



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ALERÓN POSTERIOR
MEDIANTE LA VARIACIÓN DE POSICIÓN CON LA APLICACIÓN
DE UN SISTEMA DRS PARA UN VEHÍCULO FORMULA SAE
PERTENECIENTE A LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JAIRO ANDRÉS GUAMANTAQUI CISNEROS

CÉSAR ANDRÉS GRANDA SIGCHO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ALERÓN POSTERIOR
MEDIANTE LA VARIACIÓN DE POSICIÓN CON LA APLICACIÓN
DE UN SISTEMA DRS PARA UN VEHÍCULO FORMULA SAE
PERTENECIENTE A LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JAIRO ANDRÉS GUAMANTAQUI CISNEROS

CÉSAR ANDRÉS GRANDA SIGCHO

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO Msc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Jairo Andrés Guamantaqui Cisneros & César Andrés Granda Sigcho

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, JAIRO ANDRÉS GUAMANTAQUI CISNEROS y CÉSAR ANDRÉS GRANDA SIGCHO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de marzo de 2022



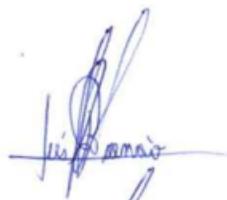
César Andrés Granda Sigcho
171857908-7



Jairo Andrés Guamantaqui Cisneros
180512030-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ALERÓN POSTERIOR MEDIANTE LA VARIACIÓN DE POSICIÓN CON LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DRS PARA UN VEHÍCULO FORMULA SAE PERTENECIENTE A LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **JAIRO ANDRÉS GUAMANTAQUI CISNEROS** y **CÉSAR ANDRÉS GRANDA SIGCHO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales; en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-03-17
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-03-17
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-03-17

DEDICATORIA

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico primero a Dios por permitirme terminar con éxito una etapa más de mi vida, por sostenerme en los momentos más difíciles y por dirigirme siempre por un buen camino. A mis padres, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, a mi mamá que siempre estuvo pendiente de mí, motivándome, cuidándome, brindándome su confianza, y a mi padre que ha estado para impartirme buenos consejos y alentarme a no desmayar en el transcurso de la carrera universitaria, los dos han hecho un esfuerzo grande para hacer posible un sueño más, dedicándome tiempo, amor y confianza que era lo que más necesitaba.

César

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico a mis padres, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, a mi mamá que siempre estuvo pendiente de mí, motivándome, cuidándome, brindándome su confianza, y a mi padre que ha estado para impartirme buenos consejos y alentarme a no desmayar en el transcurso de la carrera universitaria, los dos han hecho un esfuerzo grande para hacer posible un sueño más, dedicándome tiempo, amor y confianza que era lo que más necesitaba.

Jairo

AGRADECIMIENTO

A nuestros amigos por brindarnos confianza y por haber compartido y generado las mejores experiencias a lo largo de la carrera universitaria. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirnos las puertas para ser parte de esta prestigiosa institución y crecer de manera profesional enriqueciendo nuestros conocimientos y formando profesionales de calidad.

César y Jairo

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Justificación	4
1.4.	Objetivos	5
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.4.2.	<i>Objetivo Específico</i>	5

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1.	Estado del arte	7
2.2.	Bases teóricas	11
2.2.1.	<i>Fórmula SAE</i>	11
2.2.2.	<i>Teoría de la aerodinámica</i>	13
2.2.3.	<i>Fundamentos de la aerodinámica</i>	14
2.2.3.1.	<i>Líneas de corriente y trayectoria</i>	14
2.2.3.2.	<i>Capa límite</i>	15
2.2.3.3.	<i>Flujo laminar</i>	15
2.2.3.4.	<i>Flujo turbulento</i>	16
2.2.3.5.	<i>Número de Reynolds</i>	16
2.2.3.6.	<i>Principio y ecuación de Bernoulli</i>	17
2.2.4.	Fuerzas, cargas, resistencia y eficiencia aerodinámica	19
2.2.4.1.	<i>Fuerza</i>	19

2.2.4.2.	<i>Carga aerodinámica</i>	20
2.2.4.3.	<i>Resistencia aerodinámica</i>	21
2.2.4.4.	<i>Eficiencia aerodinámica</i>	22
2.2.5.	<i>Alerones</i>	22
2.2.5.1.	<i>Definición y partes</i>	22
2.2.5.2.	<i>Tipos de alerones</i>	25
2.2.6.	<i>Perfiles aerodinámicos</i>	26
2.2.6.1.	<i>Perfiles GOE 796</i>	27
2.2.6.2.	<i>Perfiles GOE 479</i>	28
2.2.6.3.	<i>Perfiles GOE 803</i>	28
2.2.6.4.	<i>Perfiles GOE 464</i>	29
2.2.6.5.	<i>Software JavaFoil y página web Airfoil Tools</i>	29
2.2.7.	<i>Sistema DRS</i>	31
2.2.7.1.	<i>Funcionamiento</i>	31
2.2.7.2.	<i>Tipos de mecanismos de sistema DRS</i>	33
2.2.7.3.	<i>Actuadores lineales del sistema DRS</i>	35
2.2.8.	<i>Dispositivos electrónicos</i>	37
2.2.8.1.	<i>Arduino</i>	37
2.2.8.2.	<i>Controlador de motor DC (Puente H)</i>	37
2.2.9.	<i>Análisis CFD</i>	38
2.2.9.1.	<i>Introducción</i>	38
2.2.9.2.	<i>Procesos de la dinámica CFD</i>	38
2.2.9.3.	<i>Etapas del análisis CFD</i>	39
2.2.9.4.	<i>Discretización espacial</i>	39
2.2.9.5.	<i>Software comercial</i>	40
2.3.	Marco legal	42
2.3.1.	<i>Reglamento de FSAE</i>	42
2.3.1.1.	<i>Artículo 8: Dispositivos aerodinámicos</i>	42

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	45
3.1.	Diagrama de etapas de proyectos	45
3.2.	Metodología de la investigación a realizar	46
3.2.1.	<i>Métodos</i>	47
3.2.1.1.	<i>Método deductivo</i>	47

3.2.1.2.	<i>La metodología analítica</i>	48
3.2.1.3.	<i>La metodología sintética</i>	48
3.3.	Desarrollo del proyecto	49
3.3.1.	Cronograma (Planificación de actividades)	49
3.3.2.	Recursos y materiales	50
3.3.2.1.	<i>Presupuesto</i>	50
3.3.2.2.	<i>Talento Humano</i>	52
3.3.2.3.	<i>Equipos materiales</i>	53
3.3.3.	Desarrollo del proyecto	53
3.3.3.1.	<i>Bosquejo</i>	54
3.3.3.2.	<i>Elección del perfil alar</i>	56
3.3.3.3.	<i>Consideraciones de diseño de un alerón</i>	57
3.3.3.4.	<i>Cálculos de los perfiles aerodinámicos</i>	58
3.3.3.5.	<i>Diseño del alerón y flap finales</i>	65
3.3.3.6.	<i>Análisis en software CAE (simulación) de los perfiles aerodinámicos</i>	69
3.3.3.7.	<i>Análisis CFD del paquete aerodinámico</i>	74
3.3.4.	Proceso de fabricación del alerón	78
3.3.4.1.	<i>Selección de materiales</i>	78
3.3.4.2.	<i>Elaboración de moldes</i>	83
3.3.4.3.	<i>Proceso de fabricación en fibra de carbono</i>	89
3.3.4.4.	<i>Proceso de fabricación de los Endplates</i>	99
3.3.4.5.	<i>Proceso de fabricación de Sistema DRS</i>	102
3.3.4.6.	<i>Presentación final</i>	108

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	114
4.1.	Mecanismo de movimiento del Sistema DRS	114
4.2.	Obtención de pesos (Alerón de cabuya vs Alerón con DRS)	115
4.3.	Simulación y pruebas	116
4.3.1.	<i>Peso de los alerones</i>	116
4.3.2.	<i>Simulación</i>	116
4.3.2.1.	<i>Alerón en fibra de cabuya</i>	116
4.3.2.2.	<i>Alerón en fibra de carbono cerrado</i>	119
4.3.2.3.	<i>Alerón en fibra de carbono abierto</i>	121
4.3.3.	<i>Pruebas reales en el túnel de viento</i>	124

4.3.3.1.	<i>Prueba real con alerón en fibra de cabuya</i>	124
4.3.3.2.	<i>Prueba real con alerón en fibra de carbono sistema DRS cerrado</i>	125
4.3.3.3.	<i>Prueba real con alerón en fibra de carbono sistema DRS abierto</i>	126
4.4.	Análisis de resultados	128
CONCLUSIONES		130
RECOMENDACIONES		131
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Número adimensional del flujo.....	16
Tabla 2-2:	Coeficiente de resistencia al avance.....	21
Tabla 1-3:	Metodología de la investigación.....	46
Tabla 2-3:	Tabla de planificación de actividades.....	49
Tabla 3-3:	Costos Directos (Materia prima).....	50
Tabla 4-3:	Costos Directos (Mano de obra).....	51
Tabla 5-3:	Costo Directos totales.....	51
Tabla 6-3:	Costos Indirectos.....	51
Tabla 7-3:	Costo Total.....	52
Tabla 8-3:	Equipos y materiales.....	53
Tabla 9-3:	Perfiles aerodinámicos GOE.....	57
Tabla 10-3:	Fuerzas generadas en el perfil GOE 803.....	64
Tabla 11-3:	Fuerzas generadas en el perfil GOE 464.....	64
Tabla 12-3:	Fuerzas generadas en el perfil GOE 796.....	64
Tabla 13-3:	Fuerzas generadas en el perfil GOE 479.....	64
Tabla 14-3:	Hoja de cálculo del perfil GOE 479.....	66
Tabla 15-3:	Hoja de cálculo del perfil GOE 464.....	68
Tabla 16-3:	Tabla de condiciones de contorno.....	70
Tabla 17-3:	Datos de fuerza aerodinámica y coeficientes generados en función del ángulo.....	71
Tabla 18-3:	Coeficiente de sustentación y arrastre en función al eje Y.....	72
Tabla 19-3:	Coeficiente de sustentación y arrastre en función al eje X.....	72
Tabla 20-3:	Configuración en posición cerrada del <i>flap</i>	73
Tabla 21-3:	Configuración en posición cerrada del flap.....	74
Tabla 22-3:	Características de la fibra de carbono.....	76
Tabla 23-3:	Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales.....	79
Tabla 24-3:	Propiedades y precios aproximados de los diferentes materiales y fibras existentes...81	
Tabla 25-3:	Propiedades y precios aproximados de los diferentes materiales y fibras existentes...82	
Tabla 26-3:	Tabla propiedades mecánicas del PMMA.....	83
Tabla 1-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto.....	116
Tabla 2-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de cabuya.....	124
Tabla 3-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS cerrado.....	125

Tabla 4-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto	126
Tabla 5-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto.....	127
Tabla 6-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto.....	128
Tabla 7-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto.....	129
Tabla 8-4:	Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Vehículos FSAE del Instituto Tecnológico de Karlsruhe y Melbourne Monash	12
Figura 2-2:	Líneas de corriente de un fluido	14
Figura 3-2:	Capa límite	15
Figura 4-2:	Flujo laminar	15
Figura 5-2:	Flujo turbulento.....	16
Figura 6-2:	Principio de Bernoulli	17
Figura 7-2:	Carga y resistencia aerodinámica	19
Figura 8-2:	Esquema de la sección transversal de un alerón	23
Figura 9-2:	Distribución de presiones en un alerón.....	24
Figura 10-2:	Perfil de un alerón con turbulencias	24
Figura 11-2:	Efecto de las derivas en un flujo de aire	25
Figura 12-2:	Alerón de un solo elemento.....	25
Figura 13-2:	Alerón de dos elementos o planos	26
Figura 14-2:	Alerón de múltiples elementos o planos	26
Figura 15-2:	Perfil GOE 796.....	27
Figura 16-2:	Perfil GOE 479.....	28
Figura 17-2:	Perfil GOE 803.....	28
Figura 18-2:	Perfil GOE 464.....	29
Figura 19-2:	Ventana de geometría de programa JavaFoil 2.2	30
Figura 20-2:	Ventana de geometría de la web <i>Airfoil Tools</i>	30
Figura 21-2:	DRS cerrado.....	32
Figura 22-2:	DRS abierto.....	32
Figura 23-2:	Mecanismo Push Up.....	33
Figura 24-2:	Mecanismo Pods y Rockers variante 1	34
Figura 25-2:	Mecanismo Pods y Rockers variante 2	34
Figura 26-2:	Mecanismo <i>Pod Pull</i>	35
Figura 27-2:	Placa Arduino Microcontrolador	37
Figura 28-2:	Controlador de motor DC (Puente H).....	37
Figura 29-2:	Análisis CFD de vehículos FSAE.....	38
Figura 30-2:	Vista previa de SolidWorks.....	41
Figura 31-2:	Vista previa de Ansys.....	41

Figura 32-2:	Dimensiones máximas y posicionamiento de los dispositivos aerodinámicos	44
Figura 1-3:	Bosquejo actuador lineal	54
Figura 2-3:	Bosquejo sistema DRS	54
Figura 3-3:	Bosquejo Endplate (Placas de los extremos)	55
Figura 4-3:	Bosquejo Alerón (Plano principal)	55
Figura 5-3:	Bosquejo Alerón (Flap).....	55
Figura 6-3:	Bosquejo Alerón ensamblado	56
Figura 7-3:	Configuración alerón de flap externo	58
Figura 8-3:	Perfil 796.....	60
Figura 9-3:	Perfil 803.....	61
Figura 10-3:	Perfil 464.....	62
Figura 11-3:	Perfil 479.....	63
Figura 12-3:	Perfil 479 diseñado en software CAD	67
Figura 13-3:	Perfil 464 diseñado en software CAD	69
Figura 14-3:	Modificación de ángulo de ataque del flap	70
Figura 15-3:	Ranura entre el plano principal y flap.....	71
Figura 16-3:	Variación de ángulo θ (apertura de alerón).....	73
Figura 17-3:	Contorno de presión estática	74
Figura 18-3:	Contorno de presión total	75
Figura 19-3:	Flujo de velocidad en el alerón.....	75
Figura 20-3:	Datos de fibra de carbono en software CAE.....	76
Figura 21-3:	Esfuerzo de Von Mises.....	77
Figura 22-3:	Deformación Principal	77
Figura 23-3:	Desplazamiento del alerón	78
Figura 24-3:	Rin fabricado en fibra de carbono	80
Figura 25-3:	Fibra de carbono bidireccional 3K	80
Figura 26-3:	Ordenamiento hexagonal de átomos de carbono	81
Figura 27-3:	Plano del molde correspondiente al alerón principal	84
Figura 28-3:	Vista explosionada de las diferentes partes del molde (alerón principal)	84
Figura 29-3:	Plano del molde correspondiente al alerón <i>flap</i>	85
Figura 30-3:	Vista explosionada de las diferentes partes del molde (alerón <i>flap</i>)	85
Figura 31-3:	Proceso de corte en la maquina laser	87
Figura 32-3:	Piezas cortadas en la maquina laser	87
Figura 33-3:	Moldes creados a partir de la unión de las piezas cortadas	88

Figura 34-3:	Proceso de lijado en cada uno de los moldes	88
Figura 35-3:	Moldes terminados	89
Figura 36-3:	Purificación de los moldes.....	90
Figura 37-3:	Aplicación de cera desmoldante	90
Figura 38-3:	Medición y corte de la fibra de carbono	91
Figura 39-3:	Preparación de materiales.....	91
Figura 40-3:	Preparación de la resina.....	92
Figura 41-3:	Mezcla de la resina y catalizador.....	92
Figura 42-3:	Colocación de resina y fibra en el molde.....	93
Figura 43-3:	Aplicación de capas de fibra de carbono	93
Figura 44-3:	Aplicación del <i>Peel Ply</i>	94
Figura 45-3:	Aplicación de Film de sangrado	94
Figura 46-3:	Aplicación de manta de absorción.....	95
Figura 47-3:	Aplicación de la bolsa de vacío	95
Figura 48-3:	Conexión de la válvula de vacío a la bomba.....	96
Figura 49-3:	Proceso de secado de las piezas.....	96
Figura 50-3:	Desprendimiento de materiales de cada molde.....	97
Figura 51-3:	Estructura interna del alerón principal.....	97
Figura 52-3:	Estructura interna del alerón flap.....	98
Figura 53-3:	Estructura interna del alerón <i>flap</i>	98
Figura 54-3:	Dimensionamiento de los <i>endplates</i>	99
Figura 55-3:	Diseño final de los <i>endplates</i>	100
Figura 56-3:	Corte laser de los <i>endplates</i>	101
Figura 57-3:	Preparación de los <i>endplates</i> previos a ser pintados	101
Figura 58-3:	<i>Endplate</i> terminado y pintado.....	102
Figura 59-3:	Mecanismo DRS en posición cerrada	103
Figura 60-3:	Mecanismo <i>DRS</i> en posición Abierta	103
Figura 61-3:	Esquema del circuito eléctrico del <i>DRS</i>	104
Figura 62-3:	Programación del circuito eléctrico en Arduino	105
Figura 63-3:	Cubierta del mecanismo <i>DRS</i>	106
Figura 64-3:	Post - procesado en software de impresión 3D	107
Figura 65-3:	Impresión 3D de la carcasa del <i>DRS</i>	107
Figura 66-3:	Proceso de pintura de los alerones.....	108
Figura 67-3:	Alerón final	108

Figura 68-3:	Prototipo SAE con alerón.....	109
Figura 69-3:	Escalado 1:10 del prototipo SAE con sistema <i>DRS</i>	109
Figura 70-3:	Impresión del prototipo SAE con sistema <i>DRS</i>	110
Figura 71-3:	Impresión completa del prototipo SAE con sistema <i>DRS</i>	110
Figura 72-3:	Impresión completa del prototipo SAE con sistema <i>DRS</i>	111
Figura 73-3:	Resultado final del prototipo <i>SAE</i> con sistema <i>DRS</i> escalado	111
Figura 74-3:	Túnel de viento de la carrera de ingeniería automotriz.....	112
Figura 75-3:	Modelo a escala en el túnel de viento.....	112
Figura 76-3:	Módulo de control del túnel de viento.....	113
Figura 1-4:	Activación del sistema <i>DRS</i> a través de botón de encendido	114
Figura 2-4:	Desactivación del sistema <i>DRS</i> a través del pedal y el botón de emergencia	114
Figura 3-4:	Medición de peso del alerón cabuya.....	115
Figura 4-4:	Medición de peso del alerón con sistema <i>DRS</i>	115
Figura 5-4:	Velocidad del alerón en fibra de cabuya.....	117
Figura 6-4:	Flujo de velocidad del alerón en fibra de cabuya.....	117
Figura 7-4:	Presión estática del alerón en fibra de cabuya	118
Figura 8-4:	Presión total del alerón en fibra de cabuya	119
Figura 9-4:	Contorno de velocidad del alerón con sistema <i>DRS</i> cerrado	119
Figura 10-4:	Flujo de velocidad del alerón con sistema <i>DRS</i> cerrado.....	120
Figura 11-4:	Contorno de presión estática del alerón con sistema <i>DRS</i> abierto	120
Figura 12-4:	Contorno de presión total del alerón con sistema <i>DRS</i> cerrado	121
Figura 13-4:	Contorno de velocidad del alerón con sistema <i>DRS</i> abierto	122
Figura 14-4:	Flujo de velocidad del alerón con sistema <i>DRS</i> abierto.....	122
Figura 15-4:	Contorno de presión estática del alerón con sistema <i>DRS</i> abierto	123
Figura 16-4:	Contorno de presión total del alerón con sistema <i>DRS</i> abierto	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Diagrama de etapas del proyecto	45
Gráfico 1-4:	Gráfica de fuerza (N) vs velocidad (Km/h) alerón fibra de cabuya	124
Gráfico 2-4:	Gráfica de fuerza (N) vs velocidad (Km/h) alerón DRS cerrado.....	125
Gráfico 3-4:	Gráfica de fuerza (N) vs velocidad (Km/h) alerón DRS abierto.....	126

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CONTROL DE MOTOR Y SENSORES MEDIANTE ARDUINO

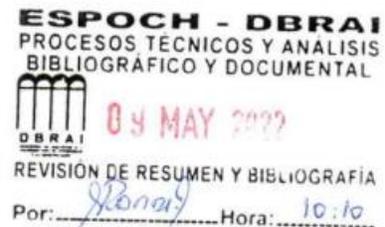
ANEXO B: VISTA PARTES ALERON DRS

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo diseñar y construir un alerón posterior móvil (*DRS*) que fue aplicado al vehículo Fórmula *SAE* perteneciente a la Carrera de Ingeniería Automotriz, usando sistemas de control electrónico, una placa Arduino y un motor eléctrico para variar su posición, permitiendo la mejora de cargas aerodinámicas. Para el estudio del arte se tomaron en cuenta cuatro perfiles GOE (464, 803, 796 y 479) de los cuales se escogió el perfil 479 como principal y el 464 como flap debido a que presentaban mejores características aerodinámicas. Luego, se determinó el ángulo de inclinación del alerón flap con respecto al alerón principal y la posición en coordenadas (X, Y). Se realizó el diseño de los alerones y el control electrónico mediante dos pulsadores ubicados en el volante (apertura del flap) y en el pedal de freno (cierre del flap). Se construyó los alerones en fibra de carbono aplicando la técnica de vacío con la ayuda de moldes que se hicieron en madera cortada por láser. Para variar la posición del flap se generó el sistema eléctrico basado en una placa Arduino controlando el movimiento mediante un motor y las señales generadas por los pulsadores. A continuación, se realizó un modelo a escala 1:10 del vehículo real con el alerón anterior y el alerón con sistema *DRS*, con la finalidad de evaluar su rendimiento aerodinámico a través de un túnel de viento y compararlos. Al realizar las pruebas en el túnel de viento se determinó que el alerón con sistema *DRS* cumple con los requerimientos esperados en comparación con el alerón anterior, logrando mejoras aerodinámicas tanto en su posición abierta como cerrada. Se concluye que es posible que el vehículo mejore su rendimiento aerodinámico. Se recomienda realizar pruebas con el dispositivo elaborado en un escenario real.

Palabras clave: <ALERÓN>, <DRS>, <ANÁLISIS AERODINÁMICO>, <PROTOTIPO>, <SUSTENTACIÓN>, <ARRASTRE>.

0850-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this work was to design and build a mobile rear spoiler (DRS) that was applied to the Formula SAE vehicle belonging to the Automotive Engineering Career, using electronic control systems, an Arduino board and an electric motor to vary its position, allowing the improvement of aerodynamic loads. For the art study, four GOE airfoils (464, 803, 796 and 479) were taken into account, of which, the 479 airfoil was chosen as the main airfoil and the 464 as the flap because it presented better aerodynamic characteristics. Then, the angle of inclination of the flap aileron with respect to the main aileron and (X, Y) coordinates position were determined. The design of the ailerons and the electronic control was carried out by means of two pushbuttons located on the steering wheel (flap opening) and on the brake pedal (flap closing). The spoilers were built in carbon fiber using the vacuum technique with the help of molds made of laser-cut wood. To vary the position of the flap, the electrical system was generated based on an Arduino board controlling the movement by means of a motor and the signals generated by the pushbuttons. Next, a 1:10 scale model of the real vehicle was made with the front wing and the wing with DRS system, in order to evaluate their aerodynamic performance through a wind tunnel and compare them. The wind tunnel tests determined that the spoiler with DRS system meets the expected requirements compared to the previous spoiler, achieving aerodynamic improvements both in its open and closed position. It is concluded that it is possible for the vehicle to improve its aerodynamic performance. It is recommended to carry out tests with the elaborated device in a real scenario.

Keywords: <SPOILER>, <AERODYNAMIC ANALYSIS>, <PROTOTYPE>, <ELECTRONIC CONTROL>, <ELECTRONIC SYSTEM>.

SANDRA
PAULINA
PORRAS
PUMALEMA



Firmado
digitalmente por
SANDRA PAULINA
PORRAS PUMALEMA
Fecha: 2022.05.10
22:57:31 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la Fórmula de la Asociación de Ingenieros Automotrices (*SAE*, por sus siglas en inglés) es un evento muy importante dentro de todos los centros universitarios de ingeniería automotriz, porque permite el desarrollo y ejecución de las habilidades de los estudiantes en materia de diseño y construcción de prototipos monoplace, los cuales se someten a una serie de pruebas dinámicas y estáticas que determinan si un vehículo está habilitado para su participación dentro de la carrera.

Existen dos tipos de modalidades en el desarrollo de los vehículos monoplace para *FSAE*: los vehículos con motor de combustión interna (MCI) y los vehículos con motor eléctrico, siendo este último el prototipo sobre el cual se basará el presente proyecto integrador.

En la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) existen distintos modelos de vehículos diseñados por los estudiantes para *FSAE*, con mayor énfasis en los últimos años, en el diseño de prototipos eléctricos. Dentro de esta carrera existe un prototipo eléctrico desarrollado por el grupo de investigación denominado Sistemas Alternativos de Propulsión e Impacto Ambiental (SAPIA), el cual consta de diversos estudios ya implementados, como son: el diseño de chasis, suspensión, tren motriz eléctrico y sistemas de telemetría. También se evidenció el diseño de un modelo de alerón posterior para el prototipo *FSAE*, pero no cuenta con los requerimientos aerodinámicos mínimos, por lo que se realizó un estudio a escala de un diseño mucho más avanzado (implementación de sistema DRS a escala) permitiendo así tener una leve idea del funcionamiento real de este paquete aerodinámico en combinación con el vehículo.

Se tomó en cuenta dicho estudio a escala previamente realizado, para generar un diseño completo y funcional para el prototipo, permitiendo instalar un dispositivo electrónico variador de posición del alerón (DRS), que lograría generar una mayor velocidad punta en las partes rectas de la pista y proporcionar un mayor agarre de los neumáticos al suelo, cuando el vehículo tome las curvas en las diferentes pruebas o competencias a realizar.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el año 2015 se desarrolló y construyó el vehículo de Fórmula SAE, siendo (Alvaro Jimenez, 2015) quien dio el primer paso con el tema “Diseño y construcción del chasis de un vehículo de competencia fórmula “SAE” para la Escuela de Ingeniería Automotriz” creándose la ilusión de formar parte de dicha competencia en representación a la ESPOCH, por lo que el proyecto pasó a ser parte del grupo de investigación y desarrollo SAPIA. Este fue el inicio de varios proyectos en cada una de las áreas de interés, para lograr en un futuro un prototipo funcional, capaz de competir y cumplir el sueño de la carrera.

Es por esta razón que a lo largo del año 2015 hasta la actualidad se han generado distintos estudios para ayudar en gran medida al vehículo fórmula SAE, especialmente el aerodinámico, puesto que, en un vehículo de competencia, es de vital importancia tener en cuenta cada aspecto físico y funcional, para evitar un bajo rendimiento dentro de la carrera.

Tomando en cuenta esta necesidad, se inició el desarrollo y mejoría de la aerodinámica, con el trabajo titulado “Diseño y construcción de un espóiler y alerón posterior realizado en fibra natural”, el cual fue elaborado por (Avalos, y otros, 2016). El estudio tiene como base la creación de un alerón en fibra natural de cabuya en el que se utilizaron perfiles NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*), y se generaron diferentes estudios para tres tipos de perfiles como: el perfil NACA 6412, NACA 4412 y NACA 5212. Adicional a esto se creó un estudio aerodinámico en el software *SolidWorks* y *ANSYS 16.0* el cual permitió a los compañeros verificar cuál perfil es el más adecuado y de acuerdo con esos datos, realizar el diseño final y su posterior construcción para aplicar al vehículo

Como actualización al tema anterior se generó otra investigación más exhaustiva donde participa (Medina, y otros, 2018) quien propone el tema: “Diseño e implementación del sistema DRS en el prototipo fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz variando la posición de los alerones mediante la dinámica de fluidos” cumpliendo con las normativas de la fórmula SAE y brindando mejoras en cuanto a la aerodinámica.

El estudio realizado al vehículo tiene como valor agregado la implementación de un sistema de reducción de arrastre (*Drag Reduction System* ó *DRS*) mediante el cual un actuador varía la posición del alerón, para generar un efecto aerodinámico cambiante según el piloto necesite en los distintos tramos de la carrera. Este análisis se encuentra en escala 1:16, construido en filamento plástico, para facilitar su impresión y posterior análisis en el túnel de viento, permitiendo tener una idea más clara de su funcionamiento en cuanto al flujo de aire que recibe. Dicho estudio es muy importante, puesto que marca un gran avance dentro del desarrollo del prototipo y aporta características de rendimiento y eficacia aerodinámica del vehículo dentro de la carrera.

Después de haber mencionado cada uno de los diferentes aportes realizados, se determina que es vital continuar con la investigación de (Medina, y otros, 2018), para generar un paquete aerodinámico completo, capaz de ser utilizado dentro del prototipo, con la finalidad de mejorar su rendimiento y ayudar a que el piloto pueda maniobrar el prototipo en curvas, con mayor facilidad, para ganar velocidad punta en rectas, mejorando así los tiempos del vehículo en una competencia real.

1.2. Planteamiento del problema

La aerodinámica vehicular es el conjunto de acciones y efectos que ejerce el aire sobre el vehículo en movimiento, así como la forma de lograr que estos sean lo más favorable posible. En un vehículo, la fuerza aerodinámica es generada cuando una corriente de aire fluye sobre y por debajo de este. Por lo tanto, los estudios aerodinámicos son de vital importancia para la fabricación de vehículos de competencia y para el diseño y desarrollo de diferentes elementos o componentes, aportando beneficios en el flujo del aire sobre y alrededor del monoplaza (Fraija B., 2006 pág. 67).

Sin duda, un vehículo de carreras que carezca de esta tecnología sería muy deficiente en todos los sentidos, puesto que, además de reducir el rendimiento del motor, el piloto tendría que luchar constantemente con múltiples problemas, como subvirajes y sobrevirajes al momento de tomar las curvas o, a su vez, reducir drásticamente la velocidad, lo que ocasionaría pérdidas de tiempos de vuelta en la competencia (Fraija B., 2006 pág. 68).

Además, al poseer un tipo de alerón que sea totalmente fijo, de igual forma, genera muchos inconvenientes al vehículo, porque al no variar su posición, estaría creando cargas extras en momentos donde no se necesitan, disminuyendo la velocidad y aumentando la resistencia o agarre que tendrían los neumáticos con el asfalto, y en rectas esta configuración exige demasiado al motor,

quitándole rendimiento y restando completamente la funcionalidad que debería tener, complicando la maniobrabilidad al piloto en el desarrollo de la carrera (Fraija B., 2006 pág. 68).

1.3. Justificación

Si bien, la aplicación de la aerodinámica en los vehículos para uso personal o particular no es tan relevante, para vehículos de competencia del tipo monoplace como de Fórmula 1, Fórmula 2, Fórmula 3 o, en este caso, de Fórmula SAE es indispensable. Esta aplicación permite una mejoría en el rendimiento y el desarrollo del vehículo. Por lo que, a lo largo de la historia, desde la creación de este tipo de eventos, se han desarrollado diferentes formas de mejorar la resistencia y carga aerodinámica permitiendo estabilizar el vehículo de manera más segura cuando se encuentran a altas velocidades, añadiendo mayor adherencia o agarre de los neumáticos con el objetivo de brindar seguridad al piloto, lo que permitirá superar, tanto las curvas, como las rectas en la pista a una mayor velocidad, ayudando a que los tiempos del piloto se reduzcan considerablemente, siendo este un punto crucial y determinante entre ganar o perder la competencia.

Existen varios dispositivos o elementos que ayudan a mejorar la aerodinámica en un vehículo monoplace, de los cuales se indican: el *splitter*, aletas, difusor, alerón, *spoiler*, entre otros (Calaza, 2015). Cada uno de estos elementos son de vital importancia para la generación de carga aerodinámica en el vehículo, gracias a que canalizan el aire y lo redistribuyen para crear mayor fuerza aerodinámica hacia el piso, lo cual produce mejor agarre y permite limpiar las corrientes de aire o turbulencias generadas. Además, otros aspectos a considerar, en el uso de estos elementos son el diseño y la practicidad, pues, en función de la forma que posee puede tener una mayor o menor resistencia aerodinámica, lo que permite atravesar el flujo de aire de manera óptima.

Tomando en cuenta cada uno de estos aspectos y después de haber considerado todos los beneficios que brinda la aerodinámica en un vehículo monoplace, se tiene a bien realizar como trabajo de integración curricular lo referente al diseño y construcción de un alerón posterior en fibra de carbono para mejorar el rendimiento aerodinámico sin afectar el peso del vehículo, cumpliendo con la normativa estipulada en el reglamento de la Fórmula SAE. Adicional al alerón se implementará un dispositivo *DRS (Drag Reduction System)* que es un Sistema de Reducción de la Resistencia al Avance (Oriol, 2018), el cual permitirá variar la carga aerodinámica del vehículo modificando la posición o ángulo de una de las partes que conforman el alerón posterior mientras está en funcionamiento obteniendo una mayor estabilidad en curvas como una mejor aceleración en rectas.

En la actualidad, la carrera de Ingeniería Automotriz dispone de un prototipo de Fórmula *SAE* que obedece a la normativa de la competencia en diseño y construcción la cual está en completo funcionamiento. Sin embargo, el vehículo monoplace cuenta con un diseño de alerón posterior fijo, el cual cumple con los aspectos técnicos mínimos para generar una ayuda aerodinámica, por lo que no brinda beneficios al momento de usarlo en una competencia real.

Por otro lado el trabajo de titulación realizado por (Medina, y otros, 2018) presenta un estudio aerodinámico previo en el que existe un diseño de alerón posterior con un sistema *DRS* escalado a 1:16. Al analizar a profundidad se afirma que este estudio aerodinámico solamente presenta practicidad en el desarrollo a escala del prototipo, por lo que partiendo de esta tesis se determina de vital importancia generar el diseño y construcción de este alerón posterior a escala real para lograr mejoras en el rendimiento del Fórmula *SAE* y aumentar las cargas aerodinámicas que se producen y la resistencia al avance que se generan al instalar un elemento de esta magnitud realizando la activación de forma automática mediante la lectura de datos de posición del pedal de aceleración y una señal para la desactivación del sistema al aplicar o pisar el pedal de freno con lo cual ayuda al piloto a generar mayor fuerza de agarre con el asfalto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar y construir un alerón posterior móvil (*DRS*) aplicado al vehículo Fórmula *SAE* perteneciente a la Carrera de Ingeniería Automotriz mediante el uso de sistemas de control electrónico, una placa Arduino y un actuador eléctrico para la variación de su posición, permitiendo la mejora de cargas aerodinámicas y la velocidad del monoplace, tanto en curvas como en rectas.

1.4.2. Objetivo Específico

- Realizar la revisión bibliográfica de contenidos mediante la recolección de datos sobre aerodinámica para el fundamento teórico de la propuesta de investigación.
- Definir los parámetros de diseño del alerón posterior con sistema *DRS*, utilizando *software CAD* para la identificación del paquete aerodinámico más adecuado.

- Generar el diseño del esquema de conexiones del sistema eléctrico, a partir de las señales obtenidas del botón físico ubicado en el volante y el pedal de freno, para procesarlos mediante una placa Arduino.
- Construir el alerón posterior utilizando fibra de carbono para el incremento de resistencia y disminución del peso en el Fórmula *SAE*.
- Realizar las pruebas pertinentes instalando el sistema de alerón móvil con DRS en el vehículo tipo *FSAE* para la verificación en pista de las mejoras a nivel aerodinámico.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

A lo largo de los años el estudio aerodinámico se ha convertido en un pilar fundamental en el desarrollo de vehículos de competencia, por tal motivo es importante generar un estudio de las diferentes fuentes bibliográficas con las que se logrará obtener un enfoque mucho más completo acerca de los estudios realizados por los investigadores puesto que estos aportarán con ideas mucho más claras en cuanto a las metodologías aplicadas y resultados obtenidos.

A continuación, se presenta la documentación bibliográfica previamente revisada y escogida, con lo que se busca generar una mejor orientación y definir las metodologías necesarias. Por lo cual se dividirá los estudios en dos partes, siendo estas internacionales y nacionales.

A nivel internacional, uno de los artículos más destacados es el trabajo realizado por (Aznar Garcia, 2016), el cual fue desarrollado por un grupo de ingenieros de la universidad de San Diego siendo patrocinados por el equipo *Aztec Racing* que cuenta con un vehículo de la categoría de Fórmula SAE y que participaron en las carreras que se realizaron por parte de esta organización. Los ingenieros desarrollaron el proceso de construcción de un sistema *DRS* para mejorar el rendimiento del prototipo anteriormente mencionado.

En este estudio los principales dirigentes del equipo de *Aztec Racing* se propusieron implementar un diseño de sistema de reducción de arrastre (*DRS*) aplicado en el alerón posterior del vehículo con la finalidad de mejorar el rendimiento dentro de la competencia, haciéndolo más estable en curvas y mucho más veloz al momento de enfrentar tramos de la pista que sean rectos. Para ello realizaron diferentes estudios aerodinámicos mediante la selección de perfiles aeronáuticos que al momento de invertirlos en su geometría generaron una fuerza hacia abajo provocando que el vehículo se pegue más al piso en ciertas condiciones y ángulos de inclinación del perfil.

Como aspecto más importante dentro del artículo y punto fundamental para detallar es que para el movimiento del alerón los autores tomaron en cuenta un actuador eléctrico Klictronic, el cual les

permitió realizar movimientos instantáneos siendo esto necesario para el correcto funcionamiento del alerón evitando variaciones o errores de uso en la competencia.

Otro artículo internacional para considerar es el de (Poch Santana, 2018) donde se proyectó no solo a conocer el principio físico por el cual funcionan los alerones, sino también llevar a cabo un estudio exhaustivo dentro de un ambiente práctico, donde las magnitudes y resultados obtenidos pueden ser comparables y escalables en la vida real. En este trabajo, el desarrollo se realizó en un ambiente aeronáutico, ya que el objetivo fue el análisis de un alerón trasero de Fórmula 1, principalmente el *DRS*. Para ello partieron desde un modelo físico, al que se le ha simplificado la geometría para su mejor estudio y digitalización. Una vez realizado el modelado, se llevó a cabo el proceso de mallado, para realizar su análisis mediante software *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*).

Gracias a la simulación, se pudieron obtener datos de presión, fuerzas y velocidades del flujo de aire, entre otros. Con esto y con las ecuaciones aerodinámicas oportunas se pudo obtener un análisis completo y permitió conocer el comportamiento del alerón en múltiples situaciones. En este caso, se ha reducido notablemente la carga aerodinámica y se ha obtenido una considerable ganancia de velocidad del monoplaza con la mejora propuesta frente al *DRS* convencional, gracias a la reducción alar en contacto con el flujo de aire.

En dicho artículo el punto más importante que se puede destacar es la implementación de un sistema *DRS* el cual aporta grandes ventajas en relación con un alerón convencional, aspectos que hacen que este sistema pueda ser considerado como base para el desarrollo del presente proyecto de titulación.

Adicional a los artículos analizados anteriormente también se consideró como un aporte indispensable para el proyecto actual de investigación el artículo realizado por (Fuentes Murillo, 2016) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB), siendo este un trabajo final de grado que se enfocó en el análisis del funcionamiento de un sistema de reducción de arrastre (*DRS*) aplicado a un vehículo de competencia el cual va ser utilizado en diferentes pistas. Para la obtención de datos se realizó la comparación del funcionamiento del sistema *DRS* en dos de las pistas de competencias más importantes dentro de la categoría de Fórmula 1 (Monza y Mónaco), permitiendo así conocer el rendimiento y la capacidad que el monoplaza obtiene al utilizar este sistema dentro de la competencia, además de tener una idea clara de las afectaciones que podría sufrir un vehículo al implementar un sistema *DRS* en distintos circuitos de competencia.

Con los resultados obtenidos se pudo constatar que las características que ofrecía el alerón con sistema *DRS* son distintas tanto para un circuito como para el otro. También se observó que si se realizan modificaciones en el sistema con la finalidad de mejorar las características para una cierta pista generan alteraciones para la otra pista las cuales no son favorables para el vehículo por lo que se concluye que el tipo de alerón debería ser diseñado específicamente para que cumpla las condiciones aerodinámicas en un solo circuito y condiciones específicas, ya que el propósito de este es mejorar el rendimiento del vehículo no empeorarlo.

Otro de los artículos con un alto impacto considerado para el presente trabajo de titulación es el de (Murillo Molina , 2019) en este trabajo se estudiaron las diferentes cargas y acciones que se pueden originar al utilizar de forma inadecuada el sistema de reducción de arrastre o en su defecto si el sistema falla cuando el dispositivo esté activo, ya que se han evidenciado múltiples accidentes tanto en la división profesional de Fórmula 1 como en las demás categorías pertenecientes a la Fórmula a causa de estos dispositivos.

El análisis se lo llevo a cabo en el programa *ANSYS FLUENT* el cual permite conocer las fuerzas, presiones, contornos de presión, contornos de velocidad entre otros aspectos que se generan tanto en el vehículo como en el alerón con sistema *DRS*. Dicho análisis se realizó con los diferentes ángulos a los cuales se abre el sistema y de esta forma conocer las cargas que se producen tanto en arrastre como sustentación al momento en que el sistema varíe de posición, llegando a la conclusión de que si el alerón se encuentra totalmente abierto existe un mínimo agarre o adherencia de los neumáticos al piso a causa de las bajas cargas de sustentación que se producen, provocando inestabilidad y dificultad al instante de querer maniobrar el vehículo, siendo muy peligroso para los pilotos el utilizar esa configuración del sistema *DRS* en funcionamiento constante por lo que es necesario considerar que en estos dispositivos exista un botón de emergencia o sistema de respaldo para que se desactive y evitar problemas o accidentes en la pista.

Con respecto a los artículos nacionales se destaca el trabajo realizado por (Avalos, y otros, 2016) que a diferencia de los trabajos o artículos internacionales aquí el punto a destacar es la utilización de material compuesto de fibra de cabuya tejida en forma natural. Además, para el diseño y la simulación del *spoiler* y alerón se usaron los programas *SolidWorks* y *Ansys 16.0*, donde tomaron como base tres tipos diferentes de perfiles; *NACA 6412*, *NACA 4412* y *NACA 5212* siendo sometidos a distintas pruebas de simulación de elementos finitos para determinar cuál brinda mayores beneficios respecto a los otros.

También se realizó un mecanismo de variación del ángulo del alerón posterior el cual modifica su posición según la necesidad del piloto con la desventaja de que es un sistema manual por lo que permanecerá siempre en una sola posición durante toda la competencia.

Entre toda la información recabada referente a este artículo se considera como aspecto importante y de utilidad para la elaboración del presente proyecto de titulación el haber determinado al perfil *NACA 5212* como el perfil que presenta mayores beneficios en torno a las cargas aerodinámicas que un vehículo fórmula *SAE* puede soportar sin que este sea afectado, sin embargo el material utilizado en el proceso de construcción del alerón presenta algunas desventajas respecto al material de fibra de carbono por lo que este elemento no se lo va considerar al igual que el mecanismo de variación del ángulo, que al ser manual presenta complicaciones de uso en relación a un sistema *DRS*.

También es necesario hablar del artículo propuesto por (Medina, y otros, 2018) que es la propuesta de mejora del alerón posterior en fibra de cabuya natural presentado anteriormente puesto que ambos proyectos pertenecen a la Escuela de Ingeniería Automotriz y al mismo grupo de investigación (*SAPIA*) creador del prototipo fórmula *SAE*. Donde su principal aporte es la implementación de un sistema *DRS* que varía la posición del alerón a través de la dinámica de fluidos el cual consta de dos elementos, un plano principal y el *flap*.

A diferencia de lo ya sugerido respecto a los perfiles que se pueden utilizar en el diseño de un alerón, donde se observó que los perfiles *NACA* generaban grandes aportes al vehículo, aquí se utiliza los perfiles *GOE* ya que al tener un sistema *DRS* la funcionalidad cambia por lo que después de realizar todas las pruebas necesarias tales como el análisis de volúmenes finitos con el que se estableció el coeficiente de resistencia, la relación y diferencia de presiones que influye la geometría de un ala y el impacto de la velocidad en el rendimiento del perfil, realizados en los softwares (*SolidWorks* y *ANSYS*). Se llegó a la conclusión que los perfiles que se van a usar son los *GOE 479* con un borde de ataque de 8.08mm en el plano principal y *GOE 464* con el borde de ataque de 20mm en el *flap*, ya que al usar estos perfiles en el prototipo *SAE* generan un mejor rendimiento aerodinámico.

Adicional a lo ya mencionado, también se habla de la implementación del sistema *DRS* el cual cuenta con un mecanismo *Pod Pull* conformado por un Micro Servo *SG90 Tower Pro-Tm*. Este sistema está controlado por un Arduino nano v3.0 el cual recibe las señales de apertura o de cierre según sea necesario.

Dicho proyecto es de gran importancia para el estudio actual que se desea desarrollar por lo que se ha visto conveniente tomar en cuenta las consideraciones existentes en esta bibliografía para generar el diseño y construcción propuesto para este mismo vehículo tipo *FSAE*.

Para concluir con la bibliografía referente a los temas de interés se analizó el proyecto de tesis propuesto por (Andrade Vargas, y otros, 2017) donde se evidencia la generación de información y desarrollo de los diferentes alerones, tanto frontal como posterior que está basado en el uso de distinto software tanto de diseño como de cálculo el cual permitió a los tesisistas definir las coordenadas en la creación de cada uno de estos alerones, así como las fuerzas que se generan de acuerdo el perfil aerodinámico analizado. Para ello se utilizó herramientas computacionales tales como: *JavaFoil*, *SolidWorks* y *Excel*.

La finalidad de este artículo es concretar la idea de implementar un diseño de alerón aerodinámico tanto delantero como posterior para mejorar el rendimiento del vehículo en las competencias y pruebas dispuestas por la organización de la Fórmula *SAE*. El aspecto para destacar respecto a este proyecto de tesis es el uso de la herramienta de *JavaFoil* el cual va a ser de gran ayuda al momento de crear las coordenadas y establecer las fuerzas que van a generarse durante el diseño de los diferentes perfiles.

2.2. Bases teóricas

Dado que la parte fundamental del proyecto se enfocará en el diseño del alerón posterior con sistema de arrastre, será necesario plantear algunos parámetros que sirvan como ejes conceptuales sobre los cuales apoyar el desarrollo de este trabajo de titulación. Por lo que es preciso organizar de la mejor manera cada uno de los temas implicados, tomando como primer punto de revisión la fórmula *SAE* el cual nos muestra la siguiente información:

2.2.1. Fórmula *SAE*

La fórmula *SAE* o también llamada Fórmula *Student* es una competencia orientada a los estudiantes universitarios de pregrado y posgrado, tiene como principal finalidad la de inculcar a los estudiantes el espíritu de competitividad incentivándolos a crear de acuerdo con su criterio ingenieril un diseño de vehículo del tipo fórmula con el que se podrá competir y así cada estudiante demostrar la creatividad que posee y la funcionalidad de sus diseños (*SAE*, 2020 pág. 10).

Las carreras de fórmula *SAE* se componen de distintas pruebas tales como: Sudamérica, Asia y Europa. En estas pruebas existen dos tipos de categorías las cuales son: Pruebas Dinámicas y Pruebas Estáticas (SAE, 2020 pág. 10).

Las pruebas estáticas existentes en la categoría de Fórmula *Student* se valoran datos tales como lo son las pruebas mecánicas en donde un grupo de ingenieros revisan el prototipo en todos los sentidos con la finalidad de hacer de jueces y emitir preguntas acerca del diseño de las partes y así formar un pequeño debate en donde los estudiantes deben justificar el diseño de cada pieza del vehículo (SAE, 2020 págs. 11-14).



Figura 1-2: Vehículos FSAE del Instituto Tecnológico de Karlsruhe y Melbourne Monash

Fuente: (Andrade Vargas, y otros, 2017 pág. 18)

Cabe recalcar que este tipo de prueba estática consta de tres elementos principales de calificación las cuales se dividen en: Diseño, Análisis de Costes y Presentación Comercial.

- *Diseño:* En este apartado los jueces evalúan el diseño de cada una de las partes del prototipo, adicional a esto se debe presentar un documento tipo informe en el cual se debe explicar de manera breve sobre diseño de cada una de las piezas (SAE, 2020 pág. 14).
- *Análisis de costes:* En este apartado se genera un informe detallado acerca de los costes de fabricación de cada una de las piezas, este informe debe detallar los tiempos de fabricación, material utilizado, operaciones de mecanizado, etc. Esto intenta asemejarse a un informe de costes que se entregaría a una empresa automotriz que pueda producir el vehículo (SAE, 2020 pág. 14).
- *Presentación comercial:* La realización de esta presentación tiene el motivo de exponer el prototipo de una manera tal que trate de convencer a los ejecutivos de una empresa manufacturera

que el diseño del prototipo es el mejor en relación con el mercado al cual se podría dirigir este vehículo (SAE, 2020 pág. 14).

Las pruebas dinámicas evalúan el comportamiento del vehículo tipo FSAE. Para poder clasificar a las pruebas dinámicas existen cuatro inspecciones previas a los prototipos, primero se realiza una revisión técnica en donde los comisarios verifican que el prototipo cumpla con las normativas descritas por la Fórmula SAE, la segunda es la prueba de vuelco, la siguiente revisión trata acerca del ruido y como última revisión tenemos la evaluación de frenos en el cual el prototipo tiene que obstaculizar el giro de las cuatro ruedas al mismo tiempo. En el caso de que un equipo no pase estas revisiones técnicas se da oportunidad a los participantes de que hagan todos los cambios pertinentes (SAE, 2020 págs. 106-120).

Las pruebas dinámicas se dividen en cuatro que se listan a continuación:

- *Resistencia y consumo:* Esta prueba consta de 22km se realiza de manera continua y se evalúa el rendimiento del prototipo en resistencia, fiabilidad y consumo. No está permitido realizar recargas de energía y ajustes (SAE, 2020 pág. 116).
- *Auto Cross:* Esta prueba contiene una pista de 800m, en la que el vehículo debe superar rectas, curvas rápidas y lentas. La finalidad de esta prueba es medir el comportamiento aerodinámico del prototipo (SAE, 2020 pág. 120).
- *Aceleración:* Esta prueba consta de una pista de 75m en donde se mide la aceleración máxima del vehículo, pone a prueba las relaciones de transmisión y el rendimiento del motor (SAE, 2020 pág. 122).
- *Skidpad (Prueba del 8):* Esta prueba consta de dos vueltas en pista mojada describiendo un 8, con la finalidad de medir la capacidad del prototipo de hacer giros de radio constante, así como también la capacidad de adherencia lateral y estabilidad del prototipo (SAE, 2020 pág. 120).

2.2.2. Teoría de la aerodinámica

Como definición respecto a la aerodinámica se establece que es la ciencia del manejo de las corrientes de aires producidas, siendo estas aplicadas a los vehículos de carreras para aumentar el agarre o

adherencia al suelo, con el propósito de alcanzar mayores velocidades en rectas y mejorar la seguridad del piloto en curvas (Fraija B., 2006 pág. 66).

Para lograr una buena aerodinámica en los vehículos de competencia se utilizan diferentes elementos de los cuales destacaremos los alerones delanteros como traseros, ya que dichos elementos aumentan el apoyo aerodinámico y la velocidad. La parte fundamental de los alerones es el diseño y la forma de los perfiles, dado que estos son similares a los de un avión, pero intercambiando la posición. Las caras superiores e inferiores se invierten para producir una fuerza contraria en lugar de una sustentación hacia arriba, por lo tanto, el aumento en la velocidad del flujo ocasiona que la presión en la superficie inferior del perfil disminuya, y que, por consiguiente, la fuerza hacia abajo aumente (Fraija B., 2006 pág. 67).

2.2.3. Fundamentos de la aerodinámica

2.2.3.1. Líneas de corriente y trayectoria.

Se denomina líneas de corriente y trayectoria aquellas líneas imaginarias que indican la trayectoria o recorrido realizado por las partículas de un fluido, siendo estas tangente a su respectivo vector de velocidad como se muestra en la figura 2-2 (McBeath, 1997 pág. 45).

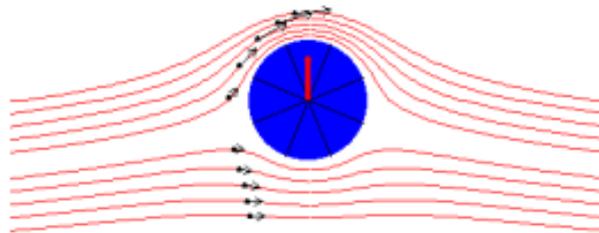


Figura 2-2: Líneas de corriente de un fluido

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 45)

Además, hay que tomar en cuenta el régimen en el que se encuentra el fluido cuando llevemos a cabo las simulaciones. Pudiendo estar en régimen estacionario cuando las condiciones externas a las que está sometido (velocidad, presión, densidad) no cambian a lo largo del transcurso del tiempo puesto que si lo hicieran el régimen sería transitorio (McBeath, 1997 pág. 46).

2.2.3.2. Capa límite

Se conoce como capa límite a la zona de un cuerpo donde los efectos viscosos no son despreciables. Por esta razón el aire al ser un fluido viscoso sus partículas tienden adherirse a la superficie del cuerpo que en este caso sería el perfil cuando dicho fluido se desliza a lo largo del alerón. Sin embargo, en torno a un cuerpo aerodinámico el flujo que se forma es tal que las líneas de corrientes se cierran detrás del cuerpo sin producir turbulencias (Mott, 2006 pág. 258).

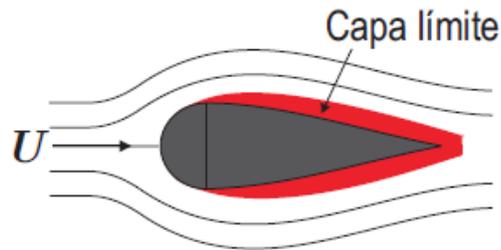


Figura 3-2: Capa límite

Fuente: (Mott, 2006 pág. 258)

2.2.3.3. Flujo laminar

El flujo laminar se produce cuando el fluido que lo atraviesa lo hace de forma ordenada y suave, deslizándose en capas paralelas sin mezclarse presentando menor fricción entre el fluido y la superficie del cuerpo en contacto. Dado que el flujo de aire recorre el cuerpo sin sufrir ningún efecto se dice que son flujos aerodinámicos (Mott, 2006 pág. 257).



Figura 4-2: Flujo laminar

Fuente: (Mott, 2006 pág. 257)

2.2.3.4. Flujo turbulento

A diferencia del flujo laminar en un flujo turbulento el fluido que lo atraviesa lo hace de forma caótica, impredecible e irregular lo que ocasiona que se produzcan pequeños remolinos alrededor del cuerpo que lo atraviesan ya que las partículas se mueven de manera desordenada. Es muy común que este tipo de fluido surja a velocidades altas o cuando asoman obstáculos en el recorrido o camino del fluido (Mott, 2006 pág. 258).

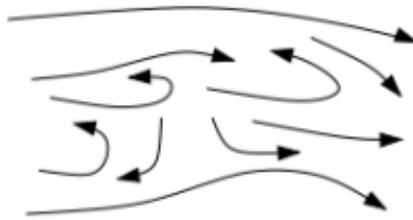


Figura 5-2: Flujo turbulento

Fuente: (Mott, 2006 pág. 258)

2.2.3.5. Número de Reynolds

Se define como la relación de inercia que actúa sobre un elemento de fluido en relación con la fuerza viscosa. Además, gracias al número de *Reynolds* se puede establecer si el flujo es laminar o tubular. Para poder calcular la fuerza de inercia es necesario aplicar la segunda ley de *Newton*, en cambio para calcular la fuerza viscosa se debe relacionar el producto del esfuerzo cortante por el área (Mott, 2006 pág. 230).

Los flujos tienen números de *Reynolds* grandes, superiores a 4000 aproximadamente debido a las velocidades altas y su viscosidad baja lo que significa que tienden a ser turbulentos. En cambio, cuando los flujos tienen números de *Reynolds* pequeños, menores a 2000 tienden a ser laminar puesto que su velocidad es baja y su viscosidad es alta como se muestra en la tabla 1-2 (García, 2016).

Tabla 1-2: Número adimensional del flujo

Flujo laminar	< 2000
Probable flujo turbulento	2000 - 3000
Flujo turbulento	> 4000

Fuente: (García, 2016)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Para realizar el cálculo es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho v L}{u} \quad (1)$$

En donde:

Re = Número de Reynolds

ρ = Densidad del fluido-aire (Kg/m^3)

v = Velocidad del vehículo-flujo (m/s)

L = Longitud de la superficie en contacto (m)

u = Viscosidad dinámica del fluido ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

2.2.3.6. Principio y ecuación de Bernoulli

El Principio de Bernoulli manifiesta que, a consecuencia del aumento de la velocidad de un fluido, la presión disminuye al igual que la energía potencial de dicho fluido (SANTOSHAM, 2017).

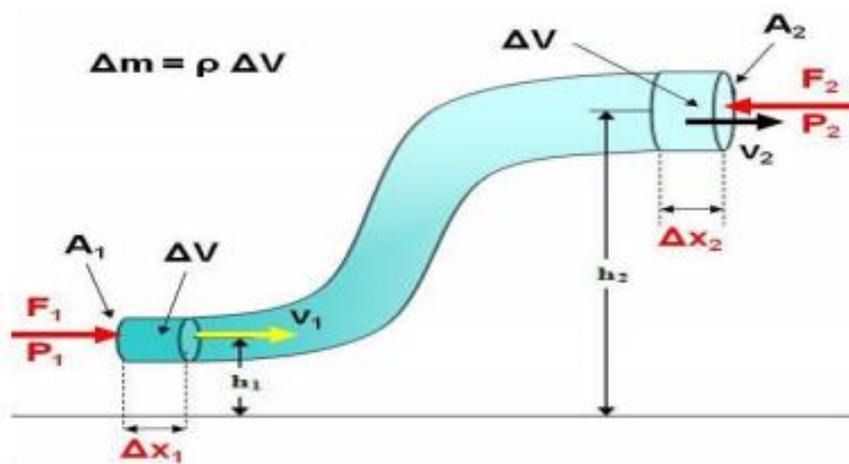


Figura 6-2: Principio de Bernoulli

Fuente: (SANTOSHAM, 2017)

Además, se establece que la ecuación de *Bernoulli* es un tema relacionado con el principio de la conservación de la energía para fluidos incompresibles por lo que se muestran en una misma línea de corriente. En la ecuación de Bernoulli es necesario tomar en cuenta los cambios existentes entre la

carga de presión, velocidad y elevación o altura entre dos puntos de un flujo de fluido, otro aspecto adicional a considerar es las pérdidas producto de la fricción y el trabajo mecánico de algunos componentes (Shames, 1995 pág. 253).

Por lo tanto, se aplica la siguiente fórmula:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{f_{1-2}} + h_m \quad (2)$$

Si consideramos que no existen pérdidas producto de la fricción o de algún elemento mecánico se tiene:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

Donde se lo podría expresar de la siguiente forma:

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{v_i^2}{2g} = \text{constante} \quad (4)$$

O en su defecto:

$$P_i + \frac{1}{2}\rho v_i^2 = \text{constante} \quad (5)$$

En donde:

P = Densidad estática

ρ = Densidad del fluido

v = Velocidad del fluido

$\frac{1}{2}\rho v_i^2$ = Presión dinámica

El funcionamiento de los elementos aerodinámicos se basa en la fórmula presentada anteriormente donde la energía al ser constante la presión es menor por consecuencia existe un aumento en la velocidad (Shames, 1995 pág. 255).

2.2.4. Fuerzas, cargas, resistencia y eficiencia aerodinámica

2.2.4.1. Fuerza

Es la aplicación ejercida sobre un cuerpo que en este caso sería el alerón en relación con el aire al cual está sometido, siendo esta la encargada de que el vehículo permanezca pegado al piso. Si nos centramos en el prototipo de formula SAE, los aspectos fundamentales que debemos tratar es la fuerza de resistencia al avance (*Drag*) y la fuerza de carga o sustentación (*Downforce*), tomando en cuenta que estas dos fuerzas se descomponen de la fuerza aerodinámica (Carmona, 2015 pág. 85).

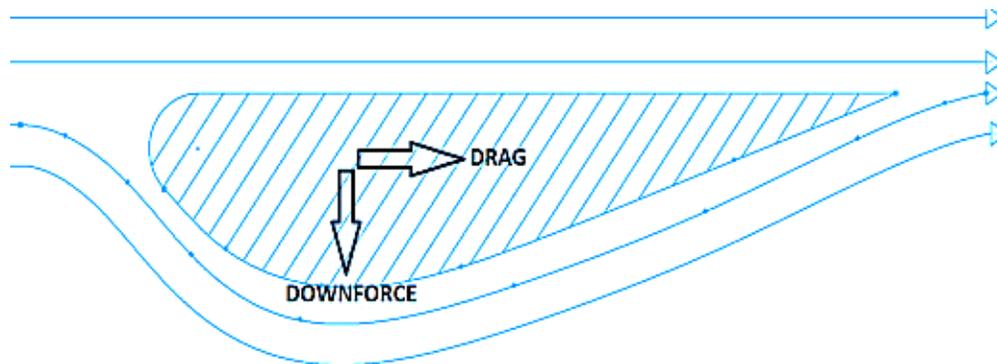


Figura 7-2: Carga y resistencia aerodinámica

Fuente: (Carmona, 2015 pág. 86)

Por lo tanto, se puede expresar de la siguiente forma:

$$\vec{F} = \vec{F}_L + \vec{F}_X \quad (6)$$

En donde:

\vec{F} = Fuerza aerodinámica (N)

\vec{F}_L = Fuerza de carga o sustentación (N)

\vec{F}_X = Fuerza a la resistencia al avance (N)

2.2.4.2. Carga aerodinámica

Como ya vimos anteriormente existe fuerzas que se aplican en un alerón y entre ellas tenemos la fuerza de carga o sustentación la cual es muy útil en vehículos de competencia, ya que usa el aire para adherirlo al vehículo con mayor fuerza hacia el suelo. También hay que tomar en cuenta que la carga aerodinámica al no poseer un valor relativo sino un valor absoluto, se establece un coeficiente particular para cada uno de los perfiles (Carmona, 2015 pág. 89).

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{\rho v^2 s}{2}} \quad (7)$$

En donde:

C_L = Coeficiente de sustentación

F_L = Carga aerodinámica (N)

ρ = Densidad del fluido-aire (Kg/m³)

S = Superficie alar (m²)

V = Velocidad (m/s)

Una vez conocido el valor del coeficiente de carga o sustentación es posible encontrar la fuerza aerodinámica ejercida sobre el vehículo.

Para ello es necesario despejar la carga aerodinámica (FL) de la fórmula (7):

$$F_L = \frac{1}{2} \rho S C_L V^2 \quad (8)$$

Como podemos observar en la fórmula, el único valor que varía es el de la velocidad ya que esta expresado de manera exponencial siendo elevada al cuadrado. Adicional a lo manifestado anteriormente se puede decir que la carga aerodinámica tiene una desventaja que es la necesidad de requerir más potencia, por lo que cuando exista mayor adherencia al piso, este producirá una mayor fuerza de rozamiento (Carmona, 2015 pág. 89).

Por lo que partiendo de la fórmula de potencia:

$$P_L = F_L V \quad (9)$$

Reemplazando FL se obtiene:

$$P_L = \left(\frac{1}{2} \rho S C_L V^2 \right) V = \frac{1}{2} \rho S C_L V^3 \quad (10)$$

De esta forma se logra conseguir en valor de potencia extra que requiere el vehículo para poder avanzar.

2.2.4.3. Resistencia aerodinámica

A raíz de la carga aerodinámica producida en el vehículo se genera otra fuerza la cual es conocida como resistencia aerodinámica la cual tiene la misma dirección, pero sentido opuesto a la velocidad del automóvil (Carmona, 2015 pág. 90).

Antes de calcular la resistencia aerodinámica es necesario conocer el valor de coeficiente a la resistencia (Cx), el cual representa la oposición de un cuerpo para desplazarse en dirección del movimiento (Carmona, 2015 pág. 91).

Tabla 2-2: Coeficiente de resistencia al avance

OBJETO	Cx
Vehículos deportivos	0.2 - 0.3
Esfera	0.47
Turismo	0.5
Vehículo familiar	0.6
Cilindro	0.6 - 1.2
Ciclista	0.9
Camión	0.8 – 1.0
Motociclista	0.8
Fórmula 1	0.7 – 1.0

Fuente: (Carmona, 2015 pág. 75)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Por lo tanto, se puede expresar a la fuerza de resistencia con la siguiente fórmula:

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_x S V^2 \quad (11)$$

En donde:

F_x = Resistencia aerodinámica (N)

ρ = Densidad del fluido-aire (Kg/m³)

S = Superficie alar (m²)

V = Velocidad (m/s)

C_x = Coeficiente de resistencia

2.2.4.4. Eficiencia aerodinámica

Es la relación existente entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia. Si se aplica en el alerón tendría como propósito aumentar la carga aerodinámica tratando de disminuir la resistencia al avance (Carmona, 2015 pág. 93).

Para encontrar la eficiencia aerodinámica se lo realiza con la ecuación que se presenta a continuación:

$$f = \frac{F_L}{F_x} = \frac{C_L}{C_x} \quad (12)$$

2.2.5. Alerones

2.2.5.1. Definición y partes

En si el alerón es una variante del término ala, que inicialmente fue diseñado para ser usado en aviones o aeroplanos el cual consiste en un cuerpo o elemento que al entrar en contacto con el aire genera sustentación para que la aeronave pueda elevarse. Sin embargo, en vehículos de competencia es todo lo contrario ya que se lo usa de forma invertida para que ejerza fuerza hacia el suelo produciendo cargar aerodinámicas sin crear mayores resistencias de arrastre (McBeath, 1997 pág. 81).

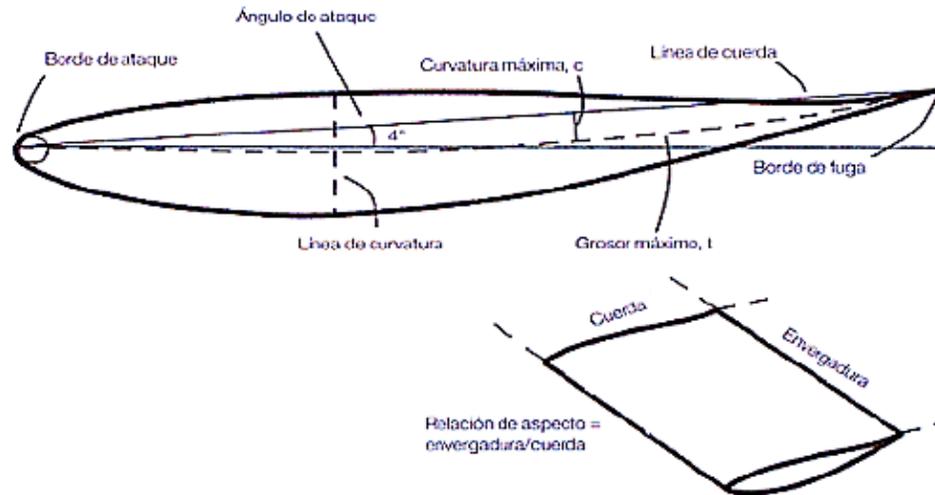


Figura 8-2: Esquema de la sección transversal de un alerón

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 81)

Como se puede observar en la Figura 8-2, un alerón está conformado por varias partes las que se detalla a continuación:

- **Borde de ataque (BA):** Se encuentra en la parte delantera del ala y tiene forma radial.
- **Ángulo de ataque:** Es el ángulo que se forma entre el flujo de aire y la línea de cuerda del ala.
- **Línea de curvatura:** Línea que pasa por los puntos medios del ala.
- **Curvatura máxima:** Se establece que la parte inferior se encuentra más curvada que la parte superior en el ala.
- **Grosor máximo (t):** Es la medida expresada como porcentaje de la dimensión de la cuerda.
- **Línea de cuerda (c):** Es la recta que une el borde de ataque y el borde de fuga.
- **Borde de fuga (BF):** Se encuentra en la parte trasera del ala, es la zona más estrecha.
- **Envergadura:** Es el ancho del alerón.
- **Relación de aspecto:** Es la relación existente entre la envergadura y la cuerda. En un vehículo de competencia esta relación debe ser baja (McBeath, 1997 pág. 77).

Otro aspecto que hay que destacar respecto a la aerodinámica es el centro de presión el cual es el punto teórico donde actúan las fuerzas. Este punto es importante en los vehículos de competencia ya que en base al centro de gravedad se puede determinar la dirección de la carga aerodinámica como la resistencia de avance, además se puede observar en la Figura 9-2, las diferentes zonas donde se

ejercen fuerzas, apreciándose que en la zona donde existe mayor fuerza se denomina extradós e intradós donde hay menor fuerza

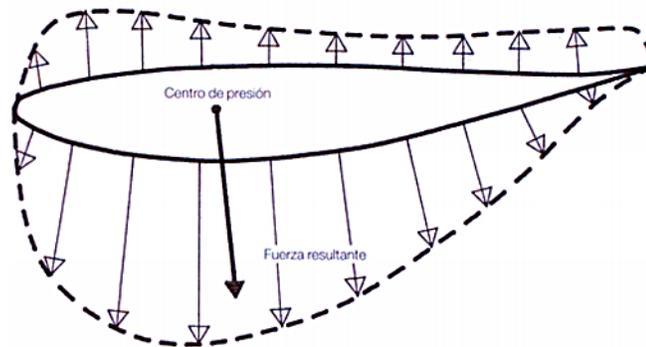


Figura 9-2: Distribución de presiones en un alerón

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 102)

También es de suma importancia conocer el ángulo de ataque al cual se encuentra el alerón, ya que si se localiza en una posición muy pronunciada podría sobrepasar el límite permitido, ocasionando que el aire se vuelva inestable y genere turbulencia como se observa en la Figura 10-2. Por consecuencia se pierde carga aerodinámica y la resistencia aumentaría (McBeath, 1997 págs. 102-105).

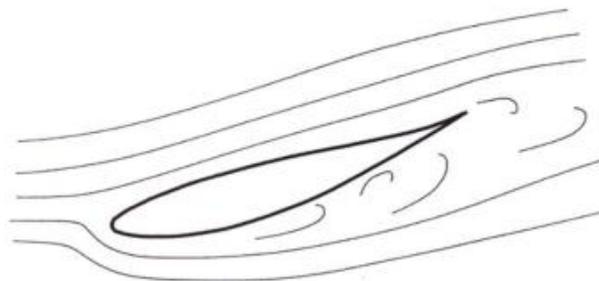


Figura 10-2: Perfil de un alerón con turbulencias

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 103)

Por último, es preciso conocer sobre las derivas laterales que, aunque parezca que solo sirven para esconder la forma del perfil no es del todo cierto ya que cumplen con una función la cual es incrementar la carga aerodinámica del alerón de manera considerable, aproximadamente hasta un 30% superior al valor que se genera sin ellas. Las derivas deben ser lo bastante grandes para poder ser efectivas y sirvan como estabilizadores del flujo de aire, ya que si no existieran la presión entre la zona alta y baja se mezclarían y produjera derramen por las alas con movimiento diagonal provocando turbulencias en el alerón (McBeath, 1997 págs. 102-105).

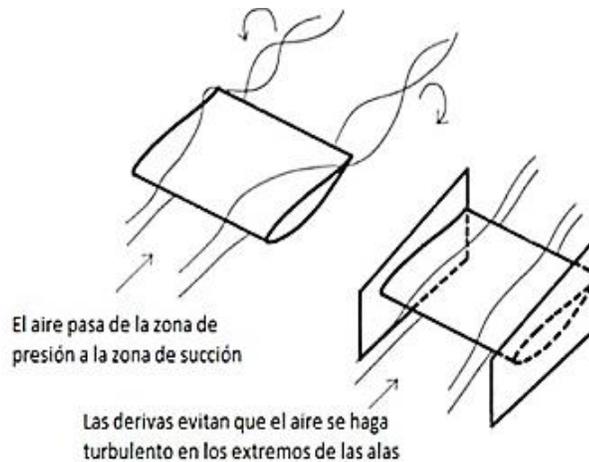


Figura 11-2: Efecto de las derivas en un flujo de aire

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 103)

2.2.5.2. Tipos de alerones

Para la creación y diseño de un alerón es necesario conocer la importancia de los diferentes tipos que existen, ya que dependiendo de la funcionalidad y reglamento al cual se rija, se lo puede desarrollar de manera que genere una buena carga aerodinámica y resistencia al avance. Estos alerones pueden estar contruidos por uno, dos o múltiples elementos, pero hay que tomar en cuenta que entre más elementos posee un alerón mayor va a ser su carga aerodinámica (McBeath, 1997 págs. 79-88).

- *Alerones de un solo elemento o plano:* Este tipo de alerón no genera cargas aerodinámicas si este no posee un ángulo de inclinación o en su defecto su ángulo de incidencia es cero. Pero si el ángulo de incidencia aumenta las cargas también crecen de manera lineal hasta un cierto punto ya que si el ángulo es superior al límite soportado se producen perdidas (McBeath, 1997 págs. 79-88).

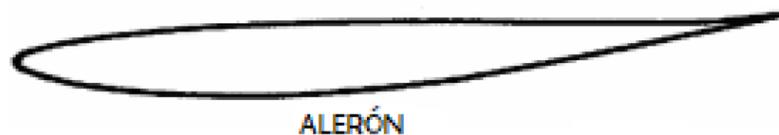


Figura 12-2: Alerón de un solo elemento

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 79)

- *Alerones de dos elementos o planos:* Tal como su nombre lo indica está conformado por dos elementos, donde se modifica el flujo de aire que se produce entre el alerón y el flap permitiendo

aumentar las cargas aerodinámicas y su eficiencia. Este tipo de alerón va a ser el que se usará en el prototipo Fórmula SAE puesto que presenta beneficios respecto al alerón de un solo elemento. Además, genera mayores cargas para que se pueda entrar a una curva a gran velocidad. Sin embargo, el punto negativo es que en rectas el vehículo se vuelve lento siendo afectado por la fuerza que se ejerce hacia el suelo (McBeath, 1997 pág. 83).

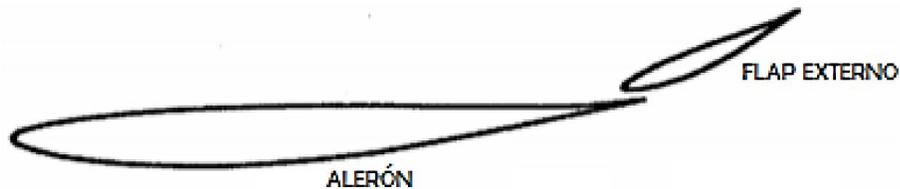


Figura 13-2: Alerón de dos elementos o planos

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 83)

- *Alerones de múltiples elementos o planos:* Este tipo de alerón es más comunes verlos en vehículos de Fórmula 1, ya que producen fuerzas de arrastre y cargas aerodinámicas enormes que solo estos vehículos podrían soportarlos y si se los usara en un Fórmula SAE sería desfavorable y en vez de ayudarlo afectaría al desarrollo del monoplaza. (McBeath, 1997 pág. 88).



Figura 14-2: Alerón de múltiples elementos o planos

Fuente: (McBeath, 1997 pág. 88)

2.2.6. *Perfiles aerodinámicos*

Básicamente los perfiles son las dimensiones que se le va a dar a un alerón, por lo que dependerá mucho de la forma del perfil que tenga para determinar que tanta carga aerodinámica ejerza en el vehículo. Como ya se vio anteriormente los alerones pueden contener uno o varios elementos, sin embargo, en el presente proyecto de titulación y en base al trabajo de (Medina, y otros, 2018) se estableció

que el tipo de alerón adecuado para el prototipo de Fórmula *SAE* es el alerón de dos elementos o planos el cual incluye un alerón y un *flap*.

Inicialmente los alerones fueron creados para el uso en aviones y posterior a ello lo aplicaron en vehículos de competición, por lo que se realizaron varios estudios y análisis aerodinámicos respecto a cuáles son las dimensiones que un alerón debe tener con relación a su perfil para que este cumpla con su propósito. Llegando a crear hasta la actualidad una gran gama de perfiles, entre los cuales se tiene los perfiles *NACA* y *GOE* con sus diferentes variantes.

Los perfiles *NACA* que por sus siglas en ingles “*National Advisory Committee for Aeronautic*” o en español siendo El Comité Asesor Nacional para la Aeronáutica, es la agencia que los creó para proveer una familia estandarizada de geometrías de perfiles para desarrollo y análisis de ingeniería (BARBANY, 1953 pág. 26).

Hoy en día los perfiles *NACA* ya no son usados en prototipos de competencia, por tal motivo se toma en cuenta los perfiles que están siendo utilizados en la actualidad, siendo estos los perfiles *GOE* (Medina, y otros, 2018 pág. 30).

En lo que respecta a perfiles *GOE* existe una gran cantidad de variantes por tal motivo solo se analizarán los que son más usados y aplicados en este tipo de competencia respecto a las necesidades del prototipo. A continuación, se examinarán los perfiles tanto para el plano principal como para el *flap* en función a su grosor y caída máxima:

2.2.6.1. Perfiles *GOE* 796



Figura 15-2: Perfil *GOE* 796

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

Como se puede observar en la Figura 15-2, se encuentra el perfil GOE 796 el cual se aplica en el plano principal, con un grosor máximo que va entre 12% a 30% de cuerda y una caída máxima de 3.6% a 40% acorde.

2.2.6.2. Perfiles GOE 479

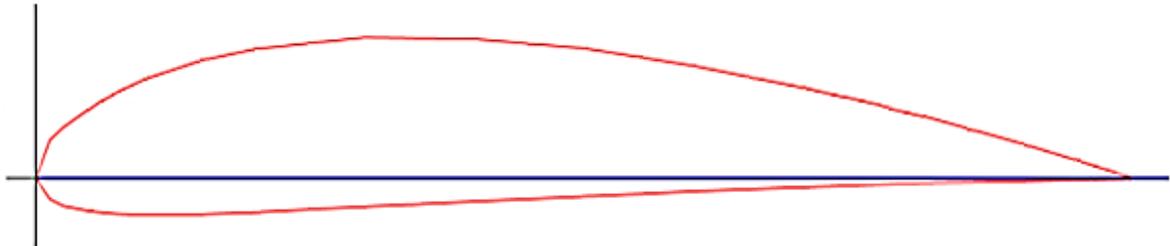


Figura 16-2: Perfil GOE 479

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

En la Figura 16-2, se observa el perfil GOE 479 que también es aplicado en el plano principal, que cuenta con un grosor máximo que va de 11.6% a 30% de cuerda y una caída máxima de 4% a 40% de cuerda.

2.2.6.3. Perfiles GOE 803

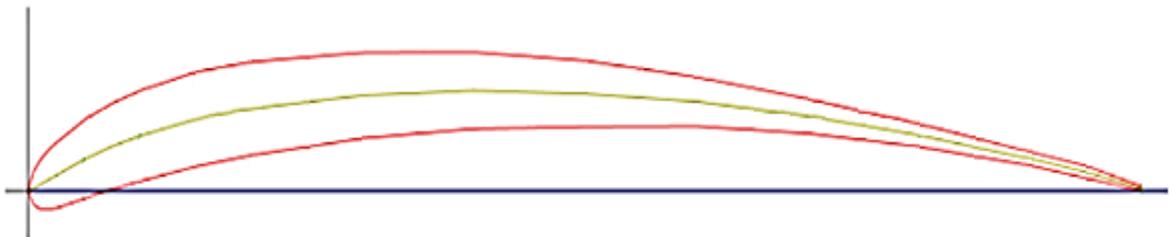


Figura 17-2: Perfil GOE 803

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

En este caso en la Figura 17-2, el perfil GOE 803 que es usado en el *flap*, que tiene un grosor máximo que va de 6.3% a 15% de cuerda y una caída máxima de 6.6% a 40% de cuerda.

2.2.6.4. Perfiles GOE 464

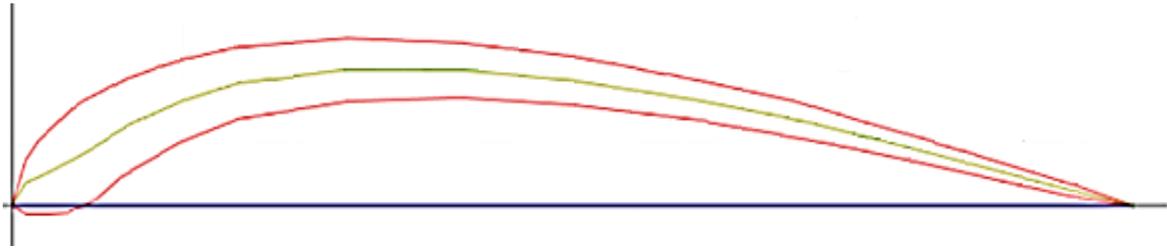


Figura 18-2: Perfil GOE 464

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

Por último, en la Figura 18-2. se aprecia el perfil GOE 464 que de igual forma que el anterior es usado en el flap, y tiene un grosor máximo que va de 7.7% a 7.4% de cuerda y una caída máxima de 9.9% a 29.9% acorde.

2.2.6.5. Software JavaFoil y página web Airfoil Tools

Para el diseño y creación de los diferentes perfiles es necesario el uso de diversas herramientas digitales, por lo que se ha visto necesario la implementación del software *JavaFoil* y la página web *Airfoil Tools*.

En su página oficial dice que *JavaFoil* es: “Un programa que permite realizar análisis de superficies aerodinámicas en funciones a diferentes métodos. El software toma un conjunto de coordenadas de la superficie aerodinámica y calcula la velocidad local del flujo no viscoso a lo largo de la superficie para cualquier ángulo de ataque deseado. También resuelve un conjunto de ecuaciones diferenciales para encontrar los distintos parámetros de la capa límite” (Hepperle, 2018).

Por otro parte la página web *Airfoil Tools* es: “Una herramienta en línea que permite almacenar la mayor parte de perfiles aerodinámicos utilizados en la industria, pudiendo así redimensionarlos de acuerdo con los requerimientos de diseño que se necesiten” (AirfoilTools, 2021).

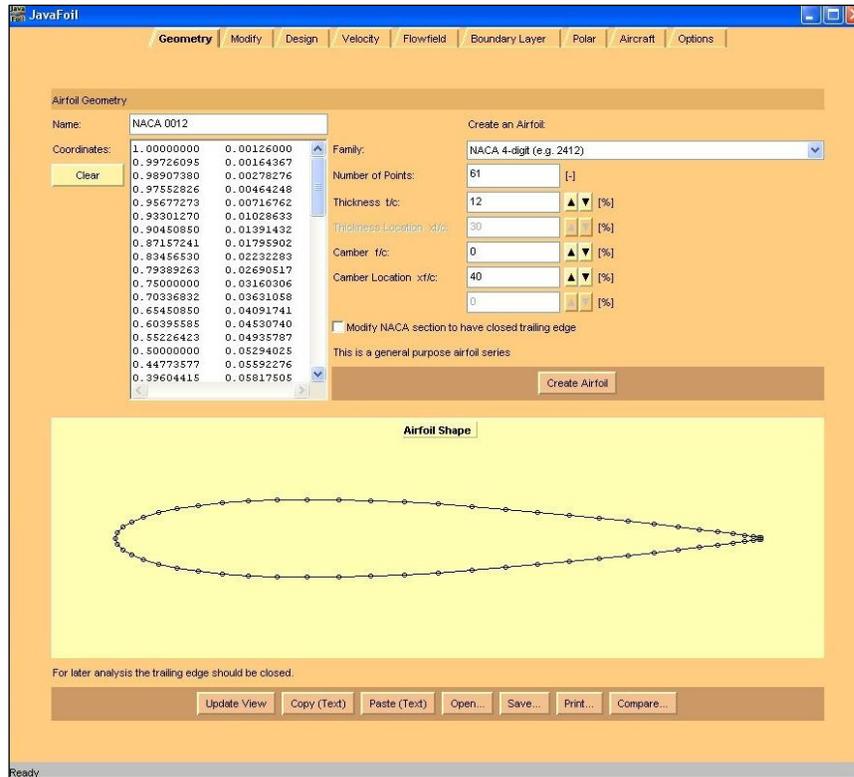


Figura 19-2: Ventana de geometría de programa JavaFoil 2.2

Fuente: (Hepperle, 2018)

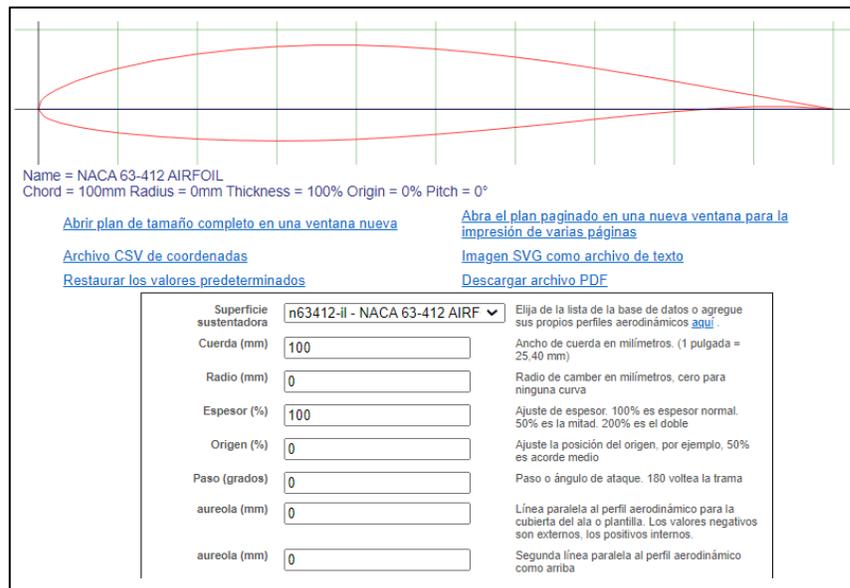


Figura 20-2: Ventana de geometría de la web *Airfoil Tools*

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

2.2.7. Sistema DRS

El Sistema de Reducción de arrastre o *DRS*, fue implementado en la Fórmula 1 por el año 2011 en donde se necesitaba reducir la fuerza de arrastre que brindaba el alerón en su posición estática esto permite que se pueda generar mayor velocidad en distintas áreas del circuito (Amórtegui, 2019 pág. 14).

Según la página web (DRIVER, 2017) menciona que: “El sistema *DRS* fue creado con la finalidad de aumentar los adelantamientos dentro de la carrera haciéndolo mucho más fácil para los pilotos, este sistema fue utilizado por primera vez en vehículos de competencia de la Fórmula 1 lo que supone a grandes rasgos una mejora al espectáculo.”

“El sistema de reducción de arrastre (*DRS*) permite generar en el alerón posterior un movimiento que permita variar la posición del alerón en función de distintos parámetros ya sea la velocidad de giro del motor o un pulsador que permita activar el alerón en las pistas rectas de un circuito y desactivar el mismo al momento de tomar una curva en la competencia” (Aznar Garcia, 2016 pág. 22).

Esto a su vez permite aplicar el sistema como una ayuda aerodinámica para el prototipo *FSAE*, por tal motivo se plantea como objetivo variar la posición del *DRS* en función de parámetros de pulsadores que se ubiquen en el volante y en el freno. La finalidad es permitir mayor rendimiento en las trayectorias rectas de la carrera y que el alerón no genere una carga de arrastre cuando no se la necesite (Medina, y otros, 2018 pág. 30)

2.2.7.1. Funcionamiento

Entender el funcionamiento del sistema *DRS* es de vital importancia para generar un diseño posterior por lo que (Caro, 2021) establece que “cuando se activa el *DRS*, el área frontal disminuye notablemente, lo que hace disminuir proporcionalmente el drag generado por el alerón trasero. Es decir, que, si se reduce el área frontal del alerón a la mitad, también se reduce a la mitad el drag que genera tal alerón.”

Esto se traduce a que cuando el sistema *DRS* esta desactivado el aire que pasa por el área frontal genera una carga aerodinámica que hace pegar el vehículo al suelo.

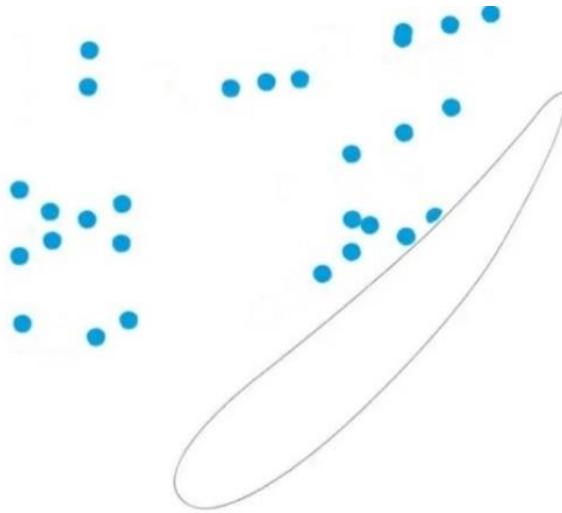


Figura 21-2: DRS cerrado

Fuente: (Caro, 2021)

En cambio, cuando el *DRS* se activa el alerón toma una posición horizontal en relación con el plano por el que se mueve el flujo de aire esto permite que el vehículo tenga una menor carga aerodinámica y por lo tanto esto ayude al aumento de velocidad en unos cuantos kilómetros más en relación con la velocidad lograda con el sistema *DRS* en su posición normal. (Caro, 2021)

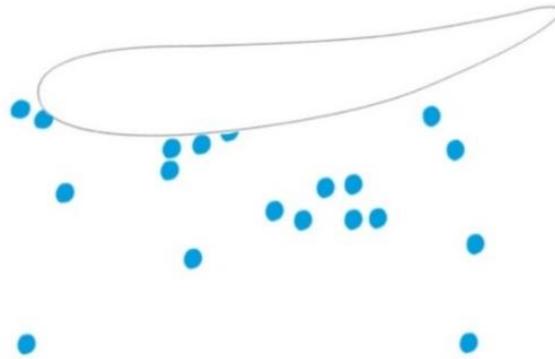


Figura 22-2: DRS abierto

Fuente: (Caro, 2021)

2.2.7.2. Tipos de mecanismos de sistema DRS

Para el sistema de reducción de arrastre *DRS* existen tres distintos tipos de mecanismos que se pueden utilizar estos se detallarán a continuación:

Mecanismo Push Up

El mecanismo *Push Up* apareció como innovación en fórmula, muchos equipos todavía usaban un pilón para ayudar a sostener la parte superior del alerón, entonces de esta manera con este diseño fue lógico montar el actuador hidráulico dentro del pilón y hacer que el actuador empuje el *flap* desde la parte inferior hacia arriba logrando tener una inclinación ideal del ángulo de ataque.

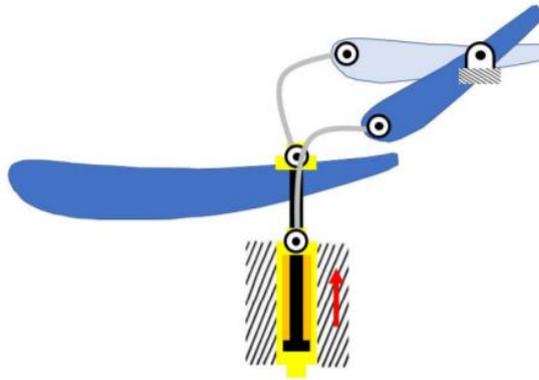


Figura 23-2: Mecanismo Push Up

Fuente: (Fuentes Murillo, 2016 pág. 33)

Este mecanismo de *DRS* es un mecanismo de 4 barras el cual consta de un actuador lineal posicionado de forma vertical y un acoplador que conecta el flap con el actuador. Cuando el actuador activa el mecanismo, el actuador se expande levantando el *flap* y separándolo del alerón (Fuentes Murillo, 2016 pág. 33).

Mecanismo Pods y Rockers

Una vez desaparecido el mecanismo *Push Up* se tuvo muchos problemas para poder generar la aerodinámica correctamente por lo que esto conlleva a una ingeniería más avanzada en donde los mecanismos se fueron haciendo cada vez más complejos y se dificultó implementar el sistema hidráulico directamente conectado al actuador del alerón móvil por lo que se tuvo que idear un

mecanismo alternativo que permita de una u otra manera realizar el movimiento del alerón sin que se conecte de forma directa aplicando un mecanismo en forma de triángulo adjunto al mecanismo principal denominado *Pods y Rockers* (Fuentes Murillo, 2016 pág. 33). Este tipo de mecanismo cuenta con dos variantes de aplicación las cuales se describen a continuación:

- *Mecanismo Pods y Rockers variante 1*: Se trata de un mecanismo de 4 barras compuesto por un actuador lineal ubicado horizontalmente y un balancín con ambos extremos ranurados. En este caso, cuando el piloto acciona el mecanismo, el actuador se contrae y levanta el alerón (Fuentes Murillo, 2016 pág. 34).

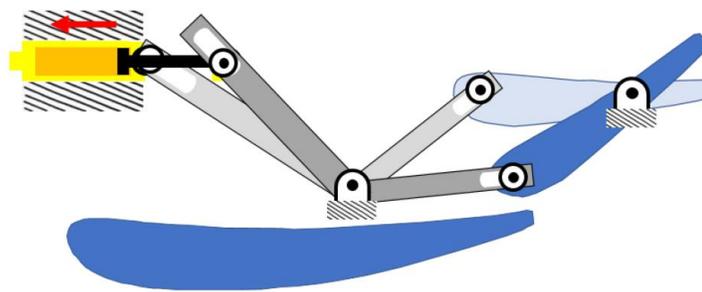


Figura 24-2: Mecanismo Pods y Rockers variante 1

Fuente: (Fuentes Murillo, 2016 pág. 34)

- *Mecanismo Pods y Rockers variante 2*: Este mecanismo es muy similar al de la variante 1, con la diferencia de que en el extremo que da al *flap*, se reemplaza el extremo ranurado del balancín que da al flap por un acoplador que conecta a ambos, añadiendo así una barra adicional al mecanismo. En este caso el actuador lineal presenta la misma posición en comportamiento que en la variante 1 del mecanismo (Fuentes Murillo, 2016 pág. 34).

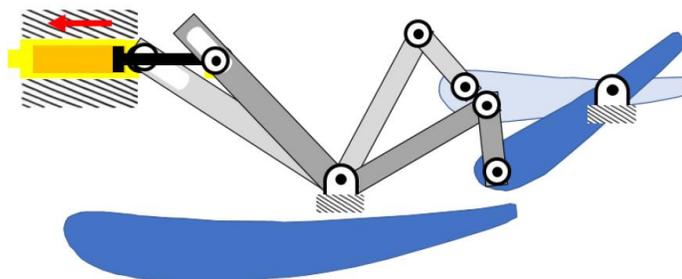


Figura 25-2: Mecanismo Pods y Rockers variante 2

Fuente: (Fuentes Murillo, 2016 pág. 34)

Este mecanismo significó un gran avance ya que al estar posicionado de mejor manera permite la apertura mucho más rápida del alerón móvil lo que traduce en mayor eficiencia del sistema y una ayuda significativa para el vehículo (Fuentes Murillo, 2016 pág. 34).

Mecanismo Pod Pull

Es un mecanismo muy similar al mecanismo tipo *Push Up* dado que también se trata de un mecanismo de 4 barras con un actuador lineal. En el caso del mecanismo *Pod Pull*, a diferencia del mecanismo *Push Up*, el actuador se encuentra ubicado en la parte superior del alerón y con orientación horizontal; cuando el piloto acciona el mecanismo *DRS*, el actuador se contrae permitiendo la separación entre el *flap* y el alerón. Adicionalmente, comparando la figura 24-2, la figura 25-2 y la figura 26-2, se puede observar que este tipo de mecanismo reduce el tamaño de las piezas involucradas, lo que le da una ventaja respecto a los demás dado que permite generar una menor interferencia aerodinámica (Fuentes Murillo, 2016 pág. 35).

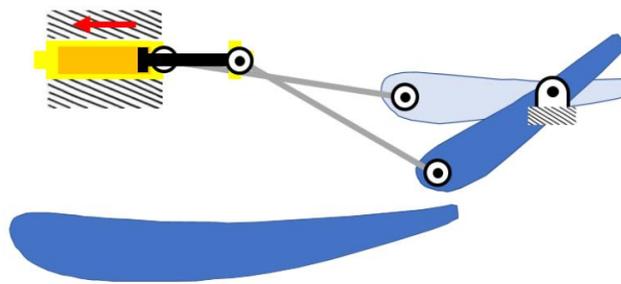


Figura 26-2: Mecanismo *Pod Pull*

Fuente: (Fuentes Murillo, 2016 pág. 35)

2.2.7.3. Actuadores lineales del sistema *DRS*

El actuador es un dispositivo mecánico, su función es de transmitir una fuerza para actuar un dispositivo mecánico a través de un medio ya sea lineal (transmite fuerza en línea recta) o rotatorio (transmite la fuerza de rotación mediante un eje) (Amórtegui, 2019 pág. 12).

Debido a los distintos tipos de mecanismos para el movimiento del sistema de reducción de arrastre los cuales son todos lineales es de vital importancia estudiar los tipos de actuadores lineales que existen. A continuación, nombramos los más utilizados en la industria automovilística.

- *Actuadores Eléctricos*

Funcionan convirtiendo el movimiento rotacional de un motor eléctrico en movimiento lineal a través de un tornillo sin fin. Se caracterizan por su gran capacidad de carga y baja velocidad de actuación (Amórtegui, 2019 pág. 13).

- *Actuadores Neumáticos*

Funcionan utilizando la presión del aire para generar movimiento lineal a través de un émbolo. Se caracterizan por tener un tamaño compacto respecto a los actuadores hidráulicos. Son utilizados en aplicaciones industriales que tienen bajos requerimientos de fuerza y altas velocidades de actuación (Amórtegui, 2019 pág. 13).

- *Actuadores Hidráulicos*

Tienen el mismo principio de funcionamiento que los actuadores neumáticos, con la diferencia que se accionan con la presión de aceite. Se caracterizan por tener un mayor precio y tamaño respecto a los actuadores neumáticos. Son principalmente utilizados en aplicaciones industriales que tienen altos requerimientos de fuerza y velocidades de actuación medias (Amórtegui, 2019 pág. 13).

- *Actuadores Solenoides*

Funcionan a través de una bobina la cual genera un campo eléctrico intenso que mueve el núcleo del solenoide realizando el movimiento lineal. Cuando la bobina se desactiva, un resorte se encarga de regresar el núcleo del solenoide a su posición inicial. Se caracteriza por tener un tamaño muy compacto y ser utilizado en aplicaciones industriales de baja carga con velocidades de actuación altas y carreras cortas (Amórtegui, 2019 pág. 13).

2.2.8. Dispositivos electrónicos

2.2.8.1. Arduino

Es un microcontrolador electrónico que permite al usuario tomar decisiones en el instante sin necesidad de que sea una persona quien las tome de manera manual, gracias a que permite una lectura de datos en forma de señales ayudando así mediante una programación a tomar decisiones en base a los casos que se hayan descrito en la programación generada y cargada debidamente al microcontrolador (ARDUINO, 2019).



Figura 27-2: Placa Arduino Microcontrolador

Fuente: (ARDUINO, 2019)

2.2.8.2. Controlador de motor DC (Puentes H)

El controlador de motor es un módulo que permite al usuario trabajar con motores de corriente directa de manera sencilla ya que este dispositivo es compatible con microcontroladores como Arduino (Electronics, 2021).

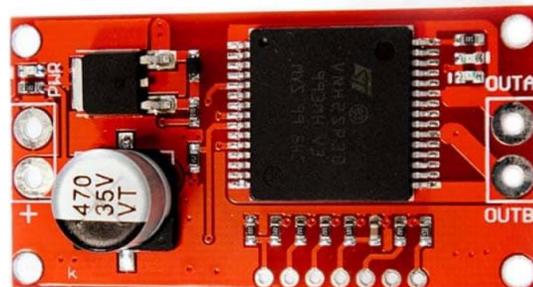


Figura 28-2: Controlador de motor DC (Puentes H)

Fuente: (Electronics, 2021)

2.2.9. Análisis CFD

2.2.9.1. Introducción

El análisis *CFD* que por sus siglas en inglés “*Computational Fluid Dynamics*” se puede decir que es el análisis de la dinámica de fluidos computacional, y tal como su nombre lo indica, es un estudio realizado en computadora mediante herramientas digitales o softwares especializados en diseño *CAD* (AST, 2019).

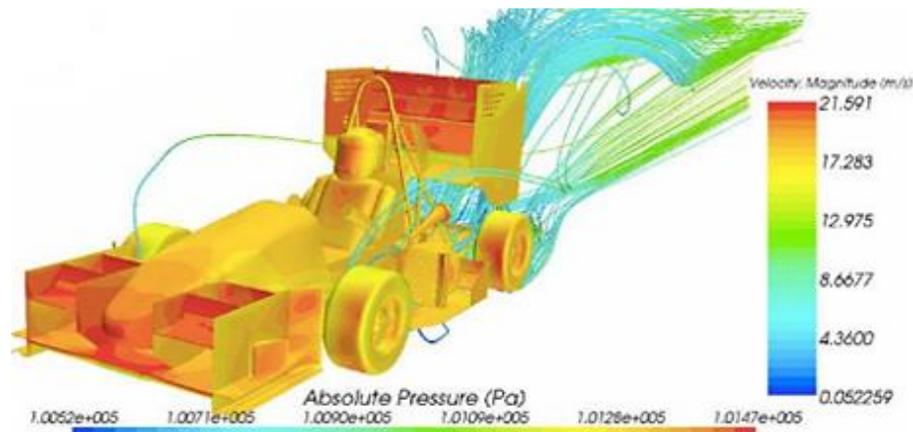


Figura 29-2: Análisis CFD de vehículos FSAE

Fuente: (Andrade Vargas, y otros, 2017 pág. 22)

En el desarrollo del trabajo de titulación es necesario conocer la funcionalidad del análisis *CFD* y cómo aplicarlos al momento de realizar el estudio del diseño del alerón. Por tal motivo es importante detallar cada una de las funciones que este ofrece, el cual consiste en el análisis de sistemas relacionados con el flujo de fluidos, transferencia de calor y otros fenómenos asociados (como reacciones químicas) por medio de la simulación por computador (AST, 2019).

2.2.9.2. Procesos de la dinámica CFD

Dentro de los procesos de la dinámica de fluidos se puede encontrar los métodos de elementos finitos, diferencias finitas y el método de volúmenes finitos. Estos son los métodos más utilizados dentro de la dinámica de fluidos computacional. Al utilizar cualquier de estos métodos se debe intercambiar el dominio continuo por un dominio discreto en el que un conjunto de volúmenes de control se utiliza para representar el dominio general (XAMÁN, y otros, 2016 págs. 1-3).

2.2.9.3. *Etapas del análisis CFD*

Adicional a los procesos a realizar en el análisis dinámico de fluidos computacional también se puede encontrar diferentes etapas en las cuales se encuentran los cálculos, solución de ecuaciones y análisis de resultados (XAMÁN, y otros, 2016 pág. 4).

- *Cálculos:* Es esta etapa es necesario plantear ecuación para establecer las condiciones del análisis y proceder con la generación del mallado (XAMÁN, y otros, 2016 pág. 4).
- *Soluciones de ecuaciones:* Posterior a los cálculos realizados fue necesario plantear ecuaciones las cuales se resolverán en esta etapa (XAMÁN, y otros, 2016 pág. 4).
- *Análisis de resultados:* Para finalizar en el análisis de resultados vamos a interpretar cada uno de los datos obtenidos de los diferentes nodos previamente analizados en cada punto de la malla. Es necesario reducirse estos puntos para facilitar la interpretación de resultados (XAMÁN, y otros, 2016 pág. 4).

2.2.9.4. *Discretización espacial*

Para realizar una resolución numérica se debe realizar una discretización espacial mediante los distintos procesos disponibles para su realización. Estos permiten definir al sólido en 3D como un volumen finito de partes muy pequeñas a lo que se llama mallado numérico que es la representación del problema, gracias a estos mallados se puede encontrar de una manera más ordenada y sencilla los datos y resoluciones para cada una de las mallas. El mallado es muy complejo ya que se puede tener geometrías muy complejas y además es muy difícil predecir en que lugares de la geometría se va a necesitar un mallado mucho más fino (XAMÁN, y otros, 2016 pág. 5).

- *Método de diferencias finitas*

El método de diferencias finitas es el método más antiguo para la solución numérica de ecuaciones diferenciales parciales, además es el método más fácil de usar para la aplicación de problemas con geometrías simples (XAMÁN, y otros, 2016 págs. 6-8).

- *Método de volúmenes finitos*

El método de volúmenes finitos permite resolver numéricamente ecuaciones diferenciales. Este es un método alternativo a los de elementos y diferencias finitos. La ecuación diferencial para resolver se integra sobre cada poliedro o volumen de control, lo cual entrega como resultado una versión discretizada de dicha ecuación (XAMÁN, y otros, 2016 págs. 6-8).

- *Método de elementos finitos*

El método de elementos finitos nació en 1956 como un método específico de cálculo de estructuras, pero en la actualidad se le contempla desde una perspectiva mucho más generalizada, es decir método matemático de integración numérica en derivadas parciales adaptable a todos los campos de Ingeniería (XAMÁN, y otros, 2016 págs. 6-8).

2.2.9.5. *Software comercial*

Sin lugar a duda se conoce que la parte computacional es un gran aliado para el diseño de cualquier elemento ya sea en la parte de diseño de elementos o en la parte de análisis de cargas de dichos elementos para ello existen distintos softwares que permiten realizar un análisis dinámico de fluidos, por la facilidad de manejo y experiencia recogida a lo largo de la vida estudiantil se cree importante el uso de programas computacionales como *Ansys 19.0* y *SolidWorks 2020*, los cuales ayudarán en el proceso de diseño y análisis de cargas del alerón.

- *SolidWorks*

Es un programa que permite realizar diseños *CAD*, entre su abanico de opciones está la modelación de piezas en 2D y 3D. También permite la generación de planos en 2D lo cual es muy importante a la hora de desarrollar un producto.

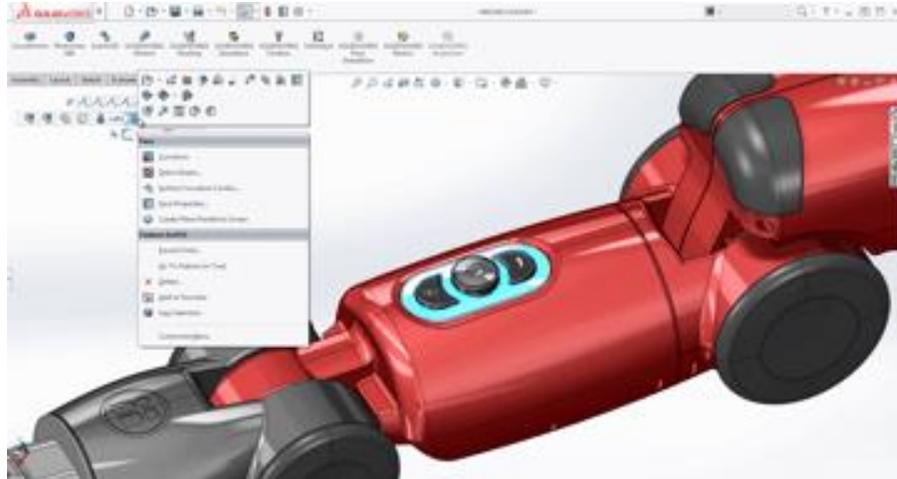


Figura 30-2: Vista previa de SolidWorks

Fuente: (Fibra Cero, 2017)

- *Ansys 19.0*

Ansys es un ecosistema que además de realizar análisis, también permite elaborar diseños y simulaciones de distintas piezas que se puedan crear dentro de cada una de sus diferentes funciones, con la posibilidad de incorporar métodos de análisis como lo es el de elementos finitos y distintos ensayos para una pieza mecánica o de cualquier tipo.

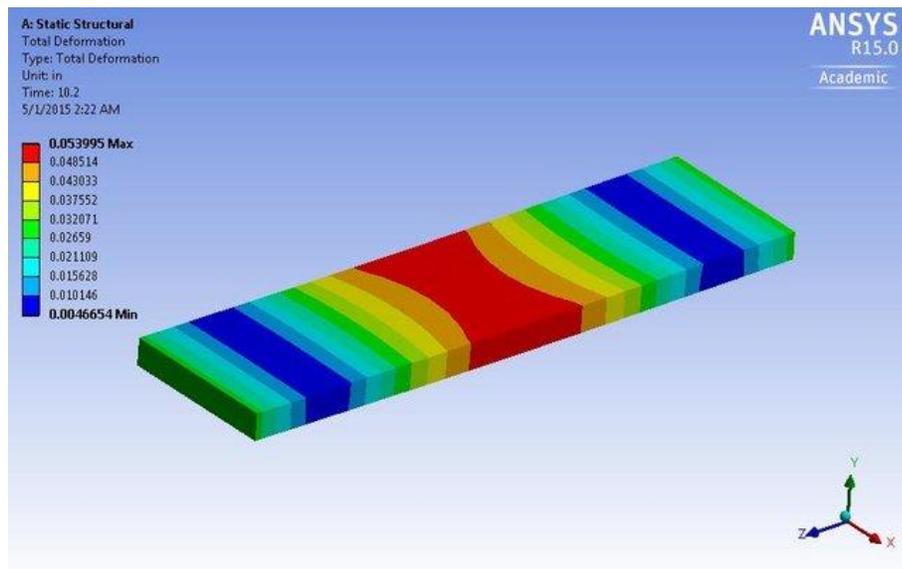


Figura 31-2: Vista previa de Ansys

Fuente: (Wtaife, y otros, 2018)

2.3. Marco legal

2.3.1. Reglamento de FSAE

En el desarrollo y construcción del alerón posterior del prototipo fórmula SAE es necesario apearse a los reglamentos vigentes de dicha competencia, por lo cual debemos verificar que todos los aspectos de diseño y posicionamiento del alerón cumplan con los requisitos y especificaciones necesarios para ser aprobados por el departamento técnico y de pruebas de la organización (SAE, 2020 pág. 8).

Es por tal motivo que se estudiará el reglamento de la fórmula SAE más actual para cumplir a cabalidad las exigencias de la organización permitiendo así que el vehículo sea admitido y pueda ingresar a las competencias posteriores. Cabe recalcar que el diseño se modelará en base al reglamento del año 2020, artículo 8 correspondiente a los dispositivos aerodinámicos (SAE, 2020 pág. 8).

2.3.1.1. Artículo 8: Dispositivos aerodinámicos

T 8.1 Definición de dispositivo aerodinámico:

T 8.1.1 Una estructura diseñada específicamente montada en el vehículo para guiar el flujo de aire alrededor del vehículo, aumentando la carga aerodinámica que actúa sobre el vehículo y / o reduciendo su resistencia. El montaje de esta estructura no se considera un dispositivo aerodinámico, a menos que sea intencionalmente diseñado para ser uno (SAE, 2020 pág. 17).

T 8.2 Restricciones para dispositivos aerodinámicos

T 8.2.1 Restricciones de altura:

- Todos los dispositivos aerodinámicos situados por delante de un plano vertical que pase por la parte más trasera de la cara delantera del soporte del reposacabezas del conductor, excluyendo cualquier acolchado, colocados en su posición más trasera, deben estar a menos de 500 mm del suelo (SAE, 2020 pág. 51).

- Todos los dispositivos aerodinámicos situados delante del eje delantero y que se extiendan más allá del punto más interior del neumático/rueda delantera deben estar a menos de 250 mm del suelo (SAE, 2020 pág. 51).
- Todos los dispositivos aerodinámicos situados hacia atrás de un plano vertical que pase por la parte más trasera de la cara delantera del soporte del reposacabezas del conductor, excluyendo cualquier acolchado, colocado en su posición más retrasada deben estar a menos de 1,2 m del suelo (SAE, 2020 pág. 51).

T 8.2.2 Restricciones de ancho:

- Todos los dispositivos aerodinámicos situados a menos de 500 mm del suelo y más atrás que el eje delantero, no deben ser más anchos que un plano vertical que toque el punto más exterior de la rueda/neumático delantero y trasero (SAE, 2020 pág. 51).
- Todos los dispositivos aerodinámicos a más de 500 mm del suelo no deben extenderse fuera de borda del punto más interior de la rueda / neumático trasero (SAE, 2020 pág. 51).

T 8.2.3 Restricciones de longitud:

- Todos los dispositivos aerodinámicos no deben extenderse hacia atrás más de 250 mm desde la parte más trasera de los neumáticos traseros (SAE, 2020 pág. 51).
- Todos los dispositivos aerodinámicos no deben extenderse más de 700 mm hacia adelante desde los frentes de los neumáticos delanteros (SAE, 2020 pág. 51).

T 8.2.4 Todas las restricciones deben cumplirse con las ruedas apuntando en línea recta y con cualquier suspensión configuración con o sin un conductor sentado en el vehículo.

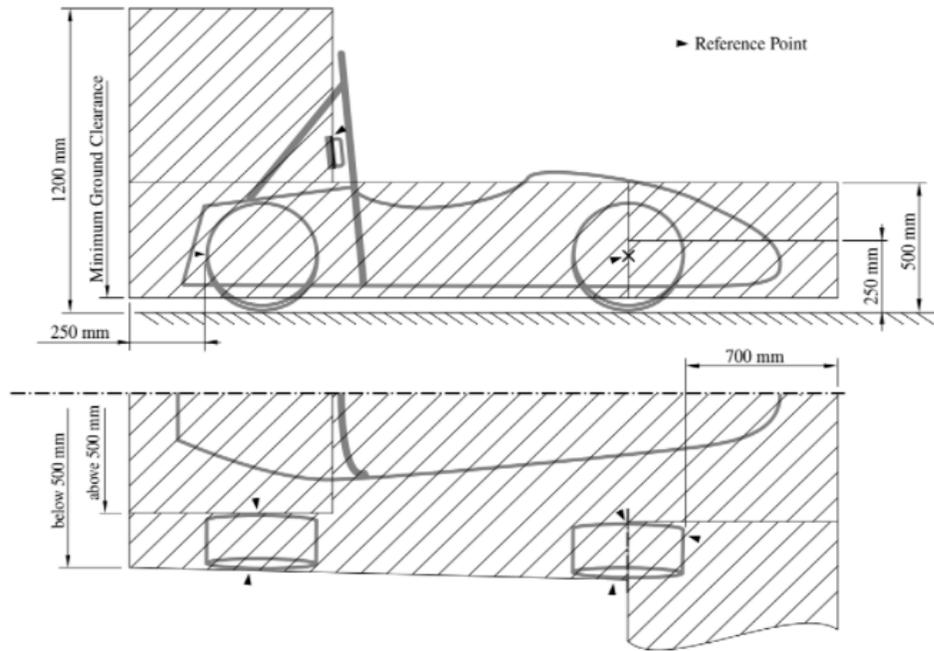


Figura 32-2: Dimensiones máximas y posicionamiento de los dispositivos aerodinámicos

Fuente: (SAE, 2020 pág. 51).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas de proyectos

Para determinar cuáles son las etapas del proyecto se realizó un diagrama de flujo donde se presenta el paso a paso del proceso a cumplir en el desarrollo del trabajo de integración. A continuación, se detalla las etapas del proyecto con ayuda de un flujograma:

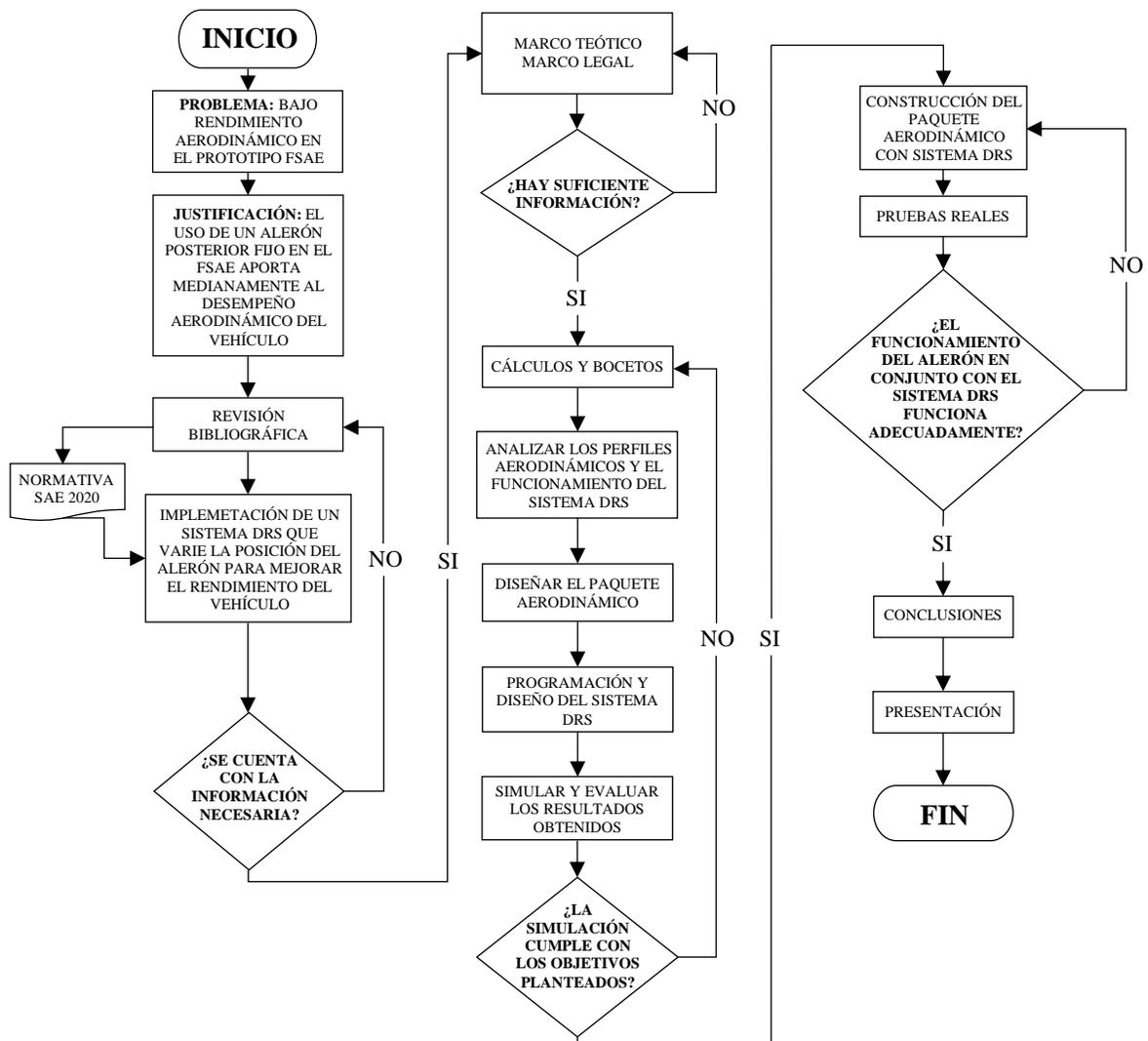


Gráfico 1-3: Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.2. Metodología de la investigación a realizar

En el desarrollo y creación del presente proyecto se analizaron cada uno de los objetivos específicos, ya que ayudará a realizar preguntas las cuales permitirán determinar la adecuada metodología de investigación a aplicar, además de las técnicas e instrumentos a utilizar. A continuación, se presenta la tabla de la metodología de investigación donde se muestra más detalladamente cada uno de estos aspectos:

Tabla 1-3: Metodología de la investigación

OBJETIVOS	PREGUNTAS	METODOLOGÍA	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<p>OE1: Realizar la revisión bibliográfica de contenidos mediante la recolección de datos sobre aerodinámica para el fundamento teórico de la propuesta de investigación.</p>	<p>P1: ¿Que es la aerodinámica y como afecta a los vehículos de competencia? P2: ¿Los dispositivos aerodinámicos que se aplican a un vehículo de competencia ayudan en su rendimiento dentro de la pista? P3: ¿En que consiste el funcionamiento de un alerón posterior con sistema DRS?</p>	<p>Revisión bibliográfica aplicando el método deductivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de información 	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos científicos • Libros digitales • Tesis doctorales y de pregrado • Revistas científicas
<p>OE2: Definir los parámetros de diseño del alerón posterior con sistema DRS, utilizando software CAD para la identificación del paquete aerodinámico más adecuado.</p>	<p>P1: ¿Los bocetos ayudan a que el diseño final del modelo de alerón cumpla con la geometría apropiada? P2: ¿Que software CAD/CAE brindan mejores funcionalidades para realizar una simulación y análisis CFD? P3: ¿Los análisis realizados demuestran que el rendimiento aerodinámico del prototipo ha mejorado?</p>	<p>Desarrollo de los diferentes diseños y prototipos del alerón para el análisis CFD empleando el método analítico-sintético.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos y medidas. • Uso de fórmulas. • Aplicación de software CAD/CAE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computador. • Software CAD/CAE (Solidworks, Ansys). • Aplicativos webs airfoil tools. • Normativa de FSAE.

<p>OE3: Generar el diseño del esquema de conexiones del sistema eléctrico, a partir de las señales obtenidas del botón físico ubicado en el volante y el pedal de freno, para procesarlos mediante una placa Arduino.</p>	<p>P1: ¿EL software Proteus tiene las herramientas necesarias para diseñar el circuito electrónico que hará funcionar al sistema DRS? P2: ¿La placa Arduino cumple con los requerimientos básicos que exige la programación?</p>	<p>Para determinar la programación a utilizar se aplica un estudio deductivo y analítico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Programación. • Diseño de circuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software (Proteus) • Placa Arduino
<p>OE4: Construir el alerón posterior utilizando fibra de carbono para el incremento de resistencia y disminución del peso en el Fórmula SAE.</p>	<p>P1: ¿Por qué la fibra de carbono es el material más adecuado para la construcción del alerón? P2: ¿Qué beneficios brinda la fibra de carbono en relación con otros materiales?</p>	<p>Investigación de los beneficios, usos y preparación de la fibra de carbono mediante un estudio analítico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso y manipulación de la fibra de carbono. • Creación de moldes para la fabricación de un alerón. • Medición del peso del alerón. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de carbono • Masilla • Espátula • Pintura • Lijas • Brochas • Taladro • Resina • Madera
<p>OE5: Realizar las pruebas pertinentes instalando el sistema de alerón móvil con DRS en el vehículo tipo FSAE para la verificación en pista de las mejoras a nivel aerodinámico y de velocidad.</p>	<p>P1: ¿La implementación del alerón posterior con sistema DRS mejoró el rendimiento aerodinámico en el prototipo?</p>	<p>A través del método sintético se puede verificar si los cambios y diseños realizados para el prototipo mejoran las condiciones de funcionamiento del FSAE en las pruebas del túnel de viento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas aerodinámicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pista para carreras. • Vehículo FSAE. • Alerón posterior con DRS.

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como se observa en la Tabla 1-3, las metodologías que más se aplica en los objetivos específicos y en general en todo el desarrollo del trabajo de integración son la metodología deductiva, analítica y sintética.

3.2.1. Métodos

3.2.1.1. Método deductivo

Es una estrategia de razonamiento que se utiliza para deducir o plantear conclusiones en base a una serie de premisas. En sí, la metodología deductiva va de lo general a lo particular (Raffino, 2020).

Para realizar una apropiada revisión bibliográfica es necesario hacer uso de la metodología deductiva puesto que permite comprender de manera más amplia el tema general de tesis a realizar (aerodinámica en vehículos de competencia) y posteriormente poder aplicarlos en un área específica la cual comprende el estudio de la influencia del sistema *DRS* aplicado a un alerón posterior. De igual forma en el desarrollo de la programación es necesario comprender de manera general cada una de las funciones que realiza los softwares a utilizar para luego determinar que herramienta se acopla de mejor manera a las necesidades particulares que se presenten.

3.2.1.2. *La metodología analítica*

Es el proceso que consiste en descomponer un objeto de estudio que separa cada parte de un todo para estudiarlos de manera individual. Se puede decir que identifican los elementos de un fenómeno para revisar cada uno por separado (Raffino, 2020).

En el caso de la metodología analítica es importante y necesario aplicarlo tanto en el proceso de diseño como en el de construcción para poder determinar cada uno de los elementos que intervienen en el diseño general del alerón tales como: Perfiles alares (Plano principal y *Flap*), *Endplates*, actuador lineal para *DRS* y Placa Arduino. Donde se debe analizar a detalle la funcionalidad, medidas y especificaciones técnicas de estos componentes para evitar inconvenientes o problemas a futuro.

3.2.1.3. *La metodología sintética*

Es el proceso de razonamiento que busca reconstruir un suceso de forma resumida, valiéndose de los elementos más importantes que tuvieron lugar. Consiste en integrar los componentes dispersos de un objeto de estudio para analizarlos en su totalidad (Mejia, 2020).

Una vez comprendido la funcionalidad de cada elemento por separado en el proceso de diseño y construcción, es necesario integrarlos en un solo componente para establecer resultados generales. La metodología sintética nos permite determinar dichos resultados de manera práctica, ya que ayuda a verificar si los cambios realizados en el prototipo respecto a las mejoras propuestos del alerón posterior con sistema *DRS* fueron determinantes en el funcionamiento aerodinámico del *FSAE* y produjeron beneficios en las pruebas de pista.

3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.1. Cronograma (Planificación de actividades)

Es importante tener una buena organización y planificación de actividades antes de realizar un proyecto, ya que permite tener una idea más clara respecto al tiempo que tomara efectuar cada una de las actividades planteadas y determinar el momento exacto en el cual se las van a ejecutar.

A continuación, se muestra la tabla de actividades a realizar en función a las fechas establecidas para su posterior ejecución:

Tabla 2-3: Tabla de planificación de actividades

FECHAS	ACTIVIDAD	ABRIL 2021				MAYO 2021				JUNIO 2021				JULIO 2021				AGOSTO 2021				SEPTIEMBRE 2021			
		SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS			
FASES		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ANÁLISIS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	Planteamiento y definición del tema.																								
	Revisión Bibliográfica																								
	Desarrollo del marco teórico y legal																								
	Desarrollo del marco metodológico																								
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	Realización de bosquejos																								
	Diseño y simulación del alerón																								
	Compra y adquisición de materiales																								
	Revisión y preparación de los materiales.																								
	Construcción del alerón																								
PRUEBAS Y RESULTADOS	Montaje y pruebas																								
	Resultados y presentación final																								

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.2. Recursos y materiales

3.3.2.1. Presupuesto

Para determinar los gastos que intervienen tanto en el diseño como en la construcción de alerón con sistema *DRS*, los costos se han dividido en dos partes, tales como: costos directos y costos indirectos los cuales los detallaremos en las siguientes tablas.

Costos directos

Son aquellos gastos que intervienen o afectan de manera directa o inmediata en la elaboración y fabricación del presente trabajo de titulación. Existen dos tipos de costos directos que se va a aplicar tanto para la materia prima como para la mano de obra.

Tabla 3-3: Costos Directos (Materia prima)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Fibra de carbono	m ²	5	\$ 70,00	\$ 350,00
Madera tipo MDF	m ²	8	\$ 3,00	\$ 24,00
Acrílico	m ²	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Resina Epóxica	l	4	\$ 85,00	\$ 340,00
Thinner	l	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Materiales para el proceso de vacío	m	16	\$ 7,50	\$ 120,00
Lijas (varias medidas)	u	6	\$ 0,50	\$ 3,00
Pernos (diferentes roscas)	u	10	\$ 0,40	\$ 4,00
Tuercas (diferentes roscas)	u	10	\$ 0,30	\$ 3,00
Ejes de acero (6 y 3 mm)	m	4	\$ 2,00	\$ 8,00
Rodamientos	u	2	\$ 1,00	\$ 2,00
Arduino Uno	u	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Puente H-VNH2SP30	u	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Resistencias (varios ohms)	u	15	\$ 0,10	\$ 1,50
Motor eléctrico (12V/ DC)	u	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Cables de conexión (varias medidas)	m	8	\$ 2,00	\$ 16,00
Pulsadores y finales de carrera	u	5	\$ 1,00	\$ 5,00
Led (Testigo DRS)	u	1	\$ 0,10	\$ 0,10
Cartón prensado	m ²	4	\$ 1,50	\$ 6,00
TOTAL				\$ 1.011,60

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Tabla 4-3: Costos Directos (Mano de obra)

Descripción	Horas de trabajo	Costo por hora	Precio Total
Corte laser	6	\$ 10,00	\$ 60,00
Pulido y lacado	16	\$ 6,25	\$ 100,00
Torneado y mecanizado	40	\$ 2,50	\$ 100,00
Impresión 3D	53	\$ 2,00	\$ 106,00
Pintura	50	\$ 3,00	\$ 150,00
TOTAL			\$ 516,00

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Tabla 5-3: Costo Directos totales

Descripción	Precio Total
Costos Directos (materia prima)	\$ 1.011,60
Costos Directos (mano de obra)	\$ 516,00
TOTAL	\$ 1.527,60

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Costos indirectos

A diferencia de los costos directos, estos gastos no intervienen o afectan de manera inmediata en la elaboración y fabricación del trabajo de titulación.

Tabla 6-3: Costos Indirectos

Descripción	Precio Total
Transporte o movilización	\$ 100,00
Internet	\$ 80,00
Luz	\$ 60,00
Estancia y alimentación	\$ 100,00
Asesorías	\$ 300,00
Imprevistos	\$ 50,00
Documentación e impresiones	\$ 30,00
TOTAL	\$ 720,00

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Costo Total

Es el resultado de la suma de los costos directos más los costos indirectos. Es el gasto general que se va a realizar en el desarrollo de todo el trabajo de titulación.

Tabla 7-3: Costo Total

Descripción	Precio Total
Costos Directos	\$ 1.527,60
Costos Indirectos	\$ 720,00
TOTAL	\$ 2.247,60

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.2.2. Talento Humano

Otro de los aspectos a tomar en cuenta en el desarrollo del trabajo de titulación es el aporte que cada uno de los integrantes y colaboradores externos ofrece, ya que será determinante al momento de distribuir actividades o definir las áreas en la que cada uno destaca. De tal forma que se pueda organizar de mejor manera la creación, diseño y construcción del presente trabajo.

A continuación, se detallará cada una de las actividades a desarrollar con los miembros y colaboradores que forman parte ella:

- Bosquejos, diseño, ensamble, simulación, programación, construcción, montaje y pruebas (Cesar Granda, Jairo Guamantaqui), como autores principales y directores de dichas actividades quienes son los encargados de completarlas de la manera más eficiente y adecuada.
- Ing. Luis Buenaño como tutor del proyecto el cual se encargará de guiar y estructurar las etapas y desarrollo del presente proyecto.
- Dr. Mario Audelo como asesor del proyecto que cumpla la función de solventar las dudas y preguntas más relevantes respecto a los diferentes problemas que surjan en el desarrollo de cada una de las actividades.
- Asesoría externa por parte de “JEV Solution” en el manejo y manipulación de la fibra de carbono y todo el proceso que conlleva la construcción del alerón posterior con *DRS*.

3.3.2.3. Equipos materiales

También es importante especificar cada una de las herramientas o equipos a utilizar, además de los materiales que se van a emplear. Por lo que a continuación en la tabla 10-3, se presentará cada uno de estos elementos de manera más detallada.

Tabla 8-3: Equipos y materiales

Equipos	Materiales
Máquina para corte laser	Fibra de carbono
Pulidora	Madera MDF
Computadora	Laca
Taladro	Resina epoxi
Herramientas básicas	Thinner
Túnel de viento	Materiales del proceso de vacío
Bomba de vacío	Lijas (varias medidas)
Impresora 3d	Pernos (diferentes roscas)
Compresor	Tuercas (diferentes roscas)
Torno	Rodamientos
Fresa	Arduino Uno
Amoladora	Motor eléctrico (12V/ DC)
Soldadora	Puente H (controlador motor)
Mini taladro (Drill)	Cables de conexión
	Acrílico
	Filamento plástico PLA
	Pintura automotriz
	Barniz automotriz

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.3. Desarrollo del proyecto

Una vez revisados todos los temas concernientes a la parte aerodinámica de un alerón y tener el conocimiento de todas las partes que lo conforman, se diseñó el elemento aerodinámico para lo cual se aplicó la dinámica de fluidos, programas de diseño y análisis en métodos finitos que basan sus soluciones en algoritmos complejos en los que integran los métodos numéricos. A continuación, se detalla cada una de las etapas de diseño desde los bosquejos hasta la simulación del alerón en conjunto con el sistema *DRS*.

3.3.3.1. Bosquejo

Para realizar los bosquejos se tomó en cuenta cada uno de los componentes que conforman el alerón y el sistema *DRS*, tanto el diseño como sus dimensiones para tener una idea más clara de su forma y funcionamiento.

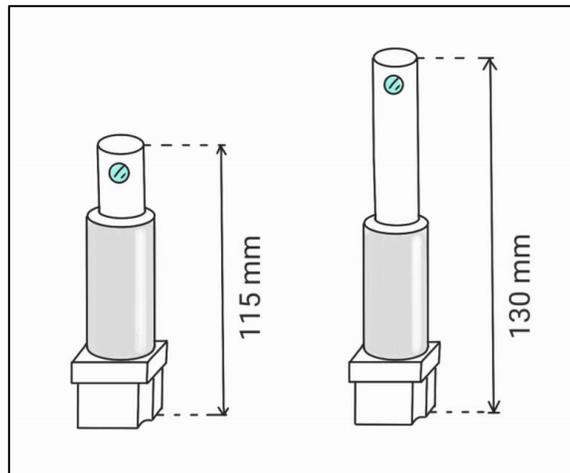


Figura 33-3: Bosquejo actuador lineal

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

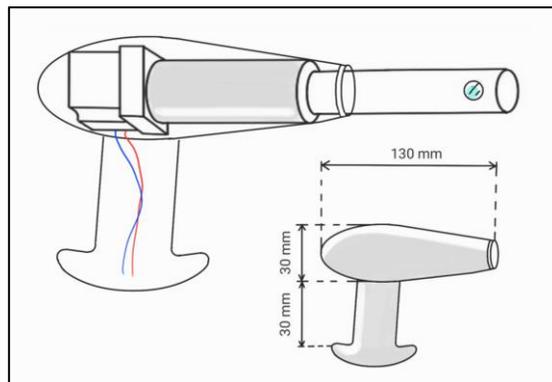


Figura 2-3: Bosquejo sistema DRS

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

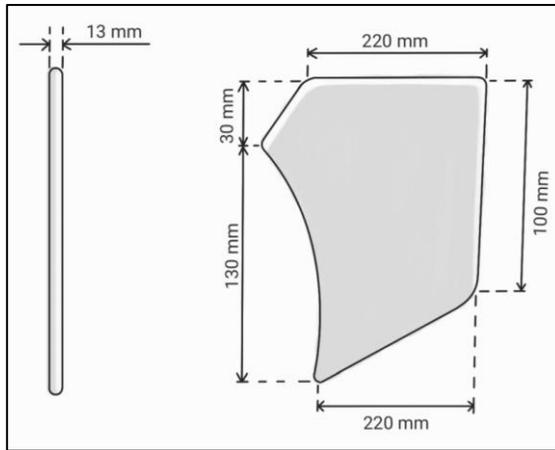


Figura 34-3: Bosquejo Endplate (Placas de los extremos)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

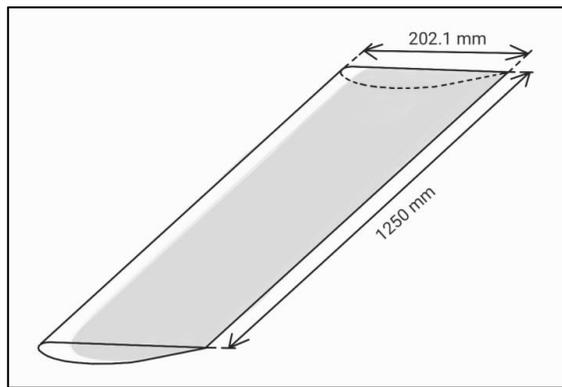


Figura 35-3: Bosquejo Alerón (Plano principal)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

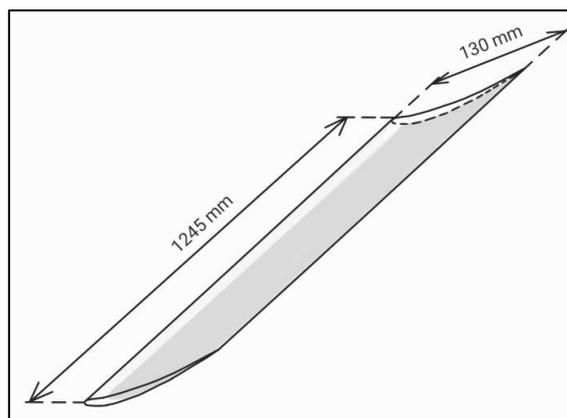


Figura 5-3: Bosquejo Alerón (Flap)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

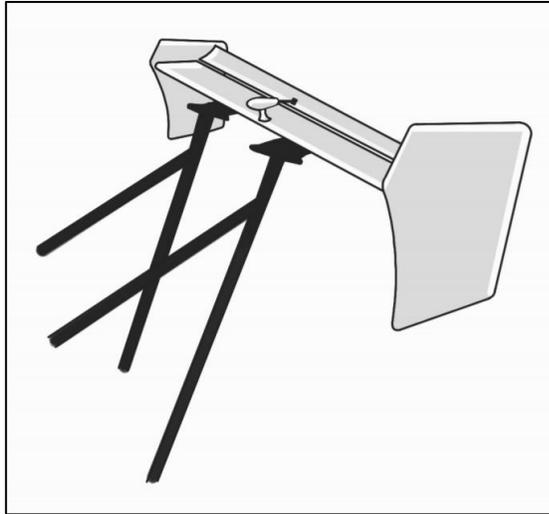


Figura 6-3: Bosquejo Alerón ensamblado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.3.2. Elección del perfil alar

Gracias a los bosquejos se tuvo una idea breve y concisa de los diseños requeridos para el alerón posterior, del trabajo realizado por (Medina, y otros, 2018) se determinó que los cuatro tipos de perfiles aerodinámicos pertenecientes a la familia de perfiles GOE son los más aptos para ser tomados en cuenta en la fabricación del alerón posterior con sistema *DRS*.

Para lograr la selección correcta del perfil se utilizó el *Software JavaFoil* en conjunto con la página web *Airfoil Tools* que es una librería de perfiles aerodinámicos en donde se encuentran distintos grupos de perfiles como son los *NACA* y *GOE*. Los perfiles *NACA* según (Medina, y otros, 2018 pág. 30) son perfiles aerodinámicos que ya casi no son utilizados en la actualidad para aplicaciones de competición y es por esta razón que se escogen los perfiles *GOE* quienes se encuentran en uso en la actualidad para el plano principal como para el flap que será móvil. También hay que considerar que los criterios más importantes para escoger los perfiles son los valores de coeficiente de sustentación CL y coeficiente de resistencia CD , los cuales deben cumplir con las condiciones siguientes:

- El valor de CL debe ser mayor.
- El valor de CD debe ser menor.

Al verificar en la base de datos se eligen los siguientes perfiles ya que son los que presentan mejores características para el rendimiento aerodinámico del alerón, como se observa en la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Perfiles aerodinámicos GOE

PERFILES AERODINÁMICOS GOE				
Perfil	GOE 796	GOE 803	GOE 479	GOE 464
Uso del perfil	Plano principal	Flap 1	Plano principal 2	Flap 2
Grosor máximo	12% a 30% de cuerda	6.3% a 15% de cuerda	11.6% a 30% de cuerda	7.7% a 7.4% de cuerda
Caída/Cámber máximo	3.6% a 40% de cuerda	6.6% a 40% de cuerda	4% a 40% de cuerda	9.9% a 29.9% de cuerda

Fuente: (Medina, y otros, 2018).

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Para la elección del perfil a utilizar, primero se realizó el diseño de cada uno de los alerones (plano principal y *flap*) en sus distintas configuraciones, por lo que se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones del diseño las cuales permiten conocer el comportamiento del alerón.

3.3.3.3. Consideraciones de diseño de un alerón

En aerodinámica existen diferentes criterios de diseño del alerón según (McBeath, 1997 pág. 73), todos ellos van ligados a la cantidad de perfiles que se va a colocar en el vehículo debido a esto existen los alerones de un solo elemento y los alerones de varios elementos (dos, tres o más).

Las consideraciones de diseño varían en ciertas características respecto del diseño de un alerón con un solo perfil aerodinámico, pero en general se basan en el mismo criterio. A continuación, se realizaron los cálculos para el diseño de los perfiles antes escogidos, con la finalidad de importar las medidas al *software CAD* y posteriormente analizarlas utilizando *software CFD*.

En el caso del alerón que se ha planteado diseñar va a ser un alerón que contará con dos perfiles por lo que ingresa en el apartado de alerón de varios elementos y siendo más específicos será un alerón con dos elementos (plano principal y *flap*), según (McBeath, 1997 pág. 73) se puede obtener dos configuraciones de alerón con dos elementos los cuales son la configuración de *flap* externo y la configuración de *flap* de ranura.

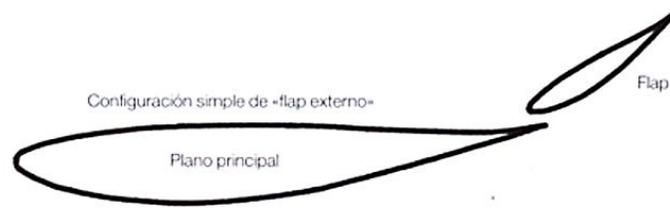


Figura 7-3: Configuración alerón de flap externo

Fuente: (McBeath, 1997)

De estas configuraciones se ha escogido el alerón con *flap* externo ya que es una configuración mucho más sencilla para diseñar y no consta de perfiles tan complejos en su estructura.

Para el diseño de este tipo de alerones existen ciertos criterios descritos en (McBeath, 1997 pág. 73) que tratan acerca del tamaño del flap y su posición que se considera muy importante tomar en cuenta. Cuando el perfil del alerón principal y el perfil del alerón flap son diferentes, el tamaño de *flap* (dimensión de cuerda) debe ser del orden del 25% a 30% del tamaño de la cuerda general (plano principal mas *flap*), C. También se pueden utilizar cuerdas de flap mayores, con orden del 30% a 40% para lograr incrementos en el coeficiente de carga aerodinámica. Además, existen alerones donde la forma del flap es una versión a escala de la forma del plano principal, por lo que para esta configuración las consideraciones practicas dictan que sea algo más ancho que el plano principal en relación con su propia dimensión de cuerda, con el fin de darle una mayor rigidez.

El punto más importante dentro del diseño del alerón de dos elementos es la posición del *flap* con relación al plano principal, ya que es clave formar una ranura estrecha entre el borde de fuga del plano principal y el borde de ataque del *flap*, una vez logrado esto hace falta que se solapen ubicando el flap encima del plano principal con la finalidad de que actúe el *flap* como elemento inductor de carga aerodinámica, por lo que el espacio entre el borde de ataque del *flap* y el borde de fuga del plano principal debe ser del 1% a 2% del tamaño de la cuerda y el solapamiento entre el borde de ataque del flap y el borde de fuga del plano principal oscila entre el 1% a 4% de la cuerda (McBeath, 1997 pág. 74).

3.3.3.4. Cálculos de los perfiles aerodinámicos

El diseño del alerón es uno de los puntos más importantes por lo que debe obedecer a las condiciones del vehículo para ser correctamente diseñado y adicional tiene que cumplir con los requerimientos que dicta la normativa de Fórmula SAE.

Para determinar los valores correspondientes se necesita saber la dimensión de los bordes internos de los rines posteriores del Fórmula SAE, para lo cual se procedió a tomar sus medidas, siendo estas:

$$\text{dist. entre ejes} = 2021\text{mm}$$

$$\text{dist. entre bordes internos de rin posterior} = 1260\text{ mm}$$

- *Cuerda*

Una vez obtenido estos datos se procede a realizar los cálculos de longitud de la cuerda total permitida por la FSAE y según las normas de diseño. Por lo cual tenemos que la cuerda debe ser el 10% de la distancia entre ejes.

$$C = \text{distancia entre ejes} * 10\% \quad (13)$$

$$C = 2021\text{mm} * 10\%$$

$$C = 202.1\text{ mm}$$

- *Envergadura*

Una vez calculada la cuerda se procede a calcular la envergadura la cual es igual a la distancia entre los bordes internos del rin posterior, esto debido a que en el reglamento de la FSAE establece que no debe existir elementos sobre las ruedas posteriores.

$$e = \text{dist. entre bordes internos de rin posterior}$$

$$e = 1260\text{ mm}$$

Con estos valores se procede a calcular cada una de las dimensiones correspondientes a los perfiles las cuales son importantes para la consideración de diseño. Lo que se calculará son los valores de borde de ataque, cuerda media en los dos ejes y el espesor con las siguientes formulas:

- Borde de ataque:

$$Ba = \text{Espesor mínimo del Cámbler} * \text{distancia entre ejes}. \quad (14)$$

- Cuerda media en eje x:

$$Cm\ x = \text{Espesor máximo del Cámbler} * \text{distancia entre ejes}. \quad (15)$$

- Cuerda media en eje y:

$$Cm\ y = \text{Espesor mínimo del C\`amber} * \text{distancia entre ejes.} \quad (16)$$

- Espesor:

$$E = \text{Grosor} * \text{distancia entre ejes.} \quad (17)$$

- **PERFIL GOE 796**

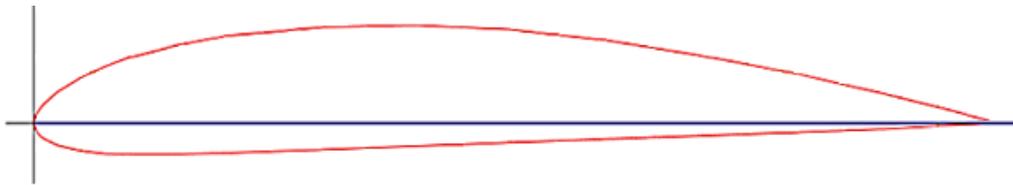


Figura 8-3: Perfil 796

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

Para este perfil aerodinámico tenemos ciertos datos que facilita la página web *Airfoil tools* en donde se indican los valores de grosor y de *c\`amber* máximos que se pueden calcular a partir de la medida de la cuerda, estos datos se ubican a continuación:

Grosor máximo: 12% a 30% de la cuerda

C\`amber máximo: 3.6% a 40% de la cuerda.

Por lo tanto:

Borde de ataque:

$$Ba = 3.6\% * 202.1mm$$

$$Ba = 7.2756mm$$

Cuerda media en eje x:

$$Cm\ x = 40\% * 202.1mm$$

$$Cm\ x = 80.84mm$$

Cuerda media en eje y:

$$Cm\ y = 3.6\% * 202.1mm$$

$$Cm\ y = 7.2756mm$$

Espesor:

$$E = 12\% * 202.1mm$$

$$E = 24.252mm$$

- **PERFIL GOE 803**

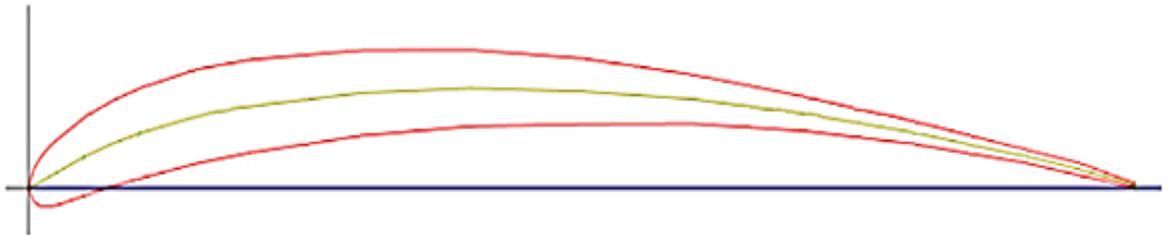


Figura 9-3: Perfil 803

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

Grosor máximo: 6.3% a 15% de la cuerda

Cámbel máximo: 6.6% a 40% de la cuerda.

Por lo tanto:

Borde de ataque:

$$Ba = 6.6\% * 202.1mm$$

$$Ba = 13.338mm$$

Cuerda media en eje x:

$$Cm x = 40\% * 202.1mm$$

$$Cm x = 80.84mm$$

Cuerda media en eje y:

$$Cm y = 6.6\% * 202.1mm$$

$$Cm y = 13.338mm$$

Espesor:

$$E = 6.3\% * 202.1mm$$

$$E = 12.7323mm$$

- **PERFIL GOE 464**

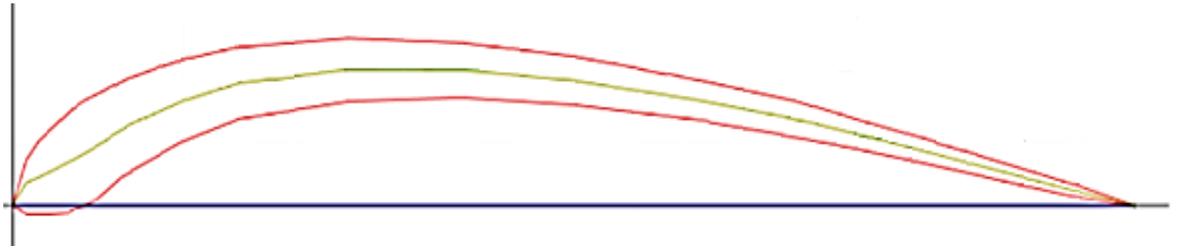


Figura 36-3: Perfil 464

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

Grosor máximo: 7.7% a 7.4% de la cuerda

Cámber máximo: 9.9% a 29.9% de la cuerda.

Por lo tanto:

Borde de ataque:

$$Ba = 9.9\% * 202.1mm$$

$$Ba = 20.0079mm$$

Cuerda media en eje x:

$$Cm x = 29.9\% * 202.1mm$$

$$Cm x = 60.4279mm$$

Cuerda media en eje y:

$$Cm y = 9.9\% * 202.1mm$$

$$Cm y = 20.0079mm$$

Espesor:

$$E = 7.7\% * 202.1mm$$

$$E = 15.5617mm$$

- **PERFIL GOE 479**

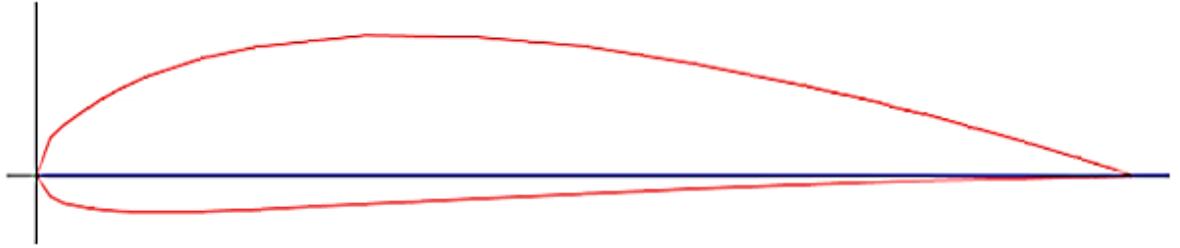


Figura 11-3: Perfil 479

Fuente: (AirfoilTools, 2021)

Grosor máximo: 11.6% a 30% de la cuerda

Cámber máximo: 4% a 40% de la cuerda.

Por lo tanto:

Borde de ataque:

$$Ba = 4\% * 202.1mm$$

$$Ba = 8.084mm$$

Cuerda media en eje x:

$$Cm x = 40\% * 202.1mm$$

$$Cm x = 80.84mm$$

Cuerda media en eje y:

$$Cm y = 4\% * 202.1mm$$

$$Cm y = 8.084mm$$

Espesor:

$$E = 11.6\% * 202.1mm$$

$$E = 23.4436mm$$

Una vez realizados los distintos cálculos, se procede a realizar los diseños en el software *CAD* para generar los análisis aerodinámicos con la finalidad de poder elegir respecto a ciertos criterios como es la fuerza aerodinámica que cada uno de los perfiles presentan en su estudio.

Cabe recalcar que para realizar el análisis en el software *CAE* se ubicaron las condiciones de temperatura y densidad de aire promedio del país. Adicional a esto se consideró que el vehículo se mueve a una velocidad de 90 km/h la cual es un poco más alta de la velocidad máxima permitida por el reglamento de la *FSAE*, culminado este análisis se procedió a crear una tabla en donde se muestran los valores de cargas, coeficientes y fuerza aerodinámica que presenta cada perfil, estos datos se presentan a continuación:

Tabla 10-3: Fuerzas generadas en el perfil GOE 803

PERFIL 803							
Fx	Fy	Densidad	Velocidad	Superficie alar	Coefficiente sustentación	Coefficiente arrastre	FUERZA AERODINAMICA
Fd (N)	Fl (N)	kg/m3	m/s	m2	Cl	Cd	N
-4.9215	-37.35	1.215	25	579565.1049	-0,4967	-0,0458	36.654028

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Tabla 11-3: Fuerzas generadas en el perfil GOE 464

PERFIL 464							
Fx	Fy	Densidad	Velocidad	Superficie alar	Coefficiente sustentación	Coefficiente arrastre	FUERZA AERODINAMICA
Fd (N)	Fl (N)	kg/m3	m/s	m2	Cl	Cd	N
-4.0225	-43.98	1.215	25	0.226352	-0,73098	-0,04680	44,1591

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Tabla 12-3: Fuerzas generadas en el perfil GOE 796

PERFIL 796							
Fx	Fy	Densidad	Velocidad	Superficie alar	Coefficiente sustentación	Coefficiente arrastre	FUERZA AERODINAMICA
Fd (N)	Fl (N)	kg/m3	m/s	m2	Cl	Cd	N
-3,1173	-25,23	1.215	25	0.28294	-0,3354	-0,0290	25,4167

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Tabla 13-3: Fuerzas generadas en el perfil GOE 479

PERFIL 479							
Fx	Fy	Densidad	Velocidad	Superficie alar	Coefficiente sustentación	Coefficiente arrastre	FUERZA AERODINAMICA
Fd (N)	Fl (N)	kg/m3	m/s	m2	Cl	Cd	N
-2,95	-23,49	1.215	25	0.28294	-0,3124	-0,0275	23,6745

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como se puede observar en las tablas se obtuvo los valores de fuerza (carga) en cada uno de los ejes los cuales representan en el eje Y, la fuerza de sustentación y en el eje X, la fuerza de arrastre que se genera por acción del aire al recorrer toda la superficie alar.

Una vez obtenidos estos datos del *software CAE* se procede a realizar los cálculos de los coeficientes de sustentación y de arrastre para ello se utiliza la velocidad que se definió anteriormente (90 km/h convertida a m/s) y la densidad promedio del aire en Riobamba, adicionalmente se procede a calcular la fuerza aerodinámica la cual es el módulo del vector fuerza entre las componentes F_x y F_y .

Las consideraciones de elección de estos perfiles se realizarán observando su coeficiente de sustentación que para el plano principal debe ser menor y para el plano flap debería ser mayor, esto debido a que al momento en que el alerón flap se encuentre en posición cerrada genere las cargas necesarias para mantener el vehículo pegado al piso. Con todos estos datos se puede concluir que entre las opciones existentes para el plano principal se opta por el perfil GOE 479, ya que cumple con las condiciones antes descritas. Para el flap se elige el perfil GOE 464 que tiene un coeficiente de sustentación menor que el perfil GOE 803 ya que al ser el flap se necesita que genere mayor carga aerodinámica cuando se encuentre en posición cerrada y de menor carga cuando el perfil este totalmente abierto, permitiendo así un mejor flujo de aire provocando que el prototipo alcance una mayor velocidad.

3.3.3.5. *Diseño del alerón y flap finales*

Según las consideraciones de diseño se realizará un perfil de alerón con dos elementos, el plano principal y un flap, estas dimensiones se calcularán a partir de las medidas obtenidas en la página web *AIRFOIL TOOLS* la cual genera el perfil aerodinámico y sus puntos de interés con los que se puede jugar en las medidas para generar los valores necesarios para el correcto dimensionamiento de la pieza por lo que se toma en cuenta las medidas del interior de los rines posteriores del vehículo y la distancia entre ejes del prototipo.

dist. entre ejes = 2021mm

dist. entre bordes internos de rin posterior = 1260 mm

PERFIL GOE 479

Este perfil al ser considerado como el plano principal del elemento aerodinámico se define acorde a los datos obtenidos de cuerda con relación a las distancias entre ejes; siendo este un valor de 202.1 mm el cual no varía respecto a los cálculos realizados anteriormente, por lo que se tomara los mismos valores para su diseño.

Borde de ataque: 8.084mm

Cuerda media en eje x: 80.84mm

Cuerda media en eje y: 8.084mm

Espesor: 23.4436mm

Tabla 14-3: Hoja de cálculo del perfil GOE 479

PERFIL GOE 479					
X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	0	202.1	0	0
0.95	0.01202	0	191.995	2.429242	0
0.9	0.02355	0	181.89	4.759455	0
0.8	0.0446	0	161.68	9.01366	0
0.7	0.06215	0	141.47	12.560515	0
0.6	0.0772	0	121.26	15.60212	0
0.5	0.08925	0	101.05	18.037425	0
0.4	0.0958	0	80.84	19.36118	0
0.3	0.09685	0	60.63	19.573385	0
0.2	0.0889	0	40.42	17.96669	0
0.15	0.08092	0	30.315	16.353932	0
0.1	0.06845	0	20.21	13.833745	0
0.075	0.05971	0	15.1575	12.067391	0
0.05	0.04858	0	10.105	9.818018	0
0.025	0.03524	0	5.0525	7.122004	0
0.0125	0.02637	0	2.52625	5.329377	0
0	0	0	0	0	0
0.0125	-0.01413	0	2.52625	-2.855673	0
0.025	-0.01876	0	5.0525	-3.791396	0
0.05	-0.02253	0	10.105	-4.553313	0
0.075	-0.02429	0	15.1575	-4.909009	0
0.1	-0.02505	0	20.21	-5.062605	0
0.15	-0.02457	0	30.315	-4.965597	0
0.2	-0.0231	0	40.42	-4.66851	0
0.3	-0.01915	0	60.63	-3.870215	0
0.4	-0.0157	0	80.84	-3.17297	0
0.5	-0.01225	0	101.05	-2.475725	0
0.6	-0.0088	0	121.26	-1.77848	0
0.7	-0.00585	0	141.47	-1.182285	0
0.8	-0.0034	0	161.68	-0.68714	0
0.9	-0.00195	0	181.89	-0.394095	0
0.95	-0.00097	0	191.995	-0.196037	0
1	0	0	202.1	0	0

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

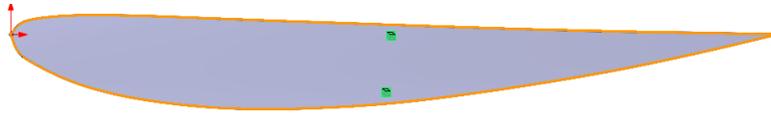


Figura 37-3: Perfil 479 diseñado en software CAD

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

PERFIL GOE 464

Como se mencionó anteriormente el perfil GOE 464 será el elegido para diseñar el flap por lo que este perfil se define acorde a lo citado en el libro de (McBeath, 1997 pág. 73), que para el flap se considerará valores de 60% a 80% de la cuerda principal y tomando en cuenta que el tamaño de la cuerda del flap debe ser lo más grande posible para que tenga un área mayor de contacto y genere mayores cargas aerodinámicas se trabajó con el porcentaje máximo permitido.

$$C_f = 80\% * C \quad (17)$$

$$C_f = 80\% * 202.1mm$$

$$C_f = 161.68mm$$

Donde:

C_f = cuerda del flap

C_p = cuerda principal

Como el tamaño de la cuerda del perfil se modificó debido al redimensionamiento del flap se debe volver a realizar el cálculo de los bordes de ataque, cuerdas medias y grosor los cuales se calculan a continuación:

Grosor máximo: 7.7% a 7.4% de la cuerda

Cámber máximo: 9.9% a 29.9% de la cuerda.

Por lo tanto:

Borde de ataque:

$$B_a = 9.9\% * 161.68mm$$

$$B_a = 16.006mm$$

Cuerda media en eje x:

$$Cm x = 29.9\% * 161.68mm$$

$$Cm x = 48.34mm$$

Cuerda media en eje y:

$$Cm y = 9.9\% * 161.68mm$$

$$Cm y = 16.01mm$$

Espesor:

$$E = 7.7\% * 172.44mm$$

$$E = 12.45mm$$

Tabla 15-3: Hoja de cálculo del perfil GOE 464

PERFIL GOE 464					
X	Y	Z	X	Y	Z
0.01226	0.03359	0	1.9821968	5.4308312	0
0.02466	0.04867	0	3.9870288	7.8689656	0
0.04953	0.06785	0	8.0080104	10.969988	0
0.07443	0.08152	0	12.0338424	13.180154	0
0.09936	0.0917	0	16.0645248	14.826056	0
0.14926	0.10604	0	24.1323568	17.144547	0
0.19919	0.11539	0	32.2050392	18.656255	0
0.29915	0.12209	0	48.366572	19.739511	0
0.39917	0.11879	0	64.5378056	19.205967	0
0.49924	0.10899	0	80.7171232	17.621503	0
0.59934	0.0937	0	96.9012912	15.149416	0
0.69947	0.0759	0	113.0903096	12.271512	0
0.79963	0.0516	0	129.285779	8.342688	0
0.89981	0.0268	0	145.4812808	4.333024	0
0.9499	0.01415	0	153.579832	2.287772	0
1	0	0	161.68	0	0
0	0	0	0	0	0
0.01252	-0.00611	0	2.0242336	-0.9878648	0
0.02504	-0.00632	0	4.0484672	-1.0218176	0
0.05004	-0.00515	0	8.0904672	-0.832652	0
0.07497	0.00452	0	12.1211496	0.7307936	0
0.09984	0.0227	0	16.1421312	3.670136	0
0.14944	0.04547	0	24.1614592	7.3515896	0
0.19956	0.0629	0	32.2648608	10.169672	0
0.29947	0.0761	0	48.4183096	12.303848	0
0.39945	0.0788	0	64.583076	12.740384	0
0.49949	0.0735	0	80.7575432	11.88348	0
0.59955	0.0637	0	96.935244	10.299016	0
0.69965	0.0499	0	113.119412	8.067832	0
0.79977	0.0331	0	129.3068136	5.351608	0
0.8999	0.0148	0	145.495832	2.392864	0
0.94996	0.00565	0	153.5895328	0.913492	0

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

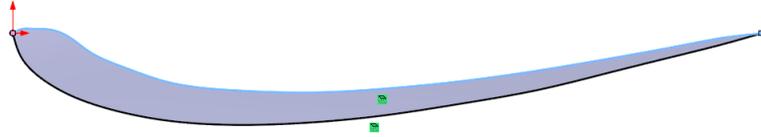


Figura 13-3: Perfil 464 diseñado en software CAD

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez obtenidos estos datos se procede a generar los diseños en el software *CAD* con la finalidad de encontrar la geometría correcta para su posterior análisis en conjunto, generando así los estudios *CFD* y estructural para todo el elemento aerodinámico.

3.3.3.6. Análisis en software *CAE* (simulación) de los perfiles aerodinámicos

El proceso de software *CAE* es de vital importancia para el correcto diseño y desarrollo de las partes de este alerón ya que permite conocer de mejor manera todas las cargas que se van a generar y aplicar los cambios que sean necesarios para el correcto funcionamiento del sistema en conjunto.

El análisis de software *CAE* se lo realizará en dos partes la primera será un estudio de fluidos dinámico en el cual se simulará una corriente de aire con ayuda del software y el segundo análisis será el estático en el cual se revisará el estado estructural y la resistencia que obtendrá el mismo al aplicar las cargas aerodinámicas a todo el modelo.

- *Condiciones de contorno*

Para realizar estos análisis se deben tomar ciertas condiciones de contorno las cuales permiten una configuración completa del sistema y de esta manera indicar al software cuáles serán las condiciones de simulación del diseño estas condiciones serán la velocidad del vehículo que esta normada por la formula SAE constando en su reglamento la velocidad máxima permitida de 80 a 90 km/h (SAE, 2020).

Otros valores que se toman en cuenta para el desarrollo de la simulación son los valores de presión y temperatura máxima promedio de la ciudad de Riobamba debido a que en esta ciudad se van a realizar las pruebas aerodinámicas del vehículo *FSAE*.

Tabla 16-3: Tabla de condiciones de contorno

DATOS DE ENTRADA: CONDICIONES DE CONTORNO		
Velocidad Máxima	25	m/s
Presión Atmosférica	102300	Pa
Temperatura Máxima	19	°C

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

- *Análisis de los perfiles en software CFD*

Como se mencionó anteriormente se realizaron las simulaciones de cada uno de los perfiles en los cuales se determinó que los más idóneos para el proyecto fueron el perfil GOE 479 como plano principal y el perfil GOE 464 como el perfil tipo flap que tendrá la característica de ser móvil en el conjunto.

Como pasos previos al análisis del conjunto se realizaron ciertas configuraciones que son necesarias para el análisis *CFD* y así se puedan obtener valores fiables que permitan obtener un alerón funcional al momento de iniciar la fase de construcción. Para ello se realizó distintas posiciones del perfil tipo flap tomando en cuenta los datos del trabajo realizado por (Medina, y otros, 2018 pág. 36) en el cual se realiza una variación del ángulo de inclinación del flap en 10 grados a partir de un ángulo inicial de 15°, luego 25°, luego 35°, luego a 45° y por último a 55°.

- *Análisis del conjunto de alerones con variación del ángulo de ataque de 15° a 55°*

Para el análisis en cada una de las configuraciones del ángulo de ataque se procede a realizar las configuraciones pertinentes del perfil flap variando los grados con relación al perfil del plano principal como se muestra en la siguiente figura:



Figura 14-3: Modificación de ángulo de ataque del flap

Fuente: (Medina, y otros, 2018).

De acuerdo con las configuraciones descritas anteriormente para cada uno de los ángulos de ataque del alerón flap se obtienen los valores de fuerza de sustentación, arrastre y su eficiencia aerodinámica los cuales son mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 17-3: Datos de fuerza aerodinámica y coeficientes generados en función del ángulo

ANÁLISIS DE PERFILES Y ÁNGULOS			
Ángulo α	CL	CD	Eficiencia
15°	0,22137	0,021384	10,352
25°	0,34976	0,026383	13,257
35°	0,31276	0,031425	9,952
45°	0,30109	0,044437	6,775
55°	0,45825	0,076235	6,011

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como se puede observar en los datos de la tabla anterior se tomará en cuenta el valor del coeficiente de sustentación mayor para la elección del ángulo de ataque idóneo para la posición cerrada del flap para lo cual el valor α será de 55° con un valor de coeficiente de sustentación (Cl) de 0.45825 y un valor de 6.011 de eficiencia.

- **Análisis de la apertura de ranura entre el flap y plano principal**

Otra configuración para tomar en cuenta en el diseño y funcionamiento correcto del paquete aerodinámico es el tamaño de la ranura que se forma entre el borde de salida del plano principal y el borde de ataque del perfil tipo *flap* para lo cual se varia la posición tanto en el eje X como en el eje Y.



Figura 15-3: Ranura entre el plano principal y flap

Fuente: (Medina, y otros, 2018).

Para esta configuración se toma en cuenta las posiciones descritas en el trabajo correspondiente a (Medina, y otros, 2018 pág. 37), en el cual se comienza a configurar el valor del eje Y del flap con diferentes distancias de 0 a 6 mm en intervalos de 2mm, aplicando una velocidad de 25m/s (90km/h) arrojando los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18-3: Coeficiente de sustentación y arrastre en función al eje Y

CONFIGURACIÓN FLAP EJE Y			
Y	Cl	Cd	Eficiencia
0 mm	0,4682	0,0732	6,3962
2 mm	0,3812	0,0702	5,4302
4 mm	0,1898	0,0312	6,0833
6 mm	0,1995	0,0385	5,1818

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Dentro de los análisis aerodinámicos realizados se puede observar que en la posición Y del *flap* que es igual a 0mm se obtiene un dato de 0.4682 como coeficiente de sustentación por lo que se determina que esta ubicación en el eje Y del perfil tipo flap es idónea para su funcionamiento. Cabe recalcar que estos análisis se los realiza a una velocidad de 25 m/s lo cual es equivalente a una velocidad de 90km/h.

El siguiente punto por calcular es el punto en el eje X el cual será la separación que mantendrá el borde de ataque del perfil *flap* con el borde de salida del perfil principal para ello se procede a variar la posición en X en un intervalo de 0mm a 1mm, para ello se realiza el análisis a una velocidad de 25 m/s lo cual es equivalente a una velocidad de 90km/h.

Tabla 19-3: Coeficiente de sustentación y arrastre en función al eje X

CONFIGURACION FLAP EJE X			
X	Cl	Cd	Eficiencia
0 mm	0,8305	0,1318	6,3012
0,78 mm	0,3522	0,0568	6,2007
1 mm	0,3397	0,0593	5,7285

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

De acuerdo con los valores obtenidos de coeficiente de sustentación calculados con relación a la posición en el eje X del alerón tipo flap se obtiene que en la posición en el eje x = 0mm existe un coeficiente de sustentación de 0.8305 con una eficiencia de 6.3012 siendo este el valor de coeficiente

de sustentación mayor motivo por el cual se elige esa posición para formar parte de las coordenadas de ubicación del perfil *flap* en el vehículo. A continuación, se procede a mostrar los datos de posición idóneos para el perfil tipo *flap* en el conjunto aerodinámico.

Tabla 20-3: Configuración en posición cerrada del *flap*

CONFIGURACION CERRADA DE FLAP			
V (m/s)	α	X (mm)	Y (mm)
25	55°	0	0

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

- Configuración para posición de apertura del alerón

De la misma manera en que se analizó la posición cerrada del alerón *flap* y su ubicación en relación con el borde de salida del alerón principal se analizará la posición abierta del alerón *flap* para lo cual se tomará como base los valores de ángulos descritos anteriormente empezando desde los 55 grados que es la posición cerrada disminuyendo de 10 en 10 grados hasta llegar a un ángulo de 15 grados como mínimo.



Figura 38-3: Variación de ángulo θ (apertura de alerón)

Fuente: (Medina, y otros, 2018).

Para realizar la configuración de la posición del alerón tipo *flap* y lograr así menor carga aerodinámica en rectas se procede a variar el ángulo θ desde los 55 grados de 10 en 10, hasta llegar a un valor de ángulo de 15 grados. Para ello se analizará en que variación de ángulo se obtiene el menor coeficiente de sustentación y su eficiencia.

Tabla 21-3: Configuración en posición cerrada del flap

ANÁLISIS DE PERFILES Y ANGULOS			
Ángulo θ	CL	CD	Eficiencia
45	0,40985	0,0382	10,7290576
35	0,32985	0,03012	10,9511952
25	0,30103	0,028003	10,7499197
15	0,25997	0,01885	13,7915119

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Al obtener los datos se puede evidenciar que el coeficiente de sustentación menor se lo obtiene a los 15 grados, esto se contrasta con la eficiencia que es mayor en esa configuración de ángulo de apertura de flap, haciéndola una posición idónea para la apertura máxima del alerón tipo *flap*.

3.3.3.7. Análisis CFD del paquete aerodinámico

Presión estática

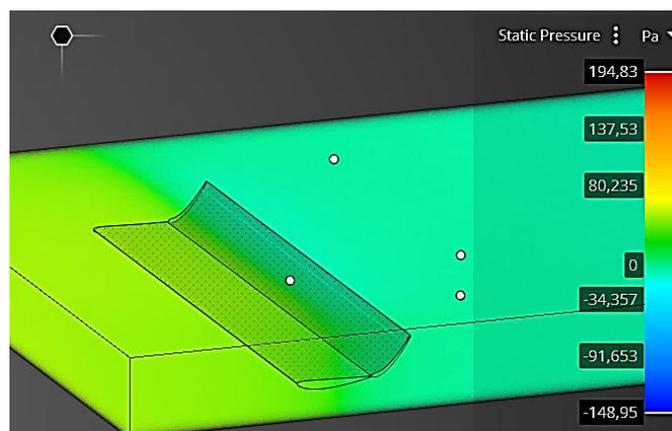


Figura 17-3: Contorno de presión estática

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En la figura 17-3, se puede observar los contornos de presión estática del modelo de alerón, en el cual se puede verificar que la presión es alta en la parte superior del alerón mientras que en la parte inferior al observar la escala de colores se puede concluir que la presión es baja, esto da a entender que el alerón genera cargas hacia el piso.

Presión total

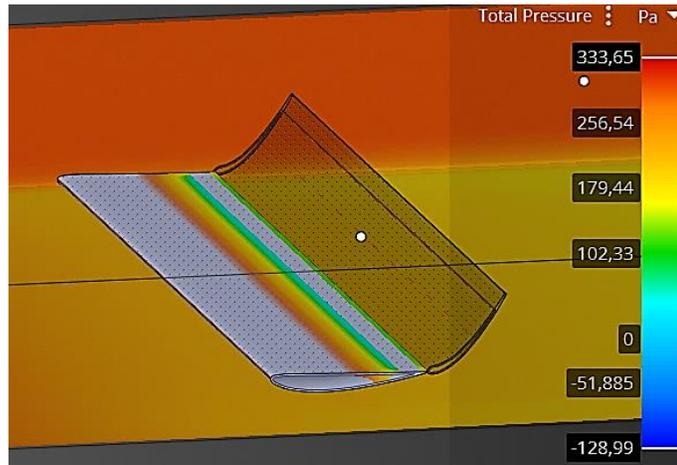


Figura 18-3: Contorno de presión total

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En la figura 18-3, se puede observar la presión que genera el aire en el alerón para lo cual se tienen valores máximos y mínimos, así como comportamientos de acuerdo con la geometría de este. Se puede observar el contorno de presión que tiene un valor de 333.65 Pascales y en la parte inferior se encuentra el valor más bajo de la presión dando un valor de los 102.33 Pascales.

Flujo de velocidad en el alerón

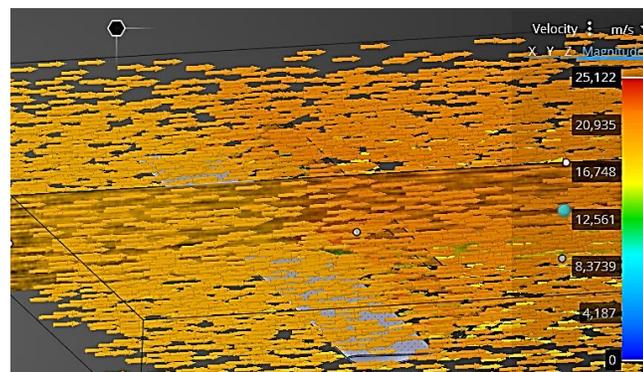


Figura 19-3: Flujo de velocidad en el alerón

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

El flujo de velocidad que se muestra en la figura 19-3, es alto en la parte posterior del alerón lo que nos indica la variación que tiene en el momento que golpea con el alerón provocando así que se eleve la velocidad, esto también demuestra que el alerón obtiene más carga de sustentación.

Análisis estático de cargas en el modelo aerodinámico

Una vez realizados los estudios y configuraciones de posición del paquete aerodinámico calculando los esfuerzos que se generan por las presiones en el modelo se debe realizar el análisis estático estructural del alerón para ello hay que considerar todas las características del material a utilizar con la finalidad de obtener datos lo más cercanos posible a la realidad.

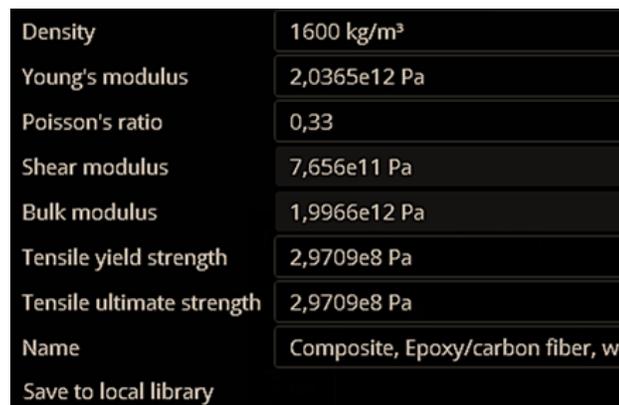
Tabla 22-3: Características de la fibra de carbono

CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE CARBONO		
Densidad	1600	kg/m³
Módulo de Elasticidad	2036.508	GPa
Radio de Poisson	0,33	-
Resistencia a la tracción	297.09	MPa

Fuente: (Tintín, y otros, 2018)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez obtenidos las características de la fibra de carbono se procede a cargar los datos en el módulo de datos del material en el software *CAE*. Estos datos son importantes para que el análisis estático arroje resultados apegados a la realidad.



Density	1600 kg/m ³
Young's modulus	2,0365e12 Pa
Poisson's ratio	0,33
Shear modulus	7,656e11 Pa
Bulk modulus	1,9966e12 Pa
Tensile yield strength	2,9709e8 Pa
Tensile ultimate strength	2,9709e8 Pa
Name	Composite, Epoxy/carbon fiber, w
Save to local library	

Figura 20-3: Datos de fibra de carbono en software CAE

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En todo diseño *CAD* siempre existen condiciones que permiten diseñar con seguridad un elemento para ello es necesario estudiar las cargas que se presentan y calcular un factor de seguridad que permita una construcción fiable del modelo.

Esfuerzo de *Von Mises*

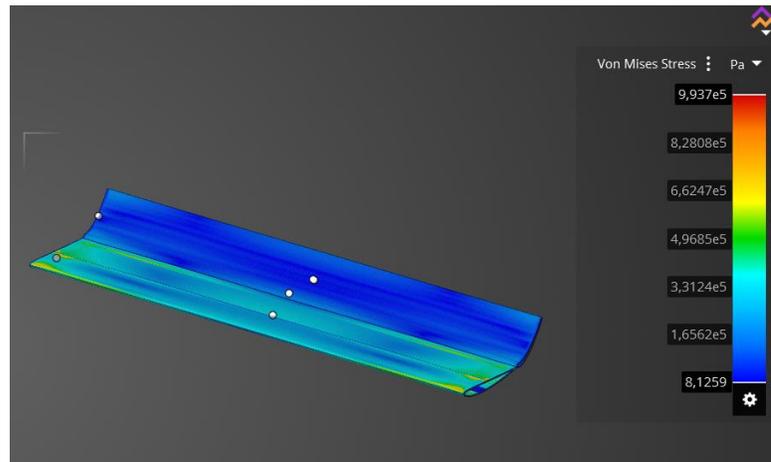


Figura 21-3: Esfuerzo de *Von Mises*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En la figura 21-3, se puede observar el esfuerzo de *Von Mises* en el cual se tienen diferentes datos de acuerdo con la geometría, la mayor parte del modelo tiene un esfuerzo de 1.6562×10^5 Pascales mientras que existen particularidades en el alerón en el cual se notan esfuerzos de 8.2808×10^5 Pascales.

Deformación Principal

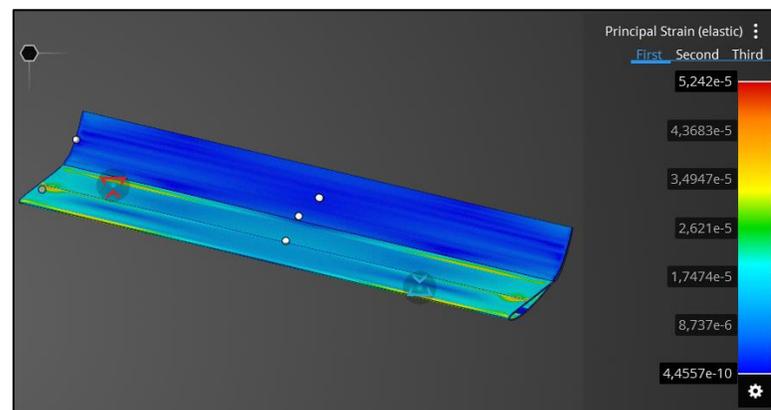


Figura 22-3: Deformación Principal

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Al observar la figura 22-3, de la deformación principal se puede observar que los datos de deformación son bastante bajos lo que da una referencia de que el modelo en fibra de carbono tiene alta resistencia elástica.

Desplazamiento

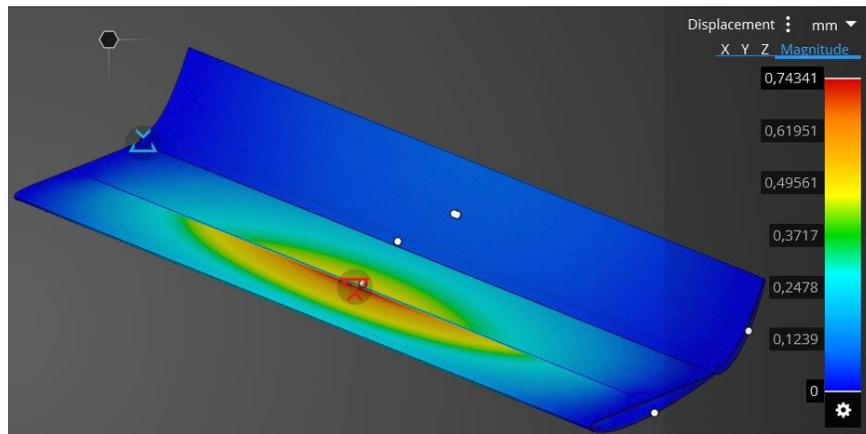


Figura 23-3: Desplazamiento del alerón

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En la figura 23-3, podemos notar los valores de desplazamiento que adquiere el alerón de acuerdo con las cargas distribuidas que se aplican por acción del viento, los datos arrojados por el software de simulación indican que se tiene un desplazamiento máximo de 0.74341 mm y un mínimo de desplazamiento de 0.1239 mm. Estos datos nos dan una idea de que el alerón es resistente a las cargas ya que sus datos de desplazamiento son muy pequeños.

3.3.4. *Proceso de fabricación del alerón*

3.3.4.1. *Selección de materiales*

En la industria ingenieril se utilizan diversos materiales para la construcción de elementos mecánicos de cualquier índole, también se han generado estudios de los materiales compuestos como las fibras ya sea de vidrio o de carbono, siendo esenciales para generar piezas totalmente resistentes y que a su vez gocen de un menor peso lo que les da una gran ventaja frente a los materiales que normalmente se han utilizado como los metales, plásticos, entre otros.

En el prototipo fórmula *SAE* de la carrera de Ingeniería Automotriz se busca implementar el presente proyecto de integración curricular, fabricando un alerón posterior en un material diferente al existente (fibra de cabuya) por lo que se ha tomado en cuenta la fibra de carbono como un material idóneo debido a la cantidad de partes y elementos que poseerá dicho alerón con lo cual se busca mejorar su funcionalidad, además de que se puede lograr un peso similar al anterior sin que este llegue a afectar el rendimiento del motor eléctrico que propulsa al prototipo *FSAE*.

Es por esta razón que se cree conveniente el analizar las tablas de propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales (cabuya) y las fibras compuestas (carbono), con este análisis se podrán verificar cuál de estos dos materiales tienen mejores propiedades con la finalidad de permitir un mejor rendimiento del prototipo. A continuación, se procede a dar una descripción de las fibras de cabuya y carbono para realizar un análisis comparativo entre sus características mecánicas.

- **Fibra de cabuya**

La fibra de cabuya proviene de una planta ecuatoriana que lleva su mismo nombre, la podemos encontrar en el callejón interandino, esta planta crece de forma silvestre pero también puede cultivarse en valles y laderas, la obtención de la fibra se realiza a través de la hoja de cabuya (Avalos, y otros, 2016 pág. 17).

Tabla 23-3: Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales

Fibra	Densidad [g/cm ³]	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	

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como se observa en la tabla anterior, la fibra de cabuya posee una densidad de 1,3 g/cm³, con una resistencia a la tracción de 305,15 MPa, por lo cual lo hace una fibra muy liviana con características de resistencia altas lo que permite su uso en aplicaciones mecánicas.

La fibra de cabuya no solo se comercializa por sus propiedades mecánicas altas sino también por sus características físicas las cuales le dan un gran aspecto visual, haciéndola ideal para aplicaciones agrarias como sogas, bolsas de acarreo y cestos para molino (Avalos, y otros, 2016 pág. 17).

- **Fibras de carbono**

La fibra de carbono como tal, se puede decir que es una serie de filamentos ricos en átomos de carbono que al unirse forman una tela o tejido, el cual da lugar a un material que al combinarse con otros materiales como la resina epoxi permiten fabricar piezas de alta resistencia que se ven por lo general en coches de altas prestaciones (Motor, 2020).



Figura 24-3: Rin fabricado en fibra de carbono

Fuente: (MECANICA, 2019)

La Fibra de Carbono es un material formado por fibras de 50-10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono. Los átomos de carbono están unidos entre sí, en cristales alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra. La alineación de cristal da a la fibra alta resistencia en función del volumen (lo hace fuerte para su tamaño). Gracias a esto existen miles de fibras de carbono que están trenzadas para formar un hilo, lo que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela (MECANICA, 2019).

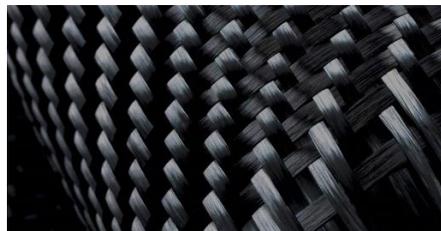


Figura 25-3: Fibra de carbono bidireccional 3K

Fuente: (MECANICA, 2019)

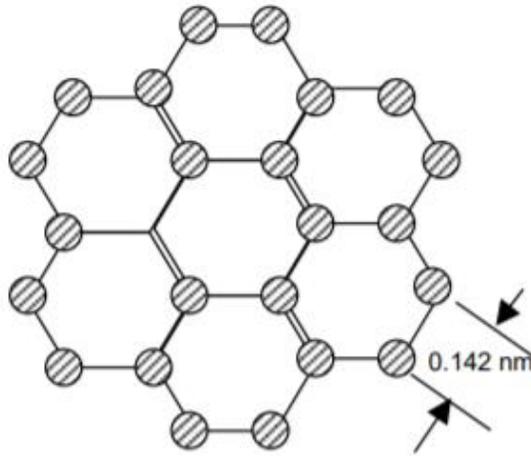


Figura 26-3: Ordenamiento hexagonal de átomos de carbono

Fuente: (MECANICA, 2019)

La fibra de carbono tiene diversas ventajas en relación con las propiedades mecánicas y de resistencia que se pueden aplicar para el desarrollo de un prototipo tales como: la reducción de peso y alta resistencia a las cargas. Al igual que cualquier material utilizado en la industria éste también tiene sus desventajas las cuales pueden ser un precio elevado, el favorecer a la corrosión del tipo galvánico ya que existen diferencias de potencial que provoca al ponerse en contacto con los metales y también puede presentar problemas de adherencia de las resinas que se resuelven con buenos tratamientos superficiales de las fibras (Rojas, 2019).

A continuación, se presentan las tablas de propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se utilizan en ingeniería y diseño mecánico para analizarlas.

Tabla 24-3: Propiedades y precios aproximados de los diferentes materiales y fibras existentes

MATERIAL	PRECIO (\$/KG)	DENSIDAD (G/CC)	E (GPA)	S (GPA)
Acero (Acero 18/8)	0,5 (5,0)	7,8	210	2,8
PVC - no plastificado	0,7	1,3	0,4	0,035
Aluminio	1,3	2,7	70,5	0,045
Vidrio E	1,8	2,54	72	1,5
Latón 70/30	2,2	8,5	100	0,55
Vidrio S	18	2,48	82	3
Carbono HS	30	1,7	200	4 6
Kevlar 49	30	1,5	140	3

Fuente: (Hidalgo, 2010).

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Para este proyecto se ha planteado el utilizar como material principal de construcción la fibra de carbono la cual nos brinda unas propiedades mecánicas muy competentes para el tipo de esfuerzos que se van a generar en las piezas de construcción.

Luego de analizar las características físicas y mecánicas de cada una de estas dos fibras se procede a elegir la fibra de carbono como el material idóneo para generar la construcción del alerón ya que nos permitirá una mayor resistencia y mejorar el peso de la pieza, de esta manera se lograrán mejores resultados debido a que el anterior alerón que se fabricó para este prototipo fue hecho en fibras vegetales de cabuya, este material es también resistente pero genera un mayor peso para el vehículo lo que significaría una pérdida de potencia disponible a las ruedas por parte del motor.

- **Filamento PLA**

El filamento de plástico tipo PLA de ácido poli actico es uno de los más utilizados en la industria de impresión 3D debido a su gran capacidad para manipular y facilidad a la hora de realizar las impresiones.

El PLA es un polímero termoplástico que se obtiene de la fermentación de una fuente de carbohidratos como puede ser el almidón de maíz, para ello el producto natural se muele para separar el almidón del maíz, mezclándolo con el ácido o los monómeros láctidos. Con esta mezcla el almidón se rompe en dextrosa (D-glucosa) o azúcar de maíz. Finalmente, la fermentación de glucosa produce ácido L-láctico el cual forma el componente básico del PLA (Contreras, 2019).

Tabla 25-3: Propiedades y precios aproximados de los diferentes materiales y fibras existentes

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PLA			
Propiedades mecánicas	Impresión 3D	Unidades	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a tracción	2346,5	MPa	ISO 527
Esfuerzo de tracción a la deformación	49,5	MPa	ISO 528
Esfuerzo de tracción a la rotura	45,6	MPa	ISO 529
Alargamiento a la deformación	3,3	%	ISO 530
Alargamiento a la rotura	5,2	%	ISO 531
Resistencia a la flexión	103	MPa	ISO 178
Módulo de flexión	3150	MPa	ISO 178
Dureza	83	Shore D	Durómetro

Fuente: (Ultimaker, 2017).

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

- **Polímero de Metil Metacrilato PMMA (Acrílico)**

El PMMA es un termoplástico transparente que en su estado natural es incoloro, pero mediante un proceso de pigmentación se puede obtener una infinidad de colores. Este material es uno de los termoplásticos ligeros el cual aporta una mayor resistencia mecánica y estabilidad con relación a otros plásticos tales como el PVC, tiene una resistencia a la rotura mucho mayor que la del vidrio con los mismos espesores lo que lo hace ideal para aplicaciones a la intemperie. La densidad de este termoplástico es de 1.19 g/cm³ (lo que lo hace tan ligero) y tiene un punto de fusión alrededor de los 160 °C (Plásticos, 2011).

Tabla 26-3: Tabla propiedades mecánicas del PMMA

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PMMA (ACRÍLICO)			
Propiedad	Norma ASTM	Valor	Unidad
Dureza a la penetración ROCKWELL	D-785	M 100	-
Elongación a rotura	D-638	2	%
Módulo de elasticidad a la tracción	D-638	30000-32000	kg/cm ²
Módulo de flexión	D-790	28600	kg/cm ²
Módulo de resistencia a la compresión	D-695	21420	kg/cm ²
Resistencia a la tracción	D-638	700	kg/cm ²
Resistencia a la flexión	D-790	1020	kg/cm ²
Resistencia a la compresión	D-695	1020	kg/cm ²
Resistencia al cizallamiento	D-732	630	kg/cm ²

Fuente: (Online, 2013).

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.4.2. Elaboración de moldes

Para la elaboración de los moldes es necesario realizar un diseño previo en software *CAD* con la forma y estructura que se le desea dar para tener una idea más clara respecto a las dimensiones que va a tener y la cantidad de material que se va a necesitar. Como el alerón consta de dos perfiles es necesario realizar un molde para cada uno de ellos. Primero se realizará el molde del alerón principal ya que es la base de toda la estructura, por lo que a continuación se detallan las medidas correspondientes en las diferentes vistas.

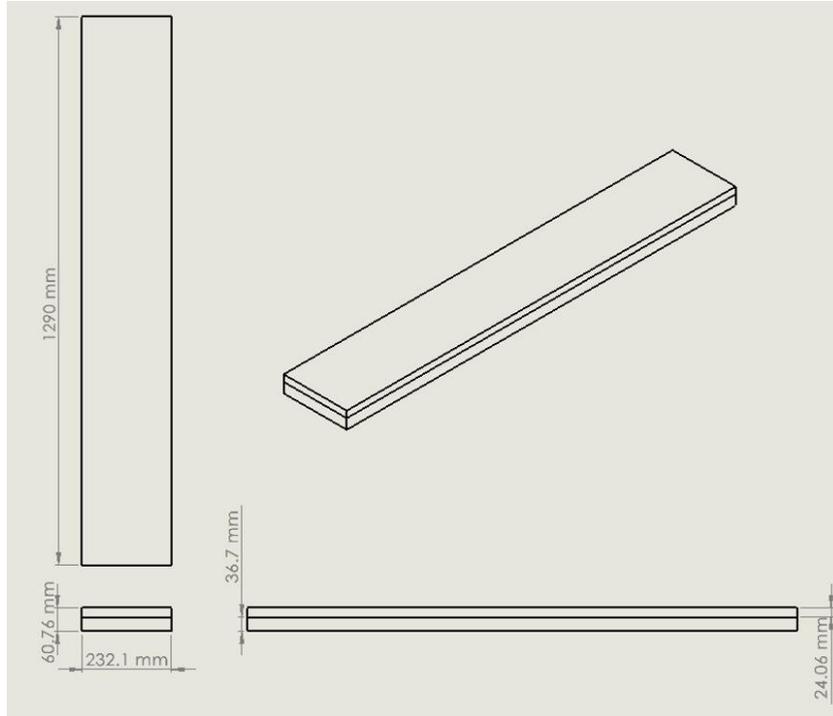


Figura 39-3: Plano del molde correspondiente al alerón principal

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

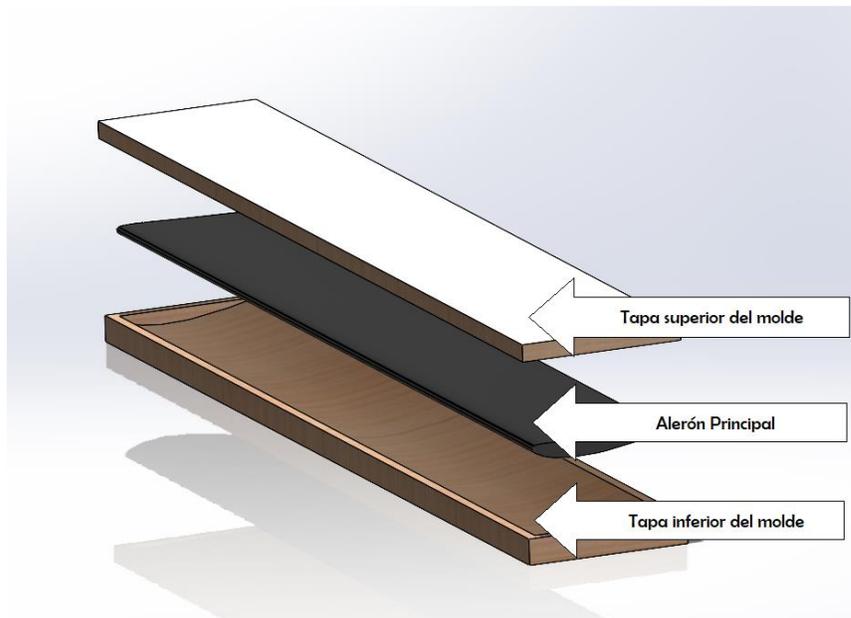


Figura 28-3: Vista explosionada de las diferentes partes del molde (alerón principal)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

De igual forma que con el alerón principal se lo debe realizar con el alerón *flap* y de esta manera poder determinar las dimensiones exactas para la fabricación de los moldes.

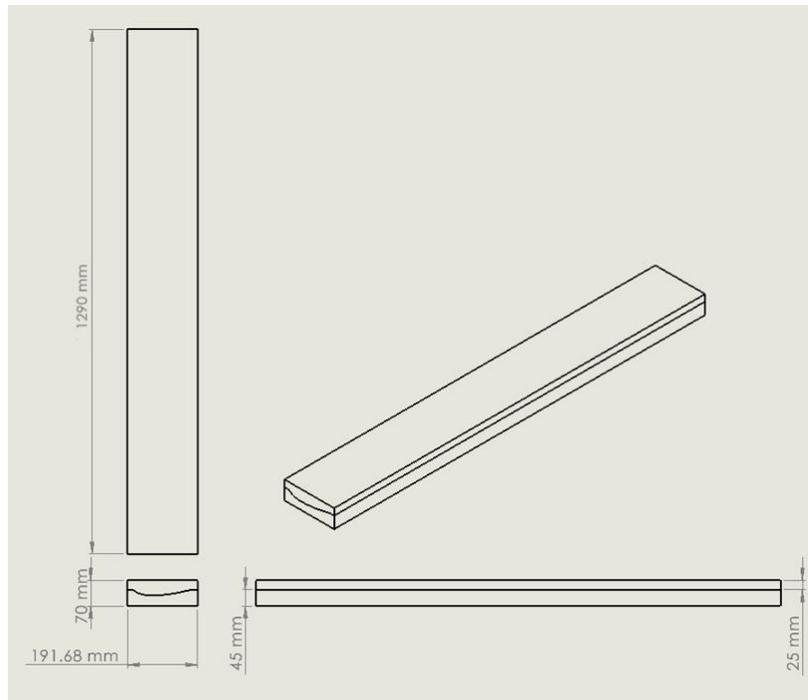


Figura 29-3: Plano del molde correspondiente al alerón *flap*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

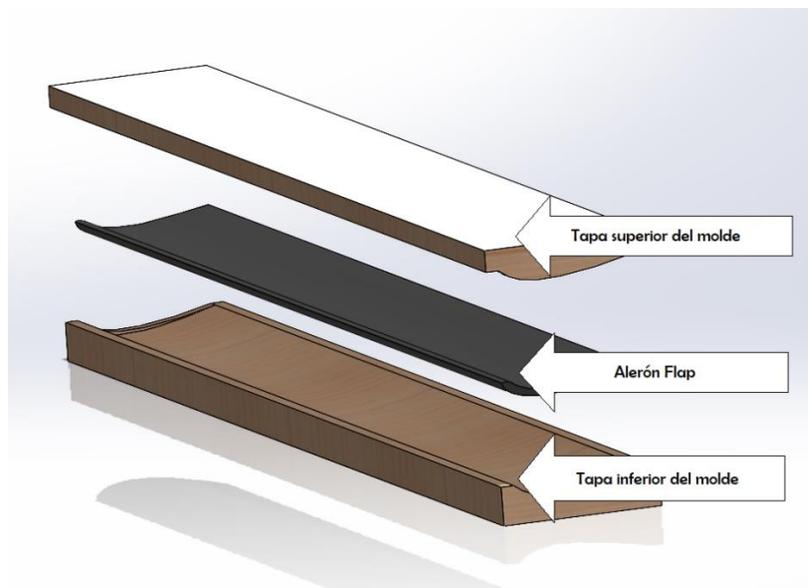


Figura 30-3: Vista explosionada de las diferentes partes del molde (alerón *flap*)

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez determinado las medidas exactas a las cuales van a ser construidos los moldes se debe analizar el material que va a ser utilizado de acuerdo con el costo-beneficio que brinda cada uno de ellos. Entre los posibles materiales y alternativas se tiene:

- Mecanizado CNC en aluminio o madera
- Corte láser en madera del tipo MDF
- Fabricación de los moldes en madera del tipo balsa
- Impresión 3D para cada una de las piezas que formen el molde
- Fabricación de los moldes utilizando fibra de vidrio.

De todas estas posibles alternativas propuestas anteriormente podemos determinar que la más viable por cuestión de costos y facilidad de manejo es el uso de corte láser en conjunto con la madera del tipo MDF, realizando cortes del perfil de cada uno de los moldes a utilizar y posterior a ello unirlos con pegamento.

Para trabajar con una máquina de corte laser se debe conocer las características que esta posee para que la pieza quede cortada de manera prolija. Por lo que después de investigar se determinó que la madera de MDF debe poseer un espesor de 3 mm ya que si se corta de un grosor mayor la máquina no realizaría un corte limpio.

Una vez establecido el grosor en el cual vamos a trabajar se debe calcular la cantidad de piezas a cortar y esto se lo realiza dividiendo el largo del molde por el grosor del material a utilizar dando como resultado un valor de 420 piezas como se lo detalla a continuación:

$$\mathbf{N^\circ \text{ de piezas: } \frac{\text{Largo del molde}}{\text{Grosor del material}}} \quad (18)$$

$$\mathbf{N^\circ \text{ de piezas: } \frac{1290}{3}}$$

$$\mathbf{N^\circ \text{ de piezas: } 420}$$

Como se puede observar el proceso de corte láser se lo realiza seccionando la plancha de madera para que pueda entrar en la máquina, siendo un tamaño de 120 x 100 cm el ideal.



Figura 31-3: Proceso de corte en la maquina laser

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 32-3: Piezas cortadas en la maquina laser

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez cortadas todas las piezas que conforman el molde se procede a unir las de tal manera que se cree una extrusión hasta formar la pieza completa. Para ello se utiliza pegamento de madera el cual permitirá que las piezas se unan firmemente y así lograr el molde que se necesita para la fabricación en fibra de carbono.

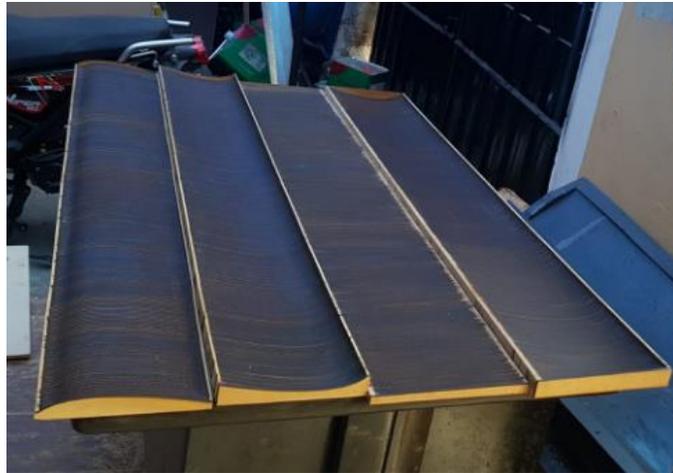


Figura 33-3: Moldes creados a partir de la unión de las piezas cortadas

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como se puede observar en la figura 65-3 los moldes realizados tienen algunas imperfecciones. Para corregir dichos detalles se lija con la finalidad de eliminar al máximo todas las fallas existentes de tal forma que la pieza quede lisa y pulcra para evitar deformaciones e imperfecciones al momento de fabricar la pieza en fibra de carbono.



Figura 34-3: Proceso de lijado en cada uno de los moldes

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Por último y para tener un mejor acabado y protección ante posibles compuestos químicos que serán utilizados en el proceso de fabricación de los alerones se aplicó una capa de laca.



Figura 35-3: Moldes terminados

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.4.3. *Proceso de fabricación en fibra de carbono*

Una vez culminada la fabricación de los moldes se procede a fabricar las piezas del alerón en fibra de carbono, para ello existe dos técnicas las cuales son: proceso de vacío y proceso de laminado.

En el proceso de laminado es una de las técnicas más comunes para fabricar piezas ya que supone solo del uso de resina y fibra de carbono, muy similar a la técnica utilizada para laminar en fibra de vidrio. Por otra parte, el proceso de vacío implica el uso de más equipos y materiales como lo son: bomba, manta de absorción, *Peel Ply*, bolsa de vacío entre otros.

Se comparo los beneficios y desventajas que brinda cada proceso, donde se puede rescatar que en el proceso de laminado es mucho más rápido y económico, con la desventaja que las piezas fabricadas no toman la geometría correcta, sus acabados son rústicos y su peso aumenta debido a que toda la resina se mantiene. A diferencia del proceso de vacío el cual brinda acabados detallados, la pieza es más limpia y el peso es menor debido a que el excedente de resina se extrae y no forma parte de esta.

Por las razones descritas anteriormente se decide aplicar el proceso de vacío para la fabricación del alerón, ya que se busca disminuir el peso y que sus acabados sean finos.

En este proceso se llevan a cabo diferentes pasos en un orden específico el cual permite que las piezas se fabriquen correctamente y así evitar cualquier tipo de fallas en la fabricación, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

En primer lugar, se debe ubicar todos los elementos de seguridad personal como son mascarilla, guantes de protección, gafas de protección y un mandil.

Luego se debe purificar las piezas de tal manera que no tengan restos de grasa o suciedad.



Figura 36-3: Purificación de los moldes

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

A continuación, se debe aplicar capas de cera desmoldante y alcohol polivinílico en la superficie de los moldes generando una capa protectora que permita desmoldar las piezas cuando ya estén realizadas.



Figura 37-3: Aplicación de cera desmoldante

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez realizadas estas actividades se procede a medir y cortar la cantidad de fibra de carbono que se va a utilizar para así evitar desperdicios.



Figura 38-3: Medición y corte de la fibra de carbono

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

También se debe preparar los materiales para el proceso de vacío como son el Peel Ply, Manta de absorción, Bolsa de vacío, Papel Film de respiración y la cinta del tipo butilo que servirá para el cierre hermético de la bolsa de vacío.

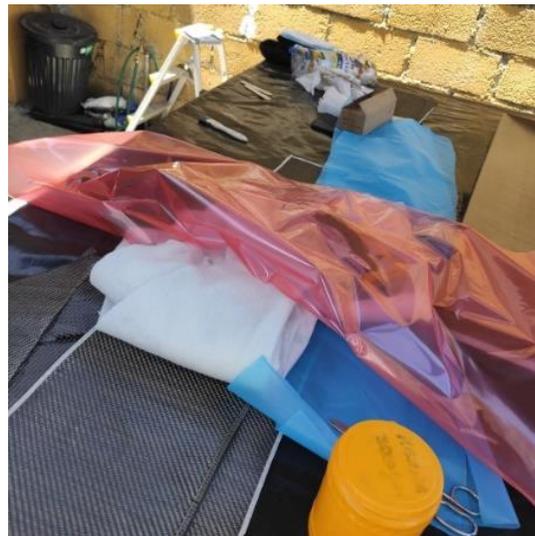


Figura 39-3: Preparación de materiales

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Luego se procede a realizar la mezcla de resina epoxi y catalizador en las proporciones (por cada 100 g de resina 40 g de catalizador) la cual ayudará a que el material de fibra de carbono se compacte y endurezca formando un solo elemento.



Figura 40-3: Preparación de la resina

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 41-3: Mezcla de la resina y catalizador

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

A continuación, se ubica la primera capa de fibra en conjunto con la resina en el molde posicionándolo correctamente con la finalidad que cubra toda la geometría.



Figura 42-3: Colocación de resina y fibra en el molde

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Sin dejar secar la resina colocada anteriormente se procede a ubicar las siguientes capas de fibra de carbono con su respectiva mezcla de resina y catalizador. Las siguientes capas de fibra deben llevar una inclinación de 45 grados respecto de la anterior para mejorar su resistencia mecánica. Repetir este procedimiento para las distintas capas de fibra que se van a aplicar en la fabricación de la pieza.



Figura 43-3: Aplicación de capas de fibra de carbono

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez colocada todas las capas de fibra de carbono se procede a ubicar los diferentes materiales para el proceso de vacío. El primer material para ubicar luego del proceso de laminado es el material tipo *Peel Ply* el cual nos permitirá liberar la resina sobrante en el proceso.



Figura 44-3: Aplicación del *Peel Ply*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Después del *Peel Ply* se utiliza el Film de sangrado el cual permitirá a la resina saliente liberarse, este *film* permite que la resina sobrante salga al exterior, pero no permite el reingreso de la misma evitando que forme parte de la pieza.



Figura 45-3: Aplicación de Film de sangrado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

El siguiente material para utilizar será la manta de absorción, esta absorbe toda la resina liberada por los materiales anteriores y realizar el proceso de secado dentro de la misma.



Figura 46-3: Aplicación de manta de absorción

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como siguiente paso se realizará la técnica de vacío para lo cual se ubica el molde con los componentes dentro de la bolsa, adicional a esto se coloca la válvula de absorción de aire en el centro del molde tomando en cuenta que debe estar sellada herméticamente para lo cual se utiliza la cinta de butilo evitando fugas de aire y pérdidas de vacío.



Figura 47-3: Aplicación de la bolsa de vacío

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez realizado el paso anterior se procede a conectar la válvula de vacío a la bomba, esta permite eliminar el aire interno y obtener un vacío completo dentro de la bolsa lo cual ayuda a que todos los materiales se compacten y las piezas tengan un mejor acabado.



Figura 48-3: Conexión de la válvula de vacío a la bomba

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Se procede a dejar que la pieza seque a temperatura ambiente durante unas 12 a 18 horas con la finalidad de que tomen la dureza correspondiente y la forma deseada (Es importante evitar que no se escape el vacío de la pieza).



Figura 49-3: Proceso de secado de las piezas

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez pasado el tiempo prudente para el secado de la pieza se procede a desprender cada uno de los materiales utilizados en el proceso de vacío con la finalidad de obtener la pieza fabricada en fibra de carbono.



Figura 50-3: Desprendimiento de materiales de cada molde

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Ya obtenidas las piezas finales en fibra de carbono se procede a unirlos para ello es necesario colocar una estructura interna en cada uno de los alerones, con la finalidad de que se mejore la resistencia a las cargas a las cuales va a estar sometido cada uno de ellos.

Para el alerón principal se realizó la siguiente estructura interna tomando en cuenta que este perfil tiene que estar anclado a las bases que se soportan en el chasis del prototipo FSAE además de que debe contener todas las conexiones eléctricas que conforman el sistema DRS y su recubrimiento.



Figura 51-3: Estructura interna del alerón principal

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Para el alerón Flap se realizó de la misma forma una estructura interna que permita soportar las cargas y ayude al movimiento que se genere a través del motor para variar su posición.



Figura 52-3: Estructura interna del alerón flap

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como último paso de la fabricación de los alerones se ensambló cada una de las partes que la conforman obteniendo así una pieza compacta y funcional.



Figura 53-3: Estructura interna del alerón *flap*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.4.4. Proceso de fabricación de los Endplates

Para la fabricación de los *endplates* es necesario realizar el diseño en software *CAD* para lo cual se tomó en cuenta como base el diseño de *endplates* propuestos por (Avalos, y otros, 2016), también se tomó en cuenta las recomendaciones descritas en la normativa de la *FSAE* en la cual reza que los laterales o *endplates* se deben diseñar con un redondeo en sus filos debido a que este elemento es externo y puede entrar en contacto con las personas ocasionando lesiones (SAE, 2020).

Además de lo mencionado anteriormente se debe tomar en consideración ciertas dimensiones de los alerones creados (cuerda y tamaño) con la finalidad de que el *endplate* soporte por completo todo el arreglo aerodinámico y sus características de movimiento que poseerá.

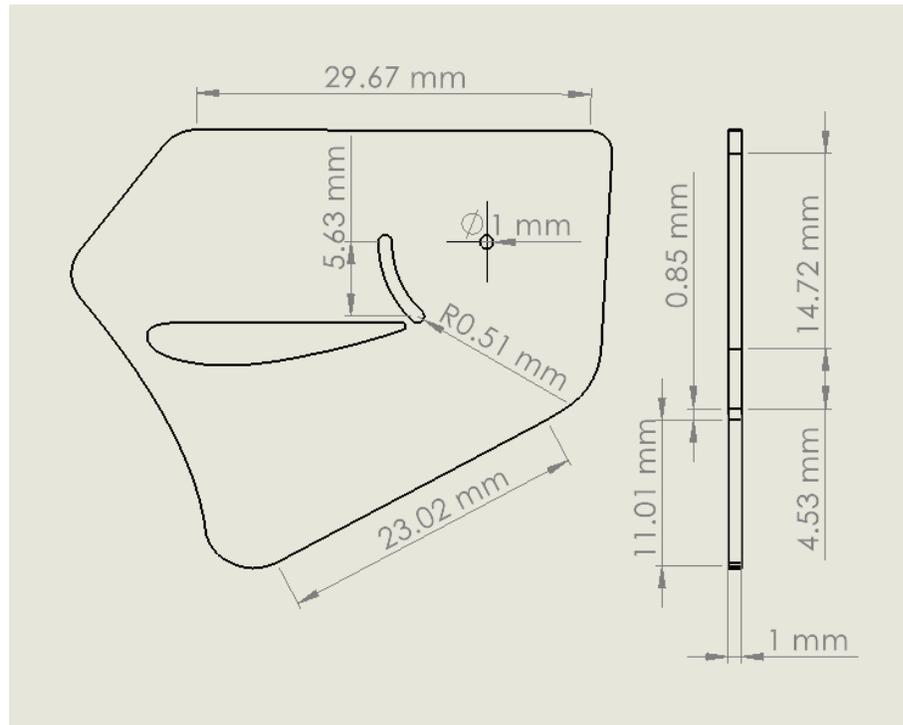


Figura 54-3: Dimensionamiento de los *endplates*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

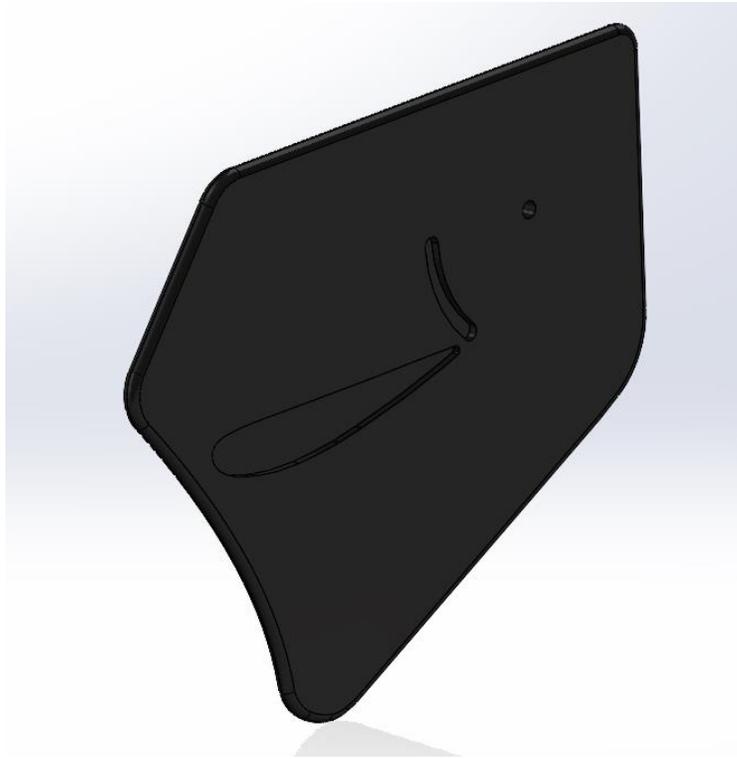


Figura 55-3: Diseño final de los *endplates*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Lo más importante a tomar en cuenta para el diseño de los *endplates* es saber la posición exacta donde estarán ubicados cada uno de los perfiles, ya que si estos no encajan correctamente en su lugar la funcionalidad de cada uno de ellos se vería afectada haciendo que el sistema DRS falle y no cumpla con su objetivo.

Como podemos observar en la Figura 79-3 se está cumpliendo con todas las condiciones mencionadas anteriormente por lo que se procedería a fabricarlo. Para ello vamos a hacer uso de planchas de acrílico ya que como se mencionó en la sección de elección de materiales, este material al poseer gran resistencia a las cargas y un peso mínimo en comparación con otros materiales es el más idóneo para utilizarlo en el *Endplate*.

Después de haber analizado cada una de estas condiciones y tener un diseño previo de las medidas a las cuales se va a trabar, se procede a realizar el corte laser del acrílico.



Figura 56-3: Corte laser de los *endplates*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como el acrílico es transparente y no quedaría a juego con las demás partes del alerón se optó por pintarlas con el proceso de hidro pintura ya que dicho proceso, permite no solo pintarlos de un color en particular, sino texturizar la pieza para que parezca un elemento de fibra de carbono.

Para pintar los *endplates* primero se debe dar un fondo ya que esto permitirá que la pintura pueda adherirse de mejor manera y el diseño tenga un acabado prolijo.



Figura 57-3: Preparación de los *endplates* previos a ser pintados

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Por último, se procede a pintar con el texturizado en fibra de carbono mediante la técnica de hidro pintura dando un recubrimiento de protección y unos acabados más finos.



Figura 58-3: *Endplate* terminado y pintado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.4.5. *Proceso de fabricación de Sistema DRS*

Para la fabricación del sistema DRS se tomó en cuenta las diferentes partes que lo conforman, siendo estas: Mecanismo de movimiento, Sistema eléctrico y electrónico y Carcasa.

- Mecanismo de movimiento

Para construir el mecanismo se tomó en consideración las diferentes configuraciones que se le pueden dar, siendo el mecanismo *Pod Pull* el que brindaba mejores prestaciones en cuanto a funcionalidad e interferencia aerodinámica, cabe recalcar que este mecanismo de movimiento está diseñado para el uso con un actuador lineal neumático. Debido a que se optó por utilizar un actuador eléctrico para generar el movimiento del alerón flap se debieron realizar algunas adaptaciones ya que el motor que se usó generaba un movimiento giratorio siendo necesario adaptar una configuración de biela-manivela que permita dar un giro limitado para realizar la apertura del alerón *flap* y generar el mismo movimiento, pero en sentido contrario para el cierre de este.

Antes de construir el mecanismo se diseñó en software *CAD* para comprobar que cumplan con su función, además de saber las medidas a las cuales deben ser fábricas.

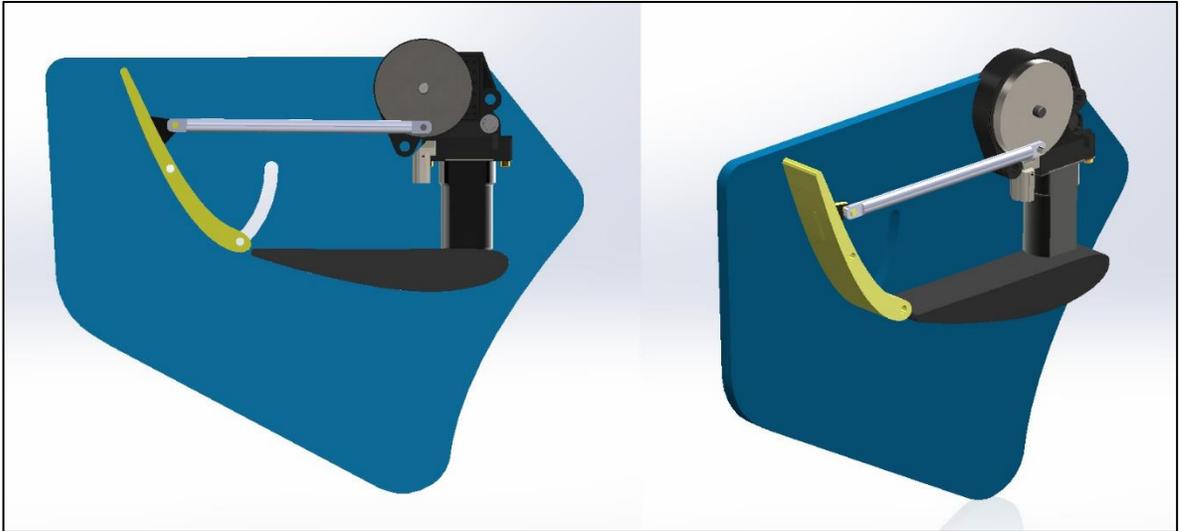


Figura 59-3: Mecanismo DRS en posición cerrada

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

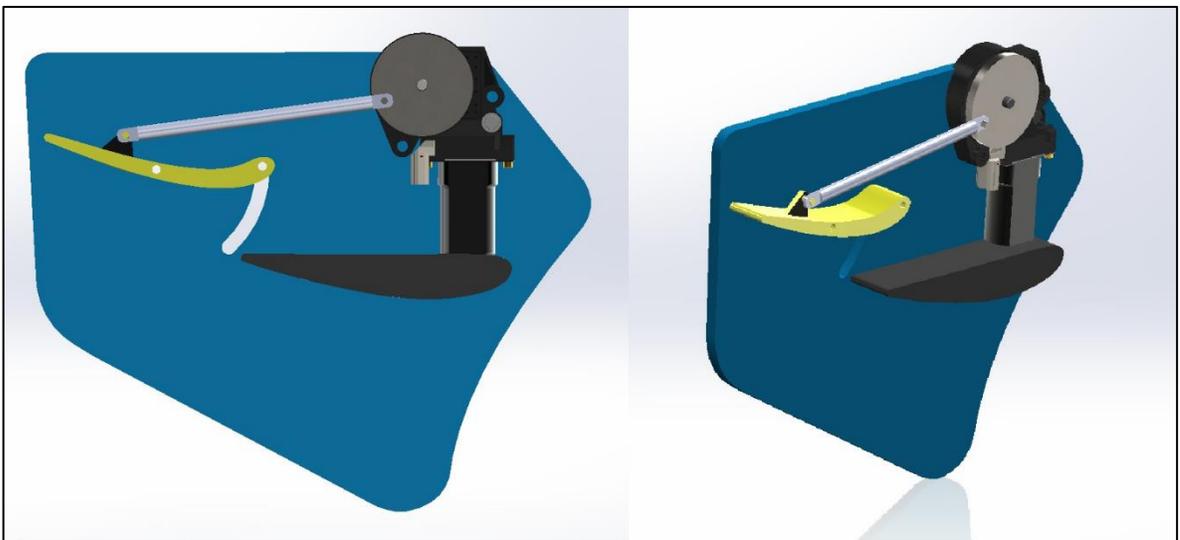


Figura 60-3: Mecanismo *DRS* en posición Abierta

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En relación con los diseños del mecanismo se pudo determinar las posiciones donde va a iniciar y terminar el movimiento para restringir el giro del motor y definir la ubicación de los finales de carrera que actuaran como puntos limitantes.

- Sistema eléctrico y electrónico

Con la finalidad de generar movimiento en el alerón *flap* se creó un sistema de control mediante la placa Arduino el cual va a ser comandado por varios pulsadores que darán una señal de activación y desactivación del mecanismo eléctrico y un punto de parada para cada movimiento. Además, se utilizó un puente H controlador de motor, un motor eléctrico, dos pulsadores, tres finales de carrera y un foco led.

Para que el sistema sea alimentado se tomó de la línea de convertidor de voltaje la salida de 12 volts el cual se conecta hacia el puente H, este puente genera dos salidas de voltaje (5V y 12V), Gracias a esto se logra alimentar la placa Arduino con 5V mientras que el motor eléctrico se conecta a la salida de 12V. Los pulsadores y finales de carrera van a ser conectados al Arduino al igual que el foco led. Los finales de carrera actúan como sensores para determinar el accionamiento del pedal del freno por parte del piloto como para detener el giro del motor eléctrico. Mientras que un pulsador tiene la función de activar el sistema DRS, el otro cumple la función de desactivador de emergencia. Por último, el foco led se instaló para conocer el estado del sistema, encendido cuando está abierto y apagado cuando está cerrado.

Se realizó un esquema en donde se determina la posición de cada uno de los componentes y su funcionalidad.

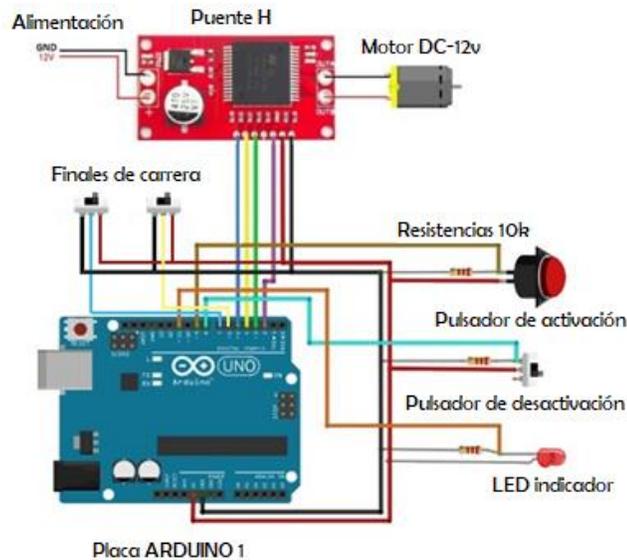
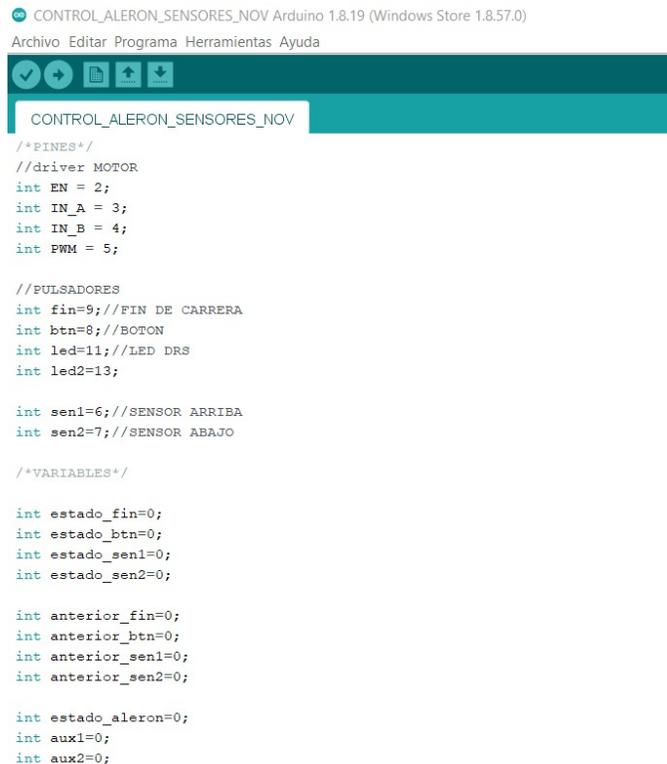


Figura 61-3: Esquema del circuito eléctrico del DRS

Realizado por: Guamantaquí, J.; Granda, C. 2021

En el esquema se puede observar los elementos que componen el sistema eléctrico del variador de posición del alerón, para lo cual tiene una alimentación de 12v hacia el Puente H quien a su vez envía 5v al Arduino y 12 v directos al motor eléctrico, en el Arduino se observa la conexión de un pulsador y tres finales de carrera. El pulsador tiene la función de activar el motor eléctrico haciendo que el alerón se abra es aquí donde entra en juego un final de carrera que actúa como un cortador de voltaje para que el motor se mantenga en su posición final, el led indicador se encenderá para informar de manera visual al piloto de que el sistema variador de posición del alerón se encuentra abierto. Por otro lado, el pulsador de desactivación se ubica en el pedal de freno el cual al ser accionado por el piloto envía una señal para que el motor eléctrico gire al contrario de la activación con la finalidad de llevar el alerón a su posición cerrada al igual que en el pulsador de activación existe otro final de carrera que detiene el giro del motor haciendo que este se mantenga cerrado, el led indicador se apagará para informar que el sistema variador de posición del alerón está cerrado. Para lograr este movimiento se configuro las señales de cada pulsador mediante programación para que generen una respuesta inmediata logrando así el control de giro del motor. La programación se la realizó a través del software propio de Arduino



```
CONTROL_ALERON_SENSORES_NOV Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

CONTROL_ALERON_SENSORES_NOV
/*PINES*/
//driver MOTOR
int EN = 2;
int IN_A = 3;
int IN_B = 4;
int PWM = 5;

//PULSADORES
int fin=9;//FIN DE CARRERA
int btn=8;//BOTON
int led=11;//LED DRS
int led2=13;

int sen1=6;//SENSOR ARRIBA
int sen2=7;//SENSOR ABAJO

/*VARIABLES*/

int estado_fin=0;
int estado_btn=0;
int estado_sen1=0;
int estado_sen2=0;

int anterior_fin=0;
int anterior_btn=0;
int anterior_sen1=0;
int anterior_sen2=0;

int estado_aleron=0;
int aux1=0;
int aux2=0;
```

Figura 62-3: Programación del circuito eléctrico en Arduino

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

- Carcasa

Es necesario tener un recubrimiento del mecanismo variador de posición del alerón con la finalidad de protegerlo en climas adversos y evitar daños por el uso en altas velocidades. Para lo cual se realizó un elemento tipo carcasa que contenga todo el sistema en su interior, para ello se decidió tomar en cuenta los diseños realizados en la Fórmula 1 con la finalidad de generar un diseño que vaya a la par con el paquete aerodinámico construido.

Para lograr el diseño de la carcasa se tomó en cuenta las dimensiones del motor eléctrico, el movimiento que se genera para abrir y cerrar el *flap* y el tamaño de los elementos que conforman el mecanismo de biela manivela. En base a las condiciones descritas se procede a diseñar el modelo en software *CAD* tomando en cuenta la forma aerodinámica y contrayéndolo en dos partes que luego se unen para mantener cerrado el conjunto.

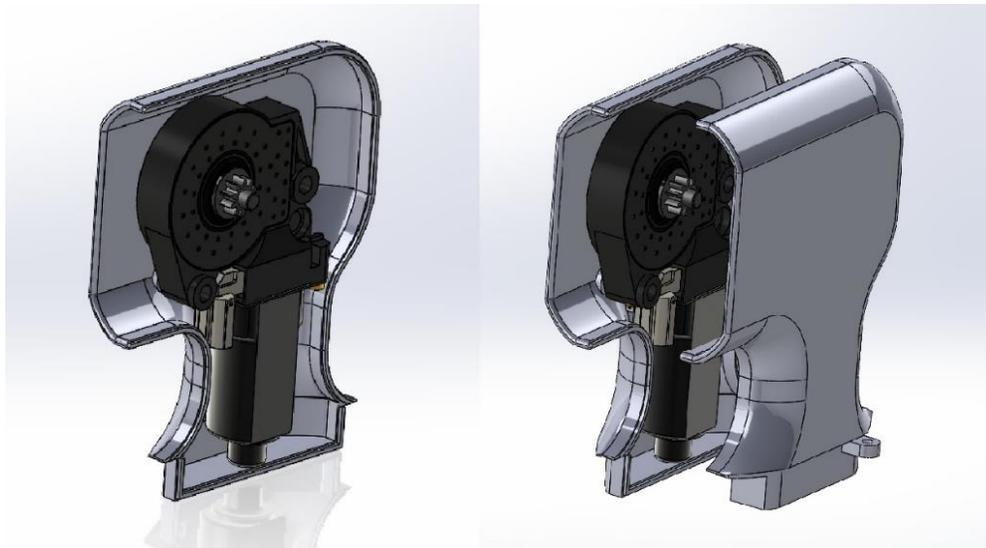


Figura 63-3: Cubierta del mecanismo *DRS*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Una vez realizado el diseño se procedió a la fabricación de dicho elemento para ello se empleó la técnica de impresión 3D obteniendo así una carcasa resistente y con un diseño aerodinámico acorde a la geometría y funcionalidad de todo el conjunto.

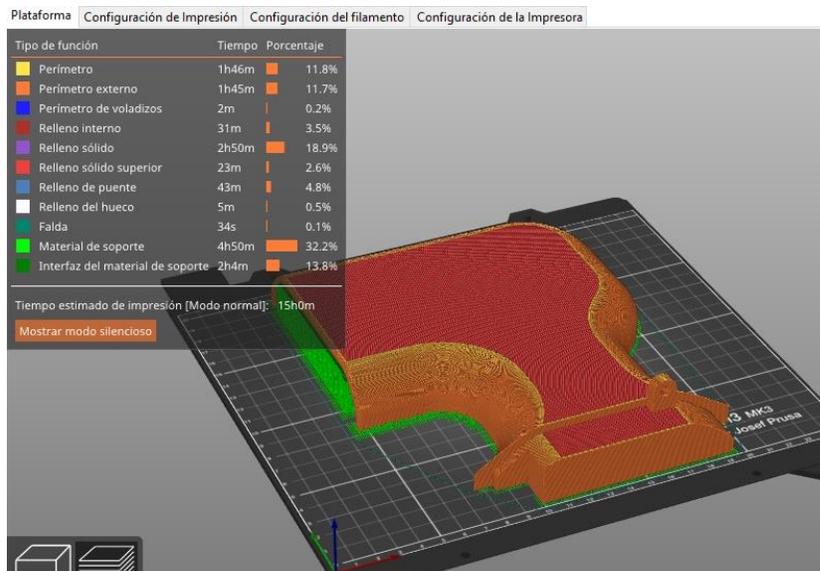


Figura 64-3: Post - procesado en software de impresión 3D

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 65-3: Impresión 3D de la carcasa del DRS

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

3.3.4.6. *Presentación final*

- Alerón con sistema DRS

Una vez realizado todos los procesos descritos anteriormente se ensamblaron las distintas partes que componen el paquete aerodinámico y se dio un acabado en pintura automotriz y barniz obteniendo así el prototipo final, que se instaló en prototipo *FSAE*.



Figura 66-3: Proceso de pintura de los alerones

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 67-3: Alerón final

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 68-3: Prototipo SAE con alerón

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

- Prototipo *FSAE* con alerón *DRS* a escala

Para la fabricación del prototipo *FSAE* a escala se partió del diseño *CAD* del vehículo en medidas reales y se procedió a escalarlo tomando en cuenta las características del túnel de viento de la carrera la cual se verificó que la escala más idónea es de 1:10. Con estos datos se realizó el escalado en el software *CAD* simplificando cada una de sus partes para evitar inconvenientes al momento de la impresión.



Figura 69-3: Escalado 1:10 del prototipo SAE con sistema *DRS*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

A partir de los diseños ya escalados, se procedió a imprimirlo por partes ya que evitaría complicación en el post - procesado del prototipo, para ello se generaron los archivos de impresión con una extensión compatible para la impresión 3D.

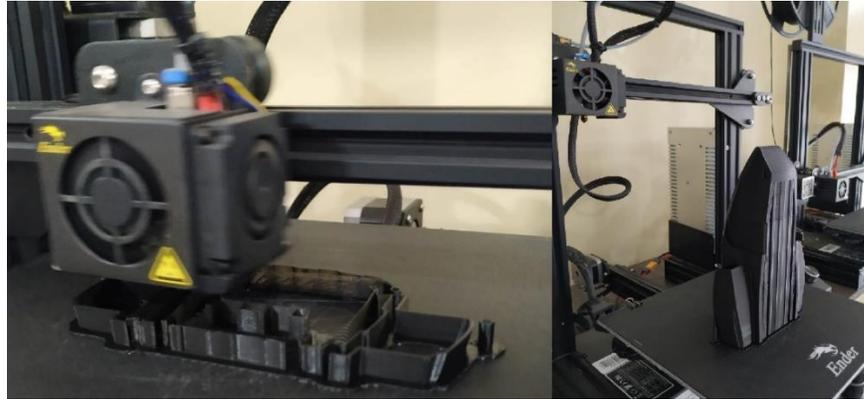


Figura 70-3: Impresión del prototipo SAE con sistema DRS

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

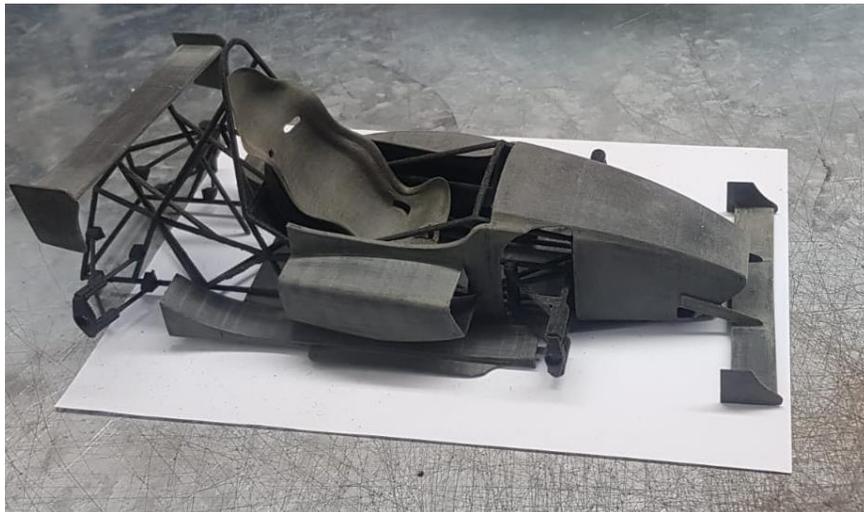


Figura 71-3: Impresión completa del prototipo SAE con sistema *DRS*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Obtenidas todas las partes de la impresión se procedió a realizar un acabado fino con la finalidad de que en las pruebas a realizarse en el modelo no existan interferencias o factores mínimos que afectes a los resultados.



Figura 72-3: Impresión completa del prototipo SAE con sistema DRS

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 73-3: Resultado final del prototipo SAE con sistema DRS escalado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

- Proceso de pruebas en el túnel de viento con el modelo a escala

Para realizar las pruebas en el túnel de viento se ingresó el vehículo a la cámara de ensayo ubicándolo firmemente en la base de pruebas.



Figura 74-3: Túnel de viento de la carrera de ingeniería automotriz

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 75-3: Modelo a escala en el túnel de viento

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

A continuación, se realizó la configuración del módulo de datos, se encendió el motor succionador de aire y se estabilizó los valores en el módulo. De esta manera se fue variando la velocidad de giro del motor. Aspirando así el aire necesario para que el sensor marque la velocidad en el túnel y de esta forma los medidores en X y Y arrojen los resultados correspondientes a las velocidades configuradas.



Figura 76-3: Módulo de control del túnel de viento

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Obteniendo así los diferentes resultados de las pruebas realizadas, cabe recalcar que los datos arrojados por el módulo son de fuerza tanto en el eje x como en el eje, siendo importantes para el cálculo de los coeficientes aerodinámicos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Mecanismo de movimiento del Sistema *DRS*

En base a los diseños ya realizados en software *CAD* y la creación de los mismo se realizó las pruebas pertinentes de movimiento en conjunto con el alerón.



Figura 40-4: Activación del sistema *DRS* a través de botón de encendido

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como se observa en la figura 1-4, se realizó la prueba de funcionamiento del mecanismo *DRS* instalado en el vehículo donde el sistema se activa a través de la pulsación del botón de encendido (pulsador rojo), variando la posición de alerón flap pasando de cerrada a abierta.



Figura 2-4: Desactivación del sistema *DRS* a través del pedal y el botón de emergencia

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Para el movimiento contrario al de activación se tiene dos formas de realizarlo, el primero es utilizando el pedal de freno que al presionarlo envía una señal para que el alerón se cierre tal como se muestra en la figura 110-4. La segunda forma para la desactivación del alerón flap es mediante la pulsación del pulsador de emergencia que se ubica en el tablero de formula *SAE* (pulsador negro).

4.2. Obtención de pesos (Alerón de cabuya vs Alerón con *DRS*)

La diferencia de pesos entre uno y otro elemento es de vital importancia en el rendimiento de un sistema, debido a esto se realizaron las mediciones correspondientes de peso de cada uno de los alerones arrojando los siguientes datos:



Figura 3-4: Medición de peso del alerón cabuya

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021



Figura 4-4: Medición de peso del alerón con sistema *DRS*

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Para el alerón en fibra de cabuya se obtuvo un peso en kilos de 8.1 con todo y bases, mientras que para el alerón en fibra de carbono son sistema *DRS* y bases se obtuvo un peso de 8.7 kilos.

4.3. Simulación y pruebas

4.3.1. *Peso de los alerones*

Con base en las mediciones realizadas en una balanza para los dos alerones se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono *DRS* abierto

COMPARATIVA DE PESOS			
Alerones	Fibra de Cabuya	Fibra de Carbono	Unidades
Peso	8,1	8,7	Kg

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Al observar la tabla de pesos, se puede definir que el alerón con fibra de cabuya es un poco más liviano con 8.1 kg de masa mientras que el alerón con fibra de carbono y sistema *DRS* tiene un peso de 8.7 kg si bien es cierto se buscaba disminuir el peso esto no se pudo lograr debido a que el alerón en fibra de cabuya tiene una configuración más simple mientras que el alerón en fibra de carbono contiene mecanismos, un actuador eléctrico, se compone de 2 alerones y sus laterales lo cual al ser una mayor cantidad de elementos aumentarán el peso del mismo. Como conclusión se puede definir que el alerón en fibra de carbono aporta mejoras al prototipo ya que al pesar 0.6 kg más que el alerón anterior se nota mejoras a nivel de funcionalidad y aporte aerodinámico.

4.3.2. *Simulación*

4.3.2.1. *Alerón en fibra de cabuya*

Velocidad

En los contornos de velocidad podemos observar que existen tres zonas de baja velocidad en la sección posterior del prototipo, esto se debe a elementos como el asiento que hace interferencia en el

flujo de aire y genera una zona de vacío, las llantas generan un efecto de dispersión del aire lo cual genera que el flujo de aire se desvíe mayormente tanto a la derecha como izquierda del modelo.

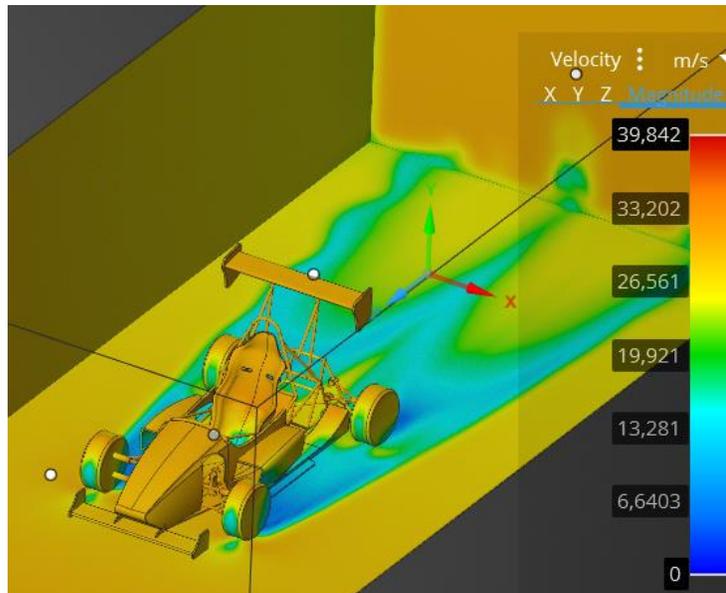


Figura 5-4: Velocidad del alerón en fibra de cabuya

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

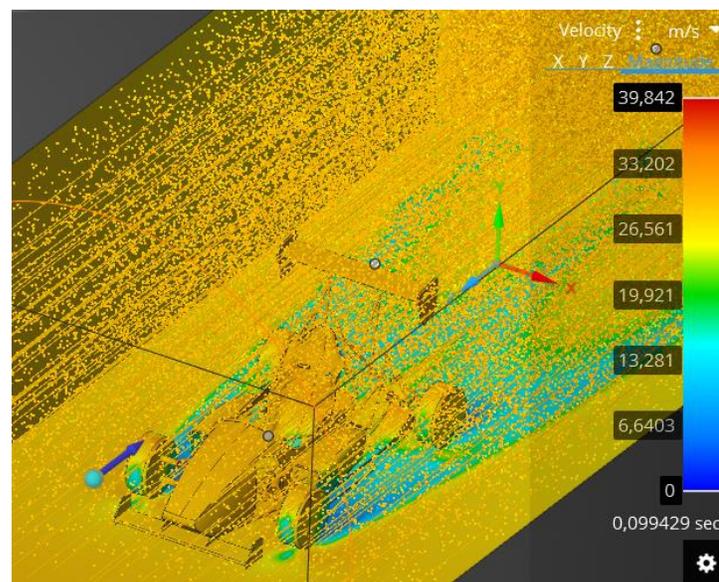


Figura 6-4: Flujo de velocidad del alerón en fibra de cabuya

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Presión estática

En la figura 7-4, se puede observar la presión estática que se genera por el flujo de fluidos en la superficie del vehículo tomando en cuenta que son puntos en donde el vehículo se encuentra quieto en el piso, la presión estática más alta en el prototipo FSAE está en la parte frontal de sus neumáticos y la parte baja del asiento del piloto siendo esta de $1.0293e5$ Pa, mientras que las regiones del alerón se encuentran en una presión media de $1.0223e5$ Pa y las presiones estáticas más bajas se encuentran en la parte superior y posterior de los neumáticos y la cara posterior del asiento del vehículo las cuales presentan un valor de $1.0176e5$ Pa.

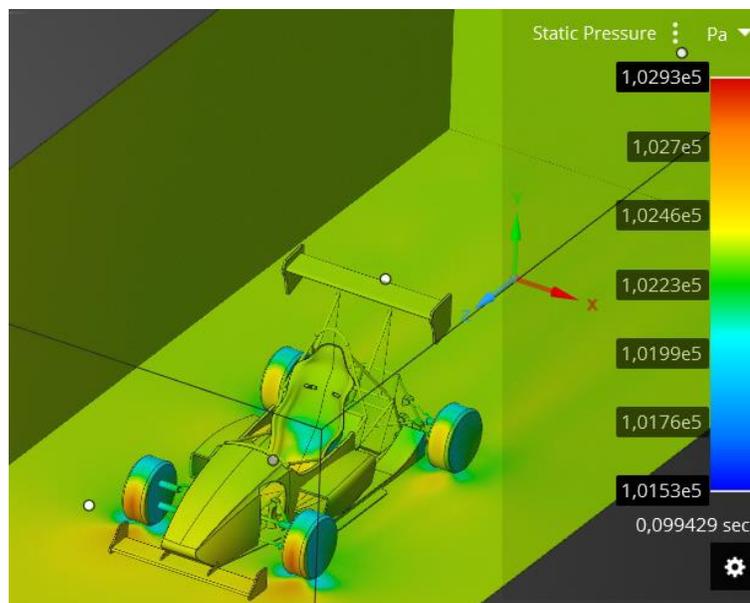


Figura 7-4: Presión estática del alerón en fibra de cabuya

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Presión total

En los contornos de presión total del vehículo se pueden observar las regiones en donde el fluido choca directamente generando las cargas en el modelo que generen Drag y Lift, en la sección delantera del FSAE se puede apreciar un contorno de presión total constante debido al flujo que recae sobre esa zona el cual toma valores $1.0312e5$ Pa, mientras que los valores de presión más bajos se encuentran por los $1.0214e5$ Pa esta presión se da en la zona posterior de los neumáticos.

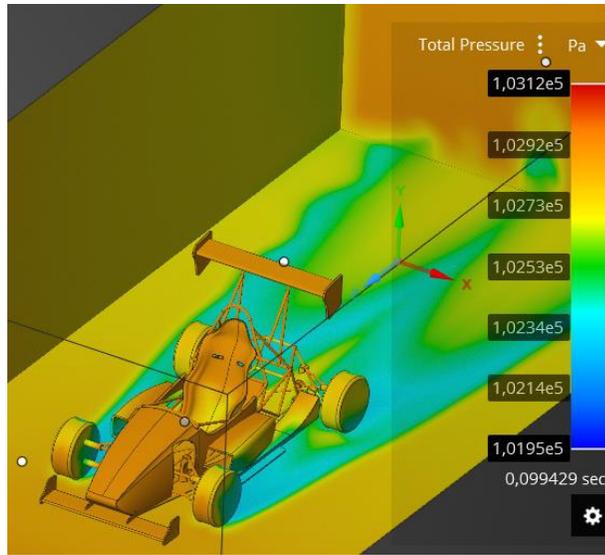


Figura 8-4: Presión total del alerón en fibra de cabuya

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

4.3.2.2. Alerón en fibra de carbono cerrado

Velocidad

En los contornos de velocidad se puede observar que existen líneas de flujo que generan turbulencias justo por detrás del prototipo en la parte central esto se debe a elementos como el asiento que hace interferencia en el flujo de aire y genera las turbulencias, las llantas generan un efecto de dispersión del aire lo cual genera turbulencias a la zona posterior del modelo.

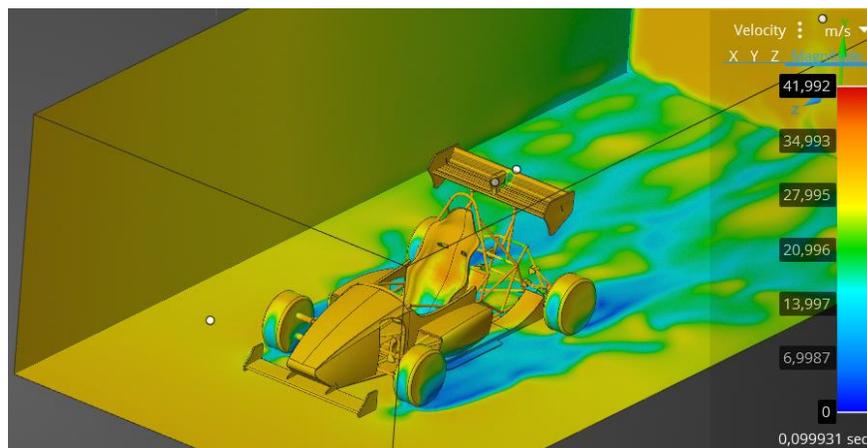


Figura 41-4: Contorno de velocidad del alerón con sistema DRS cerrado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

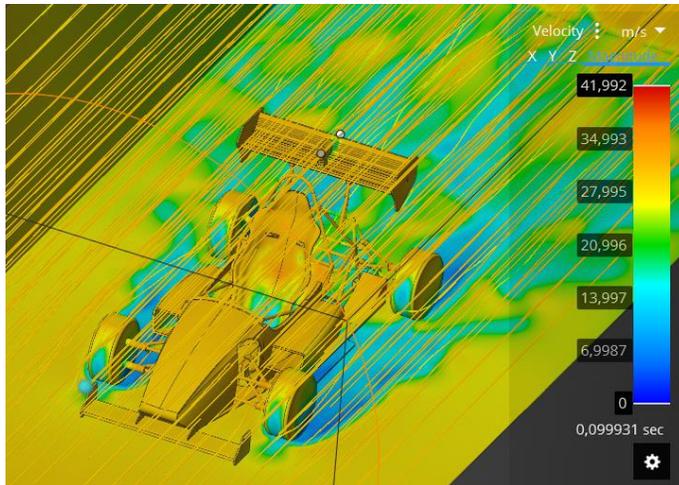


Figura 42-4: Flujo de velocidad del alerón con sistema DRS cerrado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Presión estática

En la figura 11-4, se puede observar la presión estática que se genera por el flujo de fluidos en la superficie del vehículo tomando en cuenta que son puntos en donde el vehículo se encuentra quieto en el piso, la presión estática más alta en el prototipo FSAE está en la parte frontal de sus neumáticos y la parte media del asiento del piloto siendo esta de $1.0298e5$ Pa, mientras que las regiones del alerón se encuentran en una presión media de $1.0246e5$ Pa y las presiones estáticas más bajas se encuentran en la parte superior y posterior de los neumáticos y la cara posterior del asiento del vehículo las cuales tienen un valor de $1.0142e5$ Pa.

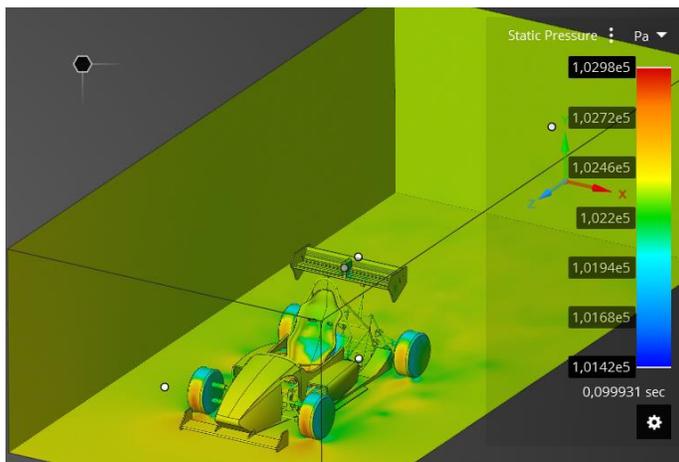


Figura 43-4: Contorno de presión estática del alerón con sistema DRS abierto

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Presión total

En los contornos de presión total del vehículo se pueden observar las regiones en donde el fluido choca directamente generando las cargas en el modelo que generen Drag y Lift, en la sección delantera del FSAE se puede apreciar un contorno de presión total constante debido al flujo que recae sobre esa zona el cual toma valores $1.0317e5$ Pa, mientras que los valores de presión más bajos se encuentran por los $1.0187e5$ Pa esta presión se da en la zona posterior de los neumáticos.

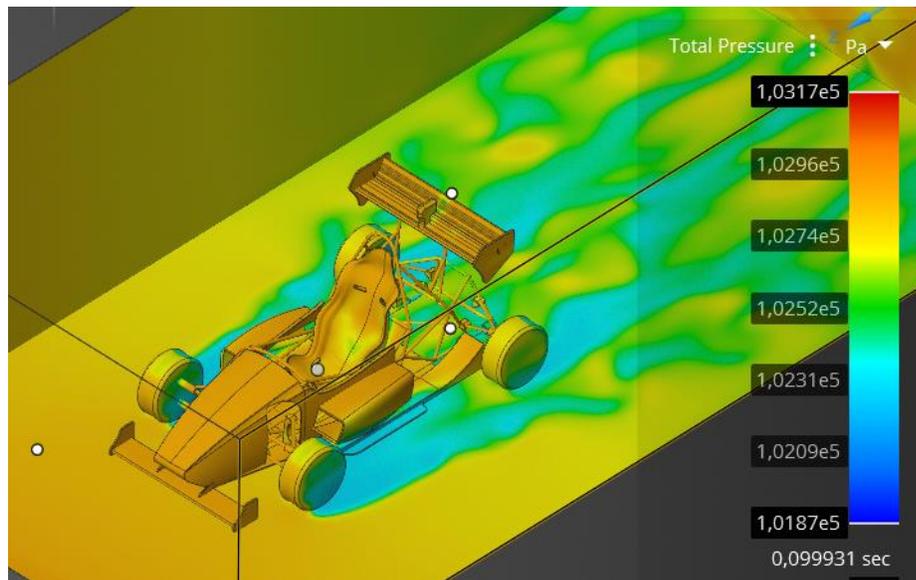


Figura 44-4: Contorno de presión total del alerón con sistema DRS cerrado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

4.3.2.3. Alerón en fibra de carbono abierto

Velocidad

En los contornos de velocidad podemos observar que existen vórtices que generan turbulencias justo por detrás del prototipo en la parte central esto se debe a elementos como el asiento que hace interferencia en el flujo de aire y genera las turbulencias, las llantas generan un efecto de dispersión del aire lo cual genera pequeñas turbulencias al modelo.

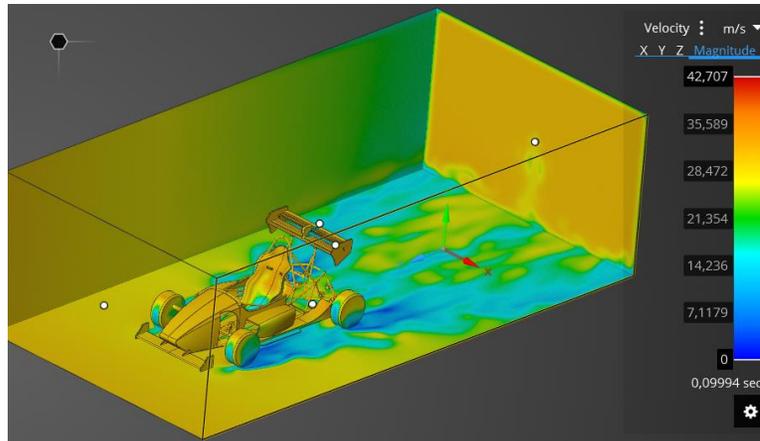


Figura 45-4: Contorno de velocidad del alerón con sistema DRS abierto

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

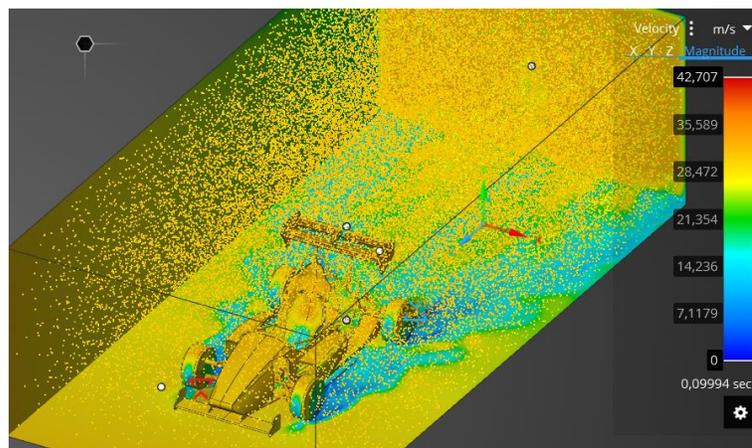


Figura 46-4: Flujo de velocidad del alerón con sistema DRS abierto

Realizado por: (Guamantaqui, J y Granda, C. 2021)

Presión estática

En la figura 15-4, se puede observar la presión estática que se genera por el flujo de fluidos en la superficie del vehículo tomando en cuenta que son puntos en donde el vehículo se encuentra quieto en el piso, la presión estática más alta en el prototipo FSAE está en la parte frontal de sus neumáticos y la parte baja del asiento del piloto siendo esta de $1.0298e5$ Pa, mientras que las regiones del alerón se encuentran en una presión media de $1.0229e5$ Pa y las presiones estáticas más bajas se encuentran en la parte superior y posterior de los neumáticos y la cara posterior del asiento del vehículo.

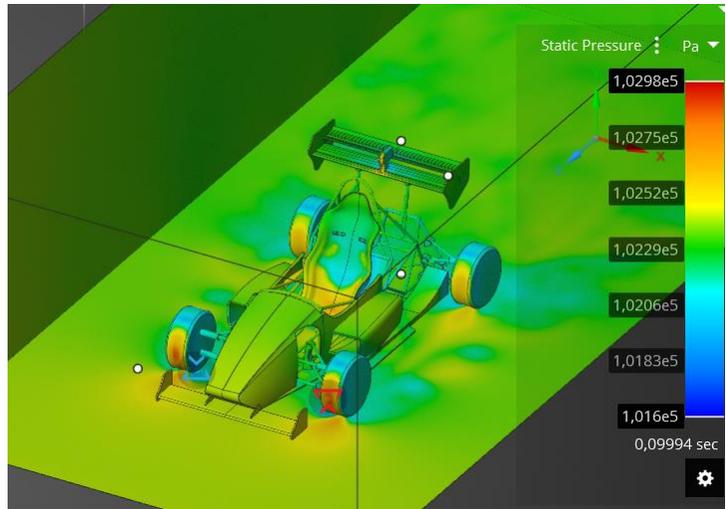


Figura 47-4: Contorno de presión estática del alerón con sistema DRS abierto

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Presión total

En los contornos de presión total del vehículo se pueden observar las regiones en donde el fluido choca directamente generando las cargas en el modelo que generen Drag y Lift, en la sección delantera del FSAE se puede apreciar un contorno de presión total constante debido al flujo que recae sobre esa zona el cual toma valores $1.0295e5$ Pa, mientras que los valores de presión más bajos se encuentran por los $1.0192e5$ Pa esta presión se da en la zona posterior de los neumáticos.

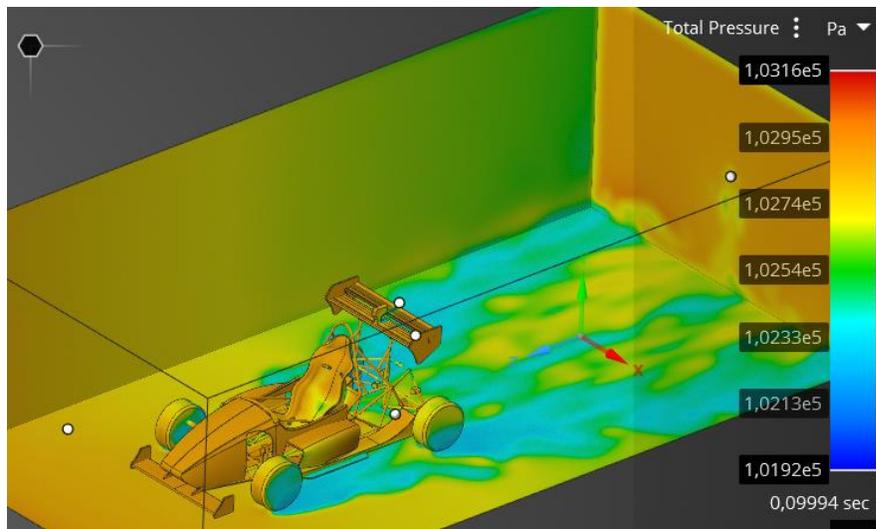


Figura 48-4: Contorno de presión total del alerón con sistema DRS abierto

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

4.3.3. Pruebas reales en el túnel de viento

4.3.3.1. Prueba real con alerón en fibra de cabuya

La prueba se realizó con el modelo a escala y el alerón en fibra de cabuya, este análisis arrojó los siguientes resultados:

Tabla 2-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de cabuya

ALERÓN FIBRA DE CABUYA					
Pruebas Reales					
Velocidad (m/s)	Fuerza Arrastre (gf)	Fuerza Sustentación (gf)	Velocidad (Km/h)	Fuerza Arrastre (N)	Fuerza Sustentación (N)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,000	-4,889	-1,396	25,200	-0,048	-0,014
8,299	-10,938	-1,784	29,876	-0,107	-0,017
9,179	-30,060	-2,507	33,044	-0,295	-0,025
10,137	-62,429	-2,159	36,493	-0,612	-0,021
10,650	-103,419	-6,879	38,340	-1,014	-0,067
11,652	-105,375	-15,279	41,947	-1,033	-0,150
13,260	-122,538	-53,722	47,736	-1,202	-0,527
13,939	-140,673	-54,371	50,180	-1,380	-0,533
14,790	-138,765	-56,566	53,244	-1,361	-0,555
15,601	-152,027	-52,141	56,164	-1,491	-0,511

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

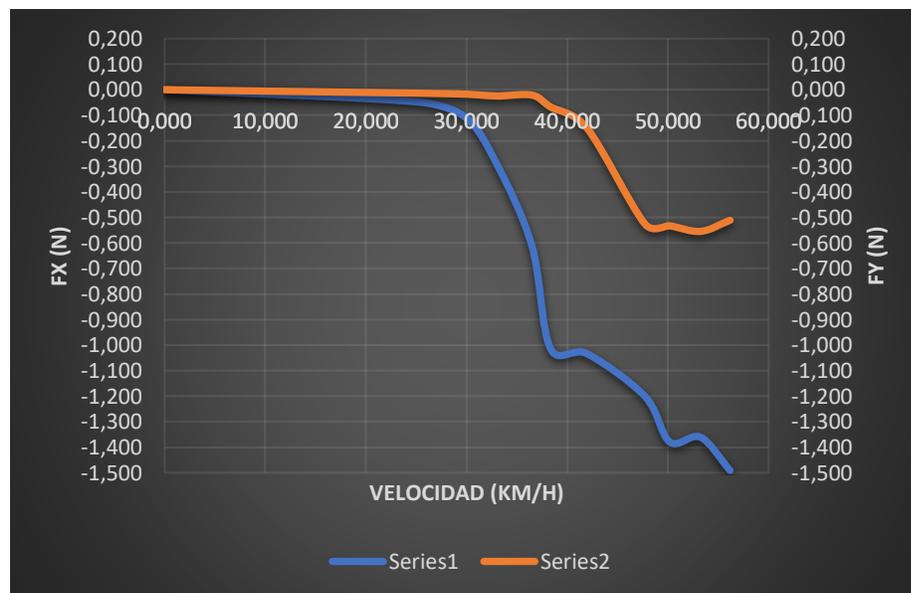


Gráfico 1-4: Gráfica de fuerza (N) vs velocidad (Km/h) alerón fibra de cabuya

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

4.3.3.2. Prueba real con alerón en fibra de carbono sistema DRS cerrado

La prueba se realizó con el modelo a escala y el alerón en fibra de carbono con el sistema DRS cerrado, este análisis arrojó los siguientes resultados:

Tabla 27-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS cerrado

ALERÓN DRS CERRADO					
Pruebas Reales					
Velocidad (m/s)	Fuerza Arrastre (gf)	Fuerza Sustentación (gf)	Velocidad (Km/h)	Fuerza Arrastre (N)	Fuerza Sustentación (N)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,139	-4,164	-0,505	22,100	-0,041	-0,005
11,144	-14,144	-1,574	40,118	-0,139	-0,015
12,239	-107,446	-51,832	44,060	-1,054	-0,508
13,710	-111,669	-56,600	49,356	-1,095	-0,555
14,018	-142,435	-61,925	50,465	-1,397	-0,607
14,795	-149,537	-60,778	53,262	-1,467	-0,596
15,371	-163,406	-63,548	55,336	-1,603	-0,623

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

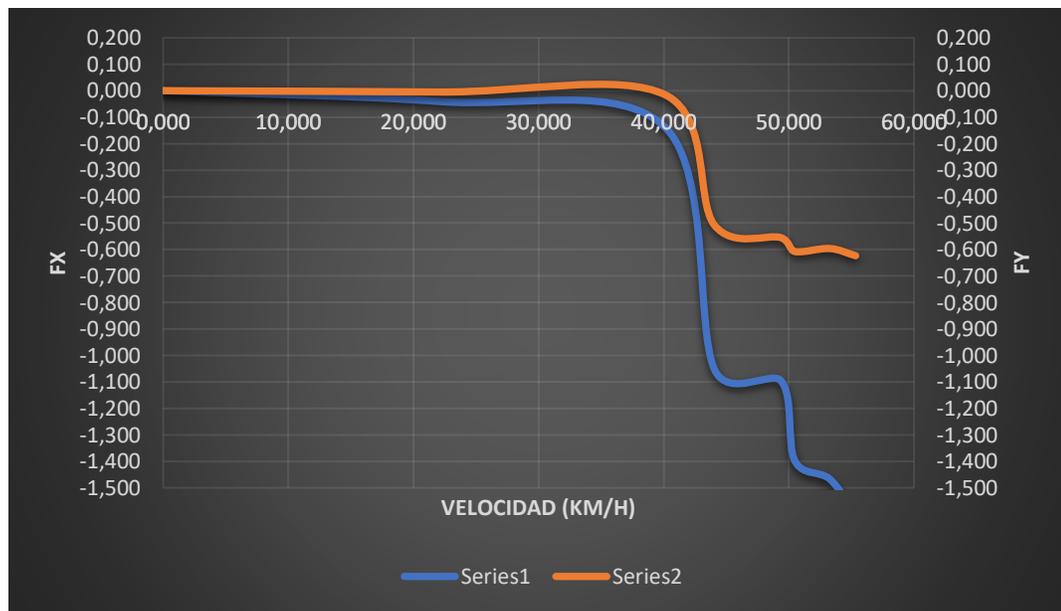


Gráfico 2-4: Gráfica de fuerza (N) vs velocidad (Km/h) alerón DRS cerrado

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

4.3.3.3. Prueba real con alerón en fibra de carbono sistema DRS abierto

La prueba se realizó con el modelo a escala y el alerón en fibra de carbono con el sistema DRS abierto, este análisis arrojó los siguientes resultados:

Tabla 4-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto

ALERÓN DRS ABIERTO					
Pruebas Reales					
Velocidad (m/s)	Fuerza Arrastre (gf)	Fuerza Sustentación (gf)	Velocidad (Km/h)	Fuerza Arrastre (N)	Fuerza Sustentación (N)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,878	-2,773	0,492	17,561	-0,027	0,005
7,468	-10,728	0,189	26,885	-0,105	0,002
7,742	-20,000	-1,120	27,871	-0,196	-0,011
8,201	-24,719	-1,946	29,524	-0,242	-0,019
8,920	-34,377	-4,300	32,112	-0,337	-0,042
10,090	-81,886	-38,082	36,324	-0,803	-0,373
11,691	-84,802	-45,395	42,088	-0,832	-0,445
12,346	-89,474	-43,744	44,446	-0,877	-0,429
13,074	-95,388	-41,996	47,066	-0,935	-0,412
13,573	-141,943	-54,287	48,863	-1,392	-0,532
14,369	-144,992	-66,443	51,728	-1,422	-0,652
14,990	-145,695	-48,992	53,964	-1,429	-0,480

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

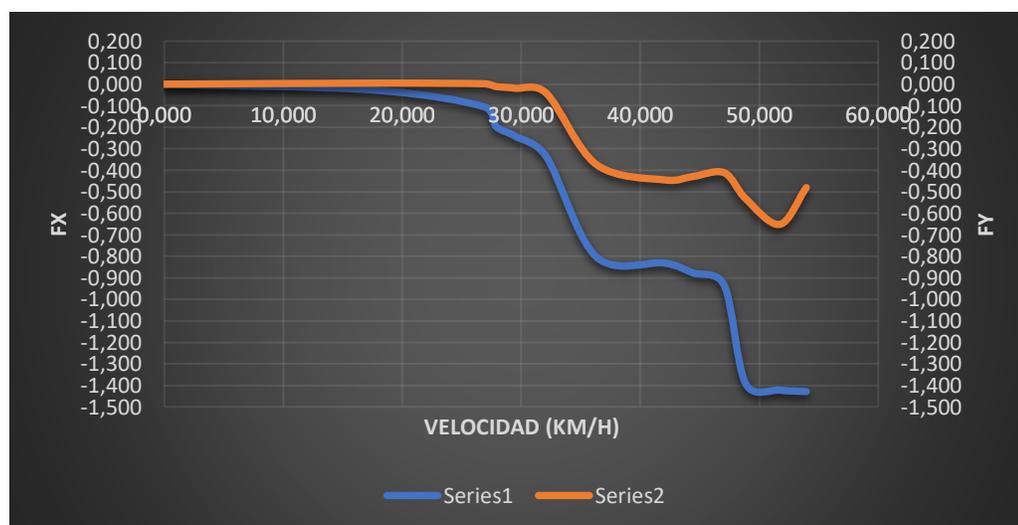


Gráfico 3-4: Gráfica de fuerza (N) vs velocidad (Km/h) alerón DRS abierto

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Tabla 5-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto

	Velocidad (km/h)	PRUEBA EN TUNEL	
		Fuerza arrastre (N)	Fuerza sustentación (N)
Fibra Cabuya	15	-1,49093	-0,51134679
Fibra Carbono DRS abierto	15	-1,42883	-0,48046454
Fibra Carbono DRS cerrado	15	-1,60252	-0,62321524

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

En la tabla 6-4, se detalla una comparativa de resultados que arrojó el túnel de viento, en donde se puede observar las distintas pruebas que se realizaron, sus cargas tanto de arrastre como de sustentación y la velocidad a la cual se la realizó. Para la prueba se tomaron 5 mediciones distintas de las cuales se calculó una media representada en la tabla.

Al analizar los datos podemos definir que el alerón que genera más carga de arrastre es el de fibra de carbono con sistema DRS cerrado el cual según los datos cumple con las condiciones previstas para el modelo y permitirá al prototipo tener mucha más estabilidad al trazar las curvas de una competencia. El alerón en fibra de carbono con sistema DRS abierto en la prueba posee una fuerza de arrastre menor que los demás alerones igualmente su fuerza de sustentación es baja lo que nos da una idea de que el prototipo de fórmula SAE no tendrá mayor impedimento para mejorar su velocidad punta, mientras que para el alerón con fibra de cabuya sus datos están por debajo del alerón con fibra de carbono cerrado y por encima del alerón con fibra de carbono abierto lo cual nos indica que para cualquiera de las dos necesidades ya sea estabilidad en curvas o alcanzar mayor velocidad punta el alerón en fibra de cabuya no cumple con los requerimientos ya que afecta al modelo en cualquiera de las dos necesidades del piloto.

4.4. Análisis de resultados

Se había establecido como objetivo específico, realizar la prueba real en pista con el vehículo. Sin embargo, por efecto de la pandemia COVID-19 se realizó un modelo a escala del prototipo FSAE incluidos el alerón anterior y el alerón con sistema DRS, el tamaño del escalado para la impresión de dicho modelo es de 1:10.

Una vez realizada la simulación con el modelo a escala, el alerón de fibra de carbono cumple con las condiciones para las cuales fue diseñado. Al momento de evaluar los datos en posición cerrada, genera mayores cargas aerodinámicas, de arrastre y sustentación, hacia el piso.

El alerón en fibra de carbono, pero con el DRS abierto, ayuda al vehículo a tomar mayor velocidad, acorde con los datos obtenidos, puesto que genera menores cargas aerodinámicas; lo cual permite que el vehículo se desplace con mayor facilidad en la pista.

Se realizaron pruebas comparativas entre el alerón posterior en fibra de cabuya (anterior) y el alerón en fibra de carbono (fabricado) instalados en el prototipo a escala, este análisis arrojó los siguientes resultados:

Alerón en Fibra de Cabuya

Tabla 6-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto

COMPARACION PRUEBAS EN TUNEL Y SIMULACIÓN							
DATOS	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)	Fuerza Arrastre (Fx)	Fuerza Sustentación (Fy)	Área frontal m ²	Coefficiente Arrastre	Coefficiente sustentación
Escala Real	15	54	-141,62	-3,468	12,92167	-0,0802	-0,0020
Escala 1:10	15	54	-1,339	-0,023	1,29217	-0,0076	-0,0030
Túnel	15	54	-1,491	-0,511	1,29217	-0,0084	-0,0029

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Alerón en Fibra de Carbono con sistema DRS cerrado

Tabla 7-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto

COMPARACION PRUEBAS EN TUNEL Y SIMULACIÓN							
DATOS	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)	Fuerza Arrastre (Fx)	Fuerza Sustentación (Fy)	Área frontal m ²	Coefficiente Arrastre	Coefficiente sustentación
Escala Real	15	54	-164,228	-26,537	12,92167	-0,0930	-0,0150
Escala 1:10	15	54	-1,608	-0,266	1,29217	-0,0091	-0,0015
Túnel	15	54	-1,603	-0,623	1,29217	-0,0091	-0,0035

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Alerón en Fibra de Carbono con sistema DRS abierto

Tabla 8-4: Datos túnel de viento alerón en fibra de carbono DRS abierto

COMPARACION PRUEBAS EN TUNEL Y SIMULACIÓN							
DATOS	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)	Fuerza Arrastre (Fx)	Fuerza Sustentación (Fy)	Área frontal m ²	Coefficiente Arrastre	Coefficiente sustentación
Escala Real	15	54	-133,715	-1,325	12,92167	-0,0757	-0,0008
Escala 1:10	15	54	-1,170	-0,00514	1,29217	-0,0066	-0,0029
Túnel	15	54	-1,42883	-0,48046	1,29217	-0,0081	-0,0027

Realizado por: Guamantaqui, J.; Granda, C. 2021

Como podemos observar en las tablas mostradas anteriormente los valores de coeficiente de arrastre y sustentación de las pruebas realizadas en cada uno de los alerones, nos dan una idea muy clara del funcionamiento que se puede llegar a obtener a escala real, por lo cual se considera al alerón con sistema DRS de mejores características para la aplicación en las distintas competencias organizadas por la FSAE, ya que al ser un alerón con mecanismo de variación de posición del alerón flap se obtienen cargas distintas de acuerdo con la configuración del flap siendo así muy eficiente para velocidad punta el mecanismo DRS abierto mientras que el mecanismo DRS cerrado demuestra ser el idóneo para la asistencia al frenado así como al trazar una curva en la competición.

CONCLUSIONES

Se realizó la revisión bibliográfica de contenidos sobre aerodinámica para el fundamento teórico de la propuesta de investigación. De esta manera, se contó con conocimientos actualizados, que se desarrollaron en el marco teórico de este trabajo.

Se definieron los parámetros de diseño del alerón posterior con sistema *DRS*, utilizando *software CAD* para la identificación del paquete aerodinámico más adecuado. Los principales parámetros fueron: la longitud de cuerda, el espesor de cada perfil, el tamaño del alerón (1,26 m.), y la forma establecida en función de la tesis descrita en el primer capítulo, en función de las especificaciones de la página web *AirFoil Tools*.

Se generó el diseño del esquema de conexiones del sistema eléctrico, a partir de las señales obtenidas del botón físico ubicado en el volante y el pedal de freno, que fue procesado mediante una placa Arduino. El alerón cumplió con las funciones de movimiento que se plantearon inicialmente y para lograr el control del motor, se utilizó un controlador, llamado Puente H.

Se construyó el alerón posterior, utilizando fibra de carbono para el incremento de resistencia y disminución del peso en el Fórmula *SAE*. De acuerdo con el análisis estático, se cumplió con las expectativas en torno a la resistencia. En cuanto a la disminución del peso, al tratarse de un alerón con diferentes elementos, el peso total tuvo un incremento de 0,6 kg. con respecto al alerón anterior. De esta manera, el alerón anterior tiene una construcción sencilla, mientras que el alerón fabricado posee distintos elementos adicionales, tales como: dos perfiles, derivas laterales, un actuador eléctrico y el mecanismo de apertura y cierre. Se concluye que, si bien no se logró una disminución del peso total, el incremento de 0,6 kg. con las características logradas, representa una mejora en el producto final.

Se instaló el sistema de alerón móvil con *DRS* en el vehículo tipo *FSAE*, sin embargo, por efecto de la pandemia COVID-19, no se pudo realizar las pruebas para la verificación en pista de las mejoras a nivel aerodinámico y de velocidad. De esta manera, se creó un modelo a escala, cuyas pruebas en el túnel de viento, muestran que es posible que el vehículo mejore su rendimiento en velocidad y nivel aerodinámico en la pista; en función de los cálculos realizados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuros investigadores del tema, tomar en cuenta la importancia de la calibración y mantenimiento del túnel de viento, tanto para la confiabilidad en los resultados finales, así como para la optimización del tiempo y los recursos.

En cuanto a la creación de moldes, se recomienda una elaboración directa del negativo del elemento o pieza real, debido a que, de esta manera, se ahorra tiempo y dinero en el diseño del alerón, permitiendo el avance eficiente en el proceso investigativo.

Si bien, el modelo a escala permitió conocer la potencialidad que tendría el alerón propiamente dicho, es mejor hacerlas con el dispositivo real en pista, para la obtención de datos totalmente certeros. Además, una prueba en un escenario real generará satisfacción en los investigadores, que podrían ver los resultados del esfuerzo invertido en la creación del producto.

GLOSARIO

Actuador: Dispositivo que generan un movimiento, ya sean de forma mecánica, hidráulica o eléctrica.

Aerodinámica: Es la fuerza que se ejerce en un vehículo, el cual se opone al movimiento del mismo.

Cabuya: Especie de planta con la cual se elaboran fibras para ser utilizada en la fabricación de diversos componentes automotrices (alergones, spoiler entre otros).

Chasis: Estructura o esqueleto principal del vehículo.

Difusor: Elemento o componente que está situado en la parte inferior del chasis que se utiliza para que el flujo de aire aumente.

Dinámica: Estudio en el cual se analiza las fuerzas que se aplican en un cuerpo y los efectos que producen en ellos.

Endplates: Son soportes o placas que están ubicados a los costados de los alergones, sirven de soporte para toda la estructura.

Estática: Estudio de las fuerzas que ejercen sobre un cuerpo cuante este se encuentra en reposo.

Fibra: Filamentos que al tejerse o unificarse forman un cuerpo o recubrimiento.

Flap: Es una superficie móvil que se emplea en los alergones para crear mayor sustentación al vehículo.

Mallado: Estructura que de elementos tipo nodos utilizados por un software que se utiliza para la solución de un problema estático o dinámico.

Monoplaza: Vehículo diseñado para una sola persona.

Perfil aerodinámico: Contorno del área o perímetro transversal del alerón.

Propulsión: Es fuerza que permite mover el vehículo de manera brusca tanto hacia delante como hacia atrás.

Prototipo: Primer modelo de un vehículo que esta presto a modificación.

Sobreviraje: Es la acción o fenómeno que se produce cuando las ruedas traseras del vehículo pierden adherencia, provocando que este pierda pista en curvas.

Spoiler: Componente o elemento que se coloca a los laterales de un vehículo para aumentar su aerodinámica.

Subviraje: Es la acción o fenómeno que se produce cuando las ruedas delanteras del vehículo pierden adherencia, provocando que este pierda pista en curvas.

Sustentación: Es la fuerza que se ejerce en el vehículo el cual ayuda a que tenga mayor adherencia al piso.

Telemetría: Sistema o dispositivo a distancia que permite recolectar o transmitir datos.

Turbulencia: Movimiento del flujo del aire de manera dispersa o caótica.

BIBLIOGRAFÍA

AirfoilTools. Airfoiltools [Blog] 27 de mayo de 2021. [Consulta: 07-07-2021]. Disponible en: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=goe796-il>.

Jimenez, Alvaro., & Veintimilla, Nayel. Diseño y construcción del chasis de un vehículo de competencia fórmula “SAE” para la Escuela de Ingeniería Automotriz. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 04 - 18. [Consulta: 2021-04-14]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4037>

Amórtegui, Javier Alirio. Diseño y manufactura de un mecanismo DRS para un Salamandra 3. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de los Andes, Bogota, Colombia, 2019. pp. 27 - 42. [Consulta: 2021-04-17]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/44433>

Andrade Vargas, Carlos., & Gómez Bravo, Jorge. Estudio de factibilidad de la colocación de un alerón frontal y posterior mediante análisis CFD para el vehículo monoplace eléctrico tipo fórmula SAE. [En línea] (Tesis). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca , Ecuador, 2017. pp. 15 - 27. [Consulta:2021-04-16]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14930>

AST INGENIERÍA. Ast. Ingeniería. [Blog] 2019. [Consulta: 10-06-2021]. Disponible en: <http://www.ast-ingenieria.com/capacidades-soluciones/simulacion-cfd>.

Avalos, Gonzalo., & Chasi, Marcelo. 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. [En línea] (Tesis). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016. pp. 05 - 32. [Consulta: 2021-04-16]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5634>

Aznar García, Manuel José. Diseño de un sistema de reducción de Drag para un coche de competición de Fórmula SAE. [En línea] (Tesis). (Pregrado). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2016. pp. 20 - 32. [Consulta: 2021-04-18]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/61248#>

Calaza, Hernando. AUTOCOSMOS. [Blog] 2015. [Consulta: 13-04-2021] Disponible en : <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2015/02/06/5-elementos-clave-en-la-aerodinamica-de-los-autos-de-carrera>.

CarboSystem. CarboSystem. [Blog] 2018. [Consulta: 15-04-2021.] Disponible en: <https://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>.

Caro, Abel. Lebalap Academy. [Blog] 2021. [Consulta: 10-06-2021] Disponible en: <https://lebalap.academy/f1/aerodinamica/drs/>.

Contreras, Lucia. 3D Natives. [Blog] 2019. [Consulta: 19-08-2021]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/#!>.

Electronics, UNIT. UNIT Electronics. [Blog] 2021. [Consulta: 12-03-2021]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/vnh2sp30-controlador-motor-dc-puente-h-30a/>.

Fibra Cero. Fibra Cero. [Blog] 2017. [Consulta: 16-04-2021.] Disponible en: <https://fibracerotec.com/hacer-piezas-fibra-de-carbono/>.

Fuentes Murillo, Carlos. Estudio mediante CFD del alerón trasero de un monoplaça con el DRS abierto y cerrado en diferentes circuitos. [En línea] (Tesis). (Pregrado). Universidad Politécnicade Catalunya, Catalunya, España, 2016. pp. 10 - 22. [Consulta: 28-04-2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/97742>

Hepperle, Martin. Aerotoools. [Blog] 2018. [Consulta: 12-06-2021]. Disponible en: <https://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javafoil.htm>.

Hidalgo, Jose Francisco Paz. DOCPlayer. [Blog] 2010. [Consulta: 17-06-2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/3454524-Los-materiales-compuestos-y-sus-aplicaciones-en-el-refuerzo-a-cortante-de-estructuras.html>.

McBeath, Simon. *Aerodinámica del Automovil de Competición*. 1997, pp. 10-65.

MECANICA. TODO MECANICA. [Blog] 2019. [Consulta: 18-07-2021]. Disponible en: <https://www.todomecanica.com/blog/677-por-que-se-usa-tanto-la-fibra-de-carbono-en-el-diseno-de-coches.html>.

Medina, Eduardo Harry, & Aucatoma, Ricardo Fabián. Diseño e implementación del Sistema DRS en el prototipo fórmula SAE de la carrera de ingeniería automotriz variando la posición de los alerones mediante la dinámica de fluidos. [En línea] (Tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 07 - 35. [Consulta: 17-04-2021] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9967>

Mejia, Tatiana. Método Sintético. *lifeder*. [Blog] 2020. [Consulta: 04-07-2021.] Disponible en: <https://www.lifeder.com/metodo-sintetico/>.

Motor, Diario. DIARIO MOTOR. [Blog] 2020. [Consulta: 18-07-2021.] Disponible en: <https://www.diariomotor.com/que-es/tecnologia/fibra-de-carbono/>.

MOTOREX. MOTOREX. [Blog] 2019. [Consulta: 15-07-2021.] Disponible en: <http://www.motorex.com.pe/blog/propiedades-usos-fibra-vidrio/>.

Murillo Molina, Daniel. Modelamiento de cargas dinámicas sobre el alerón trasero de un vehículo al activar el DRS. [En línea] (Tesis). (Pregrado) Uniandes, Bogota, Colombia. 2019. pp. 27-35. [Consulta: 18-04-2021] Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/44355>

Online, Acrílicos. 2013. ACRILICOS ONLINE. [Blog] 2013. [Consulta: 15-07-2021.] Disponible en: <https://www.acrilicosonline.com.ar/acrilicos/planchas/informacion-tecnica/>.

Plásticos, Tecnología. Tecnología de los Plásticos. [Blog] 2011. [Consulta: 16-07-2021] Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/polimetacrilato-de-metilo.html>.

Poch Santana, Julio. Análisis CFD del sistema DRS del alerón trasero de un monoplace de Fórmula 1 y propuesta de mejora. [En línea] (Tesis). (Pregrado) Universidad de Vigo, España. 2018. pp. 10 - 75. [Consulta: 18-04-2021] Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/306>

Raffino, María Estela. Método analítico Concepto. [Blog] 2020. [Consulta: 04-07-2021.] Disponible en: <https://concepto.de/metodo-analitico/>.

Raffino, María Estela. Método deductivo Concepto. [Blog] 2020. [Consulta:04-07-2021.] Disponible en: <https://www.significados.com/metodo-deductivo/>.

RockContent. Rockcontent. [Blog] 2019. [Consulta: 15-04-2021.] Disponible en: <https://rockcontent.com/es/blog/tecnologia-en-la-educacion/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20educativa%20es%20un,sus%20diversos%20%C3%A1mbitos%20y%20niveles.&text=La%20era%20digital%20ha%20revolucionado,la%20educaci%C3%B3n%20no%20fue%20diferente.>

Rojas, Franklin. JEV Solutions. [Blog] 2019. [Consulta: 15-07-2021] Disponible en: <https://jevsoluciones.com/producto/bidireccional-3k/>.

SAE. *Formula Student Rules.* 2020.

Tintín, Alex Stalin., & Méndez, Cristian Rodrigo. Diseño y construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto empleando materiales compuestos para un vehículo de competencia Fórmula SAE de la Escuela de Ingeniería Automotriz. [En línea] (Tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 20 - 82. [Consulta: 18-04-2021] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9970>

Ultimaker. PLA ULTIMAKER. [Blog] 2017. Disponible en: <https://docs.rs-online.com/7ade/0900766b81698006.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: CONTROL DE MOTOR Y SENSORES MEDIANTE ARDUINO

```
/*PINES*/
//driver MOTOR
int EN = 2;
int IN_A = 3;
int IN_B = 4;
int PWM = 5;

//PULSADORES
int fin=9;//FIN DE CARRERA
int btn=8;//BOTON
int led=11;//LED DRS
int led2=13;

int sen1=6;//SENSOR ARRIBA
int sen2=7;//SENSOR ABAJO

/*VARIABLES*/

int estado_fin=0;
int estado_btn=0;
int estado_sen1=0;
int estado_sen2=0;

int anterior_fin=0;
int anterior_btn=0;
int anterior_sen1=0;
int anterior_sen2=0;

int estado_aleron=0;
int aux1=0;
```

```
int aux2=0;

void setup() {
  pinMode(IN_A,OUTPUT);
  pinMode(IN_B,OUTPUT);
  pinMode(EN,OUTPUT);
  pinMode(PWM,OUTPUT);
  pinMode(led,OUTPUT);
  pinMode(led2,OUTPUT);

  pinMode(fin,INPUT);
  pinMode(btn,INPUT);
  pinMode(sen1,INPUT);
  pinMode(sen2,INPUT);

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  lectura();

  Serial.print("  fin=");
  Serial.print( estado_fin);
  Serial.print("  btn=");
  Serial.print( estado_btn);
  Serial.print("  sen1=");
  Serial.print( estado_sen1);
  Serial.print("  sen2=");
  Serial.println( estado_sen2);
  delay(100);

  if (estado_fin != anterior_fin){
    if ((estado_fin == HIGH)and(estado_aleron==0)){
      digitalWrite(led,LOW);
    }
  }
}
```

```

    digitalWrite(led2,LOW);
    aux1=1;
    abajo();
}
}
anterior_fin=estado_fin;

if (estado_btn != anterior_btn){
    if ((estado_btn == HIGH)and(estado_aleron==1)){
        digitalWrite(led,HIGH);
        digitalWrite(led2,HIGH);
        aux2=1;
        arriba();
    }
}
anterior_btn=estado_btn;
}

```

```

void lectura(){
    estado_fin = digitalRead(fin);
    estado_btn = digitalRead(btn);
    estado_sen1 = digitalRead(sen1);
    estado_sen2 = digitalRead(sen2);
}

```

/*FUNCION ALERON ABIERTO/ARRIBA*/

```

void arriba(){
    lectura();
    while(aux1==1){
        lectura();
        if (estado_sen1 != anterior_sen1){
            if (estado_sen1 == HIGH){
                aux1=0;
            }
        }
    }
}

```

```

}
anterior_sen1=estado_sen1;

//Serial.print("subiendo");

digitalWrite(EN,HIGH);
//PARA MODIFICAR VELOCIDAD DEL MOTOR VARIAR 0-255
analogWrite(PWM,255);
//PARA INVERTIR GIRO CAMBIAR HIGH POR LOW Y LOW POR HIGH
digitalWrite(IN_A,HIGH);
digitalWrite(IN_B,LOW);
}
paro();
estado_aleron=1;
lectura();
}
/*FUNCION ALERON CERRADO/ABAJO*/
void abajo(){
lectura();
while(aux2==1){
lectura();

if (estado_sen2 != anterior_sen2){
if (estado_sen2 == HIGH){
aux2=0;
}
}
}
anterior_sen2=estado_sen2;

//Serial.print("bajando");

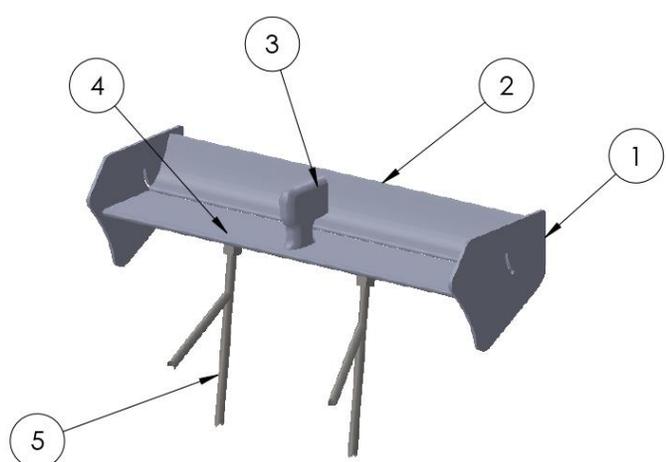
digitalWrite(EN,HIGH);
//PARA MODIFICAR VELOCIDAD DEL MOTOR VARIAR 0-255
analogWrite(PWM,255);

```

```
//PARA INVERTIR GIRO CAMBIAR HIGH POR LOW Y LOW POR HIGH
digitalWrite(IN_A,LOW);
digitalWrite(IN_B,HIGH);
}
paro();
estado_aleron=0;
lectura();
}
/*FUNCION MOTOR APAGADO*/
void paro(){

Serial.print("paro");
analogWrite(PWM,0);
digitalWrite(EN,LOW);
digitalWrite(IN_A,LOW);
digitalWrite(IN_B,LOW);
}
```

ANEXO B: VISTA PARTES ALERON DRS

1	2	3	4								
A											
B											
C											
D											
E	N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD								
	1	Derivas laterales	2								
	2	Alerón flap	1								
	3	DRS	1								
	4	Alerón principal	1								
	5	Soporte	2								
N.º. Lámina:	N.º. Hojas:	Sustitución:	Codificación:								
1 de 1	1		ESPOCH-FM-EIA-03-01-2022								
Email: cesar_granda@epoch.edu.ec - jairo_guamantaqui@epoch.edu.ec			Denominación:								
Teléfonos: 0979800665 - 0968249725			Hoja1								
Datos	Nombre	Firma	Fecha								
Proyectó	Granda C. Guamantaqui J.		03/01/2022								
Dibujó	Granda C. Guamantaqui J.		03/01/2022								
Revisó	Ing. Buenaño L.		03/01/2022								
Aprobó	Ing. Buenaño L.		03/01/2022								
Materiales:			Fibra de carbono								
Nombre de archivo:			Alerón								
ESPOCH			FACULTAD DE MECÁNICA								
ESCUOLA DE INGENIERÍA MECÁNICA			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Peso [Kg]</td> <td style="text-align: center;">Tolerancia</td> <td style="text-align: center;">Escala</td> <td style="text-align: center;">Registro</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8.7</td> <td style="text-align: center;">±0.3 [mm]</td> <td style="text-align: center;">1:12</td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro	8.7	±0.3 [mm]	1:12	
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro								
8.7	±0.3 [mm]	1:12									
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y.I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY											