas se logra una correcta selección de materiales de acuerdo con la resistencia a la tracción necesaria para el diseño.

- La fibra de yute es una buena alternativa de refuerzo orgánico para la construcción de materiales estéticos a base de plásticos, teniendo la resistencia mecánica suficiente para reemplazar a materiales tales como la fibra de vidrio, que es de procedencia mineral.

- Se construyó un conjunto aerodinámico ligero siguiendo el proceso de construcción por moldes que ayuda a reducir el material innecesario y el peso total por carrocería en más del 50%, con una resistencia a la tracción adecuada para la competencia.

4. RECOMENDACIONES

- Diseñar un nuevo prototipo donde se trabaje con fibra de carbono, creando una estructura monocasco con mayor rigidez y menor peso.
- Investigar la manera de obtener mayor sustentación sin aumentar la resistencia aerodinámica con efectos tales como Coanda, ala invertida y nuevos dispositivos aerodinámicos.
- Utilizar el equipo tecnológico que dispone la universidad, como son las cámaras GoPro, para analizar el efecto de las corrientes de aire sobre la estructura, colocando cintas en todo el contorno para visualizar la fluidez del aire con las ondulaciones de las cintas al circular el vehículo a altas velocidades.
- Innovar con nuevos materiales naturales que sean amigables con el ambiente y que estén disponibles en nuestro país a un bajo costo.
- Implementar el uso de alerones delantero y posterior para un vehículo ligero con el fin de conseguir mayor adherencia de los neumáticos a la pista.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Callister, W. (2007). *Materials Science and Engineering: An introduction*, 7ma. ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- CHRISTEN, H. (1986). *Fundamentos de Química general e inorgánica*, Volumen 1. Barcelona España: REVERTÉ.
- Corum, J., Battiste, R., & Ruggles, M. (Febrero de 2000). *Basic Properties of Reference Crossply Carbon-Fiber Composite*. Obtenido de ORNL: <http://web.ornl.gov/~webworks/cpr/v823/rpt/106099.pdf>
- Díez, S. G. (Octubre de 2011). *FIBRAS Y MATERIALES DE REFUERZO: LOS POLIÉSTERES REFORZADOS APLICADOS A LA REALIZACIÓN DE PIEZAS EN 3D*. Obtenido de EHU: http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/OC_T11/garcia.pdf
- Formula SAE. (2013). *2014 Formula SAE® Rules*. Obtenido de SAE International: http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf
- FSG. (30 de septiembre de 2014). *Formula Student Germany*. Recuperado el 23 de 01 de 2015, de <https://www.formulastudent.de/fsg/about/concept/>
- Guerrero, V. H., Dávila, J., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *NUEVOS MATERIALES: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito Ecuador: IMREFEPP.
- Katz J. (1995). *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed*. Estados Unidos de América: Bentley Publisher.
- Mariano. (6 de Diciembre de 2011). *Fibra de vidrio*. Obtenido de *Tecnología de los Plásticos*: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- McBeath, S. (2005). *Aerodinámica Del Automovil de Competición*. España: CEAC.
- Miranda, R. (s.f.). *Una Matriz Polimérica*. Obtenido de *Terapias Fisiológicas*: <http://terapiasbiologicas.cl/inbioderm/>
- P. K. Mallik. (1993). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, Second Edition. New York USA: CRC Press.
- SAE International. (2013). *2014 Formula SAE Rules*.
- Smith C. (1978). *TUNE TO WIN: The art and science of race car development and tuning*. Estados Unidos de América: AERO PUBLISHERS.
- Tenenbaum, D. J. (1999). *Polímeros y Personas*. Obtenido de *BEYOND Discovery*: http://www7.nationalacademies.org/spanishbeyonddiscovery/bio_008231-08.html#TopOfPage
- UCAB Fórmula SAE Team. (7 de Marzo de 2013). *Formula SAE*. Obtenido de UCAB Fórmula: <http://ucabformula.blogspot.com/2013/03/blog-post.html>

- William F. Milliken. Douglas L. Milliken. (1995). Race Car Vehicle Dynamics. SAE International. Estados Unidos de América: SAE International Inc.

Automotriz en la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga, Ecuador.

6. BIOGRAFÍA



Oscar Bladimir Arteaga López, nació en Ambato - Ecuador, Graduado de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica del Chimborazo y Master

en Nuevas Tecnologías de la información y Comunicación de la Universidad Técnica de Ambato. Docente de tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2000.



Jorge Stalin Mena Palacios, nació en Ambato - Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, es docente Tiempo Parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas

ESPE desde 2008. Imparte servicios de asesoramiento, capacitación en el ámbito automotriz, compartiendo sus conocimientos teórico práctico a los estudiantes y promulgando la investigación científica y la vinculación con la colectividad



Vinicio Fabián Caiza Chasi, Nación en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Graduado en el Colegio Técnico San José, Quito, Ecuador en Mecánica Industrial

especialidad Mecánica Automotriz en el año 2009. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería



Juan Pablo Vilaña Monteros. Nación en Quito provincia de Pichincha en Ecuador. Graduado en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, Quito – Ecuador especialidad Mecánica Automotriz en

el año 2009. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería Automotriz en la Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE en la ciudad de Latacunga, Ecuador.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores Vinicio Fabián Caiza Chasi y Juan Pablo Vilaña Monteros, bajo mi supervisión.

.....
Ing. OSCAR ARTEAGA
DIRECTOR

.....
Ing. STALIN MENA
CODIRECTOR

.....
Ing. JUAN CASTRO
DIRECTOR DE LA CARRERA

.....
Dr. FREDDY JARAMILLO CHECA
SECRETARIO ACADÉMICO