

DISEÑO CONCEPTUAL Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL A ESCALA DE UN  
ALERÓN DELANTERO PARA UN VEHÍCULO ELECTRICO DE LA FORMULA  
SENA ECO.

LUIS ERNESTO ORDOÑEZ SAMBONI

CRISTIAN RICARDO RIAÑO MONTIEL

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ

2018

DISEÑO CONCEPTUAL Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL A ESCALA DE UN  
ALERÓN DELANTERO PARA UN VEHÍCULO ELECTRICO DE LA FORMULA  
SENA ECO.

LUIS ERNESTO ORDOÑEZ SAMBONI

CRISTIAN RICARDO RIAÑO MONTIEL

Tesis para optar al título de profesional en ingeniería mecánica

Asesor

JUAN EDUARDO ROLON RÍOS

Docente académico

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ

2018

Nota De Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Representante del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, al día 27 del mes de Febrero del 2018

Dedico este a trabajo a Dios y a mis padres por su esfuerzo y apoyo incondicional.

*Luis Ernesto Ordoñez Samboni*

Este trabajo va dedicado a Dios porque me dio la sabiduría para poder realizarlo y a mis padres que siempre me apoyan en todo momento.

*Cristian Ricardo Riaño Montiel*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta tesis presentan sus agradecimientos a:

Particularmente a nuestros padres por su apoyo durante el transcurso del proceso de formación.

Ingeniero Juan Eduardo Rolon Ríos por colaborarnos como director de tesis y ayudarnos a darle orientación al proyecto lo cual no se había logrado.

## RESUMEN

A través de este documento se encontrara el diseño conceptual de superficies aerodinámicas como lo es el alerón delantero para un vehículo de competición para la Formula Sena Eco, en este se encuentra la selección perfiles aerodinámicos, simulaciones experimentales en el túnel de viento de tres diferentes alerones a escala; el principal objetivo es observar el aporte que tiene los alerones delanteros en este tipo de vehículos.

## INTRODUCCIÓN.

Esta propuesta se basa en el estudio aerodinámico de un alerón delantero para un vehículo eléctrico de la formula SENA eco, presentada por Cristian Riaño y Luis Ordoñez para optar al título de Ingenieros mecánicos.

Los estudiantes de la Fundación Universitaria Los Libertadores se percataron desde agosto del 2015 cuando la formula SENA eco realizo un carrera urbana en la ciudad de Bogotá. La carencia de superficies aerodinámicas en los vehículos la cual siguió persistiendo en las siguientes carreras.

De ahí nace la idea de realizar un diseño conceptual de un alerón delantero y poder observar los aportes en cuanto a la carga aerodinámica generada por dichos alerones, esto se realiza a través de un estudio experimental de modelos a escala de alerones para el vehículo de competición de la Formula SENA Eco. Teniendo en cuenta que el diseño de estos es libre siempre y cuando se respete el espacio estipulado en el reglamento.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Cuantificar el rendimiento aerodinámico de tres modelos diseñados con parámetros de alerones de vehículos de competencia teniendo en cuenta las restricciones en los vehículos de formula SENA Eco. Mediante pruebas experimentales en el túnel de viento con el fin de evaluar su desempeño.

### ESPECÍFICOS

- Analizar la condición aerodinámica inicial que presenta el vehículo eléctrico de competición de acuerdo a la reglamentación definida y el rendimiento de los vehículos de la formula SENA.
- Seleccionar el perfil aerodinámico que presente las mejores características de acuerdo a los perfiles que apliquen la formula SENA eco.
- Diseñar tres posibles prototipos de alerones, para ser ubicados en la parte delantera del vehículo de formula SENA Eco.
- Establecer las dimensiones y características de los tres modelos de alerones delanteros que serán estudiados con el fin de evaluar su rendimiento.
- Analizar experimentalmente en los tres modelos a escala el comportamiento que tendrá el fluido en el túnel de viento.



## Tabla de contenido

1. MARCO CONCEPTUAL.....	17
1.1 AERODINÁMICA EN VEHÍCULOS.....	18
1.1.1. ALERON DELANTERO.....	19
1.1.2. TIPOS DE ALERONES.....	20
1.1.3. DERIVAS LATERALES.....	21
1.1.4. EFECTO SUELO.....	22
1.1.5. COMPONENTES AERODINAMICAS EN UN PERFIL.....	23
1.1.6. FORMAS EN LA PLANTA DEL ALERON.....	29
1.2. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL ALERÓN.....	33
1.2.1. Alerón de un elemento.....	33
1.2.2. Alerones de dos elementos.....	34
1.3. DIMENSIONES Y UNDADES.....	35
1.3.1. HOMOGENEIDAD ADIMENSIONAL.....	36
1.3.2. ELIMINACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS ECUACIONES.....	36
1.3.3. ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SIMILITUD.....	36
1.4. CONDICIONES DEL CIRCUITO.....	38
1.5. REGLAMENTO PARA ALERON DELANTERO.....	39
2. DISEÑO CONCEPTUAL.....	40
2.1. ELECCIÓN DE PERFIL DEL ALERON.....	40
2.2. DISEÑOS DE ALERONES PROPUESTOS.....	43
2.2.1. ALERÓN DE UN ELEMENTO.....	45
2.2.2. ALERON DE DOS ELEMENTOS.....	47
2.2.3. ALERÓN DE TRES ELEMENTOS.....	52
3. MODELO.....	57
3.1. ESCALAMIENTO.....	57
3.2. CARACTERISTICAS VEHICULO.....	61
3.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	62
4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	63

4.1. VEHÍCULO CON ALERÓN DE UN ELEMENTO.....	65
4.2. VEHÍCULO CON ALERÓN DOS ELEMENTOS.....	65
4.3. VEHÍCULO CON ALERÓN DE TRES ELEMENTOS.....	66
4.4. ELECCIÓN DEL ALERÓN.....	67
5. CONCLUSIONES.....	69
6. BIBLIOGRAFÍA.....	71

## LISTA DE FIGURA

PAG.

Figura 1. Distribución generalizada de la presión alrededor de un alerón .....	17
Figura 2. Como crea carga aerodinámica un alerón.....	19
Figura 3. Alerones secundarios o flaps.....	20
Figura 4. Efecto de las derivas laterales. ....	22
Figura 5. Efecto suelo .....	23
Figura 6. Fuerzas aerodinámicas en un cuerpo en movimiento .....	24
Figura 7. Distribución de presiones sin y con ángulo de ataque.....	25
Figura 8. CL máximo con respecto al ángulo de ataque.....	27
Figura 9. Coeficiente de resistencia vs ángulo de ataque .....	28
Figura 10. Descripción de un alerón. ....	29
Figura 11. Corrientes superpuestas y vórtices. ....	30
Figura 12. Diferente tipo de planta entrando en pérdida .....	31
Figura 13. Comparación CL Vs Angulo de ataque de ala recta y en flecha.....	33
Figura 14. Dimensiones primarias y sus unidades en el SI e inglesas.....	36
Figura 15. Ficha técnica del circuito .....	38
Figura 16. Diferentes circuitos del Autódromo de Tocancipá .....	39
Figura 17. Distancia de alerones .....	40
Figura 18. Forma de los perfiles seleccionados.....	41
Figura 19. Propuesta inicial de re direccionamiento.....	43
Figura 20. Alerón de un elemento.....	46
Figura 21. Alerón principal del modelo I .....	47
Figura 22. Modelo del alerón II .....	50
Figura 23. Alerón principal del modelo II .....	50
Figura 24. Simulación segundo alerón del modelo II .....	51
Figura 25. Modelo del alerón III .....	54
Figura 26. Alerón principal modelo III .....	55
Figura 27. Alerón secundario modelo III .....	55
Figura 28. Tercer alerón modelo III .....	56
Figura 29. Tablas termodinámicas de propiedades de la atmosfera a gran altitud. ....	59
Figura 30. Modelos del vehículo. ....	62
Figura 31. Vehículo a escala con alerón principal .....	62
Figura 32. Comportamiento del flujo del aire en alerón de un elemento .....	63
Figura 33. Comportamiento del flujo del aire en el vehículo con dos elementos.....	64
Figura 34. Comportamiento del flujo del aire en un alerón de tres elementos.....	64

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consideración para el primer alerón .....	45
Tabla 2. Relación de aspecto .....	46
Tabla 3. Características básicas alerón de un elemento .....	46
Tabla 4. Coeficientes y áreas del alerón principal del modelo I. ....	47
Tabla 5. Condiciones para el alerón II .....	48
Tabla 6. Aproximación de los datos básicos alerón de dos elementos .....	48
Tabla 7. Espaciamiento y solapamiento del alerón de do elementos .....	49
Tabla 8. Variación de los datos básicos alerón II .....	50
Tabla 10. Coeficiente y áreas del alerón principal del modelo II. ....	51
Tabla 11. Coeficiente y area del alerón secundario del modelo II. ....	51
Tabla 9. Relación de aspecto de los alerones del modelo II .....	52
Tabla 12. Condiciones para el alerón III .....	52
Tabla 13. Aproximación de los datos básicos alerón de tres elementos.....	53
Tabla 14. Espaciamiento y solapamiento del alerón de tres elementos.....	53
Tabla 15. Variación de los datos básicos alerón II .....	54
Tabla 16. Datos del alerón principal del modelo III.....	55
Tabla 17. Datos del alerón secundario del modelo III.....	56
Tabla 18. Datos del tercer alerón del modelo III.....	56
Tabla 19. Relación de aspecto del alerón principal, segundo y tercer alerón del modelo III.....	57
Tabla 20. Viscosidad y densidad del Autódromo y Bogotá. ....	61
Tabla 21. Datos del auto promedio.....	61
Tabla 22. Resultados de pruebas para alerón de un elemento.....	65
Tabla 23. Resultados de pruebas para alerón de dos elementos .....	65
Tabla 24. Resultados de pruebas para alerón de tres elementos .....	66

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Presión dinámica .....	25
Ecuación 2. Diferencial de presiones .....	26
Ecuación 3. Coeficiente de sustentación.....	26
Ecuación 4. Coeficiente de arrastre .....	28
Ecuación 5. Relación de aspecto .....	32
Ecuación 6. Relación funcional con respecto a $\pi$ .....	37
Ecuación 7. Relación modelo prototipo .....	38
Ecuación 8. Relación modelo prototipo de acuerdo a la ecuación de Reynolds.....	58
Ecuación 9. Relación de escala .....	60
Ecuación 10. Velocidad para el modelo. ....	60

## TABLA DE ABREVIATURAS

**AR:** Relación de aspecto

**b:** Envergadura

**b.a.:** Borde de ataque

**c:** Cuerda

**CD:** Coeficiente de arrastre

**CL:** Coeficiente de sustentación

**CP:** Coeficiente de presiones

**FIA:** Federación internacional de automóvil

**S:** Superficie

## GLOSARIO

**AERODINAMICA:** Parte de la mecánica que estudia el movimiento de los gases sobre un cuerpo y las fuerzas o reacciones a las que están sometidos los cuerpos que se encuentran en estos.

**ADIMENSIONAL:** Se usa en las ciencias exactas como toda aquella magnitud que carece de una unidad asociada.

**ALERON DELANTERO:** Cuerpo con tal forma que el aire que pasa a través de este genera carga aerodinámica el cual es usado para equilibrar la carga trasera del vehículo, tienes otros objetivos como reducir el arrastre de las ruedas y direccionar el flujo sobre el vehículo.

**ANGULO DE ATAQUE:** Es el ángulo formado entre la cuerda y el viento relativo.

**ARRASTRE:** Resistencia aerodinámica la cual se opone al avance de un objeto.

**BOXES:** También conocido como pit stop, se usa en las carreras automovilísticas para hacer referencia al lugar donde al vehículo se reabastece de combustible y en algunos casos cambio de auto partes.

**CUERDA:** Distancia entre el borde de ataque y el borde de salida de un perfil aerodinámico.

**DOWNFORCE:** Fuerza que genera el aire que fluye a través y sobre un cuerpo, también se conoce como sustentación negativa o inversa.

**DENSIDAD:** Relación que existe entre la masa y el volumen.

**ENVERGADURA:** Distancia entre los dos extremos de un alerón.

**ESPESOR:** Se expresa en % de la cuerda, desde un 3% hasta 18% en perfiles muy gruesos.

**EXTRADOS:** Superficie superior del alerón.

**FLAP:** Alerón que aumenta la capacidad de carga aerodinámica.

**INTRADOS:** Superficie inferior del alerón

**LINEA DE CURVATURA MEDIA:** línea equidistante entre el intradós y el extradós. Es de gran importancia ya que fija la curvatura del perfil. Si esta está por encima de la cuerda del perfil es positiva, si está por debajo o doble curvatura (parte por encima de la cuerda y otra por debajo) de la cuerda del perfil es negativa.

**NUMERO MACH:** Numero adimensional el evalúa la velocidad de un cuerpo con respecto a la velocidad del sonido.

**NUMERO DE REYNOLDS:** Numero adimensional el cual evalúa a través de la relación que tienen las fuerzas inerciales con las fuerzas viscosas de un fluido con el fin de saber si el flujo es laminar o turbulento.

**RADIO DE CURVATURA DEL B.A.:** Define la forma del b.a., es el radio de un círculo tangente al extradós y el intradós, y su centro situado en la línea tangente en el origen de la curva media.

**ORDENADA MAXIMA DE LA LINEA DE CURVATURA MEDIA:** Es la distancia máxima entre la línea de curvatura media y la cuerda.

**PRESION:** Fuerza ejercida por un gas, líquido o sólido sobre una unidad de superficie.

**RELACION DE ASPECTO:** Relación existente entre la envergadura del alerón y el ancho de este.



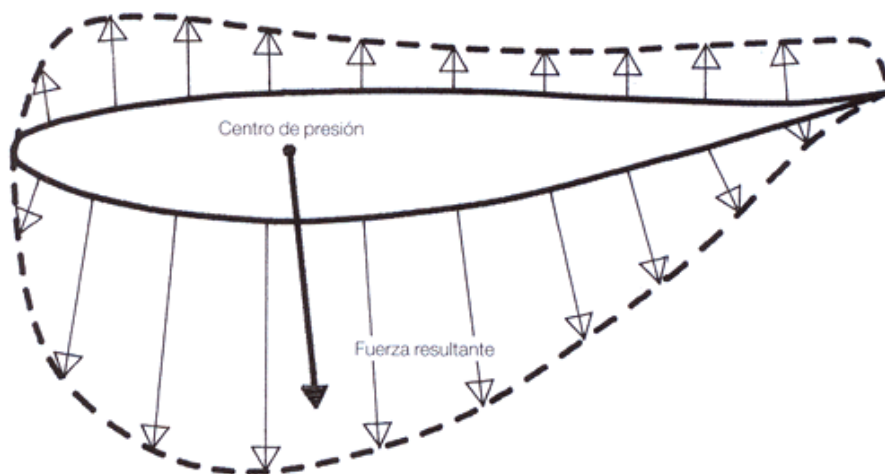
## 1. MARCO CONCEPTUAL

El uso del ala invertida generó la revolución de la aerodinámica en el mundo de la competición, se volvió muy popular en la segunda mitad de los años 60, al tiempo que los formula 1 incorporaban alas tanto adelante como atrás. Los alerones utilizados en aquellos días tenían un diseño bastante sobrio si lo comparamos con los complejos ensamblajes que adornan todos los monoplazas de carrera del más alto nivel actualmente.

Un alerón se considera normalmente otra forma de decir ala, que es un cuerpo con tal forma que el aire que pasa a través de ella y crea downforce o carga aerodinámica en este caso sin causar una resistencia excesiva.

Los alerones de los vehículos de carreras ya no pueden tener ángulos de incidencia variable mientras se encuentra en marcha, y los cambios de dichos ángulos solo pueden realizarse en los boxes. El punto teórico en el que actúan las fuerzas sobre un alerón, y en el cual no hay un par o momento incidente, se conoce como centro de presión que muestra la Figura 1. El objetivo de un alerón es reducir la presión bajo el lado de succión de la parte inferior, y aumentar la presión del aire en la parte superior o lado de presión como se ve en la Figura 1. El resultado de esto es que se producen tanto carga aerodinámica como, arrastre. Lo cual permite al vehículo tomar las curvas a más velocidad y frenar más rápido.

Figura 1. Distribución generalizada de la presión alrededor de un alerón



Fuente: adaptada por los autores de MCBEATH, Simón. Aerodinámica del automóvil de competición, Editorial CEAC, Ed. 3, Año 200- Pág. 76.

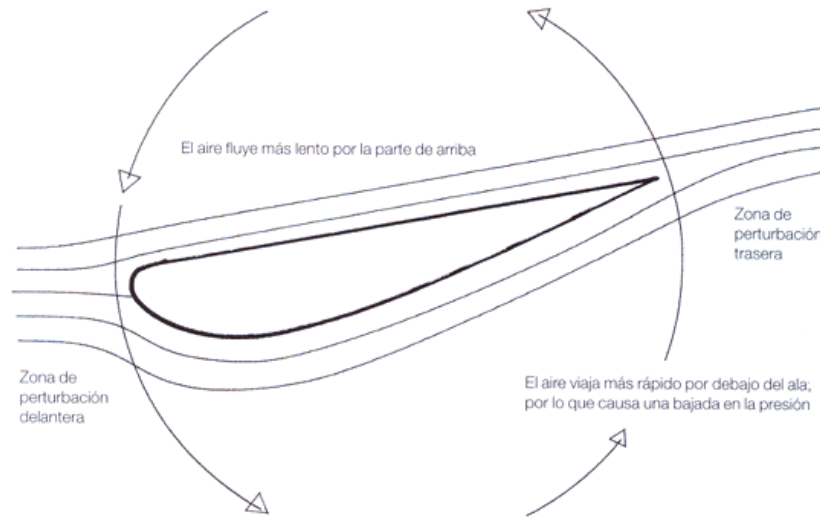
La relación de sustentación/resistencia (L/D) se utiliza una vez más como medida de la eficiencia aerodinámica. La carga aerodinámica y la resistencia generalmente aumentan con un ángulo de ataque más pronunciado. Sin embargo, existe un cierto ángulo, y todos los alerones tienen uno, en el cual el flujo de aire se desvía por el lado de succión del ala y, en lugar de fluir suavemente, se vuelve muy inestable y se separa de la superficie del alerón. Este efecto es acompañado por una pérdida repentina de carga aerodinámica y un aumento de igual tamaño de la resistencia.

### **1.1 AERODINÁMICA EN VEHÍCULOS.**

Según Newton la fuerza que actúa sobre el objeto que se mueve a través de partículas de aire las cuales chocan contra dicho objeto genera una transferencia de cantidad de movimiento entre las partículas de aire y el objeto, esto se debe a propiedades físicas del aire como la viscosidad y la velocidad del fluido el cual rodea el objeto.

Este principio aplicado a un perfil aerodinámico logra generar cierta fuerza la cual se puede ver representada por una carga aerodinámica, esto depende a un diferencial de presiones el cual va ligado a la velocidad superficial del objeto que a su vez depende de la geometría que este tenga, el aire que fluya sobre cierto objeto con diferentes áreas superficiales varía su velocidad de la siguiente manera en el área más grande este será más lento que en la parte de menor área como se observa en la Figura 2. Esto genera un diferencial de presión que hace que la parte de mayor velocidad succione hacia ese lado.

Figura 2. Como crea carga aerodinámica un alerón.



Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 33.

### 1.1.1. ALERON DELANTERO

Los primeros alerones usados en los vehículos de competición se dieron por la empresa inglesa Lotus a mediados de 1968, fueron implementados en la parte trasera utilizando perfiles aerodinámicos para su diseño y construcción.

A pesar de que estos alerones ocasionaron grandes accidentes debido a que no iban sujetos al chasis por lo cual tuvieron que ser reglamentados por la FIA para poder ser usados de manera segura.

La aparición de un alerón trasero creó la necesidad de un alerón delantero, debido a que cualquier auto que aumente la carga sobre su eje trasero genera una falta de adherencia en su eje delantero lo cual hace que su centro de gravedad se desplace hacia atrás descompensando la distribución de peso en sus cuatro ruedas. Esto logra una gran tracción en el eje trasero del auto lo cual serviría si el circuito fuera en línea recta, pero al tomar la primera curva la falta de adherencia en el eje delantero impedirá que el auto la logre con buena velocidad ya que este sobre viraría o sub viraría, de igual manera si la carga delantera es excesiva sucedería lo mismo, adicional mente las ruedas frenarían un poco el vehículo por la cantidad de carga, por esta razón es necesario tener un equilibrio entre las fuerza que empujan las ruedas contra el suelo sobre sus dos ejes para que este sea estable tanto en curva como en recta.

De esta manera el alerón delantero es de gran importancia en la aerodinámica de competición ya que este le da equilibrio al balance del auto y se encarga de organizar el flujo del aire alrededor del monoplaza.

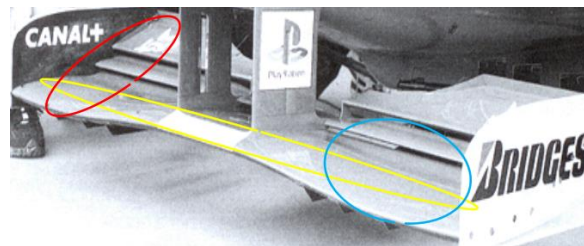
### 1.1.1.2. ALERÓN PRINCIPAL

Conocido también como mainplane o plano principal el cual recorre gran parte del ancho del auto y va anclado a la punta del vehículo o morro mediante uno o dos pilotes dependiendo de su diseño.

### 1.1.1.3. ALERONES SECUNDARIOS

Son una serie de alerones secundarios instalados sobre el alerón principal, los cuales pueden ser llamados flaps a cada lado de la nariz del auto estos pueden ser asimétricos dependiendo del diseño, generalmente van unidos a la parte lateral, la función principal de estos es generar carga para mejorar el agarre de las ruedas delanteras pero a su vez la de direccionar el flujo de aire para evitar la mayor resistencia al avance en las ruedas siendo estas las que generan una mayor resistencia aerodinámica, en la F1 hablan de un 60% de ineficiencia aerodinámica la cual logran mitigar re direccionando el flujo de aire sobre estas hasta un 40% o menos.

Figura 3. Alerones secundarios o flaps.



Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 100.

## 1.1.2. TIPOS DE ALERONES

Los alerones de los vehículos de competición pueden estar constituidos por un solo elemento, por dos o múltiples elementos, esto depende de la categoría en que se compita y el reglamento que esta tenga o bien sea de las necesidades que tenga el vehículo en pista y las tolerancias de la estructura de este.

### 1.1.2.1 ALERÓN DE UN ELEMENTO

Este alerón consta de un solo elemento el cual se encuentra marcado de color amarillo en la Figura 3 donde los diseñadores buscan perfiles con el mayor arqueado para aumentar el downforce, este arqueado produce un desprendimiento de capa límite en la parte trasera del perfil lo cual genera ineficiencia aerodinámica.

#### **1.1.2.2 ALERÓN DE DOS ELEMENTOS**

Este presenta más eficiencia aerodinámica que el de un plano ya que el fluido al pasar por dos alerones reduce el desprendimiento de la capa límite del primero, aumentando la velocidad en curva pero reduciéndola en rectas debido a la carga generada, Se observa en la Figura 3 de color azul un alerón de dos elementos el cual incluye el principal y los secundarios.

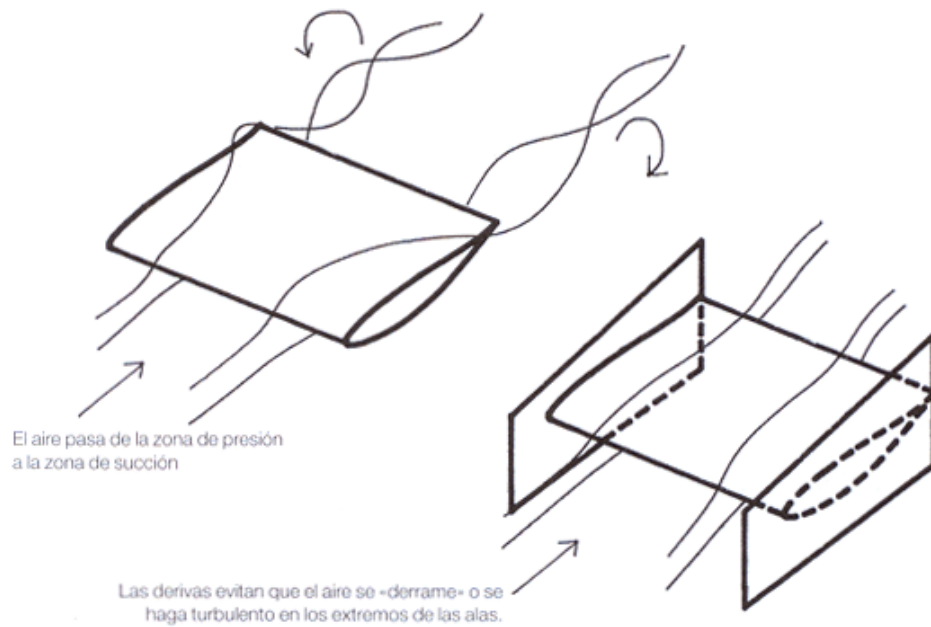
#### **1.1.2.3 ALERÓN DE VARIOS ELEMENTOS.**

El alerón de tres o más planos genera una mayor carga a las ruedas delanteras del vehículo logrando una mayor velocidad en las curvas y de igual manera frenándolo en las rectas, teniendo en cuenta que estos pueden dar una mejor distribución del aire. En la Figura 3 está señalado con rojo un alerón de 3, pero este puede tener muchos más.

#### **1.1.3. DERIVAS LATERALES**

El propósito de estos componentes es mantener la carga aerodinámica del alerón. Sin las derivas el aire sobre el perfil busca que el aire en la zona de alta presión intente escapar a la zona de baja presión, haciendo que este se deslice sobre el cuerpo del alerón y cree vórtices o movimientos diagonales del aire como lo muestra la Figura 4. Lo cual genera pérdida de carga aerodinámica. Implementando estas derivas se busca mitigar este efecto sobre la superficie del alerón ayudando a mantener el diferencial de presiones como se muestra a continuación.

Figura 4. Efecto de las derivas laterales.

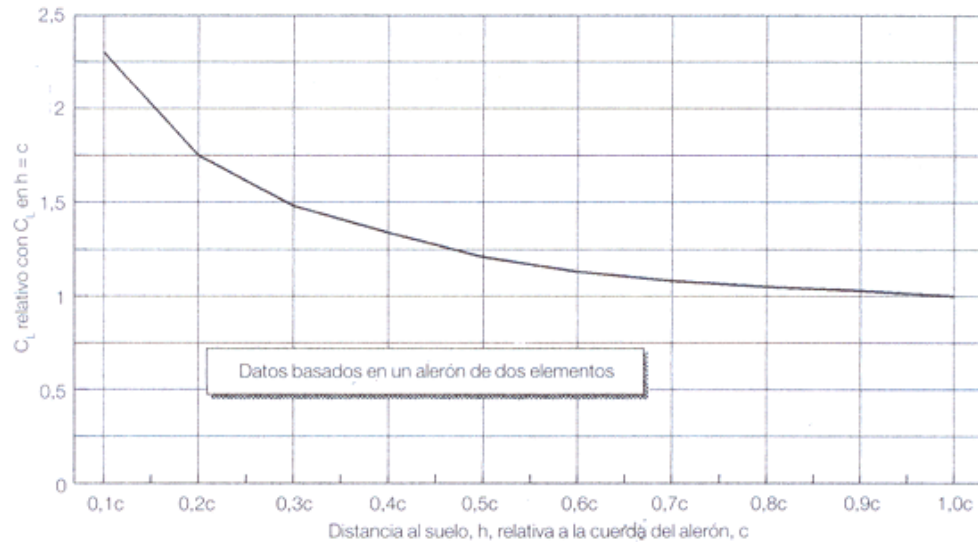


Fuente: adaptada por los autores de Ibíd., Pág. 91.

#### 1.1.4. EFECTO SUELO

La carga aerodinámica que produce el alerón separado del suelo aumenta según su distancia con este. Esto se debe a que funciona como un tubo Venturi el cual causa que una reducción de presión entre el alerón y el suelo y por ende una mayor velocidad del flujo lo que no sucedería si el aire pasara libremente. Pero hay que tener en cuenta que este efecto aumenta hasta cierto punto si se acerca demasiado al suelo ocurre un límite de interferencia con el suelo que bloquea el flujo que pasa por debajo de este. Generalmente esta altura se considera que debe ser menor que la cuerda como se ve en la figura 5.

Figura 5. Efecto suelo



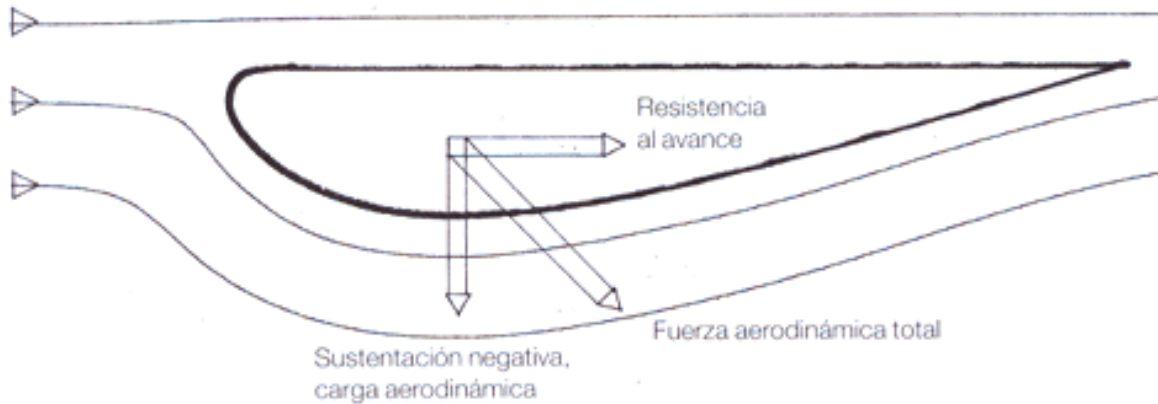
Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 99.

Se observa que toman un porcentaje de la cuerda de la cuerda como distancia del suelo al alerón y a medida que el porcentaje es mayor el CL disminuye lo que indica que entre más cerca al suelo aumenta considerablemente el CL.

### 1.1.5. COMPONENTES AERODINAMICAS EN UN PERFIL

Existen dos fuerzas aerodinámicas implicadas la resistencia que ofrece el aire al avance y la sustentación las cuales interactúan entre sí obteniendo una resultante como se muestra en la Figura 6, Donde se resumen todas las presiones también conocidas como fuerza o carga aerodinámica o sustentación que actúan sobre el cuerpo u objeto.

Figura 6. Fuerzas aerodinámicas en un cuerpo en movimiento



Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 34.

Si se tiene en cuenta un perfil simétrico con un ángulo de ataque de cero por el cual fluye una corriente de aire. La presión será simétrica en todo el perfil como se en la Figura 7. Si el perfil aerodinámico presenta un ángulo de ataque positivo, la distribución de las líneas de aire presentara mayor velocidad en parte superior del perfil o extradós y una disminución de velocidad en la parte inferior o intradós. El aumento del ángulo de ataque de manera positiva también genera una deflexión de la corriente hacia la parte superior del borde de ataque y hacia abajo en después de la borde salida.

Al aumentar la velocidad en el extradós el valor de presión aumenta, mientras la disminución de la velocidad en el intradós disminuye; La resultante de la distribución de fuerzas va dirigida hacia el extradós por lo tanto la componente de este diferencial de presiones será la sustentación como se muestra en la Figura 7, esta resultante es conocida como centro de presiones.



Figura 7. Distribución de presiones sin y con ángulo de ataque en un perfil aerodinámico.



Fuente: adaptada por los autores de ISIDORO CARMONA, Aníbal. Aerodinámica y actuaciones del avión, Editorial ITP Paraninfo-Madrid España, 2000, Pág. 85,86.

Se observa que a medida que el ángulo de ataque aumenta así mismo aumenta el diferencial de presiones, dando lugar a que la sustentación aumente. Pero hay que tener en cuenta que el desplazamiento del centro de presiones conforme al ángulo de ataque a medida que este aumente este se va inclinando hacia adelante al borde de ataque tanto así que ha cierto ángulo de ataque este ya no generara sustentación y entrara en pérdida o que no genere succión hacia el extradós, esto también puede suceder para ángulos negativos a diferencia el centro de presiones se inclinara hacia atrás.

Se puede percibir que variables tales como la forma del perfil, densidad y velocidad afectan el rendimiento de este. El efecto de estas variables se resume en una sola que se denomina presión dinámica ( $q$ ), descrita en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Presión dinámica

$$q = \frac{1}{2} * \rho v^2$$

Fuente: adaptada por los autores de ISIDRO CARMONA, Aníbal. Aerodinámica y actuaciones del avión, Editorial ITP Paraninfo-Madrid España, Año 2000, Pág. 87.

### 1.1.5.1. PRESIÓN

Las componentes implicadas vistas anteriormente se combinan entre sí como se ha venido observando en vectores para dar con una resultante, siendo este el principio básico de las resultantes de las presiones que actúan sobre un cuerpo como el del alerón. Este diferencial de presiones se puede expresar matemáticamente como el coeficiente de presiones multiplicado por la presión dinámica como se observa en la Ecuación 4.

Ecuación 2. Diferencial de presiones

$$P = Cp / \left( \frac{1}{2} \rho v^2 s \right)$$

Fuente: adaptada por los autores de MCBEATH, Simón. Aerodinámica del automóvil de competición, Editorial CEAC, Ed. 3, Año 2000 Pág. 33.

Donde el diferencial de presión (P) está dada por el coeficiente de presiones (Cp) que indica la presión local en un punto alrededor de un cuerpo y no depende de la velocidad, de igual manera de la presión dinámica que depende de la densidad ( $\rho$ ) y la velocidad ( $v$ ), por último se tiene en cuenta la superficie del cuerpo (s).

### 1.1.5.2. CARGA Y RESISTENCIA

Un alerón con un perfil asimétrico por el cual fluye una corriente de aire a una velocidad (V), densidad ( $\rho$ ) en la cual en dirección del aire se da una resistencia y en dirección perpendicular sustentación.

*“Si hiciéramos la experiencia de colocar el perfil con diversos ángulos de ataque  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ . Y medir las fuerzas de sustentación y resistencia originadas  $L_1, L_2, \dots, L_n$ .  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . sin variar ni la densidad ni la velocidad, y efectuáramos los cosientes de L entre  $q^*S$ , sien S la superficie alar, obtendríamos un coeficiente sin dimensiones, que dominaremos  $C_L$ , coeficiente de sustentación.”*<sup>1</sup>  
Mirar Ecuación 2.

Ecuación 3. Coeficiente de sustentación.

$$Cl = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho v^2 * S}$$

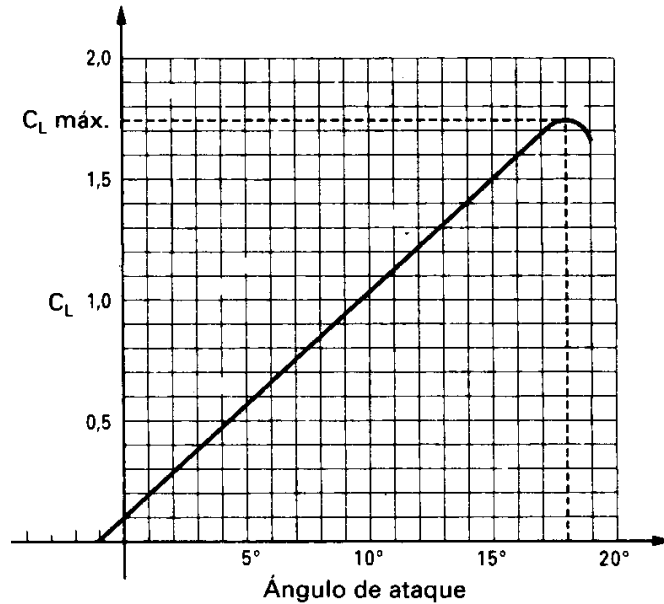
Fuente: adaptada por los autores de ISIDORO CARMONA, Aníbal. Aerodinámica y actuaciones del avión, Editorial ITP Paraninfo-Madrid España, 2000, Pág. 89.

Si se representa el  $C_L$  en función del ángulo de ataque, se tiene que  $q^*S$  es una constante y a mayor ángulo de ataque, mayor es el L como se tiene en la Figura 8.

---

<sup>1</sup> CARMONA I. Aníbal. Aerodinámica y Actuaciones del Avión, Editorial PARANINFO, edi. 10, 2000, Pág. 89.

Figura 8.  $C_L$  máximo con respecto al ángulo de ataque



Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 89.

Como se observa después de determinado ángulo de ataque el  $C_L$  empieza a disminuir eso es lo que se conoce como entrada en pérdida y se denomina el ángulo máximo de ataque.

Teniendo en cuenta nuevas condiciones como el aire a mayor velocidad se comprende que las fuerzas  $L$  la cual se puede despejar de la Ecuación 2. Serían mayores lo cual también pasa en el túnel de viento. Se puede pensar que los  $C_L$  para cada ángulo de ataque también serían mayores, pero el  $q \cdot S$  aumenta debido a las características de la presión dinámica por lo cual este denominador también aumenta por la velocidad y se encontraría con valores iguales que el  $C_L$ , lo cual haría que el alerón también entre en pérdida para su ángulo máximo de  $L$ . Por lo tanto el  $L$  varía con cualquier cambio de estas propiedades físicas a diferencia del  $C_L$ , este solo depende del ángulo de ataque por lo tanto cada  $C_L$  corresponde a cierto ángulo.

De igual manera las características de  $L$  afectan la resistencia ( $D$ ) como se ve en la Ecuación 3, las fuerzas de la  $D$  varían con la velocidad, densidad y ángulo de ataque.

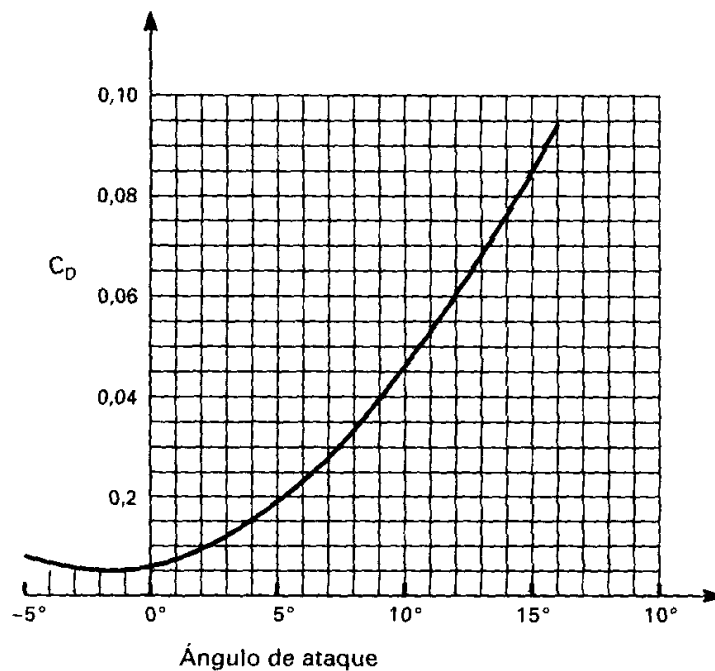
Ecuación 4. Coeficiente de arrastre

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho v^2 * S}$$

Fuente: adaptada por los autores de Ibíd., Pág. 99.

La resistencia (D) se puede obtener despejando la Ecuación 3, de igual manera depende del ángulo de ataque como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Coeficiente de resistencia vs ángulo de ataque



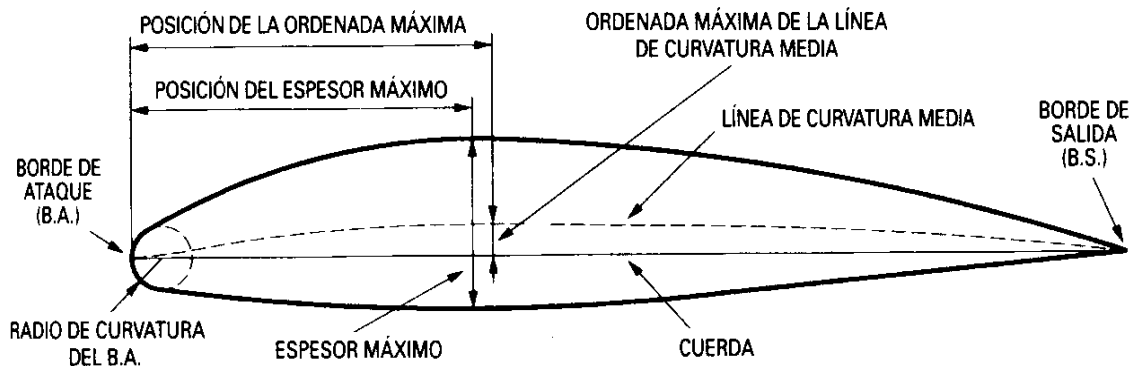
Fuente: adaptada por los autores de Ibíd., Pág. 91.

A diferencia de la Figura 8. Se puede observar que en la Figura 9. claramente que para la resistencia el ángulo máximo de sustentación o el ángulo de pérdida no es el mismo para la sustentación, a diferencia de la sustentación la resistencia va aumentando con el ángulo de ataque entre más alto más resistencia a diferencia de la sustentación a menor ángulo menor resistencia, de esta manera estas son inversamente proporcionales después de cierto ángulo de ataque, en cuanto a variables como la densidad y velocidad a medida que estos aumentan la resistencia también lo hace por lo tanto con estas propiedades físicas del ambiente es directamente proporcional.

### 1.1.5.3. PARTES DE UN PERFIL AERODINAMICO

En la Figura 10. Se tienen las partes de un perfil aerodinámico:

Figura 10. Descripción de un alerón.



Fuente: adaptada por los autores de Ibíd. Pág. 79.

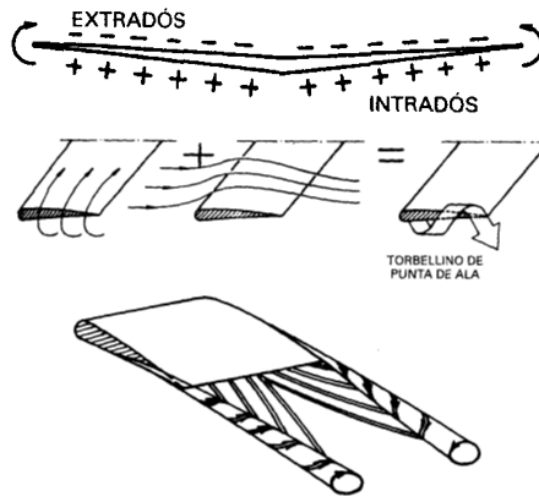
### 1.1.6. FORMAS EN LA PLANTA DEL ALERON

Ahora se tiene en cuenta cómo influye la forma del alerón. La diferencia entre analizar sola mente el perfil del alerón, es que en un perfil se asume una envergadura infinita, lo cual no ocurre en la realidad.

#### 1.1.6.1. SUSTENTACION EN EL ALERON

Sabiendo ya que el extradós está sometido a una succión (Figura 11) considerable con respecto a la que puede tener el intradós en una sección o perfil de lo que es un alerón completo, de igual manera se presenta el mismo efecto en cada sección de todo el alerón. Al existir esta diferencia de presiones hacia las puntas de los alerones tiende a crearse una corriente de aire transversal a lo largo de la envergadura de arriba hacia, por lo tanto se tiene superpuesta con la corriente longitudinal una corriente transversal.

Figura 11. Corrientes superpuestas y vórtices.



Fuente: adaptada por los autores de Ibíd. Pág. 123.

Esto se debe a que la velocidad del fluido en el extradós es superior a la del intradós y al terminar el alerón la mayor presión se da en el intradós lo cual produce una corriente hacia arriba que al unirse con la corriente de arriba genera vórtices en las puntas observar Figurar 11.

Rápidamente se puede deducir que a mayor ángulo de ataque, densidad o velocidad mayor será la sustentación por lo tanto este efecto de vorticidad tendrá mayor intensidad.

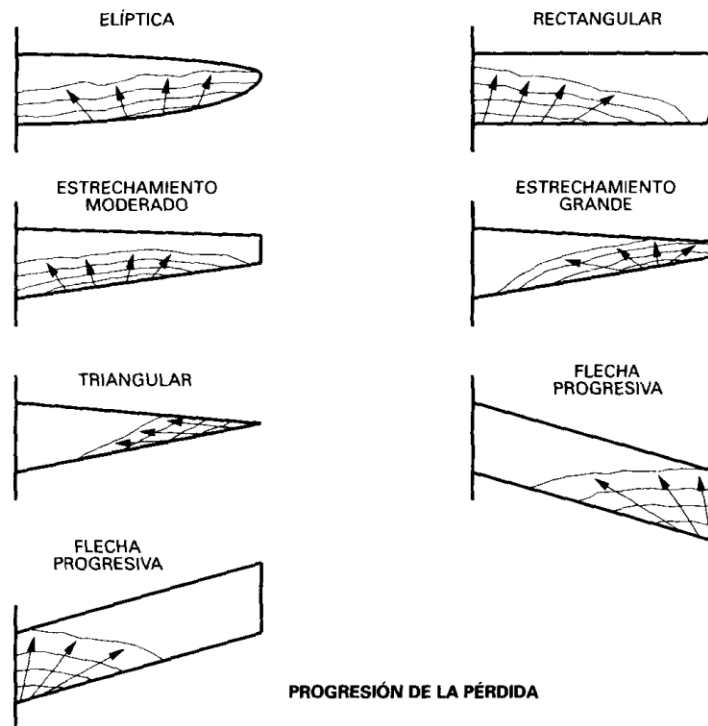
### 1.1.6.2. EFECTOS DE FORMA

Lo que se busca o desea en un alerón o cualquiera similar a este es que la pérdida de downforce empiece en el encastre y se propague de forma progresiva hacia las puntas, la mínima resistencia inducida en un ala se produce cuando la distribución de sustentación a lo largo de la envergadura es elíptica. Uno de los factores que hacen que esta no sea escogida es debido a su construcción, en una superficie trapezoidal su eficiencia es muy similar a la elíptica pero a diferencia es mucho más fácil de construir.

La pérdida se origina en la proximidad de aquellos puntos en el que el coeficiente de sustentación local es máximo, en la Figura 12 se representan diversos tipos de entrada en pérdida correspondientes a varias formas en la planta del ala. La

perdida se inicia en los puntos de envergadura donde existe un mayor coeficiente de sustentacion local.

Figura 12. Diferente tipo de planta entrando en pérdida



Fuente: adaptada por los autores de Ibíd., Pág. 143

El alerón tipo elíptico tiene un coeficiente de sustentacion local constante a lo largo de toda la envergadura, por lo tanto todas y cada una de las secciones empezarian a entrar en perdida al mismo angulo ed ataque y al mismo tiempo como se ve en la Figura 12.

Mientras tanto en un ala rectangular se produce unos torbellinos en las puntas muy altos, una deflexion de la correinte detrás del ala hacia abajo, pequeña en el centro y grande en las puntas, angulo de ataque inducido de valor pequeño en el centro y grande en las puntas, como conclusion la perdida inicia en el centro y va progresando en las puntas (Ver Figura 12. Rectangular).

*“para valores entre 2 y 10 ya sea por debajo o por encima de este valor se verá afectado el rendimiento aerodinámico”<sup>2</sup>,*

El estrechamiento de un ala esta definido por el la Ecuacion 5, los alerones con estrechamiento moderado tienen una distribucion de presiones que se aproxima mucho a la eliptica sin un tipo de entrada de perdida parecido, los alerones con un valor de estrechamiento alto tiene su coeficiente maximo de sustentacion local practica de las putnas de las alas, lo quehace que tiendan a entrar en perdida primero en las putnas (ver Figura 12. Estrechamientos).

Ecuación 5. Relación de aspecto

$$AR = \frac{b^2}{s}$$

Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 118.

En forma de flecha se producen efectos similares a un aumento del estrechamiento donde aumenta la resistencia inducida tendiendo a entrar en perida primero en las puntas , esta tendencia de lo aleronres o alas flechadas se agrava con el angulo de estrechamiento, los aleronres con grande estrechamiento o o flechamiento presentan grande resistecia inducida (Ver Figura 12. Flechamientos).

Para alerones delta se tienen características similares a las de flecha sin incurrir efecto en los defectos de la perdida en las puntas las cuales son usadas para altas velocidades (Ver Figura 12. Delta).

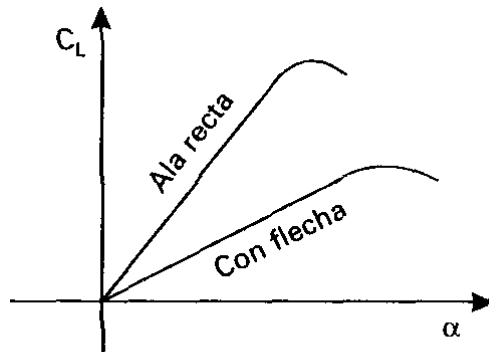
Acontinuacion se observa en una grafica como influye el flechamiento sobre la curva de sutentacion bien aplica para sustentacion negativa donde se observa la disminuaicon de CL para un mismo angulo de ataque asi como el mayor angulo de ataque.

---

<sup>2</sup> *McBeath Simon. Aerodinámica del Automóvil de Competición, Editorial CEAC S.A., edi.1, Año 2000, Pág. 75*



Figura 13. Comparación CL Vs Angulo de ataque de ala recta y en flecha



Fuente: adaptada por los autores de Ibíd., Pág. 143

## 1.2. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL ALERÓN

El alerón delantero es de gran importancia en la aerodinámica de competición ya que este le da equilibrio al balance del vehículo y se encarga de organizar el flujo del aire alrededor del monoplaça.

El alerón delantero, a diferencia del trasero, no sólo proporciona carga aerodinámica al eje delantero del vehículo, sino que es el encargado de organizar el flujo de aire alrededor del monoplaça.

### 1.2.1. ALERÓN DE UN ELEMENTO.

Los alerones delanteros tienen como función principal generar carga aerodinámica para mejorar el agarre en el tren delantero pero si a la vez que se consigue ese objetivo los ingenieros pueden reducir la resistencia que generan las ruedas, facilitar que llegue un flujo de aire fresco a los pontones donde se sitúan los radiadores para mejorar la refrigeración y crear potentes vórtices que canalicen de forma eficiente aire a la zona del difusor que de otra forma se perdería, mejor que mejor.

Por tanto para un alerón de un solo elemento los parámetros de selección incluyen:

1. *“Un ángulo de ataque bajo para conseguir poca carga aerodinámica y poca resistencia, un ángulo de ataque alto, hasta un máximo de 14-16° relativo*

*al flujo de aire, para una mayor carga aerodinámica, con el hándicap de resistencia.*

2. *Poco grosor, poca carga aerodinámica y poca resistencia, y hasta 0,12 c para mayor carga, aunque a velocidades bajas, el grosor es mucho menos crítico.*
3. *Pequeñas cantidades de curvatura, de unos 0,3c, para poca carga aerodinámica y una curvatura mayor, de entre 0,05c hasta 0,15c para mayor carga, junto con un desplazamiento hacia atrás.*
4. *Radio del borde de ataque entre 1-3% de cuerda.* ”<sup>3</sup>

Los coeficientes máximos de sustentación de un alerón de un solo elemento van desde 1,2 a 1,6 justo antes de alcanzar al ángulo de pérdida y un valor típico para un alerón de grosor medio con una curvatura moderada. Otros factores que contribuyen a producir un CL más bajo que el que deseamos.

Con una relación de aspecto baja (envergadura dividido en cuerda) hace que el alerón sea menos eficaz en términos de sustentación y resistencia. Un modo eficaz de aumentar la carga aerodinámica es manteniendo una relación de aspecto moderada para aumentar el CL, esto se puede conseguir utilizando un perfil de un solo elemento con mayor curvatura o si se necesita mucha carga usando un alerón de varios elementos.

### **1.2.2. ALERONES DE DOS ELEMENTOS**

El alerón de dos elementos delantero por lo general va acompañado de un flap. Si se añade un flap a un alerón de un solo elemento en la posición apropiada. Se aumenta el área de planta, el cual permite la creación de más carga aerodinámica, la curvatura efectiva del ala de dos elementos se ve aumentada y también aumenta la carga de cierto ángulo de ataque. Existen aspectos que se deben tener en cuenta con respecto al tamaño y posición del flap.

*“El tamaño del flap, o sea la dimensión de su cuerda, es generalmente del orden del 25-30% de la cuerda general (Plano principal mas flap), C. También se utilizan cuerdas de flap mayores del orden del 30-40% para generar incrementos en el coeficiente de la carga aerodinámica.”*<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> McBeath Simon. *Aerodinámica del Automóvil de Competición*, Editorial CEAC S.A., ed. 1, Año 2000, Pág. 89.

<sup>4</sup> McBeath Simon. *Aerodinámica del Automóvil de Competición*, Editorial CEAC S.A., ed. 1, Año 2000, Pág. 85.

General mente el flap es una versión a escala del plano principal, aunque también puede llevar otro tipo de perfil aerodinámico sin afectar la aerodinámica del alerón como tal, aunque estos pueden ser algo más anchos que el plano principal.

Se considera de gran importante en un alerón de dos elementos la posición del flap en relación con el plano principal. La clave es formar una ranura estrecha entre el borde de fuga del plano principal y el borde de ataque del flap. Para esto hace falta que se solapen, con el flap situado encima del borde de fuga del plano principal.

*“El tamaño del espacio entre el plano principal y el flap es normalmente de 1-2% C. y el solapamiento entre el borde de ataque del flap y el borde de fuga del plano principal, aunque no resulta crítico, es normalmente de un 1-4% C. Sin embargo, el punto más crítico de todos es que la forma de la ranura debe ser convergente o sea, que se va estrechando desde su apertura hasta su salida.”<sup>5</sup>*

El flap no solo busca aumentar área y la curvatura para mejorar la carga aerodinámica, sino que también permitir que algo del aire de la zona de alta presión del alerón pase por la ranura hasta la zona de succión, esto ayuda a controlar la capa límite y a retrasar la separación de flujo que a cambio debería permitir un mayor ángulo de ataque antes de que la ala entrara en pérdida.

### **1.3. DIMENSIONES Y UNDADES.**

Una dimensión se reconoce como una cantidad física, mientras la unidad se reconoce como un número asignado a dicha dimensión. Por ejemplo se le llama dimensión física a los milímetros (mm) metros (m), kilómetros (Km). Existe siete dimensiones fundamentales ver la Figura 14.

Las dimensiones no primarias se pueden formar por la combinación de las dimensiones primarias por ejemplo la fuerza, que se observa a continuación.

---

<sup>5</sup> McBeath Simon. *Aerodinámica del Automóvil de Competición*, Editorial CEAC S.A., edí.1, Año 2000, Pág. 86.

Figura 14. Dimensiones primarias y sus unidades en el SI e inglesas.

Dimensión	Símbolo*	Unidad SI	Unidad inglesa
Masa	m	kg ( kilogramo)	lbm (libra-masa)
Longitud	L	m ( metro)	ft (pie)
Tiempo <sup>†</sup>	t	s ( segundo)	s (segundo)
Temperatura	T	K (kelvin)	R (rankine)
Corriente eléctrica	I	A (ampere)	A (ampere)
Cantidad de luz	C	cd (candela)	cd (candela)
Cantidad de materia	N	mol (mole)	mol (mole)

\* Para las variables, los símbolos están en cursiva, pero no así para las dimensiones.

<sup>†</sup> Note que algunos autores usan el símbolo T para la dimensión tiempo y el símbolo  $\theta$  para la dimensión temperatura. En este texto no se sigue este sistema para evitar confusión entre tiempo y temperatura.

Fuente: adaptada por los autores de CENGEL, Yunus A. y CIMBALA, John M. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, edi. 1, 2006, P 270.

### 1.3.1. HOMOGENEIDAD ADIMENSIONAL.

La ley de homogeneidad dimensional infiere que todo término aditivo en una ecuación debe tener las mismas dimensiones. En caso de que se encuentre uno o más términos aditivos sean diferentes o que las dimensiones no correspondan, esto indica claramente que hay un error en alguna parte del proceso. Por esta razón solo se habla de homogeneidad dimensional, los cálculos solo son válidos cuando las unidades son homogéneas.

### 1.3.2. ELIMINACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS ECUACIONES

Debido a la ley de homogeneidad dimensional se garantiza que todo término aditivo sobre una ecuación tenga las mismas dimensiones. Teniendo en cuenta que cada término se fracciona en un conjunto de variables constantes donde el producto del denominador y el numerador sea de igual dimensiones de la ecuación queda sin dimensiones o también llamado adimensional, a estos valores reciben el nombre en honor al científico por ejemplo Reynolds. Lo que se busca es eliminar el número de dimensiones para reducir el número de parámetros y poder tener la misma conclusión con menos iteraciones.

### 1.3.3. ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SIMILITUD

La experimentación es el método de obtener la información confiable, en la mayoría de experimentos, con el fin de ahorrar tiempo y dinero se realizan

pruebas con modelos a escala geométrica del prototipo real. Para lograr esto se debe tener cuidado de escalar lo mejor posible los resultados. Para realizar esto se tiene en cuenta la técnica llamada análisis dimensional que consta de tres propósitos fundamentales.

- ✓ *“Generar parámetros fundamentales que ayuden en el diseño de experimentos (físicos o numéricos) y en el reporte de los resultados experimentales.*
- ✓ *Obtener leyes de escalamiento de modo que se pueda predecir el desempeño del prototipo a partir del desempeño del modelo.*
- ✓ *Predecir las tendencias en la relación entre parámetros.”*<sup>6</sup>

Antes de realizar el análisis dimensional se debe tener claro el principio de similitud el cual consta de tres condiciones; Similitud geométrica, similitud cinemática y similitud dinámica.

La similitud geométrica hace referencia a que la forma del modelo debe ser la misma del prototipo, la similitud cinemática indica la velocidad del flujo en el modelo es proporcional a la velocidad del flujo en el prototipo teniendo en cuenta sobre un punto la magnitud, escala y dirección. La similitud dinámica se da cuando las fuerzas del flujo del modelo se escalan a las fuerzas correspondientes en el flujo de prototipo.

*“La similitud cinemática es una condición necesaria pero insuficiente para similitud dinámica. Por lo tanto, es posible para un flujo de modelo y un flujo de prototipo lograr tanto similitud geométrica como cinemática, pero no similitud dinámica. Para garantizar similitud completa deben existir las tres condiciones de similitud.”*<sup>7</sup>

Se usa la letra pi ( $\pi$ ) para referirse a números adimensionales, en un problema de análisis dimensional existe una ( $\pi_1$ ) dependiente donde esta es una función de otras variables de ( $\pi$ ) llamadas independientes (ver Ecuación 6).

Ecuación 6. Relación funcional con respecto a  $\pi$

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_k)$$

Fuente: adaptada por los autores de *Ibíd.*, Pág. 278

---

<sup>6</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, ed. 1, 2006, P 277.

<sup>7</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, ed. 1, 2006, P 278.

Para que se dé la similitud completa entre el modelo y prototipo cada  $\pi_{modelo}$  independiente debe ser idéntico al correspondiente a la independiente del prototipo  $\pi_{prototipo}$  (Ver Ecuación 7).

Ecuación 7. Relación modelo prototipo

$$\pi_{2m} = \pi_{2p}, \pi_{3m} = \pi_{3p}, \dots, \pi_{km} = \pi_{kp}$$


Fuente: adaptada por los autores de Ibíd., Pág. 278

*“Para garantizar similitud completa, el modelo y el prototipo deben ser geoméricamente similares, y todos los grupos independientes deben coincidir entre modelo y prototipo.”<sup>8</sup>*

#### 1.4. CONDICIONES DEL CIRCUITO

En la Figura 15 se observan los datos básicos del autódromo donde se corren los vehículos con los cuales se podrá obtener algunos datos posteriormente.

Figura 15. Ficha técnica del circuito



**FICHA TECNICA DEL AUTÓDROMO DE TOCANCIPÁ**

- Ubicación: a 40 Kms de Bogotá, Km 24 vía Carretera Central del Norte.
- Temperatura: 10 a 18 grados C
- Vientos: 2 a 15 NNE-E.
- Altura: 2.600 metros.
- Recta Principal: 540 metros.
- Semi-recta Tortugas: 200 metros.
- Ovalo: 954 metros.
- Semi-recta 1 ampliación: 220 metros.
- Semi-recta 2 ampliación: 300 metros.
- Curvón Principal: 180 metros.

Fuente: adaptada por los autores de Autódromo de Tocancipá. Autódromo S.A. – Autódromo.

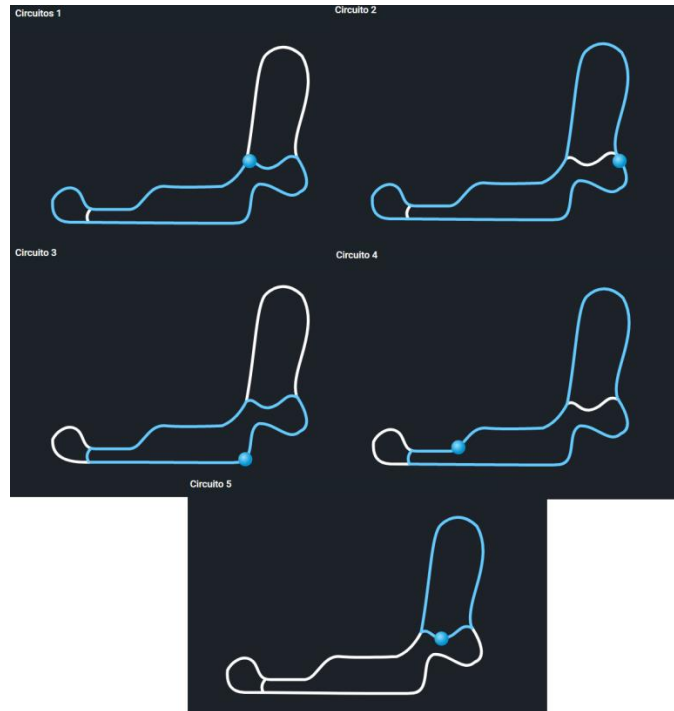
*En línea. 12 de febrero de 2017. Disponible en internet:*

<http://www.autodromodetocancipa.com/autodromo/page/ficha-tecnica-autodromo-de-tocancipa/>

<sup>8</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, edi.1, 2006, P 278.

La Figura 16 muestra como el autódromo se pueden adaptar diferentes tipos de circuitos.

Figura 16. Diferentes circuitos del Autódromo de Tocancipá



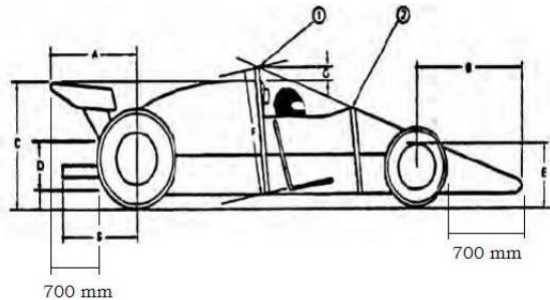
Fuente: adaptada por los autores de Autódromo de Tocancipá. Autódromo S.A. – Autódromo. *En línea*. 12 de febrero de 2017. Disponible en internet: <http://www.autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>

### 1.5. REGLAMENTO PARA ALERON DELANTERO

Para la implantación de los alerones delanteros se deben tener en cuenta los siguientes parámetros. La “Distancia entre la parte exterior de la llanta delantera

hacia la parte frontal máxima: 700 mm.”<sup>9</sup> Ver Figura 17. “Los perfiles de ala utilizados para los alerones deben estar dentro los perfiles NACA de 4 dígitos.”<sup>10</sup>

Figura 17. Distancia de alerones



Fuente: adaptada por los autores de Reglamento Técnico. FORMULA SENA ECO. En línea. 12 de febrero de 2017. Disponible en internet:

[http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20\(2\).pdf](http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20(2).pdf)

## 2. DISEÑO CONCEPTUAL

### 2.1. ELECCIÓN DE PERFIL DEL ALERON

Para la elección del perfil fue necesario tener varias consideraciones, entre las cuales se tiene en cuenta que el espesor de su parte central sea baja porque esto significa mayor peso.

El primer filtro que se hizo con respecto a los 6 perfiles preseleccionados los cuales su elección se basó en parámetros de geometrías que generarán un alto coeficiente de sustentación a bajos ángulos de ataque, que tuvieran una sección asimétrica que se ajustara al diseño general del alerón principal; se tomaron los perfiles críticos esto debido a que al ser su curvatura máxima no tan amplia van a producir una serie de beneficios en cuanto al peso que no va a ser tan

<sup>9</sup> SENA. Reglamento Formula SENA ECO 2013, [En línea] [http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20\(2\).pdf](http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20(2).pdf), Pág. 12. [Consulta: 25 Febrero del 2017]

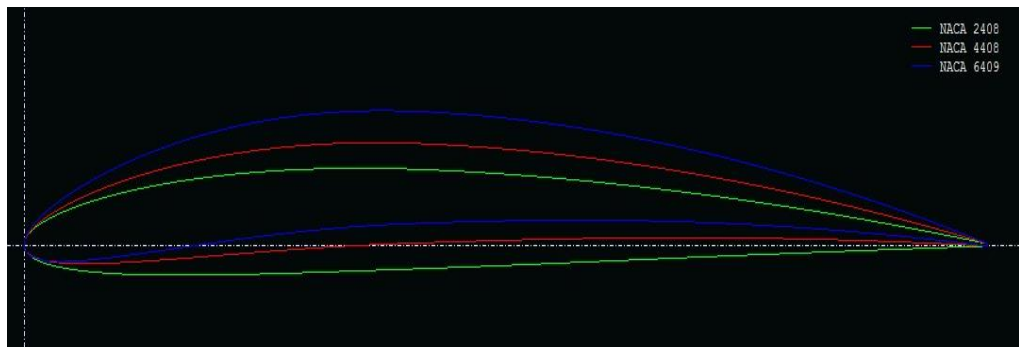
<sup>10</sup> SENA. Reglamento Formula SENA ECO 2013, [En línea] [http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20\(2\).pdf](http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20(2).pdf), Pág. 13. [Consulta: 25 Febrero del 2017]



considerable si se tomara un perfil simétrico, otro es los altos coeficientes de carga aerodinámica que producirá a bajos ángulos una de las características que se buscan

Con esto los tres perfiles seleccionados fueron los siguientes (NACA 2408, NACA 4408, NACA 6409) ver Figura 18.

Figura 18. Forma de los perfiles seleccionados



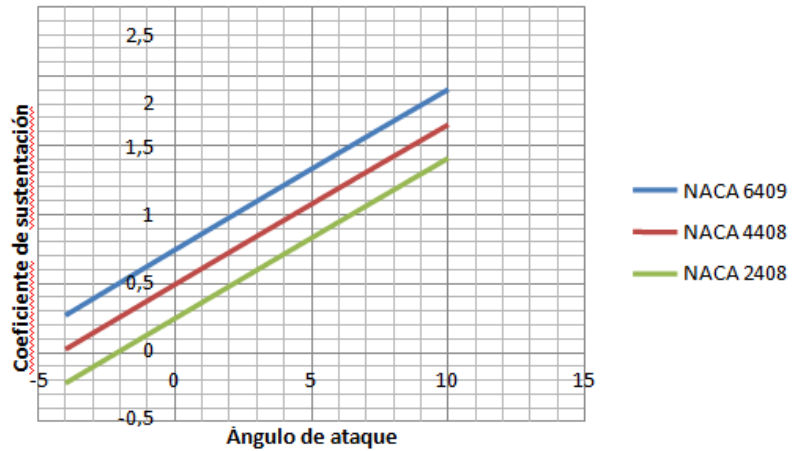
Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

Ahora es pertinente evaluar los diferentes elementos que presentan estos perfiles en cuanto a coeficientes de sustentación, arrastre y momento donde se hará un comparativo de los tres perfiles en diferentes áreas y evaluar cuál es el que más va a contribuir en el proyecto.

Es importante aclarar que el comportamiento de las trayectorias en donde no presentan variación en todo su trazado y que no se visualice una caída es porque se trabaja con un Reynolds igual a cero y porque se enfoca solo en el perfil mas no en la superficie completa del alerón. Esto porque lo importante en este caso es observar el comportamiento del perfil a diferentes ángulos para ver cual ofrece una mayor propiedad desde este aspecto). Es importante aclarar que se trabaja a Reynolds de cero ya que son las condiciones de análisis del programa pero lo que se infiere en este caso es únicamente el comportamiento del coeficiente de sustentación a los diferentes ángulos de ataque eso si trabajando todos bajo las mismas condiciones.

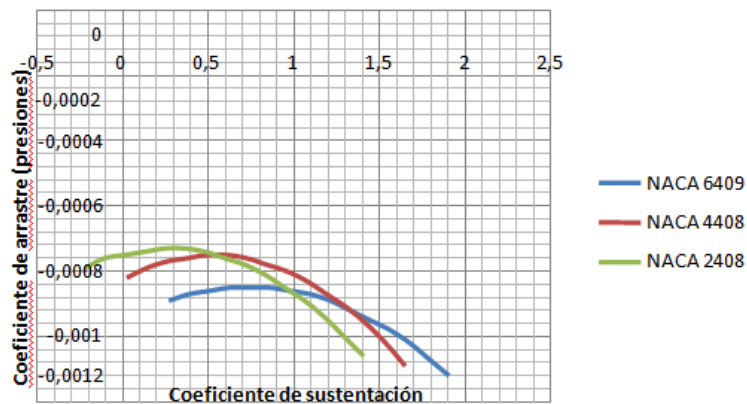
Con lo anterior y la Grafica 1 se puede deducir que el perfil que presenta un mejor resultado en términos de coeficiente de sustentación considerable a bajos ángulos de ataque es el NACA 6409 el cual podría ser la opción ideal pero se necesita investigar en otros aspectos que son importantes al momento de ponerlo en práctica en el automóvil de competición.

Grafico 1. Coeficiente de sustentación vs ángulo de ataque para perfiles seleccionados



Fuente: Generada por los autores del Software XFOIL

Grafico 2. Coeficiente de arrastre (presiones) vs coeficiente de sustentación



Fuente: Generada por los autores de Ibíd.

En la Grafica 2. lo que se establece es una muestra de cómo influencia el coeficiente de sustentación a medida que aumenta con respecto al coeficiente de arrastre debido a la presión, evidenciando un desarrollo esperado para los diferentes perfiles puesto que la variación del ángulo presenta un factor primordial para generar resistencia, pero si se visualiza más hay una estabilidad en ese

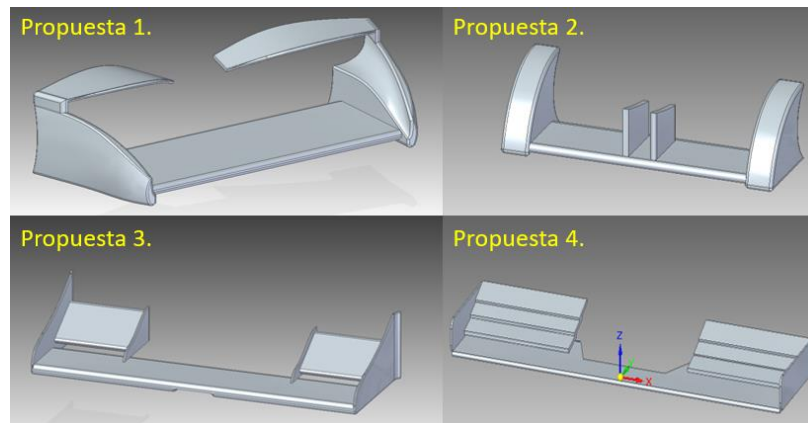
arrastre a un ángulo aproximado entre los 2° y 3° una característica que sería de gran ayuda aplicar en el diseño por el equilibrio que se presentaría en estas dos fuerzas ofreciendo un máximo rendimiento y un posicionamiento ideal.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones de peso, coeficiente de sustentación, coeficiente de momento y la relación de coeficiente arrastre vs sustentación se tiene la conclusión de que uno de los perfiles que ofrece todos esos beneficios y que sería óptimo para adaptar a todos los diseños de alerones definidos es el perfil NACA 6409.

## 2.2. DISEÑOS DE ALERONES PROPUESTOS

Para el diseño de los alerones se realizan cuatro propuestas que se pueden observar en la figura 19. En estas propuestas no solo se pensó en generar un mayor downforce, también se tuvo en cuenta como re direccionar el flujo del aire y poder conocer cuáles son los aportes que tendrá un alerón de 1, 2 y 3 elementos.

Figura 19. Propuesta inicial de re direccionamiento



Fuente: Generada por los autores del Software Solid Edge.

Primera propuesta: Un alerón en el cual re-direcciona el aire por un costado y por encima de los neumáticos de igual manera las aletas ayudan a direccionar el flujo en caso en que este tenga toberas de refrigeración, aunque sus aberturas en el medio generan resistencia (ver figura 19 propuesta 1).

Segunda propuesta: Un alerón en el cual re direcciona el aire por un costado y por encima de los neumáticos, pero que realmente es un alerón sencillo sin ningún tipo de variaciones en su interior (ver Figura 19 propuesta 2).

Tercera propuesta: Un alerón de dos elementos en el cual sus ranuras permiten el re-direccionamiento del flujo por las secciones intermedias presentando en el último tramo un flujo laminar (ver figura 19 propuesta 3.)

Cuarta propuesta. En este alerón múltiple se buscan disminuir la incidencia de arrastre generado por los neumáticos, cuantificar el aporte de la carga aerodinámica y observar como las secciones laterales de los alerones desvíen el flujo por los costados de las llantas principales (ver figura 19 propuesta 4.)

En cuanto a la selección de los alerones se tiene en cuenta las características mencionadas anteriormente y se realiza una comparación entre estos para seleccionar los más adecuados.

Se observa que entre el alerón 1 y 2 dos la diferencia son las aletas de direccionamiento que se encuentran en la parte superior del alerón y de forma paralela al alerón principal (ver figura 19 propuesta 1). Estas aletas son usadas para direccionar el flujo hacia las toberas de refrigeración de los vehículos pero ya que la gran mayoría de vehículos de la Formula SENA Eco no tienen estas toberas en la que estas aletas afecten de manera significativa la refrigeración del vehículo. De igual manera estas aletas harían su fabricación y anclaje más complejos, por esta razón se descartan las aletas y se decide unir la propuesta 1 y 2 ya que la 1 tiene menos volumen en sus laterales se opta por estos laterales. A esta unión se le denomina alerón 1. (Ver figura 20).

La diferencia entre el nuevo alerón 1 con la de las propuestas 3 y 4 es notable ya que el alerón 1 tiene laterales más robustos los cuales disminuyen la envergadura del alerón y lo hacen más pesado, a diferencia del alerón 3 y el cual tiene unos laterales más ligeros y adicional tiene alerones secundarios los cuales generan mayor carga aerodinámica y también direccionan el flujo.

En cuanto a las propuestas 3 y 4 la diferencia es notable en cuanto al número de alerones secundarios y sus laterales. En estos se optó por dejar como referencia los laterales del alerón 3 ya que estos tienen menos volumen que los del alerón 4 y se decide realizar los dos modelos con el único cambio para el alerón 4 en sus laterales ya que llevaran un diseño similar a los laterales de la propuesta 3. Adicional mente se decidió llevar acabo el diseño de la propuesta 3 y 4 para observar los cambios en la carga aerodinámica y las dimensiones del alerón cuando se implementa más de un alerón secundario en el espacio estipulado por el reglamento de la Formula SENA Eco para la implementación de estos.

### 2.2.1. ALERÓN DE UN ELEMENTO

Para este alerón se tiene en cuenta los datos de la Tabla.1, los cuales se obtuvieron de acuerdo a la toma de datos de las diferentes escuderías y el reglamento de la Formula SENA ECO.

Tabla 1. Consideración para el primer alerón

Alerón de un elemento	
Ancho de la rueda	230 mm
Espacio para el alerón	700 mm
Envergadura máxima	1800 mm
Velocidad máxima	130 km/h
Velocidad mínima	30 km/h

Fuente: Generada por los autores del proyecto

Para el diseño de un alerón, se debe tener en cuenta que una relación de aspecto baja hace que el alerón sea menos eficaz en términos de sustentación y resistencia por esto se debe tener en cuenta que “para valores entre 2 y 10 ya sea por debajo o por encima de este valor se verá afectado el rendimiento aerodinámico”<sup>11</sup>. Una manera de aumentar la carga aerodinámica puede ser mantener una relación de aspecto moderada pero intentar aumentar el CL y esto se puede conseguir utilizando un solo perfil de mayor curvatura. Si se necesita mucha más carga, se puede implementar un alerón de varios elementos, por esta razón se toman un valores intermedios 4 y 8. De acuerdo a la ecuación 5 de relación de aspecto y teniendo los datos de la tabla 2 se obtienen posibles datos de la longitud de la cuerda.

---

<sup>11</sup> McBeath Simon. *Aerodinámica del Automóvil de Competición*, Editorial CEAC S.A., ed. 1, Año 2000, Pág. 75

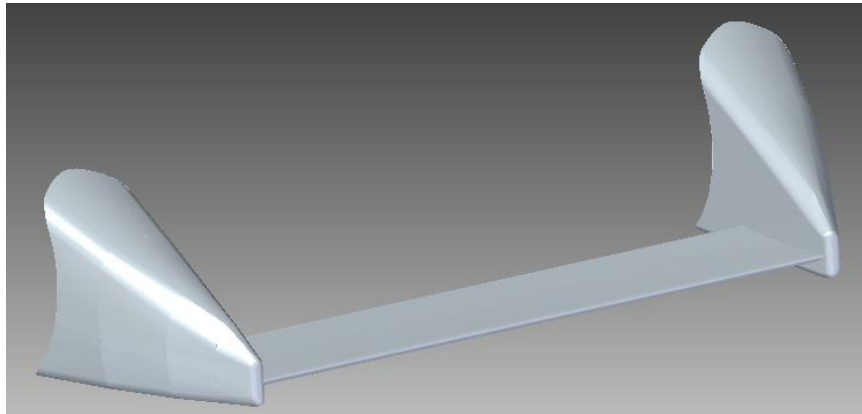
Tabla 2. Relación de aspecto

Definición de cuerda dependiendo de la relación de aspecto		
Relación de aspecto (AR)	Envergadura (b)	Cuerda (c)
4	1,8 m	0.45 m
4	1,3 m	0,325m
6	1,8 m	0,3m
6	1,3 m	0,2166m
8	1,8 m	0,225
8	1,3 m	0,162

Fuente: Ibíd.

Teniendo en cuenta la Tabla 1 y 2, se va a manejar en promedio una cuerda de inicial de 300 mm, esta puede variar de acuerdo a las condiciones que presente el alerón, lo ideal como se había mencionado anteriormente es que el AR no esté por debajo de 2 o por encima de 10 ya que son deficientes aerodinámicamente. De esta manera en la figura 10. Se observa el diseño de este incluido sus laterales en la Figura 20.

Figura 20. Alerón de un elemento.



Fuente: Generada por los autores de Ibíd.

Tabla 3. Características básicas alerón de un elemento

Cuerda	300 mm
Envergadura	1300 mm
Perfil NACA	6409

Fuente: Ibíd.

### 2.2.1.1. COEFICIENTES

Teniendo la propuesta 1 del alerón de un elemento (Figura 20.) se procede hacer simulaciones para obtener los coeficientes de sustentación y arrastre a través del software Xlrf5 a través de una simulación (ver Figura 21).

Figura 21. Alerón principal del modelo I

Wing Name-1		V = 30.0 m/s
Wing Span = 1300.000 mm		Alpha = 0.0000°
XYProj. Span = 1300.000 mm		Sideslip = 0.0000°
Root Chord = 300.000 mm		Bank = 0.0000°
M.A.C. = 300.000 mm		Control pos. = 0.0000
X <sub>CG</sub> = 0.000 mm		CL = 0.4141
Wing Area = 3900.000 cm <sup>2</sup>		CD = 0.0130
XYProj. Area = 3900.000 cm <sup>2</sup>		Efficiency = 0.9677
Plane Mass = 4.00 kg		CL/CD = 31.8438
Wing Load = 0.001 kg/cm <sup>2</sup>		Cl = 0.0000
Tip Twist = 0.00		Cm = -0.2580
Aspect Ratio = 4.33		Cn = 0.0000
Taper Ratio = 1.00		X <sub>CP</sub> = 186.939 mm
Root-Tip Sweep = 0.00		

Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

De la Figura 21, se obtienen los coeficientes de carga, arrastre y el área del alerón principal como se muestra en la Tabla 4, los cuales serán útiles en el desarrollo del documento.

Tabla 4. Coeficientes y áreas del alerón principal del modelo I.

Área	0,39 m <sup>2</sup>
Coeficiente de sustentación	0,4141
Coeficiente de arrastre	0,0130

Fuente: Generada por los autores del proyecto

### 2.2.1.2. RELACIÓN DE ASPECTO

Con los datos del área de la tabla 4 y la envergadura de la tabla 3 se procede a reemplazarlos en la Ecuación 5. La relación de aspecto es de 4,33 valor que se encuentra en el rango (2-10) y en el cual no se ve afectado la eficiencia del mismo.

### 2.2.2. ALERON DE DOS ELEMENTOS

Para este alerón, se tiene en cuenta las siguientes condiciones iniciales que se obtuvieron de acuerdo a los datos obtenidos del alerón de un elemento. Ya que se

tienen condiciones similares, solo se varían algunas dimensiones en el alerón principal (comparar dimensiones Tabla 5 y 6).

Tabla 5. Condiciones para el alerón II

Alerón de un elemento	
Ancho de la rueda	230 mm
Cuerda	300 mm
Espacio para el alerón	700 mm
Envergadura máxima	1800 mm
Velocidad máxima	130 km/h
Velocidad mínima	30 Km/h

Fuente: Fuente: Ibíd.

Con los datos obtenidos para el alerón principal, se puede pensar en el alerón secundario con una envergadura que cubra la parte de la rueda y la suspensión para que este logre disminuir el rozamiento del aire con estas auto partes. La propuesta del alerón 2 se observa en la figura 22.

Con estos datos se prosiguió al desarrollo del alerón secundario, retomando lo descrito del libro Aerodinámica y Actuaciones del Avión de en la cita 3 se realizando un proceso iterativo se aproximó las dimisiones básicas del alerón secundario ver Tabla 8

Tabla 6. Aproximación de los datos básicos alerón de dos elementos

Alerón principal	NACA 6409
Cuerda	300 mm
Envergadura	1700 mm
Segundo alerón	NACA 6409
Cuerda	204,43 mm
Envergadura	600 mm
Cuerda General	501,8 mm

Fuente: Fuente: Ibíd.



### 2.2.2.1. ESPACIAMIENTO ENTRE ALERONES

Lo más aconsejable (ver cita 10) es formar una ranura estrecha entre el borde de escape del alerón principal con el borde de ataque del alerón secundario, ya que el alerón secundario va solapado sobre el alerón principal.

*“El punto más crítico de todos es que la forma de la ranura debe ser convergente o sea, que se va estrechando desde su apertura hasta su salida.”<sup>12</sup>*

Para poder saber las dimensiones de este espacio es necesario tener en cuenta la cuerda general la cual se da desde el borde de ataque del alerón principal al borde de salida del alerón secundario.

*“El tamaño del espacio entre el plano principal y el flap es normalmente de 1-2% C. y el solapamiento entre el borde de ataque del flap y el borde de fuga del plano principal, aunque no resulta crítico, es normalmente de un 1-4% C.”<sup>13</sup>*

Los porcentajes de estos espaciamentos se van a tomar por mitad de los porcentajes estipulados para el espaciamento entre el alerón principal y el secundario se tomó un 1,5% de la cuerda y para el solapamiento 2% de la cuerda por lo tanto las dimensiones entre el alerón principal y el alerón secundario son:

Tabla 7. Espaciamento y solapamiento del alerón de do elementos

Espaciamento	7,5 mm
Solapamiento	10 mm

Fuente: Ibíd.

### 2.2.2.2. DISEÑO FINAL

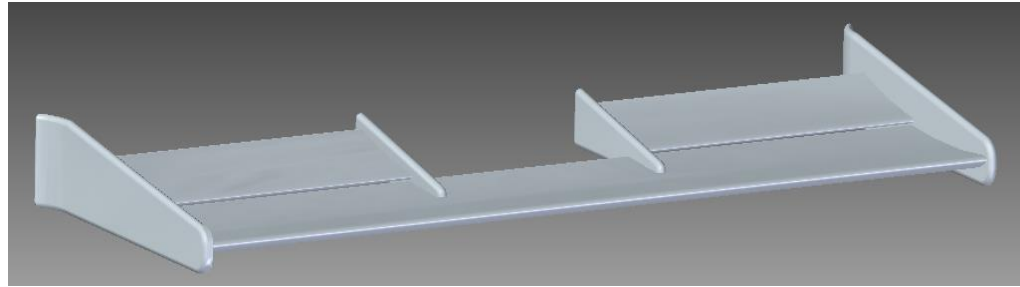
En la Figura 22, se observa como quedo el alerón con el perfil seleccionado su espaciamento y las derivas laterales.

---

<sup>12</sup> McBeath Simon. *Aerodinámica del Automóvil de Competición*, Editorial CEAC S.A., edi. 1, Año 2000, Pág. 86.

<sup>13</sup> McBeath Simon. *Aerodinámica del Automóvil de Competición*, Editorial CEAC S.A., edi. 1, Año 2000, Pág. 86.

Figura 22. Modelo del alerón II



Fuente: Generada por los autores de Ibíd.

En cuanto a este, se realizaron las respectivas iteraciones para acercarse a los valores sugeridos por el libro guía como se mostró en el transcurso del documento, a pesar de esto se tuvo un porcentaje de error del 3,6%. Ya que se buscaba un 40% de la cuerda general como medida máxima base para el alerón secundario, aun así esta medida puede ser superior todo depende de la reglamentación y del diseño ya que se ha visto que sea mayor a ese porcentaje y no entra en pérdida, el alerón secundario quedo de un 41,5% la cuerda general la cual disminuyo un poco debido al espaciamento y solapamiento que se tuvo.

Tabla 8. Variación de los datos básicos alerón II

Cuerda General	492,23 mm
Cuerda Segundo Alerón	204,47 mm

Fuente: Fuente: Ibíd.

### 2.2.2.3. COEFICIENTES

Teniendo la envergadura y cuerda se procede a calcular los coeficientes de carga y arrastre del alerón los cuales se obtienen con el software Xlrf5 realizando una simulación como se muestra a continuación:

Figura 23. Alerón principal del modelo II

```

Aleron principal
Wing Span = 1700.000 mm
XYProj. Span = 1700.000 mm
Root Chord = 300.000 mm
W.A.C. = 300.000 mm
X.CG = 0.000 mm
Wing Area = 5100.000 cm²
XYProj. Area = 5100.000 cm²
Plane Mass = 4.00 Kg
Wing Load = 0.001 kg/cm²
Tip Twist = 0.00
Aspect Ratio = 5.67
Taper Ratio = 1.00
Root-Tip Sweep = 0.00
V = 30.0 m/s
Alpha = 0.0000°
Sideslip = 0.0000°
Bank = 0.0000°
Control pos. = 0.0000
CL = 0.4465
CD = 0.0116
Efficiency = 0.9668
CL/CD = 38.5468
Cl = -0.0000
Cm = -0.2672
Cn = 0.0000
X_CP = 179.278 mm
    
```

Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

De la Figura 23, se obtienen los coeficientes de carga, arrastre y el área del alerón principal como se muestra en la Tabla 10, los cuales serán útiles en el desarrollo del documento.

Tabla 9. Coeficiente y áreas del alerón principal del modelo II.

Área	0,51 m <sup>2</sup>
Coeficiente de sustentación	0,4465
Coeficiente de arrastre	0,0116

Fuente: Ibíd.

✓ Segundo alerón

Teniendo las dimensiones del alerón secundario se procede a obtener los coeficientes de sustentación y arrastre con el software Xlrf5 a través de una simulación (ver Figura 24).

Figura 24. Simulación segundo alerón del modelo II

```

Aleron 2 elemento
Wing Span = 600.000 mm
XYProj. Span = 600.000 mm
Root Chord = 204.000 mm
M.A.C. = 204.000 mm
X_CP = 0.000 mm
Wing Area = 1224.000 cm²
XYProj. Area = 1224.000 cm²
Plane Mass = 4.00 kg
Wing Load = 0.003 Kg/cm²
Tip Twist = 0.00
Aspect Ratio = 2.94
Taper Ratio = 1.00
Root-Tip Sweep = 0.00
V = 30.0 m/s
Alpha = 12.0000°
SideSltp = 0.0000°
Bank = 0.0000°
Control pos. = 0.0000
CL = 0.9884
CD = 0.1080
Efficiency = 0.9792
CL/CD = 9.1543
Cm = 0.0000
Cn = -0.3879
X_CP = 80.075 mm
    
```

Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

De la Figura 24 se obtienen los coeficientes de carga, arrastre y el área del alerón principal como se muestra en la Tabla 11, los cuales serán útiles en el desarrollo del documento.

Tabla 10. Coeficiente y área del alerón secundario del modelo II.

Área	0,1224m <sup>2</sup>
Coeficiente de sustentación	0,9884
Coeficiente de arrastre	0,1080

Fuente: Ibíd.

#### 2.2.2.4. RELACIÓN DE ASPECTO

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 6 y la variación que se tuvo de estos en la Tabla 8, las áreas consignadas en las Tablas 10 y 11 se obtienen la relación de aspecto y remplazando en la Ecuación 5 se obtienen la respectiva radio de aspecto (ver tabla 9).

Tabla 11. Relación de aspecto de los alerones del modelo II

Alerón 1	5.67
Alerón 2	2,94

Fuente: Fuente: Ibíd.

Recordando el desarrollo del alerón principal hay que recordar que la AR (relación de aspecto) no debe ser menor que dos ni mayor a diez.

#### 2.2.3. ALERÓN DE TRES ELEMENTOS

Para este alerón se tiene en cuenta las siguientes condiciones iniciales de la Tabla 12 las cuales se obtuvieron de acuerdo a los datos obtenidos del alerón de dos elemento ya que se usan los mismo principios teniendo en cuenta que estas condiciones iniciales pueden cambiar como se observó anteriormente.

Tabla 12. Condiciones para el alerón III

Alerón de un elemento	
Ancho de la rueda	230 mm
Cuerda	300 mm
Espacio para el alerón	700 mm
Envergadura máxima	1800 mm
Velocidad máxima	130 km/h
Velocidad mínima	30 km/h

Fuente: Ibíd.

En este alerón se pensó en cubrir la longitud de las ruedas y sistema de suspensión delanteras, pero también teniendo en cuenta que estos vehículos tienen problemas de refrigeración se intenta redirecciones un poco este fluido a

donde estos vehículos han puesto toberas de admisión de aire sin dejar a un lado la fuerza de sustentación negativa que este puede tener.

Con estos datos se prosigue al desarrollo del alerón secundario, realizando un proceso iterativo se aproximó las dimensiones básicas donde algunas varían debido a que este es de tres elementos (ver Tabla 13).

Tabla 13. Aproximación de los datos básicos alerón de tres elementos

<b>Alerón principal</b>	NACA 6409
Cuerda	230 mm
Envergadura	1700 mm
<b>Segundo alerón</b>	NACA 6409
Cuerda	127,79 mm
Envergadura	600 mm
<b>Tercer alerón</b>	NACA 6409
Cuerda	164,2mm
Envergadura	600 mm
<b>Cuerda General</b>	508,64mm

Fuente: Fuente: Ibíd.

### 2.2.3.1. ESPACIAMIENTO ENTRE ALERONES

Teniendo en cuenta lo dicho en el alerón pasado para que estos queden de manera uniforme entre los espaciamentos que hay, los porcentajes de estos espaciamentos se van a tomar por mitad de los porcentajes dados para el espaciamento entre el alerón principal y el secundario se tomó un 1,5% de la cuerda y para el solapamiento 2% de la cuerda (ver Tabla 14).

Tabla 14. Espaciamento y solapamiento del alerón de tres elementos

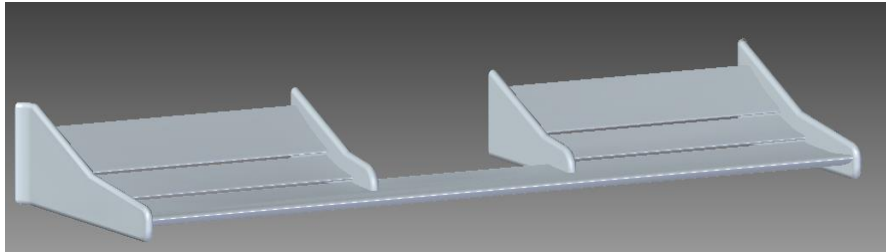
Espaciamento	7,6 mm
Solapamiento	10,1 mm

Fuente: Fuente: Ibíd.

### 2.2.3.2. DISEÑO FINAL.

En la Figura 25 observa el diseño y en la Tabla 15 se observa que solo cambio la cuerda general en cuanto las dimensiones básicas de la Tabla 13 debido al espaciamiento y solapamiento entre estos.

Figura 25. Modelo del alerón III



Fuente: Generada por los autores de Ibíd.

Tabla 15. Variación de los datos básicos alerón II

Cuerda General	496,6 mm
----------------	----------

Fuente: Fuente: Ibíd.

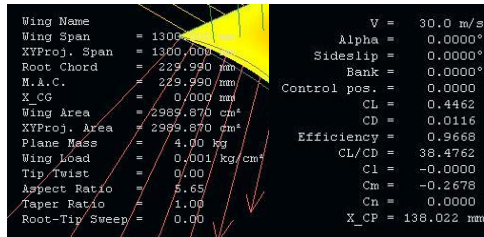
Hay que recordar que se sugiere un porcentajes entre un 25% - 40% de la cuerda general para las cuerdas de los alerones posteriores al principal, en este caso el segundo es de un 25,71% la cuerda general y el tercero de un 33,06% la cuerda general como se observa se mantienen dentro del rango.

Se puede concluir que con los resultados del segundo flap del alerón del de tres elementos y con el flap del alerón de dos elementos que los valores se deben tomar por debajo del porcentaje sugerido para que este no se salga del rango ya que si se toman valores por encima o sobre el máximo sugerido este va a aumentar un poco aunque esto no quiere decir que este no vaya entrar en pérdida con los porcentajes sugeridos o bien sea mayores o menores a estos.

### 2.2.3.3. COEFICIENTES

Teniendo el alerón se procede a calcular el aporte de carga aerodinámica, en primer lugar se obtienen los coeficientes de sustentación y arrastre por medio del software Xlrf5 a través de una simulación (ver figura 26)

Figura 26. Alerón principal modelo III



Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

De la Figura 26, se obtienen los coeficientes de carga, arrastre y el área del alerón principal como se muestra en la Tabla 16, los cuales serán útiles en el desarrollo del documento.

Tabla 16. Datos del alerón principal del modelo III.

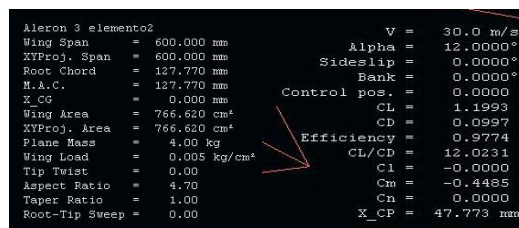
Área	0,2989 m <sup>2</sup>
Coefficiente de sustentación	0,4462
Coefficiente de arrastre	0,0116

Fuente: Ibíd.

### ✓ Segundo alerón

Teniendo el alerón de dos elementos y con el factor de que uno de ellos va adaptado al vehículo se procede a calcular el aporte de carga aerodinámica, en primer lugar se obtienen los coeficientes de sustentación y arrastre a través del software Xlrf5 (ver figura 27)

Figura 27. Alerón secundario modelo III



Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

De la Figura 27 se obtienen los coeficientes de carga, arrastre y el área del alerón principal como se muestra en la Tabla 17, los cuales serán útiles en el desarrollo del documento.

Tabla 17. Datos del alerón secundario del modelo III.

Área	0,07666m <sup>2</sup>
Coefficiente de sustentación	1,1993
Coefficiente de arrastre	0,0997

Fuente: Ibíd.

### ✓ Tercer alerón

Teniendo el alerón y recordando que de estos son dos ya que uno va a calado del vehículo se procede a calcular el aporte de carga aerodinámica, en primer lugar se obtienen los coeficientes de sustentación y arrastre a través del software Xlrf5 a través de una simulación ver Figura 28.

Figura 28. Tercer alerón modelo III

Aleron 3 elemento 3	V = 30.0 m/s
Wing Span = 600.000 mm	Alpha = 24.0000°
XYProj. Span = 600.000 mm	Sideslip = 0.0000°
Root Chord = 164.000 mm	Bank = 0.0000°
M.A.C. = 164.000 mm	Control pos. = 0.0000
X.CG = 0.000 mm	CL = 1.5986
Wing Area = 984.000 cm <sup>2</sup>	CD = 0.2530
XYProj. Area = 984.000 cm <sup>2</sup>	Efficiency = 0.8788
Plane Mass = 4.00 kg	CL/CP = 6.3186
Wing Load = 0.004 kg/cm <sup>2</sup>	C1 = 0.0000
Tip Twist = 0.00	Cm = -0.5414
Aspect Ratio = 3.66	Cn = -0.0000
Taper Ratio = 1.00	X_CP = 57.868 mm
Root-Tip Sweep = 0.00	

Fuente: Generada por los autores del Software XFLR5 V6.1.1

De la Figura 28 se obtienen los coeficientes de carga, arrastre y el área del alerón principal como se muestra en la Tabla 18, los cuales serán útiles en el desarrollo del documento

Tabla 18. Datos del tercer alerón del modelo III.

Área	0,0984m <sup>2</sup>
Coefficiente de sustentación	1,5986
Coefficiente de arrastre	0,2530

Fuente: Ibíd.

### 2.2.3.4. RELACIÓN DE ASPECTO

Teniendo en cuenta las dimensiones definidas para los diferentes alerones de los tres modelos y estableciendo una relación definida por su ancho y longitud se generan los siguientes valores.



Tabla 19. Relación de aspecto del alerón principal, segundo y tercer alerón del modelo III

Relación de Aspecto	
Alerón 1	5,65
Alerón 2	4,7
Alerón 3	3,66

Fuente: Ibíd.

Basados en la definición del alerón principal es importante establecer que por condiciones de la geometría del alerón y su aporte aerodinámico es importante que esta no sea menor a dos para la eficiencia que pueda aportar.

### 3. MODELO

#### 3.1. ESCALAMIENTO

Para el modelo del diseño conceptual de una alerón de un auto de competición de la formula SENA ECO, que es probado en un túnel de viento de la Fundación Universitaria Los Libertadores en la ciudad de Bogotá, se debe tener en cuenta que se tomara la velocidad mínima de 30 km/h la cual se da en las curvas sobre el circuito de Tocancipa.

Utilizando los conceptos de similitud se determinara la velocidad del aire requerida para el túnel de viento donde se tienen en cuenta lo siguiente:

- ✓ Incompresibilidad del aire despreciable.
- ✓ Se debe tener en cuenta que las paredes del túnel estén lo suficientemente alejadas del modelo para que no interfieran.
- ✓ El modelo es geoméricamente similar al prototipo.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriormente nombrados para una fuerza bien sea de arrastre o sustentación las cuales se ven afectadas por la velocidad del flujo que puede ser laminar o turbulento lo cual es descrito por el número de Reynolds aunque número Mach puede ser una opción no se toma ya que “para números Mach menores de aproximadamente 0.3”.<sup>14</sup> “Los efectos de compresibilidad prácticamente son despreciables. Por ende, no es necesario igualar exactamente el numero Mach; más bien, en tanto  $Ma_m$  se mantenga por

<sup>14</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, edi. 1, 2006, P 293.

debajo de más o menos 0.3, la similitud dinámica aproximada se puede lograr con el empate del número de Reynolds".<sup>15</sup>.

De esta manera se tendrían dos  $\pi$  independiente del punto de las fuerzas que se desee analizar, se pueden declarar el coeficiente de arrastre y de down forcé como variables dependientes  $\pi_1$  y al número de Reynolds como variable independiente  $\pi_2$ , retomando la ecuación 5 donde  $\pi_2$  está en función de  $\pi_1$ . Debido a que solo se tiene una variable independiente la ecuación de similitud se sostiene como en la ecuación 6 donde se iguala el modelo a prototipo. Donde  $\pi$  hace referencia a la ecuación del número de Reynolds. (Ver Ecuación 8)

Ecuación 8. Relación modelo prototipo de acuerdo a la ecuación de Reynolds

$$\frac{\rho_m V_m L_m}{\mu_m} = \frac{\rho_p V_p L_p}{\mu_p}$$

Fuente: Adaptado por los autores de la Ecuación 6.

Se realiza una prueba con los valores requeridos para el número de Reynolds teniendo en cuenta las condiciones que tiene el sistema del prototipo como del modelo se tiene una altitud obtenida de la Figura 17 la cual indica una altitud de 2600 msnm y para el túnel de viento, se encuentra ubicada a una altitud media de 2625 msnm. Se obtiene los datos de viscosidad y densidad del aire de la Figura 29.

---

<sup>15</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, edi. 1, 2006, P 293.

Figura 29. Tablas termodinámicas de propiedades de la atmosfera a gran altitud.

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad $g$ , m/s <sup>2</sup>	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad $\mu$ , kg/m · s	Conductividad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	$1.789 \times 10^{-5}$	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	$1.783 \times 10^{-5}$	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	$1.777 \times 10^{-5}$	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	$1.771 \times 10^{-5}$	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	$1.764 \times 10^{-5}$	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	$1.758 \times 10^{-5}$	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	$1.752 \times 10^{-5}$	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	$1.745 \times 10^{-5}$	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	$1.739 \times 10^{-5}$	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	$1.732 \times 10^{-5}$	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	$1.726 \times 10^{-5}$	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	$1.720 \times 10^{-5}$	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	$1.713 \times 10^{-5}$	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	$1.707 \times 10^{-5}$	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	$1.700 \times 10^{-5}$	0.0239

Fuente: adaptada por los autores de CENGEL, Yunus A. y CIMBALA, John M. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, ed.1, 2006, Pág. 915.

Se observa que en la tabla no se tienen datos para una altitud de 2625 m de altitud lo que indica que se tiene que interpolar estos datos para poder obtener los datos de Bogotá es decir para el modelo, el método que usado es el de interpolación lineal. (ver resultados Tabla 20).

Para poder obtener la velocidad del modelo aún se debe tener la longitud tanto del prototipo y modelo, ya que se van a manejar tres modelos de alerones para las pruebas es mucho más práctico manejar la relación de la escala para la cual se tiene en cuenta en primer lugar la dimensiones del túnel de viento que consta de una sección de pruebas con longitud de 1400 mm, ancho de 600 mm y un alto de 400 mm. Estas consideraciones se tomaron en cuenta de acuerdo a unas determinaciones tomadas enfocadas a que el modelo tenga las proporciones correctas para el túnel de viento.

*“Se debe tener cuidado que el modelo no sea demasiado grande para el túnel de viento. Una regla empírica útil es que el bloqueo (la razón del área frontal del modelo al área transversal de la sección de prueba) debe ser menor que 7.5 por ciento. De otro modo, las paredes del túnel de viento afectaran contrariamente la similitudes tanto geométrica como cinemática.”*<sup>16</sup>

Teniendo en cuenta las dimensiones del túnel de viento ya mencionadas se tiene que el área transversal del túnel de viento sería del orden de los  $0.24 \text{ m}^2$ , lo cual

<sup>16</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, ed.1, 2006, P 299.

restringiría con esa condición de que el área frontal del modelo debe estar en  $0.222 \text{ m}^2$ . Es decir, que como el modelo de prueba en este caso es un Alerón el factor importante que debemos considerar es su ancho, teniendo en cuenta el ancho total de la sección de pruebas y la condición del 7.5% para que las paredes del túnel no afecten la similitud, el ancho máximo que podríamos tener del modelo es 0.45 m con espacios a cada costado de 0.075 m, lo cual contribuiría a respetar esa condición.

Teniendo en cuenta que el ancho de trocha del prototipo de 1,8 m y la del modelo es de 0,45m se reemplaza en la ecuación 9.

Ecuación 9. Relación de escala

$$\frac{L_p}{L_m} = 4$$

Fuente: Generada por los autores

Esto nos indica que la escala más grande que se debería probar en el túnel de viento es 1:4, de esta manera se procede a reemplazar estos valores de la tabla 34 y se efectúa una igualdad de ecuaciones en la que se despeja la velocidad que necesita el túnel de viento para una velocidad del prototipo de 30 km/hr.

Ecuación 10. Velocidad para el modelo.

$$V_m = \frac{30 \text{ km}}{\text{hr}} \left( \frac{1,708 \times \frac{10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{s}}{\text{m}}}{1,707 \times \frac{10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{s}}{\text{m}}} \right) \left( \frac{\frac{0,947 \text{ kg}}{\text{m}^3}}{\frac{0,930375 \text{ kg}}{\text{m}^3}} \right) 4 = 122,21 \frac{\text{ km}}{\text{ h}} \approx 34 \frac{\text{ m}}{\text{ s}}$$

Fuente: Generada por los autores

*“Para el caso especial en el que el aire del túnel de viento y el flujo de aire sobre el prototipo tengan las mismas propiedades ( $\rho_m = \rho_p, \mu_m = \mu_p$ ), y en condiciones de similitud ( $V_m = V_p L_m / L_p$ ). La fuerza de arrastre del prototipo es igual a la que hay sobre el modelo a escala”.*<sup>17</sup> Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se puede decir que la velocidad del modelo es directamente proporcional a la escala que se le dé a este y de igual manera para las fuerzas ejercidas sobre este, esta consideración permite determinar que todo lo que se haga sobre el modelo si se encuentra en condiciones de similitud se comportará de la misma manera.

<sup>17</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, edi.1, 2006, P 281.

Tabla 20. Viscosidad y densidad del Autódromo y Bogotá.

	Viscosidad aire ( $\mu$ ) Kg/m.s	Densidad aire ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>	Presión (p) Kpa	Velocidad (V) Km/h
Bogotá-m	$1,708 \times 10^{-5}$	0,930375	73.53	122,21
Tocancípa-p	$1,707 \times 10^{-5}$	0,947	73,76	30

Fuente: Ibíd.

### 3.2. CARACTERISTICAS VEHICULO.

En primer lugar, se realizó una recolección de datos de la mayor cantidad de participantes en esta fórmula. Vale la pena aclarar que estos vehículos en un inicio tenían motores de combustión y cuando la formula SENA paso a ser Formula SENA Eco pasaron a ser motores eléctricos lo que trajo grandes cambios en sus carrocerías haciéndolas más sencillas.

De esta recolección de datos se tuvieron en cuenta las características principales de estos donde se asumieron los siguientes datos.

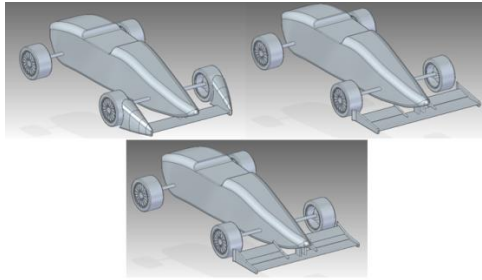
Tabla 21. Datos del auto promedio

Longitud	3 m
Ancho de vía	1.8 m
Distancia entre ejes	1.9 m
Peso	700 kg
Potencia	57 hp
Velocidad Máxima	130 km/h
Velocidad promedio	85 km/h
Velocidad Mínima	30 km/h

Fuente: Ibíd.

Estos datos permiten hacer un acercamiento a lo que puede ser la carrocería de estos vehículos, (ver Figura 30).

Figura 30. Modelos del vehículo.



Fuente: Generada por los autores del Software Solid Edge.

### 3.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En primer lugar se intento imprimiendo a escala el modelo por medio de una impresora 3D pero debido a una configuración del programa donde se iba hacer que cambiaba la escala del mismo, se decidió utilizar otro método para la elaboración de este.

Sabiendo esto, se tiene en cuenta hacer este modelo en madera por lo tanto se realiza el despiece en el CAD para obtener los planos de las piezas escala 1:4. Teniendo los planos se procede a conseguir los materiales, en primer lugar se consigue un bloque de madera de dos metros de longitud el cual se divide en dos para la carrocería. Se prosigue a sacar el molde de los planos y plasmar la vista lateral y superior para cortar el bloque para después pulirlo

Teniendo esto se procede a realizar los alerones donde de igual manera se plasman pero ya no en madera si no en MDF, se cortan y se liján. Después de tener las piezas listas se procede al ensamble de estos, se realiza el mismo método para las ruedas y por último se pinta.

Figura 31. Vehículo a escala con alerón principal



Fuente: Generada por los autores

#### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas sobre el vehículo a escala arrancan con los escenarios de los diferentes alerones adaptados a la estructura, con la finalidad de ver el comportamiento del flujo del aire sobre las diferentes superficies del mismo. Es por esto que se arranca con el estudio del primer alerón el cual es de un solo elemento y que tiene como énfasis principal el redirigir el flujo que golpea con las llantas mandándolo por encima de las mismas.

Figura 32. Comportamiento del flujo del aire en alerón de un elemento

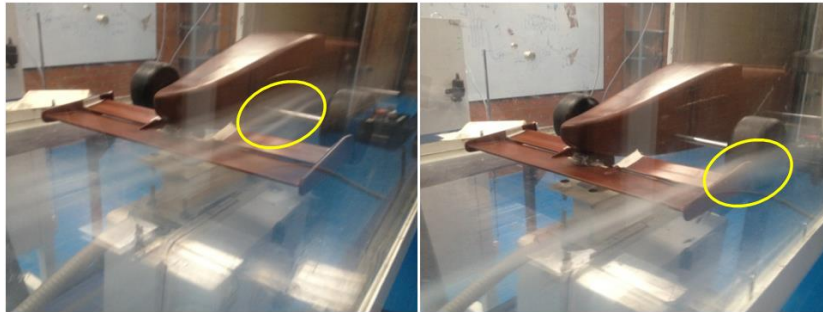


Fuente: Generada por los autores

Esta funcionalidad del alerón permite que el arrastre que se pueda generar por los neumáticos se vea disminuido al no pegar directamente en la superficie si no direccionarlo por encima de ella.

En el caso del alerón de dos elementos se buscan varios objetivos: El primero de ellos es aumentar el downforce al tener dos superficies que lo produzcan gracias a la configuración de sus perfiles y al área total del mismo, el segundo la función de los elementos que se encuentran a los costados para que permitan el direccionamiento a los costados de cada neumático y así disminuir un poco un aporte de carga que pueda llegar a reproducir el contacto directo con los neumáticos.

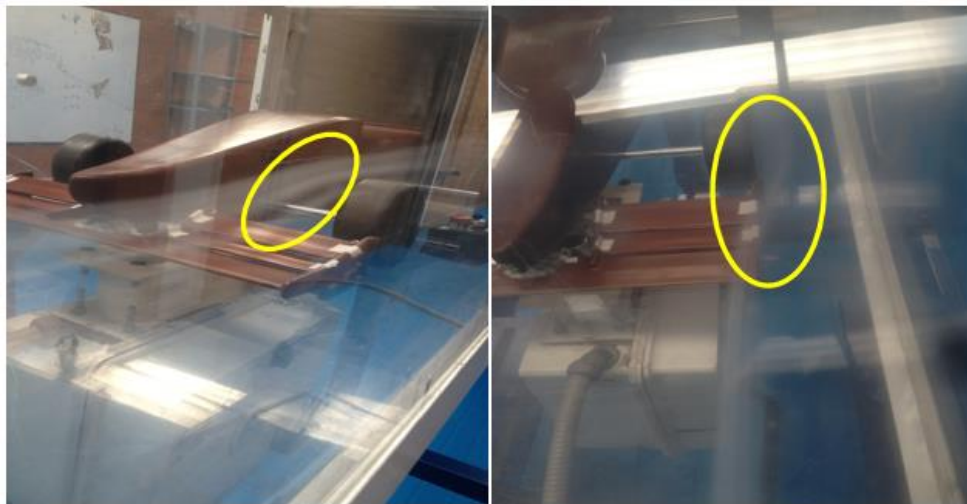
Figura 33. Comportamiento del flujo del aire en el vehículo con dos elementos



Fuente: Generada por los autores

En el alerón de tres elementos se puede observar de gran forma dos fenómenos el cual es el efecto cascada que permite cambiar de manera rotunda la dirección del flujo que recorre por la superficie principal del vehículo y también la incidencia que podría tener una paredes bien construidas a los costados del alerón para llevar por fuera de los neumáticos el flujo que se produce.

Figura 34. Comportamiento del flujo del aire en un alerón de tres elementos



Fuente: Generada por los autores



#### 4.1. VEHÍCULO CON ALERÓN DE UN ELEMENTO

Se proceden a hacer las mediciones correspondientes de las presiones en diferentes secciones del alerón con la finalidad de conocer la carga aerodinámica y el arrastre que se genera en el modelo. Pero antes de esto se tiene en cuenta el proceso de la Ecuación 8 donde se declaró un  $\pi$  independiente (Reynolds) y “*si las  $\pi$  independientes coinciden (los numero de Reynolds coinciden  $\pi_m = \pi_p$ ), entonces las  $\pi$  dependientes también coinciden*”.<sup>18</sup> Como se declararon tanto el CL como CD como las  $\pi$  dependientes se tiene que el  $CL_m = CL_p$  y el  $CD_m = CD_p$ .

De acuerdo a la tabla 4 se obtienen el CL y el CD, y mediante un tubo pitot se toman los diferenciales de presión (cerca de los laterales, en mitad y cerca al encastre de los alerones) que se tienen sobre la superficie buscando siempre el valores coherentes de acuerdo a la iteración de toma de datos. Teniendo estos valores y la superficie se obtiene los valores de carga y arrastre del modelo, observar Tabla22.

Tabla 22. Resultados de pruebas para alerón de un elemento

ALERÓN PRINCIPAL									
	TUBO 1 (m)	TUBO 2 (m)	TUBO 3 (m)	H (m)	P (Pa)	DP (Pa)	Area (m <sup>2</sup> )	Carga(N)	Arrastre (N)
PRUEBA 1	0,305	0,284	0,32	0,269	5272,4	176,4	0,024	1,75313376	0,0550368
	0,306	0,274	0,32	0,26	5096				
PRUEBA 2	0,305	0,28	0,32	0,265	5194	156,8	0,024	1,55834112	0,0489216
	0,307	0,27	0,32	0,257	5037,2				
PRUEBA 3	0,305	0,285	0,32	0,27	5292	196	0,024	1,9479264	0,061152
	0,305	0,275	0,32	0,26	5096				

Fuente: Generada por los autores

#### 4.2. VEHÍCULO CON ALERÓN DOS ELEMENTOS

Se Tienen en cuenta las mismas consideraciones que en el anterior alerón pero teniendo en cuenta las dos superficies representativas que se tienen sobre esta, el tubo pitot se localiza en las diferentes secciones del mismo para que se puedan obtener los datos correspondientes, observar Tabla 23.

Tabla 23. Resultados de pruebas para alerón de dos elementos

<sup>18</sup> Yanus Cengel y John Cimbala. *Mecánica de fluidos y aplicaciones*, Editorial McGraw-Hill Interamericana, edi.1, 2006, P 279.

ALERON DE DOS ELEMENTOS									
	TUBO 1 (m)	TUBO 2 (m)	TUBO 3 (m)	H (m)	P (Pa)	DP (Pa)	Area (m <sup>2</sup> )	Carga (N)	Arrastre (N)
1er aleron	0,302	0,286	0,32	0,268	5252,8	548,8	0,031875	10,33003633	0,47820864
	0,305	0,255	0,32	0,24	4704				
2do aleron	0,305	0,285	0,32	0,27	5292	333,2	0,00765		
	0,298	0,275	0,32	0,253	4958,8				
1er aleron	0,305	0,285	0,32	0,27	5292	450,8	0,031875	8,194278477	0,36100554
	0,307	0,26	0,32	0,247	4841,2				
2do aleron	0,305	0,284	0,32	0,269	5272,4	235,2	0,00765		
	0,296	0,281	0,32	0,257	5037,2				
1er aleron	0,302	0,281	0,32	0,263	5154,8	450,8	0,031875	6,860472213	0,21526386
	0,305	0,255	0,32	0,24	4704				
2do aleron	0,304	0,281	0,32	0,265	5194	58,8	0,00765		
	0,305	0,277	0,32	0,262	5135,2				

Claramente se puede observar en la Tabla 23 hay un dato atípico, este dato se debe a la dificultad de maniobrar el tubo pitot sobre la apertura disponible para este en el túnel de viento y a la geometría de los alerones de más de un elemento por lo tanto esta toma no se tendrá en cuenta.

### 4.3. VEHÍCULO CON ALERÓN DE TRES ELEMENTOS

Teniendo en cuenta las mismas condiciones para el tercer alerón donde se debe analizar cuál es el downforce generado en este último y las diferencias que se tienen con respecto a los demás, observar Tabla 24.

Tabla 24. Resultados de pruebas para alerón de tres elementos

ALERON DE TRES ELEMENTOS									
	TUBO 1 (m)	TUBO 2 (m)	TUBO 3 (m)	H (m)	P (Pa)	DP (Pa)	Area (m <sup>2</sup> )	Carga (N)	Arrastre (N)
1er aleron	0,306	0,287	0,32	0,273	2675,4	245	0,01869	4,630584711	0,369555903
	0,306	0,262	0,32	0,248	2430,4				
2do aleron	0,305	0,285	0,32	0,27	2646	215,6	0,00479		
	0,304	0,264	0,32	0,248	2430,4				
3er aleron	0,305	0,28	0,32	0,265	2597	137,2	0,00615		
	0,296	0,275	0,32	0,251	2459,8				
1er aleron	0,305	0,285	0,32	0,27	2646	235,2	0,01869	4,950495774	0,422536388
	0,306	0,26	0,32	0,246	2410,8				
2do aleron	0,305	0,284	0,32	0,269	2636,2	235,2	0,00479		
	0,29	0,275	0,32	0,245	2401				
3er aleron	0,306	0,281	0,32	0,267	2616,6	166,6	0,00615		
	0,29	0,28	0,32	0,25	2450				
1er aleron	0,302	0,281	0,32	0,263	2577,4	176,4	0,01869	1,696274082	0,056964695
	0,305	0,26	0,32	0,245	2401				
2do aleron	0,294	0,28	0,32	0,254	2489,2	39,2	0,00479		
	0,3	0,27	0,32	0,25	2450				
3er aleron	0,29	0,28	0,32	0,25	2450	0	0,00615		
	0,29	0,28	0,32	0,25	2450				

Fuente: Generada por los autores

Claramente se puede observar en la Tabla 24 hay un dato atípico, este dato se debe a la dificultad de maniobrar el tubo pitot sobre la apertura disponible para este en el túnel de viento y a la geometría de los alerones de más de un elemento por lo tanto este tipo de datos no serán tenidos en cuenta.

#### 4.4. ELECCIÓN DEL ALERÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en el túnel de viento sobre la carga aerodinámica generada entre los tres modelos el alerón que mayor carga presento fue el alerón dos, a pesar que el alerón 3 presentara más alerones secundarios, las aéreas de estos eran menores a las del alerón dos, esto se debe a que fueron configurados para el espacio que reglamento de Formula SENA Eco.

Tipo de alerón	Carga aerodinámica (N)
Alerón de 1 elemento	1,7531
Alerón de 2 elementos	8,1924
Alerón de 3 elementos	4,6305

En cuanto a su volumen lo cual interfiere con el peso de estos; para el alerón uno sus laterales son demasiado robustos para este tipo de Formula ya que la mayoría son vehículos ligeros debido a su potencia, el segundo alerón es más ligero sus laterales no son de gran tamaño no dejando a un lado que su arrastre es similar al de tres elementos, en cuanto al alerón 3 no es un alerón tan ligero como el dos debido a que sus laterales son más grandes y su tercer alerón presenta un ángulo de ataque mayor a todos los demás lo cual genera más resistencia al avance pero comparado los datos del alerón dos con el tres la diferencia entre el arrastre de estos no es mucha.

Tipo de alerón	Arrastre (N)
Alerón de 1 elemento	0,05
Alerón de 2 elementos	0,47
Alerón de 3 elementos	0,36

El comportamiento del fluido en el alerón uno no impacta directamente sobre la rueda lo cual reduce la resistencia del vehículo (ver Figura 32), en cuanto su alerón principal no influye en la dirección del flujo. El alerón dos direcciona el flujo a lo que sería un término medio por encima de donde estaría ubicada la suspensión y de igual manera a la rueda, los laterales direccionan hacia los costados evitando que la pequeña parte que no cubre el alerón impacte directamente a la rueda (ver Figura 33). En cuanto al alerón 3 este presenta características similares al alerón 2 pero más pronunciadas direcciona el flujo de mayor manera tanto en la rueda, suspensión y en la parte lateral (ver Figura 34).

Con estos tres aspectos tenidos en cuenta el primero en ser descartado es el alerón uno por lo que podría ser su peso y su aporte en carga no es el más alto,

su laterales pueden que eviten el impacto directo pero de igual manera estos generan resistencia, son demasiado grandes. El alerón dos y tres son similares en aspectos como resistencia y direccione flujo pero la carga aerodinámica del alerón dos es más alta que la de tres por lo tanto el alerón seleccionado entre los tres es el dos.

## 5. CONCLUSIONES

1. En la selección de perfiles se tuvo en cuenta la forma y el espesor de los mismos, ya que haciendo un comparativo con respecto al espesor final que puede ejercer cada uno en el vehículo, se evidenció que es mejor un perfil que ofrezca un buen coeficiente de sustentación y que no represente tanto peso por medio de un espesor mayor, ya que la eficiencia aerodinámica sería menor y se estaría el factor principal del estudio.
2. En cuanto al ángulo de ataque para el alerón principal en los de dos y tres elementos se pudo evidenciar que era necesario generar una inclinación de 1 a 2° grados de inclinación ya que el downforce ofrecido bajo un ángulo de ataque cero no está generando un rendimiento aerodinámico óptimo al vehículo debido a la variación posterior que presentan las siguientes secciones del alerón.
3. En cuanto al diseño del alerón se debe tener claro que es lo que se busca, bien sea distribución de aire o carga aerodinámica, ya que como se observó el alerón uno evita el impacto directo del aire con las ruedas, con respecto a la poca carga aerodinámica que aportaba, esto no es conveniente para una Fórmula de autos livianos o ligeros como lo es la Fórmula SENA Eco.
4. Se pudo constatar en el estudio que el vehículo así tenga más alerones no se traduce en generar un mayor rendimiento u ofrecer más carga aerodinámica que otro que tenga una menor cantidad como se verificó con los resultados que fue una carga aerodinámica de 8,19 N para la de dos elementos y el de tres elementos de 4,63 N. El aspecto clave con el que se debe trabajar a fondo es con la geometría y dimensionamiento del alerón que permitirán aumentar el área efectiva que contribuye en la carga aerodinámica del mismo.
5. En cuanto al uso de alerones para esta Fórmula dependerá del tipo de circuito y la velocidad que estos alcancen, según la bibliografía especializada consultada en esta temática, sugieren que la implementación de estos alerones para vehículos que superen los 60 km/h ya que su aporte a estas velocidades presenta un alto beneficio.

6. En cuanto al modelo se tomaron condiciones de velocidad que pudieran ser las reales a las que se sometiera el prototipo, viendo que en algunos casos esa velocidad de 122,21 km/h no alcanzaba los niveles requeridos, se pudo concluir que hubiera sido posible el análisis del mismo alerón pero seccionado ya que como este es simétrico, se tendría el mismo análisis pero a condiciones de trabajo más fáciles de generar.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] CAROLIO SANTIAGO OCTAVIO RUBEN Y CHAVEZ SALAMANCA ANGEL. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ALERON TRASERO PARA UN AUTOMOVIL FOMULA 1. [En Línea] <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10361/1740%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] DANIEL P. RAYMER. AIRCRAFT DESING: A CONCEPTUAL APPROACH. Editorial Education Series, Ed: 2, 1992.
- [3] FRAIJA ISKANDAR. ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA EN LOS VEHÍCULOS. Prospectiva, 2006-4. [En línea] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251108011>
- [4] INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA DEL AUTOMÓVIL. DE LOS INICIOS A LA GEOMETRÍA VARIABLE. [En línea] <http://www.pistonudos.com/reportajes/introduccion-a-la-aerodinamica-del-automovil/>
- [5] ISIDORO CARMONA, ANÍBAL. AERODINÁMICA Y ACTUACIONES DEL AVIÓN, Editorial ITP Paraninfo-Madrid España, 2000.
- [6] LEGANES, JOEL. DISEÑO DE ALERONES PARA EL VEHICULO DE FORMULA. [En línea] [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22620/PFC\\_joel\\_leganes\\_rodriguez\\_2014.pdfz](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22620/PFC_joel_leganes_rodriguez_2014.pdfz)
- [7] SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. REGLAMENTO TECNICO. FORMULA SENA ECO. [En línea] [http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20\(2\).pdf](http://comunica.sena.edu.co/formulasena/Documentos/Reglamento%20Formula%20SENA%20-%20ECO%20(2).pdf)
- [8] SIMON MCBEATH, AERODINÁMICA DEL AUTOMÓVIL DE COMPETICIÓN, 3 Ed: 2000. CEAC.
- [9] VDI VERLAG GMBH. MANUAL DE LA TECNICA DEL AUTOMOVIL, Editorial Reverte S.A., Ed: 3, 1996.
- [10] YANUS CENGEL Y JOHN CIMBALA. MECÁNICA DE FLUIDOS Y APLICACIONES, Editorial McGraw-Hill Interamericana, Ed: 1, 2006.