



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SPOILER Y UN ALERÓN EN FIBRA NATURAL PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ EN LA ESPOCH”

**AVALOS VALVERDE GONZALO VLADIMIR
CHASI ALARCÓN MARCELO PATRICIO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-11-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**AVALOS VALVERDE GONZALO VLADIMIR
CHASI ALARCÓN MARCELO PATRICIO**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SPOILER Y UN ALERÓN EN FIBRA
NATURAL PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE”
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ EN LA ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celín Padilla Padilla
DIRECTOR

Ing. Víctor Bravo Morocho
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: AVALOS VALVERDE GONZALO VLADIMIR

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SPOILER Y UN ALERÓN EN FIBRA NATURAL PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ EN LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-06-22

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Álvarez Pacheco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celín Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Víctor Bravo Morocho 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. Carlos Álvarez Pacheco
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CHASI ALARCÓN MARCELO PATRICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SPOILER Y UN ALERÓN EN FIBRA NATURAL PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA “SAE” DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ EN LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-06-22

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Álvarez Pacheco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celín Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Víctor Bravo Morocho 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. Carlos Álvarez Pacheco
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación 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.

Avalos Valverde Gonzalo Vladimir

Chasi Alarcón Marcelo Patricio

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Gonzalo Vladimir Avalos Valverde y Marcelo Patricio Chasi Alarcón, 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.

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

Avalos Valverde Gonzalo Vladimir
Cedula de Identidad: 060414109-3

Chasi Alarcón Marcelo Patricio
Cedula de Identidad: 180434132-7

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios, el cual ha estado a mi lado y no me abandonado ni un instante, a mis padres Gonzalo y Fanny gracias por el apoyo incondicional, ayuda, el amor interminable que me supieron brindar, por ser un pilar fundamental en mi vida y a través de sus consejos y enseñanzas ser un hombre de bien por todo eso y mucho más les amaré y protegeré toda la vida, a mi hermana que aunque a veces peleamos quiero dedicarle este trabajo para que vea en mí un ejemplo a seguir, a toda mi familia por saber escucharme y apoyarme en todo lo que necesité, a mis abuelitos que mucha falta me hacen pero sé que desde el cielo me están cuidando. A mis amigos por estar en los momentos buenos y malos. Gracias a todos les quiero demasiado.

Gonzalo Avalos Valverde

Este trabajo de titulación va dedicado a la bendición más grande que Dios me dio, razón de mí vivir, a mis Padres Gilberto y Gladis fuente de mi inspiración para seguir respirando y en especial al amor más grande de mi vida a usted mamita ya que su constante lucha y esfuerzo se ve reflejado en estas páginas, Doña Gladicita esto es para usted. A mis tres hermanos que cada día me hacen mejor persona y a mis dos sobrinitas que me hacen sentir orgulloso de llamarme tío. En fin a toda mi familia y amigos por todo ese apoyo que me han brindado ya sea desde palabras de aliento hasta el impulso para culminar este logro académico. Esto es para todos ustedes.

Marcelo Chasi Alarcón

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento eterno a mi familia en especial a mis padres quienes estuvieron pendientes de mí todos los días en este largo camino, por darme ánimos y no decaer para así poder cumplir mis metas. Un especial agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con su carrera Ingeniería Automotriz, en donde me eduqué y adquirí mucha sabiduría para ser un excelente profesional. A los docentes que a través de sus conocimientos logran formar grandes ingenieros y buenas personas, a mi director y tutor de tesis por guiarme y brindar toda la ayuda posible. A mis compañeros de carrera gracias por compartir anécdotas, alegrías, conocimientos, de este modo agradezco a todos que de una u otra manera me han apoyado para culminar esta hermosa etapa de mi vida.

Gonzalo Avalos Valverde

En estos instantes quiero dar gracias primero a Dios por permitirme ser parte de esta grandiosa vida, y en ella entender que la mayor bendición de una persona es tener unos buenos padres, los mismos que doy las infinitas gracias a estos dos seres humanos que han luchado día tras día por verme crecer como persona y así también como profesional enseñándome que de nada sirve crecer profesionalmente sin tener primero un buen corazón por ello y mucho más tal vez estas letras no refleje todo el agradecimiento y amor que ustedes se merecen, pero hoy su hijo humildemente les da las gracias de todo corazón, de la misma manera a mis queridos hermanos y amigos que con palabras de apoyo me han animado para crecer profesionalmente. Como no también dar las gracias al director de este proyecto Ing. Celín Padilla como también al asesor del mismo Ing. David Bravo por su colaboración y guía incondicional para culminar este proyecto. De la misma manera a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la oportunidad de formarme en esta prestigiosa institución y a la Escuela de Ingeniería Automotriz con sus docentes y amigos con quienes me dieron la oportunidad de compartir gran parte de mi vida. De todo corazón infinitas gracias.

Marcelo Chasi Alarcón

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Aerodinámica	4
2.1.1 <i>Líneas de corriente y trayectoria.</i>	4
2.1.2 <i>Capa límite</i>	4
2.1.3 <i>Flujo laminar</i>	5
2.1.4 <i>Flujo turbulento</i>	5
2.1.5 <i>Número de Reynolds</i>	5
2.1.6 <i>Número de Mach.</i>	6
2.1.7 <i>Regímenes de flujo según Mach.</i>	6
2.1.8 <i>Perfil alar</i>	7
2.1.8.1 <i>Partes de un perfil alar</i>	7
2.1.8.2 <i>Clasificación de los perfiles.</i>	9
2.1.9 <i>Ángulo de ataque</i>	9
2.1.10 <i>Derivas laterales</i>	11
2.2 Perfiles NACA.....	11
2.2.1 <i>Perfil NACA de 4 dígitos.</i>	12
2.3 Principales fuerzas en los perfiles aerodinámicos	12
2.3.1 <i>Carga aerodinámica (Sustentación)</i>	13
2.3.2 <i>Resistencia aerodinámica</i>	13
2.3.3 <i>Coefficientes aerodinámicos (sustentación y resistencia).</i>	14
2.3.4 <i>Fineza.</i>	14
2.3.5 <i>Potencia absorbida</i>	15
2.4 Fibras naturales.....	15
2.4.1 <i>Clasificación de las fibras</i>	16
2.4.1.1 <i>Fibras inorgánicas</i>	16
2.4.1.2 <i>Fibras sintéticas. Fibra de arámida.</i>	16
2.4.2 <i>Cabuya</i>	17
2.4.3 <i>Propiedades de la fibra de cabuya</i>	17
2.4.4 <i>Otras características</i>	18
2.4.5 <i>Materiales compuestos</i>	18
2.4.6 <i>Comportamiento de materiales compuestos.</i>	21
2.5 Materiales para la fabricación de alerones.	21
2.5.1 <i>Aluminio.</i>	21
2.5.2 <i>Fibra de vidrio</i>	22
2.5.3 <i>Fibra de carbono</i>	23
2.5.4 <i>Plásticos.</i>	23
3. DISEÑO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL ALERÓN Y SPOILER	
3.1 Consideraciones de diseño	25

3.2	Cálculo de los perfiles aerodinámicos.....	26
3.2.1	<i>Cálculo de la Cuerda.....</i>	26
3.2.2	<i>Dimensión de la envergadura.</i>	26
3.2.3	<i>Perfil NACA 4412.....</i>	26
3.2.4	<i>Perfil NACA 6412.....</i>	27
3.2.5	<i>Perfil 5212.....</i>	28
3.3	Diseño de los perfiles en software.....	28
3.3.1	<i>Condiciones de contorno.....</i>	28
3.3.2	<i>Simulación en software CAD.....</i>	30
3.4	Análisis y validación en el software Ansys.....	32
3.4.1	<i>Simulación aerodinámica del perfil NACA 4412.....</i>	32
3.4.1.1	<i>Mallado.....</i>	32
3.4.1.2	<i>Contorno de presión.....</i>	32
3.4.1.3	<i>Contorno de velocidad.....</i>	33
3.4.1.4	<i>Contorno de fuerza x.....</i>	33
3.4.2	<i>Simulación aerodinámica del perfil NACA 6412.....</i>	36
3.4.2.1	<i>Mallado.....</i>	36
3.4.2.2	<i>Contorno de presión.....</i>	36
3.4.2.3	<i>Contorno de velocidad.....</i>	37
3.4.2.4	<i>Contorno de fuerza “x”.....</i>	37
3.4.2.5	<i>Contorno de fuerza “y”.....</i>	38
3.4.3	<i>Simulación aerodinámica del perfil 5212.....</i>	40
3.4.3.1	<i>Mallado.....</i>	40
3.4.3.2	<i>Contorno de presión.....</i>	40
3.4.3.3	<i>Contorno de velocidad.....</i>	41
3.4.3.4	<i>Contorno de fuerza “x”.....</i>	41
3.4.3.5	<i>Contorno de fuerza “y”.....</i>	42
3.5	Análisis comparativo de resultados y selección del mejor perfil.....	44
3.6	Análisis de los perfiles aerodinámicos con sus derivas laterales.....	44
3.6.1	<i>Mallado del spoiler delantero.....</i>	45
3.6.2	<i>Contorno de velocidad.....</i>	46
3.6.3	<i>Contorno de presión.....</i>	46
3.6.4	<i>Contorno de fuerza “x”.....</i>	47
3.6.5	<i>Contorno de fuerza “y”.....</i>	47
3.6.6	<i>Mallado del alerón posterior.....</i>	48
3.6.7	<i>Contorno de velocidad.....</i>	49
3.6.8	<i>Contorno de presión.....</i>	49
3.6.9	<i>Contorno de fuerza “x”.....</i>	50
3.6.10	<i>Contorno de fuerza “y”.....</i>	50
3.7	Asignación del material en el programa Ansys 16.0.....	50
3.8	Análisis estático de tensiones.....	51
3.8.1	<i>Secuencia de análisis.....</i>	52
3.8.2	<i>Importación de presiones.....</i>	52
3.8.3	<i>Deformación máxima.....</i>	53
3.8.4	<i>Esfuerzo equivalente de Von-Mises.....</i>	54
3.8.5	<i>Factor de seguridad.....</i>	55
3.9	Análisis modal.....	57
3.9.1	<i>Análisis modal del spoiler delantero:.....</i>	57
3.9.2	<i>Análisis modal del alerón posterior.....</i>	60
3.10	Análisis en el túnel de viento.....	62

3.11	Mecanismo de variación del ángulo del alerón posterior.....	63
3.12	Consideraciones para la ubicación del spoiler y alerón en el prototipo.	63
3.12.1	<i>Dimensiones del vehículo.</i>	64
3.12.2	<i>Ubicación del alerón y spoiler.</i>	65
4.	CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN	
4.1	Parámetros para la construcción.....	67
4.2	Obtención de la fibra natural.....	67
4.2.1	<i>Estratificación manual.</i>	67
4.3	Construcción del spoiler y el alerón.....	68
4.3.1	<i>Obtención del alma del alerón</i>	68
4.3.2	<i>Construcción de las derivas laterales</i>	69
4.3.3	<i>Medición y corte de las láminas de cabuya.</i>	70
4.3.4	<i>Preparación de la resina.</i>	71
4.3.5	<i>Colocación de la resina</i>	72
4.3.6	<i>Colocación de la cabuya</i>	72
4.3.7	<i>Secado.</i>	73
4.3.8	<i>Pulido</i>	73
4.3.9	<i>Colocación de la masilla.</i>	73
4.3.10	<i>Lijado.</i>	74
4.4	Construcción del mecanismo de variación del alerón:.....	74
4.5	Construcción del soporte delantero y posterior.....	75
4.6	Adaptación del alerón y spoiler en el monoplaça.....	76
5.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	
5.1	Costos directos.....	77
5.2	Costos indirectos.....	77
5.3	Costo total.....	78
5.4	Costos para la sociedad.....	78
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones.....	79
6.2	Recomendaciones.....	80

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales 17
2	Características físicas de la fibra de cabuya 18
3	Comparación entre fibra natural y fibra de vidrio 24
4	Condiciones de contorno 29
5	Coordenadas para el encapsulado 29
6	Condiciones y datos de entrada para la simulación 32
7	Condiciones y datos de entrada para la simulación 36
8	Condiciones y datos de entrada para la simulación 40
9	Análisis comparativo de los perfiles 44
10	Condiciones y datos de entrada para la simulación de spoiler delantero 46
11	Condiciones y datos de entrada para la simulación del alerón posterior 48
12	Características de la fibra de cabuya 51
13	Formas modales 59
14	Formas modales del alerón posterior 61
15	Datos del vehículo tipo Fórmula SAE 64
16	Equipos y herramientas 68
17	Porcentajes de materiales 71
18	Costos directos 77
19	Costos indirectos 78
20	Costo total 78
21	Costo sin soportes 78
22	Costo con soportes 78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Líneas de corriente..... 4
2	Capa límite..... 4
3	Flujo laminar..... 5
4	Flujo turbulento 5
5	Perfil alar 7
6	Partes de un alerón..... 7
7	Ángulo de ataque 9
8	Distribución de fuerzas y centros de presión 10
9	Separación del flujo de un perfil..... 10
10	Efecto de las derivas en el flujo de aire 11
11	Perfil NACA 2412 12
12	Fuerza resultante..... 14
13	Coefficientes aerodinámicos 14
14	Fibras naturales en la industria automotriz y otros sectores 16
15	Fibra de cabuya..... 17
16	Material ortotrópico 20
17	Perfil de un alerón..... 25
18	Perfil NACA 4412 27
19	Perfil NACA 6412 27
20	Perfil 5212 28
21	Malla..... 31
22	Calidad de malla 31
23	Calidad de malla del perfil NACA 4412 32
24	Contorno de presión del perfil NACA 4412..... 32
25	Contorno de velocidad del perfil NACA 4412 33
26	Contorno de Fuerza en "x" del perfil NACA 4412 33
27	Contorno de fuerza en "y" del perfil NACA 4412 34
28	Calidad de malla del perfil NACA 6412 36
29	Contorno de presión del perfil NACA 6412..... 36
30	Contorno de velocidad del perfil NACA 6412..... 37
31	Contorno de fuerza en "x" del perfil NACA 6412 37
32	Contorno de fuerza en "y" del perfil NACA 6412 38
33	Calidad de malla del perfil NACA 5212 40
34	Contorno de presión del perfil 5212 40
35	Contorno de velocidad del perfil 5212 41
36	Contorno de fuerza en "x" del perfil 5212..... 41
37	Contorno de fuerza en "y" del perfil 5212..... 42
38	Alerón posterior con soportes 45
39	Spoiler delantero con soportes..... 45

40	Encapsulado del spoiler delantero	45
41	Mallado del spoiler delantero	45
42	Contorno de velocidad del spoiler delantero	46
43	Contorno de presión del spoiler delantero	46
44	Contorno de fuerza en "x" del spoiler delantero.....	47
45	Contorno de Fuerza "y" en el spoiler delantero.....	47
46	Encapsulado del alerón posterior.....	48
47	Mallado del alerón posterior	48
48	Contorno de velocidad del alerón posterior.....	49
49	Contorno de presión en el alerón posterior.....	49
50	Contorno de fuerza en "x" del alerón posterior	50
51	Contorno de fuerza "y" en el alerón posterior	50
52	Asignación del material en el programa Ansys 16.0	51
53	Secuencia de análisis del spoiler delantero.....	52
54	Secuencia de análisis del alerón posterior	52
55	Importación de presiones en el spoiler delantero	52
56	Importación de presiones en el alerón posterior	53
57	Deformación máxima del spoiler delantero.....	53
58	Deformación máxima del alerón posterior	54
59	Esfuerzo equivalente de Von-Mises del spoiler delantero	54
60	Esfuerzo equivalente de Von-Mises del alerón posterior.....	55
61	Factor de Seguridad del spoiler delantero	56
62	Factor de Seguridad del alerón posterior.....	56
63	Análisis modal del spoiler delantero.....	57
64	Primera forma modal	57
65	Segunda forma modal.....	58
66	Tercera forma modal.....	58
67	Cuarta forma modal	58
68	Quinta forma modal.....	59
69	Sexta forma modal.....	59
70	Análisis modal del alerón posterior	60
71	Primera forma modal	60
72	Segunda forma modal.....	60
73	Tercera forma modal.....	60
74	Cuarta forma modal	61
75	Quinta forma modal.....	61
76	Sexta forma modal.....	61
77	Spoiler y alerón en 3D	62
78	Simulación del spoiler delantero y alerón posterior en el túnel de viento.....	62
79	Mecanismo de variación del ángulo del alerón posterior	63
80	Vista frontal de la carrocería Fórmula "SAE"	64
81	Vista lateral de la carrocería Fórmula "SAE".....	64
82	Vista superior de la carrocería Fórmula "SAE"	65
83	Vista lateral del alerón y spoiler en la carrocería Fórmula "SAE"	65

84	Vista frontal y superior del alerón y spoiler en la carrocería Fórmula "SAE".	65
85	Vista isométrica del alerón y spoiler en la carrocería Fórmula "SAE"	66
86	Perfil 5212 con sus respectivas curvas	68
87	Forma paralela en la envergadura del perfil	69
88	Formación de las derivas laterales del perfil delantero	69
89	Formación de las derivas laterales del perfil posterior	69
90	Derivas laterales de los dos perfiles.....	70
91	Perforación para el montado de las derivas laterales.....	70
92	Obtención del spoiler y alerón respectivamente.....	70
93	Medición y corte de las láminas de cabuya	71
94	Preparación de la resina.....	71
95	Colocación de la resina.....	72
96	Colocación de las láminas de cabuya	72
97	Colocación de las láminas de cabuya sobre las derivas laterales	72
98	Secado de la fibra de cabuya	73
99	Pulido de la fibra de cabuya en el spoiler y alerón.....	73
100	Colocación de masilla plástica sobre el spoiler y alerón	73
101	Lijado del spoiler y alerón	74
102	Mecanismo de variación inferior.....	74
103	Mecanismo de variación superior.....	74
104	Mecanismo de variación del alerón	75
105	Soporte del alerón posterior en el monoplaza.....	75
106	Soporte del spoiler y alerón ubicados en la carrocería	75
107	Adaptación del alerón y spoiler en el monoplaza.....	76

SIMBOLOGÍA

v	Velocidad	m/s^2
P	Presión	Pa
F	Fuerza	kg
F _x	Fuerza X	kg
F _y	Fuerza Y	kg
V	Volumen	m^3
L	Longitud	L
ρ	Densidad	kg/cm^3
S	Área o superficie alar	m^2
%	Porcentaje	
c	Cuerda	mm
d	Distancia de eje a eje	mm
e	Envergadura	mm
Pa	Presión atmosférica	kg/m^2
T	Temperatura	K

LISTA DE ABREVIACIONES

FSAE	Formula SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
CAD	Diseño Asistido por Computador
DFC	Dinámica de Fluidos Computacional
MPa	Mega Pascales
PLA	Ácido Poli-Láctico
NACA	Consejero Nacional para la Aeronáutica
T	Temperatura
μ	Coefficiente cinemático
P	Densidad del aire
V	Velocidad del objeto en estudio
Re	Número de Reynolds
P	Presión
M	Número de Match
Hp	Caballos de Fuerza
Fd	Resistencia aerodinámica
Cl	Coefficiente de sustentación
Fy	Carga aerodinámica
F	Fineza
Cd	Coefficiente de Resistencia
L	Longitud de la superficie en contacto
C	Velocidad del sonido
Fx	Resistencia aerodinámica
Cd	Coefficiente de resistencia
N	Factor de Seguridad

LISTA DE ANEXOS

- A** Reglamento Fórmula SAE

RESUMEN

El presente trabajo de titulación sirvió para diseñar y construir los elementos aerodinámicos del vehículo de competencia Fórmula SAE, mediante la utilización de material compuesto de fibra de cabuya tejida en forma natural, debido a que no produce ningún tipo de contaminación, es renovable y su obtención es de fácil acceso, encontrándose en todo el callejón interandino.

SolidWorks y Ansys 16.0 son los software utilizados para el diseño y simulación del alerón y spoiler, se realizaron tres prototipos de elementos aerodinámicos, perfil NACA 6412, NACA 4412 y NACA 5212, a continuación se empezó la simulación en donde se pudo constatar que el perfil que brinda la mejor eficiencia es el perfil NACA 5212 con una fineza de 0,995. Escogido el perfil se empieza con su construcción, se utiliza el método de estratificación manual, que es la técnica más sencilla de obtener materiales compuestos, para la creación de la matriz se usa madera (laurel), colocando la resina poliéster mezclado con cabuya se obtiene una capa dura y resistente.

Finalmente se coloca la masilla y se realiza el pintado, que proporciona un acabado superficial moderno, posteriormente se ubica el alerón y spoiler en la carrocería del Fórmula SAE, se recomienda utilizar cabuya completamente seca para que absorba en forma correcta la resina poliéster tomando la forma del perfil con sus respectivas derivas, quedando el vehículo listo para competir, realizando el prestigio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a nivel nacional e internacional.

ABSTRACT

This work degree was conducted in order to design and build the aerodynamic elements of the vehicle of Formula SAE racing, by using compound material of woven cabuya fibre, since this material does not produce any pollution, it is renewable and it is easy to find it throughout the inter-Andean corridor.

Both, Solid Works and Ansys 16.0 were the software tools used for the design and simulation of the aileron and spoiler, three prototypes for the aerodynamic elements, NACA profile 6412, NACA 4412 and NACA profile 5212, then, the simulation was carried out, from which it was found that the profile providing the best efficiency was the NACA profile 5212 with a fineness of 0,995. Once the profile was chosen its construction took place; it was applied the manual stratification method which is the simplest technique to obtain composite materials, while laurel, a variety of wood, is used for the construction of the matrix where the polyester resin is applied being mixed up with the cabuya, which results in a hard and resistant layer.

Finally the filler is applied and the vehicle is painted, which provides it a modern, surface finish, after that, the aileron and spoiler are assembled in the car body of the Formula SAE. It is recommended to use cabuya completely dry in order to absorb the polyester resin in an effective way taking the shape of the profile with their respective drifts, leaving the vehicle ready to compete, enhancing the prestige of the Polytechnic School of Chimborazo at national and international level.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, el aspecto que ha tenido una mayor influencia en cuanto al rendimiento de los automóviles, es el desarrollo de la aerodinámica. Anteriormente el coeficiente de resistencia aerodinámica era de 1,50; factor que elevaba el consumo de combustible. Para solventar éste problema se comenzaron a utilizar spoilers y alerones que provocan turbulencia en el flujo del aire acelerado por encima de la superficie superior del automóvil, generando sustentación negativa o en nuestro caso carga aerodinámica, mejorando las prestaciones de los automóviles.

En el Ecuador, el estudio del mejoramiento aerodinámico ha sido insuficiente, ya que solo se ha limitado a mejorar la estética con la implementación de alerones y spoiler estáticos universales, sin la realización de un estudio aerodinámico previo para su implementación en el coche.

Mediante estudios realizados por universidades ecuatorianas como son: la Escuela Superior Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana se ha conseguido información referente a vehículos de competencia Fórmula SAE, la cual se ha tomado como guía para el desarrollo aerodinámico, además el presente trabajo de titulación pretende innovar la construcción del spoiler y alerón mediante la utilización de fibras naturales, las mismas que se están convirtiendo en el principal recurso en la fabricación de partes y piezas automotrices, debido a sus buenas propiedades físicas y mecánicas, al mismo tiempo que no contamina el medio ambiente y es un recurso natural renovable.

Mediante la instalación de un spoiler y alerón de posición variable a un monoplaza se logra aumentar la velocidad en curvas, aportar mayor adherencia al piso, incrementar la maniobrabilidad, de esta manera aumenta la estabilidad y el rendimiento del vehículo a grandes velocidades en cualquier circuito, llegando a tener un alto nivel competitivo.

1.2 Justificación

Este trabajo de titulación se centra en diseñar por medio de programas de computación y con la aplicación del método de elementos finitos un spoiler y un alerón de fibra natural, que permita brindar al prototipo más adherencia y estabilidad a determinada velocidad.

Dada la constante necesidad de incrementar nuestros conocimientos en relación al desarrollo técnico y tecnológico, nació entonces la idea de representar este trabajo de titulación 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 en nuestro país generarán resultados muy productivos utilizando una menor cantidad de recursos y 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 cabuya como material principal para la construcción.

En la elaboración del presente trabajo se deberá tener en cuenta parámetros de diseño y construcción, además de un conjunto de conocimientos, habilidades, capacidades, destrezas y aptitudes las cuales se obtuvieron a lo largo de nuestra vida estudiantil, de tal manera que, al culminar dicho trabajo se llegará a estar capacitado para aportar con información técnica sobre el tema.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.*

Diseñar y construir un spoiler y un alerón en fibra natural para un vehículo de competencia Fórmula “SAE” de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Generar 3 alternativas de geometrías del alerón y spoiler en CAD y simular el comportamiento en DFC para seleccionar la mejor opción.

- Diseñar un spoiler y un alerón que genere sustentación negativa que permita una mejor adherencia del monoplaza al suelo.
- Realizar un estudio de materiales (fibras naturales) que cumpla con las exigencias mecánicas y estructurales que demandan una competencia Fórmula SAE.
- Construir un spoiler y un alerón con materiales compuestos (resina poliéster y fibra natural), que garanticen un correcto desempeño dentro de una pista.

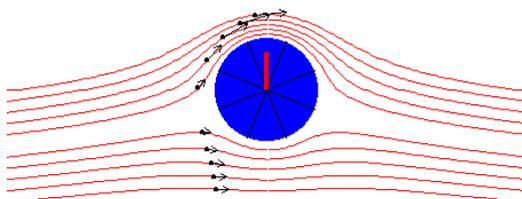
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Aerodinámica

2.1.1 Líneas de corriente y trayectoria. Se definen como aquellas líneas imaginarias que muestran la trayectoria o camino recorrido por las partículas de un fluido, y que además cada punto de dicha línea es tangente a su respectivo vector velocidad. Está en régimen estacionario cuando las condiciones externas a las que está sometido el flujo (velocidad, presión, densidad), no cambian a lo largo del transcurso del tiempo. Si lo hicieran el régimen se conoce como transitorio, este concepto es importante tenerlo presente cuando llevemos a cabo las simulaciones pues el flujo será siempre estacionario en este estudio. (McBEATH, 2001)

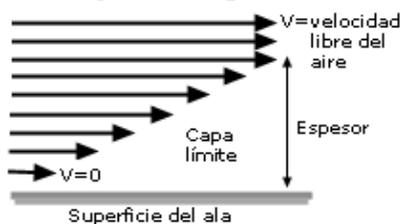
Figura 1. Líneas de corriente



Fuente: (McBEATH, 2001)

2.1.2 Capa límite. Cuando el aire se desplaza a lo largo del alerón, las partículas tienden a adherirse a la superficie del perfil esto ocurre debido a que el aire es un fluido viscoso, por lo tanto la capa del aire que está en contacto con el ala se adhiere o está siendo frenado debido al rozamiento que ofrece la superficie del alerón al aire. (MOTT, 2006)

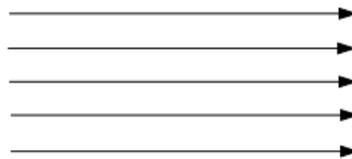
Figura 2. Capa límite



Fuente: (MOTT, 2006)

2.1.3 *Flujo laminar.* Se llama flujo laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse. Las capas adyacentes del fluido se deslizan suavemente entre sí. El mecanismo de transporte es exclusivamente molecular. Se dice que este flujo es aerodinámico. Ocurre a velocidades relativamente bajas o viscosidades altas como veremos. (MOTT, 2006)

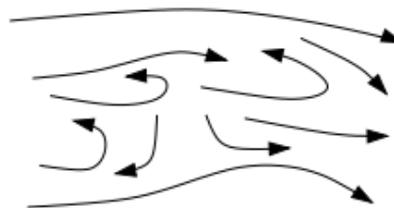
Figura 3. Flujo laminar



Fuente: (MOTT, 2006)

2.1.4 *Flujo turbulento.* Se llama flujo turbulento cuando se hace más irregular, caótico e impredecible, las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos. Aparece a velocidades altas o cuando aparecen obstáculos abruptos en el movimiento del fluido. (MOTT, 2006)

Figura 4. Flujo turbulento



Fuente: (MOTT, 2006)

2.1.5 *Número de Reynolds.*

El número de Reynolds nos permite calcular de una manera sencilla si el flujo es laminar o turbulento. Un número de Reynolds alto, superior a 4000 aproximadamente, significa un flujo turbulento, en cambio para números de Reynolds más bajos a 2000 el flujo será laminar; mientras que para números de Reynolds entre 2000 y 4000 el flujo está en transición y no se puede saber su comportamiento, estos valores son para el aire, mientras que para los líquidos bordean valores que van entre 3000 y 4400.

Para ello se utiliza la siguiente fórmula. (MOTT, 2006)

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} \quad (1)$$

Por lo tanto:

Re = Número de Reynolds

ρ = Densidad del aire.

v = Velocidad del vehículo (flujo)

l = Longitud de la superficie en contacto

μ = Coeficiente cinemático.

En el campo automovilístico se utiliza la expresión:

$$Re = 67,778vl \quad (2)$$

Donde v es la velocidad del objeto y esta expresada en m/s y l es la longitud en m.

2.1.6 *Número de Mach.* Es la relación entre la velocidad del flujo y la del sonido dentro del fluido, además es un número adimensional por lo tanto; (MOTT, 2006)

$$M = V/c \quad (3)$$

Donde:

M = Número de Mach

V = Velocidad del flujo [m/s]

c = Velocidad del sonido [m/s]

2.1.7 *Regímenes de flujo según Mach.* En el número de Mach se definen generalmente cinco regímenes de flujo, en la siguiente forma: (MOTT, 2006)

- Régimen subsónico: El número de Mach es inferior a la unidad,

$$M < 1$$

- Régimen transónico: El número de Mach es igual a uno,

$$M = 1$$

- Régimen supersónico: donde el número de Mach es superior a uno e inferior a 5.

$$1 < M < 5$$

- Régimen hipersónico: Es cuando el número de Mach es igual o superior a 5.

$$M \geq 5$$

Existe otra clasificación para el número de Mach en donde se considera si el flujo de aire está en régimen compresible o incompresible. (G. HANSEN, 1982)

- Régimen incompresible: El número de Mach tiene un valor menor a 0,3.
- Régimen compresible: El número de Mach es superior a 0,3. (G. HANSEN, 1982)

2.1.8 *Perfil alar.* Un perfil aerodinámico es un cuerpo con un diseño determinado, el cual aprovechará las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando éste se sitúa dentro de una corriente de aire. (GARCÍA PEDROZA, 2013)

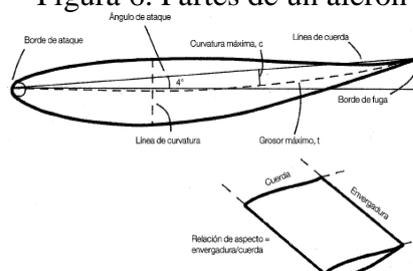
Figura 5. Perfil alar



Fuente: (GARCÍA PEDROZA, 2013)

2.1.8.1 *Partes de un perfil alar*

Figura 6. Partes de un alerón



Fuente: (McBEATH, 2001)

Términos y definiciones de las partes que forman un alerón.

- Cuerda. Se trata de una línea recta que sirve para unir el borde de ataque con el borde de fuga. Normalmente se especifica con la letra “c”. (GARCÍA PEDROZA, 2013)
- Espesor. Se trata del grosor máximo de un alerón se puede expresar en porcentaje de la dimensión de la cuerda. Normalmente se la representa con la letra “t”. De esta manera si un ala tiene una dimensión de cuerda de 409 mm y $t = 0,19c$, el grosor máximo es: (GARCÍA PEDROZA, 2013)

$$t = 409 \text{ mm} \times 0,19$$

$$t = 77,71 \text{ mm.}$$

- Curvatura media. Es la línea equidistante entre el extradós y el intradós. La sección de un ala puede ser de dos formas simétrica o asimétrica si se trata de la forma asimétrica se dice que tiene curvatura lo que significa que su parte inferior está más curvada que la parte superior. (GARCÍA PEDROZA, 2013)
- Envergadura. El ancho de un ala es conocido como su envergadura y la relación de aspecto es la relación que tiene la envergadura con la cuerda. Los automóviles de carreras tienen unas relaciones de aspectos muy bajas. (GARCÍA PEDROZA, 2013)
- Borde de ataque. Parte delantera del perfil en donde incide la corriente de aire. (GARCÍA PEDROZA, 2013)
- Borde de salida. Parte posterior del perfil por donde sale la corriente de aire, también se la conoce como borde de fuga. (GARCÍA PEDROZA, 2013)
- Extradós. Zona superior del perfil entre el borde de ataque y el de salida. (GARCÍA PEDROZA, 2013)
- Intradós. Zona inferior del perfil entre el borde de ataque y el de salida. (GARCÍA PEDROZA, 2013).

2.1.8.2 Clasificación de los perfiles. A continuación se detalla los distintos tipos de perfiles aerodinámicos.

Según forma:

- Asimétricos (con curvatura).
- Simétricos.

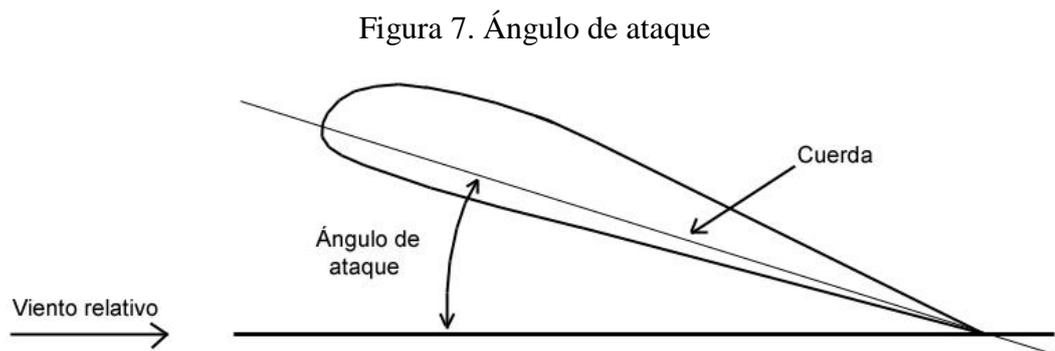
Según sus características:

- Laminares (de baja resistencia).
- De bajo momento (el perfil tiene poca tendencia a girar hacia adelante).
- Críticos (el ángulo de pérdida es mayor).
- Delgados (tienen menos resistencia, pero la sustentación no disminuye).
- De carga (son gruesos, causan mucha sustentación y poseen mucha resistencia).
- Populares (no tienen ninguna característica en especial, pero son muy comunes).

Según orientación del diseño hacia un rango de velocidades de operación:

- Subsónicos.
- Transónicos.
- Supersónicos. (BLANES, 2013).

2.1.9 Ángulo de ataque. Es el ángulo formado por la cuerda del perfil alar y la dirección del aire. (McBEATH, 2001)

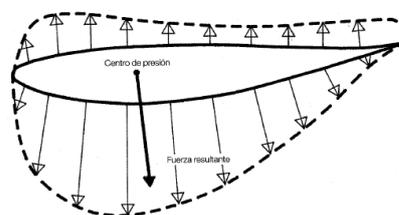


Fuente: (McBEATH, 2001)

El flujo de aire que pasa por un automóvil SAE es de sentido horizontal con respecto al suelo paralelo. Esto puede ser cierto en los alerones delanteros pero casi nunca es cierto en los alerones traseros. Los alerones de un auto de carrera no pueden tener ángulos de incidencia variables mientras se encuentran en marcha, y los cambios en dichos ángulos solo pueden realizarse en los boxes. (CASTAÑÉ, 1996)

El punto teórico o línea en el que actúan las fuerzas sobre un alerón y en el cual no hay un par o momento incidente se conoce como centro de presión. Desde este punto surge la distribución de presiones sobre todo el alerón. La curva del perfil donde la zona de la fuerza resultante es mayor se denomina extradós y la curva del perfil donde la fuerza resultante es menor se denomina intradós. (CASTAÑÉ, 1996)

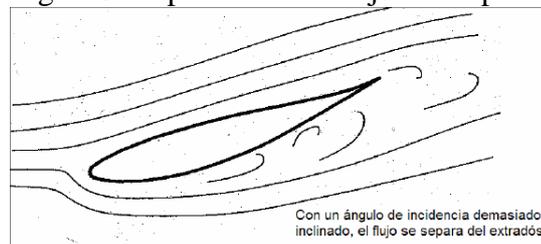
Figura 8. Distribución de fuerzas y centros de presión



Fuente: (BLANES, 2013)

La relación que existe entre sustentación y resistencia se denomina Fineza y se utiliza como medida de la eficiencia aerodinámica. La carga aerodinámica y la resistencia normalmente aumentan con un ángulo de ataque más prominente. Sin embargo existe, un cierto ángulo y todos los alerones tienen uno, en el cual el flujo de aire se desvía por el lado de succión del ala y en lugar de fluir suavemente se vuelve muy inestable y se separa de la superficie del alerón. Este efecto es acompañado por una pérdida repentina de carga aerodinámica y un aumento de igual tamaño de la resistencia. Se dice entonces que el alerón está en pérdida. (CASTAÑÉ, 1996)

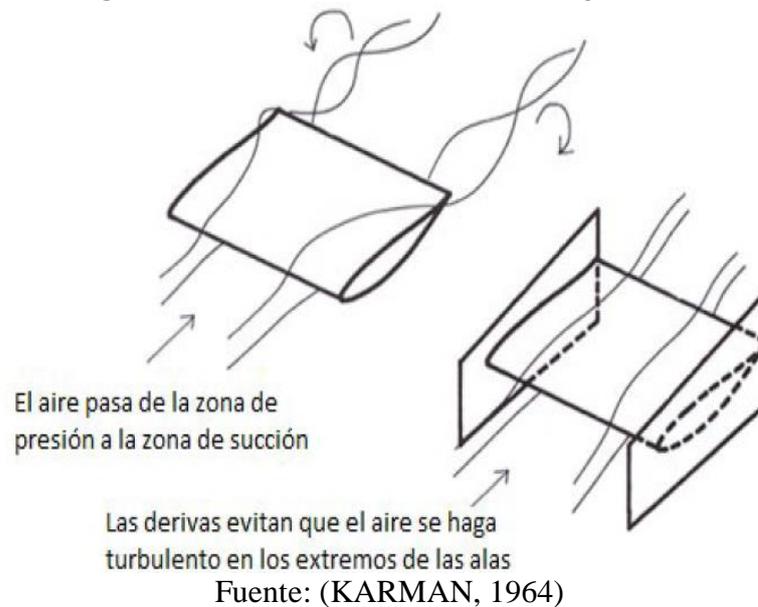
Figura 9. Separación del flujo de un perfil



Fuente: (BLANES, 2013)

2.1.10 Derivas laterales. Las derivas no solo esconden la forma del perfil sino incrementan la carga aerodinámica del alerón de forma considerable, quizá hasta en un 30%, sobre el valor que se logra sin ellas. Sin derivas, la diferencia de presión de aire entre la parte inferior y superior hace que el aire en la zona de alta presión intente escapar a la zona de baja presión y se derrame por las alas con movimientos diagonales. Esto causa una pérdida de carga aerodinámica. Las derivas necesitan ser bastante grandes para ser efectivas y poder servir como estabilizadores, aunque generalmente no existe mucho espacio para usar. (KARMAN, 1964)

Figura 10. Efecto de las derivas en el flujo de aire



2.2 Perfiles NACA

Son una serie de perfiles que fueron creados por la NACA (National Advisory Committee For Aeronautics) para proveer una familia estandarizada de geometrías de perfiles para desarrollo y análisis de ingeniería. (McBEATH, 2001)

Existen algunas numeraciones para perfiles NACA entre ellos tenemos:

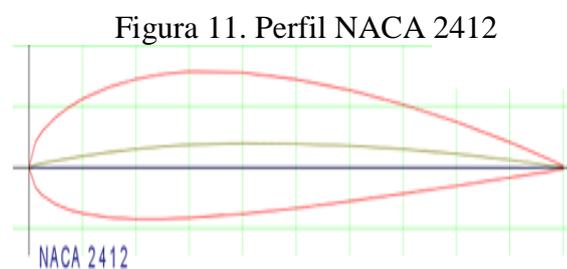
- Serie NACA de 4 dígitos.
- Serie NACA de 5 dígitos.
- Serie NACA de 6 dígitos.
- Serie NACA de 7 y 8 dígitos.

Para el presente trabajo de titulación se utilizará un perfil NACA de 4 dígitos, en el cual dependiendo del valor de cada dígito se observa la forma del perfil aerodinámico y sus respectivas características.

2.2.1 Perfil NACA de 4 dígitos. Son basados en criterios de geometría, con los dígitos de la máxima curvatura y el máximo grosor, para una mejor comprensión se muestra como ejemplo el siguiente perfil aerodinámico. (McBEATH, 2001)

Perfil NACA 2412

- Primera cifra 2: El primer dígito designa la posición de la máxima deflexión de la línea de curvatura como un porcentaje de la cuerda. En este caso la máxima deflexión de la curvatura es del 2% de la cuerda. (McBEATH, 2001)
- Segunda cifra 4: El segundo dígito indica la posición, es decir la distancia desde el borde de ataque hasta la posición de la máxima curvatura. En este caso la máxima curvatura es del 40% de la cuerda. (McBEATH, 2001)
- Tercera y cuarto dígito 12: Los dos últimos dígitos definen el espesor del perfil como un porcentaje de la cuerda. En este caso el espesor es 12% de la cuerda. (McBEATH, 2001)



Fuente: (GARCÍA PEDROZA, 2013)

2.3 Principales fuerzas en los perfiles aerodinámicos

Las dos componentes de la fuerza aerodinámica son resistencia y sustentación, estas se combinan entre sí como vectores para dar la fuerza aerodinámica total resultante, y este es el principio básico de todas las presiones que actúan sobre un cuerpo. (CASTAÑÉ, 1996)

2.3.1 Carga aerodinámica (Sustentación). Es la componente vertical de la fuerza total ejercida sobre el perfil, y es perpendicular a la dirección del viento. A pesar de que es la encargada de mantener el vehículo contra el suelo ésta se ve afectada por los siguientes factores: (CASTAÑÉ, 1996)

- El ángulo de ataque, superficie y la forma del perfil alar.
- La densidad del aire.
- La velocidad del vehículo.

Por lo tanto:

$$F_y = 0,5\rho v^2 S C_l \quad (5)$$

F_y = Carga Aerodinámica [kg]

ρ = Densidad del aire [kg/m³].

v^2 = Velocidad del vehículo [m/s].

S = Área o superficie alar [m²].

C_l = Coeficiente de sustentación.

2.3.2 Resistencia aerodinámica. Se denomina resistencia aerodinámica, al componente de la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo. La resistencia es siempre de sentido opuesto a dicha velocidad, por lo que es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire. (CASTAÑÉ, 1996)

Por lo tanto:

$$F_x = 0,5\rho v^2 S C_d \quad (6)$$

F_x = Resistencia aerodinámica [kg]

ρ = Densidad del aire [kg/m³].

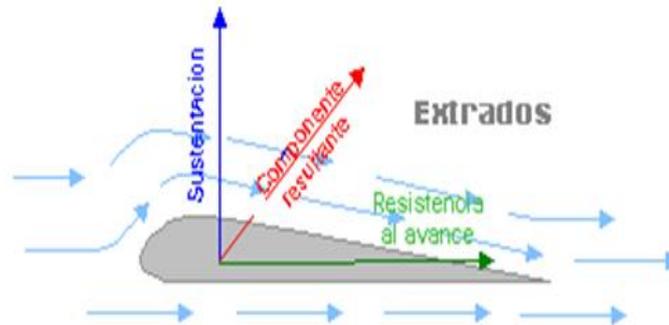
v^2 = Velocidad del vehículo [m/s].

S = Área o superficie alar [m²].

C_d = Coeficiente de resistencia.

2.3.3 *Coefficientes aerodinámicos (sustentación y resistencia).* Los coeficientes de sustentación y resistencia al avance son medidas relativas de cuanta sustentación y resistencia puede generar un cuerpo. (CASTAÑÉ, 1996)

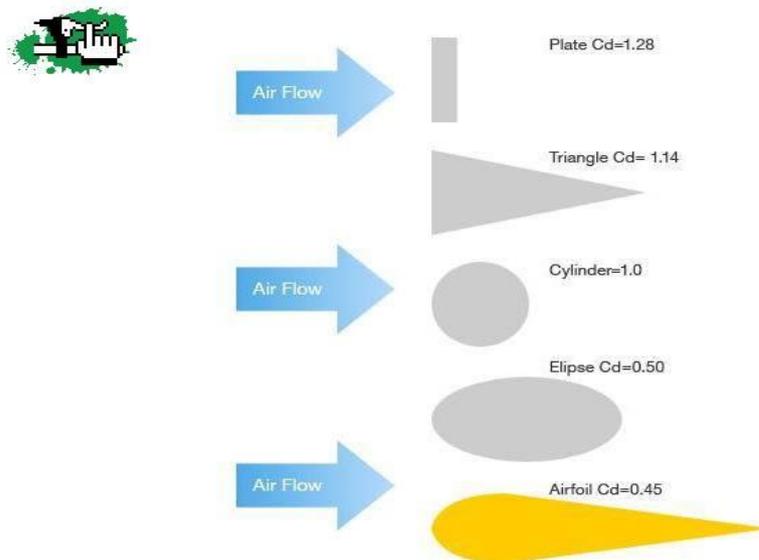
Figura 12. Fuerza resultante



Fuente: (CASTAÑÉ, 1996)

Como ejemplo se puede mencionar: si miramos primero la resistencia, hasta el punto de que sabemos que una placa con forma plana puesta perpendicular a la corriente de aire creará más resistencia que un objeto del mismo ancho con forma de lagrima. (CASTAÑÉ, 1996)

Figura 13. Coeficientes aerodinámicos



Fuente: (CASTAÑÉ, 1996)

2.3.4 *Fineza.* Es la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia, determina el valor de la eficiencia aerodinámica, su cálculo se realiza con la fórmula que se muestra a continuación: (CASTAÑÉ, 1996)

$$f = \frac{Fy}{Fx} = \frac{Cl}{Cd} \quad (7)$$

Donde:

f = Fineza

Fy = Carga Aerodinámica.

Fx = Fuerza de Resistencia.

Cl = Coeficiente de Sustentación.

Cd = Coeficiente de Resistencia.

2.3.5 Potencia absorbida. Es la cantidad de trabajo que realiza un elemento máquina en un determinado tiempo. En la aerodinámica del automóvil se conoce como el parámetro que determina la potencia necesaria para vencer una carga aerodinámica. Se calcula mediante la siguiente ecuación: (CASTAÑÉ, 1996)

$$Cv \text{ absorbidos} = \frac{Cd * S * v^3}{1225} \quad (8)$$

Donde:

Cv = Potencia absorbida.

Cd = Coeficiente de Resistencia.

S = Área.

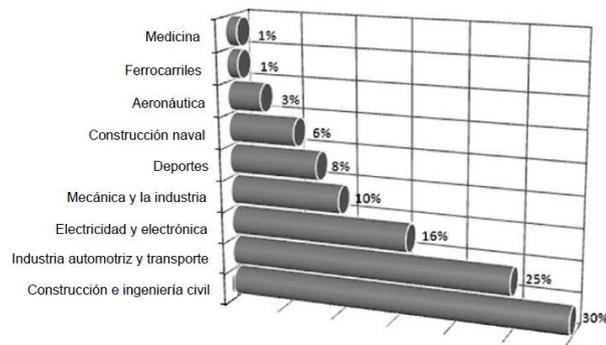
v = Velocidad.

2.4 Fibras naturales

Estamos avanzando hacia una economía "verde", basada en la eficiencia energética, las materias primas renovables en los productos polímeros, los procesos industriales que reducen las emisiones de dióxido de carbono y materiales reciclables que reduzcan al mínimo los desechos. Las fibras naturales son un recurso renovable por excelencia. Cosechar una tonelada de fibra de cabuya requiere menos de 10% de la energía utilizada en la producción de polipropileno. Las fibras naturales tienen emisiones neutrales de dióxido de carbono. Al procesarlas se crean residuos que puedan ser utilizados en materiales compuestos para la construcción de viviendas o para generar electricidad, y

al final de su ciclo de vida, las fibras naturales son 100% biodegradables. Las fibras naturales son una opción de alta tecnología, ya que tienen una buena resistencia mecánica, poco peso y bajo costo. Esto las ha hecho especialmente atractivas a la industria automotriz. En Europa, los fabricantes de automóviles están utilizando un estimado de 80000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos. La India ha desarrollado láminas de materiales compuestos hechas de fibra de coco, que son más resistentes a la pudrición que la teca. Brasil está haciendo material de techumbre reforzada con sisal. (SMITH, 2006)

Figura 14. Fibras naturales en la industria automotriz y otros sectores



Fuente: (GUERRERO, y otros, 2011)

2.4.1 Clasificación de las fibras. Las fibras se pueden clasificar en fibras inorgánicas, sintéticas y naturales. (SMITH, 2006)

2.4.1.1 Fibras inorgánicas:

- Fibra de vidrio. Las cuales son: Vidrio A (Alcalino), Vidrio E (Eléctrico), Vidrio R (Resistente), Vidrio Q (Químico). (SMITH, 2006)
- Fibra de carbono. Las cuales son: Fibras HT (Tenacidad alta), Fibras HM (Módulo alto), Fibras IM (Módulo intermedio). (SMITH, 2006)

2.4.1.2 Fibras sintéticas. Fibra de arámida. Las cuales son: Kevlar 29 (Baja resistencia a la tracción y módulo de elasticidad) y Kevlar 49 (Alta resistencia a la tracción y módulo de elasticidad) (SMITH, 2006)

2.4.1.3 Fibras naturales. Abacá, sisal, curauá, yute, ramio, coco, lino, fite, cabuya. (SMITH, 2006)

2.4.2 Cabuya. La cabuya es una planta que en el Ecuador se encuentra a lo largo del callejón interandino, crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas. Esta fibra es extraída de la hoja de cabuya pertenece a la familia de las Agaváceas. Es una planta arrosetada que puede llegar hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa. (MARCIA, 2014)

Figura 15. Fibra de cabuya



Fuente: (SMITH, 2006)

2.4.3 Propiedades de la fibra de cabuya. Las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica, en especial la cabuya, que además es liviana y tiene una densidad de 1,3 g/cm³. Esto las hace atractivas para diferentes industrias, ya que se puede obtener un interesante ahorro de energía debido a su textura liviana combinada con resistencia a la tracción. La gran resistencia de la fibra de cabuya obedece especialmente a sus propiedades mecánicas. (SMITH, 2006)

Tabla 1. Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales

Fibra	Densidad [g/cm³]	Resistencia a la tracción [MPa]	Módulo de elasticidad [MPa]	Elongación a la fractura [%]	Absorción de humedad [%]
Cabuya	1,3	305,15	7,5	4,96	
Yute	1,3	393 -773	26,5	1,5 - 1,8	12
Coco	1,2	175 - 220	4 - 6	15 - 30	10
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 - 10
Algodón	1,5	393 - 773	27,6	7 - 8	8 - 25
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 - 3,2	7
Vidrio - S	2,5	2000 - 3500	70	2,5	
Aramida	1,4	3000 - 3150	63 -67	3,3 - 3,7	
Carbono	1,4	4000	230 - 240	1,4 - 1,8	

Fuente: (SMITH, 2006)

2.4.4 Otras características. Las buenas propiedades mecánicas de la fibra de cabuya no son la única razón por las que se comercializa, posee un aspecto agradable a la vista del ser humano, su color, su textura son características físicas que tienen gran acogida en el mercado nacional. Esta característica es explotada en aquellos países productores, donde se emplea para utensilios agrarios: como sogas para diversos usos, bolsas para acarreo, tientos, cestos para molinos. Esta planta produce fibras largas, duras y posee atributos importantes para la producción de cordeles, empaques y textiles entre otros. Se combina con otras fibras naturales para diversificar la gama de productos. A continuación se indica dichas características: (SMITH, 2006)

Tabla 2. Características físicas de la fibra de cabuya

Característica	
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción color	Superficial
Punto de fusión	No se funde
Efecto de los oxidantes	Variable

Fuente: (SMITH, 2006)

2.4.5 Materiales compuestos. Los materiales compuestos de matriz polimérica se dividen en compuestos termoplásticos, termoestables y elastómeros. En el presente trabajo de titulación se va a trabajar con un material de matriz termoestable con refuerzo de fibra natural. Las resinas termoestables son normalmente isotrópicas, es decir que sus propiedades son idénticas en todas sus direcciones. Su propiedad más relevante es la resistencia al calor, ya que no se funden al momento de aumentar la temperatura. Los polímeros termoestables no pueden ser reciclados y reutilizados debido a que han sufrido modificaciones en su estructura química y a nivel molecular. (ASKELAND, 1998)

La mayoría de los polímeros pueden ser endurecidos a temperatura ambiente solo por la reacción química llamada reticulación o curado. La resina termoestables más utilizada es la resina poliéster que debido al tipo de enlace que genera es el que impide que estos materiales puedan ser refundidos una vez que se realizó el curado. (ASKELAND, 1998)

Los materiales compuestos más importantes desde el punto de vista estructural son aquellos que están formados por fibras, los mismos que consiguen una mejor rigidez y resistencia a la fatiga en su incorporación, gracias a que el material de la matriz transmite la carga a las fibras, son éstas las que soportan la mayor parte de la fuerza aplicada distribuyéndola sobre todo el refuerzo. (GUERRERO, y otros, 2011)

Ventajas:

- Generan un bajo consumo de CO₂.
- Son biodegradables.
- No quedan residuos tóxicos al quemarlas.
- Su densidad es baja.
- Poseen buenas propiedades mecánicas.
- No son tóxicas ni abrasivas.
- Tienen bajo costo.

Desventajas:

- Baja resistencia al agua.
- Alta absorción de agua.
- Presentan alta flamabilidad.
- Pobre interfaz.

Uno de los beneficios más importantes de utilizar materiales compuestos reforzados con fibras naturales es en el ámbito del medio ambiente, además el peso es mucho menor comparado con otros materiales como los compuestos con fibra de vidrio o materiales metálicos. Un ejemplo es en el relativo menor consumo de combustible de un vehículo de transporte debido al menor peso de carga propia. (Materiales Compuestos de Matriz Poliester reforzados con fibras Naturales y Sintéticas.) (SMITH, 2006)

Un aspecto importante de señalar es que el refuerzo de fibra natural puede tener diferentes configuraciones en cuanto a su disposición dentro de la matriz, que resulta un factor determinante para las características y propiedades finales que el material presentará. (SMITH, 2006).

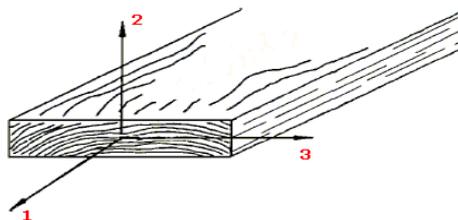
Dichas configuraciones pueden incluir:

- Fibra corta.
- Fibra larga.
- Tejida.
- No tejida.

Al colocar fibras largas en un solo sentido el material presentará mayor resistencia en la dirección longitudinal de las fibras, de otro modo si las fibras son colocadas en capas con direcciones perpendiculares entre sí el material se vuelve ortotrópico es decir, cuando sus propiedades mecánicas o térmicas son únicas e independientes en tres direcciones perpendiculares entre sí, pero su resistencia y tenacidad a la fractura interlaminar disminuyen. La orientación de las fibras una con respecto a otra y su distribución dentro de un compuesto tiene significativa influencia en la resistencia mecánica del compuesto reforzado. (SMITH, 2006)

Por ejemplo: El eje longitudinal (1) es paralelo a la dirección del grano (fibra), el eje radial (2) sigue la dirección de los anillos de crecimiento y el eje tangencial (3) es tangente a los anillos de crecimiento. (ASKELAND, 1998)

Figura 16. Material ortotrópico



Fuente: (ASKELAND, 1998)

De modo general las propiedades mecánicas a tracción de las matrices poliméricas se incrementan con la inclusión de fibra continua unidireccional, sin embargo esta configuración presenta mayor dificultad al momento del procesamiento. En el caso de flexión, compresión y corte los compuestos formados por fibras cortas son probablemente mejores que los que están formados por fibras continuas; esto se debe a que la orientación aleatoria indica que al menos alguna de las fibras estará correctamente alineada para resistir la deformación por este tipo de esfuerzos.

2.4.6 Comportamiento de materiales compuestos. El comportamiento de los materiales compuestos depende directamente de las propiedades de las partes que lo conforman, es decir dependen de la matriz, el refuerzo y la interfaz formada entre estos dos elementos. Cada una de estas partes constituye un detalle importante al momento de formar las propiedades globales del compuesto. (GUERRERO, y otros, 2011)

La matriz es aquella que mantiene unidos a los refuerzos, protegiéndolos del medio externo y transmitiendo las cargas hacia las fibras, además brinda tenacidad al compuesto. El refuerzo es conformado por materiales resistentes, con baja densidad y de fácil producción en pequeños diámetros, además se emplea para mejorar una o varias propiedades de la matriz según sea el caso del diseño; sus funciones son: (GUERRERO, y otros, 2011)

- Aumentar la resistencia a la tracción, compresión y corte.
- Aumentar el módulo de elasticidad y rigidez.
- Aumentar la temperatura de deformación por calor.
- Disminuir la contracción.
- Mejorar la resistencia al impacto.

2.5 Materiales para la fabricación de alerones

2.5.1 Aluminio. El aluminio ofrece muchas ventajas con respecto a otros materiales.

Ventajas:

- El aluminio es un elemento muy abundante en la naturaleza, solo superado por el oxígeno.
- Es un material blando y maleable.
- Metal ligero. El aluminio es sumamente ligero, aproximadamente 1/3 del peso del cobre o el acero. Excelente para utilizarse en la industria automotriz, debido a su peso ligero, lo cual puede contribuir a reducir los costes.

- Excelente resistencia. El aluminio posee una alta relación peso-resistencia, convirtiéndolo en el metal ideal para aplicaciones que exigen alta resistencia y bajo peso.
- Resistente a la corrosión. Lo convierte en la elección óptima de material para el sector automotriz. Su revestimiento de óxido natural es el que confiere al aluminio su resistencia anticorrosiva.
- Es un material fácilmente reciclable.

Desventajas:

- Envejecimiento. Con el tiempo sus propiedades mecánicas se alteran.
- Pequeños cortes o arañazos pueden causar grandes perjuicios a una pieza.
- Su uso es limitado por la temperatura. (CAPALEX, 2013)

2.5.2 *Fibra de vidrio.* La fibra de vidrio es uno de los mayores utilizados en la industria automotriz.

Ventajas:

- Ligereza. La fibra de vidrio tiene un peso específico de 1,5 contra 2,7 del aluminio, 7,8 del acero, 8,9 del cobre. [kg/cm^3]
- Aislante térmico. Además de no conducir electricidad, la fibra de Vidrio es un material que puede utilizarse como aislante para las altas temperaturas, impidiendo la transferencia de calor.
- Flexibilidad de Diseño. Es posible hacer productos complejos mediante el moldeo de la fibra de vidrio, permitiendo un gran valor estético y funcional a los diseños de las piezas.
- Estabilidad: Gracias a su bajo coeficiente de dilatación térmica y a la reducida absorción de agua, los productos en Fibra de vidrio se mantienen inalteradas en dimensión y forma incluso en condiciones extremas.

- Resistencia a la corrosión: A diferencia de los materiales convencionales, la fibra de vidrio no se oxida, así como también muestra una excepcional resistencia a los ambientes agresivos.

Desventaja:

- La fibra de vidrio está reconocida médicamente como un irritante de la piel, ojos y tracto superior de las vías respiratorias.

2.5.3 *Fibra de carbono.* Es una fibra sintética constituida por finos filamentos de diámetro y compuesto principalmente de carbono.

Ventajas:

- Es un material ultra ligero.
- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.

Desventajas:

- Elevado costo, debido a que utiliza un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción.
- Éste proceso se realiza a una temperatura entre 1100 y 2500 °C durante semanas e incluso meses dependiendo de la calidad que se quiera obtener.

2.5.4 *Plásticos.* Es uno de los llamados más grandes desarrollos y grandes revoluciones del siglo pasado en lo referente a los materiales.

Ventajas:

- Fáciles de trabajar y moldear con un bajo costo de producción.
- Poseen baja densidad.
- Suelen ser impermeables.
- Son buenos aislantes eléctricos y resistentes a la corrosión.

Desventajas:

- La mayoría no resisten temperaturas muy elevadas.
- Si se queman desprenden gases tóxicos.
- Complejo proceso de producción.

Tabla 3. Comparación entre fibra natural y fibra de vidrio

Cualidades	Fibras naturales "FN"	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo a la inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: (SMITH, 2006)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL ALERÓN Y SPOILER

En este apartado se simuló las formas geométricas de los diferentes componentes y medidas con los que se dota a un monoplaza para reducir la resistencia al aire, para ello se utilizó un programa CFD (Computational Fluid Dynamics) siendo esta una rama de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas que involucran flujo de fluidos. Las computadoras se usan para realizar los cálculos necesarios para simular la interacción de líquidos y gases con las superficies definidas por las condiciones de contorno.

3.1 Consideraciones de diseño

En las competencias automovilísticas, según estudios realizados los perfiles más utilizados y los que prestan mayor eficiencia a un monoplaza son los perfiles NACA. (McBEATH, 2001)

Figura 17. Perfil de un alerón



Fuente: (BLANES, 2013)

Para obtener los perfiles propuestos se tomaron los principios aerodinámicos sobre el espesor de perfiles del libro Aerodinámica del Automóvil de Competición de (McBEATH, 2001), el cual muestra que el incremento del grosor en más de un 12 % de la cuerda tiene poco efecto en la carga aerodinámica y esto es muy importante para la mayoría de las categorías de competición, razón por la cual se tomó un valor de 12% de la cuerda para el grosor de los perfiles propuestos en este trabajo de titulación. Para hallar las coordenadas de cada perfil se accedió a una base de datos de los perfiles

NACA en los cuales se puede observar que los perfiles NACA 4412 y el NACA 6412 tienen las mejores características aerodinámicas a velocidades inferiores a las del sonido, siendo ideales para este estudio.

El propósito de este trabajo de titulación es tomar un modelo con características aerodinámicas poco utilizadas en la aeronáutica es por ello que accediendo al portal web de la NACA Airfoil Tools (AERONÁUTICA, 2001), se tomó el perfil NACA 5212 con características entre el NACA 4412 y NACA 6412, siendo los tres perfiles los propuestos para los distintos análisis. Una vez realizado el estudio de los tres perfiles y dependiendo de los resultados obtenidos se escogió el perfil más óptimo para su respectiva construcción e implementación.

3.2 Cálculo de los perfiles aerodinámicos

3.2.1 *Cálculo de la Cuerda.* Para obtener la dimensión de la cuerda se tomó el 10% del valor del centro de eje a eje del monoplaza, para este estudio el valor es de:

$$c = d \times 10\%$$
$$c = (1884\text{mm})(10\%) = 188,4 \text{ mm}$$

Donde:

c = Cuerda.

d = Distancia de eje a eje.

3.2.2 *Dimensión de la envergadura.* La dimensión de la envergadura depende del ancho del monoplaza, en este estudio el valor es de:

$$e = 1251 \text{ mm}$$

3.2.3 Perfil NACA 4412

Borde de ataque:

$$\text{Borde de ataque} = 0,041 \times 188,420 = 7,542\text{mm}$$

Cuerda media:

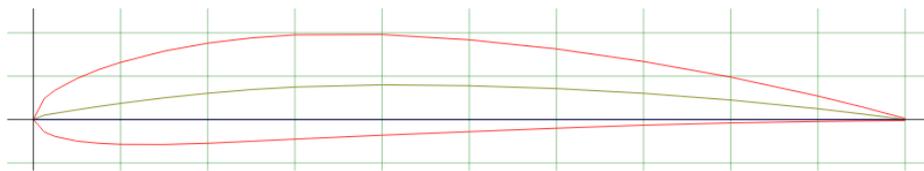
$$\text{Cuerda media} = 0,041 \times 188,420 = 7,542 \text{ mm} \quad \text{valor para eje y}$$

$$\text{Cuerda media} = 0,041 \times 188,420 = 75,361 \text{ mm} \quad \text{valor para eje x}$$

Espesor:

$$\text{Espesor} = 0,12 \times 188,4 \text{ mm} = 22,61 \text{ mm}$$

Figura 18. Perfil NACA 4412



Fuente: Autores

3.2.4 Perfil NACA 6412

Borde de ataque:

$$\text{Borde de ataque} = 0,061 \times 188,420 = 11,304 \text{ mm}$$

Cuerda media:

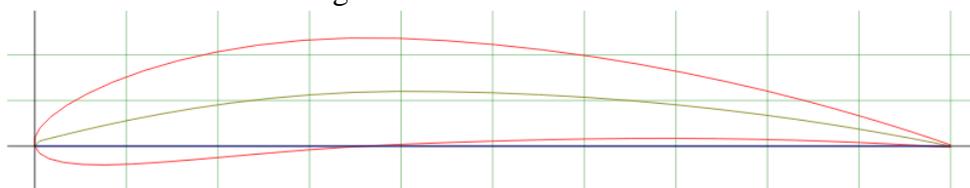
$$\text{Cuerda media} = 0,041 \times 188,420 = 7,542 \text{ mm} \quad \text{valor para eje y}$$

$$\text{Cuerda media} = 0,041 \times 188,420 = 75,361 \text{ mm} \quad \text{valor para eje x}$$

Espesor:

$$\text{Espesor} = 0,12 \times 188,429 = 22,610 \text{ mm}$$

Figura 19. Perfil NACA 6412



Fuente: Autores

3.2.5 Perfil 5212

Borde de ataque:

$$\text{Borde de ataque} = 0,051 \times 188,420 = 9,420\text{mm}$$

Cuerda media:

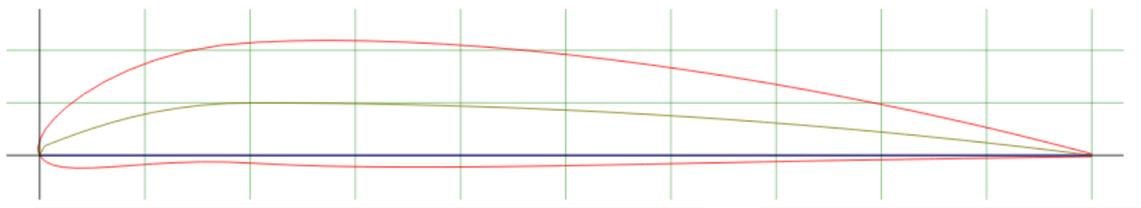
$$\text{Cuerda media} = 0,020 \times 188,420 = 3,771 \text{ mm} \quad \text{valor para eje y}$$

$$\text{Cuerda media} = 0,201 \times 188,420 = 37,681 \text{ mm} \quad \text{valor para eje x}$$

Espesor:

$$\text{Espesor} = 0,12 \times 188,429 = 22,610\text{mm}$$

Figura 20. Perfil 5212



Fuente: Autores

3.3 Diseño de los perfiles en software

Luego de seleccionar los perfiles se procedió a la modelación de cada uno de los perfiles que se debe analizar y elegir un solo modelo de perfil dependiendo de los resultados del análisis que se realice, las principales consideraciones que se tomó en cuenta son la carga y resistencia aerodinámica de cada perfil obtenidas del análisis del software ANSYS 16.0. Además hay que conocer y tomar en cuenta que dichas medidas deben estar dentro del reglamento vigente por la SAE.

3.3.1 Condiciones de contorno. Para realizar el análisis y simulación de los perfiles se tomó las condiciones haciendo referencia la temperatura y presión de Hockenheim/Alemania a razón que estas son las condiciones más críticas de esta región en donde se realiza la mayoría de competencias SAE.

- Temperatura Máxima: es de $32^{\circ}\text{C} = 305^{\circ}\text{k}$, según el portal web (AMBIWEB, 2012 CLIMATE-DATA.ORG).
- La temperatura más elevada de esta ciudad. (AMBIWEB, 2012 CLIMATE-DATA.ORG).
- Presión Atmosférica: es de $101\ 268\ \text{Pa} = 0,999\ \text{atm}$, esta presión es referente a la temperatura máxima de Hockenheim. (AMBIWEB, 2012 CLIMATE-DATA.ORG)
- Velocidad del prototipo: este es el parámetro el cual está estipulado por el reglamento de la fórmula SAE con el rango máximo de $75\ \text{km/h} = 20,83\ \text{m/s}$. (Fórmula SAE).

Tabla 4. Condiciones de contorno

Condiciones de contorno	
Velocidad máxima (m/s)	20,83
Presión atmosférica (Pa)	101 268
Temperatura máxima (K)	305

Fuente: (AMBIWEB, 2012 CLIMATE-DATA.ORG)

Las coordenadas que se utilizó en el encapsulado son las siguientes:

Tabla 5. Coordenadas para el encapsulado

Coordenadas para el encapsulado	
$x = 0,5\ \text{m}$	$-x = 0,5\ \text{m}$
$y = 1\ \text{m}$	$-y = 1\ \text{m}$
$z = 0,5\ \text{m}$	$-z = 0,5\ \text{m}$

Fuente: Autores

Con estas condiciones de contorno se procedió a la importación de la malla al programa y realizar las simulaciones; para ello primero se definió otros parámetros con que trabajó el programa de simulación, estos parámetros son fundamentales ya que el programa usa estos valores para asimilar en lo posible a un túnel de viento los mismos que depende de las características del fluido, como son el número de Reynolds, número de match, como se muestra a continuación:

Por lo tanto,

$$Re = 67,778 * v * c$$

$$Re = 67,778 * 20,8340 * 0,1884$$

$$Re = 265,986. \quad \text{Flujo Laminar}$$

$$M = \frac{V}{C}$$

$$C = \sqrt{K * R * T} \quad K = \text{cte} = 1,4$$

$$C = \sqrt{1,4 * 287 \text{ J/Kg} * K * 305 \text{ K}}$$

$$C = 350,357$$

$$M = \frac{V}{C} = \frac{20,83}{350,357} = 0,059 \quad . \text{Flujo incompresible}$$

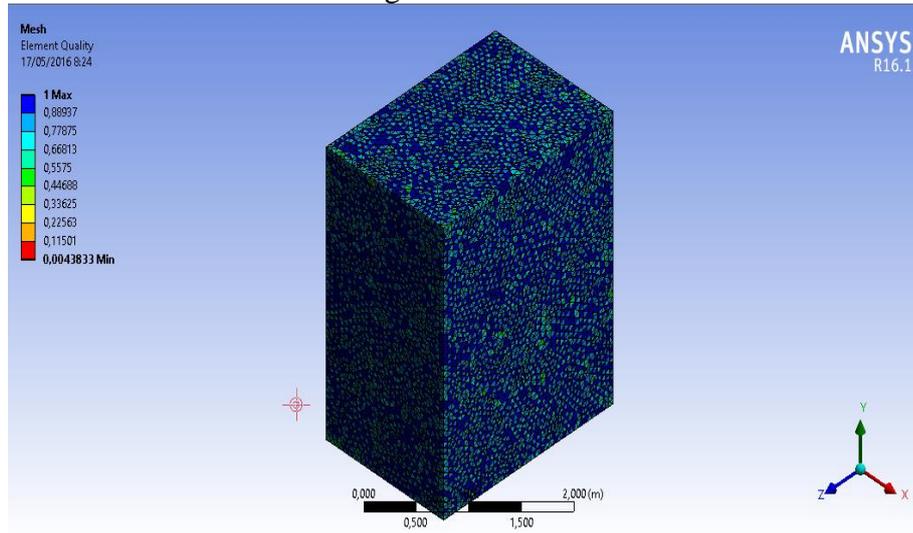
3.3.2 Simulación en software CAD. Una vez que se tiene los perfiles propuestos y las condiciones iniciales ya establecidas, se procedió a realizar el estudio aerodinámico de cada perfil, para ello se realizó tres simulaciones en el software Ansys Fluent (CFD) utilizando 100 iteraciones en cada perfil además de usar un mallado automático de malla fina, en el cual se comprobó el comportamiento frente a la resistencia aerodinámica. Para garantizar la mejor estabilidad del prototipo se utilizó las condiciones más críticas de fluido, es decir flujo turbulento aun después de que en los cálculos nos dio un flujo laminar.

Generación del mallado. Una vez generada la geometría de cada perfil en SolidWorks se importó dicha geometría en el programa ANSYS 16.0, el cual se encarga de generar la malla, el mismo que toma el encapsulado ya analizado con las condiciones que se asemejan más a la realidad donde estará expuesto el alerón al ambiente.

Algo importante que hay que tomar en cuenta es que, la malla no necesita tener la misma densidad en todas las zonas sino que debe ser más densa en la zona cerca del perfil y no ser tanto al alejarse del mismo.

A continuación se observa uno de los perfiles simulados, en la misma se puede apreciar que la estructura del mallado fue del tipo fina triangular, ya que es la que mejor se ajusta a los valores tan pequeños en los bordes del perfil y por consiguiente aumentarán la calidad del mallado y la precisión en los datos obtenidos.

Figura 21. Malla

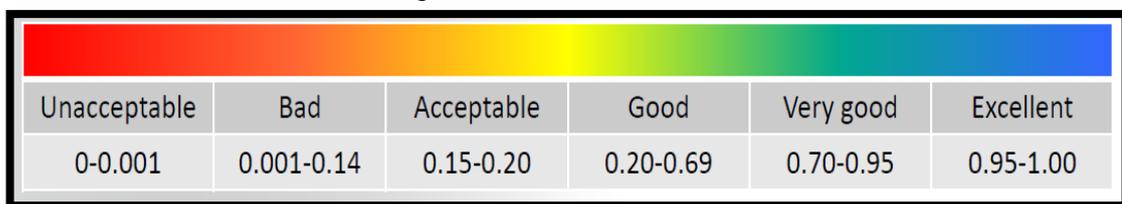


Fuente: Autores

La calidad de los resultados depende de la calidad de la malla y es de suma importancia su buena fabricación para una simulación satisfactoria; para realizar la verificación de la calidad de la malla se usó el comando “Element Quality” que proporciona el programa ANSYS 16.0.

Calidad de Malla: el método más utilizado en el mallado con que se evalúa la calidad de una malla es el Element Quality, En la siguiente figura se muestra los distintos rangos de mallado en escala de colores.

Figura 22. Calidad de malla



Fuente: Lecture 07 Mesh Quality Introduction to Ansys CFD Professional p.8

La variación de los colores va desde el rojo hasta el azul donde el rojo nos indica que es una malla no aceptable mientras que el azul es un mallado excelente.

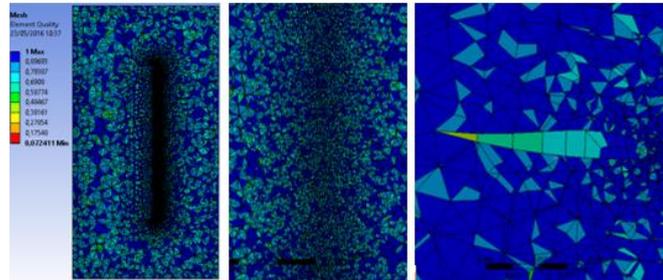
Para cada perfil se debe hacer un análisis en el programa con los datos recolectados en la simulación para la determinación del perfil que mejor se adapta a estas condiciones, y con el cual se procede a la fabricación del alerón para el prototipo.

3.4 Análisis y validación en el software Ansys

3.4.1 Simulación aerodinámica del perfil NACA 4412

3.4.1.1 Mallado:

Figura 23. Calidad de malla del perfil NACA 4412



Fuente: Autores

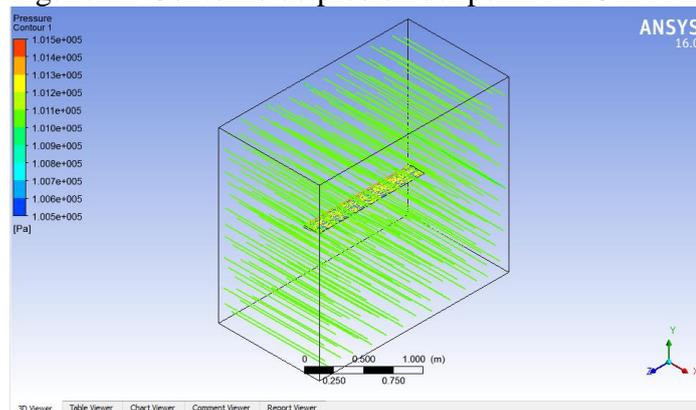
Tabla 6. Condiciones y datos de entrada para la simulación

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	45 686	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	226 789	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triángulo	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	1	Velocidad	20,83 m/s
Malla promedio	0,836	Condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	0,083	Iteraciones	100

Fuente: Autores

3.4.1.2 Contorno de presión:

Figura 24. Contorno de presión del perfil NACA 4412



Fuente: Autores

De la figura:

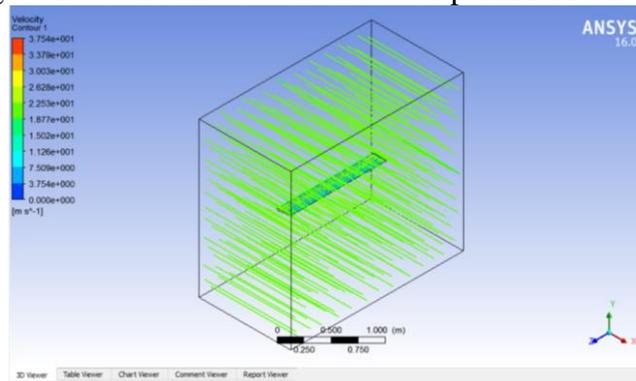
Presión Máxima = $1,013 \times 10^5$ Pa

Presión Mínima = $1,005 \times 10^5$ Pa

El área donde mayor presión ejerce es en el borde de ataque con una presión de $1,015 \times 10^5$ Pa.

3.4.1.3 Contorno de velocidad:

Figura 25. Contorno de velocidad del perfil NACA 4412



Fuente: Autores

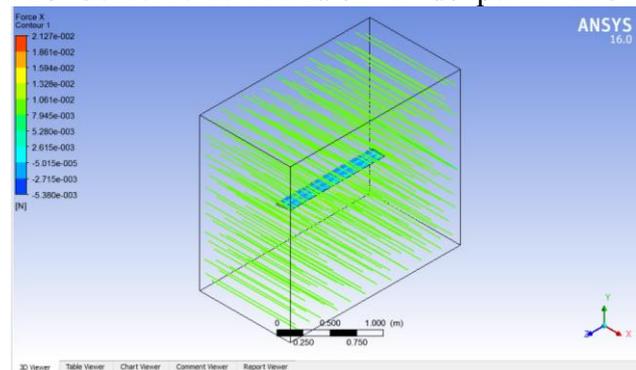
De la figura:

Velocidad máxima = 37,541 m/s

Velocidad mínima = 3,754 m/s

3.4.1.4 Contorno de fuerza x:

Figura 26. Contorno de Fuerza en “x” del perfil NACA 4412



Fuente: Autores

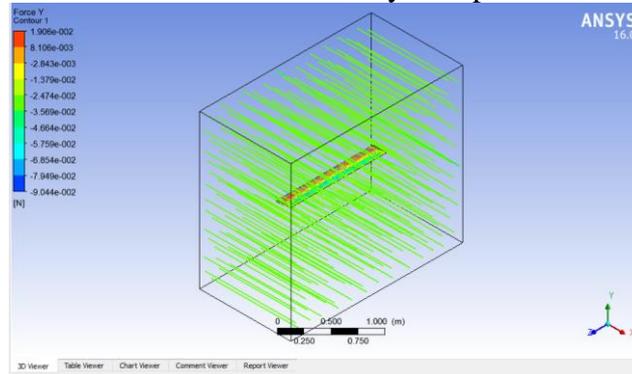
De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 2,127 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = -5,580 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

3.4.1.5 Contorno de fuerza "y":

Figura 27. Contorno de fuerza en "y" del perfil NACA 4412



Fuente: Autores

De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 1,906 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = -9,004 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

El cálculo del estudio aerodinámico del perfil NACA 4412 se detallan a continuación con las fuerzas que actúan:

$$F_y = 0,021 \text{ [N]}$$

$$F_y = 0,019 \text{ [N]}$$

Cálculo del coeficiente de resistencia:

$$F_x = 0,022 \text{ [N]}$$

$$\rho = 1,23 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v = 20,83 \text{ [m/s]}$$

$$S = c \cdot e = (0,1884 \text{ m})(1,251 \text{ m})$$

$$S = 0,236 \text{ m}^2$$

Resistencia Aerodinámica:

$$F_x = 0,5\rho v^2 S C_d$$

$$C_d = \frac{F_x}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_d = \frac{F_x}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_d = \frac{2,127 \times 10^{-2} [\text{N}]}{0,5(1,231)(20,830)^2(0,2361) [\text{N}]}$$

$$C_d = 3,37810^{-4}$$

Carga Aerodinámica (Sustentación):

$$F_y = 1,906 \times 10^{-2} [\text{N}]$$

$$F_y = 0,5\rho v^2 S C_l$$

$$C_l = \frac{F_y}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_l = \frac{1,906 \times 10^{-2} [\text{N}]}{0,5(1,23)(20,83)^2(0,236) [\text{N}]}$$

$$C_l = 3,027 \times 10^{-4}$$

Fineza mediante valores de fuerzas:

$$f = \frac{F_y}{F_x}$$

$$f = \frac{1,906 \times 10^{-2} [\text{N}]}{-9,004 \times 10^{-2} [\text{N}]}$$

$$f = 8,9610 \times 10^{-1}$$

Fineza mediante valores de coeficientes:

$$f = \frac{C_l}{C_d}$$

$$f = \frac{3,027 \times 10^{-4}}{3,378 \times 10^{-4}}$$

$$f = 8,961 \times 10^{-1}$$

Cálculo de la potencia absorbida:

$$C_v \text{ absorbidos} = \frac{C_d * S * v^3}{1225}$$

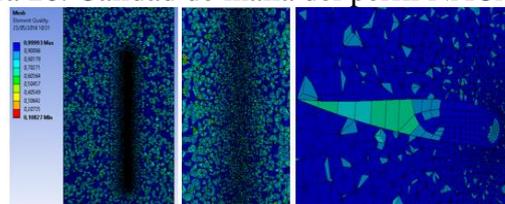
$$C_v \text{ absorbidos} = \frac{(3,378 \times 10^{-4})(0,236)(20,83)^3}{1225}$$

$$C_v \text{ absorbidos} = 5,881 \times 10^{-4} \quad C_v = 5,798 \times 10^{-4} \text{ Hp}$$

3.4.2 Simulación aerodinámica del perfil NACA 6412

3.4.2.1 Mallado:

Figura 28. Calidad de malla del perfil NACA 6412



Fuente: Autores

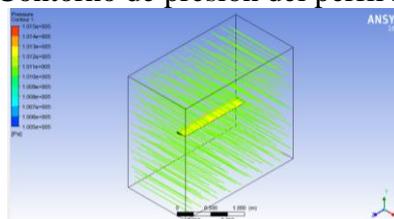
Tabla 7. Condiciones y datos de entrada para la simulación

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	591 786	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	3 054 852	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triángulo	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	1	Velocidad	20,83 m/s
Malla promedio	0,842	Condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	0,116	Iteraciones	100

Fuente: Autores

3.4.2.2 Contorno de presión:

Figura 29. Contorno de presión del perfil NACA 6412



Fuente: Autores

De la figura:

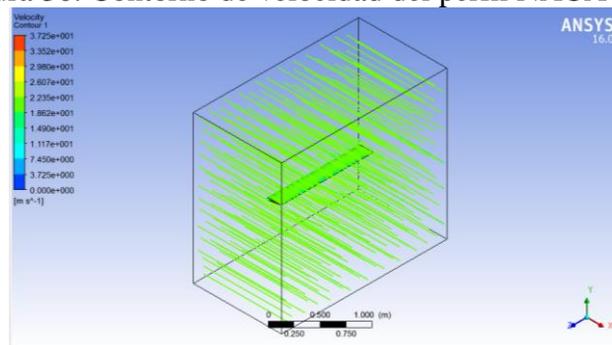
Presión máxima = $1,015 \times 10^5$ Pa

Presión mínima = $1,005 \times 10^5$ Pa

El área donde mayor presión ejerce es en la zona del extradós con una presión de $1,013 \times 10^5$ Pa.

3.4.2.3 Contorno de velocidad:

Figura 30. Contorno de velocidad del perfil NACA 6412



Fuente: Autores

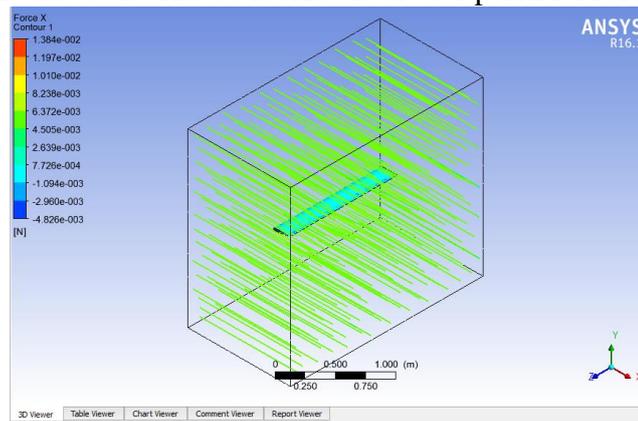
De la figura:

Velocidad máxima = 37,250 m/s

Velocidad mínima = 3,725 m/s

3.4.2.4 Contorno de fuerza "x":

Figura 31. Contorno de fuerza en "x" del perfil NACA 6412



Fuente: Autores

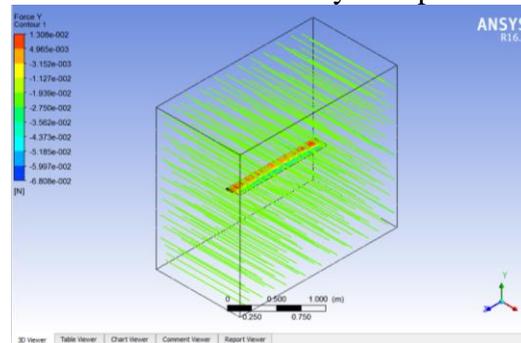
De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 1,384 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = 1,384 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

3.4.2.5 Contorno de fuerza "y":

Figura 32. Contorno de fuerza en "y" del perfil NACA 6412



Fuente: Autores

De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 1,308 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = -6,808 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

El cálculo del estudio aerodinámico del perfil NACA 6412 se detallan a continuación con las fuerzas que actúan:

$$F_x = 0,014 \text{ [N]}$$

$$F_y = 0,013 \text{ [N]}$$

Cálculo del coeficiente de resistencia:

$$F_x = 0,014 \text{ [N]}$$

$$\rho = 1,23 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v = 20,83 \text{ [m/s]}$$

$$S = c \cdot e$$

$$S = (0,188\text{m})(1,251\text{m})$$

$$S = 0,236\text{m}^2$$

Resistencia Aerodinámica:

$$F_x = 0,5\rho v^2 S C_d$$

$$C_d = \frac{F_x}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_d = \frac{0,014[\text{N}]}{0,5(1,23)(20,83)^2(0,236)[\text{N}]}$$

$$C_d = 2,198 \times 10^{-4}$$

Carga Aerodinámica (Sustentación):

$$F_y = 0,013 [\text{N}]$$

$$F_y = 0,5\rho v^2 S C_l$$

$$C_l = \frac{F_y}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_l = \frac{0,013 [\text{N}]}{0,5(1,23)(20,83)^2(0,236)[\text{N}]}$$

$$C_l = \frac{0,013 [\text{N}]}{62,97 [\text{N}]}$$

$$C_l = 2,077 \times 10^{-4}$$

Fineza mediante valores de fuerzas:

$$f = \frac{F_y}{F_x}$$

$$f = \frac{0,013[\text{N}]}{0,0134 [\text{N}]}$$

$$f = 9,451 \times 10^{-1}$$

Fineza mediante valores de coeficientes:

$$f = \frac{C_l}{C_d}$$

$$f = \frac{2,077 \times 10^{-4}}{2,198 \times 10^{-4}}$$

$$f = 0,945$$

Cálculo de la Potencia Absorbida:

$$C_v \text{ absorbidos} = \frac{C_d * S * v^3}{1225}$$

$$C_v \text{ absorbidos} = \frac{(2,198 \times 10^{-4})(0,236)(20,83)^3}{1225}$$

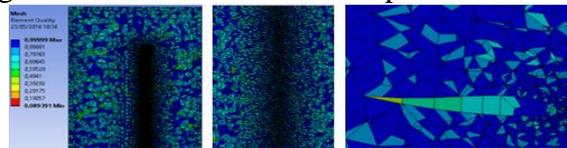
$$C_v \text{ absorbidos} = 3,8272 \times 10^{-4}$$

$$C_v = 3,7732 \times 10^{-4} \text{ Hp}$$

3.4.3 Simulación aerodinámica del perfil 5212

3.4.3.1 Mallado:

Figura 33. Calidad de malla del perfil NACA 5212



Fuente: Autores

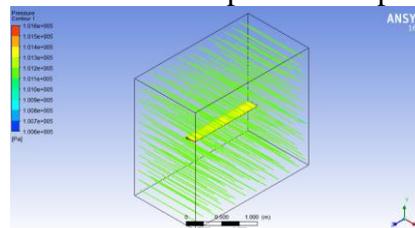
Tabla 8. Condiciones y datos de entrada para la simulación

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	403 955	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	1 927 802	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triángulo	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	1	Velocidad	20,83 m/s
Malla promedio	0,836	Condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	0,083	Iteraciones	100

Fuente: Autores

3.4.3.2 Contorno de presión:

Figura 34. Contorno de presión del perfil 5212



Fuente: Autores

De la figura:

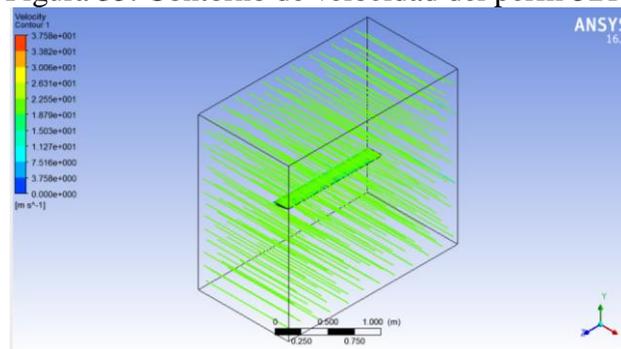
Presión máxima = $1,016 \times 10^5$

Presión mínima = $1,006 \times 10^5$

El área donde mayor presión ejerce es en la zona del extradós con una presión de $1,014 \times 10^5$ Pa.

3.4.3.3 Contorno de velocidad:

Figura 35. Contorno de velocidad del perfil 5212



Fuente: Autores

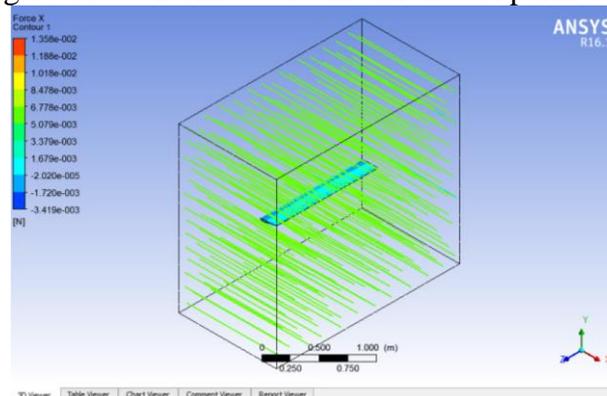
De la figura:

Velocidad máxima = 37,580 m/s

Velocidad máxima = 3,758 m/s

3.4.3.4 Contorno de fuerza "x":

Figura 36. Contorno de fuerza en "x" del perfil 5212



Fuente: Autores

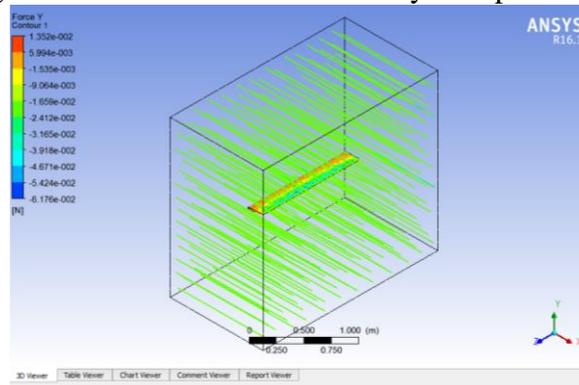
De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 1,358 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = -3,419 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

3.4.3.5 Contorno de fuerza "y":

Figura 37. Contorno de fuerza en "y" del perfil 5212



Fuente: Autores

De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 1,352 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = -6,176 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

El cálculo del estudio aerodinámico del perfil 5212 se detallan a continuación con las fuerzas que actúan:

$$F_x = 0,014 \text{ [N]}$$

$$F_y = 0,014 \text{ [N]}$$

Cálculo del coeficiente de resistencia

$$F_x = 0,014 \text{ [N]}$$

$$\rho = 1,23 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v = 20,83 \text{ [m/s]}$$

$$S = c \cdot e = (0,1884 \text{ m})(1,251 \text{ m})$$

$$S = 0,236 \text{ m}^2$$

Resistencia Aerodinámica:

$$F_x = 0,5\rho v^2 S C_d$$

$$C_d = \frac{F_x}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_d = \frac{0,014[\text{N}]}{0,5(1,23)(20,83)^2(0,236)[\text{N}]}$$

$$C_d = 2,156 \times 10^{-4}$$

Carga Aerodinámica (Sustentación):

$$F_y = 0,014 [\text{N}]$$

$$F_y = 0,5\rho v^2 S C_l$$

$$C_l = \frac{F_y}{0,5\rho v^2 S}$$

$$C_l = \frac{0,014[\text{N}]}{0,5(1,23)(20,83)^2(0,236)[\text{N}]}$$

$$C_l = \frac{0,014[\text{N}]}{31,48 [\text{N}]}$$

$$C_l = 2,1469 \times 10^{-4}$$

Fineza mediante valores de fuerzas:

$$f = \frac{F_y}{F_x}$$

$$f = \frac{0,014 [\text{N}]}{0,014 [\text{N}]}$$

$$f = 0,999$$

Fineza mediante valores de coeficientes:

$$f = \frac{C_l}{C_d}$$

$$f = \frac{2,1469 \times 10^{-4}}{2,156 \times 10^{-4}}$$

$$f = 0,996$$

Cálculo de la Potencia Absorbida:

$$Cv \text{ absorbidos} = \frac{Cd * S * v^3}{1225}$$

$$Cv \text{ absorbidos} = \frac{(2,156 \times 10^{-4})(0,236)(20,83)^3}{1225}$$

$$Cv \text{ absorbidos} = \frac{0,459}{1225}$$

$$Cv \text{ absorbidos} = 3,75510^{-4}$$

$$Cv = 3,70310^{-4} \text{ Hp}$$

3.5 Análisis comparativo de resultados y selección del mejor perfil.

Tabla 9. Análisis comparativo de los perfiles

Fases del análisis	Fx [N]	Fy [N]	Cd	Cl	Fineza	CV [Hp]
NACA 4412	0,021	1,914x10 ⁻²	3,378x10 ⁻⁴	3,027x10 ⁻⁴	0,896	5,798x10 ⁻⁴
NACA 6412	1,381x10 ⁻²	1,312x10 ⁻²	2,198x10 ⁻⁴	2,077x10 ⁻⁴	0,945	3,773x10 ⁻⁴
NACA 5212	1,364x10 ⁻²	1,350x10 ⁻²	2,156x10 ⁻⁴	2,147x10 ⁻⁴	0,996	3,703x10 ⁻⁴

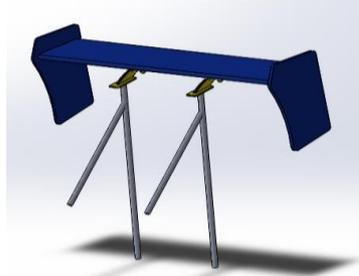
Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla anterior el perfil de mayor fineza es el 5212, gracias a que el borde de ataque es menor que el del perfil NACA 6412, lo que proporciona un flujo de aire más laminar, además el borde inferior (intradós) tiene una curvatura más pronunciada con respecto al perfil NACA 4412 para tratar de aumentar la velocidad bajo el perfil y por ende una alta presión en el borde superior (extradós), aumentando hipotéticamente la carga generada.

3.6 Análisis de los perfiles aerodinámicos con sus respectivas derivas laterales

Luego de elegir el perfil adecuado se procedió a analizar sus características en condiciones reales mediante Ansys 16.0, para tener un análisis completo de los alerones se añadió al perfil sus respectivas derivas y soportes con los cuales van a estar instalados en el prototipo. El plano de los soportes del alerón posterior se encuentra en el Anexo E.

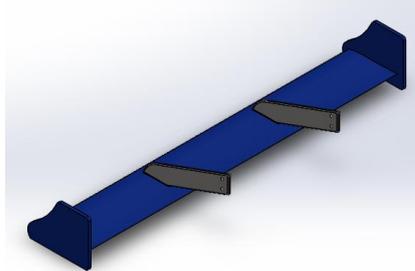
Figura 38. Alerón posterior con soportes



Fuente: Autores

Spoiler delantero con soportes: Ver Anexo I.

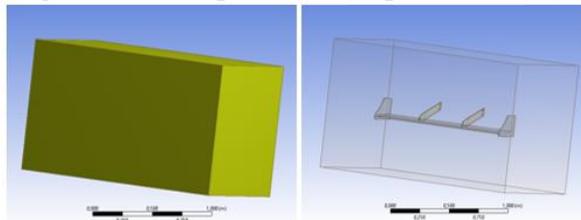
Figura 39. Spoiler delantero con soportes



Fuente: Autores

Encapsulado del spoiler delantero:

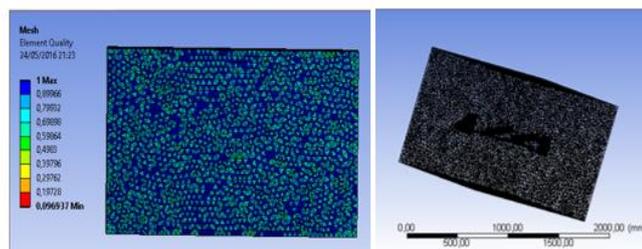
Figura 40. Encapsulado del spoiler delantero



Fuente: Autores

3.6.1 *Mallado del spoiler delantero:*

Figura 41. Mallado del spoiler delantero



Fuente: Autores

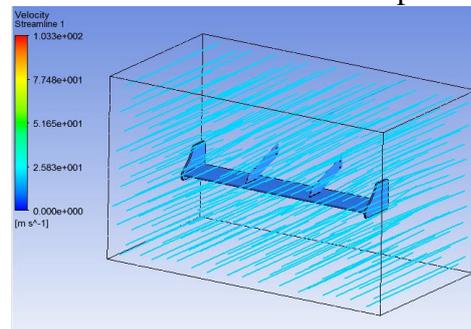
Tabla 10. Condiciones y datos de entrada para la simulación de spoiler delantero

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	565 455	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	3 015 290	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triángulo	Condiciones de entrada	101 268 Pa
Malla máxima	1	Velocidad	20,83 m/s
Malla promedio	0,837	Condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	$9,694 \times 10^{-2}$	Iteraciones	100

Fuente: Autores

3.6.2 Contorno de velocidad:

Figura 42. Contorno de velocidad del spoiler delantero



Fuente: Autores

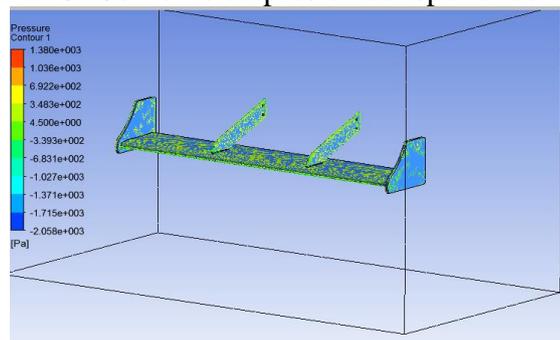
De la figura:

Velocidad máxima = $1,033 \times 10^2$ m/s

Velocidad mínima = 25,83 m/s

3.6.3 Contorno de presión:

Figura 43. Contorno de presión del spoiler delantero



Fuente: Autores

De la figura:

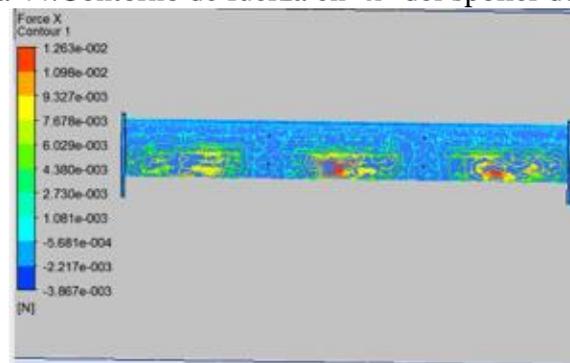
Presión máxima = $1.380e003$ Pa.

Presión mínima = $-2,058e003$ Pa.

El área en donde ejerce mayor presión es en pequeñas zonas del extradós, derivas y soportes con una presión de $6,922e002$ Pa.

3.6.4 Contorno de fuerza "x":

Figura 44. Contorno de fuerza en "x" del spoiler delantero



Fuente: Autores

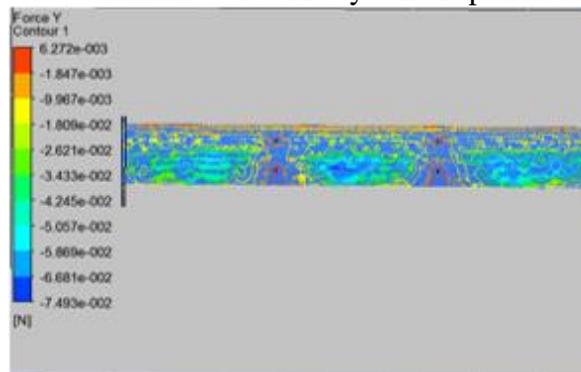
De la figura:

$F_{\text{máx}} = 1,2263 \times 10^{-2}$ [N]

$F_{\text{mín}} = -3,867 \times 10^{-3}$ [N]

3.6.5 Contorno de fuerza "y":

Figura 45. Contorno de Fuerza "y" en el spoiler delantero



Fuente: Autores

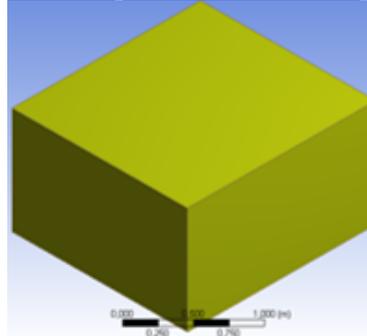
De la figura:

$$F_{\text{máx}} = 6,271 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{mín}} = -7,493 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

Encapsulado del alerón posterior:

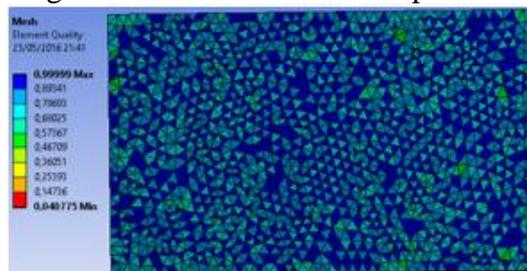
Figura 46. Encapsulado del alerón posterior



Fuente: Autores

3.6.6 Mallado del alerón posterior:

Figura 47. Mallado del alerón posterior



Fuente: Autores

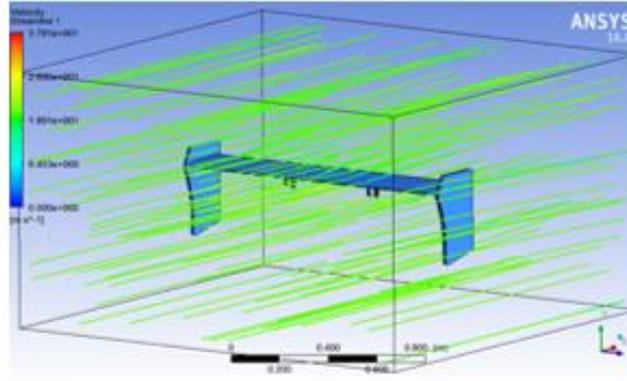
Tabla 11. Condiciones y datos de entrada para la simulación del alerón posterior

Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	565 455	Temperatura del fluido	305 K
Elementos	3 015 290	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triángulo	Condiciones de entrada	101268 Pa
Malla máxima	0,999	Velocidad	20,83 m/s
Malla promedio	0,835	Condiciones de salida	101 268 Pa
Malla mínima	$4,078 \times 10^{-2}$	Iteraciones	100

Fuente: Autores

3.6.7 Contorno de velocidad:

Figura 48. Contorno de velocidad del alerón posterior



Fuente: Autores

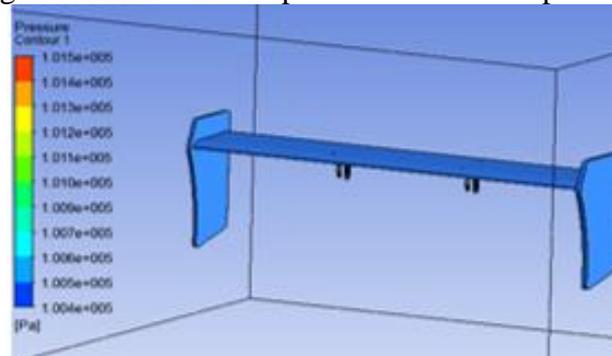
De la figura:

Velocidad máxima = 37,881 m/s

Velocidad mínima = 9,42 m/s

3.6.8 Contorno de presión:

Figura 49. Contorno de presión en el alerón posterior



Fuente: Autores

De la figura:

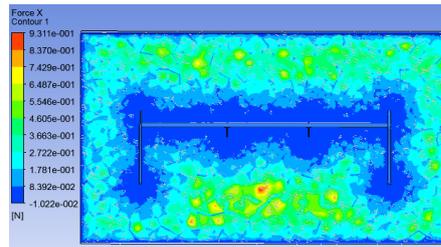
Presión máxima = 1.015e005 Pa.

Presión mínima = 1, 004e005 Pa.

El área en donde ejerce mayor presión es en pequeñas zonas del extradós, derivas y soportes con una presión máxima de 1,014e005 Pa.

3.6.9 Contorno de fuerza "x":

Figura 50. Contorno de fuerza en "x" del alerón posterior



Fuente: Autores

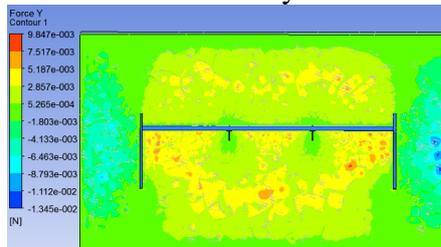
De la figura:

$$F \text{ máx} = 9,311 \times 10^{-1} \text{ [N]}$$

$$F \text{ mín} = -3,867 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

3.6.10 Contorno de fuerza "y":

Figura 51. Contorno de fuerza "y" en el alerón posterior



Fuente: Autores

De la figura:

$$F \text{ máx} = 9,847 \times 10^{-3} \text{ [N]}$$

$$F \text{ mín} = -1,345 \times 10^{-2} \text{ [N]}$$

3.7 Asignación del material en el programa Ansys 16.0.

La primera condición real a la que el perfil se sometió es la asignación del material y para ello en la ventana Engineering data se colocó las especificaciones y características de dicho material. Para la construcción de los alerones se utilizó una fibra compuesta de cabuya la misma que consiste en 30% cabuya y 70% de una composición de resina poliéster.

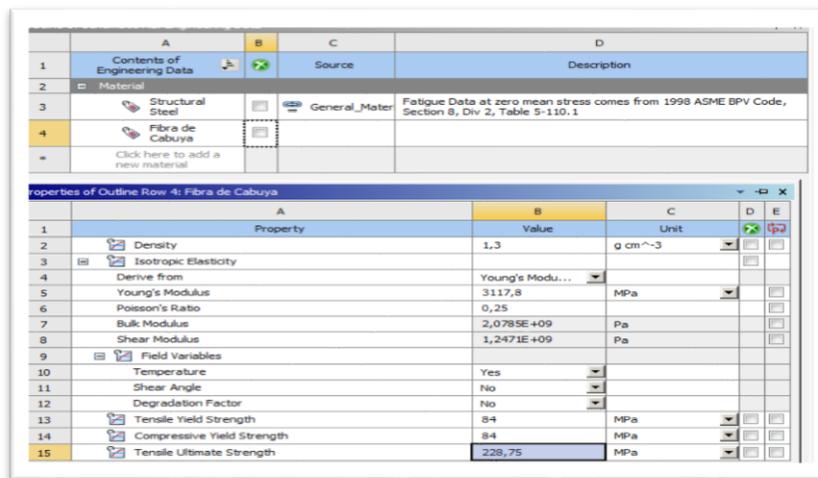
Los datos que a continuación se citan son tomados del trabajo de titulación (TIXE, 2015), en el cual se detalla las características de la fibra de cabuya.

Tabla 12. Características de la fibra de cabuya

Características de la fibra de cabuya	
Esfuerzo último de tracción	288,75 - 305 MPa
Resistencia a la tracción	84 - 112 MPa
Resistencia a la compresión	84 - 112 MPa
Módulo de Young	3117,75 - 4157 MPa
Radio de Poison	0,25

Fuente: (TIXE, 2015)

Figura 52. Asignación del material en el programa Ansys 16.0



Fuente: Autores

3.8 Análisis estático de tensiones.

Todo el spoiler delantero se encuentra sometido a esfuerzos ya que está en contacto con presiones y fuerzas que requieren ser analizadas.

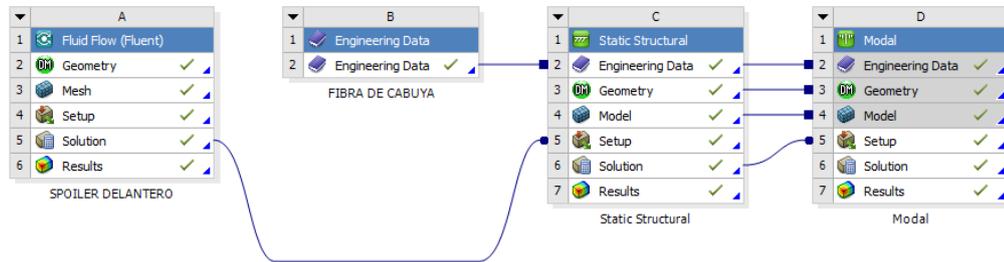
Las deformaciones máximas que se producen en distintas zonas, ya que depende de los esfuerzos máximos en el spoiler como también del factor de seguridad para garantizar su construcción.

La magnitud exacta de la deformación es importante ya que se puede saber el cambio de dimensión cuando se someta a alguna carga.

3.8.1 Secuencia de análisis:

Secuencia de análisis del spoiler delantero.

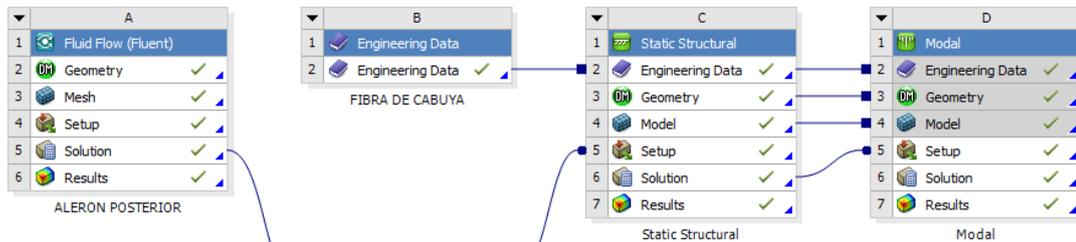
Figura 53. Secuencia de análisis del spoiler delantero



Fuente: Autores

Secuencia de análisis del alerón posterior:

Figura 54. Secuencia de análisis del alerón posterior

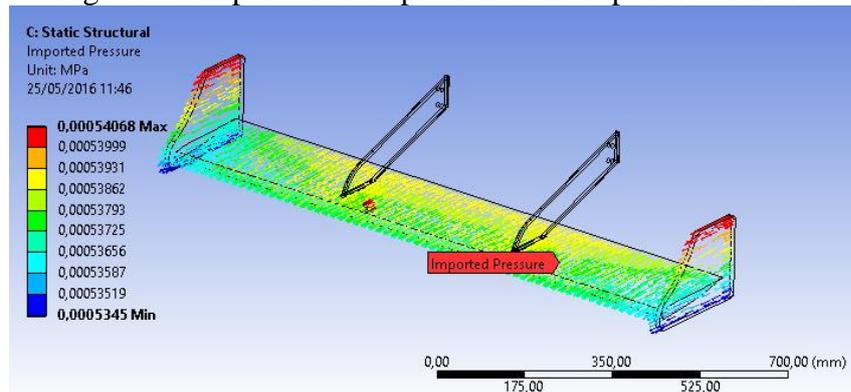


Fuente: Autores

3.8.2 Importación de presiones.

Spoiler delantero.

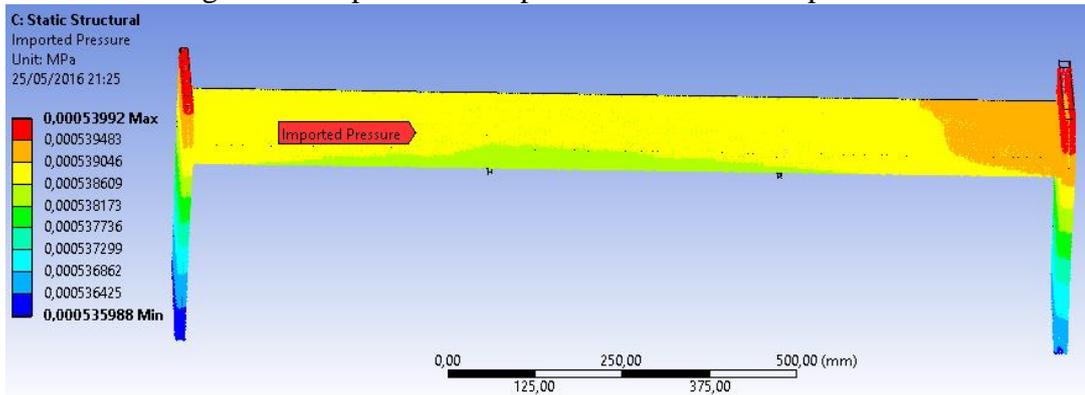
Figura 55. Importación de presiones en el spoiler delantero



Fuente: Autores

Alerón posterior:

Figura 56. Importación de presiones en el alerón posterior

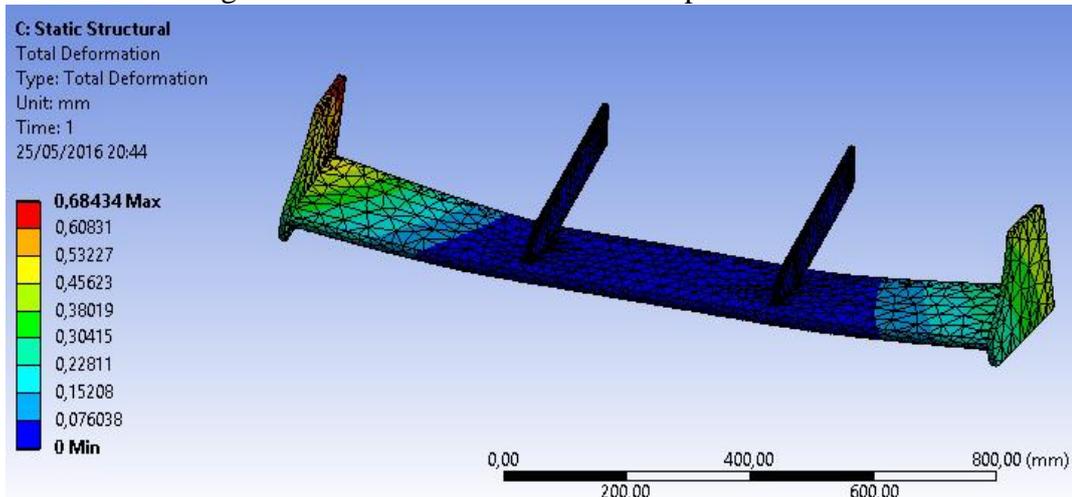


Fuente: Autores

3.8.3 Deformación máxima.

Spoiler delantero:

Figura 57. Deformación máxima del spoiler delantero



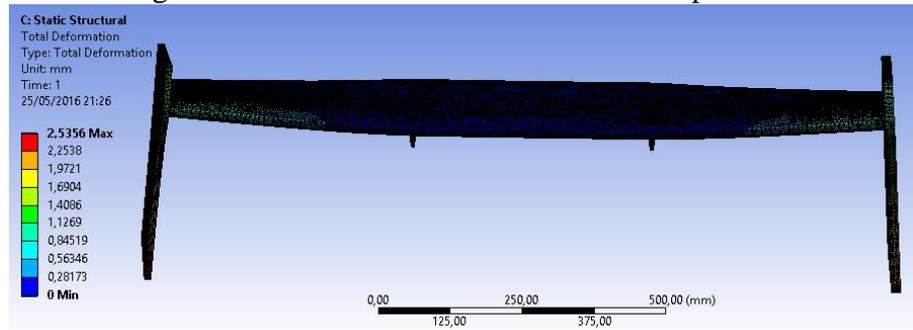
Fuente: Autores

En la figura mostrada se puede observar la deformación máxima que es de 0,68434 mm y una deformación mínima de 0,076038 mm.

La zona donde se produce la mayor deformación es en las derivas laterales, que puede ser ocasionado por una mala distribución de cargas por lo que la ubicación de los soportes están a una distancia correcta, distribuyendo las cargas de mejor manera y solucionando la deformación máxima.

Alerón posterior:

Figura 58. Deformación máxima del alerón posterior



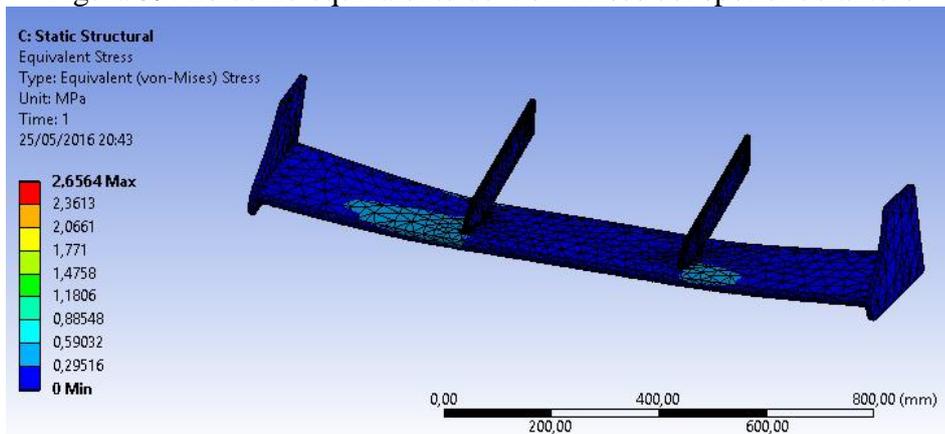
Fuente: Autores

De la misma manera se muestra en la figura la deformación máxima que es de 2,5356 mm y una deformación mínima de 0,20173 mm. La zona donde se produce la deformación máxima es en las derivas laterales que puede producirse por la misma razón que en la del spoiler delantero es decir, una mala distribución de cargas por lo que se separaron los soportes, distribuyendo así las cargas y solucionando esta deformación máxima.

3.8.4 *Esfuerzo equivalente de Von-Mises.* La teoría de falla de von-mises es un modelo principal para un análisis de fallas. Se conoce como falla la pérdida de utilidad es decir ha cumplido su vida útil, el modelo de Von-Mises permite corroborar el comportamiento del material frente a la acción de una carga. (MORAN, 2013)

Esfuerzo equivalente de Von-Mises del Spoiler Delantero:

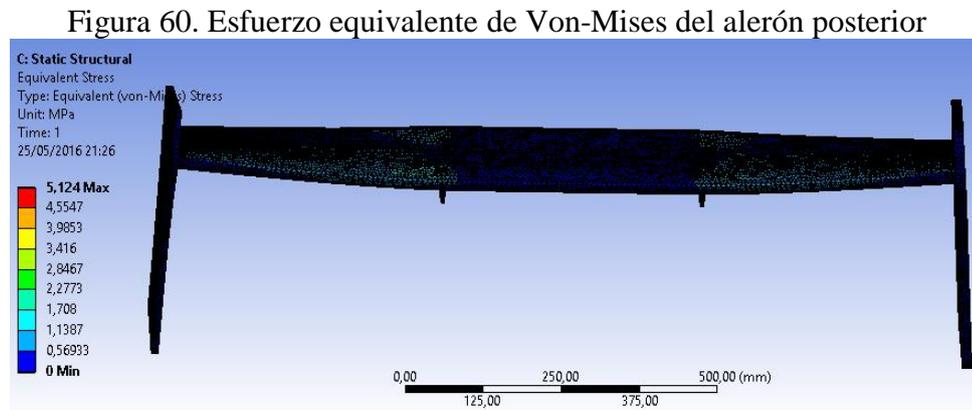
Figura 59. Esfuerzo equivalente de Von-Mises del spoiler delantero



Fuente: Autores

Una vez realizado el análisis con el modelo de Von-Mises se puede observar que el spoiler está sometido a esfuerzos donde el máximo de Von-Mises es 2,656 MPa y un esfuerzo mínimo de 0,295 MPa la misma que se producen principalmente en los soportes que van anclados directamente con la carrocería.

Esfuerzo equivalente de Von-Mises del alerón posterior:



Fuente: Autores

Del mismo modo al realizar el análisis con el modelo de Von-Mises se puede observar que el alerón está sometido a esfuerzos donde el máximo de Von-Mises es 5,124 MPa y un esfuerzo mínimo de 0,569 MPa.

3.8.5 *Factor de seguridad.* El término factor de seguridad es el factor utilizado para evaluar la condición segura del elemento, también se puede decir que es la relación entre la carga última con la carga admisible. (MORAN, 2013)

La resistencia mecánica es la propiedad que presenta un material o un elemento mecánico esto depende mucho del tratamiento o procesado del material, vale recalcar que un esfuerzo es algo que ocurre en un elemento debido a la aplicación de un Factor de seguridad.

Esto depende mucho del tratamiento o procesado del material, vale recalcar que un esfuerzo es algo que ocurre en un elemento debido a la aplicación de fuerzas. Por otra parte se dice que la resistencia es una propiedad intrínseca del elemento que mucho depende del material o el proceso de manufactura que se aplicaron en su fabricación. (MORAN, 2013)

Factor de seguridad;

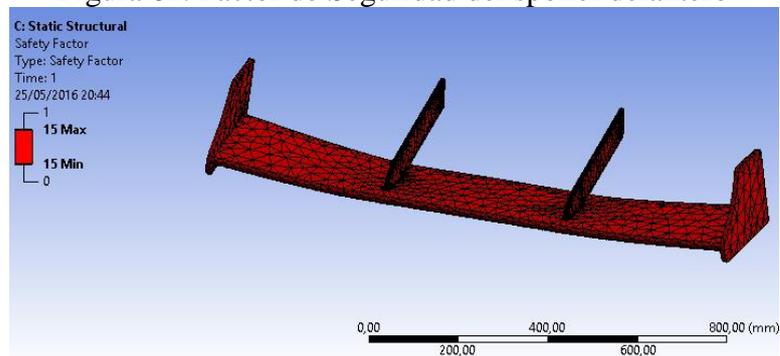
$$n = \frac{\sigma_{\text{Permisible}}}{\sigma_{\text{diseño}}}$$

Los parámetros para verificar si un factor de seguridad se encuentra en condiciones que garanticen su diseño viene determinado por:

Si $n > 1$ el diseño es el adecuado, entre mayor sea o más seguro será el diseño. Si $n < 1$ el diseño es inadecuado y necesitará un rediseño de fuerzas. (MORAN, 2013)

Factor de Seguridad del spoiler delantero:

Figura 61. Factor de Seguridad del spoiler delantero

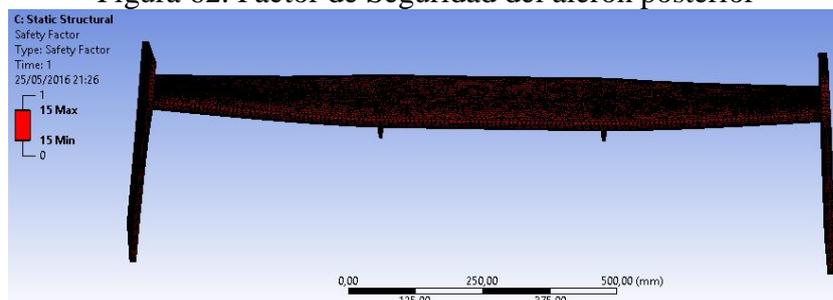


Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura el factor de seguridad del spoiler es de 15, con lo que podemos deducir que el material presenta un factor muy confiable que puede garantizar el diseño y proceder a su fabricación.

Factor de Seguridad del alerón posterior:

Figura 62. Factor de Seguridad del alerón posterior



Fuente. Autores

El factor de seguridad del alerón posterior va desde un máximo de 15, del cual podemos deducir que el material presenta un factor muy confiable que puede garantizar el diseño y proceder a su fabricación.

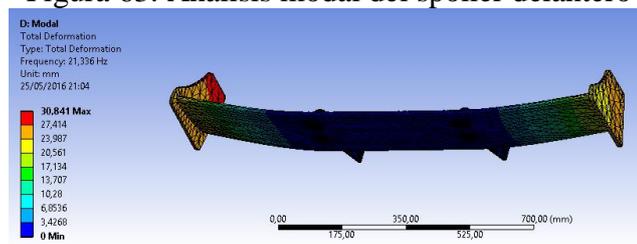
3.9 Análisis modal

Debido a diversos factores como las vibraciones, pueden alterar la forma del spoiler y alerón ya que dichas vibraciones son producidas por el motor y las irregularidades de la pista en donde el prototipo va a competir por lo que fue necesario realizar un análisis Modal en Ansys 16.0 para determinar las posibles vibraciones y las formas modales a las que va estar sometido el spoiler y el alerón. Al igual que un análisis estático hay que considerar el material, la geometría y el mallado siempre tomando en cuenta que las únicas restricciones en el análisis Modal son las de desplazamiento.

A continuación se muestran 6 formas modales a las que el spoiler delantero y el alerón posterior pueden estar sometidos, las mismas que se realizan en un intervalo de 1,5 seg.

3.9.1 Análisis modal del spoiler delantero:

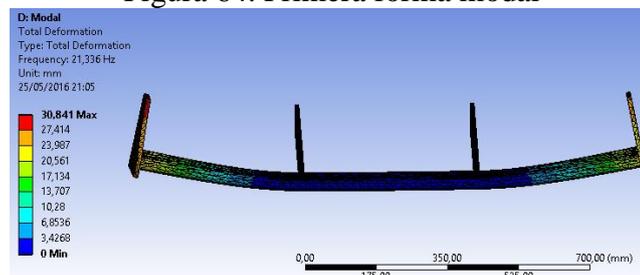
Figura 63. Análisis modal del spoiler delantero



Fuente: Autores

Primera forma modal:

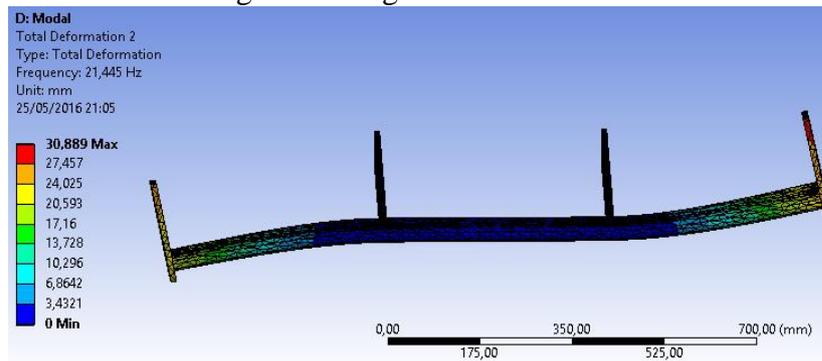
Figura 64. Primera forma modal



Fuente: Autores

Segunda forma modal:

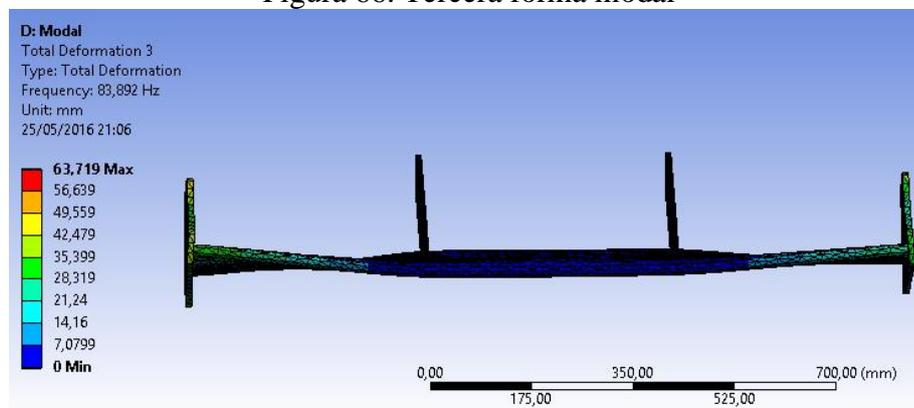
Figura 65. Segunda forma modal



Fuente: Autores

Tercera forma modal:

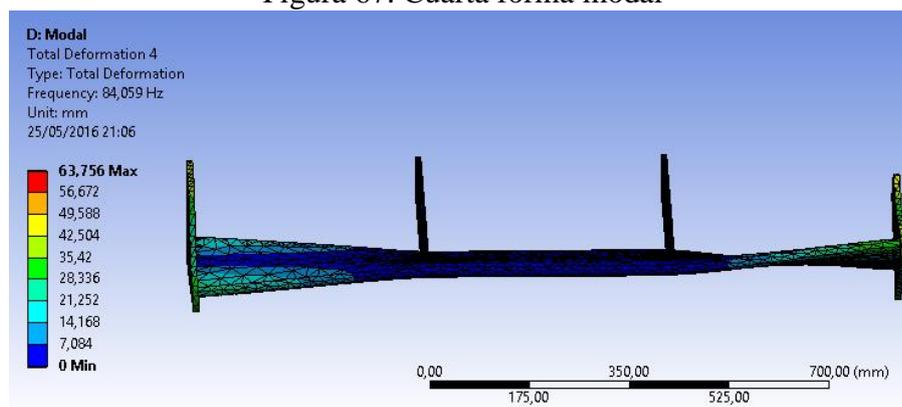
Figura 66. Tercera forma modal



Fuente: Autores

Cuarta forma modal:

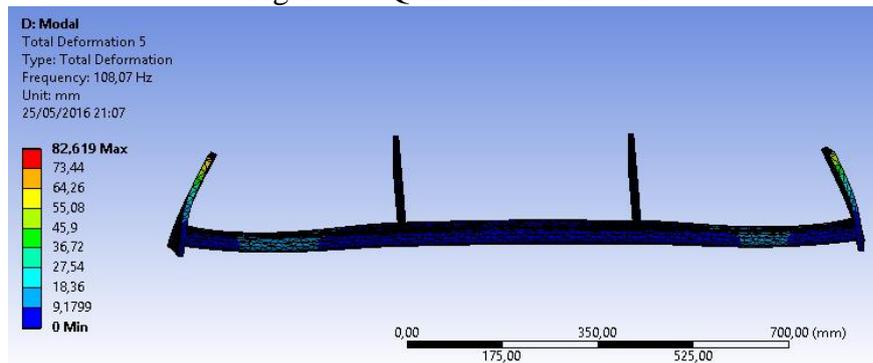
Figura 67. Cuarta forma modal



Fuente: Autores

Quinta forma modal:

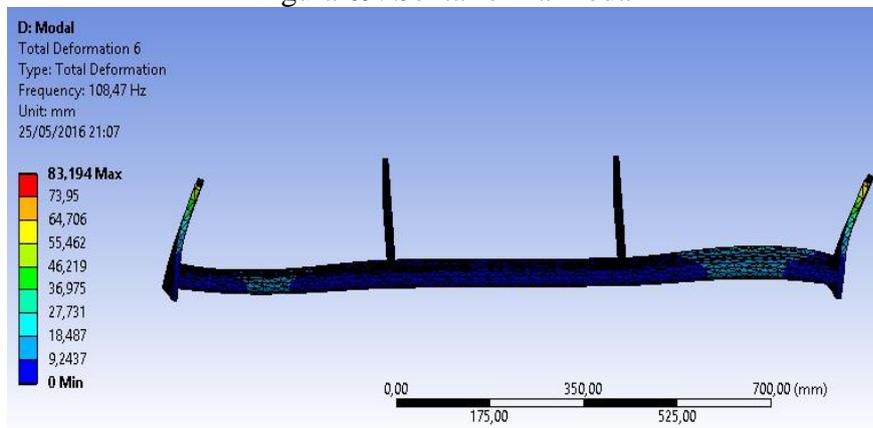
Figura 68. Quinta forma modal



Fuente: Autores

Sexta forma modal:

Figura 69. Sexta forma modal



Fuente: Autores

Los valores de frecuencia y deformaciones totales de las formas modales representadas se muestran en la siguiente tabla:

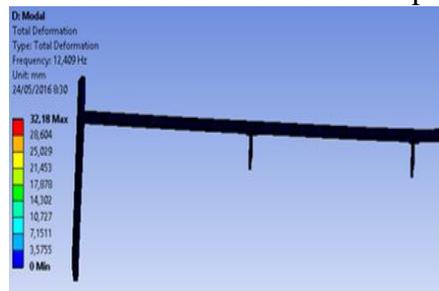
Tabla 13. Formas modales

Formas modales	Frecuencia [Hz]	Deformación total [mm]
1	21,336	30,841
2	21,445	30,889
3	83,892	63,719
4	84,059	63,756
5	108,07	82,619
6	108,47	83,194

Fuente: Autores

3.9.2 *Análisis modal del alerón posterior.*

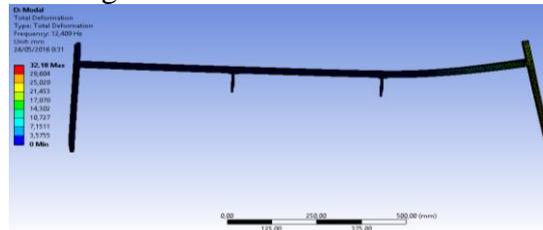
Figura 70. Análisis modal del alerón posterior



Fuente: Autores

Primera forma modal:

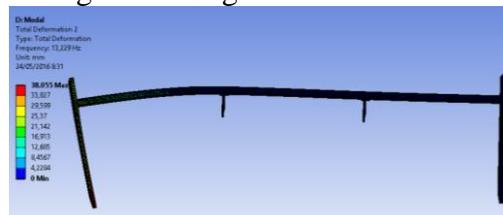
Figura 71. Primera forma modal



Fuente: Autores

Segunda forma modal:

Figura 72. Segunda forma modal



Fuente: Autores

Tercera forma modal:

Figura 73. Tercera forma modal



Fuente: Autores

Cuarta forma modal:

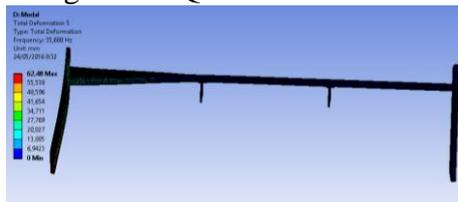
Figura 74. Cuarta forma modal



Fuente: Autores

Quinta forma modal:

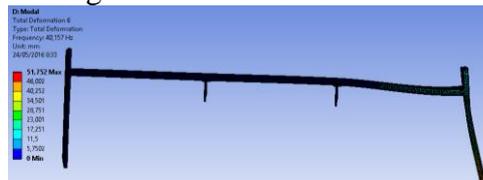
Figura 75. Quinta forma modal



Fuente: Autores

Sexta forma modal:

Figura 76. Sexta forma modal



Fuente: Autores

Los valores de frecuencia y deformaciones totales de las formas modales representadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14. Formas modales del alerón posterior

Formas modales	Frecuencia [Hz]	Deformación total [mm]
1	12,409	32,18
2	13,229	38,055
3	29,811	50,025
4	32,246	65,299
5	35,688	62,48
6	40,157	51,752

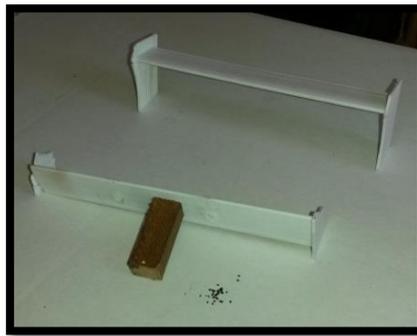
Fuente: Autores

Con los valores mostrados en las deformaciones modales se pudo ubicar el lugar exacto en donde pueden ir los soportes para evitar las diferentes deformaciones producidas por las vibraciones además, de observar que mientras mayor sea la frecuencia menor será la deformación producida.

3.10 Análisis en el túnel de viento

En la realización de este análisis se necesitó de la elaboración de un alerón y un spoiler, los mismos que debieron ser a escala para poder analizarlos, para ello se realizó una impresión en 3D con una escala de 1:10 utilizando un material ecológico como PLA.

Figura 77. Spoiler y alerón en 3D



Fuente: Autores

Visualización de línea de flujo. El diseño de un perfil aerodinámico tiene la función de aprovechar al máximo las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando éste se sitúa dentro de una corriente de aire es por ello que a los modelos a escala se sometieron dentro de una cápsula de viento fabricada de vidrio.

Spoiler delantero y alerón posterior:

Figura 78. Simulación del spoiler delantero y alerón posterior en el túnel de viento



Fuente: Autores

Como se puede observar en las figuras, el alerón posterior y el spoiler delantero cumplen con los requerimientos para los cuales fueron diseñados, ya que el aire se desprende desde el intradós y el extradós hacia el borde de salida, sin generar vórtices.

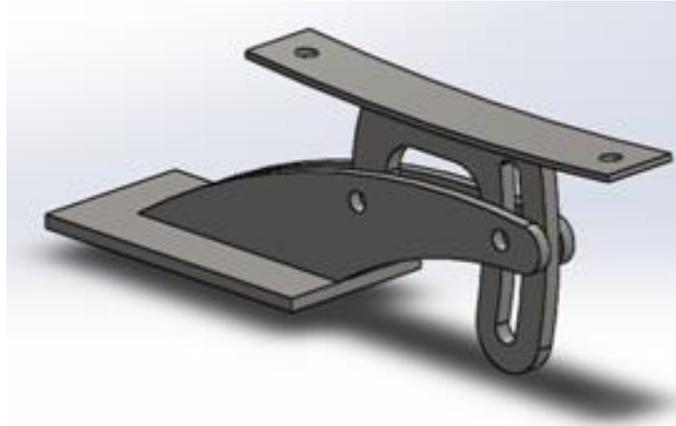
Lo que se puede deducir que es un excelente perfil para el tipo de aplicación en la que va a ser utilizado además, de que las derivas le permiten trasladar el aire en una forma continua sin ninguna restricción como también tener un paralelo flujo de aire,

3.11 Mecanismo de variación del ángulo del alerón posterior.

El mecanismo es un sistema que radica en variar el ángulo de posición del alerón posterior y de la misma manera cambiar el ángulo de ataque del mismo.

Para el diseño de este sistema nos basamos en las características del alerón y el trabajo que debe realizar por lo tanto el diseño más óptimo es el que se muestra en la figura.

Figura 79. Mecanismo de variación del ángulo del alerón posterior



Fuente: Autores

Como se puede observar este sistema tiene pocos elementos, por ello evita aumentar el peso del mecanismo ya que solo son dos los elementos que hacen que varíe la posición del alerón además que se puede cambiar el ángulo de ataque manualmente.

3.12 Consideraciones para la ubicación del spoiler y alerón en el prototipo.

Para ubicar el spoiler y el alerón en el prototipo debemos tener las dimensiones exactas del mismo ya que de ello dependió la distribución de cargas.

Datos del vehículo tipo Fórmula SAE.

Tabla 15. Datos del vehículo tipo Fórmula SAE

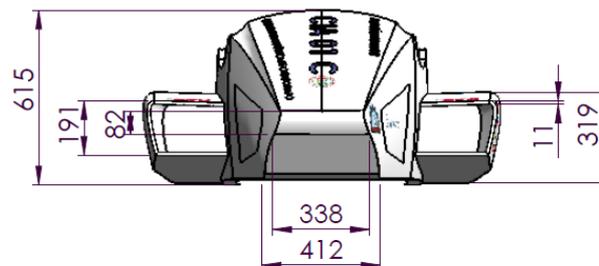
Información general	
Modelo:	Yamaha FZR 400
Año:	1989
Categoría:	Deportivo
Motor y transmisión	
Cilindrada:	399.00 cc (24,35 pulgadas cúbicas)
RPM Máximas:	14000
Compresión:	11,5:1
Diámetro por carrera:	56,0 x 40,5 mm (2,2 x 1,6 pulgadas)

Fuente: (Moto Yamaha FZR 400)

3.12.1 Dimensiones del vehículo.

Vista frontal:

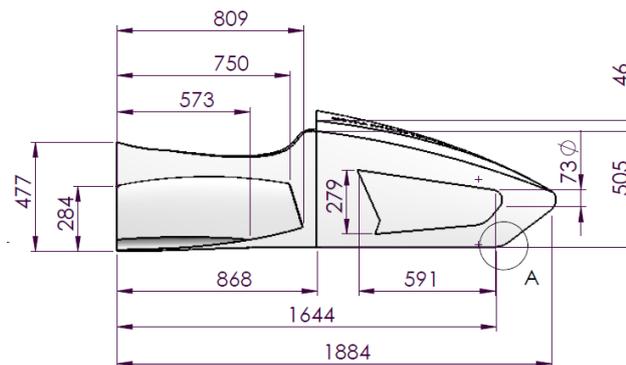
Figura 80. Vista frontal de la carrocería Fórmula “SAE”



Fuente: (Diego Rosero, 2015)

Vista lateral:

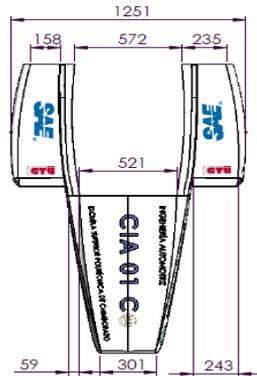
Figura 81. Vista lateral de la carrocería Fórmula “SAE”



Fuente: (Diego Rosero, 2015)

Vista superior:

Figura 82. Vista superior de la carrocería Fórmula “SAE”



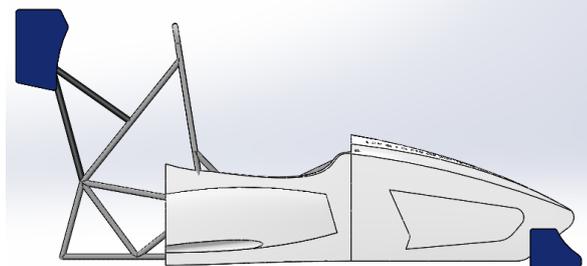
Fuente: (Diego Rosero, 2015)

3.12.2 Ubicación del alerón y spoiler.

Según las dimensiones del prototipo mostradas en las figuras anteriores se pudo ubicar el alerón y el spoiler con una perfecta distribución de cargas.

Vista lateral:

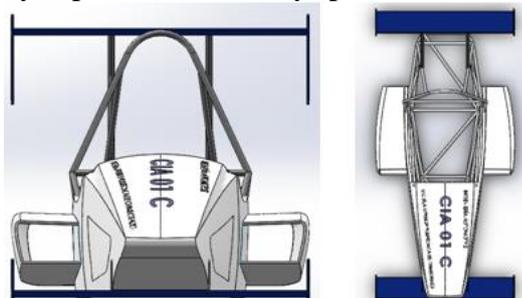
Figura 83. Vista lateral del alerón y spoiler en la carrocería Fórmula “SAE”



Fuente: Autores

Vista frontal y superior del spoiler y alerón en el monoplaza.

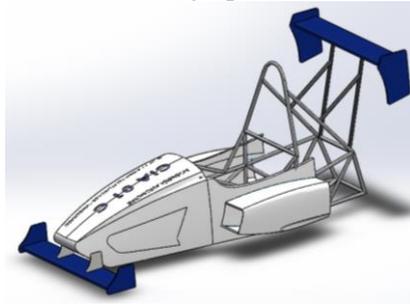
Figura 84. Vista frontal y superior del alerón y spoiler en la carrocería Fórmula “SAE”



Fuente: Autores

Vista isométrica:

Figura 85. Vista isométrica del alerón y spoiler en la carrocería Fórmula "SAE"



Fuente: Autores

CAPITULO IV

4. CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN

Una vez escogido el perfil con las mejores características de diseño, se procedió a su construcción.

4.1 Parámetros para la construcción.

Para la construcción del alerón posterior y spoiler delantero se debe tener varias consideraciones, las cuales son factores que influyen en el proceso de fabricación y son:

- Disponibilidad del material.
- El costo.
- Duración del material.
- Tiempo de proceso fabricación.
- Peso del material puede proporcionar.

4.2 Obtención de la fibra natural

Existen varios procesos para la fabricación de materiales compuestos tales como: estratificación manual, moldeo por extrusión, moldeo por inyección, moldeo por aspersión, moldeo por compresión, moldeo por pultrusión y moldeo por transferencia de resina. (GUERRERO, y otros, 2011)

El proceso elegido para la fabricación del alerón posterior y spoiler es mediante estratificación manual; ya que se debe considerar el proceso adecuado para obtener buenos resultados con bajos costos, además de utilizar recursos existentes en nuestro país lo cual facilita el proceso elegido con ello alargando la vida útil de los elementos a construir. (GUERRERO, y otros, 2011)

Estratificación manual. Es la técnica más simple y antigua para obtener materiales compuestos de matriz con resina termoestable. El material de refuerzo puede obtenerse en forma de fibra corta, continúa, tejido o no tejido. (GUERRERO, y otros, 2011)

Algunas ventajas de este proceso son su simple operación por lo que permite elaborar piezas de diversos tamaños con alto contenido de refuerzo y baja inversión.

Además no requiere aplicación de calor, sus reactivos son baratos, la dificultad de controlar el espesor de la pieza y un buen acabado en solo una de sus caras. (GUERRERO, y otros, 2011)

Tabla 16. Equipos y herramientas

Materiales a utilizar			Equipo y herramientas	
Madera	Cabuya tejida	Pernos	Taladro	Taladro de pie
MEK. (Catalizador)	Pintura	Octoato de Cobalto	Brocas.	Sierra
Tubos	Platina	Masilla	Guillete manual.	Lijadora eléctrica.
Resina	Estireno	Tíñer	Flexómetro	Lijas.

Fuente: Autores

4.3 Construcción del spoiler y el alerón

4.3.1 Obtención del alma del alerón. En el momento de la construcción del alma se tomó en cuenta un material que sea ligero y resistente para que en la competencia pueda soportar grandes cargas, por lo que la mejor opción es la madera por ello se da la forma del perfil 5212 con sus respectivas curvas.

Figura 86. Perfil 5212 con sus respectivas curvas



Fuente: Autores

Se dio una forma paralela en toda la envergadura del perfil.

Figura 87. Forma paralela en la envergadura del perfil



Fuente: Autores

Una vez construido el perfil posterior se realizó el mismo procedimiento para obtener el perfil delantero, con el diseño realizado previamente en SolidWorks.

4.3.2 *Construcción de las derivas laterales.* Se dio forma a las derivas laterales con un espesor de 10 mm y mediante una lijadora eléctrica a las curvas de las derivas laterales.

Figura 88. Formación de las derivas laterales del perfil delantero



Fuente: Autores

El mismo procedimiento se realizó a las derivas laterales para el perfil posterior.

Figura 89. Formación de las derivas laterales del perfil posterior



Fuente: Autores

Se brindó un acabado superficial de las cuatro derivas laterales.

Figura 90. Derivas laterales de los dos perfiles



Fuente: Autores

Una vez identificado la posición en donde van a estar ubicados los perfiles en las respectivas derivas laterales se realizó cuatro perforaciones.

Figura 91. Perforación para el montaje de las derivas laterales



Fuente: Autores

Al finalizar el trabajo se obtuvo el alerón posterior y spoiler respectivamente.

Figura 92. Obtención del spoiler y alerón respectivamente



Fuente: Autores

4.3.3 *Medición y corte de las láminas de cabuya.* Puesto que el área de las láminas de cabuya fue mayor al área del perfil, se procedió a medir y realizar un corte, dejando a la fibra con las medidas exactas.

Figura 93. Medición y corte de las láminas de cabuya



Fuente: Autores

4.3.4 Preparación de la resina. Se pudo obtener mediante la mezcla de resina poliéster y estireno, el mismo que ayudó a disminuir la viscosidad de la resina poliéster.

A continuación se añadió en pequeñas proporciones MEK y octoato de cobalto los cuales sirvieron como acelerador y secante para el endurecimiento de la resina.

Figura 94. Preparación de la resina



Fuente: Autores

Tabla 17. Porcentajes de materiales

Alerón posterior		Spoiler
Material	Dimensión	Dimensión
Cabuya	2,37 m ²	2,00 m ²
Matriz	4,2 l	3,7 l
Resina Poliéster	3,8 l	3,3 l
Estireno (10%)	0,386 l	0,33 l
Octo Co. (0,5%)	0,0193 l	0,0165 l
Meck (1%)	0,0385 l	0,033 l

Fuente: Autores

4.3.5 *Colocación de la resina.* Se procedió a dar la primera capa de resina en el perfil del alerón posterior para ubicar la cabuya.

Figura 95. Colocación de la resina



Fuente: Autores

4.3.6 *Colocación de la cabuya.* Luego de dar la primera capa de resina se procedió a ubicar la cabuya sobre el perfil y se añadió una segunda capa de resina sobre la fibra de cabuya.

Figura 96. Colocación de las láminas de cabuya



Fuente: Autores

Luego de colocar las láminas de cabuya sobre el perfil, se procedió a ubicar la resina y la cabuya, en las derivas laterales, con lo cual el alerón quedó totalmente cubierto.

Figura 97. Colocación de las láminas de cabuya sobre las derivas laterales



Fuente: Autores

4.3.7 *Secado.* Finalmente se dejó el tiempo necesario para su respectivo secado.

Figura 98. Secado de la fibra de cabuya



Fuente: Autores

4.3.8 *Pulido.* Una vez secada la fibra de cabuya en los alerones se pudo apreciar algunas irregularidades en la superficie, de modo que para eliminarlas se utilizó una moladora, dejando la superficie lo más uniforme posible.

Figura 99. Pulido de la fibra de cabuya en el spoiler y alerón



Fuente: Autores

4.3.9 *Colocación de la masilla.* Para eliminar por completo las irregularidades y para obtener un mejor acabado superficial se cubrió los alerones con masilla.

Figura 100. Colocación de masilla plástica sobre el spoiler y alerón



Fuente: Autores

4.3.10 *Lijado.* Lijar completamente los alerones para obtener una superficie lisa.

Figura 101. Lijado del spoiler y alerón



Fuente: Autores

4.4 Construcción del mecanismo de variación del alerón:

Mecanismo de variación inferior:

Figura 102. Mecanismo de variación inferior



Fuente: Autores

Mecanismo de variación superior:

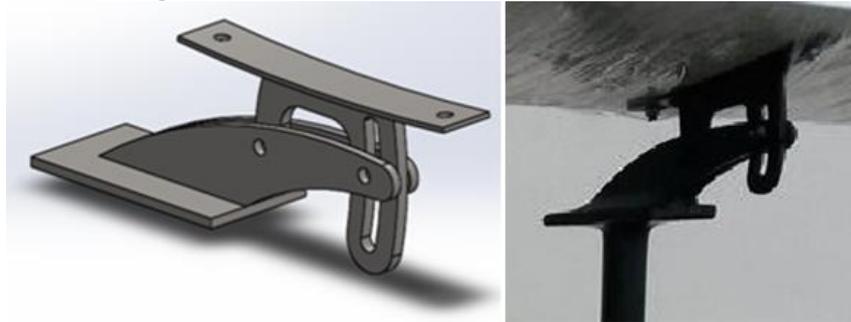
Figura 103. Mecanismo de variación superior



Fuente: Autores

Mecanismo de variación completo:

Figura 104. Mecanismo de variación del alerón



Fuente: Autores

4.5 Construcción del soporte delantero y posterior

Figura 105. Soporte del alerón posterior en el monoplaza



Autores: Fuente

Soporte delantero y posterior terminado:

Figura 106. Soporte del spoiler y alerón ubicados en la carrocería



Fuente: Autores

4.6 Adaptación del alerón y spoiler en el monoplaza

Figura 107. Adaptación del alerón y spoiler en el monoplaza



Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

Para la realización de este trabajo de titulación se tomó en cuenta dos etapas: la construcción del alerón - spoiler y la implementación en el chasis, de modo que se tomaron en cuenta costos directos y costos indirectos.

5.1 Costos directos

Los costos directos hacen referencia a los gastos que influyen directamente en el trabajo de titulación, principalmente constituyen materia prima y mano de obra.

Tabla 18. Costos directos

Cantidad	Descripción	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
5	Resina poliéster (l)	8,50	42,50
1	Estireno (l)	5,00	5,00
0,2	Octoato de Cobalto (l)	3,50	7,00
0,2	MECK (l)	3,50	7,00
6	Fibra de Cabuya (m ²)	3,00	18,00
3	Madera (unidad)	10,00	30,00
4	Tubos (m)	1,25	5,00
3	Platina (m)	2,00	6,00
20	Pernos (unidad)	0,60	12,00
4	Brochas (unidad)	0,50	2,00
1	Pintura (l)	15,00	15,00
3	Masilla (kg)	9,00	27,00
Total			176,50

Fuente: Autores

5.2 Costos indirectos

Los costos indirectos no influyen directamente en la elaboración del trabajo de titulación. Además son todos los costos de fabricación distintos de los materiales directos y de la mano de obra directa. Estos costos hacen referencia al grupo de costos utilizado para acumular los costos indirectos de fabricación.

Tabla 19. Costos indirectos

Descripción	Precio total [USD]
Transporte	50,00
Imprevistos	80,00
Documentación e investigación	180,00
Total	310,00

Fuente: Autores

5.3 Costo total

Tabla 20. Costo total

Costos	Precio [USD]
Costos directos	176,50
Costos indirectos	310,00
Costo total	486,50

Fuente: Autores

5.4 Costos para la sociedad

Tabla 21. Costo sin soportes

Costo sin soportes	
Costos	Precio [USD]
Material empleado	151,50
Mano de obra	91
Total	242,50
25% Total	60,63
Precio total	303,13

Fuente: Autores

Tabla 22. Costo con soportes

Costo con soportes	
Costos	Precio [USD]
Material empleado	176,50
Mano de obra	182
Total	358,50
25% Total	89,63
Precio total	448,13

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se obtuvo la información necesaria sobre spoilers y alerones además de las normativas y especificaciones vigentes, actualizadas de la fórmula SAE que sirvieron de guía para que este trabajo cumpla con todo lo establecido para tener un diseño óptimo para su construcción.

El Spoiler y alerón que se diseñó para este trabajo de titulación cumple con los parámetros requeridos para el tipo de aplicación al que va a estar sometido, específicamente brindar mayor adherencia al monoplaza Fórmula SAE al suelo en todas las condiciones de competencia.

Se realizó tres diseños de perfiles, de los cuales son perfiles NACA, los mismos que se modelaron en SolidWorks y simulados en el programa ANSYS 16.0, al finalizar el análisis de resultados se puede concluir que el perfil NACA 5212 posee la mejor fineza 0,995, por tal motivo tendrá las mejores características que le permitirá al alerón y spoiler ser un elemento aerodinámico eficiente en una competencia.

En el laboratorio de aerodinámica se realizaron dos pruebas, la primera se efectuó en un prototipo del perfil, la segunda prueba se efectuó en un prototipo del alerón y spoiler impreso en 3D de material PLA, en los dos casos se pudo observar que el flujo de aire que pasa a través de éstos elementos aerodinámicos no genera vórtices, es decir que las partículas de aire circulan rápidamente desde el borde de ataque hasta el borde de salida por lo que garantizan una ayuda para que el monoplaza obtenga una correcta adherencia en una competencia, de este modo se puede corroborar el análisis realizado en CFD.

En el análisis realizado en el software ANSYS 16.0 se obtuvo un factor de seguridad de 15 en los dos elementos aerodinámicos, factor que varía dependiendo de las condiciones de competencia y la velocidad del monoplaza, por lo que el factor puede bajar al aumentar la velocidad, pero como la velocidad máxima de competencia en el

monoplaza es de 20,83 m/s, el factor de seguridad garantiza la construcción del spoiler y alerón en fibra de cabuya.

El estudio realizado de vibraciones en el programa Ansys 16.0, indica el lugar de las deformaciones que existe en el spoiler y alerón a causa de esfuerzos a los que está sometido, gracias a ello se pudo diseñar y construir los soportes en lugares específicos, de tal manera que se pueda reducir en gran medida las deformaciones y lograr un elemento aerodinámico resistente.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda conocer y estudiar el reglamento de la Fórmula SAE, para que el trabajo de titulación esté dentro de las normas y especificaciones actuales que rige la construcción del spoiler y alerón para el monoplaza.

Hacer un estudio detallado de los perfiles NACA para elegir dos de ellos que se acerque más a las características que se necesita para esta aplicación.

Tomar en cuenta los criterios de diseño aerodinámico para la construcción de un spoiler y alerón para este tipo de aplicación.

No superar el ángulo máximo de ataque del alerón o de lo contrario ocasionará pérdida.

En la construcción tener en cuenta que la fibra se encuentre completamente seca para que absorba la resina tomando la forma del perfil y de las derivas.

Para manipular la mezcla resina, cobalto y meck tener las debidas protecciones para evitar posibles quemaduras con las reacciones químicas que se generan al combinar estos elementos.

BIBLIOGRAFÍA

- AERONÁUTICA, CONSEJERO NACIONAL DE LA. 2001.** *Airfoil Tools*. [En línea] 10 de Marzo de 2001. [Citado el: 5 de Enero de 2016.] <http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit>.
- AMBIWEB, GmbH. 2012** *Climate-data.org*. [En línea] AmbiWeb GmbH, 2012 CLIMATE-DATA.ORG. <http://es.climate-data.org/info/privacy/>.
- ASKELAND, D. 1998.** *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. México : International thomson editores, 1998.
- BLANES, Briet. 2013.** *Aerodinámica y aero post rig aplicados al diseño de coches de competición*. s.l. : Círculo rojo, 2013.
- CAPALEX. 2013.** *Capital Aluminium Extrusions*. [En línea] 2013.
- ALUMINIUM EXTRUSIONS. 2011.** *Capital Aluminium Extrusions Ltd*. [En línea] 2011.
- CASTAÑÉ, Josep. 1996.** *El Equipo de Competición*. Madrid : Paperback, 1996.
- DEREK, H. 2003.** *Materiales Compuestos*. Barcelona : ISBN, 2003.
- ROSERO, BAYAS. 2015.** "Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia formula "SAE" en fibra de vidrio", ESPOCH Riobamba : s.n., 2015.
- GARCÍA, Luis Esteban 2003.** *La madera y su anatomía*. Madrid : s.n., 2003.
- FÓRMULA SAE. SAE, International.** Michigan : s.n.
- G. HANSEN, Arthur. 1982.** *Mecánica de fluidos*. México : Limusa, 1982.
- GARCÍA PEDROZA, Marco Agustín. 2013.** *Periles aerodinámicos*. 2013, pág. 14.
- GUERRERO, Victor Hugo y Ph.D. 2011.** *Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales*. Quito : imprefepp, 2011.
- HORA, DIARIO LA. 2006.** *Cabuya una fibra que cria desarrollo*. [En línea] 2006. http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/517429/1/Cabuya_una_fibra_que_cria_desarrollo.html.
- JARANDA, Marcelo. 2011.** *Resinas de poliéster y fibra de vidrio(estratificado)*. [En línea] Once de Octubre 2011. usuarios.tinet.cad/jaranda/Poliester_archivos/Page396.htm.
- RUIZ José, SAENZ Andrés. 2011.** *Aerodinámica Básica*. madrid : GARCETA, 2011.
- KARMAN, Theodore. 1964.** *Aerodynamics*. Estados Unidos : s.n., 1964.
- KATZ, Joseph. 1995.** *Race Car Aerodynamics* . Massachusetts : s.n., 1995.

MARCIA, M. 2014. *Las Plantas de Fibra*. [En línea] 28 de Diciembre de 2014.
<http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2023.pdf...>

McBEATH, Simón. 2001. *Aerodinámica del automóvil de competición*. s.l. : Enrique H. Scalabroni, 2001.

YAMAHA, Moto Yamaha FZR 400. Yamaha.

MOTT, Robert. 2006. *Mecánica de Fluidos. sexta edición*. México : Pearson educación, 2006.

SMITH, William. 2006. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Madrid : s.n., 2006.

TIXE, VISTIN. 2015. "Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125cc, 4 tiempos". ESPOCH Riobamba : s.n., 2015.

