



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO Y
DIFUSORES POSTERIORES) DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA
FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA
DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH.”**

WILLIAMS FERNANDO LAGUAS PAREDES.

ROMÁN ALEJANDRO JÁCOME PARRA.

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-04

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

WILLIAMS FERNANDO LAGUAS PAREDES

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO Y DIFUSORES
POSTERIORES) DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN
FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
DE LA ESPOCH.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Abad Padilla Padilla
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Milton Israel Quinga Morales
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-04

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

ROMÁN ALEJANDRO JÁCOME PARRA

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO Y DIFUSORES
POSTERIORES) DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN
FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
DE LA ESPOCH.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Abad Padilla Padilla
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Milton Israel Quinga Morales
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LAGUAS PAREDES WILLIAMS FERNANDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO Y DIFUSORES POSTERIORES) DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH.”

Fecha de Examinación: 2018-10-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Abad Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Milton Israel Quinga Morales ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JÁCOME PARRA ROMÁN ALEJANDRO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO Y DIFUSORES POSTERIORES) DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH.”

Fecha de Examinación: 2018-10-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Abad Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Milton Israel Quinga Morales ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PISO (FONDO PLANO Y DIFUSORES POSTERIORES) DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” EN FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH.”** Que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Laguas Paredes Williams Fernando

Cédula de Identidad: 180440709-4

Jácome Parra Román Alejandro

Cédula de Identidad: 180435755-4

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Williams Fernando Laguas Paredes y Román Alejandro Jácome Parra declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. En tal virtud, los fundamentos teóricos, científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Laguas Paredes Williams Fernando

Cédula de Identidad: 180440709-4

Jácome Parra Román Alejandro

Cédula de Identidad: 180435755-4

DEDICATORIA

Dedico este título a mi familia por apoyarme con mis estudios, en especial a mi madre y amiga por el amor y la paciencia que me tiene y por los consejos que me ha dado los cuales me han servido para formarme como una persona honesta y de buenos valores; a mi padre por su apoyo y respeto, a ustedes padres por los consejos de vida y por siempre impulsar a mí y a mis hermanos a ser cada día mejores y culminar con los estudios

También dedico este logro a mis amigos por ser parte de mi formación en la carrera por estar en las buenas y en las malas gracias, los momentos vividos buenos siempre los guardare y cuenten con mi ayuda incondicional.

A mi maestra de primaria por ser como mi segunda madre quien me enseñó que el respeto, la dedicación, la paciencia y la humildad son las armas para triunfar en todos los proyectos de vida.

A mi tío que descansa en paz por los momentos compartidos por ser como el hermano mayor que no tuve por enseñarme que el descanso no existe si se tiene que terminar una meta, un proyecto en la vida Dios te guarde en su gloria.

Williams Fernando Laguas Paredes

El presente trabajo es dedicado a Dios que me ha bendecido y apoyado en todo momento para lograr terminar una etapa más de mi vida, también a mis padres, Román Jácome y Mercedes Parra que han sido los pilares fundamentales de este objetivo, y que con su apoyo incondicional me han permitido cumplir un sueño en mi vida estudiantil, así como también a mi hermana con quien he compartido tantos momentos y me ha apoyado en todo momento sin importar las circunstancias.

Román Alejandro Jácome Parra

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, hermanos, abuelos y a mis tíos que han sido de gran ayuda, apoyándome de una u otra manera para poder culminar unas de mis metas en la vida como es graduarme de ingeniero.

A mi Dios, Jesús y la Virgencita María por bendecirme durante toda mi carrera, protegerme, iluminarme y por guiarme siempre por el camino del bien.

A mis padres por ser el sustento de mi vida, por sus consejos y apoyo incondicional, por siempre apoyarme en todas las decisiones que he tomado, por sus enseñanzas y consejos para ser cada día mejor siempre manteniendo la humildad y nunca faltando el respeto al prójimo.

Agradezco por la hospitalidad que he recibido en casa de mi compañero de tesis y amigo en la vida, por ser muy amables y por la paciencia que me han tenido muchas gracias.

Williams Fernando Laguas Paredes

Agradezco a dios por darme la oportunidad de cumplir un objetivo y un sueño más en mi vida, a mis padres que han sido el apoyo más importante dentro de este periodo ya que sin ellos no hubiese sido posible alcanzar esta meta en mi vida.

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Automotriz por permitirme ser parte de esta gran especialidad y llenarme de conocimiento en sus aulas.

Gracias a mi tutor Ing. Celin Padilla, asesor Ing. Milton Quinga por haberme apoyado en un tramo muy importante de mi etapa universitaria ya que sin ellos no hubiese sido posible cumplir la realización de este proyecto a pesar de las circunstancias y obstáculos que se nos presentó.

Un agradecimiento a la Empresa SETMIX por proporcionarnos la materia prima para la construcción de nuestro proyecto y facilitarnos los conocimientos necesarios para su utilización.

Román Alejandro Jácome Parra

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Justificación	2
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	Objetivo general.....	3
1.3.2.	Objetivos específicos	3

CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Fórmula SAE Student	5
2.1.1.	<i>Normativa y consideraciones técnicas Fórmula SAE Student</i>	6
2.2.	Materiales compuestos	7
2.2.1.	<i>Descripción de materiales compuestos</i>	8
2.2.2.	<i>Aplicaciones materiales compuestos</i>	8
2.2.3.	<i>Clasificación de materiales compuestos reforzados con fibras.</i>	9
2.3.	Resina EPOXI.....	11
2.3.1.	<i>Características Resina EPOXI</i>	11
2.3.2.	<i>Curado Resina EPOXI</i>	12
2.4.	Aerodinámica	12

2.4.1.	<i>Consideraciones de diseño</i>	13
2.4.2.	<i>Línea de corriente y trayectoria</i>	13
2.4.3.	<i>Reynolds</i>	15
2.4.4.	<i>Mach</i>	16
2.5.	Fuerzas aerodinámicas actuantes.	17
2.5.1.	<i>Carga aerodinámica</i>	18
2.5.2.	<i>Coefficiente de sustentación</i>	18
2.5.3.	<i>Resistencia Aerodinámica</i>	18
2.5.4.	<i>Coefficiente de arrastre</i>	19
2.5.5.	<i>Fineza</i>	19
2.5.6.	<i>Potencia absorbida</i>	20
2.6.	Mecanismos aerodinámicos vehículos de competencia	20
2.6.1.	<i>Alerón</i>	20
2.6.2.	<i>Morro</i>	21
2.6.3.	<i>Pontones</i>	21
2.6.4.	<i>Fondo plano</i>	22
2.6.5.	<i>Difusores</i>	22
2.7.	Métodos para el análisis aerodinámico	23
2.7.2.	<i>Túnel de viento</i>	24

CAPITULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL FONDO PLANO Y DIFUSORES	25
3.1.	Parámetros de diseño del fondo plano y difusores posteriores	25

3.2.	Variables de diseño del fondo plano y difusores.....	27
3.2.2.	<i>Geometría y aerodinámica.....</i>	28
3.2.3.	<i>Material para la construcción del fondo plano y difusores.</i>	34
3.3.	Diseño del fondo plano con difusores para el vehículo Fórmula SAE	36
3.3.1.	<i>Consideraciones de diseño del fondo plano con difusores</i>	36
3.3.2.	<i>Alternativas de diseño del fondo plano y difusores.....</i>	36
3.4.	Diseño CAD del piso Fórmula SAE	37
3.4.1.	<i>Diseño 1 Fondo plano con un difusor principal</i>	38
3.4.2.	<i>Diseño 2 fondo plano con 2 difusores expandidos.....</i>	39
3.4.3.	<i>Diseño 3 fondo plano con 3 difusores.....</i>	39
3.5.	Análisis Aerodinámico.....	40
3.5.1.	<i>Dimensionamiento del encapsulado virtual o túnel de viento</i>	40
3.5.2.	<i>Generación de malla.....</i>	41
3.5.3.	<i>Solución y simulación aerodinámica del fondo plano con un difusor principal.....</i>	41
3.5.4.	<i>Solución y simulación aerodinámica del fondo plano con 2 difusores expandidos....</i>	47
3.5.5.	<i>Solución y simulación aerodinámica del fondo plano con 3 difusores.....</i>	52
3.5.6.	<i>Resultados Aerodinámicos de los diseños propuestos</i>	58
3.6.	Análisis MEF del fondo plano con tres difusores	58
3.6.1.	<i>Análisis y simulación en Static Structural de ANSYS Workbench</i>	59
3.6.2.	<i>Análisis y simulación modal en ANSYS Workbench.</i>	65
3.7.	Pruebas del Material del Fondo Plano y Difusores Posteriores	69
3.7.1.	<i>Ensayo de Impacto</i>	70

3.7.2.	<i>Ensayo de Flexión</i>	73
3.7.3.	<i>Ensayo de Tracción</i>	77
3.8.	Construcción del fondo plano y difusores posteriores	80
3.8.1.	<i>Construcción de la Matriz o Molde</i>	81
3.8.2.	<i>Construcción del fondo plano y difusores posteriores</i>	84
3.9.	Resultados	92

CAPITULO IV

4.	ESTUDIO DE COSTOS	96
4.1.	Costos Directos de Fabricación y Estudio.....	96
4.2.	Costos Indirectos de Fabricación y Estudio	98
4.3.	Costo Total Fabricación y Estudio	99

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1.	Conclusiones	100
5.2.	Recomendaciones.....	101

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Área de exclusión para dispositivos aerodinámicos	6
Figura 2-2: Área para dispositivos que no deben superar los 500 mm sobre el suelo	7
Figura 3-2: Extractor de aire vehículo F1 Brabham BT46B.....	7
Figura 4-2: Elementos estructurales en fibra de carbono.....	8
Gráfico 1-2: Comparativa curvas tensión-deformación en tracción de diferentes fibras.....	10
Figura 5-2: Reacción epóxica para el curado del compuesto	12
Figura 6-2: Consideraciones de diseño aerodinámico	13
Figura 7-2: Trayectoria del flujo.....	14
Figura 8-2: Flujo Laminar.....	14
Figura 9-2: Flujo Turbulento	14
Figura 10-2: Flujo Laminar-Turbulento	15
Gráfico 2-2: Coeficientes de presión en función del número de Reynolds de una placa plana .	16
Figura 11-2: Fuerzas aerodinámicas	17
Figura 12-2: Cargas aerodinámicas	18
Figura 13-2: Resistencia aerodinámica.....	19
Figura 14-2: Alerón	21
Figura 15-2: Morro	21
Figura 16-2: Pontones.....	22
Figura 17-2: Fondo Plano	22
Figura 18-2: Difusores	23
Figura 19-2: Herramientas CFD	24
Figura 20-2: Túnel de Viento.....	24
Figura 1-3: Formación del Túnel de Viento	26

Figura 2-3: Flujo de aire hacia el difusor.....	27
Figura 3-3: Doble difusor EQ. Brown GP.....	28
Figura 4-3: Difusor Soplado.....	28
Figura 5-3: Difusor perfil recto.....	29
Figura 6-3: Contorno de presión difusor perfil recto.....	30
Figura 7-3: Trayectoria de las líneas de flujo por el difusor recto.....	30
Figura 8-3: Difusor perfil curvo.....	31
Figura 9-3: Contorno de Presión difusor perfil curvo.....	31
Figura 10-3: Trayectoria de las líneas de flujo por el difusor curvo.....	32
Figura 11-3: Difusor perfil curvo pronunciado a los laterales.....	32
Figura 12-3: Contorno de Presión difusor perfil curvo expandido.....	33
Figura 13-3: Trayectoria de las líneas de flujo por el difusor curvo expandido.....	33
Figura 14-3: Diagrama Esfuerzo - deformación materiales reforzados con fibras.....	35
Figura 15-3: Fondo plano Fórmula SAE 2016.....	36
Figura 16-3: Dimensiones de la estructura donde se coloca el fondo plano.....	37
Figura 17-3: Base para la construcción del fondo plano y difusores.....	37
Figura 18-3: Fondo plano con un difusor principal.....	38
Figura 19-3: Fondo plano con 2 difusores expandidos.....	39
Figura 20-3: Fondo plano con 3 difusores.....	39
Figura 21-3: Dimensión del encapsulado del virtual túnel de viento.....	40
Figura 22-3: Criterios de Calidad de malla.....	41
Figura 23-3: Mallado.....	41
Gráfico 1-3: Parámetros de mallado.....	42
Figura 24-3: Parámetros de contorno del túnel de viento.....	42
Figura 25-3: Contornos de Presión estática del fondo plano con un difusor principal.....	43

Figura 26-3: Contorno de velocidad fondo plano con un difusor principal.....	44
Figura 27-3: Trayectoria del flujo en 3D del aire atreves del fondo plano.....	45
Figura 28-3: Energía cinética de turbulencia.....	45
Figura 29-3: Fuerzas y coeficientes aerodinámicos.....	46
Figura 30-3: Mallado	47
Gráfico 2-3: Parámetros de mallado	47
Figura 31-3: Parámetros de contorno del túnel de viento	48
Figura 32-3: Contornos de Presión estática del fondo plano con un difusor principal.....	49
Figura 33-3: Contorno de velocidad fondo plano con un difusor principal.....	49
Figura 34-3: Trayectoria del flujo en 3D del aire atreves del fondo plano.....	50
Figura 35-3: Energía cinética de turbulencia.....	51
Figura 36-3: Fuerzas y Coeficientes aerodinámicos.....	51
Figura 37-3: Mallado	52
Grafico 3-3: Parámetros de mallado	52
Figura 38-3: Parámetros de contorno del túnel de viento	53
Figura 39-3: Contornos de Presión estática del fondo plano con un difusor principal.....	54
Figura 40-3: Contorno de velocidad fondo plano con un difusor principal.....	55
Figura 41-3: Trayectoria del flujo en 3D del aire atreves del fondo plano.....	55
Figura 42-3: Trayectoria del flujo en 2D del aire atreves del fondo plano.....	56
Figura 43-3: Energía cinética de turbulencia.....	56
Figura 44-3: Fuerzas y Coeficientes aerodinámicos.....	57
Figura 45-3: Static Structural ANSYS Workbench.....	59
Figura 46-3: Parámetros del material en Enggining Data.....	60
Figura 47-3: Diseño del elemento en Design Modeler	60
Figura 48-3: Mallado estructural fondo plano y difusores.....	61

Figura 49-3: Métrica de mallado	61
Figura 50-3: Anclajes del fondo plano al bastidor.....	61
Figura 51-3: Cargas aerodinámicas importadas al análisis estructural.....	62
Figura 52-3: Deformación total del fondo plano y difusores.....	63
Figura 53-3: Esfuerzo equivalente de Von-Mises	63
Figura 54-3: Factor de seguridad	64
Figura 55-3: Fuerza aplicada para el impacto y cargas aerodinámicas.....	65
Figura 56-3: Factor de seguridad para el fondo plano impactado.....	65
Figura 57-3: Análisis Modal Forma 1.....	66
Figura 58-3: Análisis Modal Forma 2.....	66
Figura 59-3: Análisis Modal Forma 3.....	67
Figura 60-3: Análisis Modal Forma 4.....	67
Figura 61-3: Análisis Modal Forma 5.....	68
Figura 62-3: Análisis Modal Forma 6.....	68
Figura 63-3: Máquina De Ensayo de Impacto	71
Figura 64-3: Probetas Para ensayo de Impacto.....	72
Gráfico 4-3: Ensayo de Impacto	72
Figura 65-3: Máquina de Ensayos Universal.....	74
Figura 66-3: Probetas para ensayo de Flexión.....	75
Gráfico 5-3: Ensayo de Flexión	75
Figura 67-3: Máquina de ensayos Universal	78
Figura 68-3: Probetas para Ensayo de Tracción	78
Gráfico 6-3: Ensayo de Tracción	79
Gráfico 7-3: Diagrama de Construcción de la Matriz.....	81
Figura 69-3: Trazado en la madera	82

Figura 70-3: Corte de la Plancha de Madera	82
Figura 71-3: Ensamble de los Componentes	83
Figura 72-3: Masillado y Corrección de la Superficie.....	83
Figura 73-3: Tratamiento y Acabado de la Madera	84
Gráfico 8-3: Diagrama para Proceso de Construcción del Fondo Plano y Difusores	84
Figura 74-3: Fibra de Carbono Bidireccional	85
Figura 75-3: Resina Epofix 300.....	85
Figura 76-3: Desmoldante y Cera.....	86
Figura 77-3: Aplicación de Desmoldante	86
Figura 78-3: Aplicación de Cera.....	87
Figura 79-3: Preparación de cortes y Corte de la Fibra	87
Figura 80-3: Preparación de la Resina.....	88
Figura 81-3: Saturación de la Fibra de Carbono.....	88
Figura 82-3: Colocacion de la Fibra	89
Figura 83-3: Moldeo y Acoplamiento de la fibra.....	89
Figura 84-3: Proceso de secado	90
Figura 85-3: Corte de excesos de Material	90
Figura 86-3: Terminado Superficial	90
Figura 87-3: Posicionamiento de anclajes en SolidWorks	91
Figura 88-3: Unión por suelda de los puntos de los anclajes al bastidor	91
Figura 89-3: Montaje fondo plano y difusores con el bastidor.....	92
Figura 90-3: Peso fondo plano 2016.....	92
Figura 91-3: Peso fondo plano 2016.....	92
Figura 92-3: Contorno de presion fondo plano y difusores 2016	93
Figura 94-3: Lineas de flujo 3D fondo plano y difusores 2016.....	94

Figura 93-3: Contorno de presión fondo plano y difusores 2018	93
Figura 95-3: Líneas de flujo 3D fondo plano y difusores 2018.....	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Reparto de puntos de la competencia Fórmula SAE	5
Tabla 2-2: Clasificación de materiales compuestos	9
Tabla 3-2: Característica Resina Epóxica	11
Tabla 1-3: Parámetros de estudio de los difusores	28
Tabla 2-3: Resultados de los difusores ensayados en ANSYS Fluent	34
Tabla 3-3: Propiedades de las fibras más utilizadas en vehículos de competencia.....	34
Tabla 4-3: Parámetros para la simulación del fondo plano con un difusor principal.....	42
Tabla 5-3: Resultados análisis aerodinámico fondo plano con difusor principal	46
Tabla 6-3: Parámetros para la simulación del fondo plano con un difusor principal.....	48
Tabla 7-3: Resultados análisis aerodinámico fondo plano con difusor principal	51
Tabla 8-3: Parámetros para la simulación del fondo plano con un difusor principal.....	53
Tabla 9-3: Resultados análisis aerodinámico fondo plano con difusor principal	57
Tabla 10-3: Resultados obtenidos del análisis aerodinámico	58
Tabla 11-3: Propiedades Material compuesto Fibra de Carbono Matrix Epofix 300	59
Tabla 12-3: Valores de frecuencia y deformación analizados	69
Tabla 13-3: Resultados Ensayo de Impacto	73
Tabla 14-3: Resultado de Probetas de Ensayo de Flexión	76
Tabla 15-3: Parámetros para la realización del Ensayo de Flexión	76
Tabla 16-3: Resultado de Probetas de Ensayo de Tracción	79
Tabla 17-3: Parámetros para la realización del Ensayo de Tracción	80
Tabla 18-3: Comparación de propiedades del material y resultados aerodinámicos entre los fondos planos y difusores 2016 y 2018.....	92
Tabla 1-4: Detalle de Costos Directos	96

Tabla 2-4: Detalle de Costos Indirectos	98
Tabla 3-4: Detalle de Costos Totales	99

SIMBOLOGÍA

A	Área	m ²
T	Temperatura	K
Cv	Potencia Absorbida	Hp
v	Velocidad	m/s
p	Presión	Pa
F	Fuerza	kg
Fx	Fuerza X	kg
Fy	Fuerza Y	kg
V	Volumen	m ³
L	Longitud	m
ρ	Densidad	kg/m ³
FL	Carga Aerodinámica	kg
FD	Resistencia Aerodinámica Total	kg
FD	Fuerza de arrastre o resistencia	kg
R	Constante de los gases	J/kg K

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
FSAE	Fórmula SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
CAD	Diseño Asistido por Computador
CFD	Dinámica de Fluidos Computacional
Cv	Potencia Absorbida
Cx	Coefficiente de resistencia
f	Fineza
FL	Carga aerodinámica
CL	Coefficiente de sustentación
Fd	Resistencia aerodinámica
HP	Caballos de fuerza
M	Numero de Match
P	Presión
Pa	Pascales
Re	Número de Reynolds
v	Velocidad del objeto en estudio
ρ	Densidad del aire
VS	Velocidad de transición del sonido
T	Temperatura

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación busca mejorar las cargas aerodinámicas generada por el fondo plano y difusor posterior del vehículo de competencia Fórmula SAE, para lo cual, se aplica la metodología del análisis y recopilación de información del reglamento vigente de la competencia Fórmula SAE, además se compara los parámetros de diseño de trabajos anteriores. Una vez estudiado las variables se procede a la simulación del fondo plano y difusores para el vehículo SAE en el software CAD SolidWorks, diseñando modelos que se ajusten a las dimensiones permitidas por el reglamento. Estos diseños fueron analizados en ANSYS WORKBENCH donde se realizó un análisis más detallado de las cargas aerodinámicas generadas y del comportamiento estático y dinámico. Para la construcción se seleccionó el compuesto fibra de carbono y resina Epofix 300 como material principal debido a las propiedades físicas y mecánicas que ofrece, este material compuesto permite disminuir el peso de las piezas e incrementar la resistencia de las mismas. Se tomó como punto de referencia el análisis aerodinámico realizado en Fluid Flow de ANSYS (Fluent). El incremento del coeficiente de sustentación y la disminución del coeficiente de arrastre del fondo plano y los difusores permitió determinar que el modelo genera mayor efecto suelo y menor resistencia al avance de acuerdo a los resultados aerodinámicos del software. A más de este análisis se realizó un análisis estático y dinámico que permitió determinar si el material seleccionado soporta las cargas generadas por la aerodinámica del piso. Las propiedades mecánicas del material fueron determinadas mediante ensayos de tracción, flexión e impacto realizados en el Centro de Fomento Carrocero. Con los resultados de los ensayos anteriormente citados se justificó la capacidad de resistencia del material compuesto y el proceso de manufactura utilizado para la construcción del fondo plano y los difusores.

PALABRAS CLAVE:< TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA >, <FONDO PLANO>, <DIFUSORES>, <ANÁLISIS AERODINÁMICO>, <COEFICIENTE DE ARRASTRE>, <COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN>, <MATERIAL COMPUESTO>, <FIBRA DE CARBONO>.

ABSTRACT

The aim of the present work of degree seeks to improve the aerodynamic loads generated by the flat bottom and diffuser of the vehicle of competition Fórmula SAE, to which it applies the methodology of analysis and compilation of information along about the guidelines allowed in the existing regulation of competition Fórmula SAE, in addition, compares the design parameters from previous jobs. Once studied variables are applicable to the simulation of the plane bottom and diffusers for the car SAE in the CAD software Solid works, Designed models that conform to the dimensions allowed by the regulation. These designs were analyzed in ANSYS WORKBENCH where a more detailed analysis of the aerodynamic loads generated, static, and dynamic behavior. For the construction is selected the compound of carbon fiber and resin Epofix 300 as main material due to the physical and mechanical properties which offers, this composite material allows you to reduce the weight of the pieces and to increase the resistance of the same. It took as their point of reference the aerodynamic analysis carried out in Fluid Flow of ANSYS (Fluent). The increase in the coefficient of lift and the decline of the drag coefficient of the plane bottom and diffusers made it possible to determine that the model generates greater effect on the floor and lower resistance to progress according to the aerodynamic results of the software. In addition, than this analysis was performed a static and dynamic analysis made it possible to determine if the material selected supports loads generated by the aerodynamics of the floor. The mechanical properties of matter were determined by tensile, flexural and impact made in the Centro of Fomento Carrocero. With the results of the tests described above was justified on the resilience of the composite material or the manufacturing process used for the construction of the flat bottom and the diffusers.

KEYWORDS: < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, < FLAT BOTTOM>, < DIFFUSER>, < AERODYNAMIC ANALYSIS>, < LIFT COEFFICIENT>, < COMPOSITE MATERIAL>, < CARBON FIBER>

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizará el estudio y construcción de un elemento aerodinámico muy importante en competiciones automovilístico. El estudio a ser empleado será mediante simulación computacional basándose en la dinámica computacional de fluidos que nos proporciona el software ANSYS Workbench Fluent.

Se analizarán los efectos que producirá el piso (fondo plano y difusores posteriores), para poder aprovechar su rendimiento aerodinámico al ser instalado en un prototipo que tiene previsto participar en la carrera organizada por el organismo internacional SAE.

Previamente será importante conocer los conceptos esenciales de la mecánica de fluidos que nos ayude a comprender las funciones que tendrán el fondo plano y difusores posteriores, con los beneficios que nos pueden brindar al utilizarlos, además es importante conocer el reglamento vigente de la competencia el cual debe ser respetado y tomado en cuenta al diseñar el elemento aerodinámico. También será indispensable conocer el uso y aplicación de materiales compuestos los cuales serán utilizados en la construcción del fondo plano y difusores posteriores.

Para el estudio será importante conocer el medio al que será expuesto el vehículo, es decir los principales parámetros que serán necesarios para realizar la simulación CFD. De esta manera nos permitirá conocer el comportamiento del piso al ser expuesto a estas condiciones. Dentro de la simulación serán expuestos a las condiciones de estudio tres diseños los cuales se comportarán de diferente manera y nos ayudará a saber cuál será el mejor diseño a emplear en el vehículo. También serán comparados los resultados con estudios anteriores que fueron construidos en materiales de fibras naturales. Para su construcción es importante saber las características del material en este caso el material a utilizar es la fibra de carbono como refuerzo y como matriz será utilizada la resina epóxica, los cuales al ser combinados nos permitirán obtener la materia prima, este material será expuesto a ensayos destructivos de impacto, tracción y flexión para conocer las características del material y que también nos ayudaran en la simulación.

En la construcción se empleará una fundición mediante pre impregnación del material entre la tela de fibra de carbono y la resina epóxica, para la ayuda de la obtención de la forma se utilizará un molde macho que será construido en madera y dando un tratamiento superficial que ayude a que no sea absorbida la resina por la madera, ayudando a una extracción del elemento de una forma más fácil y con un mejor acabado. Para su instalación será necesario verificar que el piso (fondo plano y difusores posteriores) cumpla con las medidas y normas establecidas por la competición, además de la ubicación de los anclajes necesarios para la colocación del elemento aerodinámico.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Fórmula SAE es una competencia universitaria de escala internacional que tiene sus principios alrededor de los años 80 en los Estados Unidos, al pasar del tiempo esta competencia ha ido tomando popularidad desde sus inicios por tal razón cada vez son más el número de universidades que asiste a esta competencia, cuyo objetivo de cada equipo es ser capaz de diseñar y construir un vehículo de carreras en base a reglas y normas establecidas por la competencia. En nuestro país varias universidades han propuesto sus vehículos para este tipo de eventos desarrollados en varios lugares del mundo principalmente en Alemania y Estados Unidos. Las competencias automovilísticas tuvieron sus principios en el siglo XX a la par de la fabricación masiva de automóviles con las cadenas de producción, en ese momento surge el automovilismo el cual era desarrollado y practicado por los sectores más ricos de la población, que eran los que podían acceder a estas competencias. Con el pasar del tiempo se empezó a realizar carreras abiertas y de igual manera aumentaba el peligro para los participantes, por tanto, se utilizó alternativas de circuitos cerrados como la Fórmula 1 y en tramos de carreteras como en el Rally. Esto motivo a los equipos de competición a mejorar sus prototipos a través de la investigación y desarrollo, es ahí donde surge un campo muy importante como lo es la aerodinámica del vehículo. A principio la aerodinámica solo se la podía estudiar con la ayuda de túneles de viento los cuales tenían un coste de material y temporal elevado. Con la ayuda del desarrollo de nuevas tecnologías computacionales ha permitido utilizar programas informáticos de dibujo asistido y simulación que permiten obtener datos sobre los fenómenos aerodinámicos que se producen en un vehículo en las diferentes condiciones a las que va a estar expuesto. De esta manera se va a desarrollar el fondo plano y difusores posteriores el cual se ubicará en el prototipo Fórmula SAE basándonos en la información necesaria sobre la mecánica de fluidos lo cual nos permitirá optimizar y elegir las mejores características para el vehículo.

El prototipo que se está desarrollando en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH es un aporte de los estudiantes donde están proyectados los diferentes conocimientos adquiridos previamente, los cuales nos permite demostrarlos a través del diseño y construcción del prototipo exponer lo aprendido en nuestra formación.

1.2. Justificación

La competencia Fórmula SAE es un concurso de estudiantes de ingeniería, el cual consiste en diseñar, construir y probar un vehículo tipo fórmula, donde se exponen y utilizan los conocimientos adquiridos, la competencia convoca a varias universidades a participar en una competencia, rigiéndose a un reglamento y normas durante su participación y construcción, donde se utilizan materiales alternos tales como las fibras naturales existentes hoy en día, de tal manera que contribuyan al desempeño, seguridad, consumo y mejora aerodinámica del monopla. (SAE INTERNATIONAL, 2014)

La aerodinámica se ha convertido en una pieza clave en el rompecabezas de la ingeniería de competición. Se dice que la aerodinámica representa más del 50% total sobre el rendimiento del monopla. Con las herramientas CFD, está dando lugar a un incremento en los estudios aerodinámicos de vehículos, ya sean orientados a la competición o no, que antes no podían tener lugar si no fuera en túnel de viento o con test en pista, lo cual conlleva unos costes muy elevados en el desarrollo de un vehículo. (Parrilla Gallego, 2013)

La aerodinámica en vehículos de competición son requeridos por los equipos y los estudios llevados a cabo normalmente son guardados con recelo para evitar copias de soluciones técnicas entre ellos. (Parrilla Gallego, 2013)

El fondo plano se encarga de generar vórtices que extraen el flujo debajo del vehículo para aumentar el vacío, y a su vez impide la entrada de flujo por los laterales, simulando la función que hacían los faldones, y de extraer lateralmente el aire para que no se quede debajo y que no vuelva a entrar, mientras que las funciones principales del difusor son las de extraer el flujo de aire que circula por debajo del monopla y la de adaptarlo al aire exterior. El objetivo es el de acelerar el flujo de aire que circula por debajo para crear una zona de baja presión y así generar carga aerodinámica. Al aumentar el difusor la sección de paso del flujo por debajo del coche, ésta tiene que ser ocupada por el aire, y para ello este flujo se ha de acelerar a lo largo del fondo plan para poder ocupar más espacio del que ocupaba, provocando así una reducción de presión a la entrada del difusor y por tanto ganar carga aerodinámica. (Camúñez, 2014)

Dada la constante necesidad de incrementar nuestros conocimientos en relación al desarrollo técnico y tecnológico, con simulaciones en software, diseño de planos y la búsqueda de un material que cumpla con las propiedades mecánicas y físicas necesarias para que funcione en forma conjunta con los demás elementos del prototipo, siendo la fibra natural el material a utilizar, la cual combinada con procesos de producción existentes generarán resultados muy productivos, obteniendo una mayor vida útil de nuestro elemento, los mismos que se ven reflejados en la

disminución de peso y aumento de la resistencia, además de utilizar la fibra de carbono como material principal para la construcción. (AVALOS VALVERDE, 2016)

Por lo tanto, el objetivo del trabajo de titulación será diseñar, simular con la ayuda de software y construir el fondo plano y difusor posterior del vehículo de competencia fórmula SAE con la utilización de fibra de carbono para ayudar con la aerodinámica y disminuir las cargas que existen tanto para el motor como para el monoplaza en general, mejorando el rendimiento y desempeño del mismo.

Con el siguiente trabajo a más de realizar el diseño e implementación del fondo plano y difusores posteriores del vehículo de competencia fórmula “SAE”, se tiene la necesidad de contribuir en el proyecto que se ha planteado la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos en cada una de las asignaturas, durante toda la malla curricular.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir el fondo plano y difusores posteriores del vehículo de competencia Fórmula “SAE” mediante el método de elementos finitos y manufactura de materiales compuestos para obtener el mejor desempeño aerodinámico del vehículo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Investigar el reglamento vigente, mediante la recopilación de información de la competencia y normas SAE, para realizar el diseño y construcción del fondo plano y difusores posteriores.
- Realizar el diseño del fondo plano con difusores posteriores en software CAD mediante conceptualizaciones aerodinámica CFD en ANSYS para mejorar la eficiencia y anti sustentación del vehículo fórmula SAE.
- Construir el fondo plano con difusores posteriores del vehículo fórmula SAE mediante el proceso de manufactura de autopartes para piezas en fibra de carbono con las condiciones requeridas en el diseño.

- Realizar un análisis comparativo mediante pruebas realizadas en el centro de investigación de materiales para especificar propiedades mecánicas y físicas entre la fibra natural y la fibra de carbono.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fórmula SAE Student

Fórmula SAE Student es una competencia entre escuderías universitarias de pregrado y posgrado donde diseñan y construyen un monoplaza de acuerdo con un reglamento establecido para un ciclo de dos años, dicha competencia es organizada por la IMechE y las principales empresas que aportan al desarrollo automovilístico. (SAE®, 2017)

La Fórmula SAE desde el año de 1981 en Estados Unidos inició la competencia ganando popularidad de universidades a nivel mundial y de Países que organizan este evento. Dentro de esta competencia estudiantil de diseño y construcción existen tres tipos de categorías de monoplaza tipo Opel Wheel con motores de combustión, motores eléctricos y de un vehículo de propulsión autónoma conocido como Driveless.

En esta competencia se evalúa de acuerdo con una serie de pruebas estáticas donde se defiende tanto el diseño como el coste de construcción mientras que en las pruebas de carrera o dinámicas se considera la capacidad de aceleración longitudinal y lateral, maniobrabilidad además la eficiencia en consumo de combustible. (Corona, 2017)

Tabla 1-2: Reparto de puntos de la competencia Fórmula SAE

Eventos estáticos	Puntaje	Eventos dinámicos	Puntaje
		Aceleración	100
		Skid-Pad	75
Presentación	75	Autocross	125
Diseño de ingeniería	200	Eficiencia	100
Análisis de costos	100	Resistencia	225
Puntaje	375	Puntaje	625
Puntos totales			1000

Fuente: Reglamento Fórmula SAE 2017-18

2.1.1. Normativa y consideraciones técnicas Fórmula SAE Student. En la Fórmula SAE Student existe una normativa que debe cumplirse para homologar los componentes y el diseño del vehículo de competencia.

De acuerdo con el Reglamento, Artículo 9 se especifica los requisitos principales de los dispositivos aerodinámicos junto con la configuración del vehículo y zonas de exclusión son detallados a continuación:

- Para dispositivos aerodinámicos montados en la parte delantera de acuerdo con la vista de planta deben estar 700 mm delante del frente de los neumáticos y no ser más anchos que el exterior de los neumáticos delanteros medidos a la altura de los ejes.
- Con respecto a la parte frontal de los neumáticos delanteros no deben estar obstruidos y deben estar a 250 mm a nivel del suelo.
- Para dispositivos aerodinámicos ubicados en la parte posterior del vehículo ningún dispositivo aerodinámico debe estar con respecto a la vista de planta 250mm hacia atrás de la parte posterior de los neumáticos posteriores y segundo no ser más ancho que el interior de los neumáticos traseros, medido a la altura de la línea central del eje.



Figura 1-2: Área de exclusión para dispositivos aerodinámicos

Fuente: (SAE®, 2017)

- Ninguna parte del alerón trasero o dispositivo aerodinámico (incluidas las placas terminales) debe estar a más de 1,2 metros del suelo cuando se mide sin un conductor en el vehículo.

Entre las líneas centrales de los ejes de las ruedas delantera y trasera, un dispositivo aerodinámico (por ejemplo, debajo de la parrilla) puede extenderse hacia afuera en una vista plana a una línea que conecta las superficies externas de los neumáticos delanteros y traseros a la altura de los centros de las ruedas. Cualquier dispositivo aerodinámico u otra carrocería, ubicada entre el plano verticales transversales situados en las líneas centrales del eje delantero y trasero no deben superar una altura de 500 mm sobre el suelo cuando se mide sin un conductor en el vehículo.



Figura 2-2: Área para dispositivos que no deben superar los 500 mm sobre el suelo

Fuente: (SAE®, 2017)

- Por último, para dispositivos que proporcionen Efecto suelo no se puede usar ningún dispositivo de potencia para mover o eliminar el aire de debajo del vehículo, a excepción de los ventiladores diseñados exclusivamente para refrigeración.



Figura 3-2: Extractor de aire vehículo F1 Brabham BT46B

Fuente: <http://en.espnf1.com/PICTURES/CMS/8200/8228.jpg>

Los dispositivos aerodinámicos según el reglamento FSAE deben ser diseñados de tal manera que proporcionen una correcta rigidez estática y que no oscile excesivamente con el vehículo en marcha. (SAE®, 2017)

2.2. Materiales compuestos

Los materiales compuestos se consiguen al unir dos materiales para formar otro con mejores propiedades los cuales no se pueden conseguir con materiales primarios (Askeland, 2017). La mayor ventaja de los materiales compuestos avanzados es que son livianos y fuertes. Al elegir una combinación adecuada de matriz y material de refuerzo, se puede hacer un nuevo material que cumpla exactamente los requisitos de una aplicación en particular. Los compuestos también brindan flexibilidad de diseño porque muchos de ellos se pueden moldear en formas complejas. La desventaja es a menudo el costo. Aunque el producto resultante es más eficiente, las materias primas a menudo son costosas.

2.2.1. Descripción de materiales compuestos. Un material compuesto está conformado por la combinación de dos o más materiales a menudo estos materiales tienen propiedades muy diferentes que trabajan juntos para dar al compuesto propiedades únicas. Sin embargo, dentro del compuesto pueden distinguirse fácilmente los elementos que están constituidos ya que no producen alguna reacción química o se funden entre ellos. (Daniel Gay, 2014)

La unión entre las fibras y la matriz se crea durante la fase de fabricación del material compuesto. Esto tiene una influencia fundamental en las propiedades mecánicas del material compuesto. La matriz en fase continua actúa como ligante y los refuerzos en fase discontinua actúa como el elemento resistente (Daniel Gay, 2014)

2.2.2. Aplicaciones materiales compuestos. Hoy en día hay un interés en aplicar materiales compuestos que permitan mejorar las propiedades mecánicas y la calidad ante la exposición de diferentes factores tales como cargas concentradas, flexión, abrasión, impacto, choque térmico y ataque químico.

Productos fabricados con materiales compuestos tienen una gran variedad de ventajas como son la alta durabilidad, así como la reducción del peso, resistencia a la corrosión, estabilidad dimensional, en algunos casos se consigue una disminución de los costos de mantenimiento (William Aperador, 2010)

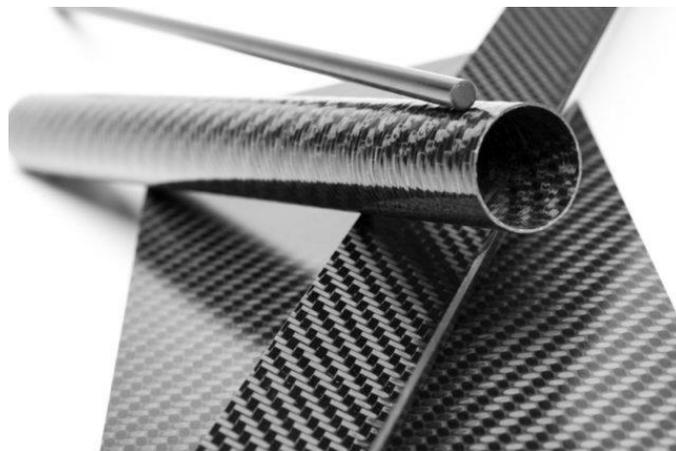


Figura 4-2: Elementos estructurales en fibra de carbono

Fuente: <https://culturacientifica.com/app/uploads/2016/10/hidrogeno-a-partir-de-composites-de-fibra-de-carbono-640x425.jpg>

2.2.3. Clasificación de materiales compuestos reforzados con fibras. Los compuestos reforzados con fibras consiguen una mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y relación resistencia peso. Los materiales compuestos se clasifican de acuerdo con el tipo compuesto que están contruidos la primera clasificación analiza el tipo de matriz y la segunda clasificación se refiere a los refuerzos:

Tabla 2-2: Clasificación de materiales compuestos

Clasificación de materiales compuestos		
Matriz	Materiales compuestos de matriz METÁLICA	
	Materiales compuestos de <i>matriz</i> CERÁMICA	
	Materiales compuestos de <i>matriz</i> de CARBON	
	Materiales compuestos de matriz ORGÁNICA	Materiales compuestos de fibra de carbono con matriz orgánica, Materiales compuestos de fibra de vidrio con matriz orgánica.
Refuerzo	Fibras	Elementos en forma de hilo en las que la relación $L/D > 100$
	Cargas	El resto, utilizadas en elementos de poca responsabilidad estructural.

Fuente: (Martínez)

2.2.3.1. Tipos de fibras. Las fibras son el elemento reforzante y sus propiedades mecánicas para cualquier tipo material son superiores cuando el refuerzo se presenta en forma de fibras. Por tanto, las propiedades vienen determinadas por la contribución de la fibra al compuesto que dependerán de: Las propiedades de la propia fibra, mecánicas y geométricas, la fracción en volumen de fibra hay que considerar además la orientación y disposición del refuerzo por último la interacción de la superficie de la fibra y la resina. (Navarro, 2012)

Fibra Aramida

La fibra Aramida se caracteriza por su color amarillo, están formados por poliamidas lineales aromáticas. El Kevlar® es una marca registrada de Du Pont Company el cuál es el más comercial de este tipo de fibras tienen un módulo y resistencia muy superior a las demás fibras orgánicas de su tipo se pueden citar varios aspectos positivos de este material tales como rigidez, coeficiente de dilatación térmica longitudinal nulo, baja densidad, radio transparente, con excelente

resistencia al impacto. Una de las desventajas de este tipo de fibras es la de poseer una mala resistencia al desgaste con respecto a los otros tipos de fibras y gran absorción de humedad (Martínez)

Fibra de carbono CFRP

La fibra de carbono fabricada principalmente de poliacrilonitrilo es una fibra sintética, la cual está constituida por la unión de finos filamentos de 5 a 10µm siendo su principal compuesto el carbono o breca estirada para alinear la estructura cada filamento de la fibra es calentada para eliminar el oxígeno, nitrógeno e hidrogeno. Se aplican principalmente la fabricación de materiales compuestos junto con la resina epoxi. (Smith, 2006)

Fibra de vidrio GRP

Fabrican a partir del vidrio fundido pasando por hilas se usan como refuerzos de matrices de plástico para formar un compuesto con estructura isotropica. Entre las características principales tenemos gran resistencia a la tracción resiste los ataques químicos. (Smith, 2006)

Tipos de fibras de vidrio:

El vidrio E es el que se usa más comúnmente en fibras continuas está constituido por boro silicato de calcio y aluminio, en aditamentos insignificantes contienen sodio y potasio.

El vidrio S a diferencia del tipo E tiene una relación entre resistencia y peso más alta y es más caro. Su resistencia es de 650 Ksi. (Smith, 2006)

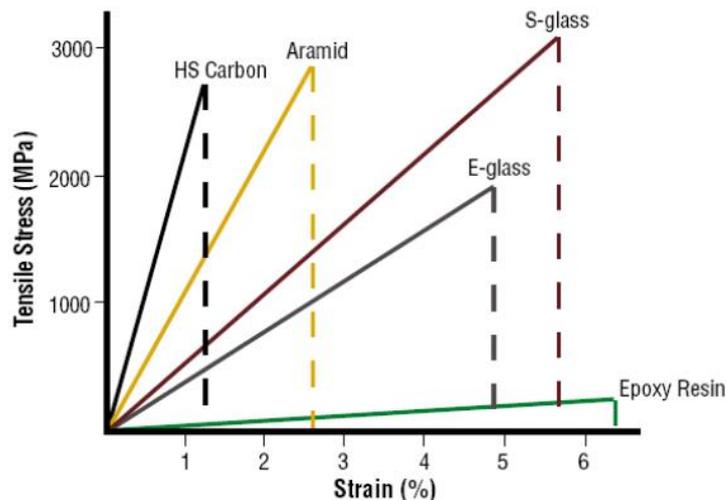


Gráfico 5-2: Comparativa curvas tensión-deformación en tracción de diferentes fibras.

Fuente: (Martínez)

2.3. Resina EPOXI

De acuerdo con el contexto (Askeland, 2017) Los epóxidos son polímeros termoestables, formados por moléculas que contienen un anillo cerrado C—O—C. Durante el curado, los anillos C-O-C se abren y los enlaces se reacomodan para unir las moléculas. El más común de los epóxicos comerciales se base en el bisfenol compuesto A, al cual se le han agregado dos unidades epóxido. La resina epóxica se utiliza como matriz en materiales compuestos en la industria automotriz y aeroespacial, además como partes moldeadas rígidas para aplicaciones eléctricas.

2.3.1. Características resina EPOXI. La resina epoxi normalmente es producto de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol, esto permite formar junto con el catalizador una matriz con mejores propiedades químicas a continuación se muestran las siguientes características:

Tabla 3-2: Característica Resina Epóxica

Características de Material	Resina	Endurecedor
Viscosidad a 19 °C P	20 - 30	9 - 16
Peso especifico g/cm^3	1.15	1
Color	9	7
Proporciones partes de peso	100	16
Curado mínimo	24 horas a 25 °C	
Tiempo de gelificado	50 – 60 minutos a 19 °C	
Postcurado	8 horas a 100 °C	

Fuente: (Caicedo, 2009)

2.3.2. Curado resina EPOXI. El epoxidico se prepara combinando bisfenol (compuesto A) con epiclorohidrin en presencia de un corre activo trifuncional, los enlaces se abren y el polímero extienden en dos direcciones para producir la resina y formar la matriz del material compuesto.

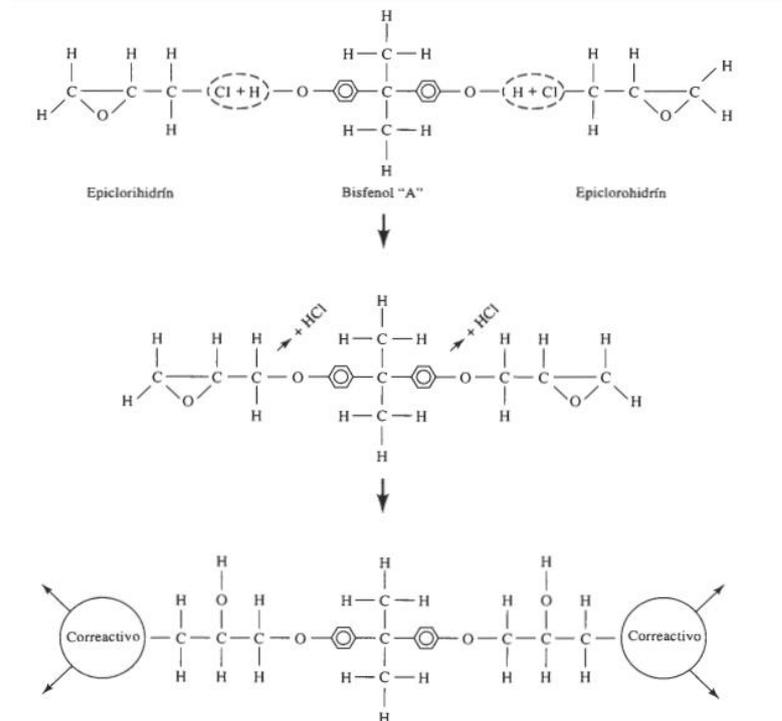


Figura 6-2: Reacción epóxica para el curado del compuesto

Fuente (Askeland, 2017)

2.4. Aerodinámica

La aerodinámica es considerada una rama de la física que nos ayuda con el estudio de cómo se comportan fluidos y esencialmente, su importancia está presente en la necesidad de conocer su comportamiento cuando existen cuerpos que intervienen en ello.

La aerodinámica considerada dentro de la mecánica de fluidos nos ayuda a saber el comportamiento del flujo sobre los elementos sólidos que se generan sobre ellos al producirse un movimiento relativo entre el cuerpo y el fluido que lo cubre en nuestro caso el aire. (De Jodar, 2011)

Las fuerzas aerodinámicas y momentos se encuentran presentes en el control, rendimiento y estabilidad del automóvil ya que son influenciadas por las características del aire. El automóvil es tomado en cuenta como un sólido porque posee características como rugosidad, forma,

superficie de contacto y velocidad. Por lo tanto, en cada punto de contacto entre el aire y el sólido se producen fuerzas como son: normal a la superficie que para nosotros es el automóvil, fuerza de rozamiento y fuerza de presión generada por la viscosidad que posee el aire.

2.4.1. Consideraciones de diseño. Las formas geométricas de los cuerpos son puntos clave al momento de hablar de la aerodinámica ya que deben ser aprovechadas al momento de ser aplicadas. Por lo que al hablar de competencias automovilísticas es necesario tener autos más rápidos, y es necesario tomar en cuenta los cambios que han sufrido las formas de los vehículos comerciales, los cuales han sido basados en las formas que obtienen los vehículos de competencia que cada vez mejoran con el transcurrir del tiempo. (Sández, 2008)

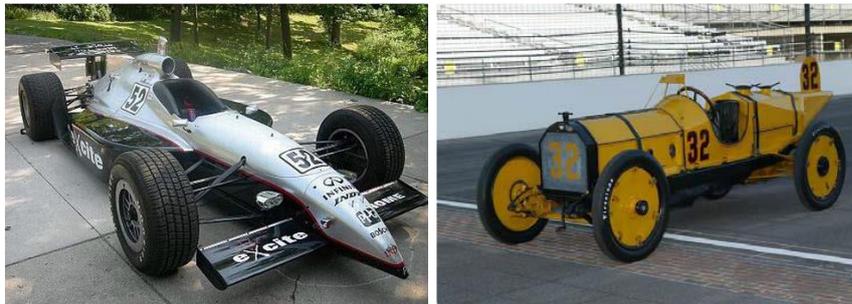


Figura 7-2: Consideraciones de diseño aerodinámico

Fuente:(Sández, 2008)

El propósito que poseen la geometría de los cuerpos es la de disminuir la resistencia al avance que se produce por el contacto con el aire al trasladarse a través del fluido. La diferencia que existe hoy en día entre los autos actuales con los de pasadas generaciones se basa en la necesidad de utilizar alas invertidas con el fin de obtener sustentación negativa, esto quiere decir que el vehículo se mantiene muchos más pegado al suelo. Estos efectos aerodinámicos que a los que está expuesto el auto son el tema a considerar en este apartado.(Sández, 2008)

2.4.2. Línea de corriente y trayectoria. Dentro de la mecánica de fluidos, cuando un cuerpo entra en contacto con el fluido este produce perturbaciones al avanzar por lo que a esta zona se la conoce como capa límite o línea de corriente.

En mecánica de fluidos, la línea de corriente o capa límite de un fluido es la zona donde el movimiento de éste es perturbado por la presencia de un sólido con el que entrará en contacto. La capa límite tiene como característica de que la velocidad del fluido respecto al sólido al moverse varía desde cero, producido por la condición de velocidad cero en la superficie del cuerpo, hasta

el 99% de la velocidad de la corriente inicial. La capa límite puede tener como características, ser un flujo laminar, turbulento o también laminar y turbulento. (Batlle, 2016)

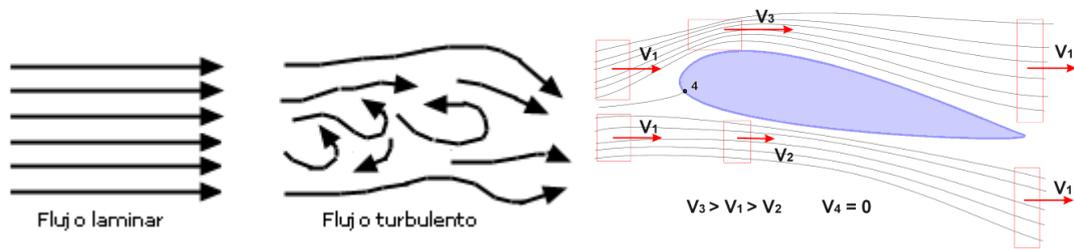


Figura 8-2: Trayectoria del flujo

Fuente: (Mcbeath, 2005)

Flujo laminar

El flujo es considerado laminar si todas las partículas que se trasladan dentro de un flujo o ráfaga de aire se trasladan en igual dirección que la velocidad del aire y en el mismo sentido de las líneas de flujo.(Mcbeath, 2005)



Figura 9-2: Flujo Laminar

Fuente: (Mcbeath, 2005)

Flujo turbulento

El flujo posee características turbulentas cuando las partículas de aire se trasladan de forma discontinua en caminos no paralelos a la velocidad media del aire, por tanto el flujo es considerado como turbulento.(Mcbeath, 2005)



Figura 10-2: Flujo Turbulento

Fuente: (Mcbeath, 2005)

Flujo laminar turbulento

Si el aire se traslada alrededor de un cuerpo como puede ser un automóvil, puede tomar la forma de su carrocería, en ese momento se consideraría como un flujo laminar, mientras si se desprende de la forma de la carrocería adoptaría un flujo turbulento.

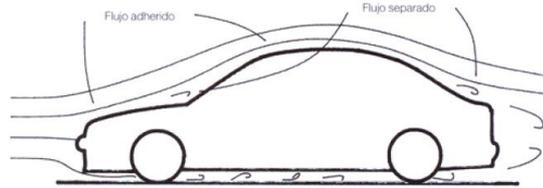


Figura 2.10. Flujos adherido y separado.

Figura 11-2: Flujo Laminar-Turbulento

Fuente: (Mcbeath, 2005)

2.4.3. Reynolds. Para estudios aerodinámicos, uno de los parámetros más conocidos y usados es el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re = 67,78 * V * L \quad (1)$$

Dónde ρ es la densidad del fluido, V la velocidad, L la longitud característica del sólido a estudiar y μ la viscosidad. La necesidad básica de este número es que no se trata de un número dimensional sino un cociente indicativo de la relación que existe entre los esfuerzos inerciales y viscosos producidos sobre un cuerpo. Cuando el fluido se encuentra demasiado influenciado por la viscosidad, las líneas producidas por la corriente son paralelas y organizadas. A este flujo se lo considera **laminar**, lo que conlleva números de Reynolds pequeños. En cambio, cuando se produce altos números de Reynolds, el flujo se toma en cuenta como **turbulento**.

Para números de Reynolds elevados, lo mejor es que la capa límite pueda ser de carácter lo más laminar posible, permitiendo que el coeficiente de fricción sea lo menor posible. Debido a esto cuando la capa límite sobrepasa la zona de transición y se transforma en turbulenta, al seguir teniendo las mismas características del inconveniente (igual número de Reynolds) el coeficiente de fricción incrementa de forma brusca apoyando de esta forma al aumento de la resistencia al aire.

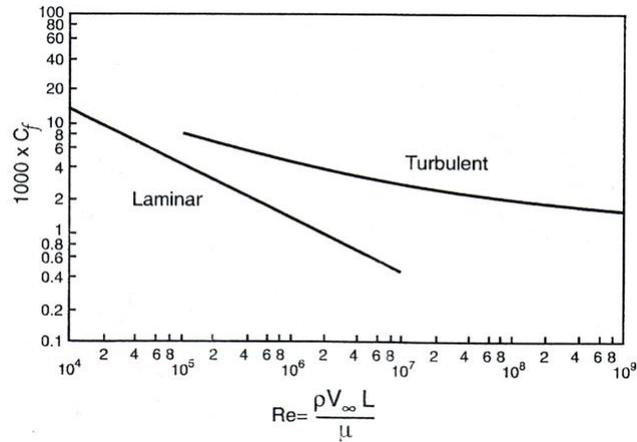


Gráfico 12-2: Coeficientes de presión en función del número de Reynolds de una placa plana
Fuente: (López Rivadulla Sáenz, 2008)

$0 \leq Re \leq 2000$ Flujo es laminar

$2000 \leq Re \leq 4000$ Flujo es Transitorio

$Re \geq 4000$ Flujo es Turbulento

2.4.4. Mach. Se relaciona la velocidad local de flujo y la velocidad local del sonido que se produce dentro del fluido, además es un cálculo adimensional. El número mach depende principalmente de la temperatura, su utilización es frecuente en el área de la aeronáutica para comprobar la forma en que se comporta del fluido.

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (2)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T} \quad (3)$$

Dónde:

M = Número de Mach

V = Velocidad del móvil [m/s]

V_s = Velocidad de transmisión del sonido [m/s]

K = Constante = 1,4

R = Constante de los gases = 287 [J/ kg * K]

T = Temperatura del lugar de estudio. [K]

En la mecánica de fluidos el número mach se lo relaciona con los gases para corroborar si este puede ser compresible o incompresible.

$Mach \leq 0,3$ Fluido incompresible

$Mach \geq 0,3$ Fluido compresible

2.5. Fuerzas aerodinámicas actuantes.

En un proceso mecánico al interactuar dos sólidos, las fuerzas que se producen y transmiten son en el punto de contacto. Por lo que un sólido al interactuar con el aire, las moléculas del aire próximas producen una distorsión, empezando a moverse alrededor del sólido. El aire puede cambiar su forma, trasladándose alrededor del sólido y produciendo contacto físico en toda su área de contacto. Por eso, el “punto de contacto” producidas por las fuerzas aerodinámicas son todos los puntos que se encuentran en la superficie del cuerpo.

Para la magnitud de las fuerzas interfieren el aire y el sólido, en el caso de nosotros el automóvil. Las propiedades primordiales del aire a tener en cuenta son: su viscosidad y su densidad a lo que conlleva a su compresibilidad.

Al referirnos con el automóvil debe considerarse su forma, su acabado superficial, el área de contacto con el aire y muy importante la velocidad relativa entre el automóvil y el aire.

Esto nos lleva a que, en cada punto de la superficie del automóvil, se encuentren ubicados dos fuerzas, una fuerza de presión, normal a la superficie del sólido y otra fuerza de rozamiento, tangente al área del cuerpo, producido por la viscosidad del aire.(De Jodar, 2011)

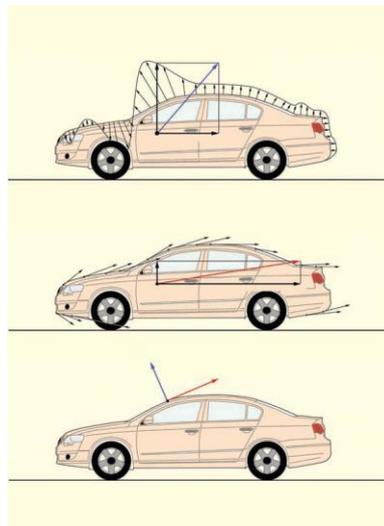


Figura 13-2: Fuerzas aerodinámicas

Fuente: (De Jodar, 2011)

2.5.1. Carga aerodinámica. Es la sustentación negativa la cual utiliza básicamente el aire para que el vehículo se mantenga en contacto con el piso, lo cual se llega a obtener con la ayuda de una presión producida por el aire. Esto es posible obtener cuando la presión del aire es baja en la parte inferior y en la parte superior una cantidad elevada de presión de aire, con esta fuerza su estabilidad es muy influyente, para su medición se lo realiza desde la parte central del vehículo y en el centro de la distancia entre ejes. (Darwin Chimbo C., 2016)



Figura 14-2: Cargas aerodinámicas

Fuente: (Darwin Chimbo C., 2016)

2.5.2. Coeficiente de sustentación. El coeficiente de sustentación se lo simboliza como C_z , a cambio de C_l . Como también se utiliza su contrario, el coeficiente de anti sustentación, que utiliza la fuerza de anti sustentación (componente en dirección negativa de la fuerza aerodinámica) y el producto de la presión dinámica del fluido en este caso el aire por el área característica. Normalmente utiliza como referencia la superficie del área frontal del vehículo, también en ocasiones se utiliza el área de la proyección en planta. (De Jodar, 2011)

2.5.3. Resistencia Aerodinámica. Esta fuerza esta direccionada con el desplazamiento del cuerpo, pero en sentido opuesto de éste, es decir, se resiste al movimiento.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A_d \quad (4)$$

ρ : Densidad del fluido

v^2 : Velocidad relativa entre el fluido y el cuerpo

C_d : Coeficiente de resistencia al avance

A_d : Superficie del cuerpo proyectada en la dirección de desplazamiento

Partiendo de la fórmula anterior, sin tomar en cuenta el término CD , llegamos a la expresión para el coeficiente “drag”, el cual nos servirá más adelante para comparar algunos diseños creados en el estudio aerodinámico. Este coeficiente es adimensional y sirve para cuantificar la resistencia al

avance de un cuerpo en medio de un flujo. Cuando el valor sea mayor, obtendrá mayor resistencia al avance. (Batlle, 2016)

$$Cd = \frac{2 \cdot Fd}{\rho \cdot v^2 \cdot Ad} \quad (4)$$

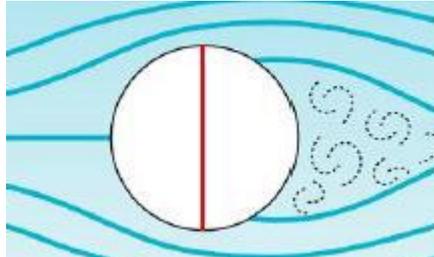


Figura 15-2: Resistencia aerodinámica

Fuente: (Batlle, 2016)

2.5.4. Coeficiente de arrastre. Es un parámetro frecuentemente utilizado en el diseño de automóviles que va relacionado con los efectos aerodinámicos. Ya que la resistencia aerodinámica incrementa con el cuadrado de la velocidad, al tener un valor bajo es más aceptable que uno alto. Al tener 60% de la potencia requerida para trasladarse a velocidades de carretera es utilizada para mejorar los efectos aerodinámicos, minimizar nos ayudaría directamente a mejorar la eficiencia del combustible.

Para los diseñadores es importante el área de superficie ya que permitiría obtener importantes ahorros potenciales en costos de combustible. (De Jodar, 2011)

2.5.5. Fineza. La fineza o eficiencia aerodinámica relaciona el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia, permite obtener el valor de la eficiencia aerodinámica, su cálculo es realizado con la ecuación que se presenta a continuación.

$$f = \frac{F_L}{F_D} = \frac{C_L}{C_X} \quad (6)$$

Dónde:

f = Fineza

FL = Carga aerodinámica [kg]

Fd = Fuerza de arrastre o resistencia [kg]

CL = Coeficiente de sustentación

CX = Coeficiente de resistencia

2.5.6. Potencia absorbida. Se considera como la cantidad de trabajo producida por un elemento o maquina en un tiempo determinado. En la dinámica del automóvil o aerodinámica se utiliza como un parámetro que nos ayuda a obtener la potencia necesaria para ganar a una carga aerodinámica. Se puede obtener mediante la siguiente ecuación.

$$CV \text{ Absorvidos por la resistencia} = \frac{C_x * A * V^3}{1225} \quad (7)$$

Dónde:

CV = Potencia Absorbida [Hp]

Cx = Coeficiente de arrastre

A = Área [m²]

V = Velocidad [m/s]

2.6. Mecanismos aerodinámicos vehículos de competencia

Para un estudio se ha visto muy importante tomar en cuenta algunos aspectos como son los conocimientos teóricos del tema que van de la mano con la mecánica de fluidos, el comportamiento y funcionamiento que poseen varios de los elementos aerodinámicos y finalmente el diseño de uno de los elementos

Al haber culminado con la primera área del proyecto, se comienza con estudio de los diferentes elementos aerodinámicos. Aquellos que ayudan a maximizar la carga aerodinámica, produciendo la menor resistencia al avance posible y como complemento varios que han sido creados en los últimos tiempos y tienen como objetivo el de anular los efectos de alguno de los elementos creados anteriormente.(Vázquez, 2016)

2.6.1. Alerón. Estudio de los diferentes tipos de alerones; delanteros, traseros y laterales. Las funciones principales de un alerón son reducir y optimizar la resistencia que produce el vehículo al trasladarse a través del aire y conseguir que la adherencia y el apoyo del coche con el piso firme sea mayor. Cuanto más suave sea la forma en la que el coche 'corte' el aire, el desempeño del vehículo será mejor. Si al atravesar el fluido se lo realiza de manera progresiva, la resistencia bajará.

Al aumentar la adherencia del neumático al suelo, se logra mejorar también la seguridad del vehículo, especialmente cuando éste gira en una curva. No obstante, no se debe olvidar de no descompensar el peso de los ejes.(De Jodar, 2011)



Figura 16-2: Alerón

Fuente: (De Jodar, 2011)

2.6.2. Morro. Es el primer elemento que se pone en contacto con el flujo de aire y donde se produce la alta presión por el encuentro directo de las corrientes de aire. Además, tiene como objetivo direccionar el flujo del aire a los demás elementos de la carrocería, su forma y tamaño son muy importantes para ayudar a la disminución de la resistencia aerodinámica.

Para su diseño se debe considerar el tamaño del atenuador de impactos ya que irá ubicado en la parte interna de la nariz. (Arteaga, Mena, Caiza, & Vilaña, 2015)

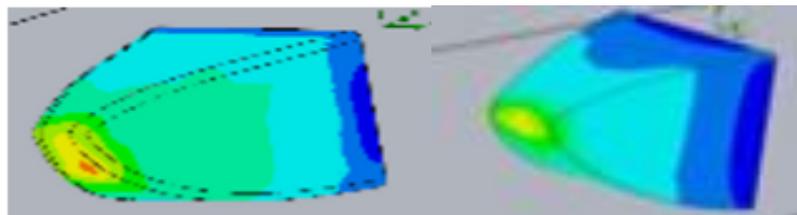


Figura 17-2: Morro

Fuente: (Arteaga, Mena, Caiza, & Vilaña, 2015)

2.6.3. Pontones. Su objetivo al ser ubicados es el de ayudar al sistema de refrigeración tanto de agua y aceite. Ya que para la refrigeración del motor se necesita que exista un alto flujo de corrientes de aire y esto se obtiene con la aplicación el efecto Venturi donde se disminuye la sección para conseguir menor presión y aumentar la velocidad del flujo.

El flujo de aire se expone al impacto directo sobre el radiador por lo que provoca el aumento de la resistencia aerodinámica.

Los criterios a tomar en cuenta para los pontones es que se produzca una presión reducida en el interior y exterior del ducto, la velocidad del flujo debe ser constante y lograr obtener 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.(Arteaga et al., 2015)

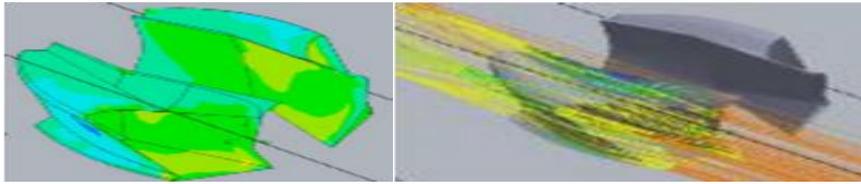


Figura 18-2: Pontones

Fuente: (Arteaga, Mena, Caiza, & Vilaña, 2015)

2.6.4. Fondo plano. El fondo plano es el elemento con mayor responsabilidad de generar carga aerodinámica. El fondo plano cubre la parte inferior del coche, se introdujo como elemento conductor del aire para poder direccionar el paso de este por debajo del vehículo.

Para su diseño es tomado en cuenta el principio de Bernoulli donde es mejor tener un área de entrada menor que en la parte de salida. Este elemento trabaja de la mano con los alerones delantero y posterior.

También son elementos importantes, para obstruir el ingreso de aire por los laterales, efecto que produciría las indeseadas turbulencias.(Vázquez, 2016)

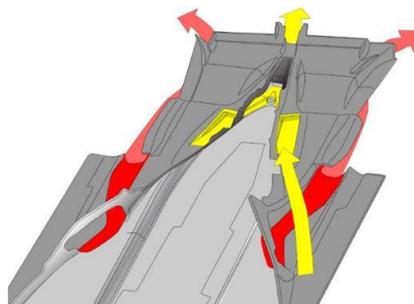


Figura 19-2: Fondo Plano

Fuente: (Vázquez, 2016)

2.6.5. Difusores. Es un elemento afilado que normalmente se ubica en la parte inferior del vehículo. Pueden ser ubicados en la parte posterior, o muy cerca de las ruedas traseras. Un difusor por lo general tiene una forma de curva y normalmente suele terminar muy cerca del final del vehículo.

El difusor tiene dos funciones:

Reducir el arrastre.

Reducir la altura.

La parte posterior del vehículo es donde se produce la mayor cantidad de turbulencia. El aire que circula rápidamente por debajo del coche, tiende a encontrarse con un aire lento, y esta gran diferencia de velocidad produce mayores turbulencias, que también generan un arrastre no deseado y que provocaría una pérdida de agarre.(De Jodar, 2011)

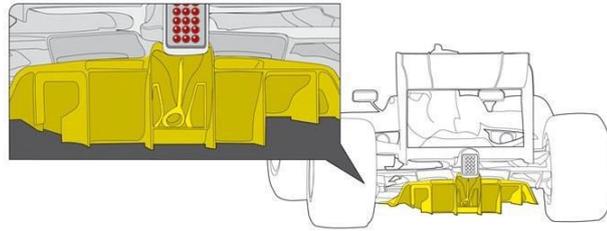


Figura 20-2: Difusores

Fuente: (De Jodar, 2011)

2.7. Métodos para el análisis aerodinámico

2.7.1. Herramientas CFD. Una de las alternativas a los túneles de viento, donde se realiza un análisis CFD (Computational Fluid Dynamics), es una rama de la mecánica de fluidos que se apoya de métodos numéricos y algoritmos para solucionar y analizar problemas que se relacionan con el flujo de fluidos.

Se utilizan computadoras que ayudan con el cálculo también la simulación de líquidos y gases con las superficies y condiciones a las que se puede estar expuesto un elemento y funcionan de la siguiente manera:

Se define la geometría y parámetros del problema.

El volumen utilizado por el fluido se separa en segmentos estancos separados (la malla). Esta puede ser uniforme o no uniforme.

Se establecen las condiciones de contorno. Se refiere a especificar el comportamiento y las características que poseen los fluidos en los límites del problema. Las condiciones iniciales también son establecidas cuando un problema se torna transitorio.

Las ecuaciones se logran resolver iterándolas cuando la simulación ha dado inicio como si estuviese en condiciones estables y transitorios.

Al final, utilizando un post procesador se realiza el análisis y la visualización de los resultados.(De Jodar, 2011)

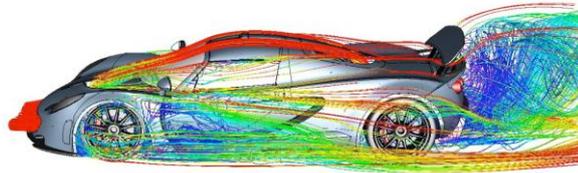


Figura 21-2: Herramientas CFD

Fuente: (De Jodar, 2011)

2.7.2. Túnel de viento. En ingeniería, un túnel de viento es utilizado como una herramienta de investigación construida para proporcionar el estudio de los efectos del movimiento del aire sobre elementos sólidos. Con la ayuda de esta herramienta se simulan las condiciones a las que estará expuesto el elemento de la investigación en una situación real. Dentro del túnel de viento el elemento a ser analizado permanece estático y el fluido o gas es propulsado. Son empleados con el fin de estudiar las consecuencias y resultados que se obtienen al exponer a los elementos a un baño de aire y este estudio se lo puede realizar a varias áreas como en el automóvil, aviones, naves espaciales, edificios, puentes. (De Jodar, 2011)



Figura 22-2: Túnel de Viento

Fuente: (De Jodar, 2011)

CAPITULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL FONDO PLANO Y DIFUSORES

3.1. Parámetros de diseño del fondo plano y difusores posteriores

El fondo plano y los difusores posteriores considerados uno de los elementos aerodinámicos más importantes de los vehículos de competencia debido a que proporciona cerca de la mitad del downforce, nos permite aumentar la velocidad al tomar una curva, sin variar las condiciones de velocidad al trasladarnos en rectas.

Los difusores trabajan en conjunto con el fondo plano acelerando el flujo de aire que pasa por debajo del vehículo, por lo que mientras más aire circule, este debe pasar a mayor velocidad, conocido como el principio de Bernoulli, de esta manera producir menor presión. La diferencia de presiones generadas en el fondo plano nos permitirá obtener el downforce lo que produce que el vehículo se encuentre más cerca del asfalto.

Los parámetros de entrada a ser considerados al momento de producir el análisis y la simulación del fondo plano deben ser de acuerdo a las condiciones a los que va a ser expuesto como la temperatura, presión atmosférica, velocidad del prototipo. La ciudad a tomar en cuenta será Michigan, Estados Unidos donde se producen las competencias más importantes de Fórmula SAE, de la cual se obtendrán los parámetros necesarios y a ser utilizados al realizar las simulaciones.

Temperatura Máxima: Los datos proporcionados por el portal CLIMATE-DATA.ORG nos da como un valor de temperatura máximo que se ha producido en la ciudad es de $29,5\text{ }^{\circ}\text{C} = 302,65\text{ K}$ (Climate data)

Presión Máxima: los datos proporcionados nos dan un valor de $101030\text{ Pa} = 0.997088576\text{ atm}$

Velocidad del Prototipo: Este dato será tomado en cuenta según el reglamento de la Fórmula SAE donde establece una velocidad máxima de $75\text{ Km/h} = 20,83\text{ m/s}$, de igual manera también será tomada en cuenta la velocidad de $90\text{ Km/h} = 25\text{ m/s}$ donde la mayor parte de elementos aerodinámicos comienzan a funcionar.

Las dimensiones utilizadas para la formación del túnel de viento dentro del software son las siguientes:

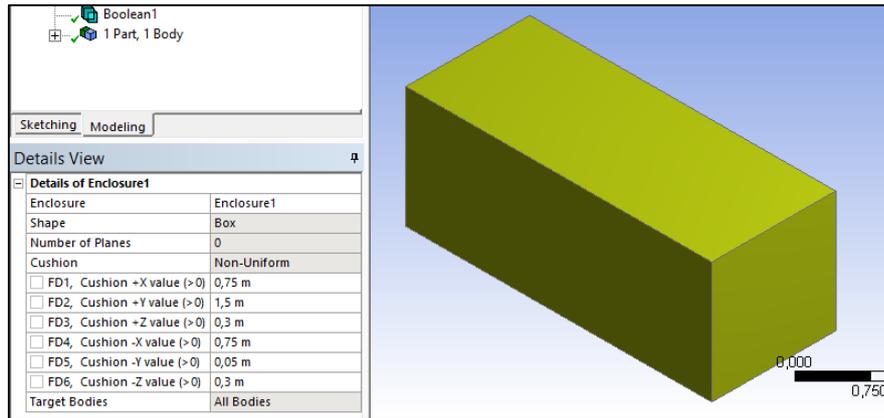


Figura 1-3: Formación del Túnel de Viento

Fuente: Autores

Con los datos de los parámetros ya mencionados en este capítulo, ecuaciones y consideraciones ya establecidas en el capítulo anterior se dará paso a realizar los cálculos necesarios para obtener diferentes datos como son el número de Reynolds y de Mach los cuales se procederán a desarrollar.

Donde:

$$Re = 67,77 * v * l \quad (1)$$

$$Re = 67,77 * 20,83 \frac{m}{s} * 2,77 m$$

Re = 3910,26 El Flujo es Transitorio

Y

$$M = \frac{v}{V_s} \quad (2)$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T} ; K = cte = 1,4 \quad R = cte = 287 \frac{J}{kg * K} \quad (3)$$

$$V_s = \sqrt{1,4 * 287 \frac{J}{kg * K} * 302,65 K}$$

$$V_s = 348,71 m/s$$

$$M = \frac{20,83 \frac{m}{s}}{348,71 \frac{m}{s}}$$

$M = 0,059$ El flujo es incompresible

3.2. Variables de diseño del fondo plano y difusores

Las principales variables para el diseño del fondo plano para el vehículo de competencia SAE son descritas en el apartado anterior sin embargo serán profundizadas en este capítulo.

Las variables involucradas para el diseño son el modelo, la geometría (dimensiones y configuración) y de las propiedades de los materiales que atenúan altos esfuerzos provocado por las cargas aerodinámicas de dichas geometrías.

3.2.1. Modelos. El fondo plano encargado de generar un vórtice el cual extraiga el aire debajo del monoplaza, tiene la forma de un plano llano paralelo a la horizontal del piso sin embargo se realiza una modificación de conductos que permitan direccionar el flujo de aire hacia los difusores los cuales a más de incrementar la carga aerodinámica aumenta suavemente la presión del aire para que se incorpore a la presión del ambiente, estos dispositivos deben procurar estar dentro del reglamento Fórmula SAE. (Vázquez, 2016)

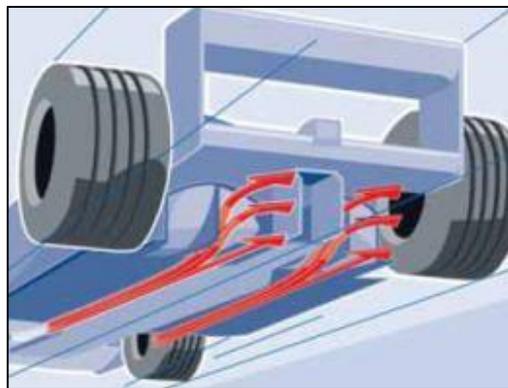


Figura 2-3: Flujo de aire hacia el difusor

Fuente: (seas@formula1-diccionario)

Los difusores utilizados en vehículos de competencia son: el doble difusor, difusor soplado, difusor convencional.

El difusor convencional mayormente utilizado porque permite diseñar varias formas geométricas y configuraciones de acuerdo a requerimientos de los equipos más adelante se realizará un análisis de formas que permitan aprovechar este tipo de difusor.

Los difusores dobles canalizan el flujo de aire mediante un orificio en la parte superior del mismo haciendo que expulsen más flujo de aire recibido de los costados. La FIA prohibió este tipo de difusor porque superaba las medidas permitidas de carga ya que aprovechaba el aire que fluía por el exterior del monoplaza.

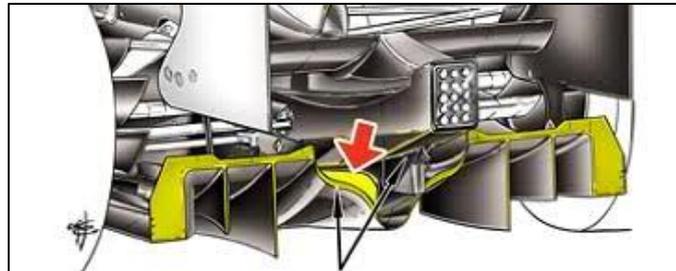


Figura 3-3: Doble difusor EQ. Brown GP

Fuente: (TECHNICAL, 2007)

El detalle del difusor soplado consiste en reunir los gases de escape que salen de los conductos de escape para redirigir hacia los difusores, aumentando la capacidad de succión de aire del fondo plano. Para que esta propuesta funcione la aceleración del motor debe permanecer casi constante, este es ayudado gracias a programaciones de los mapas de funcionamiento de los motores.

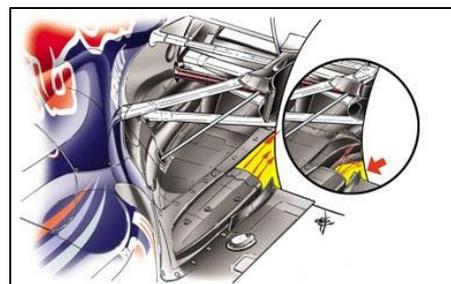


Figura 4-3: Difusor Soplado

Fuente: (Saryan, 2011)

3.2.2. Geometría y aerodinámica. Las variables de diseño consideradas de acuerdo a la geometría de los difusores están analizadas en Fluid Flow (Fluent) de ANSYS, Todos los diseños realizados son sometidos a las mismas condiciones de velocidad, presión y de frontera del encapsulado.

Tabla 1-3: Parámetros de estudio de los difusores

Velocidad	20.83 m/s
------------------	-----------

Presión atmosférica	101268 Pa
Frontera del encapsulado	+X 0.5m +Y 0.5m +Z 0.2m -X 0.5 m -Y 0.1m +Z 0.2m

Fuente: Autores

A continuación, se discuten propuestas de diseño de difusores de acuerdo a la velocidad de fluido, presiones y fuerzas aerodinámicas.

Difusor perfil recto

En el primer caso se estudia una geometría recta del difusor junto con una parte del fondo plano encargada de atenuar la carga producida además de distribuirla sobre la parte posterior del bastidor.

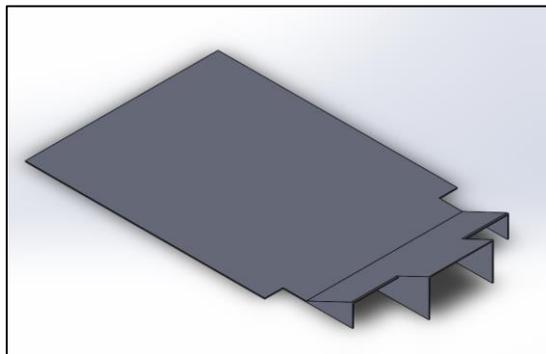


Figura 5-3: Difusor perfil recto

Fuente: Autores

Se observa en el contorno de presiones de la Figura 6-3 como que incrementa la presión positiva o de carga sobre el fondo plano justo en donde comienza el difusor propagándose aproximadamente hasta la mitad del difusor y de igual forma sobre el fondo plano. La presión de succión o negativa por debajo del perfil se distribuye como espejo a la presión positiva cabe mencionar que dicha presión se concentra sobre la arista de unión del fondo plano con el difusor.

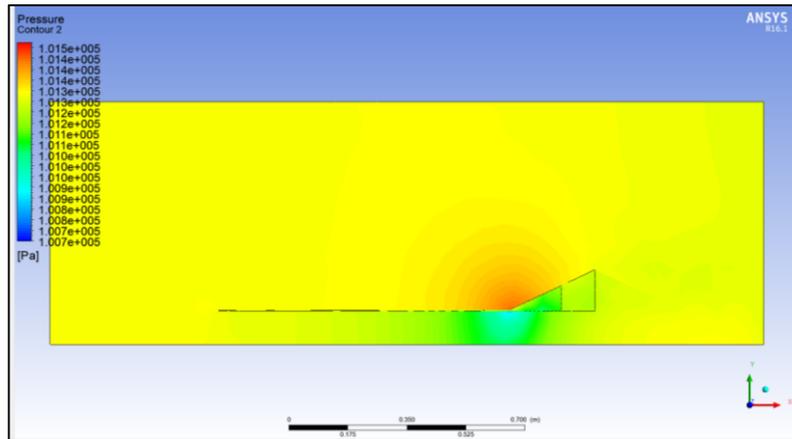


Figura 6-3: Contorno de presión difusor perfil recto

Fuente: Autores

De acuerdo con las líneas de flujo observamos como la velocidad del flujo de aire incrementa progresivamente antes de elevarse por el difusor sin embargo antes de finalizar el difusor disminuye la velocidad ya que la capa limite se desprende a la salida, esto se produce porque el flujo de aire adquiere la velocidad del aire del ambiente produciendo una estela con o sin turbulencia.

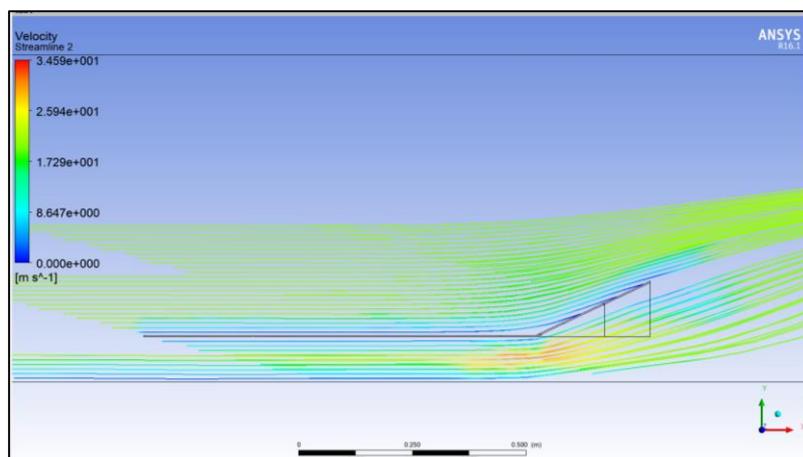


Figura 7-3: Trayectoria de las líneas de flujo por el difusor recto

Fuente: Autores

Difusor perfil curvo

Similar al diseño anterior ahora analizamos el fondo plano con un difusor de perfil curvo.

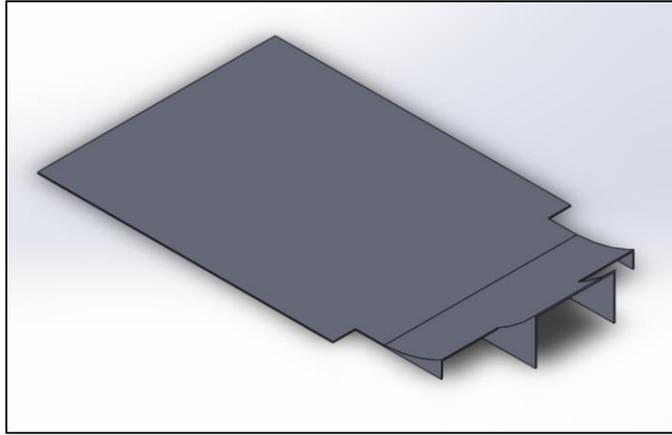


Figura 8-3: Difusor perfil curvo

Fuente: Autores

La carga aerodinámica positiva incrementa sobre todo el perfil curvo además de propagarse hacia el interior del fondo plano podemos decir este perfil tiene buenas características ya que la carga negativa de succión se distribuye por debajo del perfil hacia el interior del fondo plano y no se concentra en un solo punto como el diseño anterior.

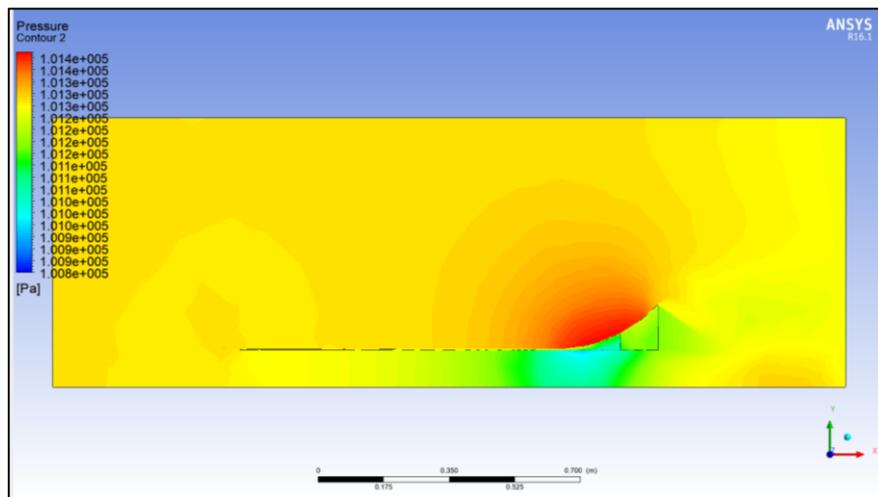


Figura 9-3: Contorno de Presión difusor perfil curvo

Fuente: Autores

Las líneas de flujo del aire por debajo del perfil del piso mantienen un incremento constante de la velocidad a la entrada y salida del difusor. La estela del flujo se desprende aproximadamente a la salida del difusor extrayendo con mayor velocidad el aire debajo del fondo plano.

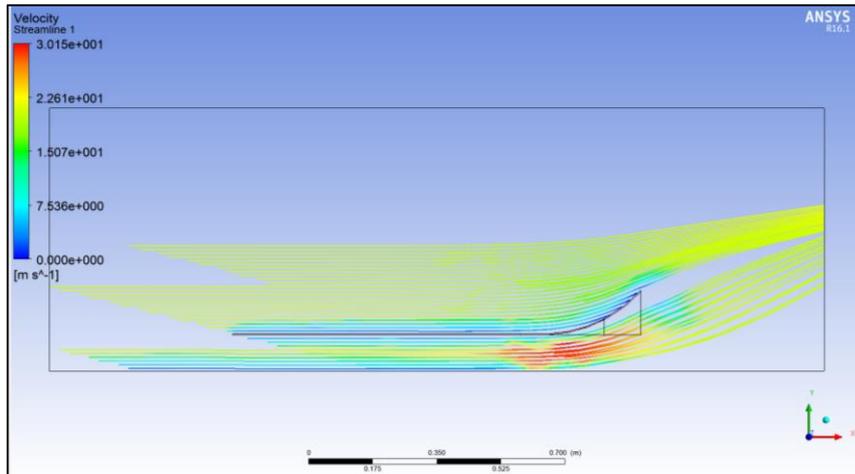


Figura 10-3: Trayectoria de las líneas de flujo por el difusor curvo

Fuente: Autores

Difusor perfil curvo pronunciado a los laterales

Este diseño basado en la geometría anterior trata de estudiar el comportamiento del difusor cuando se expanden con una curvatura a los laterales.

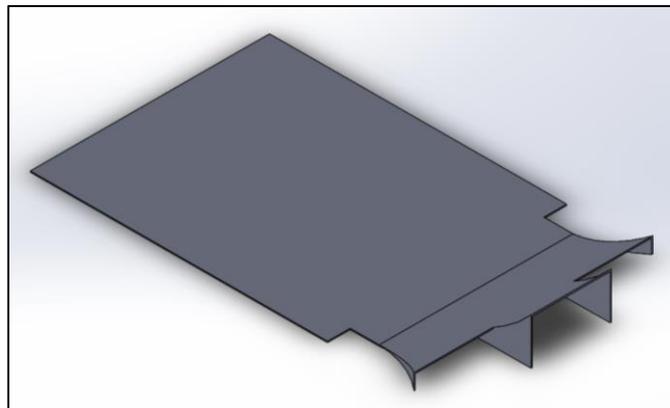


Figura 11-3: Difusor perfil curvo pronunciado a los laterales

Fuente: Autores

Se observa que la presión generada arriba del perfil se centra en la curva del difusor y muestra mayor carga aerodinámica en el difusor además de propagarse hacia el fondo plano disminuyendo progresivamente la carga. La presión de succión similar a una imagen espejo a la carga positiva se distribuye progresivamente sin concentrarse en un solo punto del difusor y el fondo plano.

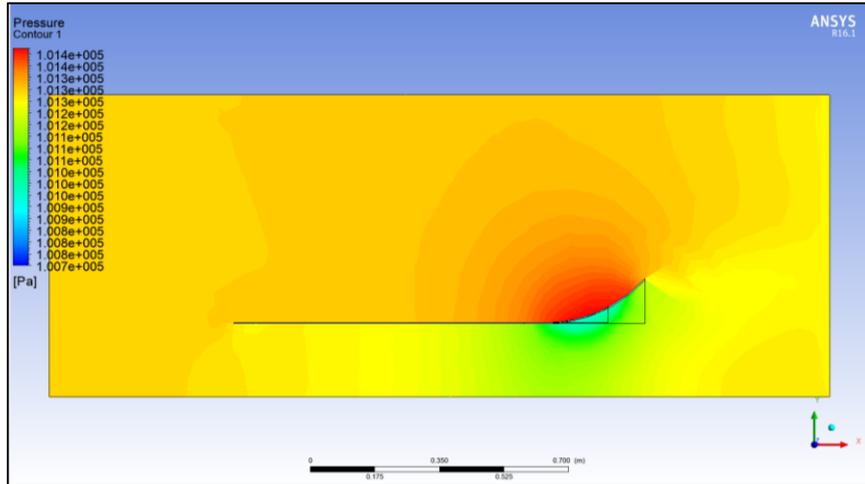


Figura 12-3: Contorno de Presión difusor perfil curvo expandido

Fuente: Autores

A diferencia de los anteriores difusores estudiados este incrementa la velocidad del flujo de aire del fondo plano desde más adentro para extraer una mayor cantidad de aire por debajo. Esto indica que la estela de aire extraído se expandirá y tomará la velocidad normal del aire por fuera del difusor y de la parte posterior del monoplaza.

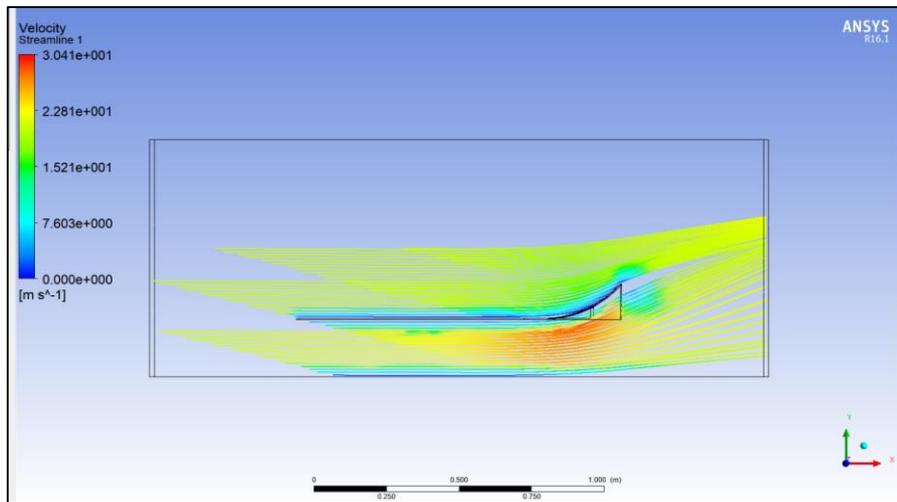


Figura 13-3: Trayectoria de las líneas de flujo por el difusor curvo expandido

Fuente: Autores

Tabla 2-3: Resultados de los difusores ensayados en ANSYS Fluent

Variables de diseño difusores	Carga Fy [N]	Resistencia Fx [N]	Presión Max Pmax [Pa]	Presión Min Pmin [Pa]	Velocidad [m/s]
Difusor perfil recto	-75.9892	14.5918	101512	100683	34.5887
Difusor perfil curvo	-78.2349	15.1004	101427	100827	30.1456
Difusor perfil curvo pronunciado	-78.0661	16.1702	101434	100727	30.4117

Fuente: Autores

3.2.3. Material para la construcción del fondo plano y difusores. La selección de materiales que soporten esfuerzos aerodinámicos, depende de las propiedades físicas y mecánicas de los mismos considerando que es mejor si el material de construcción es liviano y soporten las cargas anteriormente mencionadas. Los materiales compuestos son los más utilizados en competencia automovilística a continuación se muestra las densidades y resistencias de los materiales compuestos que se utilizan.

Tabla 3-3: Propiedades de las fibras más utilizadas en vehículos de competencia

Materiales	Peso específico, ρ (kN/m ³)	Tensión límite en tracción, $\sigma_{\text{lim,t}}$ (GN/m ²)	$\sigma_{\text{lim,t}} / \rho$ 10 ³ m	Módulo elástico, E (GN/m ²)	E / ρ 10 ⁶ m
Aluminio	26,3	0,62	24	73	2,8
Titanio	46,1	1,9	41	115	2,5
Acero	76,6	4,1	54	72	2,7
Vidrio E	25,0	3,4	136	86	2,9
Vidrio S	24,4	4,8	197	190	3,5

Carbono	13,8	1,7	123	190	14
---------	------	-----	-----	-----	----

Fuente: (Hermenegildo Rodríguez Galbarro)

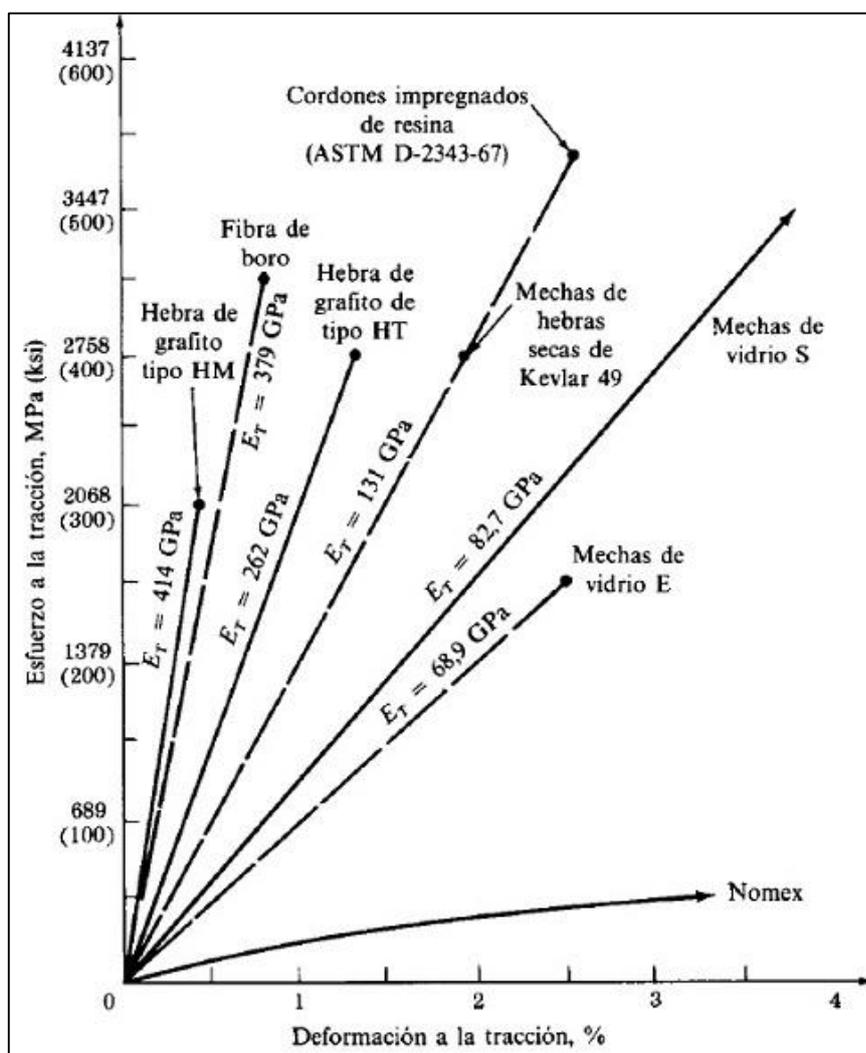


Figura 14-3: Diagrama Esfuerzo - deformación materiales reforzados con fibras.

Fuente: (Hermenegildo Rodríguez Galbarro)

La fibra de carbono también conocido como CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) es el material más utilizado en los vehículos de competencias y de producción, las características de este material compuesto reducen el peso de las piezas y le dan mayor rigidez debido a su composición de átomos de carbono en forma de fibras de un diámetro de 10 micrones, trenzados para formar una sola tela de fibras de carbono que junto con una resina termoestable todo esto acompañado de un proceso de curado en vacío o en ambiente procurando que se compacte el refuerzo y la matriz. (STEFANO, 2017).

3.3. Diseño del fondo plano con difusores para el vehículo Fórmula SAE

3.3.1. Consideraciones de diseño del fondo plano con difusores. Para realizar un diseño dispuesto para competencia hay que tomar en cuenta los parámetros y variables anteriormente estudiadas en este capítulo además considerar la mejor propuesta del diseño para la construcción. Estos diseños se ajustarán a las dimensiones y sistemas del vehículo Fórmula SAE además de mejorar la aerodinámica se estudiará las propiedades físicas del material con el que se va a construir ya que estos puntos influyen en la sustentación y el peso del prototipo que está dispuesto para la Fórmula SAE.

3.3.2. Alternativas de diseño del fondo plano y difusores. Se diseñó tres modelos de fondos planos que se ajusten a las características del chasis y la carrocería. Además, se consideró el piso construido en un anterior trabajo como base para mejorar la eficiencia aerodinámica variando la forma y número los difusores acortando la superficie del fondo plano bajo el reglamento actual de la Fórmula SAE 2017-2018.

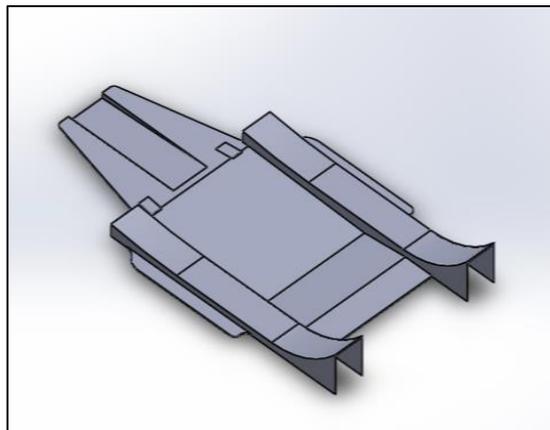


Figura 15-3: Fondo plano Fórmula SAE 2016

Fuente: (Darwin Chimbo C., 2016)

Partiendo del reglamento vigente y de trabajos anteriormente realizados, con la ayuda del software CAD Solidwork y de los variables estudiadas en este capítulo se construyeron los diseños para el fondo plano que se ajustan a las dimensiones del bastidor y chasis para posteriormente ser analizadas en ANSYS Flow Fluid (FLUENT) donde seleccionara el mejor modelo para la construcción.

Se realizan los procesos de extrucción desbaste, vaciados y redondeos necesarios para el modelado final de los diseños.

Al variar los diseños cada modelo obtendrá diferentes valores de velocidad del flujo del aire, presión y fuerza tanto de arrastre como de sustentación que mejora o mantiene la aerodinámica del vehículo de competencia Fórmula SAE

A continuación se muestran y describen tres diseños construidos:

3.4.1. *Diseño 1 Fondo plano con un difusor principal*

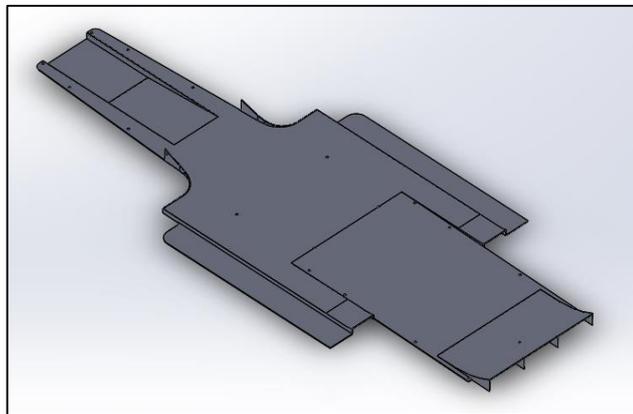


Figura 18-3: Fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

El fondo plano está constituido por una toma de aire de 250mm x 27mm en la parte frontal y 750mm de recorrido hasta intersectar con el plano horizontal del fondo plano que disminuye la cantidad del flujo de aire ingresado por debajo del mismo, hasta la sección de los difusores

En los costados se diseñó ductos que dirigen el flujo de aire por dentro del fondo plano y que además impiden el ingreso de aire del exterior. En la salida de los conductos tienen un pequeño difusor que incrementa la velocidad del flujo de aire hacia el exterior.

En este diseño se consideró un difusor principal curvo de tres secciones las dimensiones para la construcción son 600 mm de envergadura, largo de 300 mm y altura 70mm, que se ajusta a la disposición del bastidor, estas dimensiones no exceden a las medidas permitidas por el reglamento, la altura del difusor puede ser incrementada para mejorar la salida del flujo sin embargo el sistema de escape ubicado impide la elevación del difusor.

3.4.2. *Diseño 2 fondo plano con 2 difusores expandidos.*

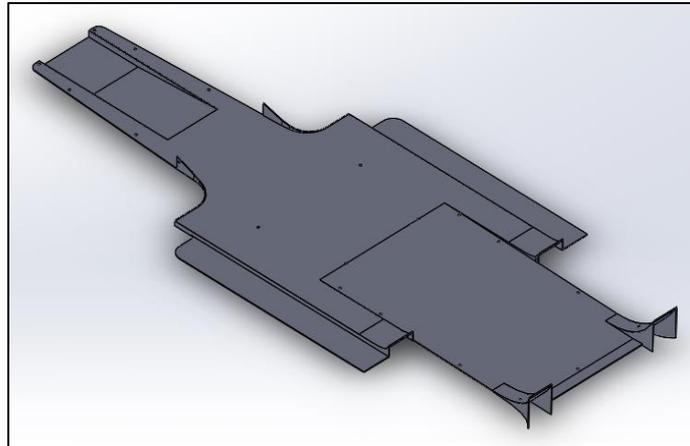


Figura 19-3: Fondo plano con 2 difusores expandidos

Fuente: Autores

El diseño del fondo plano es similar al anterior con la diferencia que tiene dos difusores expandidos uno en cada lado unido con una flap que ayuda en la evacuación del flujo de aire. Estos difusores tienen una particularidad que a medida que se ensanchan permiten direccionar el flujo de mejor manera. La sección del canal es curvo y más inclinada ya que la altura es el doble del difusor anterior lo que permite que la velocidad de salida del flujo permanezca constante a la salida y todo el aire dentro del fondo plano sea enviado a los costados y más alejado del monoplaza. El motivo por que se construyó de esta forma es debido al tubo de escape que interfiere en la expansión hacia adentro del difusor o la colección de otro difusor que reemplace al flap.

3.4.3. *Diseño 3 fondo plano con 3 difusores.*

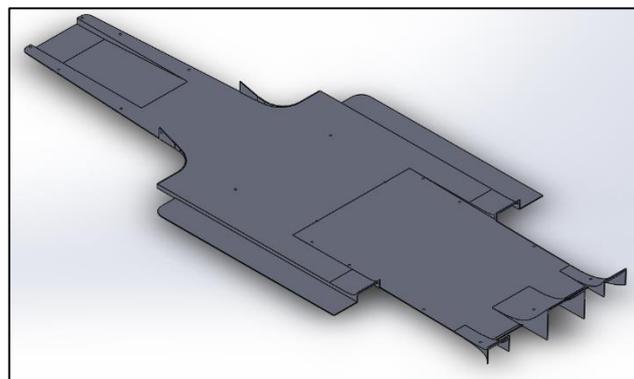


Figura 20-3: Fondo plano con 3 difusores

Fuente: Autores

Este diseño presenta un difusor principal de altura 150mm y dos difusores secundarios similar al diseño anterior con una altura de 78mm que permiten mayor evacuación del aire del fondo plano. Un flap separa el difusor principal del secundario, este diseño mejora la distribución de carga aerodinámica detrás del eje posterior del vehículo, los tres difusores se ajustan al bastidor además el tubo de escape del motor se acopla entre el difusor principal y el secundario del costado derecho.

3.5. Análisis Aerodinámico

Una vez construidos los diseños en el software CAD SolidWorks. Analizamos estas propuestas en CFD con la ayuda del módulo Fluent ANSYS procurando que las extensiones del archivo mantengan las características de compatibilidad entre los softwares y los análisis converjan. Las extensiones utilizadas son: .STEP .IGS entre otros. El formato STEP nos permite una mejor compatibilidad entre los softwares utilizados y transforma el modelo en una sola pieza de importación para él estudio.

Los parámetros y variables estudiados en este capítulo, necesario se detallarán de acuerdo a los requerimientos del análisis aerodinámico.

3.5.1. Dimensionamiento del encapsulado virtual o túnel de viento. El encapsulado del fondo plano abarca las dimensiones de ancho, altura y profundidad del fondo plano más el chasis del vehículo Fórmula SAE estudiado, cuyas coordenadas son las siguientes:

Details of Enclosure1	
Enclosure	Enclosure1
Shape	Box
Number of Planes	0
Cushion	Non-Uniform
<input type="checkbox"/> FD1, Cushion +X value (>0)	0.75 m
<input type="checkbox"/> FD2, Cushion +Y value (>0)	1.5 m
<input type="checkbox"/> FD3, Cushion +Z value (>0)	0.3 m
<input type="checkbox"/> FD4, Cushion -X value (>0)	0.75 m
<input type="checkbox"/> FD5, Cushion -Y value (>0)	0.05 m
<input type="checkbox"/> FD6, Cushion -Z value (>0)	0.3 m
Target Bodies	All Bodies

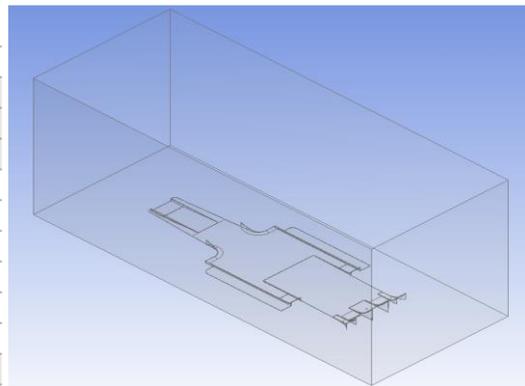


Figura 21-3: Dimensión del encapsulado del virtual túnel de viento

Fuente: Autores

3.5.2. Generación de malla. La calidad de los resultados de los análisis depende de las condiciones mallas utilizadas un mallas más fino o grueso, del método y del tipo, validaran si la malla es excelente o pésima en la siguiente figura muestra la forma de como verificar la calidad de la malla de acuerdo al criterio de Skewness Y Orthogonal Quality.

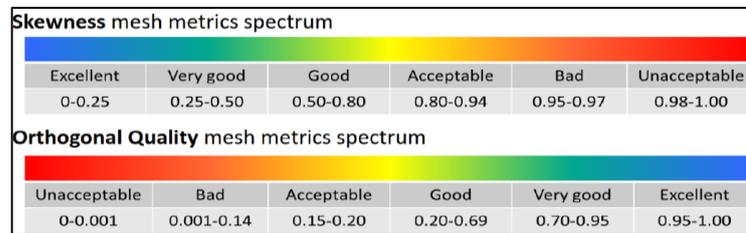


Figura 22-3: Criterios de Calidad de malla

Fuente: (Villacrés Toalombo Henry Israel, 2017)

Para ejecutar la solución de los tres diseños propuestos en el software se considerarán estas condiciones de entrada. A continuación, se desglosa el procedimiento utilizado para la simulación de los diseños y la obtención de resultados que ayudaran a comparar la mejor propuesta.

3.5.3. Solución y simulación aerodinámica del fondo plano con un difusor principal. Para el análisis y simulación de este diseño se consideran los siguientes parámetros y variables.

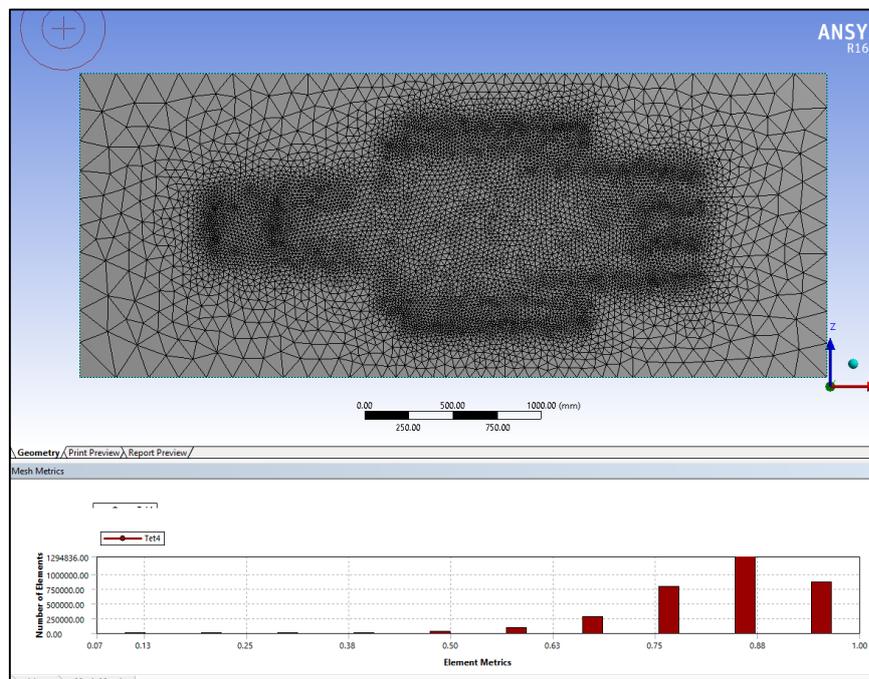


Figura 23-3: Mallado

Fuente: Autores

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	71241
<input type="checkbox"/> Elements	387730
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	3.6753e-003
<input type="checkbox"/> Max	0.99936
<input type="checkbox"/> Average	0.82477
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.11068

Gráfico 1-3: Parámetros de mallado

Fuente: Autores

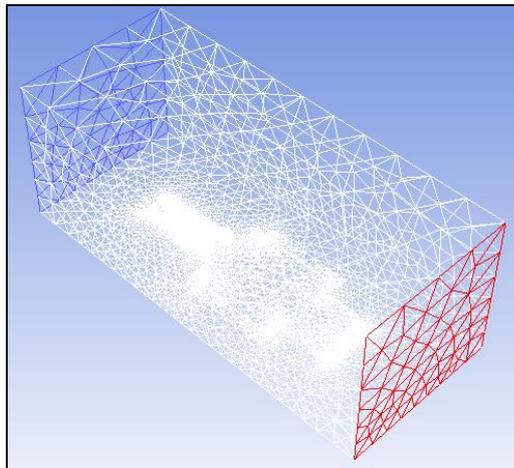


Figura 24-3: Parámetros de contorno del túnel de viento

Fuente: Autores

Los parámetros para el túnel de viento son las siguientes: Velocidad del aire en la cara frontal es de 20.83m/s y se denomina “inlet-velocity” (azul), para la cara posterior “pressure-outlet” (rojo) presión equivalente a la presión atmosférica, las superficies del fondo plano y difusores en contorno blanco denominado “wall-tunnel” y finalmente las caras restantes denominadas “wall” (blanco) representa las paredes del túnel de viento.

Tabla 4-3: Parámetros para la simulación del fondo plano con un difusor principal

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	71 241	Temperatura del fluido	302 K

Elementos	387 730	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Área frontal	0.07044 m ²
Malla máxima	0.99936	Velocidad	20.83 m/s
Malla promedio	0.82477	Presión estrada y salida	101030 Pa
Malla mínima	3.6753e-3	Numero de iteraciones	100

Fuente: Autores

Presión estática.

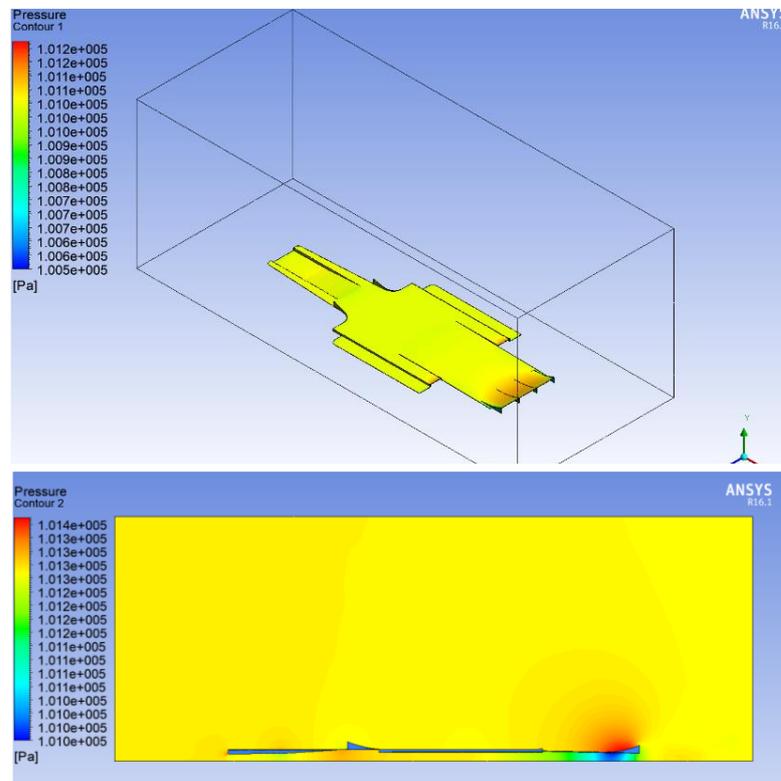


Figura 25-3: Contornos de Presión estática del fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

Como se muestra la Figura 25-3 la mayor concentración de carga aerodinámica se ejerce sobre el difusor principal. Mediante un plano de corte ubicado en la mitad del fondo plano observamos el efecto suelo generado que tiende a concentrarse justo en la raíz del difusor propagándose hacia los costados.

La Figura 49-3 muestra los siguientes resultados:

Presión máxima = 101 242 Pa

Presión mínima = 100 519 Pa

Velocidad.

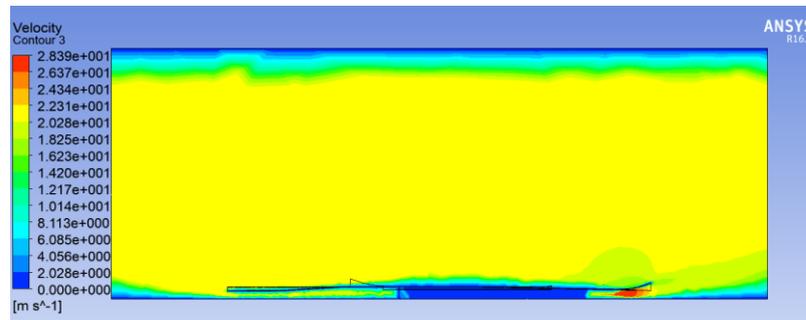


Figura 26-3: Contorno de velocidad fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

Podemos observar en la parte frontal del fondo plano ingresa una poca cantidad de aire, esta cantidad es extraída lo más rápido posible por los difusores que incrementan la velocidad de salida del flujo de aire como podemos notar. Entre la parte frontal anteriormente analizada y los difusores existe ausencia de velocidad del flujo de aire, esto tiene una razón el flujo de aire que atraviesa entra en contacto con la capa límite de la calzada y del fondo plano aumentando el espesor de esta capa, por este motivo las partículas de aire que están atravesando toman las mismas propiedades de la capa limite. Sin duda el gradiente de presión formado en los difusores apoya que esta capa limite incremente su espesor justo en la zona de desprendimiento de la capa limite (Anonimo)

La Figura 26-3 muestra los siguientes resultados:

Velocidad mínima = 0m/s

Velocidad máxima = 28.39m/s

Líneas de velocidad del aire en 3D.

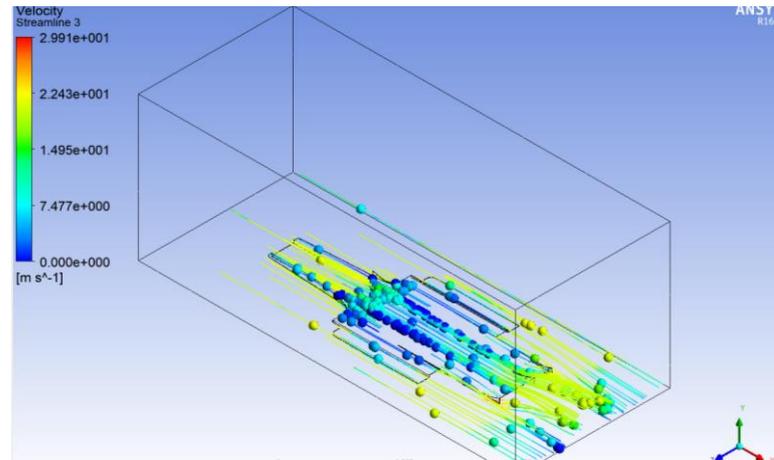


Figura 27-3: Trayectoria del flujo en 3D del aire atreves del fondo plano

Fuente: Autores

Energía cinética de turbulencia

En la Figura 28-3 se muestra el contorno producido por la energía cinética de turbulencia y se aprecia las zonas en el fondo plano donde existe mayor flujo de aire; el valor máximo es de 37.2027 J/kg y el valor mínimo es de 0.015364 J/kg.

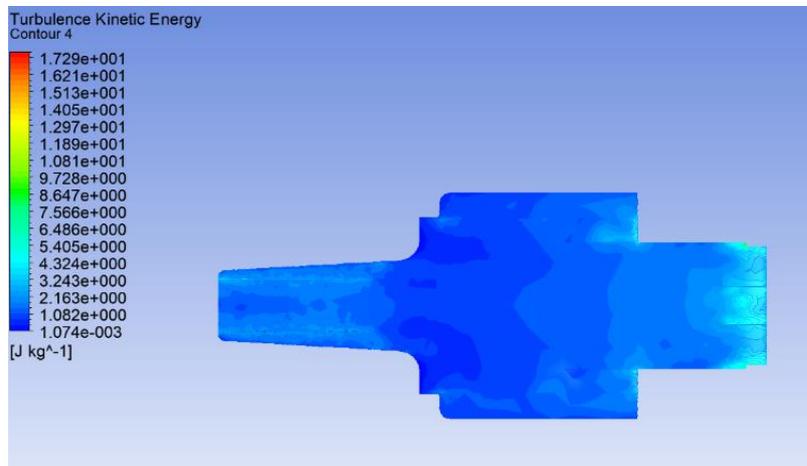
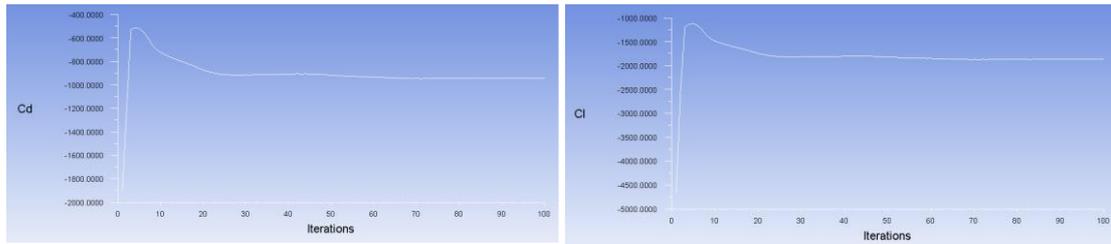


Figura 28-3: Energía cinética de turbulencia

Fuente: Autores



Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients	Viscous	Total
Pressure	7.3889144	3.2207593	10.609674	Pressure	71.059222	234.07995
Viscous				Viscous		
Net	7.3889144	3.2207593	10.609674	163.02072	71.059222	234.07995
Forces						
Zone	Forces (n)				Viscous	
Pressure	(7.3889144 -84.642899 -0.010378976)				(3.2207593 0.056840695 0.0022681145)	
Viscous						
Net	(7.3889144 -84.642899 -0.010378976)				(3.2207593 0.056840695 0.0022681145)	
Forces - Direction Vector (0 1 0)						
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients	Viscous	Total
Pressure	-84.642899	0.056840695	-84.586058	Pressure	1.2540694	-1866.212
Viscous				Viscous		
Net	-84.642899	0.056840695	-84.586058	-1867.466	1.2540694	-1866.212

Figura 29-3: Fuerzas y coeficientes aerodinámicos

Fuente: Autores

Tabla 5-3: Resultados análisis aerodinámico fondo plano con difusor principal

Fuerza X (N)	Fuerza Y (N)	Cd	Cl	Fineza
10.609674	-84.586050	0.5668	-4.5185	-7.97

Fuente: Autores

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \quad (5)$$

$$C_d = \frac{2 * 10.609674}{1.225 * 20.83^2 * 0.07044} = 0.5668$$

$$C_L = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \quad (6)$$

$$C_l = \frac{2 * -84.586050}{1.225 * 20.83^2 * 0.07044} = -4.5185$$

3.5.4. Solución y simulación aerodinámica del fondo plano con 2 difusores expandidos.

Para el análisis y simulación de este diseño se consideran los siguientes parámetros y variables.

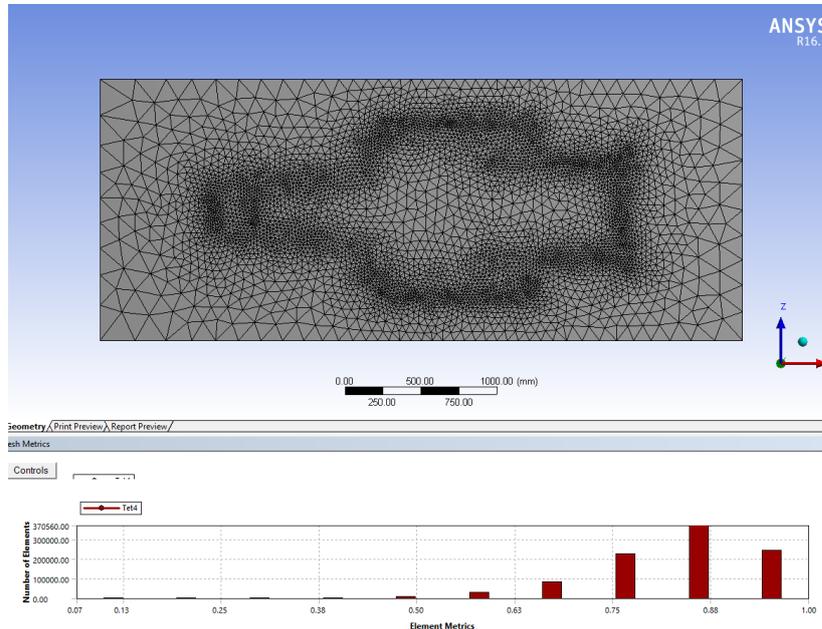


Figura 30-3: Mallado

Fuente: Autores

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	173468
<input checked="" type="checkbox"/> Elements	957554
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	6.5186e-002
<input type="checkbox"/> Max	0.99994
<input type="checkbox"/> Average	0.83393
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	9.8233e-002

Gráfico 2-3: Parámetros de mallado

Fuente: Autores

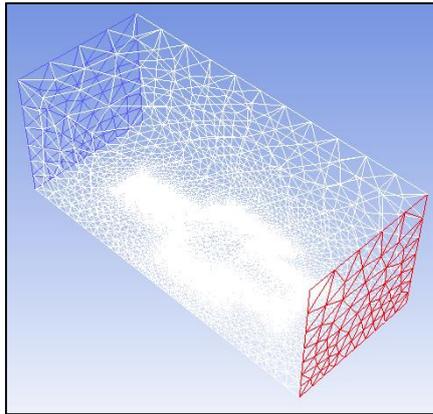


Figura 31-3: Parámetros de contorno del túnel de viento

Fuente: Autores

Los parámetros para el túnel de viento son las siguientes: Velocidad del aire en la cara frontal es de 20.83m/s y se denomina “inlet-velocity” (azul), para la cara posterior “pressure-outlet” (rojo) presión equivalente a la presión atmosférica, las superficies del fondo plano y difusores en contorno blanco denominado “wall-tunnel” y finalmente las caras restantes denominadas “wall” (blanco) representa las paredes del túnel de viento.

Tabla 6-3: Parámetros para la simulación del fondo plano con un difusor principal

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	173 468	Temperatura del fluido	302 K
Elementos	957 554	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Área frontal	0.089884m ²
Malla máxima	0.99994	Velocidad	20.83 m/s
Malla promedio	0.83393	Presión condiciones de entrada y salida	101030 Pa
Malla mínima	9.8223e-002	Numero de iteraciones	100

Fuente: Autores

Presión estática.

Como muestra la Figura 32-3 la mayor concentración de carga aerodinámica se ejerce sobre el difusor. Mediante un plano de corte ubicado en el difusor observamos el efecto suelo generado que tiende a concentrarse debajo de todo el perfil del difusor.

La figura 32-3 muestra los siguientes resultados:

Presión máxima = 101 211 Pa

Presión mínima = 100 218 Pa

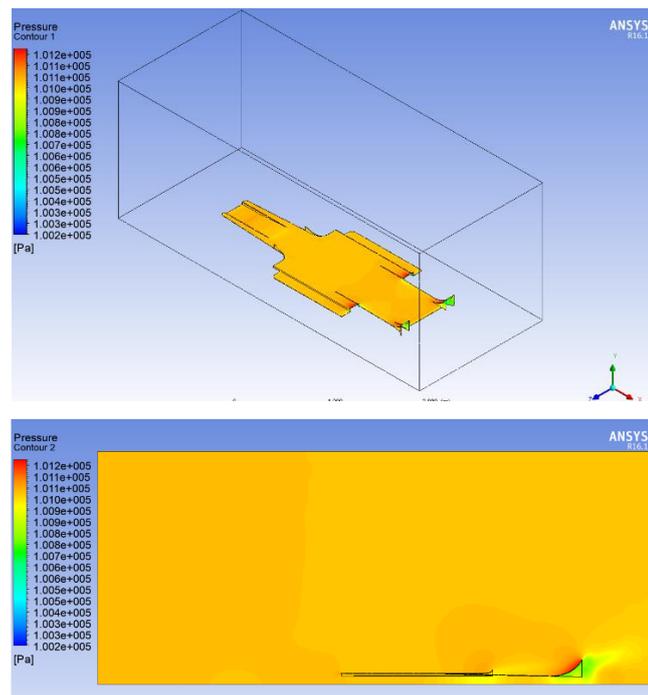


Figura 32-3: Contornos de Presión estática del fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

Velocidad.

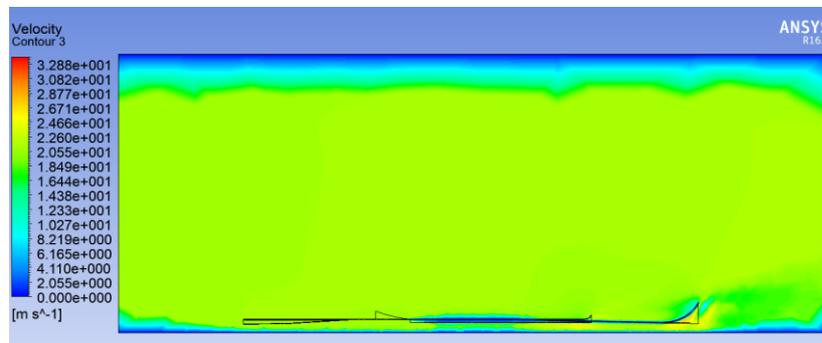


Figura 33-3: Contorno de velocidad fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

Podemos observar en la parte frontal del fondo plano ingresa una poca cantidad de aire con una velocidad igual a las condiciones reales del ambiente. En la mitad del fondo plano se observa como las partículas de aire son arrastradas formando parte de la capa límite del fondo plano, sin embargo, hay un espacio por donde circula un pequeño flujo el cual es arrastrado por el difusor como muestra la Figura 33-3. La velocidad mínima = 0m/s; y velocidad máxima = 33.905 m/s.

Líneas de velocidad del flujo de aire en 3D:

En la Figura 34-3 se muestra el comportamiento generado por el aire a través del fondo plano y difusores donde el flujo conserva una velocidad constante.

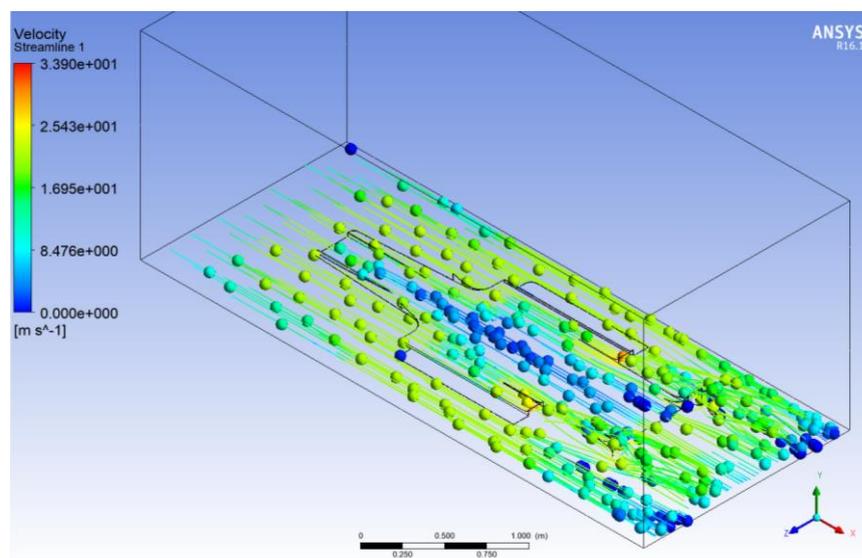


Figura 34-3: Trayectoria del flujo en 3D del aire atreves del fondo plano

Fuente: Autores

Energía cinética de turbulencia

En la Figura 35-3 se muestra el contorno producido por la energía cinética de turbulencia que se genera con mayor cantidad al final de los difusores. Su valor máximo es de 56.1542 J/kg y el valor mínimo es de 0.05996 J/kg.

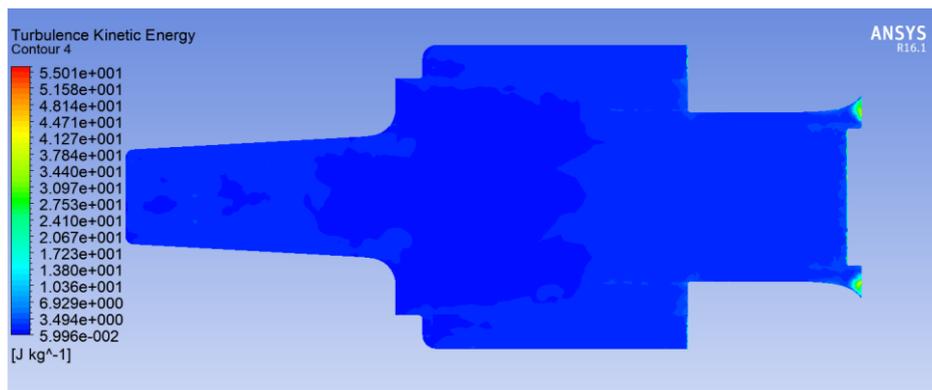
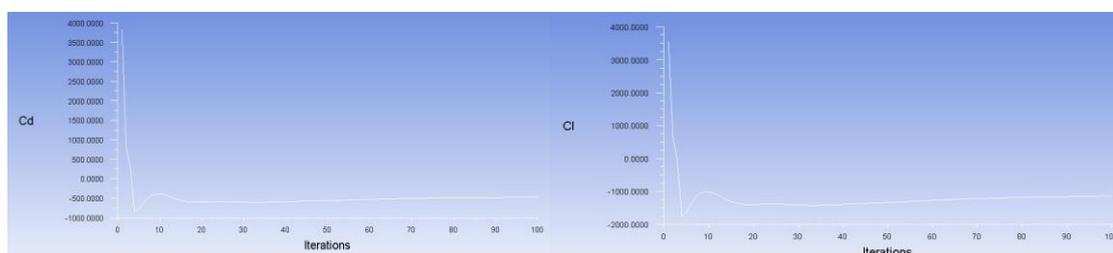


Figura 35-3: Energía cinética de turbulencia

Fuente: Autores



Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients	Viscous	Total
wall-tunel	Pressure 13.934778	3.4484934	17.383271	Pressure 253.1087	62.63779	315.74649
Net	13.934778	3.4484934	17.383271	253.1087	62.63779	315.74649
Forces						
Zone	Forces (n)				Viscous	
wall-tunel	Pressure (13.934778 -62.630578 -0.036060272)				(3.4484934 0.08751977 0.00087509819)	
Net	(13.934778 -62.630578 -0.036060272)				(3.4484934 0.08751977 0.00087509819)	
Forces - Direction Vector (0 1 0)						
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients	Viscous	Total
wall-tunel	Pressure -62.630578	0.08751977	-62.543058	Pressure -1137.6101	1.5896928	-1136.0204
Net	-62.630578	0.08751977	-62.543058	-1137.6101	1.5896928	-1136.0204

Figura 36-3: Fuerzas y Coeficientes aerodinámicos

Fuente: Autores

Tabla 7-3: Resultados análisis aerodinámico fondo plano con difusor principal

Fuerza X (N)	Fuerza Y (N)	Cd	Cl	Fineza
17.383271	-62.543058	0.7277	-2.6183	-3.598

Fuente: Autores

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \quad (5)$$

$$C_d = \frac{2 * 17.383271}{1.225 * 20.83^2 * 0.08988} = 0.72775$$

$$C_L = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \quad (6)$$

$$C_l = \frac{2 * 62.54}{1.225 * 20.83^2 * 0.08988} = -2.6183$$

3.5.5. Solución y simulación aerodinámica del fondo plano con 3 difusores.

Para el análisis y simulación de este diseño se consideran los siguientes parámetros y variables.

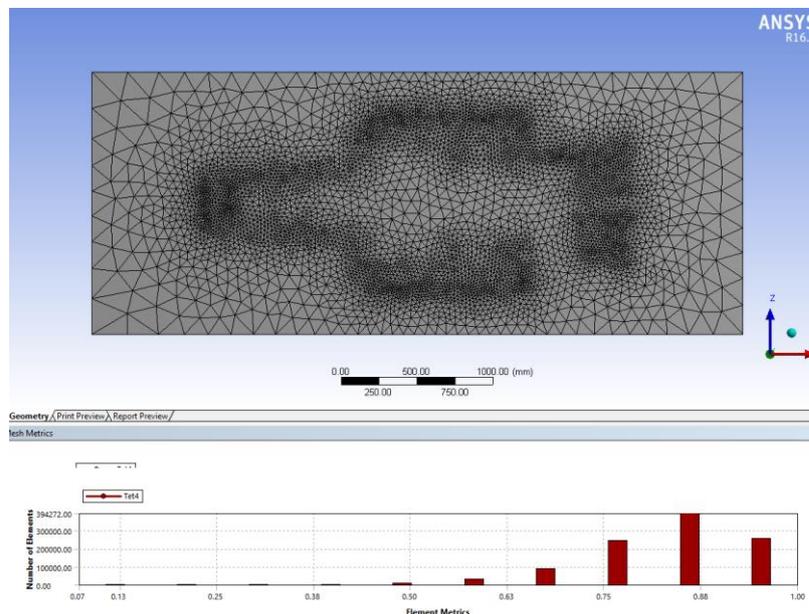


Figura 37-3: Mallado

Fuente: Autores

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	185346
<input type="checkbox"/> Elements	1019689
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	7.2069e-002
<input type="checkbox"/> Max	0.99994
<input type="checkbox"/> Average	0.83381
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	9.8596e-002

Grafico 3-3: Parámetros de mallado

Fuente: Autores

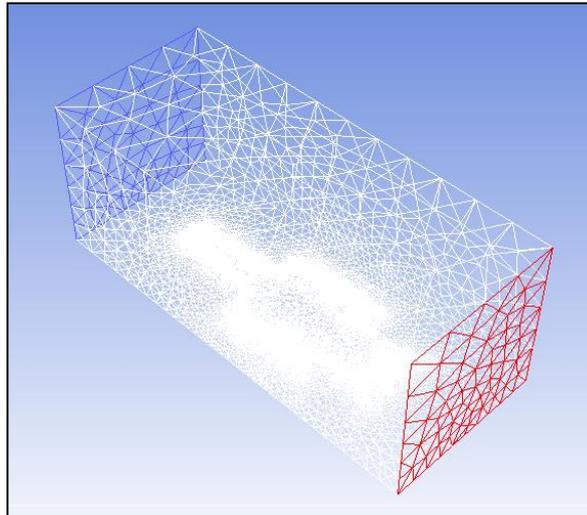


Figura 38-3: Parámetros de contorno del túnel de viento

Fuente: Autores

Los parámetros para el túnel de viento son las siguientes: Velocidad del aire en la cara frontal es de 20.83m/s y se denomina “inlet-velocity” (azul), para la cara posterior “pressure-outlet” (rojo) presión equivalente a la presión atmosférica, las superficies del fondo plano y difusores en contorno blanco denominado “wall-tunnel” y finalmente las caras restantes denominadas “wall” (blanco) representa las paredes del túnel de viento.

Tabla 8-3: Parámetros para la simulación del fondo plano con un difusor principal

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	71 241	Temperatura del fluido	302 K
Elementos	387 730	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Área frontal	0.11486 m ²
Malla máxima	0.99995	Velocidad	20.83 m/s
Malla promedio	0.83381	Presión condiciones de entra y salida	101030 Pa

Malla mínima	9.8596e-002	Numero de iteraciones	100
---------------------	-------------	------------------------------	-----

Fuente: Autores

Presión estática.

Como muestra la Figura 39-3 la mayor concentración de carga aerodinámica se ejerce sobre el difusor principal. Mediante un plano de corte ubicado en la mitad del fondo plano observamos el efecto suelo generado que tiende a concentrarse justo en la raíz del difusor propagándose hacia los costados. La Figura 65-3 de contorno de presión estática muestra los siguientes resultados:

Presión máxima = 101 228 Pa

Presión mínima = 100 199 Pa

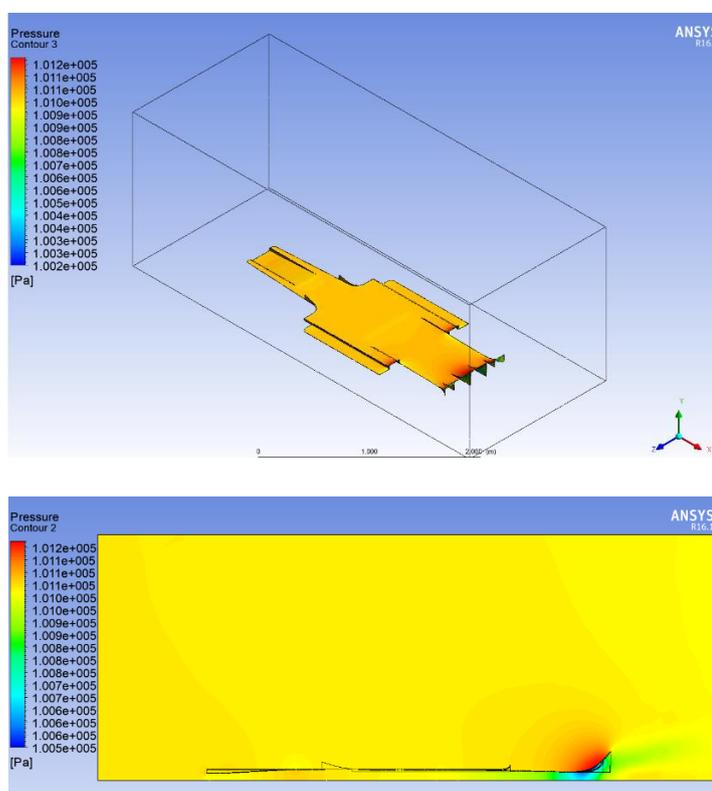


Figura 39-3: Contornos de Presión estática del fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

Velocidad.

En la Figura 40-3 se muestra el comportamiento generado por el aire a través del fondo plano y difusores donde el flujo conserva una velocidad constante.

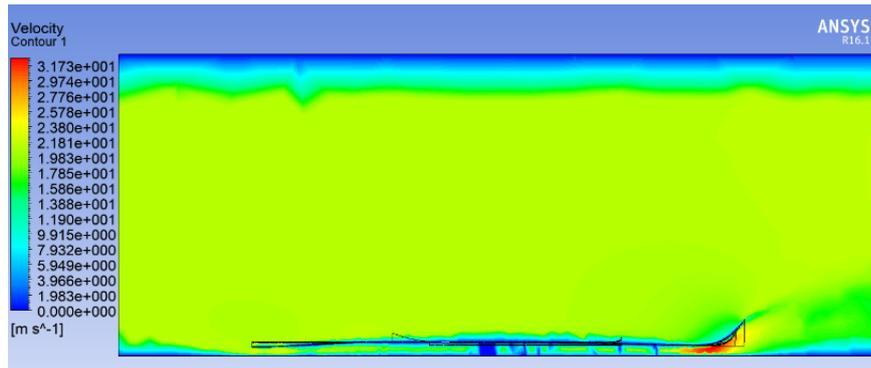


Figura 40-3: Contorno de velocidad fondo plano con un difusor principal

Fuente: Autores

Podemos observar en la parte frontal del fondo plano ingresa una poca cantidad de aire, esta cantidad es extraída lo más rápido posible por los difusores que incrementan la velocidad de salida del flujo de aire como podemos notar. La Figura 40-3 de contorno de velocidad muestra los siguientes resultados:

Velocidad máxima = 0m/s

Velocidad mínima = 32.7188 m/s

Líneas de velocidad del aire en 3D.

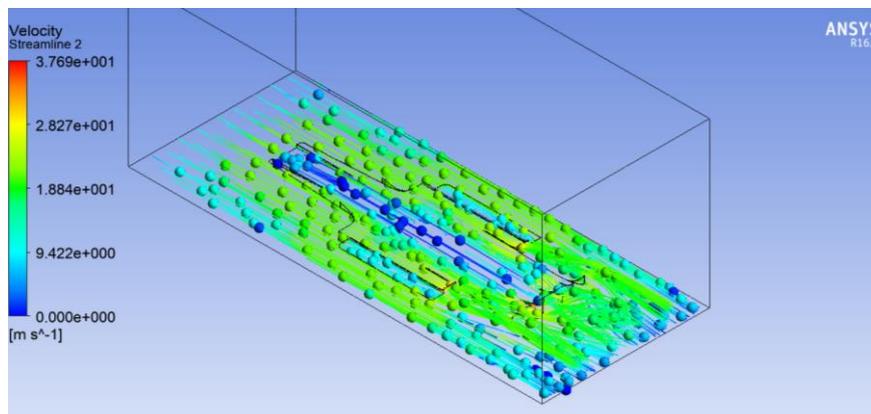


Figura 41-3: Trayectoria del flujo en 3D del aire atreves del fondo plano

Fuente: Autores

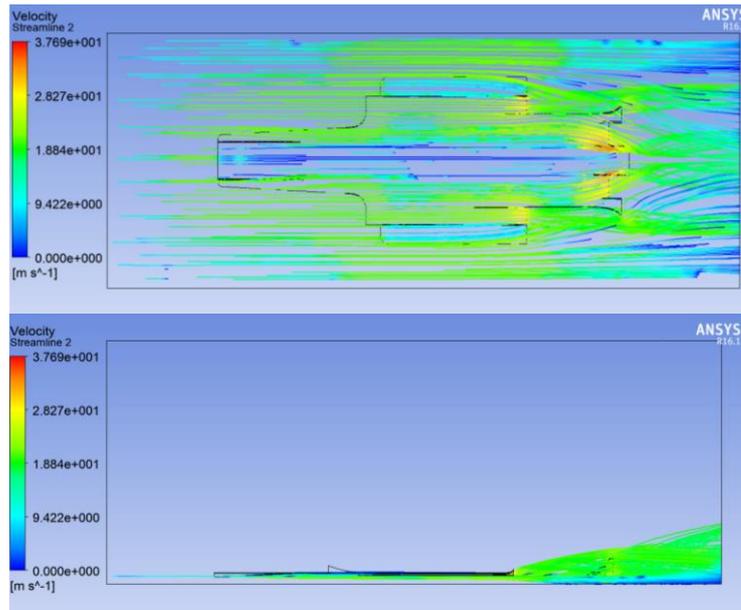


Figura 42-3: Trayectoria del flujo en 2D del aire atreves del fondo plano

Fuente: Autores

El comportamiento de las líneas de flujo a través del fondo plano y difusores incrementan la velocidad de salida de los mismos y son direccionadas correctamente hacia la parte posterior del vehículo.

Energía cinética de turbulencia

En la Figura 43-3 se muestra el contorno producido por la energía cinética de turbulencia se puede apreciar las zonas en fondo plano donde existe mayor flujo de aire; el valor máximo es de 63.4899 J/kg y el valor mínimo es de 0.07204J/kg.

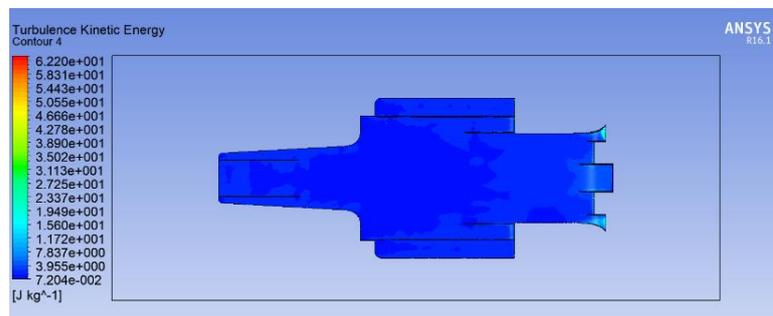
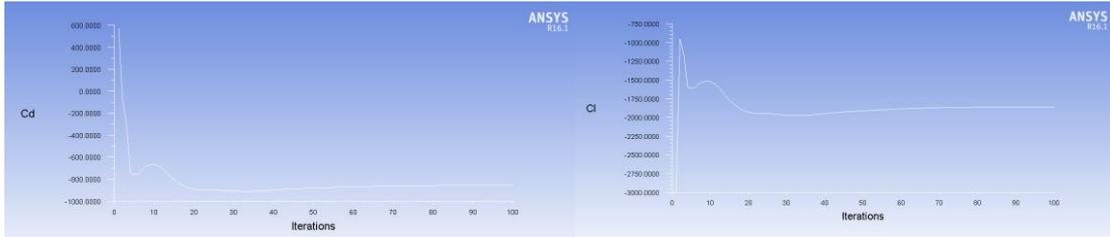


Figura 43-3: Energía cinética de turbulencia

Fuente: Autores



Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients	Viscous	Total
Zone wall-tunnel	Pressure 23.511405	3.5929233	27.104328	Pressure 334.18682	51.069157	385.25598
Net	23.511405	3.5929233	27.104328	334.18682	51.069157	385.25598
Forces						
Zone	Forces (n)				Viscous	
Zone wall-tunnel	Pressure (23.511405 -131.17446 0.022809097)				(3.5929233 0.13498095 -0.0028547856)	
Net	(23.511405 -131.17446 0.022809097)				(3.5929233 0.13498095 -0.0028547856)	
Forces - Direction Vector (0 1 0)						
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients	Viscous	Total
Zone wall-tunnel	Pressure -131.17446	0.13498095	-131.03948	Pressure -1864.4899	1.9185946	-1862.5713
Net	-131.17446	0.13498095	-131.03948	-1864.4899	1.9185946	-1862.5713

Figura 44-3: Fuerzas y Coeficientes aerodinámicos

Fuente: Autores

Tabla 9-3: Resultados análisis aerodinámico fondo plano con difusor principal

Fuerza X (N)	Fuerza Y (N)	Cd	Cl	Fineza
27.1043	-131.0394	0.888	-4.293	-4.835

Fuente: Autores

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \quad (5)$$

$$C_d = \frac{2 * 27.1043}{1.225 * 20.83^2 * 0.11486} = 0.887942$$

$$C_l = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \quad (6)$$

$$C_l = \frac{2 * -131.0394}{1.225 * 20.83^2 * 0.11486} = -4.292877$$

3.5.6. Resultados Aerodinámicos de los diseños propuestos.

Tabla 10-3: Resultados obtenidos del análisis aerodinámico

Fases del análisis	Carga F_y [N]	Resistencia F_x [N]	Fineza $f = F_y / F_x$	Coefficiente de sustentación C_L	Coefficiente de arrastre C_x	Potencia absorbida [Hp]
Fondo plano con difusor principal.	-84.58605	10.60967	-7.97	-4.5185	0.5668	0.2946
Fondo plano con 2 difusores expandidos	-62.5431	17.3833	-3.598	-2.6183	0.7277	0.4825
Fondo plano con 3 difusores	-131.0394	27.1043	-4.835	-4.2929	0.88794	0.7524

Fuente: Autores

El prototipo seleccionado según los resultados es el diseño de fondo plano con tres difusores por generar mayor carga aerodinámica distribuida uniformemente sobre el eje posterior sin embargo el coeficiente de arrastre es alto debido al número de difusores que tiene que arrastrar mayor cantidad de aire debajo del fondo plano. Los coeficientes del fondo plano con un difusor principal son mejores que el seleccionado sin embargo esta carga se distribuye por un solo sector, de acuerdo a lo que muestra el análisis de presión estática.

3.6. Análisis MEF del fondo plano con tres difusores.

El método del elemento finito ayuda a construir un objeto o cuerpo complicado en bloques simples, dividiendo un objeto complicado en piezas pequeñas y manejables. La mecánica computacional resuelve problemas aplicando métodos numéricos implementados en computadora y calcula los campos de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas, las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). (Ortiz Prado, y otros, 2013)

3.6.1. Análisis y simulación en Static Structural de ANSYS Workbench



Figura 45-3: Static Structural ANSYS Workbench

Fuente: Autores

A continuación, se sintetiza los pasos utilizados para la simulación y solución estáticas del fondo plano con tres difusores.

Pre proceso

Se define el dominio geométrico del fondo plano con tres difusores en un archivo CAD con extensión compatible con ANSYS Workbench.

Engineering Data permite crear el material de acuerdo a los parámetros obtenidos en los ensayos realizados en el Centro de Fomento Carrocero.

Tabla 11-3: Propiedades Material compuesto Fibra de Carbono Matrix Epofix 300

	Densidad $\left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right]$	Esfuerzo máximo de tracción [MPa]	Módulo de elasticidad (tracción) [MPa]	Esfuerzo máximo de flexión [MPa]	Módulo de elasticidad secante de flexión [MPa]	Coefficiente de Poisson
Material compuesto de fibra de carbono con matriz Epofix 300 (65 % resina 35% catalizador)	1.48	297.09	6100.06	331.91	20365.08	2.5

Fuente: Autores

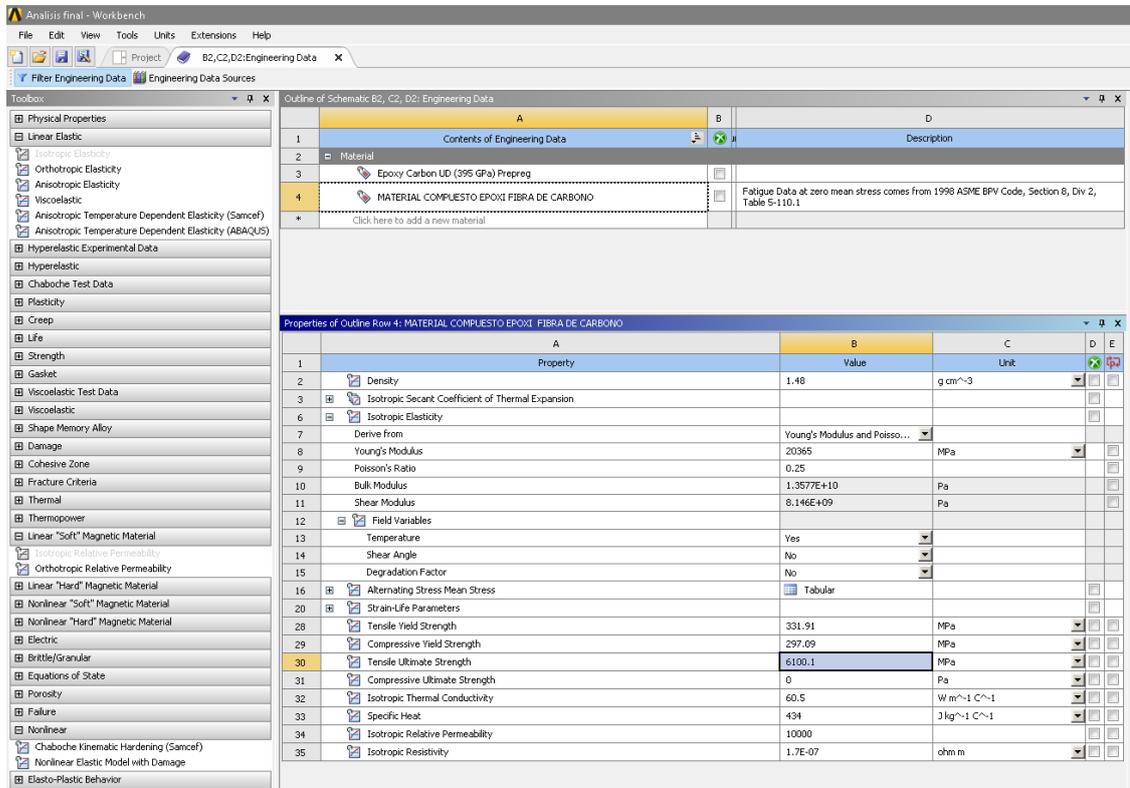


Figura 46-3: Parámetros del material en Enggining Data

Fuente: Autores

En Design Modeler generamos el elemento a estudiar en .STEP este debe cumplir con las dimensiones geométricas especificadas en el diseño del modelo.

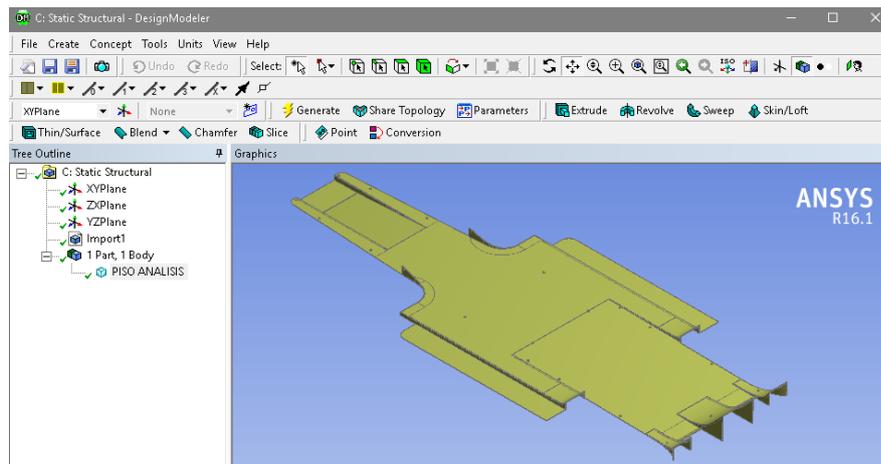


Figura 47-3: Diseño del elemento en Design Modeler

Fuente: Autores

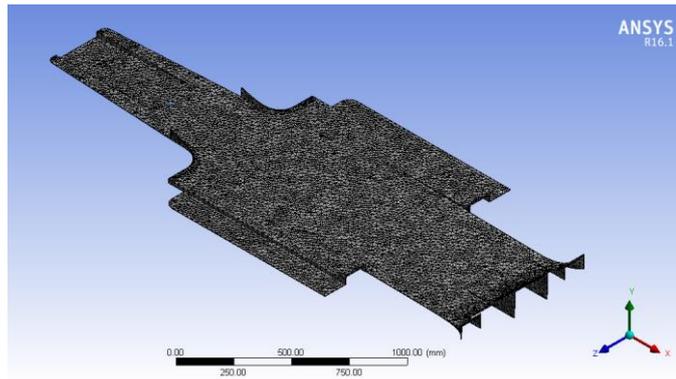


Figura 48-3: Mallado estructural fondo plano y difusores

Fuente: Autores

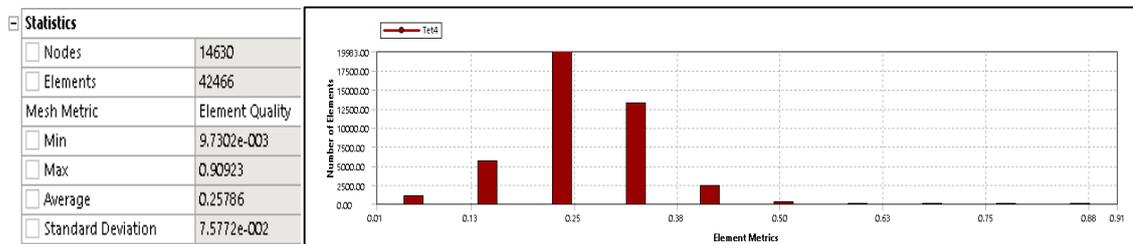


Figura 49-3: Métrica de mallado

Fuente: Autores

Una vez realizado el mallado del elemento seleccionamos los anclajes del bastidor con el fondo plano como soportes para el análisis estático. Se considerarán 15 soportes fijos distribuidos uniformemente sobre el fondo plano y los difusores.

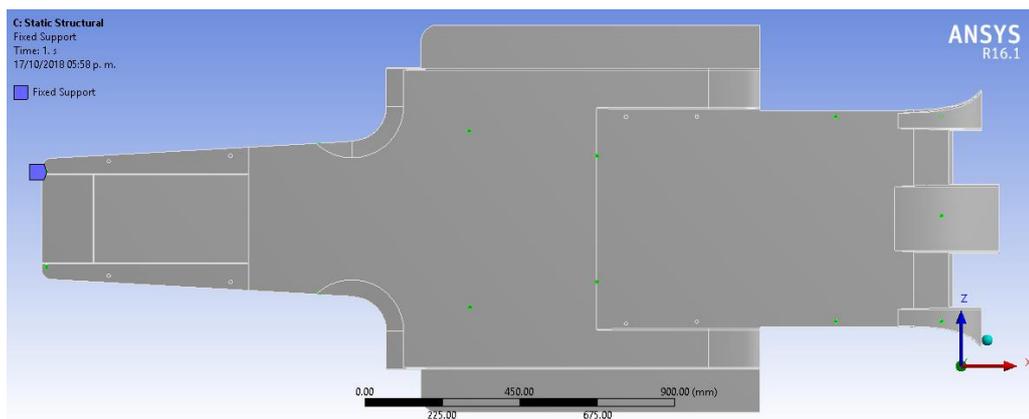


Figura 50-3: Anclajes del fondo plano al bastidor

Fuente: Autores

Las cargas y esfuerzos al que está sujeto el fondo plano y los difusores son importados del análisis aerodinámico Fluent. Estas condiciones aerodinámicas tales como presión turbulencia y coeficientes aerodinámicos serán transferido sobre la superficie del elemento en estudio.

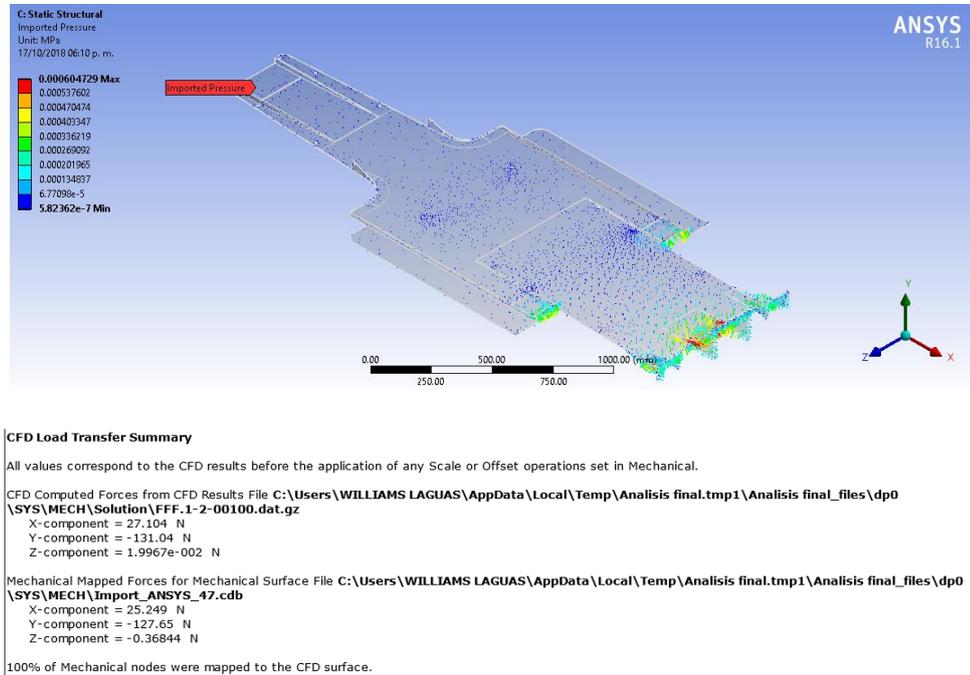


Figura 51-3: Cargas aerodinámicas importadas al análisis estructural

Fuente: Autores

Proceso.

En esta etapa se procesarán las variables insertadas en el pre proceso y se calculará matrices de rigidez y vectores de carga para cada elemento de la malla obteniendo un sistema global de ecuaciones que mediante gastos computacionales se llegará a una resolución.

Post proceso.

Los resultados se muestran mediante gráficas de deformación total, esfuerzos equivalentes (Von-Mises) y el factor de seguridad.

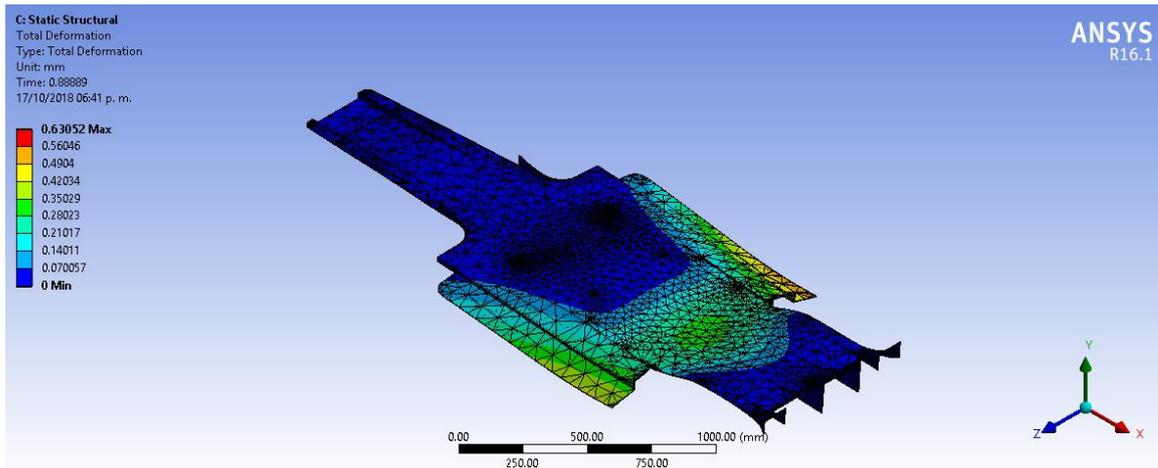


Figura 52-3: Deformación total del fondo plano y difusores

Fuente: Autores

En la Figura 52-3 se observa una deformación máxima de 0.6305mm y una deformación mínima de 0 mm. En la zona de aletas de los costados del fondo plano se produce una mayor deformación debido a que estos no presentan sujeciones sin embargo la deformación es menor a 1 mm, la cual es una variable controlable, además esta deformación es disipada hacia el centro del fondo plano donde se encuentran los soportes. Como muestra la figura los difusores no presentan deformación este es un parámetro que nos indica que estos no se deformaran a una velocidad de 20.83m/s.

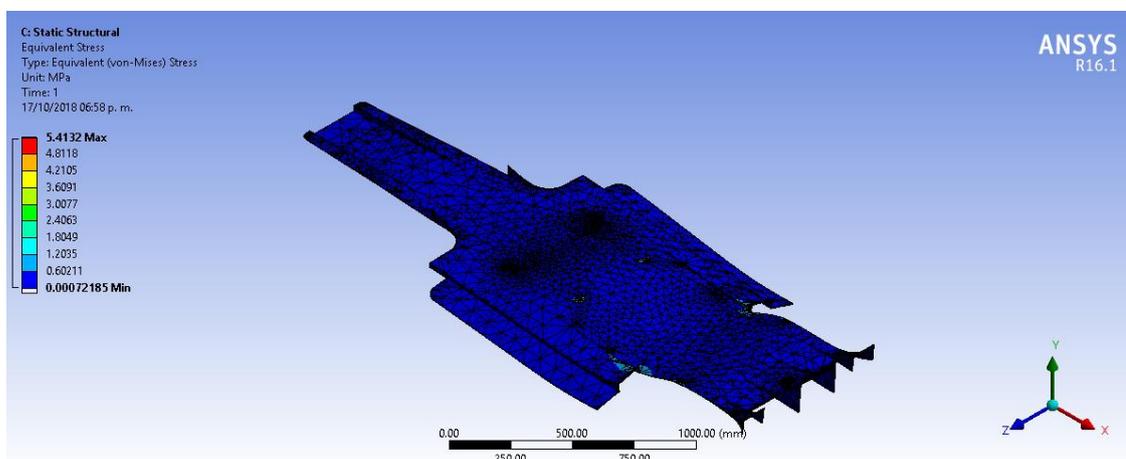


Figura 53-3: Esfuerzo equivalente de Von-Mises

Fuente: Autores

El modelo de Von-Mises corrobora que el prototipo estará sometido a distorsión el esfuerzo máximo de Von-Mises es 5.41 Mpa y el esfuerzo mínimo de 721 Pa. La misma que se producen en la parte posterior de los difusores de las aletas del costado. Las zonas sometidas a este esfuerzo de fluencia están relacionadas con los esfuerzos angulares que se interpretan como los cambios

de volumen que ocurren y permite conocer que un esfuerzo próximo o superior a 5,41Mpa el material llegara a cambiar de volumen. (MORAN, 2013)

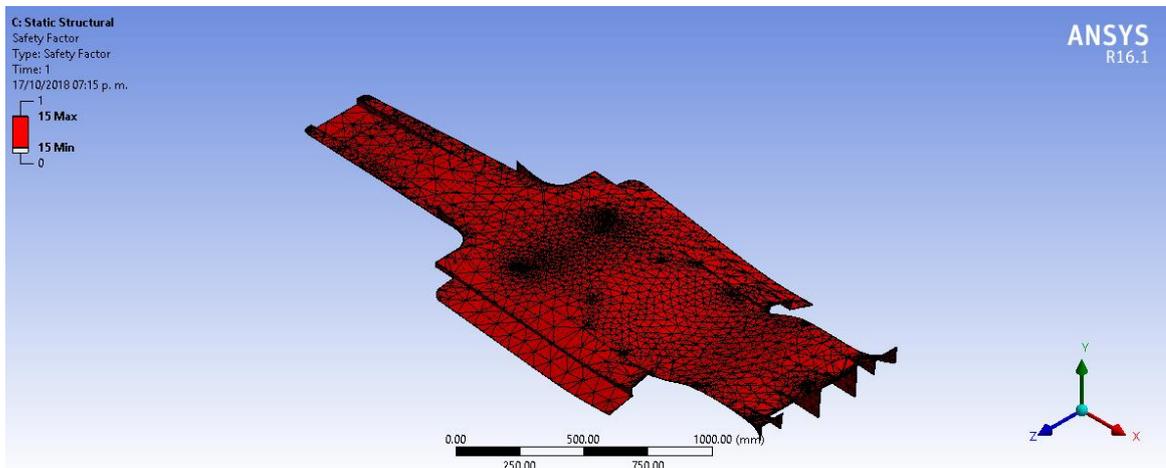


Figura 54-3: Factor de seguridad

Fuente: Autores

El factor de seguridad es un factor que interpreta las condiciones para que un elemento sea seguro es decir que relaciona la carga última con las cargas admisibles. Si el factor de seguridad es menor a la unidad el diseño para ese elemento es inadecuado q tiene que ser rediseñado mientras que si el factor es mayor que la unidad el diseño es adecuado, pero mientras mayor sea este factor el elemento estará sobre dimensión o su material resiste mayores concentraciones de esfuerzos.

La figura 54-3 muestra un factor de seguridad de 15 lo cual es elevado y nos indica que el material es confiable y el elemento resistirá los esfuerzos aerodinámicos que se generan.

El factor de seguridad se modifica si el fondo plano recibe otras cargas por ejemplo al colisionar con un objeto solido en la calzada. El fondo plano recibirá una deformación igual o superior a la deformación del elemento y hará que falle o se rompa.

La Figura 56-3 muestra un factor de seguridad para el fondo plano cuando es sometido a un impacto con carga de 750N distribuida en la mitad del fondo plano que puede considerarse como un golpe propio del piso en la competencia como se muestra en la Figura 55-3.

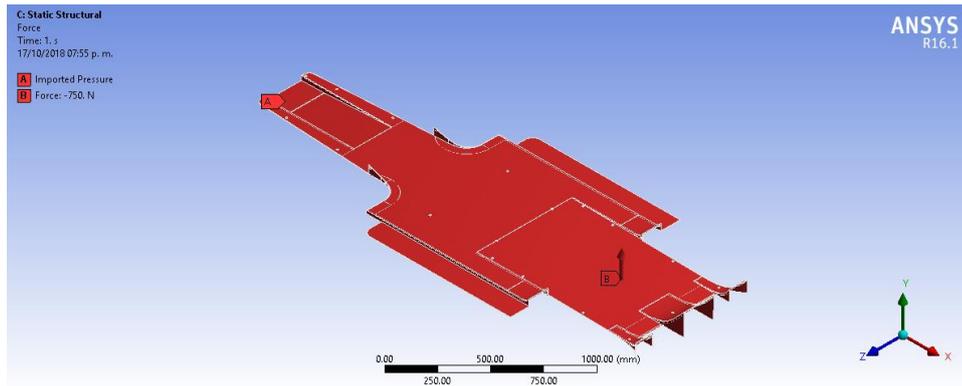


Figura 55-3: Fuerza aplicada para el impacto y cargas aerodinámicas

Fuente: Autores

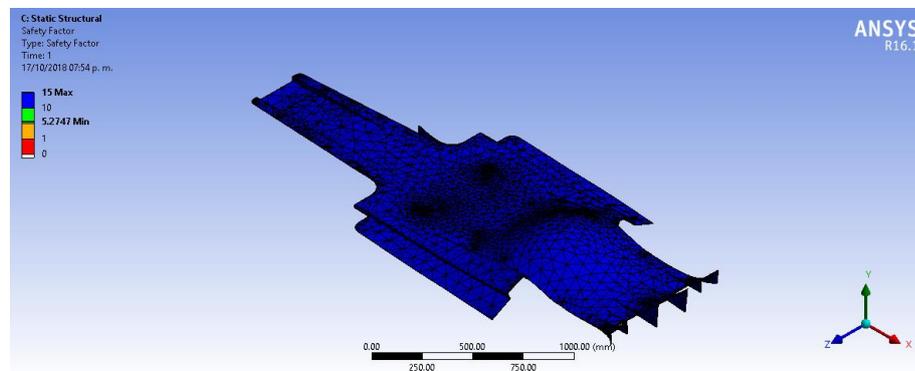


Figura 56-3: Factor de seguridad para el fondo plano impactado

Fuente: Autores

El factor de seguridad mínimo para este ensayo es igual a 5.27, el máximo de 15. Como se observa el fondo plano soporta una carga de impacto sin problemas se puede confiar en el material y el diseño.

3.6.2. Análisis y simulación modal en ANSYS Workbench. El fondo plano resiste las vibraciones de las irregularidades de la calzada además de las vibraciones del motor que imiten frecuencias que hace que un elemento se fatigue o cambie de forma. El análisis modal de ANSYS permite determinar el comportamiento de un elemento sometido a vibraciones generalmente se toma este análisis como partida para otros análisis también dinámicos. Las consideraciones que se toman para este análisis son similares al análisis estático, la geometría, el tipo de material y los esfuerzos, determinados en el pre proceso. La deferencia cae en el postproceso el cual determina las deformaciones que se producen en intervalos de tiempos.

Las posibles deformaciones modales del fondo plano se realizan en 6 etapas con un intervalo de 2.5 Seg.

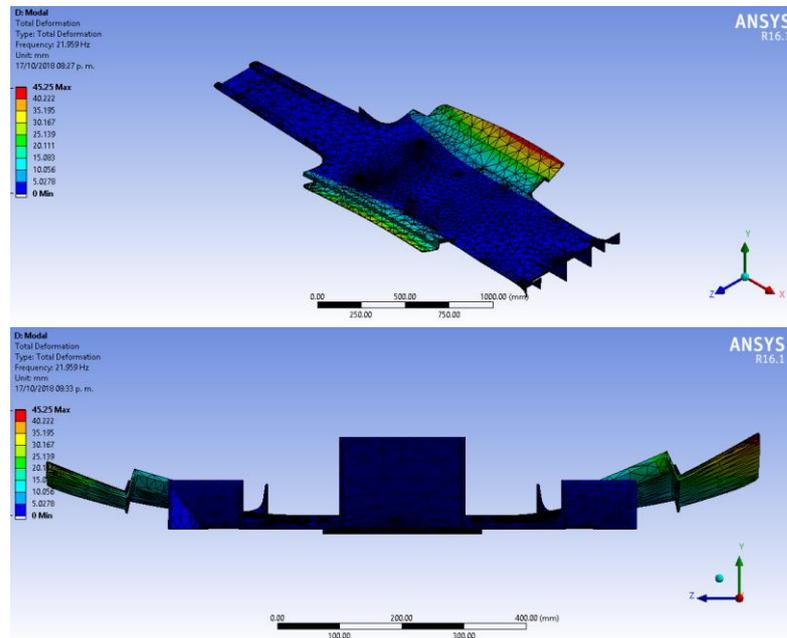


Figura 57-3: Análisis Modal Forma 1

Fuente: Autores

En la Figura 57-3 muestra un valor de frecuencia de 21.95 Hz el cual deforma las aletas laterales del fondo plano en la misma dirección similar a un aleteo, su deformación es de 45,25 mm.

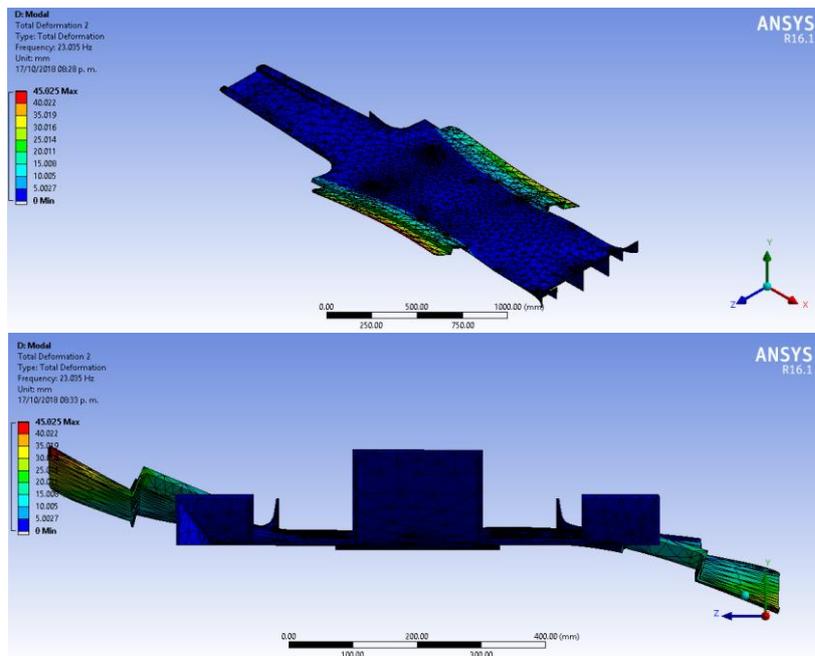


Figura 58-3: Análisis Modal Forma 2

Fuente: Autores

La forma modal de la Figura 58-3 muestra un valor de frecuencia de 23,035 Hz el cual deforma las aletas laterales del fondo plano en direcciones opuestas con una deformación de 45,025 mm.

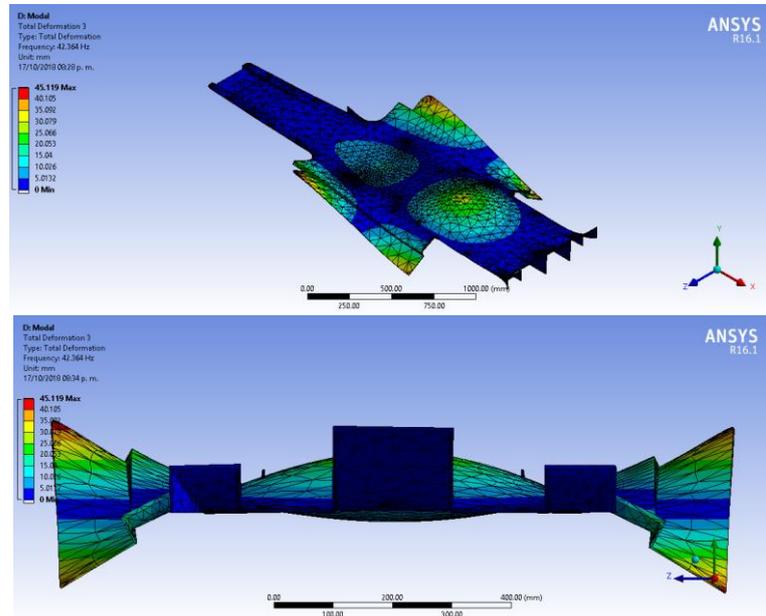


Figura 59-3: Análisis Modal Forma 3

Fuente: Autores

La forma modal de la Figura 59-3 muestra un valor de frecuencia de 42,364 Hz el cual deforma las aletas laterales del fondo plano en direcciones opuestas en su parte delantera y posterior con una deformación de 45,119 mm.

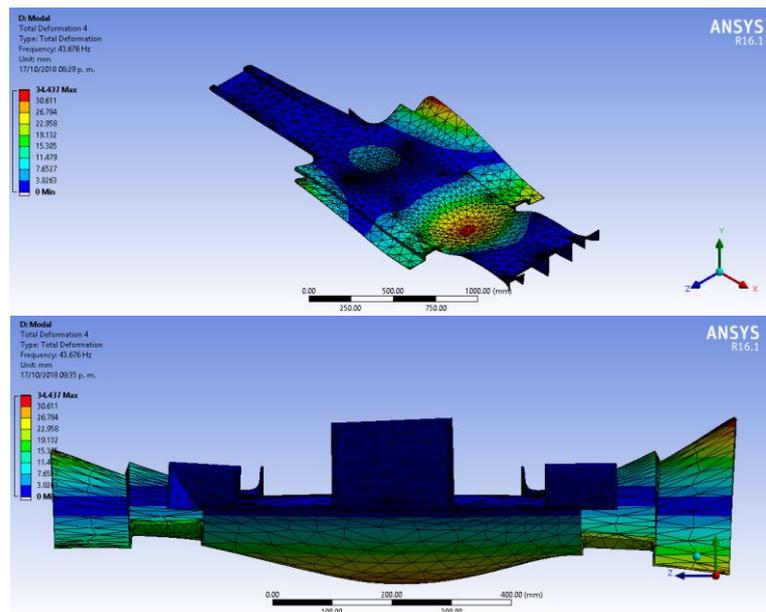


Figura 60-3: Análisis Modal Forma 4

Fuente: Autores

La forma modal de la Figura 60-3 muestra un valor de frecuencia de 43,676 Hz el cual deforma la parte interna del fondo plano al inicio y al final de las aletas con una deformación de 34,437 mm.

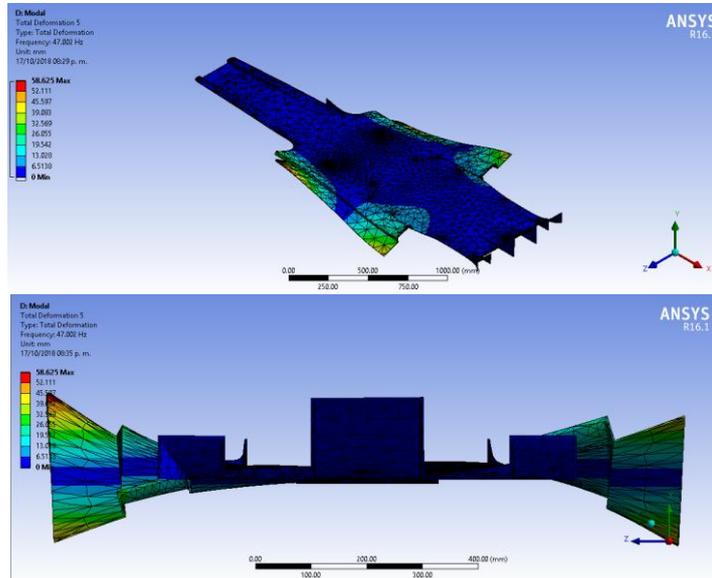


Figura 61-3: Análisis Modal Forma 5

Fuente: Autores

La forma modal de la Figura 61-3 muestra un valor de frecuencia de 47,002 Hz el cual deforma las aletas laterales del fondo plano en direcciones opuestas en su parte delantera y posterior generando deformaciones hacia arriba y abajo con una deformación de 58,625 mm.

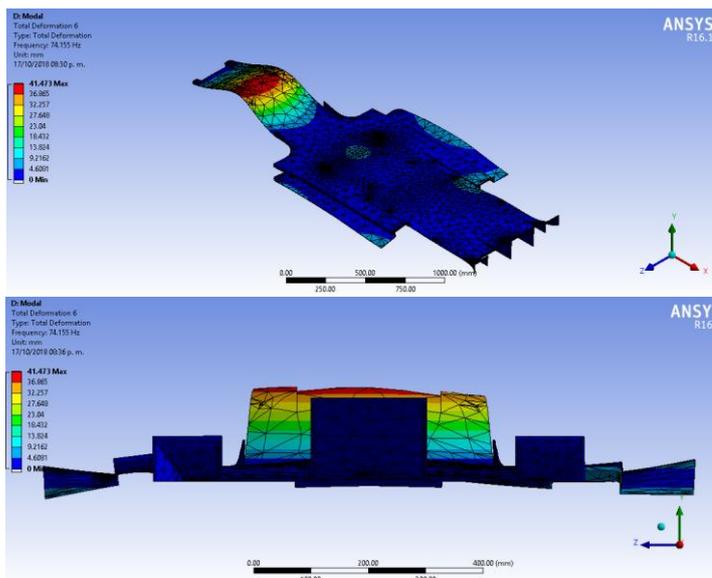


Figura 62-3: Análisis Modal Forma 6

Fuente: Autores

La forma modal de la Figura 62-3 muestra un valor de frecuencia de 74,155 Hz el cual deforma la parte frontal del fondo plano hacia arriba, como también la aleta derecha hacia abajo, con una deformación de 41,473 mm.

Tabla 12-3: Valores de frecuencia y deformación analizados

Formas modales	Frecuencia [Hz]	Deformaciones [mm]
1	21.959	45.25
2	23.035	45.025
3	42.364	45.119
4	43.676	34.437
5	47.002	58.625
6	74.155	41.473

Fuente: Autores

Los resultados muestran las máximas deformaciones que se considera como punto de partida para la colocación de los anclajes del piso al bastidor. La máxima deformación de las aletas del costado del fondo plano nos da una idea de las consideraciones que deben ser tomadas. Sin embargo, de acuerdo a la norma ningún anclaje debe estar fuera del bastidor la solución a este inconveniente es el reforzamiento de las aletas con una capa más de fibra de carbono mejorando la rigidez del material en ese sector.

3.7. Pruebas del Material del Fondo Plano y Difusores Posteriores

Los ensayos y pruebas son realizados con el propósito de determinar las propiedades físicas y mecánicas del material a ser aplicado en la construcción del fondo plano y difusores posteriores para verificar si se cumplen con las características necesarias para su aplicación.

La forma adecuada de comprobar el material es mediante la realización de ensayos destructivos ya sean estos de tracción, flexión y compresión donde se deforma al material de manera constante para conocer su resistencia y comportamiento al ser expuesto de distintos esfuerzos.

Existen varias razones por las cuales se realiza ensayos destructivos los cuales se comentan a continuación:

- Nos permite conocer de forma precisa las propiedades y características mecánicas que posee el material.
- Existen varias normas y protocolos que deben ser cumplidos para la realización de los ensayos.
- Este tipo de ensayos conlleva gastos menores debido a que las maquinas empleadas son menos costosas con respecto a las utilizadas en ensayos no destructivos.
- Da la posibilidad de identificar las fallas y rupturas que pueden darse en la vida útil del elemento el cual se obtiene mediante un rápido envejecimiento.

3.7.1. Ensayo de Impacto. En este ensayo las probetas a utilizar pueden ser entalladas o no, las cuales son expuestas al impacto producido por una masa, en el ensayo se puede observar que la fractura que se producen en los materiales es frágil mientras que la tenacidad es aproximadamente parecida a la resistencia. La probeta al ponerla a prueba puede estar sujeta o apoyada por un extremo y ser impactada por el otro o ser sujeta por los dos extremos e impactada en la mitad conocido también como Charpy. La máquina para el ensayo a utilizar está compuesta por un péndulo la cual nos permite saber cuál es la energía absorbida mediante la diferencia de alturas que se producen antes y después del impacto.(Riba Romeva, 2008)

El ensayo de Charpy se lo efectúa bajo normas donde se establecen las características que deben poseer las probetas a ser utilizadas y la forma adecuada de generar la información necesaria de los resultados que se obtienen. Según la norma ISO los resultados que se obtienen este ensayo se representan en kJ/m^2 , donde hace relación a la energía absorbida para producir la fractura de la probeta entre la sección transversal del área de la entalladura, en cambio en la norma ASTM se establecen los resultados en J/m, la cual divide la energía absorbida entre el ancho remanente de la base de la entalladura.(Ortega, 2005)

En el área de la ingeniería es importante saber el comportamiento mecánico que poseen los materiales al estar expuestos a condiciones extremas por lo que la mayor parte de ensayos se los realiza favoreciendo la fractura frágil. Existen varios factores que contribuyen a cambiar la forma de fractura y que podemos conocer gracias a la aplicación del ensayo de Charpy como son:

- Velocidad de empleo de la carga, la cual se puede controlar al variar el ángulo.
- Existencia de concentradores de tensión, esto se obtiene mecanizando una entalladura en la probeta a ensayar.

- Varias temperaturas a las que puede estar expuesto el material.

La realización de este ensayo es en una Máquina de Ensayo de Impacto la cual funciona con un péndulo que es accionado con la ayuda de un freno, esta máquina ayuda a realizar dos tipos de ensayos, el uno el de Charpy y el otro de Izod, los cuales varían en la sujeción de la probeta. El ensayo utilizado en la prueba es el de Charpy donde posee martillos de impacto y que varían dependiendo de las condiciones a los que va a ser expuesto el material, el ensayo se lo realizo bajo la norma ASTM D 6110 con muesca de especímenes de Plástico.



Figura 63-3: Máquina De Ensayo de Impacto

Fuente: Autores

Datos del ensayo:

Método de Ensayo: ASTM D 6110 Método de Prueba estándar para la determinación de la resistencia al impacto Charpy con muesca de especímenes de Plásticos.

Tipo de Ensayo: Cuantitativo

Capacidad del Péndulo: 540 J

Equipo Utilizado: Máquina de Ensayo de impacto Charpy Modelo: IC-25/IA Serie: 1986M002

Diferencia entre Yunque: 101,6 mm

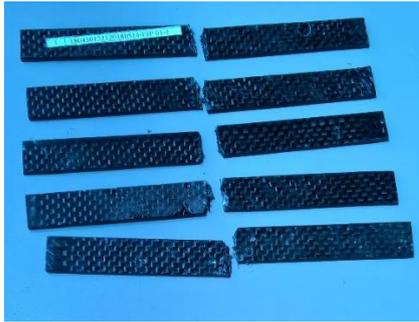


Figura 64-3: Probetas Para ensayo de Impacto

Fuente: Autores

3.7.1.1. Resultados del Ensayo de Impacto

INFORME :		EIP 01	
ENSAYO :		IMPACT	
Referencia	: FIBRA-CARBONWRAP 30		
Cliente	:		
Calidad	:		
Operario	: admin		
Norma	: ASTM_D6110		
Fecha	: 17/05/2018		
Hora	: 17:38:32		
Temperatura	: 17		
H.R.%	: 62		
Pedido	: 180430132120180514		

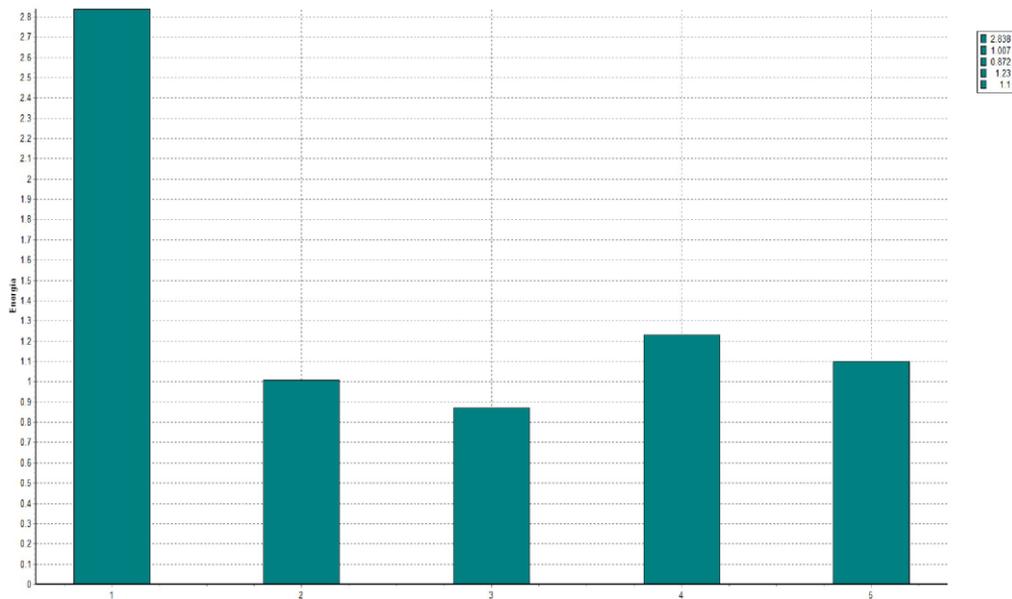


Gráfico 4-3: Ensayo de Impacto

Fuente: Autores

Tabla 13-3: Resultados Ensayo de Impacto

Probeta	Energía J
1	2.84
2	1.01
3	0.87
4	1.23
5	1.10

Fuente: Autores

Media = 1.41J

Desv. Std = 0.72

Coef. V.=0.51

3.7.2. Ensayo de Flexión. El ensayo de flexión en un material es una prueba cuasi estática que nos ayuda a encontrar el módulo de flexión, el esfuerzo de flexión y la deformación en una determinada muestra del material. Los resultados que se obtienen con esta prueba son plasmados en un diagrama esfuerzo-deformación como también lo es en las pruebas de tracción y compresión. El material a ensayar se lo considera que posee resistencia a la flexión cuando puede resistir cargas que produzcan momentos flectores en la sección transversal de la probeta.

La resistencia a la flexión que posee un material se puede decir que es la capacidad a soportar fuerzas de flexión ejercidas en dirección perpendicular a su eje longitudinal. Mediante la aplicación de este ensayo se espera obtener la resistencia y el módulo de flexión que posee un material aplicando muestras o probetas. Esta prueba es usada periódicamente para determinar las propiedades mecánicas de diferentes materiales por su simplicidad de procedimiento de los datos resultantes. Para esto es necesario una probeta de forma rectangular la cual es apoyada en sus extremos y expuesta a la flexión en tres puntos, pero en uno de ellos es aplicada continuamente

que es en el punto medio. Con la ayuda del diagrama esfuerzo-deformación es posible determinar la resistencia a la flexión o es esfuerzo a la cadencia que posee el material a ensayar.

Para este ensayo se utiliza una Máquina de ensayos Universal con una capacidad de 50 kN y las probetas son construidas y estudiadas bajo norma ASTM D7264-2015.



Figura 65-3: Máquina de Ensayos Universal

Fuente: Autores

Datos del Ensayo

Método de Ensayo: ASTM D7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Materiales compuestos de Matriz de Polímero.

Tipo de Ensayo: Cuantitativo

Equipo Utilizado: Máquina de Ensayos Universal. Metro Test 50kN Modelo: MTE 50 Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10mm/min Distancia entre apoyos: 108 mm



Figura 66-3: Probetas para ensayo de Flexión

Fuente: Autores

3.7.2.1. Resultados del Ensayo de Flexión

INFORME :		EFC 01	
ENSAYO :		FLEXION 3P	
Referencia :	MATERIAL COMPUESTO		
Cliente :			
Calidad :			
Operario :	A Tecnico 1		
Norma :	ASTM D7264		
Fecha :	16/05/2018		
Hora :	16:37:07		
Temperatura :	17		
H.R.% :	78		
Pedido :	180430132120180514		

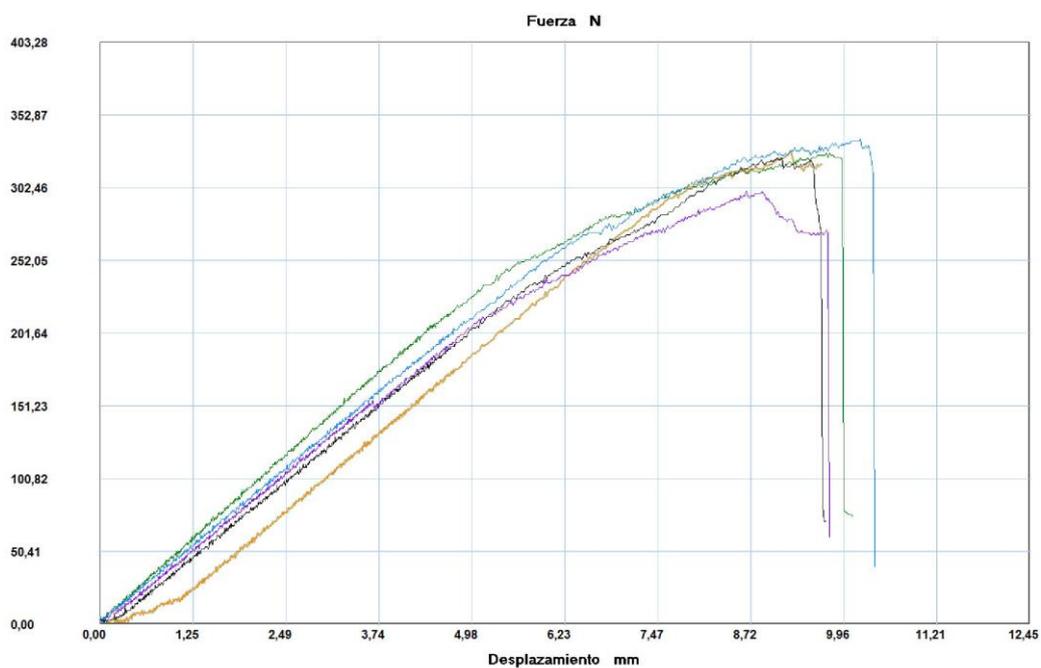


Gráfico 5-3: Ensayo de Flexión

Fuente: Autores

Tabla 14-3: Resultado de Probetas de Ensayo de Flexión

PROBETA	F Max [N]
1	328,18
2	326,61
3	299,78
4	336,07
5	323,45

Fuente: Autores

Tabla 15-3: Parámetros para la realización del Ensayo de Flexión

PARAMETROS	
Precarga	0,00 N
Caída %	80,00
Retorno Automático	1,00
Limite Fuerza	5000,0 N
Limite Desplazamiento	25,00 mm
VELOCIDADES	
Precarga	10 mm/min
Ensayo	10 mm/min
Retorno	100 mm/min

Posicionamiento	50 mm/min
CALCULOS	
Distancia Apoyos	108 mm

Fuente: Autores

Media = 322,818 N

Desv. Std = 13,692

Coef. V.=0,042

+3 Sigma=363,894

3.7.3. Ensayo de Tracción. Este ensayo nos permite obtener datos y características mecánicas que poseen los materiales. Con la ayuda de una Máquina Universal de ensayos se ubica la probeta para su deformación donde será estudiado su comportamiento al aplicar una forma uniaxial en el sentido del eje de la probeta. Mientras se produce el ensayo la probeta va deformándose y se va registrando la carga o la fuerza, llegando hasta la fractura de la probeta. Como resultado se obtiene una curva de lo que es la carga versus el alargamiento, que transformados son tensión y deformación.

Para realizar la caracterización de las propiedades de tracción de un material con compuestos de fibra-resina se realiza bajo norma ASTM D3039-2015, donde especifica las características que debe poseer las probetas para realizar los respectivos ensayos, principalmente sus dimensiones como el espesor que especifica de 5 mm y su ancho de 12 mm.

Para la preparación de las probetas, sus dimensiones deben ser variadas y aumentadas con el fin de colocar elementos de sujeción, en nuestro caso se colocan lijas en sus extremos para un mejor desempeño de la prueba.



Figura 67-3: Máquina de ensayos Universal

Fuente: Autores

Datos del ensayo

Método de ensayo: ASTM D3039-2015. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de Materiales compuestos de matriz Polimérica.

Tipo de Ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo Utilizado: Máquina de ensayos Universal. Metro test 50 kN.

Velocidad de ensayo: 10 mm/min



Figura 68-3: Probetas para Ensayo de Tracción

Fuente: Autores

3.7.3.1. Resultados del Ensayo de Tracción

INFORME :		ETC 01	
ENSAYO :		TRACCION	
Referencia :	MATERIAL COMPUESTO		
Cliente :			
Calidad :			
Operario :	A Tecnico 1		
Norma :	ASTM D3039		
Fecha :	16/05/2018		
Hora :	16:20:42		
Temperatura :	16		
H.R.% :	83		
Pedido :	180430132120180514		

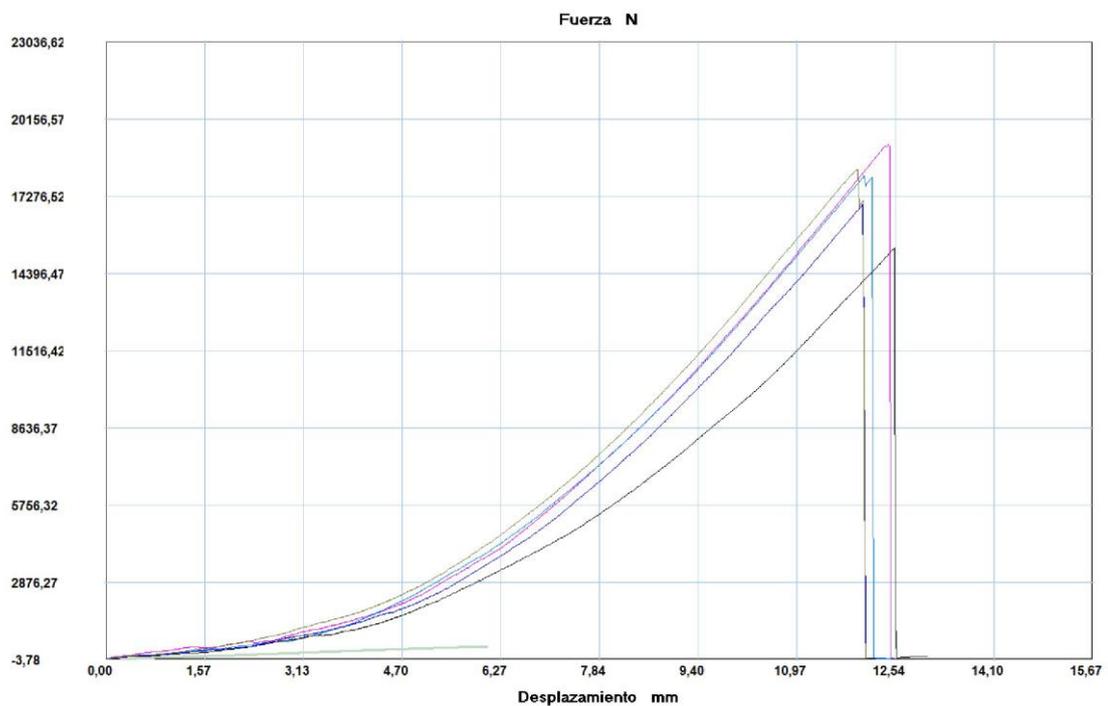


Gráfico 6-3: Ensayo de Tracción

Fuente: Autores

Tabla 16-3: Resultado de Probetas de Ensayo de Tracción

Probeta	FMax	FYield	FRot	CMax	C.Yield	CRot
	N	N	N	MPa	MPa	Mpa
1	19197,18	298,2	19141,96	303,54	4,72	302,66
2	18043,8	173,56	18043,8	311,98	3	311,98
3	15355,22	153,05	15355,22	254,62	2,54	254,62
4	16988,25	175,14	16988,25	289,99	2,99	289,99

5	18283,63	187,76	18283,63	325,33	3,34	325,33
Media	17573,616	197,542	17562,572	297,092	3,317	296,917
Desv. Std	1468,425	57,629	1453,291	26,994	0,832	26,944
Coef. V.	0,084	0,292	0,083	0,091	0,251	0,091
+3 Sigma	21978,891	370,428	21922,445	378,073	5,813	377,75

Fuente: Autores

Tabla 17-3: Parámetros para la realización del Ensayo de Tracción

PARAMETROS	
Precarga	0,00 N
Caída %	100,00
Retorno Automático	1,00
Limite Fuerza	45000,0 N
Limite Desplazamiento	1000,00 mm
Stop Ext	30,00 mm
VELOCIDADES	
Precarga	10 mm/min
Ensayo	10 mm/min
Retorno	50 mm/min
Posicionamiento	50 mm/min

Fuente: Autores

3.8. Construcción del fondo plano y difusores posteriores

Una vez realizados los parámetros de construcción y cumplido las normas establecidas por la competencia Fórmula SAE, en lo que se debe a especificaciones de dimensiones, simulaciones

aerodinámicas, de carga y pruebas correspondientes al material a utilizar donde se utiliza para la construcción Fibra de Carbono Bidireccional con Matriz de Resina Epofix 300.

La construcción del piso se realizó en base a las dimensiones que posee el chasis del vehículo ya construido, adecuando sus formas y colocando características que beneficien al desempeño aerodinámico del prototipo.

Su formación se lo realizó con construcción de un molde o matriz elaborado en material de madera MDF y trípex, a continuación, se da forma a la fibra de carbono. Se procede a detallar el proceso de construcción.

3.8.1. Construcción de la Matriz o Molde. El molde en madera MDF y trípex posee las dimensiones establecidas en los planos previamente realizados, la madera se utilizó con el fin de evitar deformaciones al momento de realizar el proceso de estratificar el material.

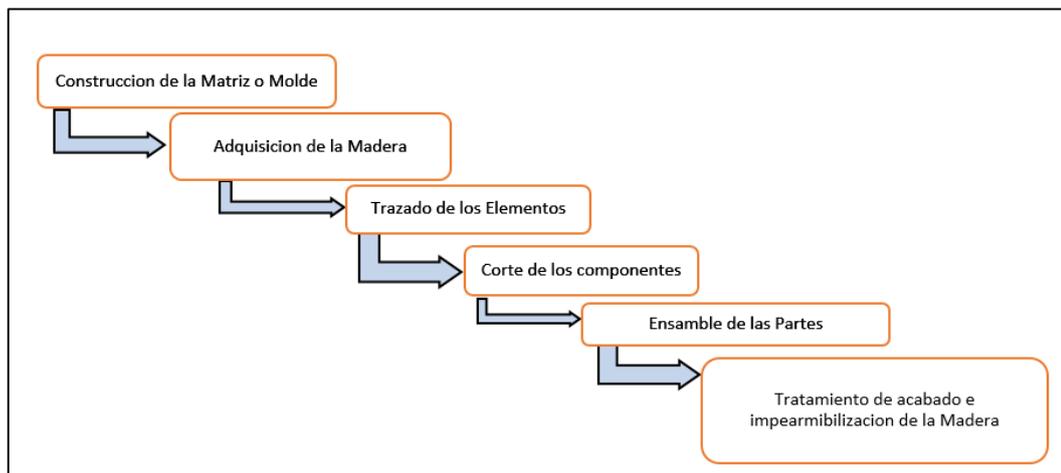


Gráfico 7-3: Diagrama de Construcción de la Matriz

Fuente: Autores

3.8.1.1. Trazado en la madera. Para su trazado es importante realizar lo más exactas posibles con las medidas necesarias, con el propósito de evitar disconformidades al momento del ensamble del fondo plano en el bastidor, además de impedir sobredimensionamientos del piso.



Figura 69-3: Trazado en la madera

Fuente: Autores

3.8.1.2. *Corte de la Madera MDF y triplex.* Con el trazado correspondiente de las formas y medidas necesarias que fueron especificados en los planos se continúa con el proceso de cortado, el cual debe ser cuidadosamente realizado con el fin de no pasarse de los límites trazados.

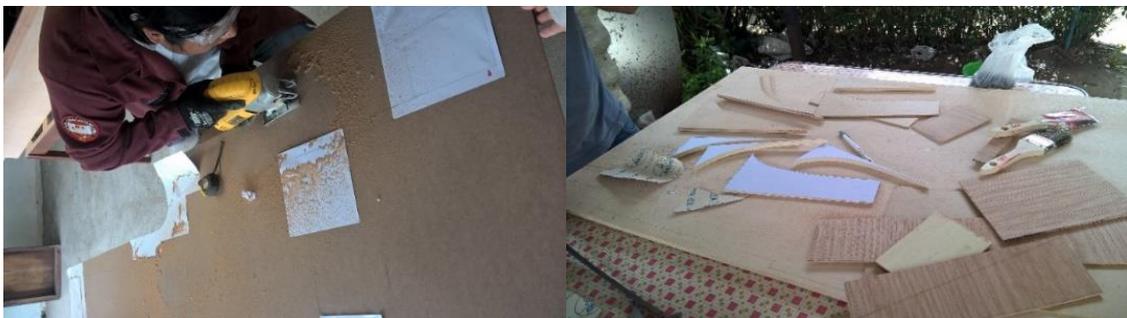


Figura 70-3: Corte de la Plancha de Madera

Fuente: Autores

3.8.1.3. *Ensamble de las partes o componentes.* Una vez terminado el trazado y corte de la plancha de madera se procede al ensamble de cada una de las partes y formas que posee el fondo plano y difusores posteriores utilizando clavos, tachuelas y pegamento.



Figura 71-3: Ensamble de los Componentes

Fuente: Autores

3.8.1.4. *Corrección de imperfecciones del molde.* Con el ensamble del molde existen zonas donde no se pudo dar la forma correcta y también existen imperfecciones que deben ser corregidas para lo cual se utilizó masilla, que una vez seca se procedió a retirar el exceso y dar las formas necesarias con el fin de tener superficies de mejor calidad.



Figura 72-3: Masillado y Corrección de la Superficie

Fuente: Autores

3.8.1.5. *Tratamiento y acabado superficial de la madera.* Este proceso se lo realizo con el fin de que la madera al momento de realizar la fundición y colocación de la resina la madera no la absorba y se compacte entre el molde y el elemento a construir, para lo cual se aplicó varias capas de sellador con el fin de sellar los poros de la madera y obtener una superficie lisa.



Figura 73-3: Tratamiento y Acabado de la Madera

Fuente: Autores

3.8.2. Construcción del fondo plano y difusores posteriores. Para el proceso de construcción se debe tomar en cuenta la cantidad necesaria de materiales además del tiempo con el que se cuenta para realizar un buen trabajo y construcción del elemento, para lo cual a continuación se especifica el proceso de construcción.

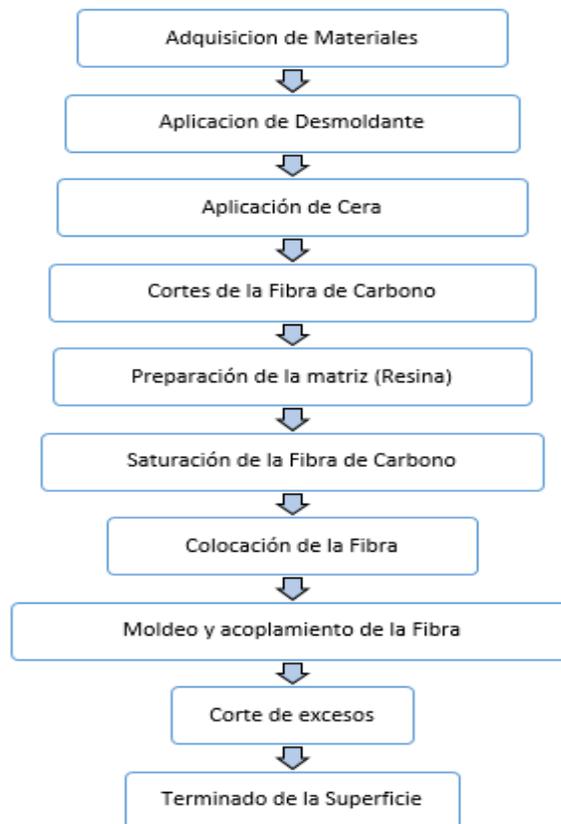


Gráfico 8-3: Diagrama para Proceso de Construcción del Fondo Plano y Difusores

Fuente: Autores

3.8.2.1. *Materiales para el proceso de Construcción.* Los materiales a utilizar se los detalla a continuación:

Fibra de Carbono. En nuestro caso utilizamos fibra de carbono 3K con tejido bidireccional lo cual nos ayuda a un mejor soporte al exponerse a las cargas que pueden aplicarse de diferentes direcciones, esta fibra es un material de tipo polimérico el cual es formado a base de otros compuestos de tipo fibrosos con forma de filamentos, este tipo de elementos debe poseer un contenido alto en carbono y que debe ser de un alrededor del 92 % en peso, lo cual nos ayuda a ser combinado con otros materiales y formar materiales compuestos.



Figura 74-3: Fibra de Carbono Bidireccional

Fuente: Autores

Resina Epofix 300. Es la matriz a utilizar la cual posee dos componentes el uno que es la resina en sí y el otro componente es el catalizador, los dos elementos deben ser mezclados en proporciones de 65% a 35% respectivamente para obtener una mezcla homogénea y permitirnos un trabajo óptimo.



Figura 75-3: Resina Epofix 300

Fuente: Autores

Desmoldante y cera. Estos elementos nos ayudaran a evitar que la resina se adhiera al molde para de esta manera ayudar a la extracción del elemento a construir y obtener acabados de mejor calidad, para lo cual utilizamos alcohol poli vinílico y cera para zapatos.



Figura 76-3: Desmoldante y Cera

Fuente: Autores

3.8.2.2. *Aplicación de desmoldante.* Es necesario colocar una capa de alcohol poli vinílico que utilizamos como desmoldante sobre la superficie del molde con la ayuda de guaipe, para a continuación proceder a esparcir por toda el área y verificar que sea cubierta completamente, principalmente en zonas donde quizá se puede hacer difícil la extracción del elemento a construir.



Figura 77-3: Aplicación de Desmoldante

Fuente: Autores

3.8.2.3. *Aplicación de cera.* Se aplica una capa de cera como ayuda para que al momento de desmoldar el elemento sea mucho más fácil, en esta ocasión utilizamos cera de zapatos o betún en toda la superficie del molde.



Figura 78-3: Aplicación de Cera

Fuente: Autores

3.8.2.4. *Preparación de cortes de la fibra de carbono.* Para lo cual realizamos un previo molde en papel que nos ayude a obtener cortes necesarios que se acoplen a la forma del molde; a continuación, proyectar la imagen en la tela de fibra de carbono con la ayuda de tiza y cinta que nos ayude para su posterior corte.



Figura 79-3: Preparación de cortes y Corte de la Fibra

Fuente: Autores

3.8.2.5. *Preparación de la resina.* La preparación de la matriz a utilizar es necesario seguir las indicaciones del fabricante las cuales nos especifica que debe mezclarse un 65 % del componente A que es la resina y un 35% del componente B que es el Catalizador, a continuación, estos dos componentes deben ser mezclados hasta que obtengamos una sustancia homogénea.



Figura 80-3: Preparación de la Resina

Fuente: Autores

3.8.2.6. *Saturación de la fibra.* Debemos colocar una cantidad de resina en la superficie de trabajo y expandirlo con la ayuda de una espátula o una diana para proceder a ubicar la fibra sobre esta capa de resina y saturarla con la ayuda de los mismos instrumentos hasta que la fibra absorba la mayor cantidad de resina.



Figura 81-3: Saturación de la Fibra de Carbono

Fuente: Autores

3.8.2.7. *Colocación de la fibra.* Una vez saturada la fibra se procede a colocarla sobre la superficie del molde donde se ubicará cada una de las capas necesarias para obtener el espesor necesario para su construcción.



Figura 82-3: Colocacion de la Fibra

Fuente: Autores

3.8.2.8. *Moldeo y acoplamiento de la fibra.* Con la fibra ya saturada y ubicada en el molde es necesario moldear la fibra y tratar de que tome la forma que se desea obtener esto se lo realiza manualmente y con la ayuda una espátula para formas donde existen aristas, para que de esta forma las capas de fibra se compacten y unan unas con otras.



Figura 83-3: Moldeo y Acoplamiento de la fibra

Fuente: Autores.

3.8.2.9. *Proceso de secado.* Se lo realiza en una habitación donde no existan muchas impurezas, su tiempo de secado es de alrededor de 24 horas a temperatura ambiente.



Figura 84-3: Proceso de secado

Fuente: Autores.

3.8.2.10. *Cortes de excesos.* Para esta parte se debe observar las dimensiones que debe tomar el elemento para lo cual se marcan las dimensiones y zona por donde se realizaran los cortes y el retiro de exceso de material.



Figura 85-3: Corte de excesos de Material

Fuente: Autores.

3.8.2.11. *Terminado de la superficie.* Con la ayuda de la misma resina Epofix 300 se coloca una capa en la superficie del elemento y con la ayuda de una brocha y espátulas esparcimos la resina con el fin de mejorar el acabado del fondo plano y difusores posteriores.



Figura 86-3: Terminado Superficial

Fuente: Autores

3.8.2.12. *Anclajes del fondo plano y difusores en el bastidor.* Las consideraciones para anclajes del fondo plano con el chasis según el reglamento vigente son:

- Fácil acceso para el montaje y desmontaje
- Los puntos de conexiones para el anclaje no deben salir del chasis
- Para la implicación del montaje se pueden soldar tuercas

Partiendo de estos puntos se procede a colocar los anclajes, considerando los análisis de esfuerzos estáticos y modal dinámico en ANSYS para la distribución de las platinas que se soldara en el bastidor como puntos de apoyo para el fondo plano y los difusores.

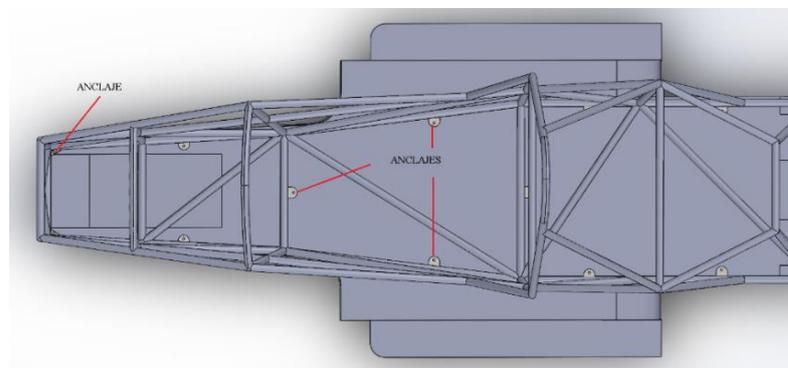


Figura 87-3: Posicionamiento de anclajes en SolidWorks

Fuente: Autores

Las platinas fueron soldadas con electrodo E-6011 al bastidor con puntos de sueldas para no debilitar la resistencia del tubo de la estructura del bastidor. Las platinas fueron preparadas con una perforación para perno M8 de acuerdo con el reglamento.



Figura 88-3: Unión por suelda de los puntos de los anclajes al bastidor

Fuente: Autores

3.7.2.13 *Montaje del fondo plano.* Una vez colocado los anclajes se procede a la colocación del fondo plano y los difusores al bastidor con un ajuste ligero y preciso para que no ocurra problemas con el posicionamiento y este centrado.

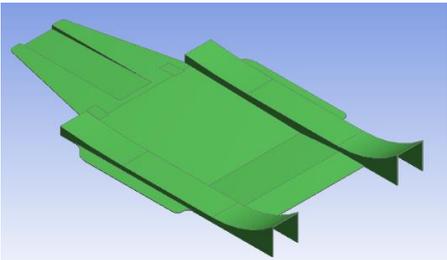
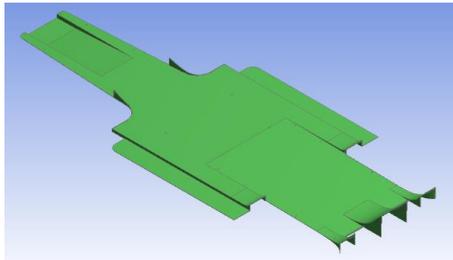


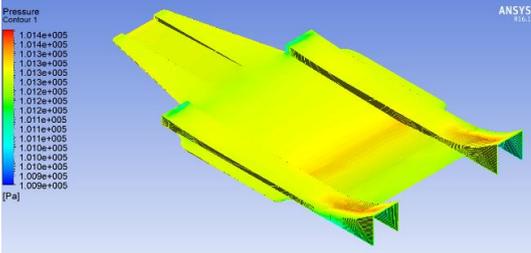
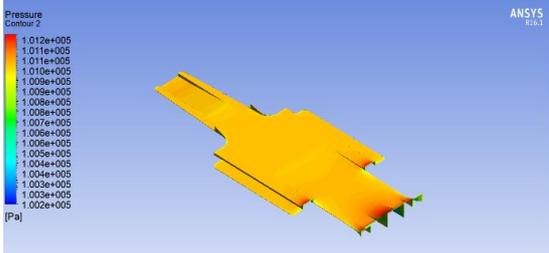
Figura 89-3: Montaje fondo plano y difusores con el bastidor

Fuente: Autores

3.9. Resultados

Tabla 18-3: Comparación de propiedades del material y resultados aerodinámicos entre los fondos planos y difusores 2016 y 2018

FONDO PLANO Y DIFUSORES VEHÍCULO FÓRMULA SAE 2016		FONDO PLANO Y DIFUSORES VEHÍCULO FÓRMULA SAE 2018	
 <p>Figura 90-3: Peso fondo plano 2016</p> <p>Fuente: Autores</p>		 <p>Figura 91-3: Peso fondo plano 2016</p> <p>Fuente: Autores</p>	
MATERIAL FIBRA DE CABUYA		FIBRA DE CARBONO	
Peso del fondo plano con difusores en fibra de cabuya	16.1 kg	Peso del fondo plano con difusores en fibra de carbono	6.913kg

<table border="1"> <tr><td colspan="2">Material</td></tr> <tr><td>Assignment</td><td>FIBRA DE CABUYA</td></tr> <tr><td>Nonlinear Effects</td><td>Yes</td></tr> <tr><td>Thermal Strain Effects</td><td>Yes</td></tr> <tr><td colspan="2">Bounding Box</td></tr> <tr><td colspan="2">Properties</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Volume</td><td>1.2777e+007 mm³</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Mass</td><td>16.61 kg</td></tr> </table>		Material		Assignment	FIBRA DE CABUYA	Nonlinear Effects	Yes	Thermal Strain Effects	Yes	Bounding Box		Properties		<input type="checkbox"/> Volume	1.2777e+007 mm ³	<input type="checkbox"/> Mass	16.61 kg	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Material</td></tr> <tr><td>Assignment</td><td>MATERIAL COMPUESTO EPOXI FIBRA DE CARBONO</td></tr> <tr><td>Nonlinear Effects</td><td>Yes</td></tr> <tr><td>Thermal Strain Effects</td><td>Yes</td></tr> <tr><td colspan="2">Bounding Box</td></tr> <tr><td colspan="2">Properties</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Volume</td><td>6.3422e+006 mm³</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Mass</td><td>6,913 kg</td></tr> </table>		Material		Assignment	MATERIAL COMPUESTO EPOXI FIBRA DE CARBONO	Nonlinear Effects	Yes	Thermal Strain Effects	Yes	Bounding Box		Properties		<input type="checkbox"/> Volume	6.3422e+006 mm ³	<input type="checkbox"/> Mass	6,913 kg
Material																																			
Assignment	FIBRA DE CABUYA																																		
Nonlinear Effects	Yes																																		
Thermal Strain Effects	Yes																																		
Bounding Box																																			
Properties																																			
<input type="checkbox"/> Volume	1.2777e+007 mm ³																																		
<input type="checkbox"/> Mass	16.61 kg																																		
Material																																			
Assignment	MATERIAL COMPUESTO EPOXI FIBRA DE CARBONO																																		
Nonlinear Effects	Yes																																		
Thermal Strain Effects	Yes																																		
Bounding Box																																			
Properties																																			
<input type="checkbox"/> Volume	6.3422e+006 mm ³																																		
<input type="checkbox"/> Mass	6,913 kg																																		
Densidad	1.3 g/cm ³	Densidad	1.48																																
Módulo de elasticidad	4157 Mpa	Módulo de elasticidad	6100.06 Mpa																																
Relación de poisión	0.25	Relación de poisión	0.25																																
Resistencia de fluencia	112 Mpa	Resistencia de fluencia	331.91 Mpa																																
ANÁLISIS AERODINÁMICO		ANÁLISIS AERODINÁMICO																																	
																																			
Figura 92-3: Contorno de presion fondo plano y difusores 2016		Figura 93-3: Contorno de presion fondo plano y difusores 2018																																	
Fuente: Autores		Fuente: Autores																																	

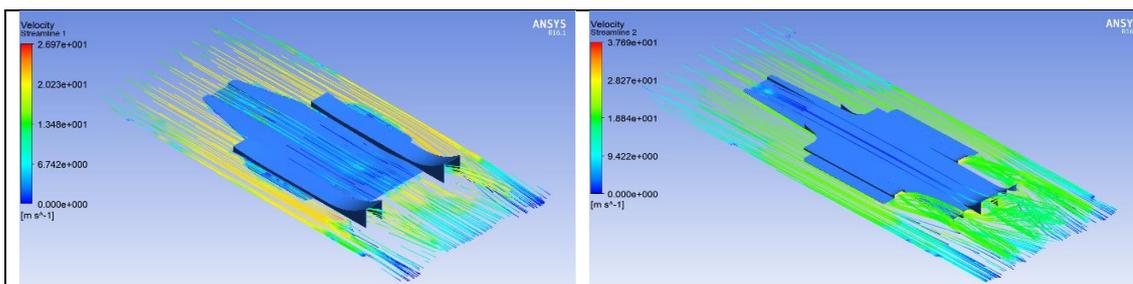


Figura 94-3: Líneas de flujo 3D fondo plano y difusores 2016

Fuente: Autores

Figura 95-3: Líneas de flujo 3D fondo plano y difusores 2018

Fuente: Autores

Área frontal	0.12357 m ²	Área frontal	0.12357 m ²
Velocidad	20.83 m/s	Velocidad	20.83 m/s
Coefficiente drag	0.6945	Coefficiente drag	0.88794
Coefficiente lift	-3.486	Coefficiente lift	-4.2929
Fuerza de sustentación	-114.47 N	Fuerza de sustentación	-131.039 N
Fuerzas de arrastre	22.81 N	Fuerzas de arrastre	27.1043N
Presión máxima	101 500 Pa (101 170 Pa)	Presión máxima	101 228 Pa
Presión mínima	100900 Pa (100.940 Pa)	Presión mínima	100 199 Pa

Fuente: Autores

Las propiedades de la fibra de carbono son superiores a la de la fibra de cabuya en resistencia y peso sin embargo el costo entre los refuerzos son bastantes significativos la fibra natural suele ser más barata que la de carbono.

La versión de fondo plano y difusores 2018 simulado es analizada con las mismas condiciones de velocidad presión y temperatura que la versión 2016.

Entre los diseños comparados podemos concluir que el fondo plano 2018 genera mayor eficiencia aerodinámica que la versión anterior y tiene 10 kilogramos menos sin embargo el diseño anterior presenta buenas características aerodinámicas ya que tiene menor coeficiente de arrastre debido a su diseño con difusor recto alargado desde el eje delantero hasta el posterior.

CAPITULO IV

4. ESTUDIO DE COSTOS

El objetivo del estudio de costos es el de dar a conocer los materiales necesarios, la cantidad y el precio de los mismos empleada en la construcción, estudio y desarrollo del elemento, para de esta manera permitir conocer el costo total del proyecto, además se puede acotar que el tiempo en el que tomo su construcción fue de un mes siguiendo todos los procesos y recomendaciones necesarias para lograr obtener los resultados deseados.

4.1. Costos Directos de Fabricación y Estudio

En este análisis de costos son tomados en cuenta los materiales y procesos los cuales con medibles y tienen un valor cuantificable, principalmente permitiéndonos conocer el costo de la materia prima y mano de obra empleado.

Tabla 1-4: Detalle de Costos Directos

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	Madera triplex 600x900x9 mm	9,00	9,00
3	Madera MDF 400x400x3 mm	1,50	4,50
1	Plancha MDF 2400x1400x9mm	36,00	36,00
5	Cortes de Madera	1,50	7,50
1	Pega Blanca	2,00	2,00
2	Sellador	6,50	13,00
4 lt	Tiñer	1,00	4,00
1	Masilla	8,00	8,00
1 lb	Clavos 1/4 plg	1,50	1,50

1	Caja de Tachuelas	3,00	3,00
15	Lija 240	0,40	6,00
5	Lija 80	0,40	2,00
5	Lija 400	0,40	2,00
5	Lija 500	0,70	3,50
5	Lija 1000	0,70	3,50
1/2 lt	Desmoldante	4,00	4,00
1	Baserola	2,00	2,00
10 kl	Resina Epofix 300	25,00	250,00
14 m2	Fibra de Cabono 3k	45,00	630,00
2	Disco de Corte	3,50	7,00
1	Disco de Pulido	4,00	4,00
2	Brochas	1,50	3,00
2	Espátulas	0,80	1,60
3	Cinta adhesiva	0,50	1,50
2	Broca 1/4 HSS	3,00	6,00
1	Broca 3/16 HSS	2,00	2,00
1	Broca 5/32 HSS	1,50	1,50
15	Pernos 6M	0,30	4,50

8	Pernos 8M	0,40	3,20
4 lb	Guaípe	2,00	8,00
2	Franela	1,00	2,00
1	Pulimento	3,00	3,00
1	Cera Abrillantadora 3M	7,00	7,00
1	Costo de Ensayo de Material	127,00	127,00
		Total	1172,80

Fuente: Autores

4.2. Costos Indirectos de Fabricación y Estudio

En este apartado son tomados en cuenta valores los cuales nos son cuantificables ni se pueden medir en el proceso de construcción y estudio del elemento, como lo son el empleo de herramientas y maquinas utilizadas, para lo cual su costo es una aproximación a lo real.

Tabla 2-4: Detalle de Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS	
Descripción	Costo
Transporte	100,00
Maquinas Utilizadas	75,00
Documento e Investigación	125,00
Gastos Adicionales	150,00
TOTAL	450,00

Fuente: Autores

4.3. Costo Total Fabricación y Estudio

Una vez obtenidos los valores directos e indirectos utilizados en el desarrollo del proyecto se da paso a obtener un costo total utilizado en el proceso de estudio y construcción del fondo plano y sus difusores posteriores.

Tabla 3-4: Detalle de Costos Totales

TIPO	COSTO
Costos Directos	1172,80
Costos Indirectos	450
Costo Total	1622,80

Fuente: Autores

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se investigó el reglamento vigente de la Fórmula SAE para la realización de un modelo de fondo plano y difusores que cumpla con la normativa propuesta con la competencia.

En base a tres diseños realizados en software CAD SolidWorks del fondo plano y difusores se seleccionó un modelo mediante la simulación en CFD de ANSYS que generaba mayor eficiencia aerodinámica, el fondo plano con tres difusores disminuyó el coeficiente de arrete e incrementó el coeficiente de sustentación negativamente del vehículo Fórmula SAE con respecto a los otros diseños lo cual dio como resultado mayor efecto suelo y reducción de la fuerza de avance. Además, mediante un análisis estático estructural y un análisis modal dinámico en ANSYS se determinó las dimensiones de construcción y la capacidad del material compuesto necesaria para soportar los esfuerzos aerodinámicos.

Se construyó el fondo plano con tres difusores mediante la utilización del material compuesto fibra de carbono y resina Epofix 300 aplicando un proceso de pre impregnación manual de la fibra con la resina, las capas pre impregnadas formaban una matriz de resina que atravesaba un 95 % de los espacios entre fibras esto permitió una homogenización de capas que colocadas una sobre otra aumentando la resistencia y el espesor del material compuesto.

Se realizaron análisis comparativos para materiales compuestos de fibra de carbono en el Centro de Fomento Carrocero de la ciudad de Ambato donde se especificó las propiedades mecánicas y físicas, además se validó la técnica de manufactura utilizado mediante los resultados de los ensayos de tracción, flexión e impacto, obteniendo valores próximos a los especificados en la ficha técnica del material fibra de carbono resina Epofix 300. Las propiedades determinadas en los ensayos son superiores a la utilizada anteriormente en la construcción del fondo plano en fibra de cabuya sin embargo hay una diferencia grande entre precios de los refuerzos para estos materiales compuestos.

5.2. Recomendaciones

Conocer e interpretar el reglamento de acuerdo a los requerimientos de construcción y costos de los sistemas y dispositivos aerodinámicos para el vehículo Fórmula SAE.

Para el proceso de manufactura considerar las técnicas aplicadas de acuerdo al proceso de curado con o sin autoclave y el vacío aplicado ya que de esto determinara una fusión homogénea de la matriz con los refuerzos.

La utilización de los equipos de protección personal es necesaria para manipular estos compuestos ya que afectan la epidermis y las vías respiratorias.

Bibliografía

ASKELAND, DONALD R. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores S.AA, 2017. ISBN 0-534-93423-4, pp. 619-648.

CAICEDO J. C., IPAZ L. *Diseño y Caracterización de un Compuesto Fibrorreforzado de Matriz Polimérica y Fibra De Carbono como Modelo en la Implementación de Cascos para Ciclismo*. [En línea] 2009. [Consultado: 2018-05-18.]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/260322682>

GUERRERO A. *Mecánica de fluidos capa limite y flujo externo Compresible*, [En línea] [Consultado: 2018-10-15.]. Disponible en: <http://kimerius.com/app/download/5784121617/Capa+1%C3%ADmite+y+flujo+externo+compresible.pdf>.

CORONA, Jose Luis Mateos. *Estudio y diseño aerodinámico de un fondo plano para un vehículo de competencia Fórmula SAE*. [En línea] (Trabajo de titulación).(Grado) Universidad de Sevilla, Dep. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. España. 2017. pp.1-7. [Consultado:2018-05-23]. Disponible en:<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60395/fichero/PFC+Jose+Luis+Mateos+Estudio+y+Dise%C3%B1o+de+un+fondo+plano+para+un+vehiculo+F%C3%B3rmula+Student.pdf>

DANIEL G., SUONG V. H., STEPHEN W. T. *Composite Materials: Design and Applications*. [En línea].New York-USA:CRC Press. [Consultado: 2018-05-23]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=KYe9BwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

CHIMBO D., & CRUZ J. *Diseño y Construcción del Piso (Fondo Plano con Difusores) Para un Vehículo de Competencia Tipo Fórmula "SAE" en Fibra Natural para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba- Ecuador. 2016. pp 3-22.

HERMENEGILDO RODRÍGUEZ GALBARRO. *Estudio de los materiales compuestos*. [En línea], [Consultado:2018-10-11]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/Tutorialsemanal/Tutorialn114.html>.

LÓPEZ, Manuel, & SÁNDEZ, Rivadulla. *Análisis CFD de un flap Gurney instalado en perfiles*. [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Carlos III de Madrid Escuela

Politécnica Superior, Madrid. 2008. [Consultado:2018-10-02]. pp12-24. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7118/PFC_Manuel_Lopez-Rivadulla_2009111314383.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MARTÍNEZ, SANTIAGO POVEDA. *Lecturas complementarias Materiales Compuestos*. [En línea]. 2009. [Consultado:2018-06-20], pp.1-4. Disponible en:http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-proyectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/UNIONES/elementos.

MORAN, IVAN. Diseño de Elementos de Maquinas 1. [En línea] 2013. [Consultado:2018-10-17], pp3-6. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/191720244/DISENO-DE-ELEMENTOS-DE-MAQUINAS-IVAN-MORAN>

ORTIZ PRADO, Armando, et al; *Modelado de procesos de manufactura*. [En línea], (Trabajo de titulación). (Grado), Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Coyoacán, México D.F., 2013. pp.234-247. [Consultado: 2018-07-20].Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/011-MPM-Cap8-inal.pdf?sequence=11>

SAE®, F., *Fórmula SAE Rules 2017-18*. [En línea] [Consultado: 2018-07-25]. 2017 Disponible en: <http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%20PRELIMINARY.pdf>

SAHUQUILLO NAVARRO, Oscar. *Estudio de la degradación de materiales compuestos base poliéster reforzados con fibra de vidrio en medios neutros y alcalinos*. [En línea], (Trabajo de titulación). (Grado), Universidad Politécnica de València. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Valencia, España. 2012pp.19 – 43. [Consultado: 2018-07-20]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15191/tesisUPV3783.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SARYAN, E., *Mekanik Terbaik di FÓRMULA 1; ADRIAN NEWEY*. [En línea], [Consultado: 2018-10-11]. Disponible en: <https://elsaryan.wordpress.com/2011/07/07/mekanik-terbaik-di-Fórmula-1-adrian-newey/>

SEAS@FÓRMULA1-DICCIONARY, *Difusor*. [En línea] [Consultado: 2018-10-11]. Disponible en: <http://www.Fórmula1-dictionary.net/diffuser.html>

SMITH, W. F. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 4ª ed, Mexico, 2006, pp. 1-79

STEFANO, M. D., *MOTOR AND RACING*. [En línea], 2017. [Consultado: 2018-10-12]. Disponible en: <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-fibra-de-carbono-y-su-uso-en-el-mundo-automotriz/>

TECHNICAL, F., *Desarrollo aero-mecánico Brawn BGP001 en 2009*. [En línea], 2009, [Consultado:2018-10-11]. Disponible en: <https://www.f1technical.net/forum/viewtopic.php?t=6617>

CAMÚÑEZ LLANOS, Rubén. *Elementos y dispositivos aerodinámicos en la Fórmula 1: parte central del vehículo*. [En línea] (Tesis de Licenciatura). Universidad Politécnica de Catalunya. 2014., [Consultado: 2018-10-13], pp24-55. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24755/TFG%20memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VILLACRÉS TOALOMBO, et ol; *Diseño aerodinámico y prototipado del vehículo Interprovincial ALFA-700 para Metálicas Pillapa*, (Trabajo de titulación). (Grado), ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba Ecuador. 2017. pp. 36-44. [Consultado: 2018-10-13]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6712/1/65T00225.pdf>

WILLIAN APERADOR. W. *Influencia de las fibras de carbono y fibras de vidrio en materiales compuestos como modelo en la implementación de pisos industriales.*, Bogota - Colombia: [En línea].2010 . [Consultado: 2018-10-13]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5364539.pdf>