



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALERÓN DE MANDO ELECTRÓNICO DE
POSICIÓN VARIABLE PARA UN VEHÍCULO TOYOTA COROLLA”**

JORGE AGUSTIN VINUEZA BRAVO

VÍCTOR DAVID BRAVO MOROCHO

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Riobamba -Ecuador

2011

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 09 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JORGE AGUSTIN VINUEZA BRAVO

Titulada:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALERÓN DE MANDO ELECTRÓNICO DE
POSICIÓN VARIABLE PARA UN VEHÍCULO TOYOTA COROLLA”

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Constante N.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Fernando Gonzales P.

ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JORGE AGUSTIN VINUEZA BRAVO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALERÓN DE MANDO ELECTRÓNICO DE POSICIÓN VARIABLE PARA UN VEHÍCULO TOYOTA COROLLA”

Fecha de Examinación: Diciembre, 09 de 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Geovanny Novillo A. (Presidente Trib. Defensa)			
ING. Diego Constante N. (Director de Tesis)			
ING. Fernando Gonzales P. (Asesor)			

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

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

_____ f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 09 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

VICTOR DAVID BRAVOMOROCHO

Titulada:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALERÓN DE MANDO ELECTRÓNICO DE
POSICIÓN VARIABLE PARA UN VEHÍCULO TOYOTA COROLLA”

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Constante N.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Fernando Gonzales P.

ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALERÓN DE MANDO ELECTRÓNICO DE POSICIÓN VARIABLE PARA UN VEHÍCULO TOYOTA COROLLA”

Fecha de Examinación: Diciembre, 09 de 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Geovanny Novillo A. (Presidente Trib. Defensa)			
ING. Diego Constante N. (Director de Tesis)			
ING. Fernando Gonzales P. (Asesor)			

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

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la familia Vinueza Bravo y a la familia Bravo Morocho, por incentivarnos siempre para la culminación de nuestro proyecto de tesis y en especial a todas las personas quienes aportaron su grano de arena para hacer todo esto posible.

Jorge Agustin Vinueza Bravo

También le extendemos nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales en sus distinguidas aulas.

Víctor David Bravo Morocho

DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado a mis padres Roció y Víctor, principalmente a mi madre por el increíble apoyo, ayuda y dedicación que tuvieron al momento que deje el trabajo y me puse a realizar este proyecto, por el amor interminable que supieron brindarme, además de perdonarme las cosas en las que me equivocado, por su incansable dedicación hacia mí, le quedare eternamente agradecido, siendo este proyecto una muestra de mi agradecimiento.

También quiero dedicar este trabajo a todos mis hermanos y a Mónica por el apoyo moral, psicológico y ético que me han brindado; ya que siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome, para seguir luchando y ser una mejor persona, cuando parecía que todo se venía en contra mía.

Víctor David Bravo Morocho

Dedico el presente trabajo a mis padres Modesto y Lolita que una u otra forma me supieron alentar y encaminar en la realización del presente proyecto; a mi padre por ser quien más me soportaba y se enojaba todas las noches y madrugadas cuando supuestamente salía a realizar mi tesis, quien siempre me insistió, alentó y ayudó a realizarla. A mi madre, Lolita eres única tú lo sabes, me faltarían hojas para decirte lo mucho que te amo y que te respeto al igual que a mi padre; sé que esta tesis parecería almanaque al expresarles en papel lo que siento por ustedes, les doy las gracias y me siento orgulloso de ser su primogénito y el primero en brindarles este orgullo al terminar mi tesis pero sin más palabras que dios les bendiga. También les dedico esta tesis a mis dos hermanos Juan y Sebastián a ti Juan por ser quien siempre me decía que ya siente cabeza y me ponga a realizar la tesis y a ti CHIMBILACO por ser quien me ayudaba a probar la tesis; gracias ñaños ustedes saben que doy la vida por ustedes y hoy les dedico esta tesis para que se sientan orgullos su hermano. Finalmente le dedico esta tesis quien considero una de las personas más importantes en mi vida, a mi abuelito Modesto creo que a tus 101 años de edad vas a sentirte orgullo que tu Agustín al fin acabe la tesis, y quiero que sepas que te quiero mucho.

Jorge Agustin Vinueza Bravo

SUMARIO

Se ha Diseñado e Implementado un Alerón de Mando Electrónico de Posición Variable Para un Toyota Corolla, con el propósito de mejorar el rendimiento aerodinámico en recta y en curva, primero realizando simulaciones en programas de dinámica de fluidos computacional (FLUENT y GAMBIT), del automóvil y de los perfiles en estudio (NACA 4412, NACA 6412, PERFIL PROPIO).

Con estos resultados se analiza y construye el Alerón, los mecanismos de soporte, variador del ángulo de ataque y módulo de control, con los materiales estudiados y analizados previamente

Se implementa los elementos constituyentes (sensores, actuadores y módulo de control) del alerón en el automóvil, se obtiene valores de carga, velocidad y ángulo de ataque del alerón y se compara con los resultados obtenidos de las simulaciones obteniendo los siguientes resultados:

Incremento de la velocidad en curva, maniobrabilidad, estabilidad, mejor adherencia del vehículo a la calzada y reducción de las vibraciones a altas velocidades, en rangos de trabajo (entre 0 y 40 Km/h el alerón se mantendrá en 0°; entre 41 y 80 Km/h en 9°; y entre 81 y 120 Km/h en 15°) verificando así el perfecto funcionamiento del alerón, en curva como en recta.

ABSTRACT

It has been designed and implemented an Electronic Control Aileron Position variables for a Toyota Corolla, with the purpose of improving the aerodynamic performance in straight and curve, first performing simulations in programs of computational fluid dynamics (FLUENT and GAMBIT), automotive and the profiles under study (NACA 4412, NACA 6412, OWN PROFILE).

With these results is analyzed and built the aileron support mechanisms variator of angle of attack and control module, with the materials previously studied and analyzed

Are implements the constituent elements (sensors, actuators and control module) the aileron in the automobile, we obtain values of load, speed and angle of attack of aileron and is compares with the results of the simulations obtaining the following results:

Increase cornering speed, maneuverability, stability, better adhesion vehicle to the road and reduction of vibration at high speeds, working in ranges (between 0 to 40 km / h the aileron will remain in 0 °, between 41 and 80Km / h at 9 °, and between 81 and 120 km / h at 15 °) checking the correct operation of aileron, in curved as straight.

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Área
C	Velocidad del sonido
C1	Cuerda del flap principal
C2	Cuerda del flap secundario
CAD	Programa de diseño asistido por ordenador
CC	Corriente continua
C_{DI}	Coefficiente de resistencia inducida
C_{DO}	Coefficiente de resistencia parásita
CFD	Programa de dinámica de fluidos computacional
CT	Cuerda total del perfil alar
C_v	Potencia absorbida
C_x	Coefficiente de resistencia
C_z	Coefficiente de antisustentación
C_{z1}	Coefficiente de antisustentación del flap 1
C_{z2}	Coefficiente de antisustentación del flap 2
$C_{z_{max}}$	Coefficiente máximo de antisustentación
D	Resistencia aerodinámica
e	Espesor entre la fibra y el eje neutro
f	Fineza
F	Fuerza aerodinámica
F_r	Fuerza de rozamiento
F_x	Fuerza respecto al eje x
F_y	Fuerza respecto al eje y
F_z	Carga aerodinámica
g	Gravedad
H_p	Caballos de fuerza
I	Momento de inercia
I_x	Momento de inercia respecto al eje x
l	Longitud del objeto en estudio
L	Longitud de la cuerda del perfil alar
Lb	Libras fuerza

LCD	Diodo emisor de luz
M	Número de Match
m	Masa
M_f	Momento de flexión
N	Newton
NACA	Comité Consejero Nacional para la Aeronáutica
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
N_e	Número de entradas del tornillo sin fin
N_p	Número de dientes del piñón
P	Presión atmosférica
Pa	Pascales
RA	Relación de aspecto
RE	Número de Reynolds
R_t	Relación de transmisión
R_x	Reacción respecto al eje x
R_y	Reacción respecto al eje y
S	Superficie alar
s	Separación entre flaps
T	Espesor del flap
$T_{\text{piñón}}$	Torque del piñón
TPS	Sensor de posición de la mariposa
T_{tornillo}	Torque del tornillo
v	Velocidad del objeto en estudio
μ	Viscosidad dinámica del aire
ρ	Densidad del aire
σ_{max}	Esfuerzo máximo
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Vistas del alerón y mecanismo

ANEXO 2: Manual del módulo de control

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1 GENERALIDADES	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación técnica.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
2 FUNDAMENTOS DE LA AERODINÁMICA	
2.1 Líneas de corriente y trayectoria.....	6
2.2 Capa límite.....	6
2.3 Flujo laminar y flujo turbulento.....	7
2.4 Número de reynolds	8
2.5 Perfiles alares y ángulo de ataque.....	9
2.5.1 Parámetros geométricos de los perfiles.....	10
2.5.2 Clasificación de los perfiles	11
2.6 Número de match.....	11
2.7 Eficiencia aerodinámica.....	12
2.8 Fuerzas aerodinámicas	12
2.8.1 Carga aerodinámica.....	15
2.8.2 Resistencia aerodinámica.....	17
2.9 La aerodinámica en los automóviles.	19
2.9.1 Tipos de alerones.	19
2.9.2 Alerones de un solo elemento.	19
2.9.3 Alerones de dos elementos	20
2.9.3 Alerones de varios elementos.....	22
2.10 Aditamentos aerodinámicos	24
2.10.1 Derivas laterales y perfiles gurney	24
2.10.2 Sustentación “efecto suelo”.....	26

3 SIMULACIÓN Y SELECCIÓN DEL PERFIL

3.1	Introducción a los programas DFC (FLUENT-GAMBIT).....	27
3.1.1	Obtención de los perfiles.....	27
3.1.2	Generación del mallado.....	28
3.1.3	Condiciones de contorno.....	29
3.2	Simulación y estudio de los perfiles.....	30
3.2.1	Perfil NACA 4412.....	30
3.2.1.1	Contornos de velocidad para el perfil naca 4412.....	31
3.2.1.2	Contornos de presión para el perfil naca 4412.....	34
3.2.2	Perfil NACA 6412.....	38
3.2.2.1	Contornos de velocidad para el perfil naca 6412.....	39
3.2.2.2	Contornos de presión para el perfil naca 6412.....	42
3.2.3	Perfil de diseño propio.....	46
3.2.3.1	Contornos de velocidad para el perfil propio.....	47
3.2.3.2	Contornos de presión perfil propio.....	50
3.3	Análisis de los resultados.....	54

4 CONSTRUCCIÓN DEL ALERÓN

4.1	Forma.....	59
4.2	Dimensionamiento.....	60
4.3	Ubicación efectiva del alerón.....	62
4.4	Carga del alerón.....	66
4.4.1	Cálculo de la carga del alerón.....	66
4.4.1.1	Cálculo empírico.....	66
4.4.1.2	Cálculo mediante los datos de fluent.....	67
4.4.1.3	Potencia absorbida por el alerón.....	68
4.5	Selección del material a utilizar.....	70
4.5.1	Aluminio.....	71
4.5.2	Plástico.....	72
4.5.3	Fibra de vidrio.....	73
4.6	Esfuerzo máximo del alerón.....	74
4.7	Material a emplear en el alerón.....	76
4.8	Mecanismo de variación del ángulo del alerón.....	78
4.8.1	El diseño del mecanismo.....	79

4.8.2	Adaptación del mecanismo	80
4.9	Material a emplear en el mecanismo	83
4.10	Elementos constitutivos del alerón	833
4.10.1	Conjunto del alerón	833
4.10.2	Mecanismo de variación del alerón	85
4.10.3	Soporte Base.....	86
4.10.4	Conjunto mecanismo de variación.....	87

5 EL MÓDULO DE CONTROL

5.1	Elementos del sistema de control del alerón	88
5.1.1	Datos de entrada y de salida.....	88
5.1.1.1	Funcionamiento del tps.....	90
5.1.1.2	Mediciones de pulso del sensor de velocidad.....	91
5.1.1.3	Amperaje requerido por los motores para la variación del ángulo del alerón.....	92
5.1.1.4	Mediciones de las variaciones de voltaje de la celda de carga.....	92
5.2	Diseño del circuito de control.....	93
5.3	Diseño y construcción del circuito	94
5.4	La visualización de datos.....	96
5.5	Instalación en el vehículo	96

6 PRUEBAS DE RUTA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1	Pruebas de ruta.	98
6.1.1	Selección del tramo de prueba.....	98
6.1.2	Condiciones de prueba del vehículo	99
6.2	Pruebas del vehículo en ruta sin alerón.....	99
6.2.1	Recolección de datos sin alerón	100
6.3	Pruebas del vehículo en ruta con alerón.	101
6.3.1	Recolección de datos con alerón	101
6.4	Comparación y análisis de los resultados	102
6.5	Comparación y análisis de la velocidad en curva.....	103
6.6	Costos de fabricación.....	1044
6.6.1	Costos directos.....	104
6.6.2	Costos indirectos.....	106
6.7	Consumo de combustible.....	10707

7CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones.....	108
7.2	Recomendaciones.....	109

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Líneas de corriente de un fluido.....	6
2.2	Capa Límite.....	6
2.3	Flujo Laminar y Flujo Turbulento.....	7
2.4	Capa laminar y Capa turbulenta.....	8
2.5	Perfil Alar.....	9
2.6	Ángulo de Ataque.....	10
2.7	Geometría de los Perfiles.....	10
2.8	Fuerzas Aerodinámicas.....	13
2.9	Efecto Venturi.....	14
2.10	Diferencias de presión y velocidad.....	14
2.11	Carga Aerodinámica.....	17
2.12	Cz en función del ángulo de ataque.....	17
2.13	Cx en función del ángulo de ataque.....	18
2.14	Resistencia en función de la velocidad.....	19
2.15	Alerón de un elemento.....	19
2.16	Alerón de dos elementos configuración “flap externo”.....	21
2.17	Alerón de dos elementos configuración “flap ranura”.....	21
2.18	Curva de anti sustentación.....	22
2.19	Alerón de tres elementos.....	22
2.20	Curva de sustentación de un alerón de tres elementos.....	23
2.21	Alerón de cuatro elementos.....	23
2.22	Alerón de tres elementos con borde de ataque.....	24
2.23	Curva de sustentación de un alerón con aleta.....	24
2.24	Efecto de las derivas.....	25
2.25	Flap Gurney.....	25
2.26	Sustentación.....	26
3.1	Perfiles Aerodinámicos en estudio.....	27
3.2	Generación del mallado.....	28
3.3	Calidad del mallado.....	29
3.4	Perfil NACA 4412.....	30

3.5	Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 0°	31
3.6	Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 5°	31
3.7	Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 10°	32
3.8	Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 12°	32
3.9	Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 15°	33
3.10	Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 20°	33
3.11	Contornos de presión para el perfil 4412 a 00	34
3.12	Contornos de presión para el perfil 4412 a 50	35
3.13	Contornos de presión para el perfil 4412 a 100	35
3.14	Contornos de presión para el perfil 4412 a 120	36
3.15	Contornos de presión para el perfil 4412 a 150	36
3.16	Contornos de presión para el perfil 4412 a 200	37
3.17	Sustentación y Resistencia del perfil NACA 4412	38
3.18	Perfil NACA 6412	38
3.19	Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 0°	39
3.20	Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 5°	39
3.21	Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 10°	40
3.22	Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 12°	40
3.23	Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 15°	41
3.24	Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 20°	41
3.25	Contornos de presión para el perfil 6412 a 00	42
3.26	Contornos de presión para el perfil 6412 a 50	43
3.27	Contornos de presión para el perfil 6412 a 100	43
3.28	Contornos de presión para el perfil 6412 a 120	44
3.29	Contornos de presión para el perfil 6412 a 150	44
3.30	Contornos de presión para el perfil 6412 a 200	45
3.31	Sustentación y Resistencia del perfil NACA 6412	46
3.32	Perfil de Diseño propio	46
3.33	Contornos de velocidad para el perfil propio a 00	47
3.34	Contornos de velocidad para el perfil propio a 50	47
3.35	Contornos de velocidad para el perfil propio a 100	48
3.36	Contornos de velocidad para el perfil propio a 120	48
3.37	Contornos de velocidad para el perfil propio a 150	49

3.38	Contornos de velocidad para el perfil propio a 200°.....	49
3.39	Contornos de presión perfil propio a 0°.....	50
3.40	Contornos de presión perfil propio a 5°.....	51
3.41	Contornos de presión perfil propio a 10°.....	51
3.42	Contornos de presión perfil propio a 12°.....	52
3.43	Contornos de presión perfil propio a 15°.....	52
3.44	Contornos de presión perfil propio a 20°.....	53
3.45	Sustentación y Resistencia Perfil diseño propio.....	54
3.46	Cz en función del ángulo de ataque para los tres perfiles.....	54
3.47	Cx en función del ángulo de ataque para los tres perfiles.....	55
3.48	Eficiencia en función del ángulo de ataque para los tres perfiles.....	56
4.1	Forma del alerón y sus partes principales.....	59
4.2	Diferencias entre un alerón de un flap y dos flaps.....	59
4.3	Alerón de un Flap y dos Flaps con la misma longitud de cuerda.....	60
4.4	Derivas laterales.....	61
4.5	Dimensionamiento del perfil principal.....	61
4.6	Dimensionamiento del perfil secundario.....	62
4.7	Conjunto alerón.....	62
4.8	Contornos de presión para el automóvil sin alerón.....	62
4.9	Contornos de velocidad para el automóvil sin alerón.....	63
4.10	Líneas de flujo alrededor del vehículo sin alerón.....	63
4.11	Contornos de presión alrededor del automóvil con alerón.....	64
4.12	Contornos de velocidad alrededor del automóvil con alerón.....	64
4.13	Líneas de flujo alrededor del vehículo con alerón.....	64
4.14	Ubicación efectiva del alerón.....	65
4.15	Vehículo en análisis.....	66
4.16	Ubicación de la carga generada por el alerón.....	74
4.17	Espesores del alerón.....	74
4.18	Momento máximo del alerón.....	75
4.19	Momentos de área calculados por el programa RHINOCEROS.....	75
4.20	Cálculo esfuerzo cortante máximo en MDSolids.....	76
4.21	Mecanismo de variación 1.....	78
4.22	Mecanismo de variación 2.....	78

4.23	Mecanismo de variación 3.....	78
4.24	Diagrama de las reacciones de los soportes.....	79
4.25	Diagrama de cuerpo libre.....	80
4.26	Triángulo de fuerzas.....	80
4.27	Mecanismo reductor.....	80
4.28	Reductor acoplado.....	81
4.29	Carcasa del reductor.....	81
4.30	Vista frontal del reductor.....	81
4.31	Análisis del tornillo en el programa MDSolid.....	82
4.32	Partes constitutivas del variador.....	82
4.33	Guía del variador.....	82
4.34	Perspectivas del ala.....	83
4.35	Ala renderizada en HIPERSHOT.....	84
4.36	Ala terminada.....	84
4.37	Ala terminada II.....	84
4.38	Perspectivas del mecanismo de variación.....	85
4.39	Mecanismo de variación renderizado.....	85
4.40	Mecanismo de variación terminado.....	85
4.41	Perspectivas del soporte.....	86
4.42	Soporte renderizado.....	86
4.43	Soporte terminado.....	86
4.44	Perspectivas del conjunto.....	87
4.45	Conjunto renderizado.....	87
4.46	Conjunto terminado.....	87
5.1	Esquema completo del sistema del control.....	88
5.2	Diagrama de bloques 1.....	89
5.3	Diagrama de bloques 2.....	89
5.4	Configuración del TPS.....	90
5.5	Configuración de la señal del sensor de velocidad.....	91
5.6	Simulación de módulo de control en PROTEUS.....	93
5.7	Generación de las pistas.....	94
5.8	Simulación del módulo en 3D.....	94
5.9	Fabricación de la placa principal y secundaria.....	95

5.10	Conjunto del sistema de control.....	95
5.11	Carcasa del módulo de control.....	95
5.12	Display de observación de los datos.....	96
5.13	Instalación de la celda de carga en el vehículo.....	96
5.14	Adaptación del TPS en el mecanismo.....	96
5.15	Sensor de velocidad	97
5.16	Adaptación del sensor en el auto.....	97
5.17	Adaptación del módulo de control en el vehículo.....	97
5.18	Adaptación del módulo de control en el vehículo II.....	97
6.1	Mapa vial del tramo de prueba.....	98
6.2	Curvas de 1°, 2° y 3° grado.....	99
6.3	Velocidades en curva.....	104

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
3.1	Coeficientes de sustentación y arrastre para el perfil NACA 4412.....	37
3.2	Coeficientes de sustentación y arrastre para el perfil NACA 6412.....	45
3.3	Coeficientes de sustentación y arrastre para el perfil propio.....	53
3.4	Coeficientes de sustentación de los tres perfiles.....	55
3.5	Coeficientes de resistencia de los tres perfiles.....	56
3.6	Eficiencia de los tres perfiles.....	57
4.1	Relación de aspecto.....	60
4.2	Ubicación efectiva del alerón.....	65
4.3	Posición y carga del alerón según el programa.....	68
4.4	Posición y Cx del alerón según FLUENT.....	69
4.5	Propiedades del aluminio.....	71
4.6	Resistencia a la tracción de los tres materiales a utilizar en el alerón...	77
4.7	Selección del material a emplearse.....	77
5.1	Variación de señal del TPS en función del ángulo del alerón.....	90
5.2	Ángulo de funcionamiento del alerón.....	90
5.3	Ángulo de funcionamiento del alerón según TPS y a 120 km/h.....	91
5.4	Pulso del sensor en función de la distancia.....	91
5.5	Amperaje requerido por los motores.....	92
5.6	Variaciones de voltaje de la celda de carga.....	93
6.1	Velocidad en recta y curva del vehículo sin alerón.....	100
6.2	Velocidad y carga del vehículo con alerón.....	101
6.3	Comparación de los resultados.....	102
6.4	Comparación de velocidades de paso por curva.....	103
6.5	Análisis de costo de materiales.....	105
6.6	Análisis de costos de equipos.....	105
6.7	Análisis de costos de mano de obra.....	106
6.8	Análisis de costos de transporte.....	106
6.9	Análisis de costos indirectos.....	106
6.10	Análisis de consumo de combustible en el tramo de prueba.....	107

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

En la actualidad la aerodinámica aplicada en los automóviles ya sean estos de competición o de uso tradicional, juega un papel tan o más importante que otros elementos como el motor, la suspensión, los neumáticos, etc. La aerodinámica tiene su mayor impacto en los coches y camiones modernos a través de su contribución de cargas en el vehículo. Las fuerzas aerodinámicas interactúan con el vehículo causando arrastre, sustentación, fuerzas laterales, momentos y ruidos. Todo esto trae como consecuencia alteraciones en el consumo de combustible, el rendimiento, el manejo y la estética del coche. Los parámetros que rigen las formas de un vehículo de calle son muy diferentes a las de un coche de carreras, estas imposiciones surgen de requisitos diferentes; mientras en los coches de carreras la eficiencia aerodinámica, la sustentación negativa y las restricciones de cada competición son las que le dan forma al auto; en los coches de calle la estética, la funcionalidad, el consumo de combustible, la seguridad y el uso particular son los que determinan su forma. Los elementos que se encargan de crear una fuerza de sustentación negativa, llamada carga aerodinámica o también antisustentación, son los alerones. Estos elementos son los únicos que crean una carga aerodinámica, razón por la cual se los tiene muy en cuenta cuando se modifica la aerodinámica, además que generan hasta un 35% de la resistencia total del vehículo. El resto de la resistencia total es provocado por las pérdidas que se producen en el interior del vehículo y sobre todo por las ruedas.

Lo que se pretende con este trabajo es diseñar un alerón que pueda variar su posición dependiendo de las exigencias a las que estará sometido el vehículo. Se va a optimizar la carga y la resistencia generadas por el alerón, poniendo a prueba diferentes perfiles aerodinámicos, de los cuales se elegirá al mejor para este caso. Para lo cual se optará por poner en práctica la utilización de herramientas computacionales, como lo son los programas DFC (Dinámica de Fluidos Computacional). Los paquetes DFC existentes en el mercado son lo suficientemente potentes y fáciles de utilizar como para que resulte rentable su utilización en este trabajo. Los principales beneficios que presenta la utilización de esta herramienta son: la reducción del número de ensayos experimentales necesarios y del tiempo de desarrollo. También pueden

proporcionar información complementaria del comportamiento detallado, que resulta muy difícil conocer experimentalmente, y la facilidad para generar dibujos espectaculares, además de la electrónica empleada en el campo automotriz.

1.2 Antecedentes

En la actualidad, el aspecto que ha tenido una mayor influencia en cuanto al rendimiento de los automóviles, es el desarrollo de la aerodinámica. En los años 30, el coeficiente de resistencia era de 1.50, factor que elevaba el consumo de combustible y consecuentemente, reducía las prestaciones de los vehículos. Para los años 60, se intentó reducir la resistencia al avance dando a la carrocería una forma lo más afilada posible y construyendo coches más bajos con el fin de reducir su área frontal; lo que trajo consigo velocidades de punta más altas, pero se corría el riesgo de crear sustentación positiva, para solventar este problema se usaron “spoilers” que provocan turbulencia en el flujo del aire acelerado por encima de la superficie superior del coche.

No pasó mucho tiempo hasta que se empezaron a emplear alerones tanto en automóviles urbanos, como en coches deportivos o de carrera, de este modo aunque la velocidad de punta era menor debido al incremento de la resistencia al aire, la velocidad de paso por curva aumentó gracias al mayor agarre del coche con el suelo. Un alerón es considerado como una forma especial de ala, por donde el aire pasa generando sustentación negativa o en nuestro caso carga aerodinámica. Era el comienzo de una revolución en lo referente a las prestaciones de los automóviles.

Actualmente, mediante estudios realizados por prestigiosas marcas de coches como Porsche y Lamborghini se han conseguido mejoras significativamente grandes en: la reducción de la sensibilidad al cabeceo, reducción del consumo de combustible, aumento en el rendimiento del vehículo, mejoramiento de la estabilidad a grandes velocidades y mejoras en la maniobrabilidad del auto, todo esto gracias a la implementación de alerones que varían de posición según la velocidad del coche.

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

implementación en el coche. En realidad, se trata de un elemento que sirve para mejorar la adherencia y estabilidad del automóvil en las calles y carreteras, y además aumenta la maniobrabilidad del mismo.

Muchos son los tipos de alerones que sirven para decorar nuestro vehículo. Sin embargo, se debe tener un especial cuidado en la elección de alerones y/o spoilers para nuestro modelo de coche, ya que escoger uno u otro únicamente por su aspecto puede ser peligroso.

Colocar un alerón poco apropiado en nuestro vehículo puede tener efectos peligrosos; se puede producir, por ejemplo, una descompensación en el peso de los ejes, con lo que el coche sufriría una falta de adherencia especialmente cuando rodara a velocidades altas, además se debe tomar muy en cuenta la posición, ángulo de ataque y el tipo de perfil con el que se crearán estos elementos, ya que pueden aumentar considerablemente la resistencia y por ende el consumo de combustible.

Para este trabajo hemos tomado un vehículo de prueba Toyota Corolla 1996 con un coeficiente de sustentación que bordea 0.45 a 0.50, con la finalidad de aportar mayor adherencia al piso, aumentar la velocidad en curvas e incrementar la maniobrabilidad, mediante la implementación de un alerón de posición variable.

1.3 Justificación técnica

La aerodinámica de los automóviles, se ha convertido en uno de los aspectos más importantes dentro del diseño de los mismos; los elementos aerodinámicos como los alerones, spoilers, difusores, entre otros; han pasado de ser simples elementos que le brindan estética al vehículo, a ser elementos capaces de mejorar el rendimiento del vehículo, su maniobrabilidad y primordialmente aumentar el agarre del automóvil en altas velocidades.

De aquí nace la necesidad de implementar alerones y optimizar aún más el funcionamiento de los mismos, mediante el diseño de un alerón que cambie de posición automáticamente en función de la velocidad del automóvil, generando una carga variable acorde a las necesidades del vehículo.

Los perfiles aerodinámicos con los que son construidos los alerones, se convertirán en el punto clave de análisis en este proyecto, y que tendrá como enfoque fundamental el aumento

de la maniobrabilidad del automóvil mejorando la adherencia al piso y por ende aumentando las prestaciones que el auto ofrece a sus ocupantes, ya sea en velocidad, estabilidad, y agarre en curvas. Para realizar la investigación, se implementara un software DFC (Dinámica de Fluidos Computacional), esto por no contar con un túnel de viento a escala real para la simulación y obtención de datos de los perfiles en estudio.

Dado que la tecnología avanza a pasos agigantados, es una ventaja utilizar nuevos programas computacionales aplicados en nuestra carrera; que permiten acelerar el ciclo de diseño, desarrollo y estudio de cualquier prototipo no solo de elementos aerodinámicos; pudiendo así implementarse en el diseño de carrocerías, preparación de autos de competencia y modificación de nuevos prototipos, generando así una revolución en el análisis aerodinámico de los autos en nuestro país.

Es necesidad del ingeniero automotriz poner en uso todas las herramientas tanto manuales como computacionales, para dar solución a problemas como en este caso a la aerodinámica presente en los coches, aportar en la mejora de las prestaciones de los vehículos, y contribuir al desarrollo dentro de la preparación de los coches de carrera; siempre conservando el criterio serio, tecnicado y perfeccionista que caracteriza en sí a un ingeniero automotriz de la ESPOCH.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Diseñar e implementar un alerón de mando electrónico de posición variable para un vehículo Toyota Corolla.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Conocer las propiedades aerodinámicas que tienen los alerones y su influencia sobre los vehículos.
- Simular y seleccionar el perfil adecuado para el alerón, en base a los datos obtenidos con el programa FLUENT.

- Construir el alerón en base al perfil seleccionado anteriormente, tomando en cuenta el material y sus acabados superficiales.
- Diseñar e implementar un módulo de control electrónico que nos permita optimizar el rendimiento, fiabilidad y maniobrabilidad del alerón.
- Tomar datos del comportamiento del alerón y del vehículo en carretera y proceder al análisis de los resultados obtenidos en las pruebas.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS DE LA AERODINÁMICA

2.1 Líneas de corriente y trayectoria

Se definen como aquellas líneas imaginarias que muestran la trayectoria o camino recorrido por las partículas de un fluido, y que además cada punto de dicha línea es tangente a su respectivo vector velocidad.

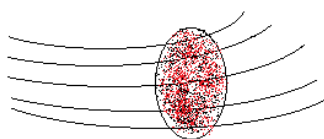


Figura 2.1 Líneas de corriente de un fluido

Está en régimen estacionario cuando las condiciones externas a las que está sometido el flujo (velocidad, presión, densidad), no cambian a lo largo del transcurso del tiempo. Si lo hiciera, el régimen se conoce como transitorio. Este concepto es importante tenerlo presente cuando llevemos a cabo las simulaciones, pues el flujo será siempre estacionario en este estudio.

2.2 Capa límite

Cuando el aire se desplaza a lo largo del alerón, las partículas tienden a adherirse a la superficie del perfil, esto ocurre debido a que el aire es un fluido viscoso, por lo tanto, la capa del aire que está en contacto con el ala se adhiere o está siendo frenado debido al rozamiento que ofrece la superficie del alerón al aire. Mientras la distancia con respecto al perfil va aumentando se genera una zona en que las capas contiguas van incrementando su velocidad hasta alcanzar la velocidad de la corriente de aire libre. Esta zona, donde la velocidad del aire va alcanzando la del aire libre, se conoce como capa límite.

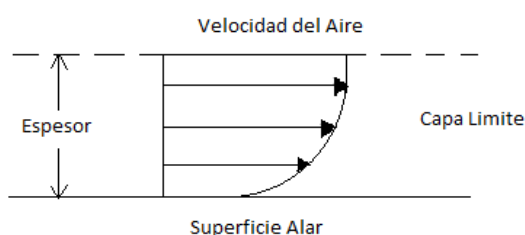


Figura 2.2 Capa límite

2.3 Flujo laminar y flujo turbulento

Si todas las partículas dentro de un flujo se mueven en la misma dirección que la velocidad, y de una forma ordenada, entonces el flujo será laminar. Si por otra parte las partículas se mueven de una forma errática, o en caminos diferentes a la velocidad del fluido entonces estamos hablando de un fluido de carácter turbulento.

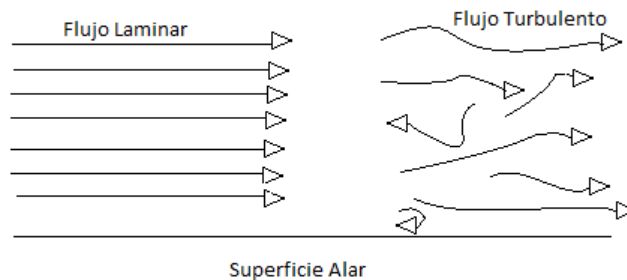


Figura 2.1 Flujo Laminar y Flujo Turbulento

De una forma más precisa y basándose en la teoría sobre la capa límite si las diferencias de velocidad entre las subcapas de la capa límite son pequeñas, se deslizan las unas sobre las otras con poca interacción entre ellas, creando así un flujo laminar, si caso contrario algo molesta a la capa límite como puede ser una curvatura en la superficie del cuerpo entonces se presentará un flujo turbulento.

Además la capa límite incrementará su grosor a lo largo de la superficie de un cuerpo por lo que puede ser delgada y laminar en la parte delantera; una capa límite laminar crea menos superficie de rozamiento que una turbulenta y por eso la resistencia es menor mientras la capa se mantenga laminar; pero una capa límite turbulenta también puede retrasar la investida de la separación del flujo en algunas circunstancias o incluso causar la unión de un fluido separado esto puede tener beneficios importantes en la creación de carga aerodinámica y la reducción de la resistencia y eso no sería correcto decir que la condición laminar es siempre la condición a alcanzar.

El flujo turbulento se caracteriza porque el fluido continuamente se mezcla, de forma caótica, como consecuencia de la ruptura de un flujo ordenado de vórtices, que afectan zonas en dirección del movimiento

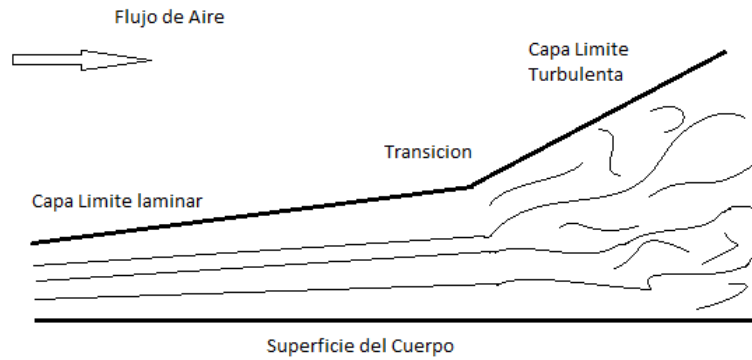


Figura 2.4 Capa laminar y Capa turbulenta

2.4 Número de Reynolds

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

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} \quad (2.1)$$

Pero para su utilización en el campo automovilístico se lo trata como la expresión:

$$Re = 67778 \times vL \quad (2.2)$$

Donde v es la velocidad del objeto en estudio y está expresada en (m/s) y L es la longitud en (m), para este caso esta longitud será la longitud de la cuerda del alerón. El producto de esta ecuación da como resultado un valor adimensional que es comparado con los valores anteriormente dados y dirá si el flujo es laminar o turbulento.

Para obtener la carga del alerón se empieza primero definiendo si el flujo es laminar o turbulento con el cálculo del número de Reynolds.

$$\begin{aligned} (&) = 67778 * * \\ & = 67778 * 33 * 0,3 \end{aligned}$$

$$= 671002,2$$

Para valores:

$Re < 2000$ el flujo es laminar.

$2000 < Re < 4000$ el flujo es estacionario.

$Re > 4000$ el flujo es turbulento.

Como conclusión se dirá que el alerón estará sumergido dentro de un flujo turbulento.

2.5 Perfiles alares y ángulo de ataque

Se considera que un perfil alar es la geometría (superficie 2D) de la sección transversal de un ala. No obstante, a lo largo de un ala se puede encontrar diferentes perfiles alares, pues cada sección transversal no tiene por qué ser la misma.

Otra definición esta vez usada en el campo aeronáutico es denominar perfil alar, perfil aerodinámico simplemente perfil, a la forma plana que al desplazarse a través del aire, y es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere sustentación. Es uno de los elementos más importantes en el diseño de superficies sustentadoras como alas, o de otros cuerpos similares como álabes.

Según el propósito que se persiga en el diseño, los perfiles pueden ser más finos o gruesos, curvos o poligonales, simétricos o no, e incluso el perfil puede ir variando a lo largo del ala.



Figura 2.5 Perfil Alar

El ángulo de ataque de un perfil alar no es más que el ángulo formado por la cuerda del perfil y la dirección de corriente libre del aire. Las variaciones en el ángulo de ataque pueden ser de carácter positivo, neutro o negativo.



Figura 2.6 Ángulo de Ataque

Dependiendo del ángulo de ataque que adopte el alerón, se obtendrá más o menos sustentación. Como norma, cuanto más ángulo de ataque más sustentación, pero teniendo en cuenta que hay un ángulo de ataque máximo alcanzable. Pasado este ángulo la capa de aire se desprende y el perfil entra en pérdida, por consiguiente, este deja de dar sustentación.

2.5.1 Parámetros geométricos de los perfiles

Las zonas que forman parte de un alerón, están definidas de la siguiente manera:

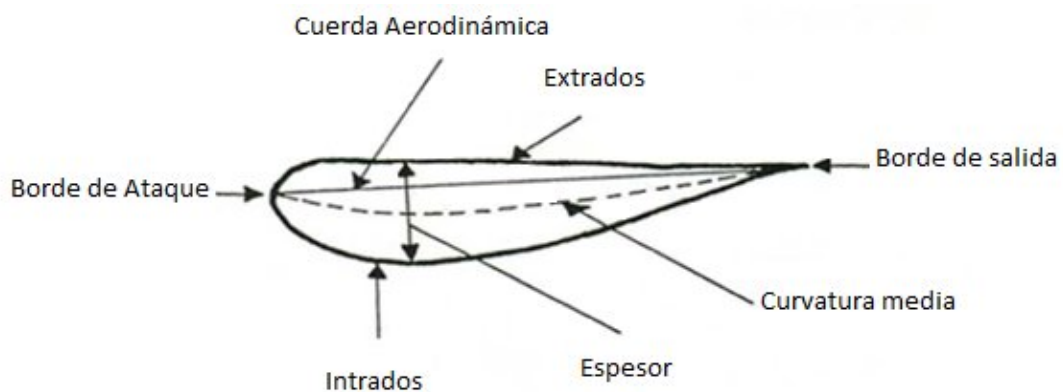


Figura 2.7 Geometría de los Perfiles

- **Cuerda:** Segmento imaginario que une el borde de ataque con el borde de fuga. El ángulo que formará la recta que contiene a la cuerda con la dirección de la corriente fluida, definen convencionalmente el ángulo de ataque.
- **Espesor:** Distancia máxima entre el extradós y el intradós.
- **Curvatura media:** Es la línea equidistante entre el extradós y el intradós.
- **Borde de ataque:** Parte delantera del perfil en donde incide la corriente de aire.
- **Borde de salida:** Parte posterior del perfil por donde sale la corriente. También se la conoce como borde de fuga.
- **Extradós:** Zona superior del perfil entre el borde de ataque y el de salida.
- **Intradós:** Zona inferior del perfil entre el borde de ataque y el de salida.

2.5.2 Clasificación de los perfiles

La clasificación de los perfiles viene dada por la siguiente derivación.

Según su forma:

- Asimétricos (con curvatura)
- Simétricos

Según sus características:

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

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

- Subsónicos
- Transónicos
- Supersónicos

2.6 Número de mach

El número de Mach es un número adimensional que nos da una relación entre la velocidad del móvil respecto a la velocidad del sonido y se define como:

$$M = \frac{v}{c} \quad (2.3)$$

Donde v es la velocidad del móvil y c la velocidad del sonido (340m/s). Por consiguiente, dependiendo del valor que adopte este número se definen diferentes regímenes de estudio.

- Subsónico, para Mach inferior a 1 ($0 < M < 1$)
- Transónico, para Mach igual a 1 ($M = 1$)
- Supersónico, para Mach superior a 1 e inferiores a 5 ($1 < M < 5$)
- Hipersónico, para Mach igual o superior a 5 ($M \geq 5$)

Pero hay otra clasificación que puede interesar más, y es la que determina si el flujo de aire está en régimen compresible o incompresible.

- Incompresible, para velocidad hasta 0,3 Mach.
- Compresible, si supera 0,3 Mach.

$$= - \quad = \frac{1}{\quad} \quad = 0,097$$

El valor del número de Mach al que va a estar sometido el alerón es de 0.097 siendo menor que 0.3 y como conclusión podemos decir que nuestro alerón estará inmerso en un flujo incompresible.

2.7 Eficiencia aerodinámica

Lo que se pretende conseguir en todo alerón es conseguir maximizar la carga aerodinámica, minimizando la resistencia. Este concepto se llama eficiencia aerodinámica y para calcularla se utiliza el coeficiente adimensional f (fineza).

$$= - = - \quad (2.4)$$

Para tratar de tener la mejor eficiencia aerodinámica se maximizara la fineza.

2.8 Fuerzas aerodinámicas

Un alerón en movimiento respecto al aire crea una fuerza aerodinámica que mantiene el coche en contacto permanente con el suelo. Esta fuerza se descompone a la vez en dos: la carga aerodinámica (Fuerza de sustentación negativa, Down force, Lift, o F_z) y la resistencia aerodinámica (Drag, D , F_x).

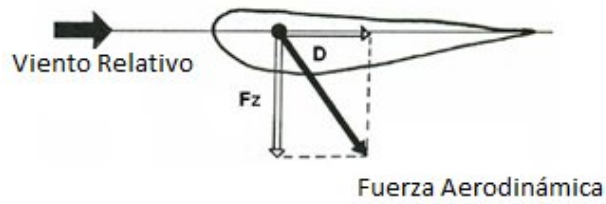


Figura 2.8 Fuerzas Aerodinámicas

Para poder explicar por que se crea está fuerza aerodinámica tenemos que recurrir a tres principios físicos: el teorema de Bernoulli, la ecuación de continuidad y el efecto Venturi que deriva de los dos primeros.

El Teorema de Bernoulli, demuestra que en un fluido ideal (sin viscosidad), la energía total permanece constante a lo largo de una línea de flujo. Como consecuencia el aumento de velocidad del flujo corresponderá a una disminución de la presión.

Como el aire es un fluido ideal e incompresible a velocidades menores a 0.3M, podemos considerar este teorema válido para el aire a velocidades menores a la citada, siendo la ecuación:

$$\rho + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante} \quad (2.5)$$

Donde v es la velocidad (m/s), P la presión (Pa), g la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2), ρ la densidad (kg/m^3) y z la altura (m). De todos estos parámetros los únicos que no son constantes en una línea de flujo con las condiciones de fluido no viscoso e incompresible, son la velocidad y la presión.

La ecuación de continuidad: describe el comportamiento de un flujo dentro de un conducto. Si dentro de éste no hay ninguna fuente ni sumidero el flujo de masa entrante al conducto será igual al saliente. Sabiendo la fórmula del flujo de masa, podemos ver que para un fluido incompresible, como el aire a velocidades menores a 0.3M, si el área del conducto aumenta la velocidad del flujo disminuye y viceversa.

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (2.6)$$

$$=$$

$$=$$

El efecto Venturi: Este efecto Venturi se explica mediante los dos principios anteriores: el Teorema de Bernoulli y la Ecuación de Continuidad. Cuando un fluido pasa por el interior de un conducto la velocidad aumenta y la presión disminuye si pasa por una sección menor.

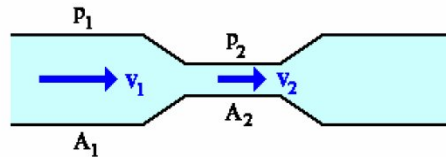


Figura 2.9 Efecto Venturi

Si cogemos un volumen de control cerrado donde este el alerón veremos que en el extradós de éste (parte inferior del alerón), al haber más curvatura se reduce el área y por lo tanto ateniéndonos al efecto Venturi se obliga al aire a pasar a más velocidad, por lo tanto la presión disminuye. En el caso del intradós (parte superior), el área aumenta por lo tanto la velocidad del aire disminuye y la presión aumenta. Por lo tanto tenemos una parte superior de alta presión y una parte inferior de baja presión.

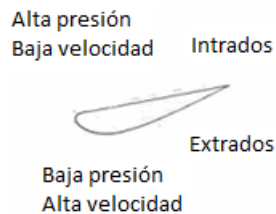


Figura 2.10 Diferencias de presión y velocidad

Partiendo que tenemos una diferencia de presiones (DP en Pa) y una sección del alerón conocida (S en m), podemos saber con la fórmula, que fuerza aerodinámica habrá en el perfil (F en N).

$$= \Delta \quad (2.7)$$

La fuerza provocada por la diferencia de presiones va en la dirección del gradiente de presiones, es decir de alta a baja presión.

En la práctica para poder comparar perfiles alares, se utilizan coeficientes adimensionales, ya que la fuerza depende de factores externos tales como densidad, sección del perfil y en cambio el coeficiente adimensional no depende de estos factores, sino de la forma y del ángulo de ataque del perfil. Para cada componente de la fuerza aerodinámica: carga aerodinámica y resistencia aerodinámica se utiliza un coeficiente siendo los coeficientes vertical y horizontal, C_z y C_x respectivamente.

2.8.1 Carga aerodinámica

La carga aerodinámica es la componente vertical de la fuerza aerodinámica y perpendicular a la dirección del viento relativo. A pesar de que es la encargada de mantener el vehículo en el suelo, esta fuerza de sustentación negativa puede verse modificada debido a:

- La forma del perfil alar y el ángulo de ataque. A mayor ángulo de ataque mayor sustentación.
- La superficie alar. A más superficie más sustentación.
- La densidad del aire, que depende de la altura. A menor altura, más densidad, por tanto, más sustentación.
- La velocidad. Este término depende de forma cuadrática, cuanto más velocidad mayor sustentación.

La carga aerodinámica, así como la resistencia, dependen de la velocidad, por tanto adoptan diferentes valores para diferentes valores de velocidad.

Como conclusión si hay una carga aerodinámica sobre el automóvil este tendrá más agarre con el suelo por lo tanto en las curvas podrá ir más rápido sin que esta fuerza exceda los límites y el automóvil no derrape. Las formas afiladas que tienen los automóviles de carreras hacen que por sí solos tengan inercia a levantarse, es decir tienen un coeficiente de sustentación positivo. Por lo tanto los elementos que crean carga aerodinámica en el automóvil, como el alerón, evitan que éste se levante.

Por otra parte para comparar dos perfiles que crean carga aerodinámica, como hemos dicho en el anterior apartado no podemos utilizar la carga aerodinámica que crean sino que tenemos que utilizar un coeficiente adimensional, el C_z . El coeficiente de anti sustentación se define como:

$$F_z = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_z \quad (2.8)$$

Donde F_z es la carga aerodinámica (Newton); ρ es la densidad (Kg/m³); V la velocidad (m/s); S la superficie alar, y C_z es el coeficiente de sustentación.

La finalidad por la que se establece el coeficiente es porque, para comparar alerones, estos deben estar sometidos en las mismas condiciones externas (velocidad, densidad y superficie).

De este modo, como este coeficiente es un dato conocido que proporciona el fabricante, podemos comparar perfiles ajenos a cualquier factor externo. Con ello, conociendo el coeficiente de carga aerodinámica, podemos hallar la fuerza aerodinámica que recae sobre el vehículo, basta con despejar la ecuación anterior.

$$C_z = \frac{F_z}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (2.9)$$

Por otro lado, al haber una carga aerodinámica aplicada al vehículo, la fuerza que este ejerce sobre el suelo equivale a su peso más la carga aerodinámica. Por lo tanto, como consecuencia de la tercera ley de Newton, la fuerza del asfalto sobre el automóvil, es decir, la fuerza Normal, será la misma pero de signo contrario. Asimismo, la fuerza de rozamiento será mayor y eso permitirá que el vehículo pueda hacer que el paso por curva pueda darse a una velocidad mayor sin que derrapen las ruedas.

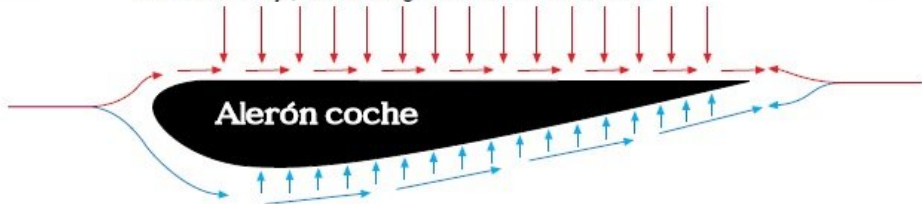
$$F_N = (W + F_z) \quad (2.10)$$

Pero como todo, la carga aerodinámica tiene sus ventajas y desventajas. La ventaja parece evidente: el agarre del auto al suelo, mientras que la desventaja es que en función de la carga instantánea que esté aplicada en el vehículo, se requerirá más potencia cuanto más sea el agarre proporcionado, pues el rozamiento será mayor.

CARGA AERODINÁMICA

Al chocar con la punta del alerón el aire se divide en dos flujos

Este flujo tiene que recorrer menor trayecto, por lo que mantiene una velocidad constante para llegar al extremo del alerón al mismo tiempo que el flujo inferior, conservando una presión igual a la atmosférica. Al ser esta presión mayor que la que se ha generado bajo el ala, empuja al coche hacia abajo, creando carga aerodinámica o *downforce*



Este flujo tiene que recorrer mayor trayecto, por lo que se acelera para llegar al extremo del alerón al mismo tiempo que el flujo superior, generando una depresión, con valores por debajo de la presión atmosférica.

Figura 2.11 Carga Aerodinámica

El C_z depende del perfil y del ángulo de ataque. Así que para un mismo perfil la gráfica C_z vs Angulo de ataque será la siguiente forma:

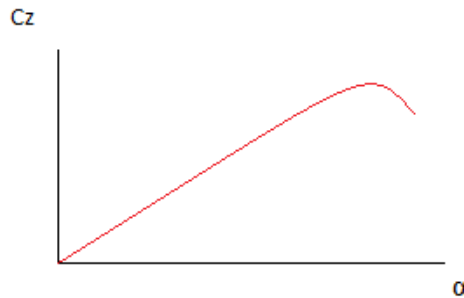


Figura 2.12 C_z en función del ángulo de ataque

La grafica consta de una primera zona lineal hasta llegar a un punto en que empieza a descender el C_z aunque crece el ángulo, en esta zona es donde se desprende la capa límite (el aire no es capaz de seguir el contorno del perfil y se separa de éste) y el perfil entra en pérdida.

2.8.2 Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica (D) es la fuerza que se opone al avance de un objeto por el aire. En vez de la fuerza total se utiliza el coeficiente de resistencia para comparar perfiles. El coeficiente de resistencia se define como:

$$= \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.11)$$

En la mayoría de casos, al igual que se conocen muchos coeficientes de anti sustentación para diferentes ángulos de un perfil determinado, también se conocen los coeficientes de resistencia. Así que muchas veces es necesario saber la resistencia aerodinámica que presenta un perfil.

$$C_x = - C_{Di} \quad (2.12)$$

En la siguiente gráfica, se puede ver como el coeficiente de resistencia aumenta si aumentamos el ángulo de ataque del perfil. Siempre es creciente y no llega a ningún punto crítico como el coeficiente de anti sustentación.

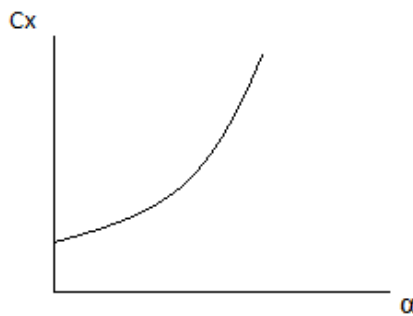


Figura 2.13 Cx en función del ángulo de ataque

La resistencia se descompone, a su vez, en dos tipos de resistencia diferente: la inducida y la parasita.

$$C_x = C_{Di} + C_{Do} \quad (2.13)$$

Donde C_{Do} es el coeficiente de resistencia parasita y C_{Di} el de la inducida. La resistencia inducida se origina con la aparición de sustentación, eso quiere decir que si la velocidad del vehículo con respecto al aire es inexistente, la sustentación es nula y la resistencia inducida también. Así pues, la resistencia inducida es proporcional a la sustentación e inversamente proporcional a la velocidad.

La resistencia parasita es una característica intrínseca del alerón, simplemente cambia de valor por el mero hecho de haber sido construido de esa forma.

No depende de la sustentación pero si de la velocidad. A más velocidad su valor se incrementa, y viene dado por el coeficiente de resistencia parasita C_{Do} .

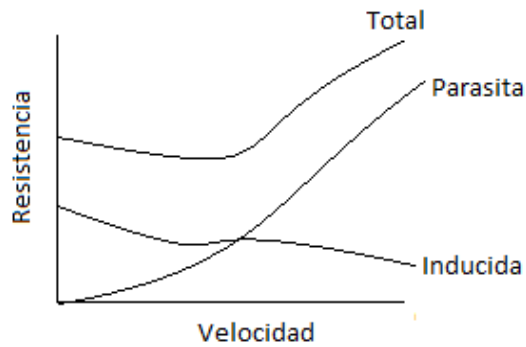


Figura 2.14 Resistencia en función de la velocidad

2.9 La aerodinámica en los automóviles

2.9.1 Tipos de alerones

La principal clasificación que rige en los alerones viene dada por el número de elementos que conforman dicho alerón, pudiendo ser:

2.9.2 Alerones de un solo elemento

La carga aerodinámica es mayor cuanto mayor es el ángulo de ataque, hasta el punto o ángulo conocido como pérdida. No sorprende que un alerón simétrico de un solo elemento, no produzca carga aerodinámica si tiene un ángulo de incidencia cero, pero la carga aumenta casi de forma lineal con el incremento del ángulo de incidencia hasta que alcanza de 14° a 16° . Sin embargo, el ángulo de pérdida varía dependiendo de la sección del ala y las condiciones de flujo.



Figura 2.15 Alerón de un elemento

El efecto de cambiar la curvatura es bastante diferente que el de cambiar el grosor, agregar curvatura a un perfil de ala permite generar más carga aerodinámica a un determinado ángulo de ataque, incluso a 0° .

Cambiando la geometría de las secciones traseras de un perfil de ala, pueden alterarse las características de carga, y la manera más fácil de hacerlo, es mediante flaps regulables.

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° a 16° relativo al flujo de aire.
2. Poco grosor para poca aerodinámica y poca resistencia, y hasta 0.12c 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.
4. Radio del borde de ataque entre 1% y 3% de cuerda

Es imposible elegir un perfil que se adapte a todos los circuitos, pero la decisión de utilizar sólo un alerón, o contar con varias opciones es nuestra.

La carga aerodinámica que puede generar un alerón depende en parte de la superficie de planta del alerón. Se puede esperar que un alerón de un solo elemento genere unos 20-35Kg en su ángulo máximo a 160Km/h.

2.9.3 Alerones de dos elementos

Si se necesita una mayor cantidad de carga aerodinámica de la que se puede obtener con un alerón de un solo elemento, y además se puede tolerar la consiguiente resistencia adicional, entonces puede ser necesaria la utilización de alerones más complejos.

De la ecuación básica de carga aerodinámica $= 1/2\rho AC_z V^2$, es evidente que a cualquier velocidad dada, la carga puede aumentar si se incrementa el valor de A, o C_z (área o sustentación respectivamente) un modo más eficaz de aumentar la carga aerodinámica puede ser, mantener una relación de aspecto moderada pero intentar aumentar el C_z , y esto se puede conseguir utilizando un alerón de varios elementos.

El diseño de varios elementos más sencillo es, donde el plano principal va acompañado de un flap. Si se añade un flap a un alerón de un solo elemento en la posición apropiada, pueden ocurrir una serie de sucesos:

- Primero, se aumenta el área de planta, permitiendo la creación de más carga aerodinámica.
- Segundo, la curvatura efectiva del ala de dos elementos se ve aumentada, y también aumentara la carga a un cierto ángulo de ataque.
- Y tercero, la crucial interacción entre el plano principal y el flap surgida por la posición relativa del uno con el otro, ayuda a la generación de más carga mediante la modificación del flujo del aire en el lado de la succión del alerón.

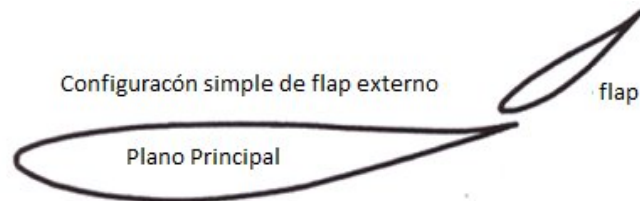


Figura 2.16 Alerón de dos elementos configuración “flap externo”

Existen dos geometrías comunes para alerones de dos elementos, y se conoce como la configuración del “flap externo” y la del “flap ranura”, conocido también como “flap tipo fowler”. El flap de ranura, más complejo por su forma, parece derivado de aplicaciones aeronáuticas, donde el flap es una pieza móvil que puede subir y bajar, así como rotar. El flap externo utiliza un plano principal más sencillo, y resulta más fácil de construir.

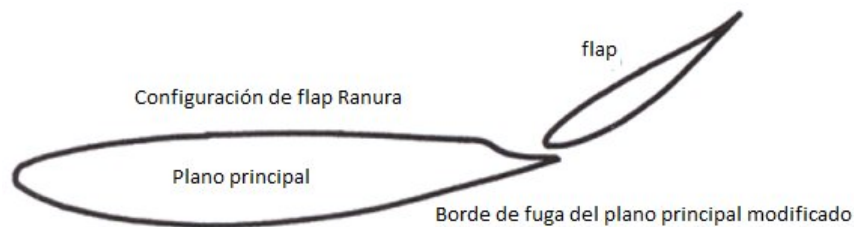


Figura 2.17 Alerón de dos elementos configuración “flap ranura”

Existen ciertos puntos con respecto al tamaño del flap, especialmente con respecto a la posición del mismo. El tamaño del flap es generalmente 25-30% de la cuerda del plano principal, y la forma es una escala del plano principal, la posición del flap forma una ranura estrecha entre el borde de fuga del plano principal y el borde de ataque del flap, como elemento inductor de carga aerodinámica. *El único modo de optimizar la geometría de un alerón es de realizar muchas pruebas en un túnel de viento o afines.*

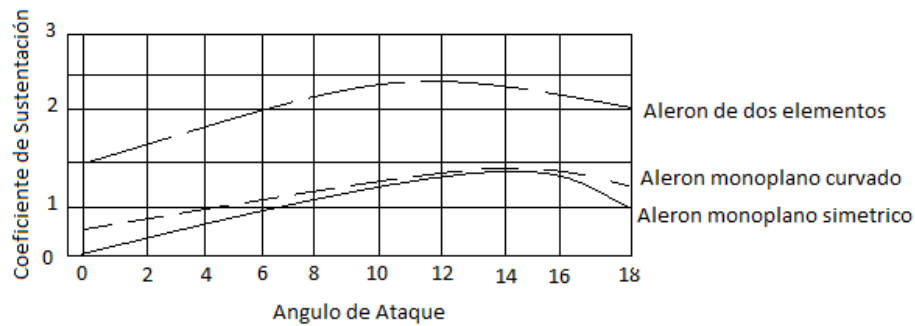


Figura 2.18 Curva de anti sustentación

2.9.3 Alerones de varios elementos

Se puede obtener valores de C_z mayores si se añade aún más flaps a un alerón, la configuración de doble flapanurado, en la que se colocan dos flaps sobre el borde de fuga del plano principal, es una extensión lógica de la configuración de un solo flap, y sirve para aumentar la curvatura del ala incluso más.

Las geometrías de los dos flaps se muestran a menudo en textos aeronáuticos con bastantes diferencias el uno del otro, con el primer flap un poco más pequeño y ancho que el segundo. Sin embargo, la importante forma del huelgo de las ranuras entre todos los elementos del alerón aún resulta vital, utilizando probablemente dos flaps similares o idénticos. El tamaño de la ranura entre el plano principal y el flap delantero, y entre este y el segundo flap, puede ser similar, o si no, el primero debe ser más grande que el segundo.

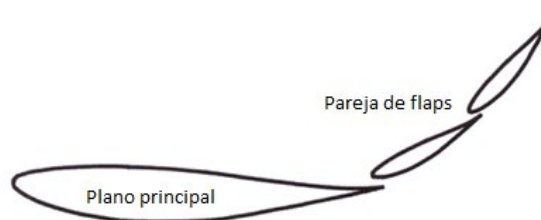


Figura 2.19 Alerón de tres elementos

La mejor configuración solo se alcanzara con las pruebas, aunque sin la ayuda de un túnel de viento o algún aparato medidor, todas las pruebas solo servirá para tener un estimativo.

En este punto, y en ausencia de cualquier información, es mejor configurar los dos espacios entre los flaps a la misma distancia sugerida para el alerón de un solo flap. La dimensión combinada de la cuerda de los dos flaps podría situarse, según los textos aeronáuticos, entre el

30 y 40% de la cuerda total del ala, en términos relativos. Una sección del plano principal más ancha produce mejores resultados cuando trabaja con flaps dobles que una más fina, y los valores de grosor que tienen hacia un 18% están asociados con un incremento gradual del C_z .

En términos de mejoras de las prestaciones, la adicción de un segundo flap hace que aumente de forma sustancial el valor de C_z , y se puede alcanzar cifras de $C_z = 3,0$ con esta configuración. Pero en términos generales, los flaps adicionales consiguen aumentar la carga aerodinámica de forma más reducida.

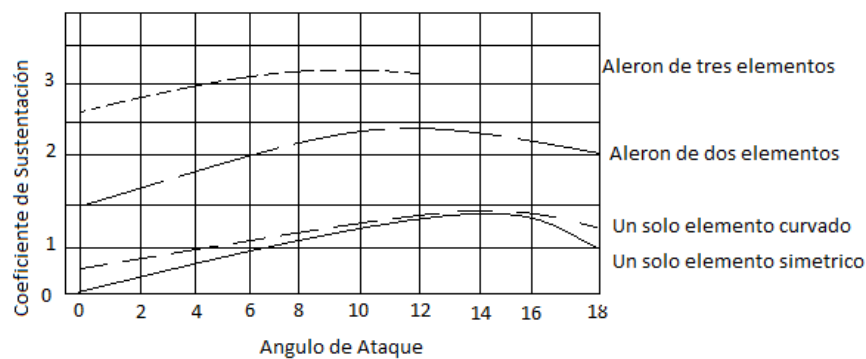


Figura 2.20 Curva de sustentación de un alerón de tres elementos

Para lograr más carga aerodinámica, se puede añadir incluso más flaps, y en un caso extremo, conocido como la configuración del flap de la “Persiana veneciana”, se llega a añadir, incluso, cuatro flaps al plano principal. Está claro que optimizar el rendimiento de tal configuración pero ocupará mucho tiempo, ya que habrá muchas opciones que considerar.

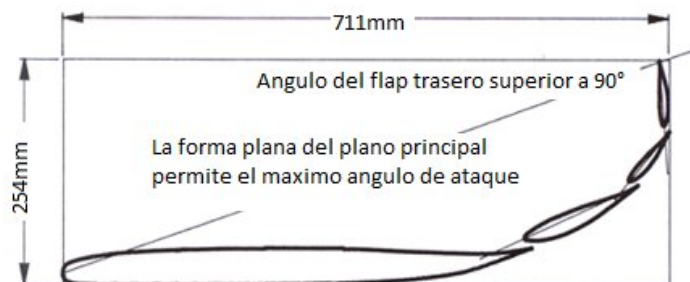


Figura 2.21 Alerón de cuatro elementos

Los alerones con mucha carga aerodinámica pueden sufrir separación del flujo en su borde de ataque, y puede ser necesario un cambio en la geometría delantera del alerón para evitar que esto suceda. Un modo de lograr esto, que evita tener que modificar el plano principal, es el uso de una aleta “slat” en el borde de ataque.

Se trata de un elemento bastante parecido a un flap, pero que está situado en el lado contrario del plano principal, en realidad por debajo del borde de ataque, hace el efecto de añadir “perturbación” por delante del ala, lo que reduce la velocidad en la parte inferior de la zona de succión, y con ello la posibilidad de separación que puede tener lugar como consecuencia de un ángulo de ataque muy pronunciado.

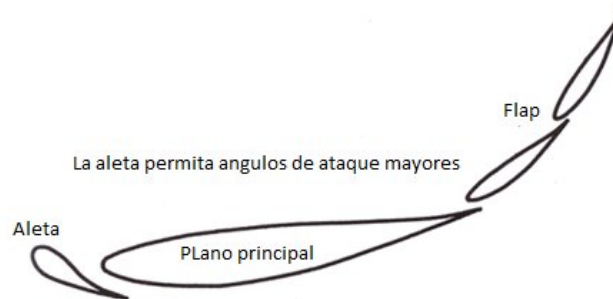


Figura 2.22 Alerón de tres elementos con borde de ataque

La aleta además, añade un incremento de sustentación por sí misma. El beneficio de una aleta solo comienza a tener efecto con ángulos pronunciados y además, se puede retrasar la entrada en pérdida hasta un ángulo mayor. Por lo tanto crea un mayor C_z antes de entrar en pérdida y también se tiene un aumento en la carga aerodinámica.

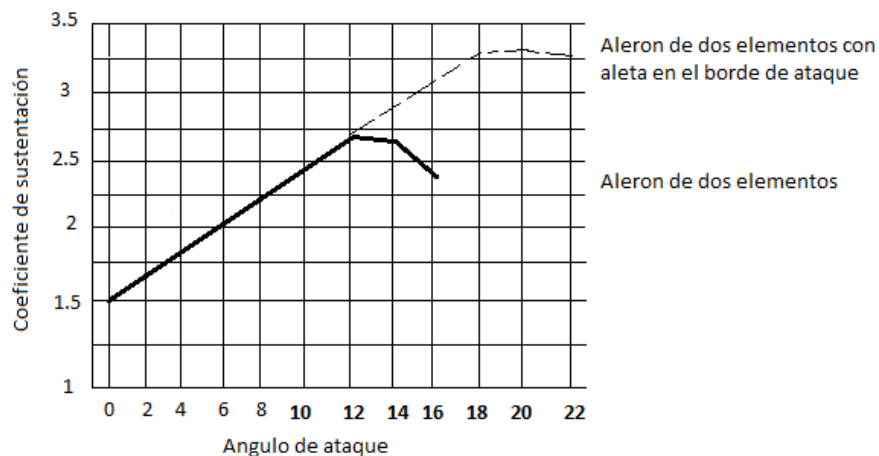


Figura 2.23 Curva de sustentación de un alerón con aleta

2.10 Aditamentos aerodinámicos

2.10.1 Derivas laterales y perfiles gurney

Existen dos apéndices casi siempre presentes que van fijados a los alerones, que tienen un profundo efecto en las prestaciones y que no pueden ser olvidados: las derivas laterales y los

flaps Gurney (o Nolders). Las derivas no solo esconden la forma del perfil sino incrementan la carga aerodinámica del alerón de forma considerable, quizá hasta en un 30%, sobre el valor que se logra sin ellas. Sin derivas, la diferencia de presión de aire entre la parte inferior y superior hace que el aire en la zona de alta presión intente escapar a la zona de baja presión y se derrame por las alas con movimientos diagonales. Esto causa una pérdida de carga aerodinámica. Las derivas necesitan ser bastante grandes para ser efectivas y de ser posible hacia abajo y servir como estabilizadores.

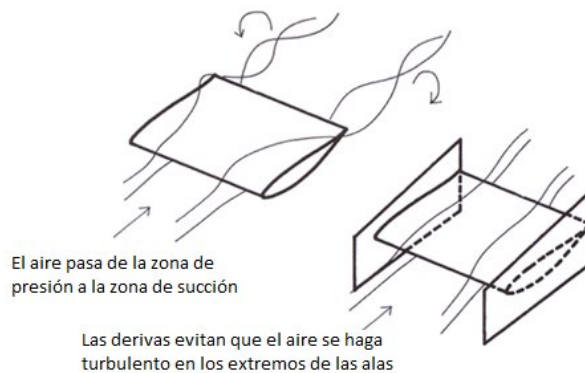


Figura 2.24 Efecto de las derivas

El flap o perfil Gurney es una pequeña aleta de ángulo recto fijada al borde de fuga del ala. Es un medio de añadir carga aerodinámica casi sin aumentar la resistencia, el efecto es el mismo que el de añadir más curvatura a un alerón, una de las ventajas es que se puede poner y quitar rápidamente, o ser reemplazados por otros de diferentes tamaños, y por esto, son un elemento importante a la hora de afinar la puesta a punto.



Figura 2.25 Flap Gurney

Son normalmente de menos de un 5% de la altura de la cuerda, cuanto más pequeña sea, más efectivo será, un Gurney de un 2% de la cuerda puede aumentar hasta 0.30 el C_z con un mínimo aumento de la resistencia.

2.10.2 Sustentación “efecto suelo”

Las corrientes que circulan entre el asfalto y el fondo plano del vehículo crean una carga aerodinámica importante, conocida como “efecto suelo”. Este efecto es el responsable de incrementar la anti sustentación de un vehículo a medida que se acerca el fondo del coche al suelo. La causa puede ser explicada pensando en este sistema como un tubo de Venturi análogo: la reducción de presión se vuelve mayor entre el alerón y el suelo a medida que se disminuye la distancia, por lo tanto, al disponer de menos espacio el flujo de aire se acelera.

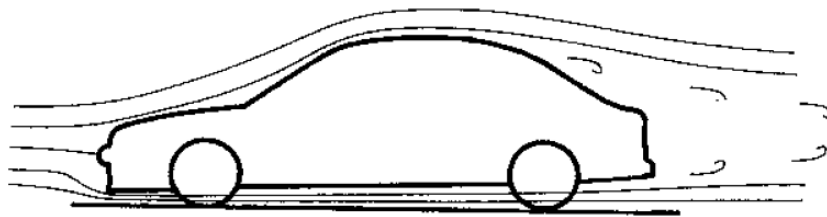


Figura 2.26 Sustentación

Pero esta sustentación de más que se gana tiene un máximo, y se consigue justo en el punto equivalente al espesor máximo de la capa límite, cuando la velocidad del aire libre no se ve perturbada por su condición de fluido viscoso.

Pasado ese punto, la capa límite disminuye la velocidad del aire, el proceso del efecto suelo se invierte. Por consiguiente, al disminuir la velocidad aumenta la presión y el efecto suelo empieza a perder influencia.

CAPÍTULO III

3 SIMULACIÓN Y SELECCIÓN DEL PERFIL

3.1 Introducción a los programas DFC (FLUENT-GAMBIT)

Para las diferentes marcas de automóviles, no es operativo construir maquetas de alerones constantemente, por esta razón es más fácil hacer primero una simulación. Por eso se han elegido tres perfiles para la simulación numérica en 2D. Esta simulación tomará el caso de un alerón infinito, es decir perfecto, y una vez analizados los resultados de los tres perfiles, se pasará a la construcción del alerón en base al perfil que mejor se comporte. Para las simulaciones se utilizará dos programas que son: GAMBIT2.2.30 y FLUENT 6.

El primer programa (Gambit), es el generador del mallado, es decir, se encarga de definir la geometría y a la vez elabora la malla. Una malla es una serie de celdas en las que se divide la región de estudio y es, en cada una de estas celdas donde el programa DFC calculará las distintas ecuaciones para obtener resultados. Mientras tanto el Fluent es el software DFC (Dinámica de Fluidos Computacional), que se encarga de realizar todos los cálculos y, con el que realmente se obtendrá los resultados de velocidad, presiones, turbulencia, C_z y C_x etc. Los perfiles estudiados, son los siguientes: el NACA 4412, NACA 6412, y uno de estilo propio. Cabe decir pero, que los dos primeros se establecieron con fines aeronáuticos por la NASA antes llamada NACA de ahí su nombre, pero que para este estudio se les dio la vuelta simétricamente respecto el eje horizontal.

3.1.1 Obtención de los perfiles

Para obtener los perfiles: NACA 6412 y el NACA 4412 se ha accedido a una base de datos donde pueden hallarse las coordenadas de los perfiles, estos perfiles son los que mejor rendimiento aerodinámico presentan a velocidades inferiores a las del sonido, siendo ideales para este estudio. De esta base de datos se copian los puntos y se importan a un software CAD compatible para ver el aspecto que presenta el perfil solicitado.

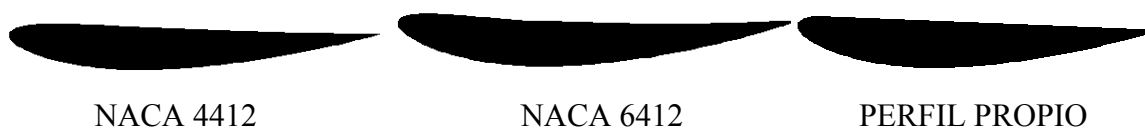


Figura 3.1Perfiles Aerodinámicos en estudio

Para este estudio se tomarán ángulos de ataque que oscilan entre: 0° , 5° , 10° , 12° , 15° y 20° . Dicho estudio se hace con estos ángulos, ya que se busca encontrar el ángulo óptimo de funcionamiento.

3.1.2 Generación del mallado

Una vez que se generó la geometría en el programa CAD se importa dicha geometría en formato .ACIS al programa GAMBIT que es el encargado de realizar la malla; en este programa hay que crear un plano de control lo más grande posible para que se asemeje a las condiciones reales a las que estará expuesto el alerón en el ambiente. Algo que se tiene que tomar en cuenta es que, la malla no necesita tener la misma densidad en todas las zonas sino que debe ser más densa en la zona cerca al perfil y no serlo tanto al alejarse del mismo; con esta condición de la densidad del mallado se ganará mucho tiempo en la simulación, para ello el programa adapta y crea la malla en base a las medidas del plano de control y del objeto en estudio.

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

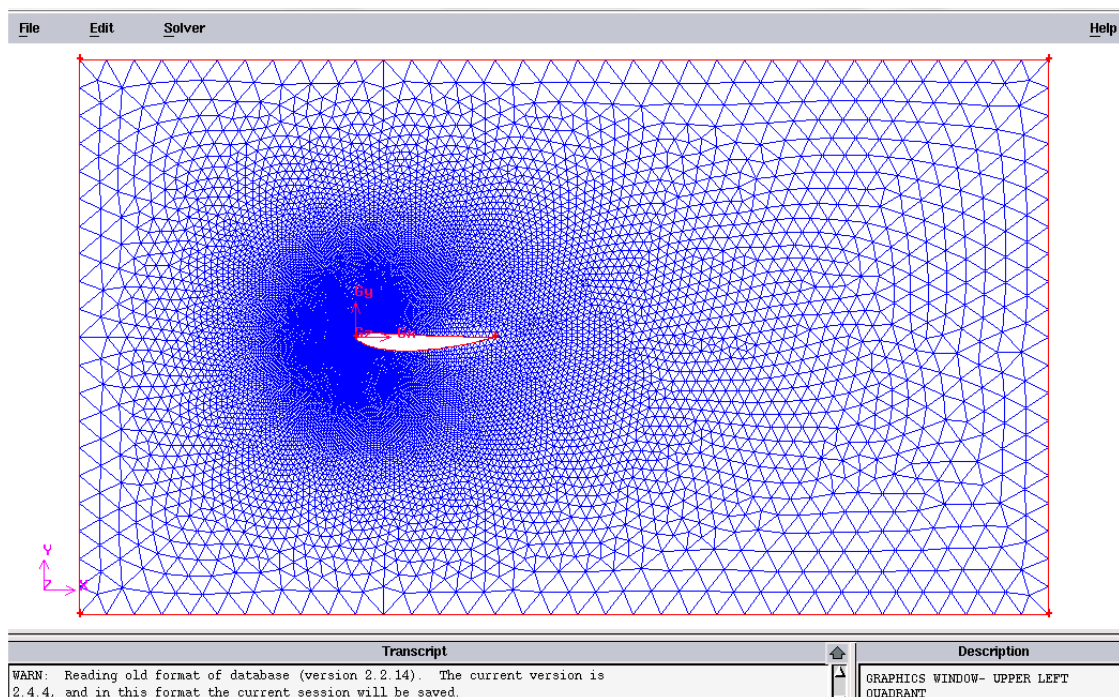


Figura 3.2 Generación del mallado

Por otro lado la calidad de los resultados dependerá de la calidad de la malla y es de suma importancia su buena fabricación para una simulación satisfactoria; para realizar la verificación de la calidad de la malla se usará el comando “examine mesh” que proporciona Gambit.



Figura 3.3 Calidad del mallado.

El color azul indica una buena calidad de mallado y el rojo una malla deficiente. La principal propiedad usada para la generación de la malla es la fineza, para mejorar el mallado en base a la coloración será necesario modificar la fineza de la malla a lo largo del perfil y del túnel (que sea lo más pequeña posible).

3.1.3 Condiciones de contorno

Después de haber creado la malla y de verificar la calidad de la misma, se procede a definir las condiciones del contorno, es decir si asigna una función específica a cada arista para que se comporte como un túnel de viento; en él deberá existir una entrada del flujo a cierta velocidad, una salida de aire, y las demás aristas como el ala, la arista superior y la arista inferior serán definidas como paredes, las cuales el aire no podrá atravesar.

Con estas condiciones de contorno se procede a la importación de la malla al programa FLUENT y realizar las simulaciones; pero para ello se debe primero definir ciertos aspectos con que trabajará el programa de simulación, estas condiciones son esenciales ya que el programa usa estos valores para asimilar en lo posible a un túnel de viento, estos parámetros son:

- Velocidad del aire: 33 m/s (120 km/h), es un valor habitual de velocidad en vehículos de alto rendimiento, además siendo esta la velocidad tolerable para el vehículo en estudio.
- No se considera la ecuación de la energía. (Por que no se existe cambios de temperatura dentro de la simulación)

- Presión de referencia 0 Pa. (solo para el programa)
- Modelo de turbulencia: K-Épsilon. Es un modelo habitual para estudios de perfiles aerodinámicos y además es tomado en cuenta ya que $Re = 67100$. (Considera al aire como un fluido imperfecto, asimilando condiciones ambientales realistas).
- Flujo incompresible ya que el número de Mach es menor a 0.3M
- Criterio de convergencia: 0.001, es un valor apropiado para una solución precisa.

3.2 Simulación y estudio de los perfiles

Para cada ángulo de ataque en estudio se deberán realizar las operaciones anteriormente vistas, para simularlos uno a uno. De esta forma se podrá sacar la curva de los coeficientes de anti sustentación y resistencia de cada perfil. Los ángulos de ataque a ser tomados en cuenta en el estudio son de 0, 5, 10, 12, 15 y 20 grados.

Los datos recolectados en la simulación de los perfiles servirán para la determinación del perfil que mejor se adapta a estas condiciones, y con el cual se procederá a la fabricación del alerón para el automóvil. Se empezará el estudio partiendo desde el perfil NACA 4412, después el NACA 6412 y finalmente obtendremos los datos de velocidades y presiones de un perfil diseñado propiamente.

3.2.1 Perfil NACA 4412

Aquí se muestran los diferentes contornos de velocidad y de presiones que se generan alrededor del perfil NACA 4412. Los perfiles de la serie 44XX tienen el intradós con parte convexa, por lo que son de construcción más compleja y siendo el XX el máximo espesor del perfil.



Figura 3.4 Perfil NACA 4412

3.2.1.1 Contornos de velocidad del perfil NACA 4412

Ángulo de ataque 0°

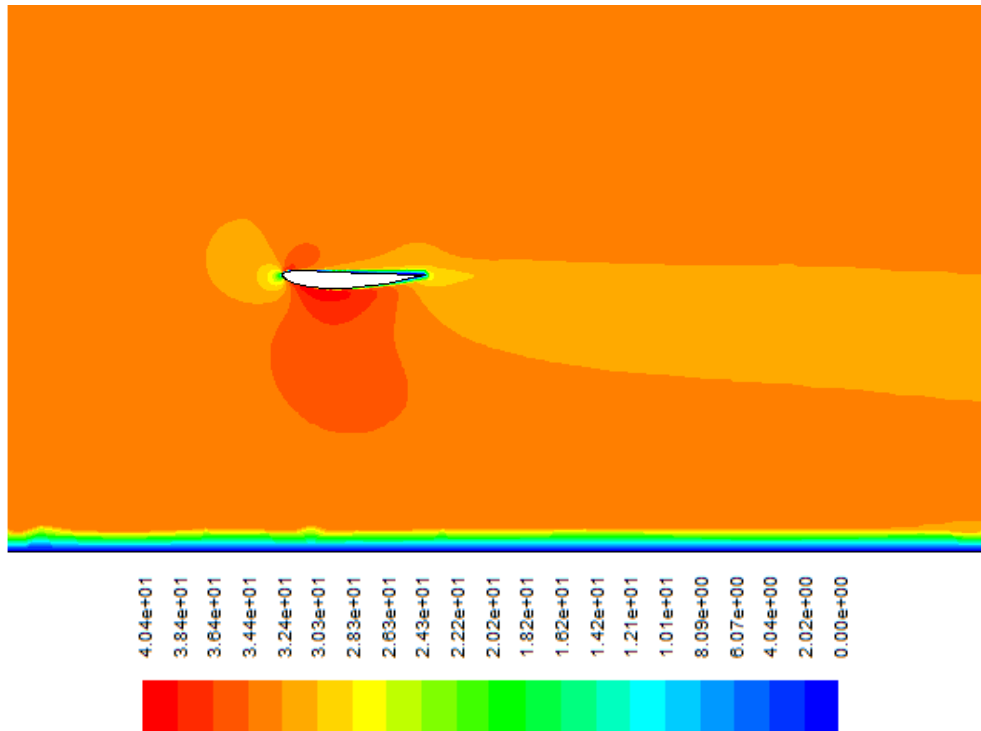


Figura 3.5 Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 0°

Ángulo de Ataque 5°

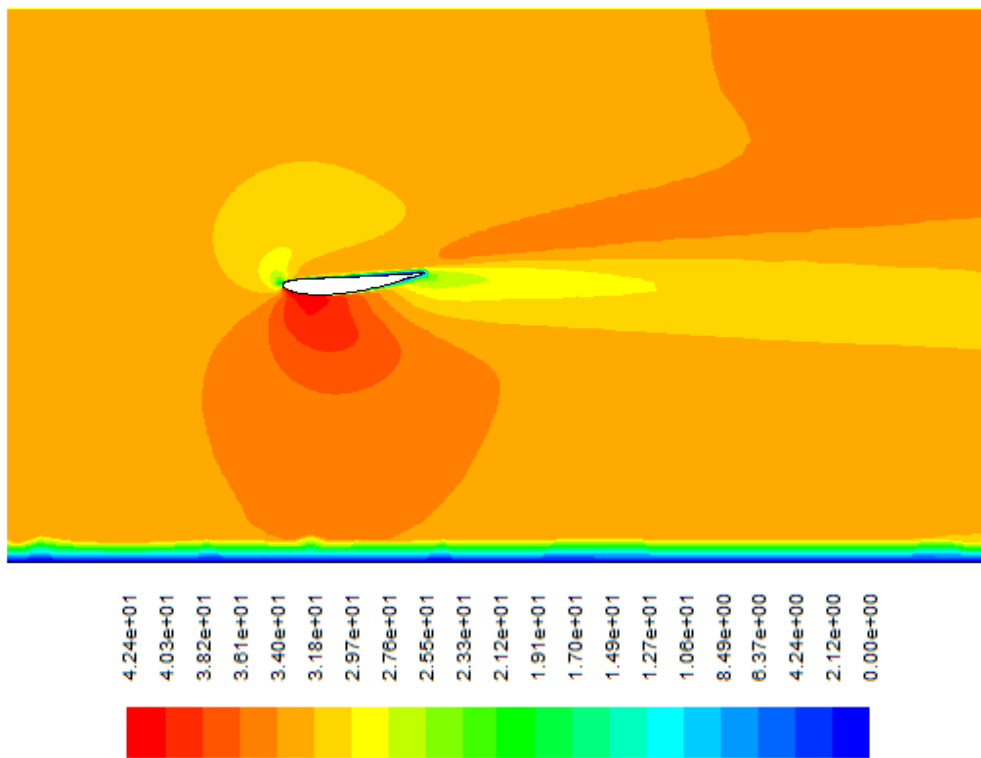


Figura 3.6 Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 5°

Ángulo de Ataque 10°

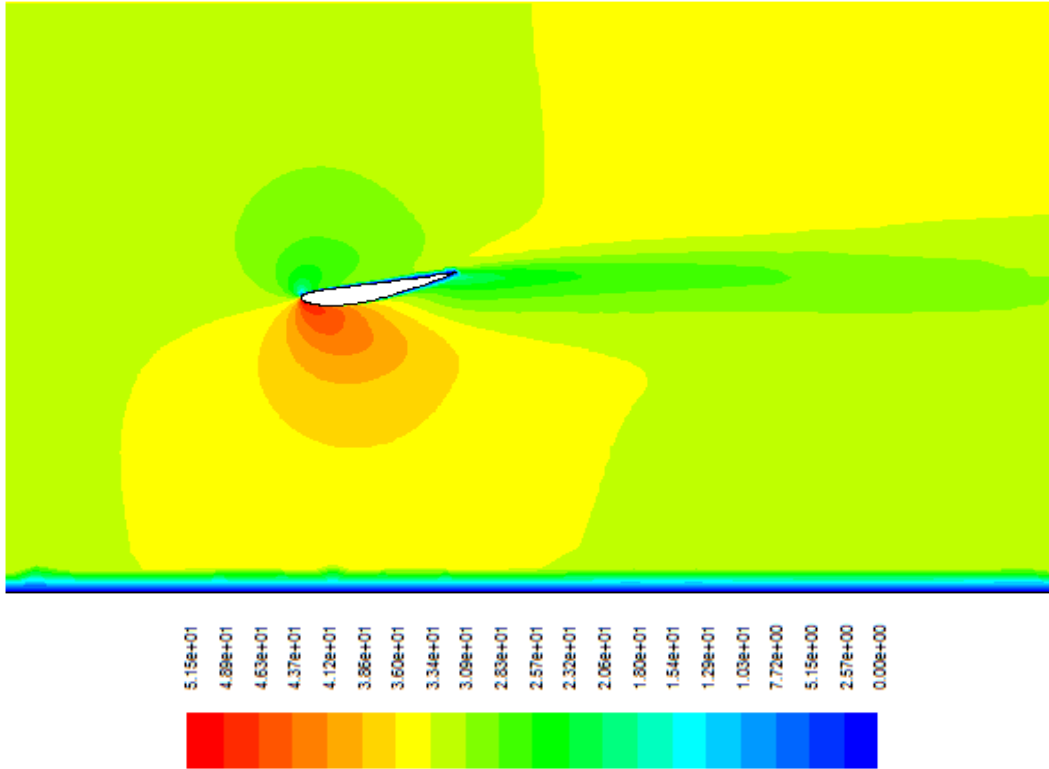


Figura 3.7 Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 10°

Ángulo de Ataque 12°

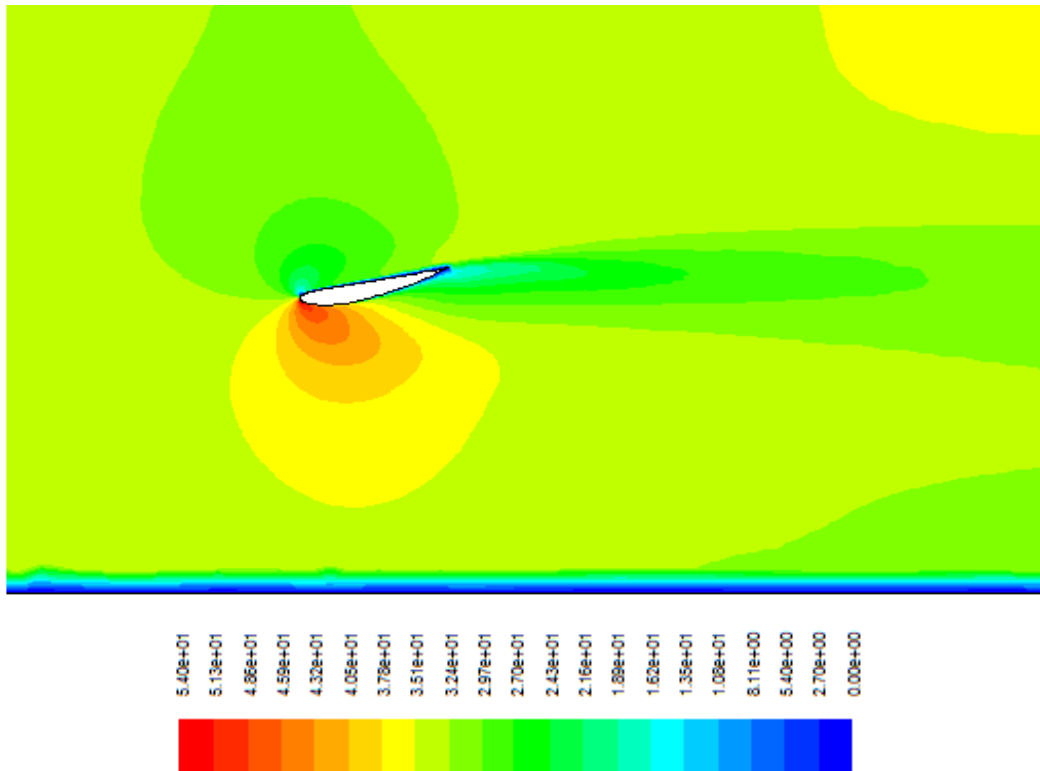


Figura 3.8 Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 12°

Ángulo de ataque 15°

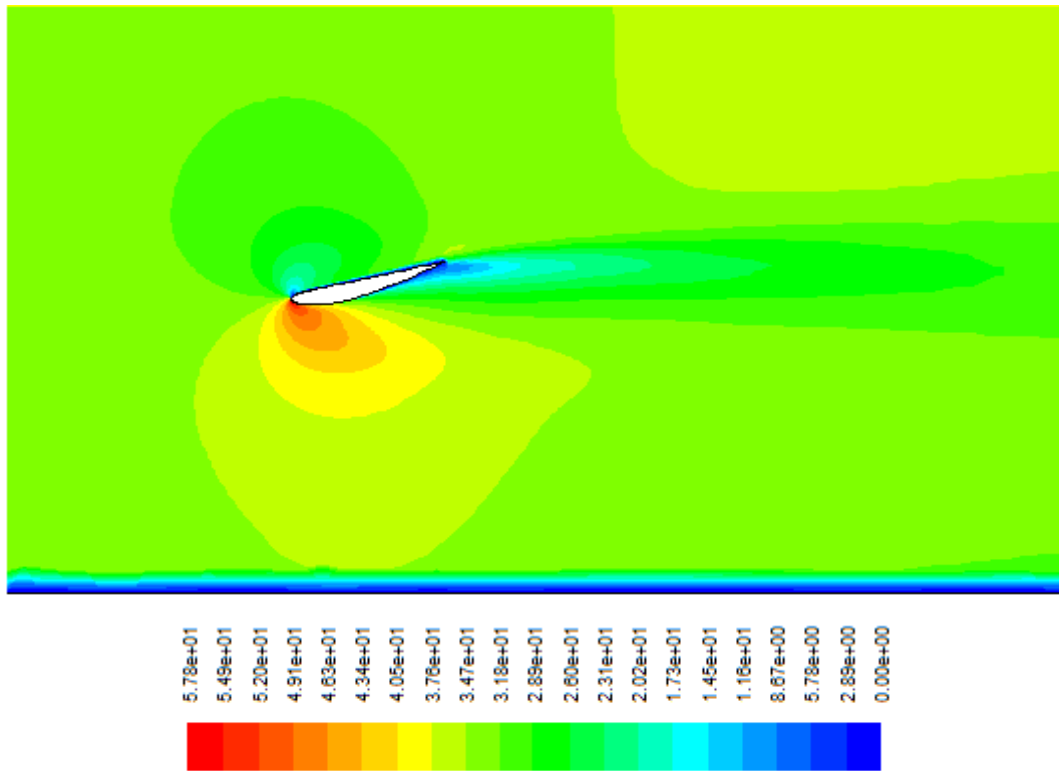


Figura 3.9 Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 15°

Ángulo de ataque 20°

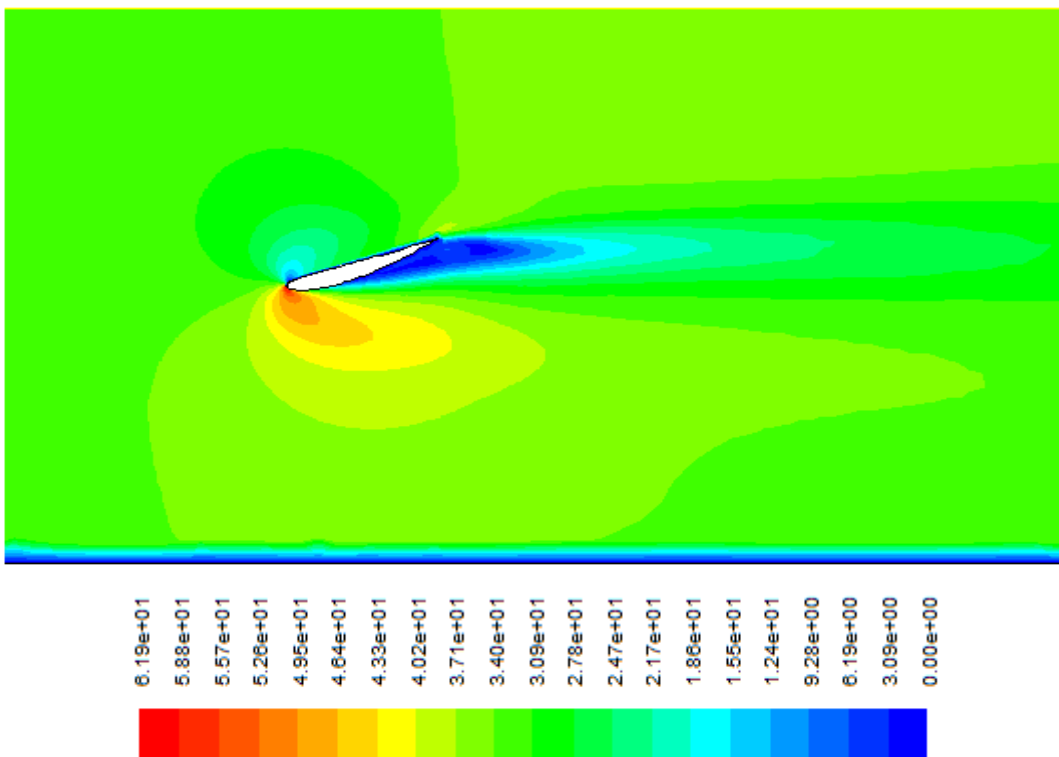


Figura 3.10 Contornos de velocidad para el perfil 4412 a 20°

En estas seis gráficas se puede observar la existencia de una diferencia alta de las velocidades entre los extradós y los intradós. Los dos aspectos que más interesan de las simulaciones son:

- Primero: visualizar los lóbulos presentes en el borde de ataque que son los que nos muestran que existe sustentación, además de observar la estela que deja el perfil sinónimo de la presencia de resistencia.
- Segundo aspecto: es el poder ver que a partir de los 15 grados se produce un desprendimiento del aire en el borde de salida, esto nos demuestra que el ala empieza a entrar en pérdida y como consecuencia el coeficiente de sustentación decae.

3.2.1.2 Contornos de presión del perfil NACA 4412

A continuación los contornos de presión que se presentan alrededor de los perfiles estudiados, las condiciones del túnel se mantienen iguales a las estudiadas en los contornos de velocidad anteriormente visualizados.

Ángulo de ataque 0°

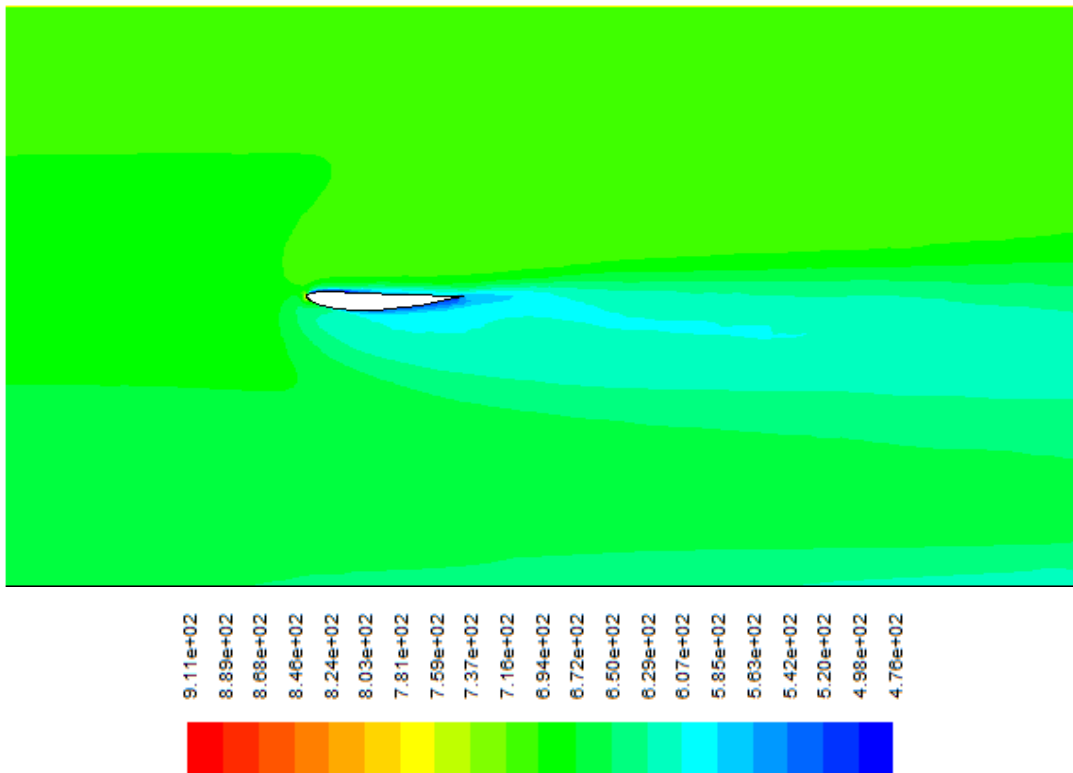


Figura 3.11 Contornos de presión para el perfil 4412 a 0°

Ángulo de ataque 5°

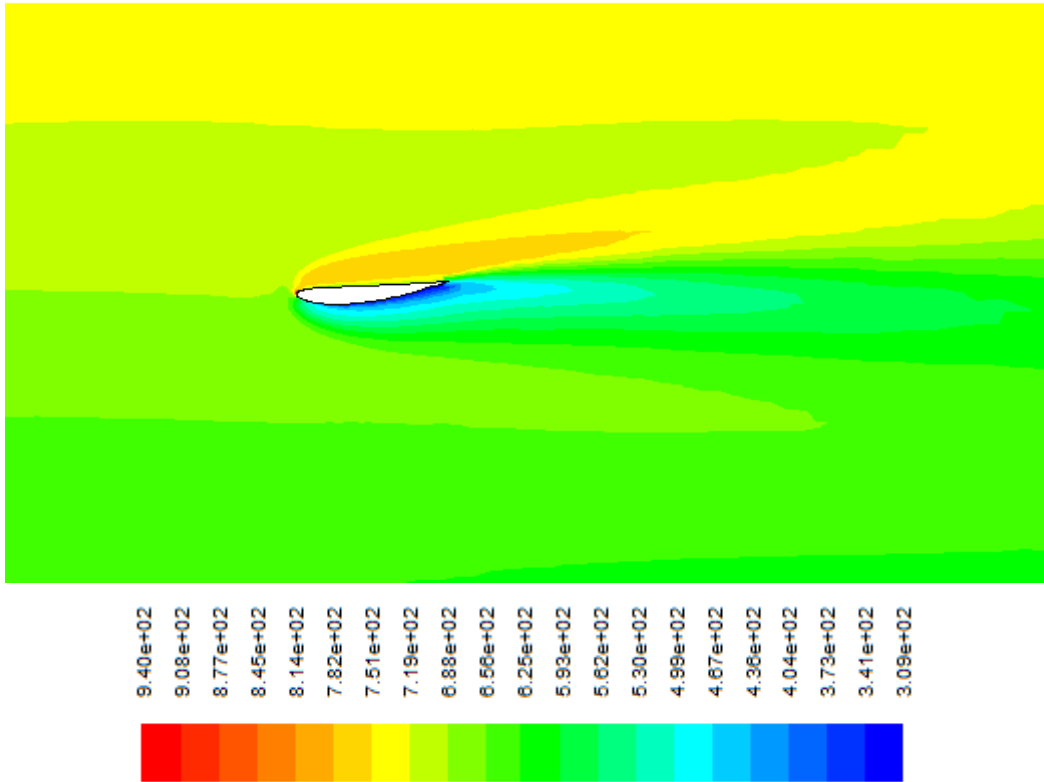


Figura 3.12 Contornos de presión para el perfil 4412 a 5°

Ángulo de ataque 10°

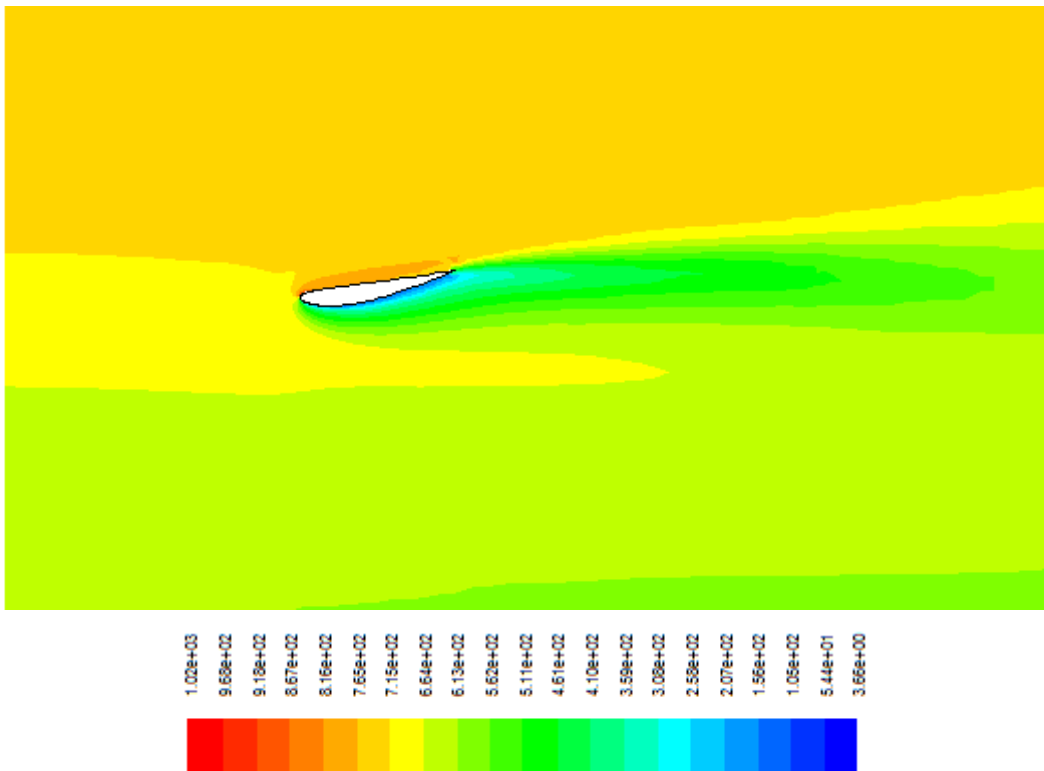


Figura 3.13 Contornos de presión para el perfil 4412 a 10°

Ángulo de ataque 12°

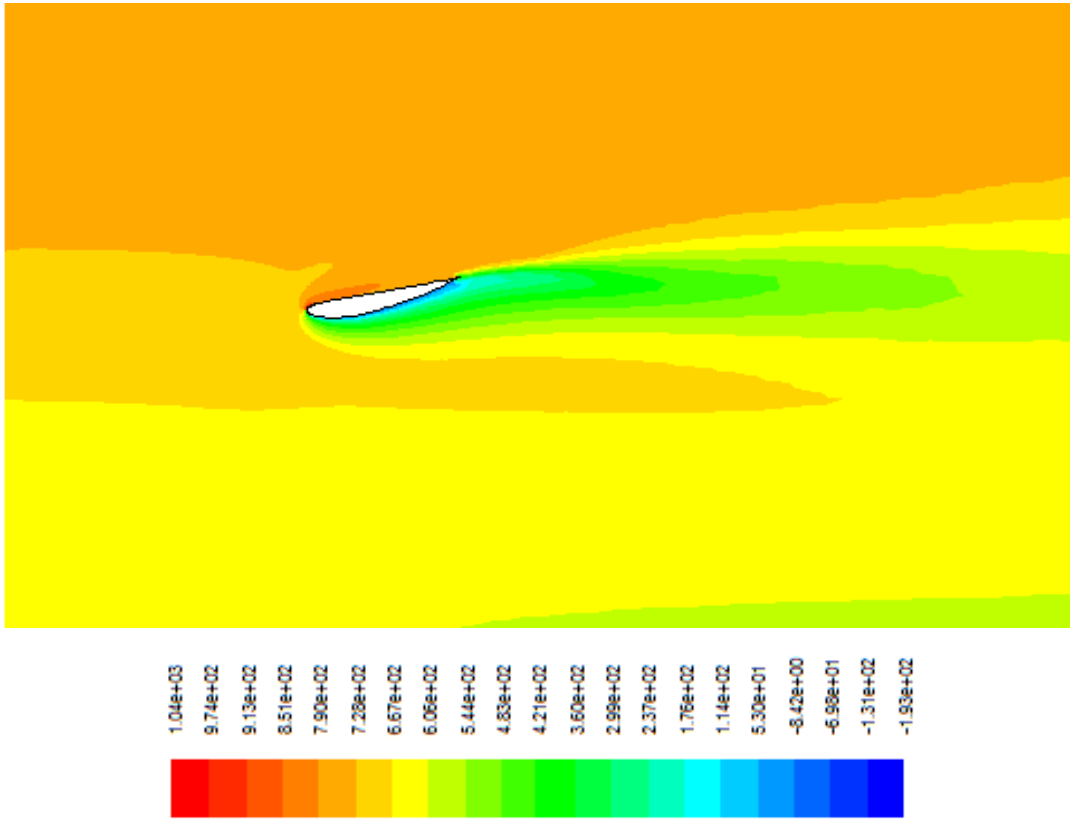


Figura 3.14 Contornos de presión para el perfil 4412 a 12°

Ángulo de ataque 15°

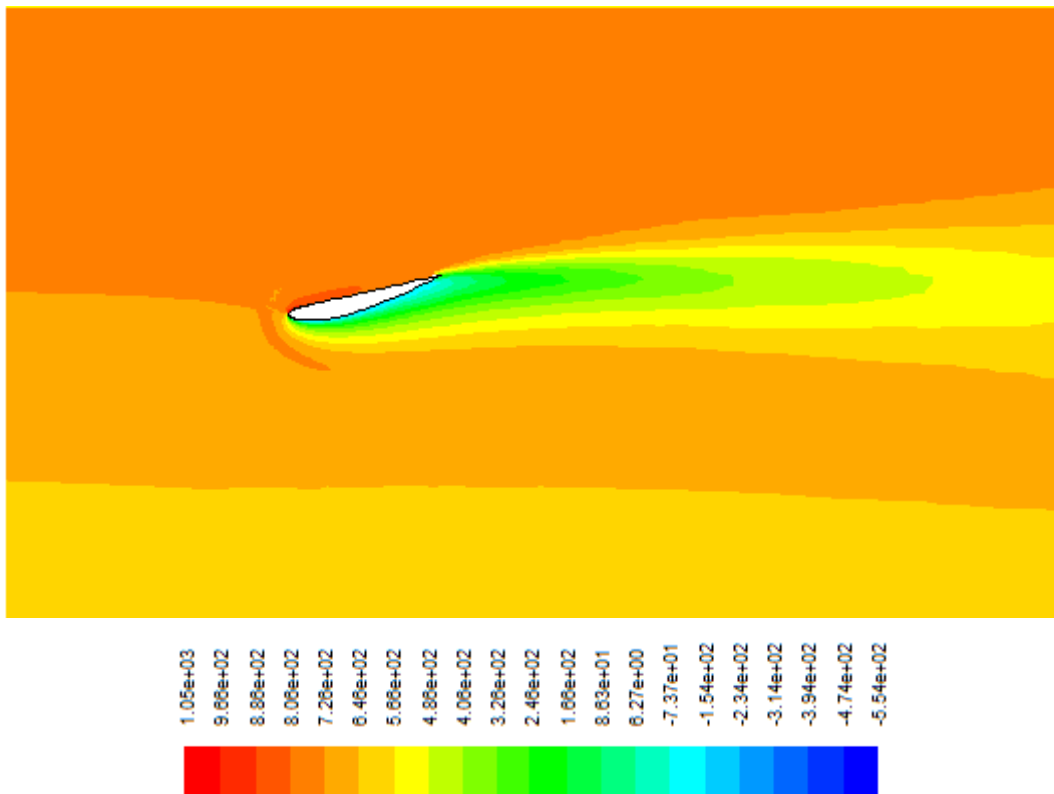


Figura 3.15 Contornos de presión para el perfil 4412 a 15°

Ángulo de ataque 20°

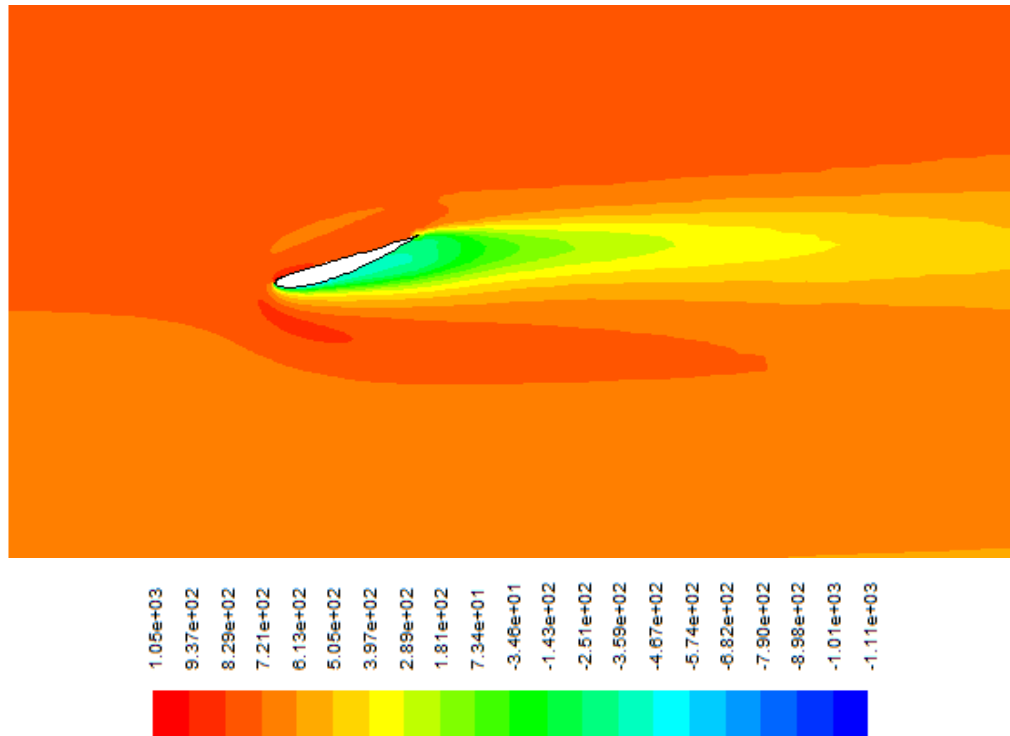


Figura 3.16 Contornos de presión para el perfil 4412 a 20°

En estas seis graficas de presión, se observa que la presión en la parte superior del ala es mayor que en la parte inferior, esto es lógico ya que al ser mayor la velocidad que pasa por la parte inferior disminuye la presión y mientras la velocidad en la parte superior es menor conlleva a que la presión sea mayor; este efecto es el que genera anti sustentación y que ayudará a mantener la cola del automóvil pegada al piso. Ahora además de la información descriptiva que da el programa FLUENT, también es capaz de dar los coeficientes de sustentación (C_z) y de resistencia C_x del perfil alar en cuestión. Estos datos corresponden a los valores absolutos de los coeficientes ya que en el caso del C_z anti-sustentación estaríamos trabajando con valores negativos.

Tabla 3.1 COEFICIENTES DE SUSTENTACIÓN Y ARRASTRE PARA EL PERFIL NACA 4412

Perfil Alar	Ángulo	C_z	C_x	Eficiencia (C_z / C_x)
NACA 4412	0	0.3462	0.0379	9.13
	5	0.8075	0.0643	12.56
	10	1.2879	0.1212	10.63
	12	1.3818	0.1504	9.19
	15	1.5069	0.2055	7.33
	20	1.5177	0.3228	4.7

De los datos obtenidos se puede observar que el mayor coeficiente de sustentación es 1.5177 estando el ala a 20°, pero por consiguiente crece la resistencia; este aumento en la resistencia es lo suficientemente grande para disminuir considerablemente la eficiencia.

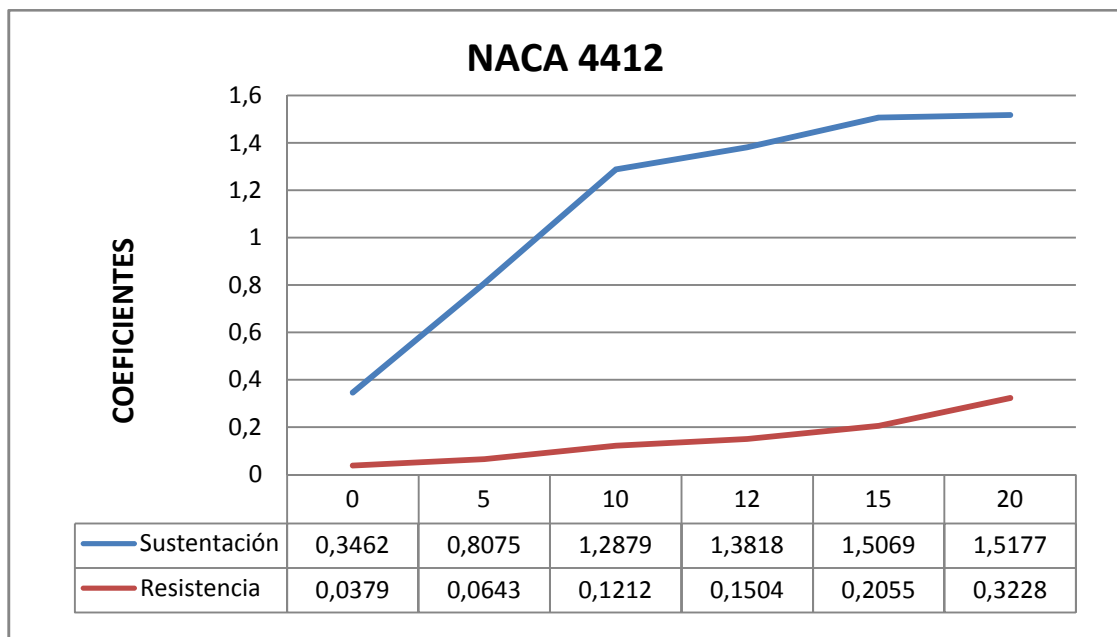


Figura 3.17 Sustentación y Resistencia del perfil NACA 4412

3.2.2 Perfil NACA 6412

Aquí se muestran los diferentes contornos de velocidad y de presiones que se generan alrededor del perfil NACA 6412.

Este es el perfil aerodinámico más utilizado en aplicaciones ya sea aeronáuticas, automovilísticas, industriales, etc. Por su fácil construcción y buen rendimiento en condiciones de velocidades subsónicas, siendo estas características las ideales para observar cómo se comporta con los demás perfiles, otro beneficio extra que trae este perfil es la posibilidad de entrar en pérdida en ángulos mayores a 14 grados esto gracias a su forma asimétrica.



Figura 3.18 Perfil NACA 6412

3.2.2.1 Contornos de velocidad del perfil NACA 6412

Ángulo de ataque 0°

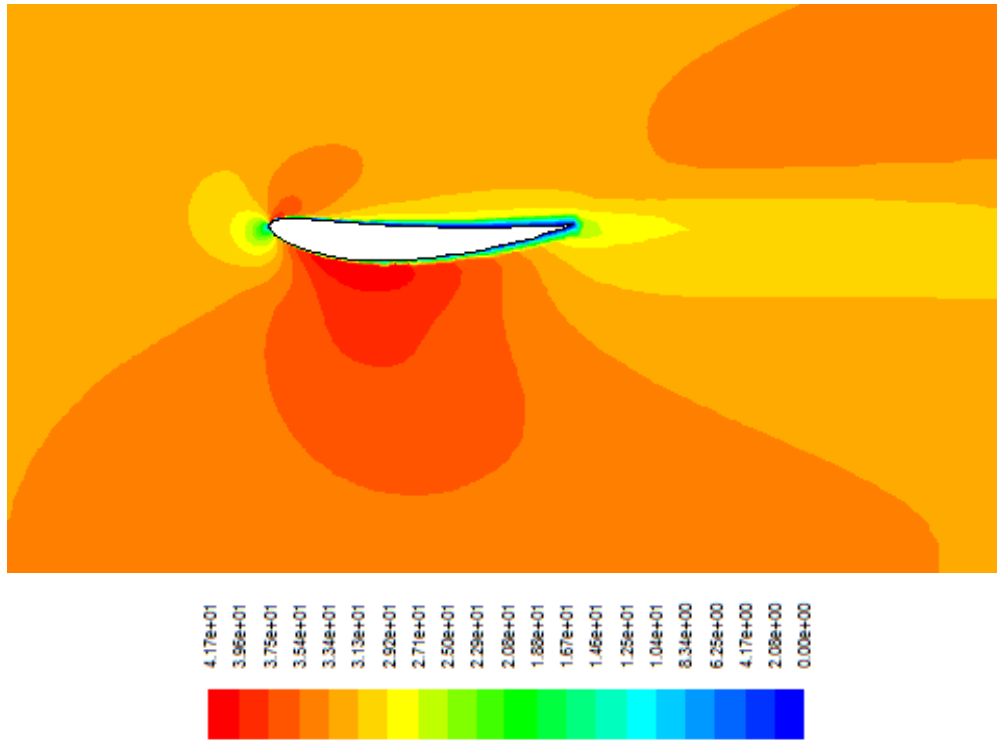


Figura 3.19 Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 0°

Ángulo de ataque 5°

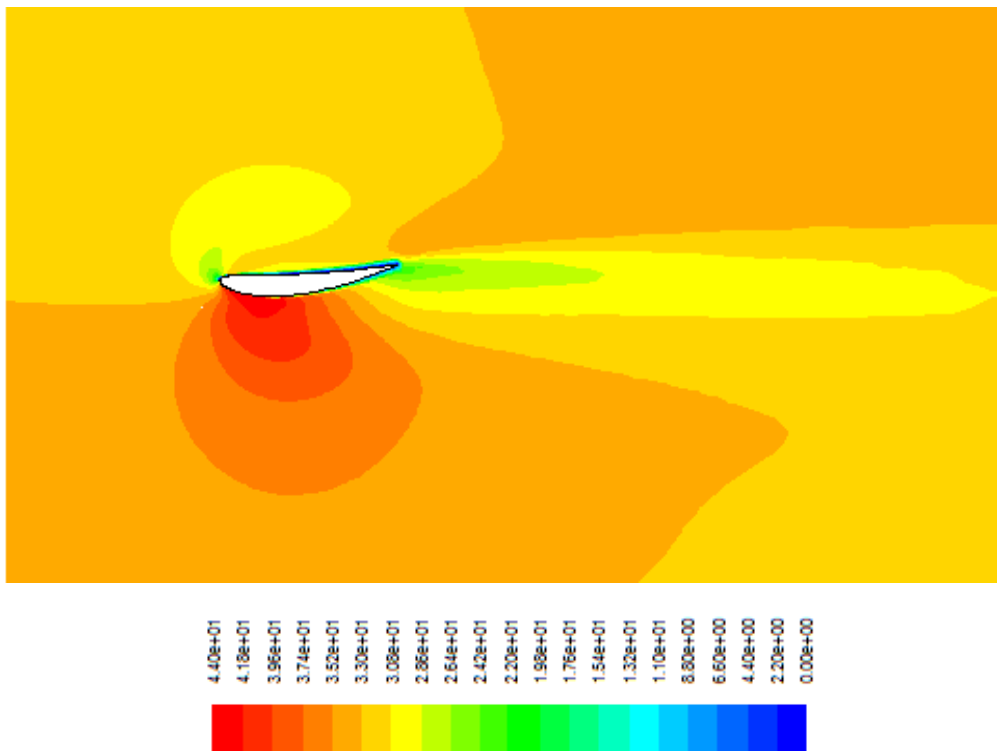


Figura 3.20 Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 5°

Ángulo de ataque 10°

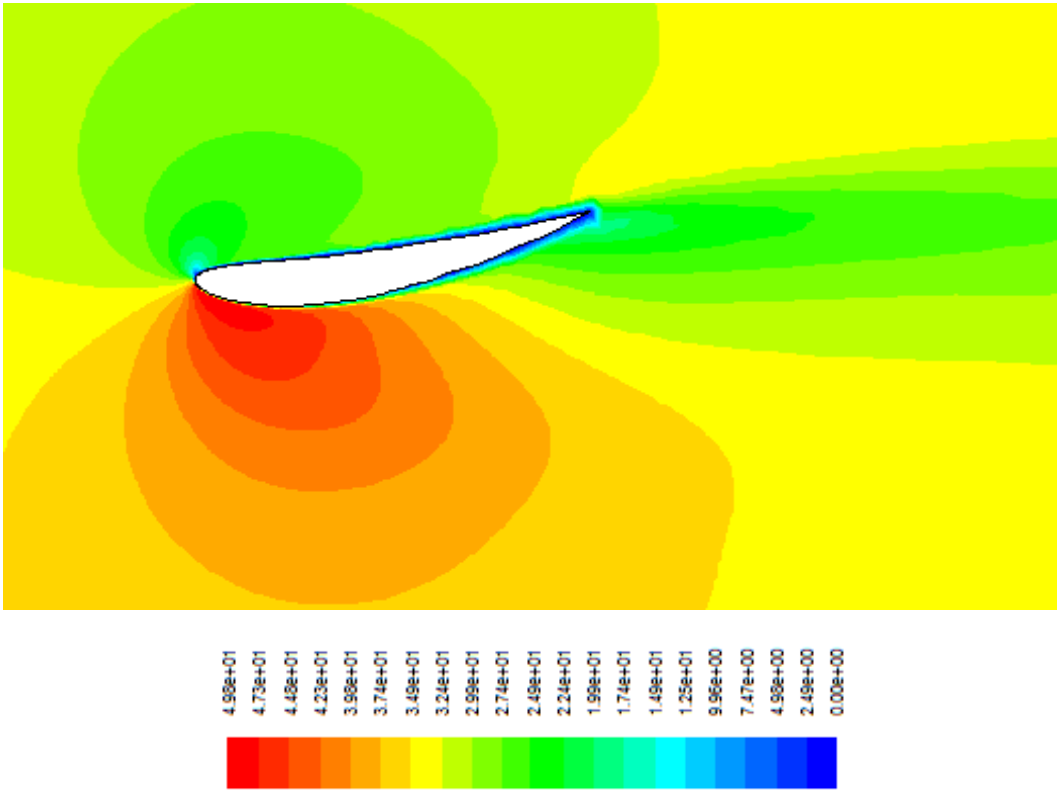


Figura 3.21 Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 10°

Ángulo de ataque 12°

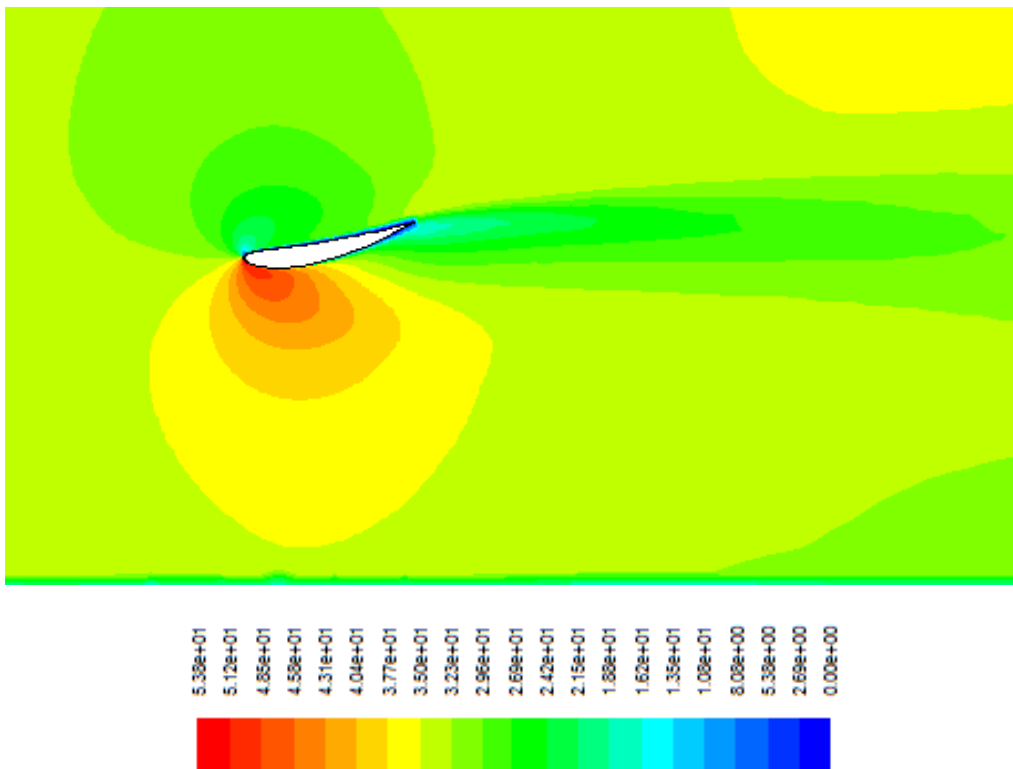


Figura 3.22 Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 12°

Ángulo de ataque 15°

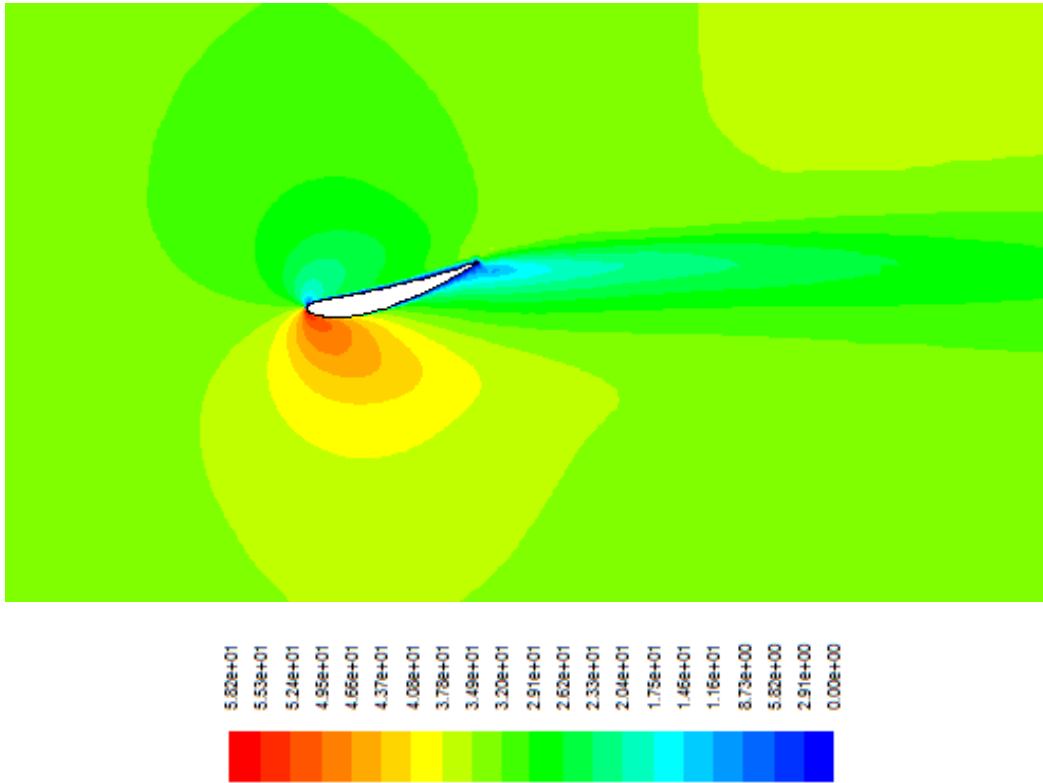


Figura 3.23 Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 15°

Ángulo de ataque 20°

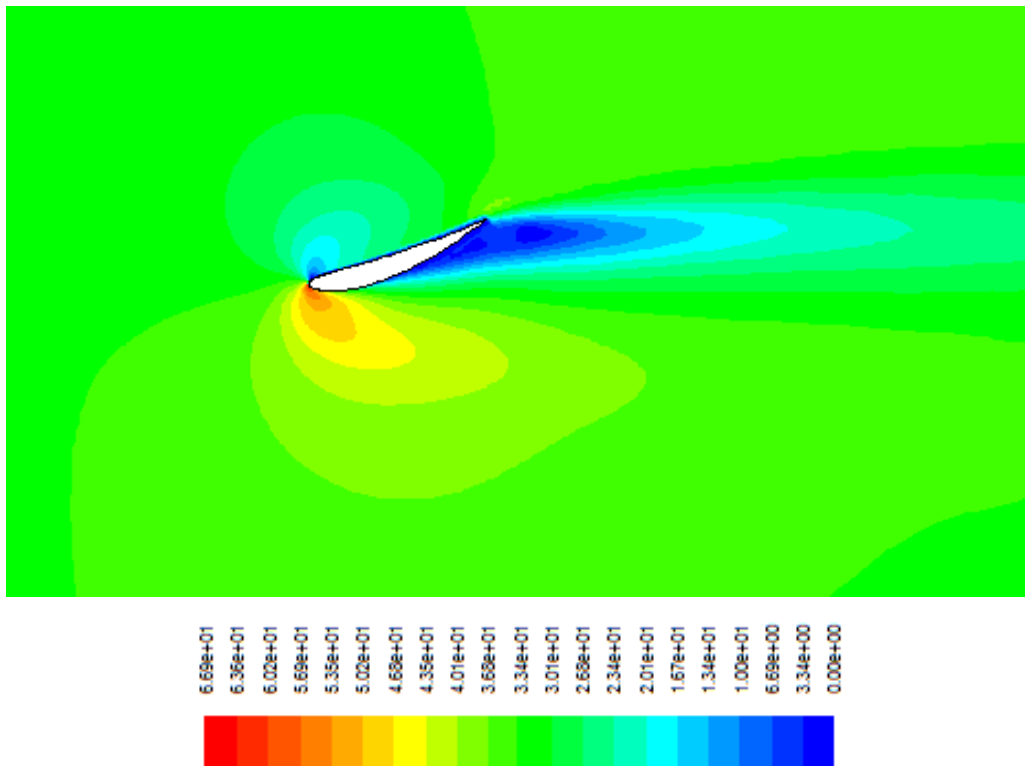


Figura 3.24 Contornos de velocidad para el perfil 6412 a 20°

En las gráficas se observa los contornos de velocidad que se producen en los alrededores del perfil NACA 6412, se puede apreciar lo mismo que observamos en las gráficas anteriores de velocidad; aquí la máxima velocidad es de 66.9 m/s mayor que en el caso del NACA 4412 que era de 61.9 m/s; y por ende con un mayor aumento de velocidad en la parte inferior del perfil generando mayor carga.

Algo que también se puede apreciar es la estela que deja el perfil sinónimo de la resistencia que ofrece el perfil al aire, al igual que en el NACA 4412 el perfil empieza a entrar en pérdida a partir de los 15 grados. Con los datos de presiones se confirmara que a mayor velocidad del aire menor presión y viceversa.

3.2.2.2 Contornos de presión del perfil NACA 6412

A continuación se aprecian los contornos de presión que se generan alrededor del perfil NACA 6412, se analizarán estas gráficas y se procederá a la tabulación de los datos obtenidos de las simulación y posteriormente a la comparación con los demás perfiles en estudio.

Ángulo de ataque 0°

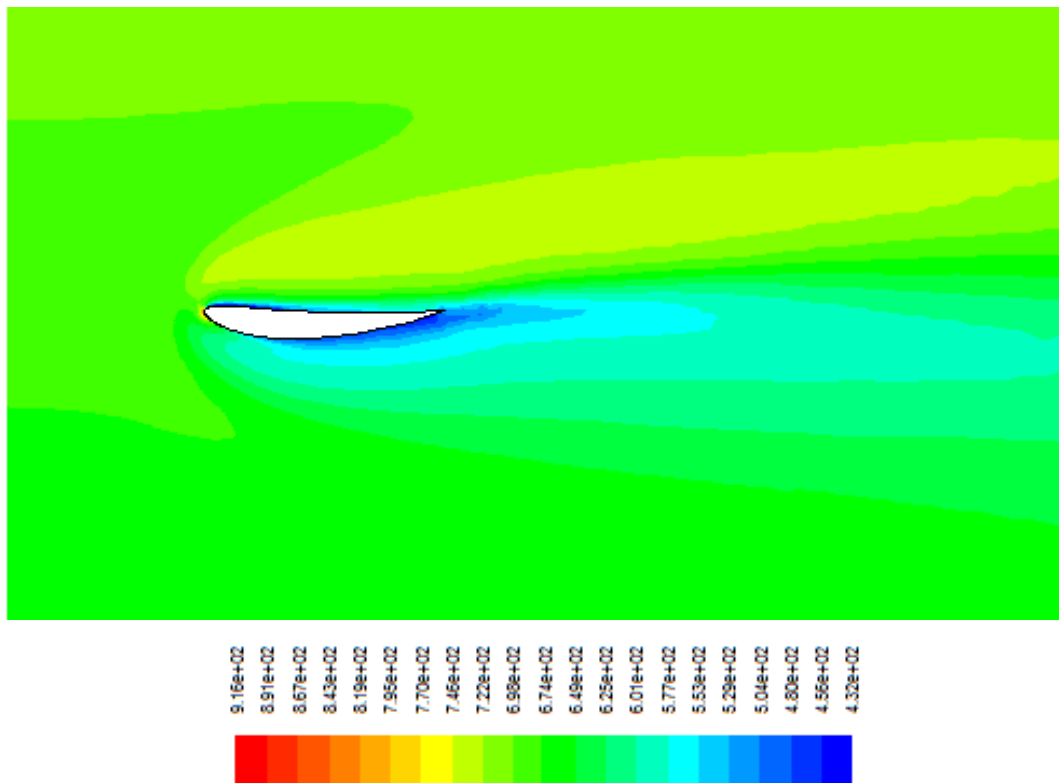


Figura 3.25 Contornos de presión para el perfil 6412 a 0°

Ángulo de ataque 5°

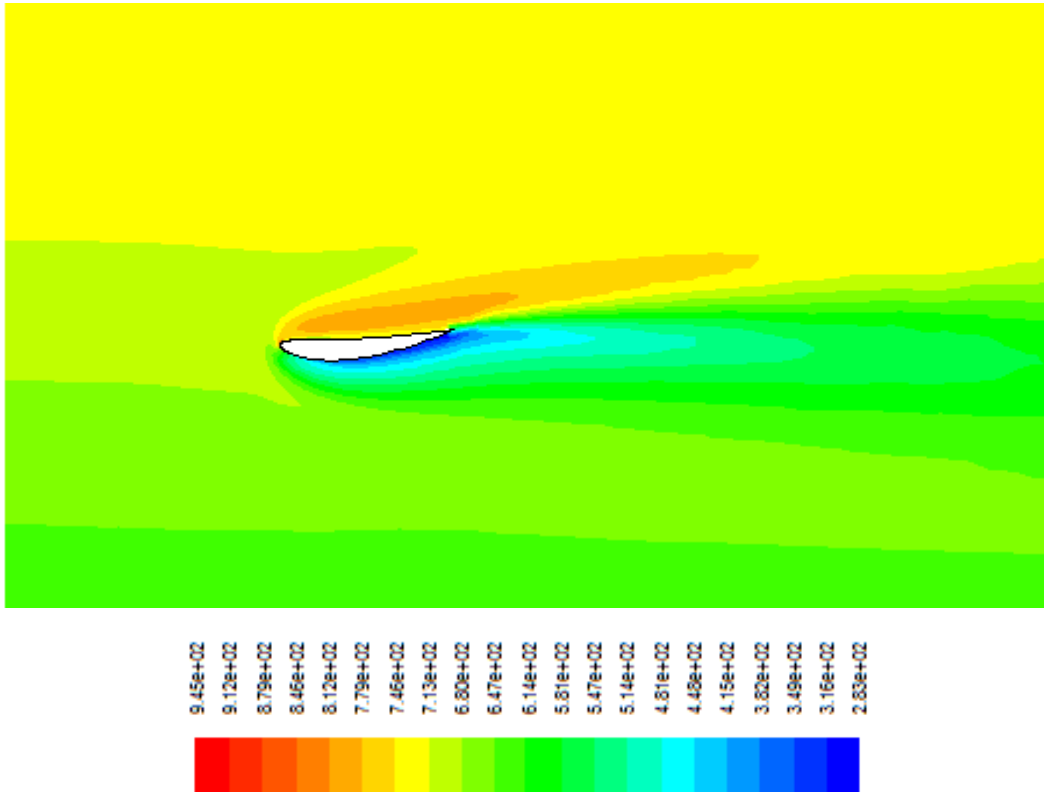


Figura 3.26 Contornos de presión para el perfil 6412 a 5°

Ángulo de ataque 10°

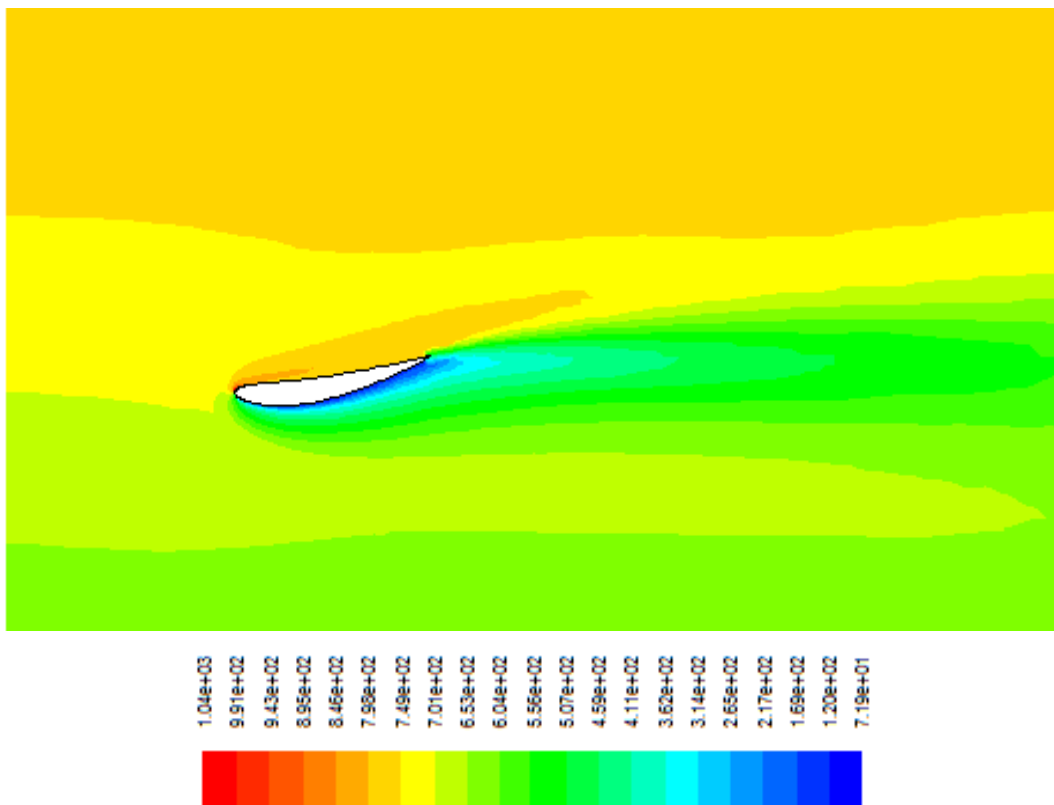


Figura 3.27 Contornos de presión para el perfil 6412 a 10°

Ángulo de ataque 12°

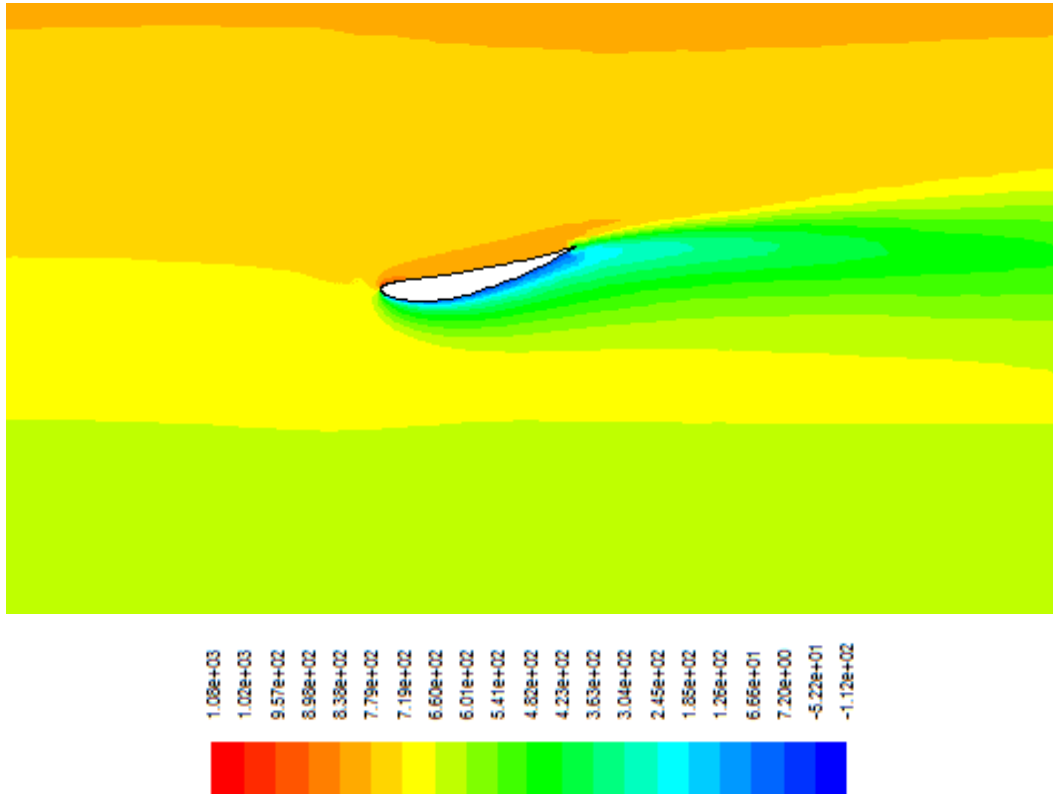


Figura 3.28 Contornos de presión para el perfil 6412 a 12°

Ángulo de ataque 15°

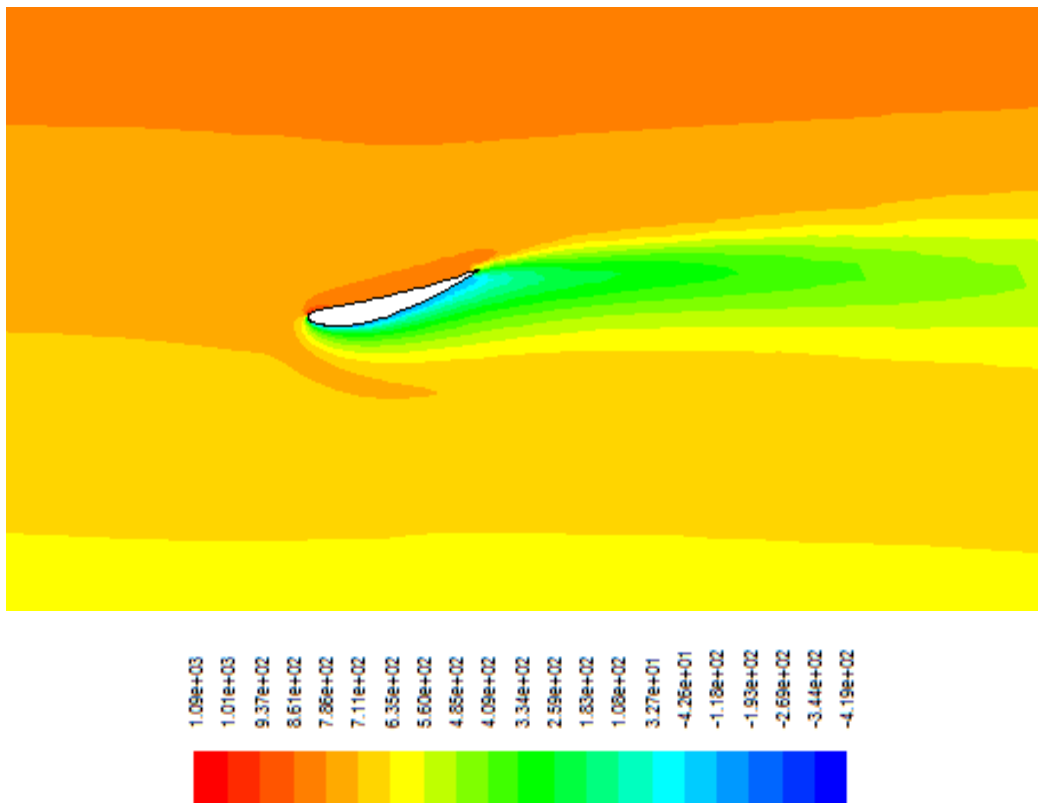


Figura 3.29 Contornos de presión para el perfil 6412 a 15°

Ángulo de ataque 20°

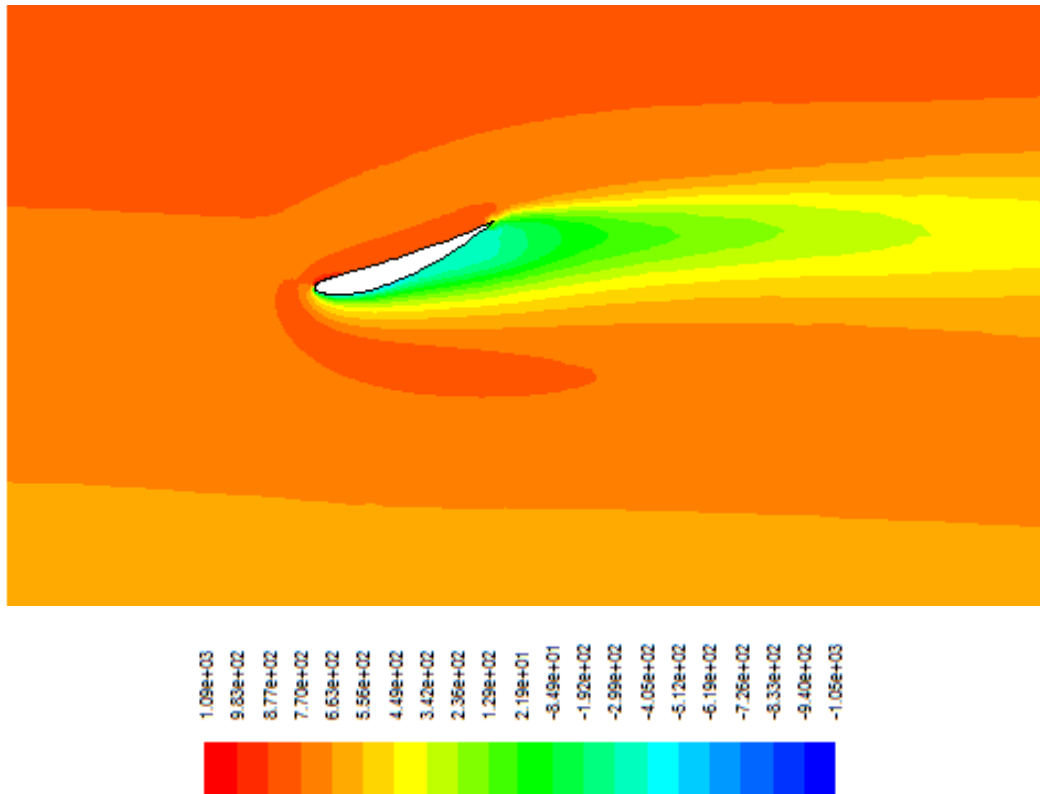


Figura 3.30 Contornos de presión para el perfil 6412 a 20°

De las gráficas de presión se tiene que la mayor presión sobre el perfil es de 1090 Pa superando así a los 1050 Pa generados por el NACA 4412 y por ende aumentando la carga aerodinámica. Este aumento en la presión influye directamente en el aumento del coeficiente de sustentación y presentándose los siguientes datos:

Tabla 3.2 COEFICIENTES DE SUSTENTACIÓN Y ARRASTRE PARA EL PERFIL NACA 6412

Perfil Alar	Ángulo	C _l	C _d	Eficiencia (C _l / C _d)
NACA 6412	0	0.5434	0.0458	11.86
	5	0.9952	0.0738	13.49
	10	1.4628	0.1292	11.32
	12	1.6069	0.1661	9.67
	15	1.7189	0.2153	7.98
	20	1.7121	0.3196	5.36

Se puede ver en esta gráfica que así como aumenta el coeficiente de sustentación, aumenta la resistencia considerablemente. A la vez en esta gráfica se observa claramente que el perfil empieza a entrar en pérdida cuando el ángulo supera los 15 grados pues la curva

correspondiente a los coeficientes de sustentación empieza a descender, mientras que la curva de resistencia aumenta.

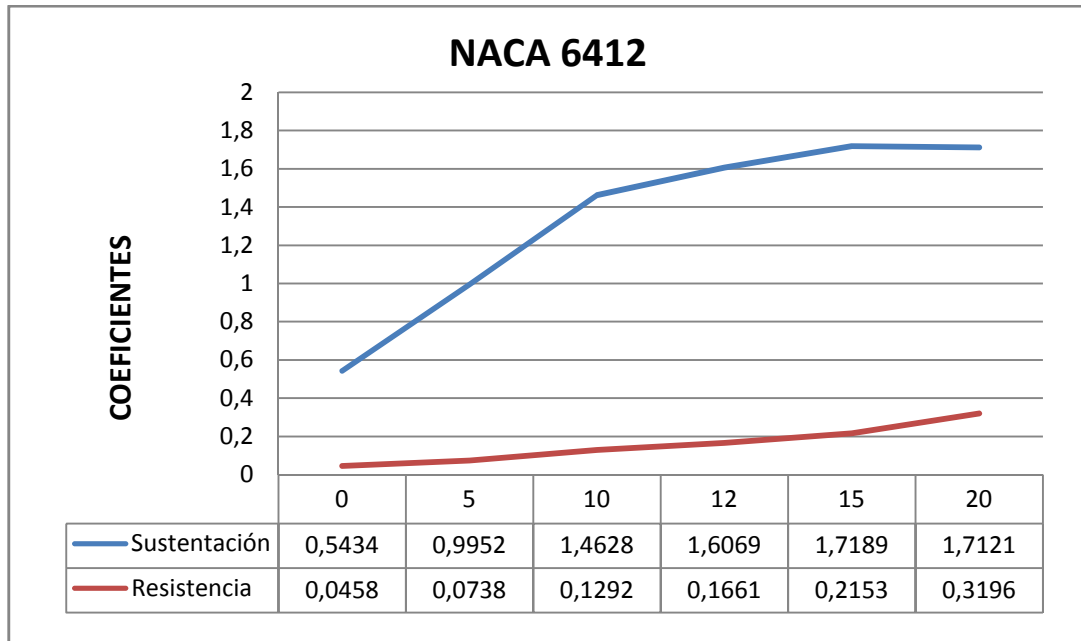


Figura 3.31 Sustentación y Resistencia del perfil NACA 6412

3.2.3 Perfil de diseño propio

Aquí se muestran los diferentes contornos de velocidad y de presiones que se generan alrededor de un perfil diseñado para el presente estudio, esto para poder observar la diferencia que existe entre los perfiles estudiados por la NASA y este perfil.

La creación y posterior estudio de este perfil está basado principalmente en las formas de construcción, ya que este perfil tiene el borde superior recto, un ángulo de ataque inferior en un 10% al NACA 6412 y el borde inferior un poco más redondeado para tratar de aumentar la velocidad bajo el perfil y por ende una alta presión en el borde superior, aumentando hipotéticamente la carga generada. Lo que tratamos en esta parte es verificar cuan funcional es un perfil cualquiera comparado con los perfiles NACA que ya han sido estudiados previamente y aplicados en la industria aeronáutica.



Figura 3.32 Perfil de Diseño propio

3.2.3.1 Contornos de velocidad del perfil propio

Ángulo de ataque 0°

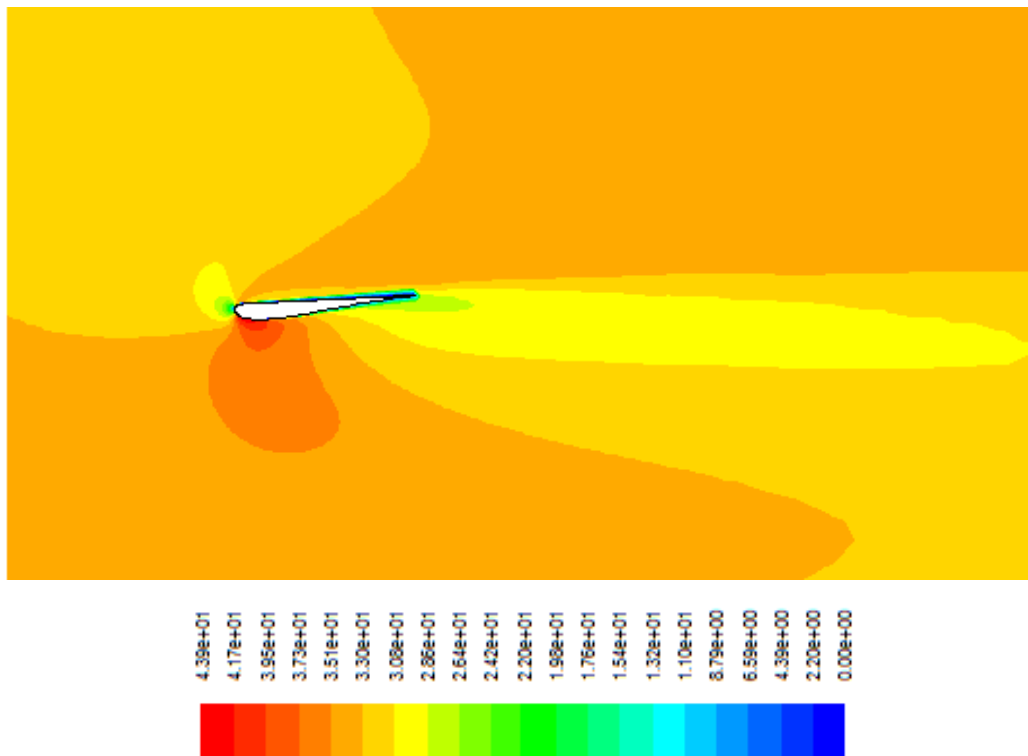


Figura 3.33 Contornos de velocidad para el perfil propio a 0°

Ángulo de ataque 5°

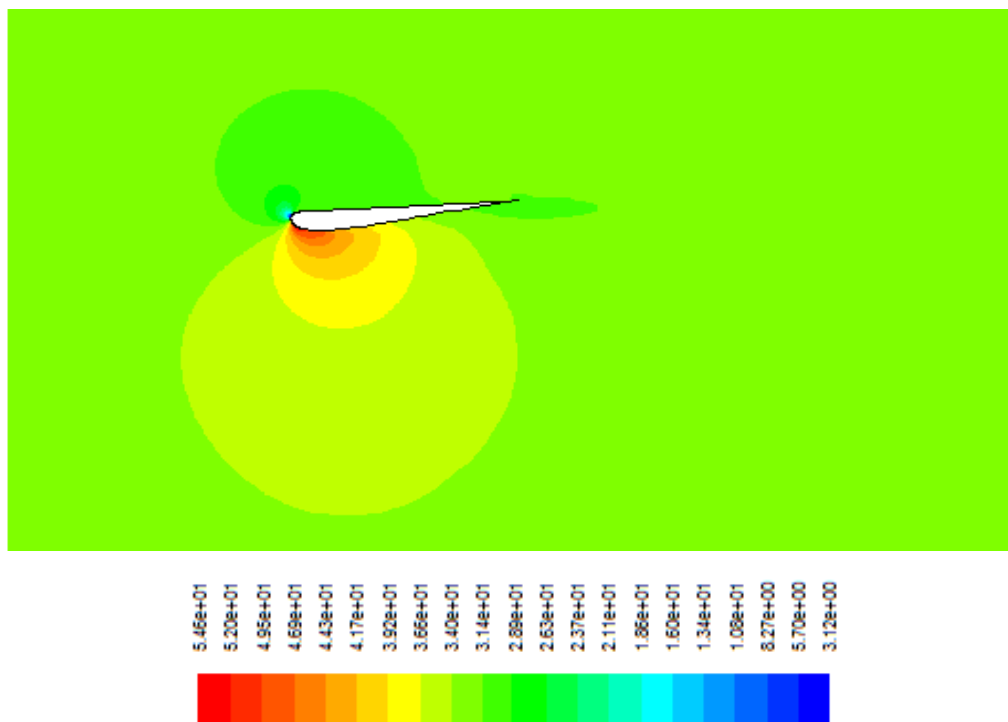


Figura 3.34 Contornos de velocidad para el perfil propio a 5°

Angulo de ataque 10°

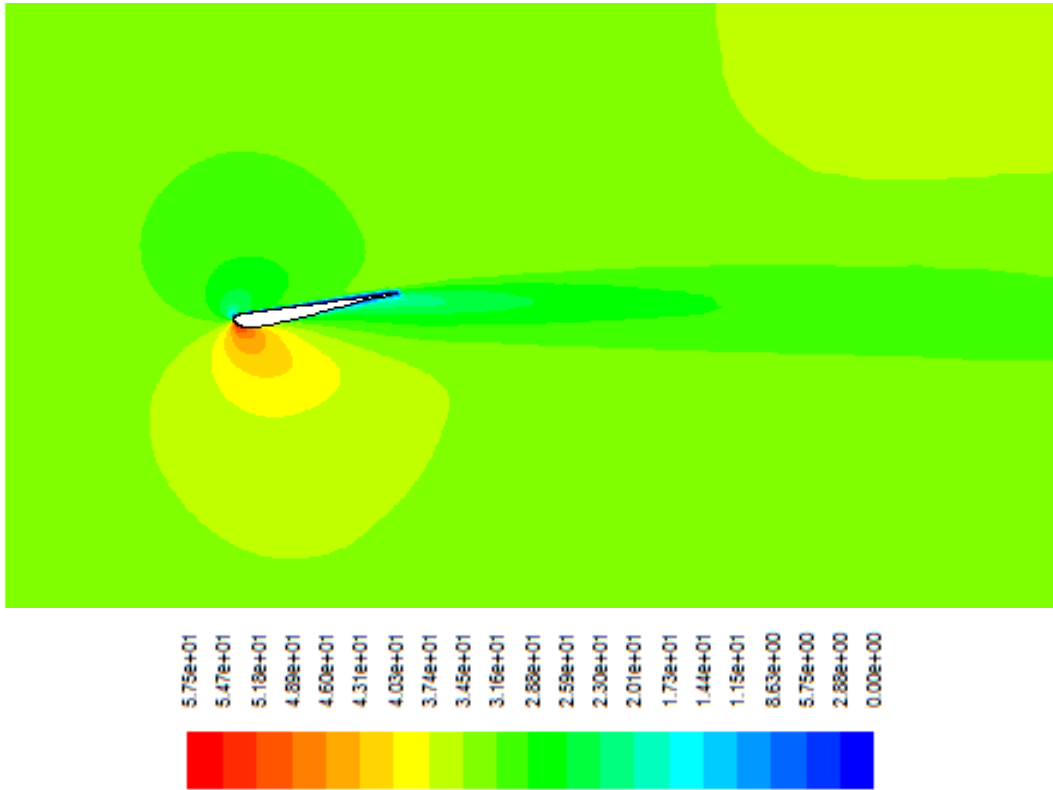


Figura 3.35 Contornos de velocidad para el perfil propio a 10°

Ángulo de ataque 12°

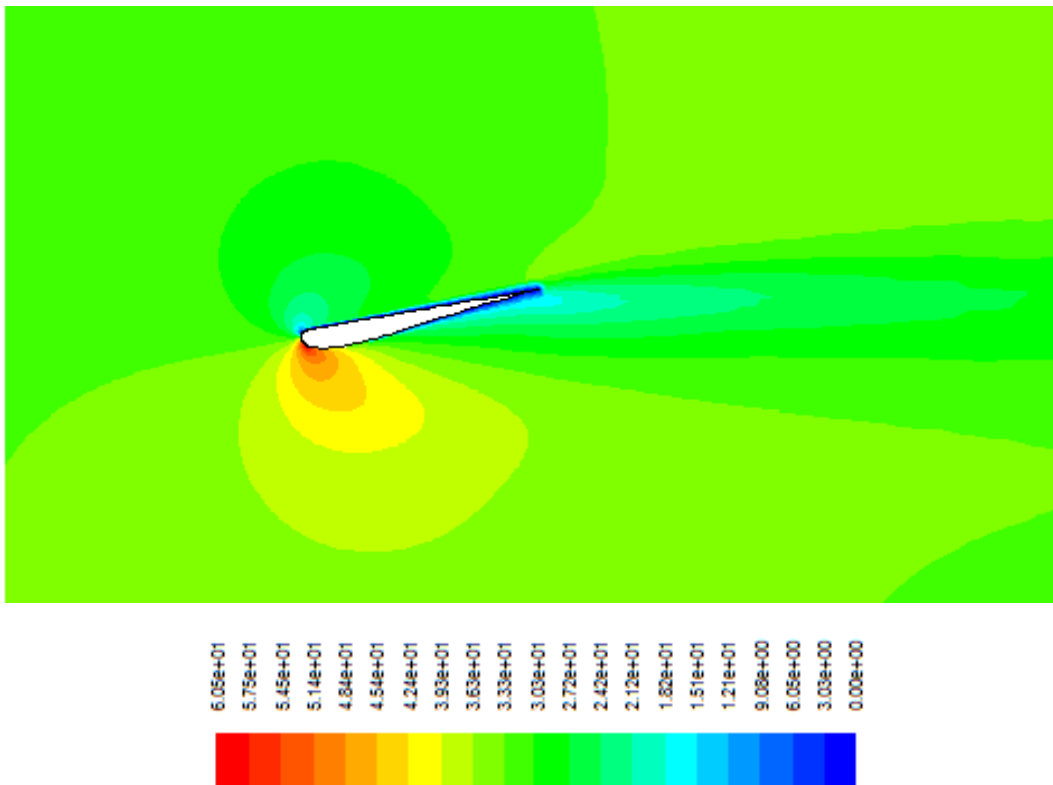


Figura 3.36 Contornos de velocidad para el perfil propio a 12°

Ángulo de ataque 15°

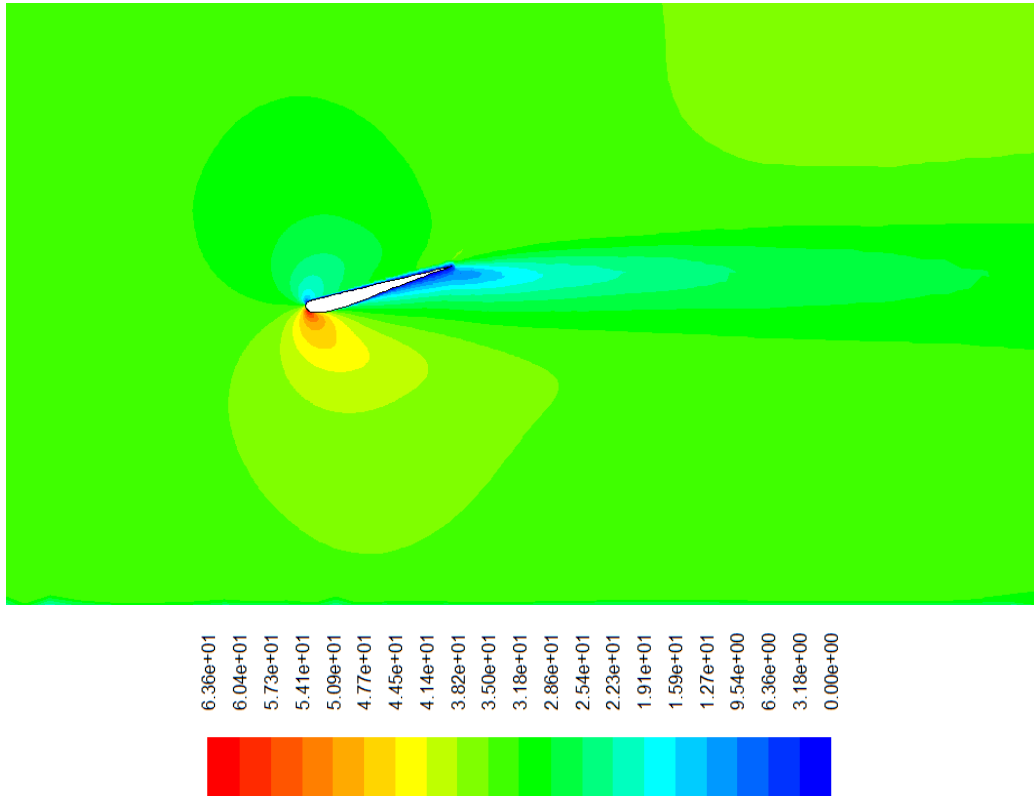


Figura 3.37 Contornos de velocidad para el perfil propio a 15°

Ángulo de ataque 20°

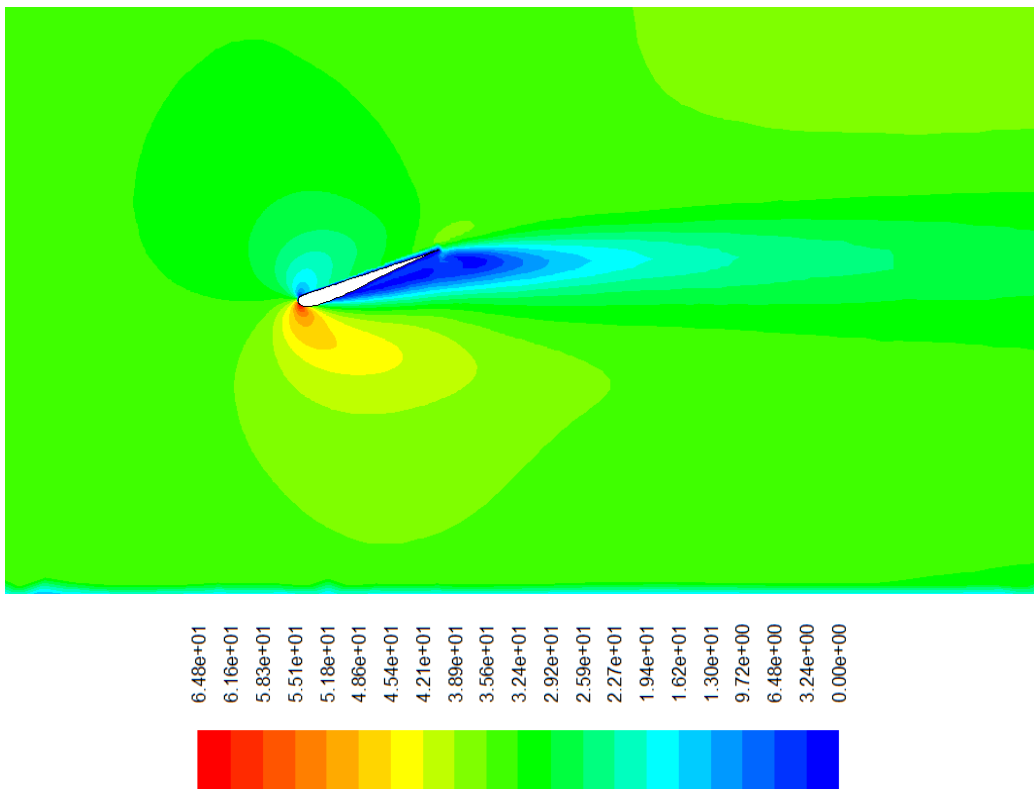


Figura 3.38 Contornos de velocidad para el perfil propio a 20°

En estas gráficas de velocidad se puede apreciar que el valor máximo es de 64.8 m/s que supera a los 61.9 m/s del NACA 4412, pero que se mantiene bajo ante los 66.9 m/s del NACA 6412. Estos valores de velocidad altos se verán reflejados en una disminución en la presión en estas zonas y por ende haciendo que el perfil genere anti sustentación que lo mantenga pegado al piso.

Todos estos valores máximos corresponden a la velocidad que adquiere el aire en la zona inferior del perfil como se puede apreciar en el lóbulo de color rojo que se presenta en esta zona.

3.2.3.2 Contornos de presión perfil propio

A continuación se observan los contornos de presiones que se presentan alrededor del perfil creado para este estudio, aquí se observará si la hipótesis acertada y los cambios en las formas fueron los correctos:

Ángulo de ataque 0°

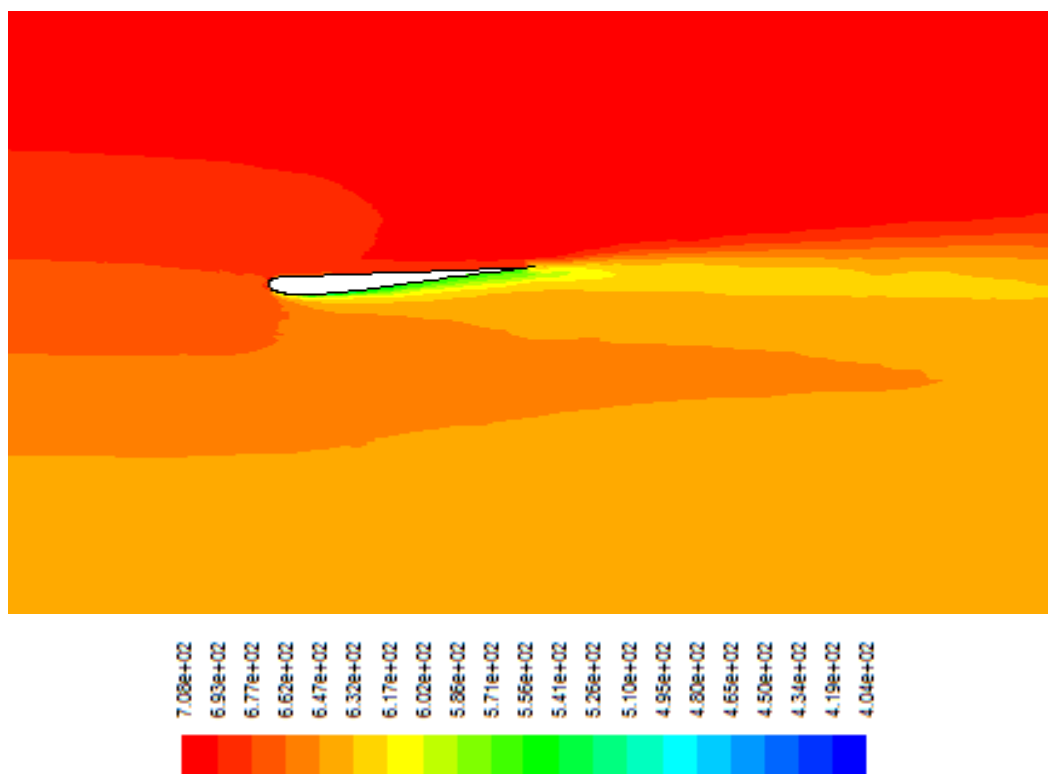


Figura 3.39 Contornos de presión perfil propio a 0°

Ángulo de ataque 5°

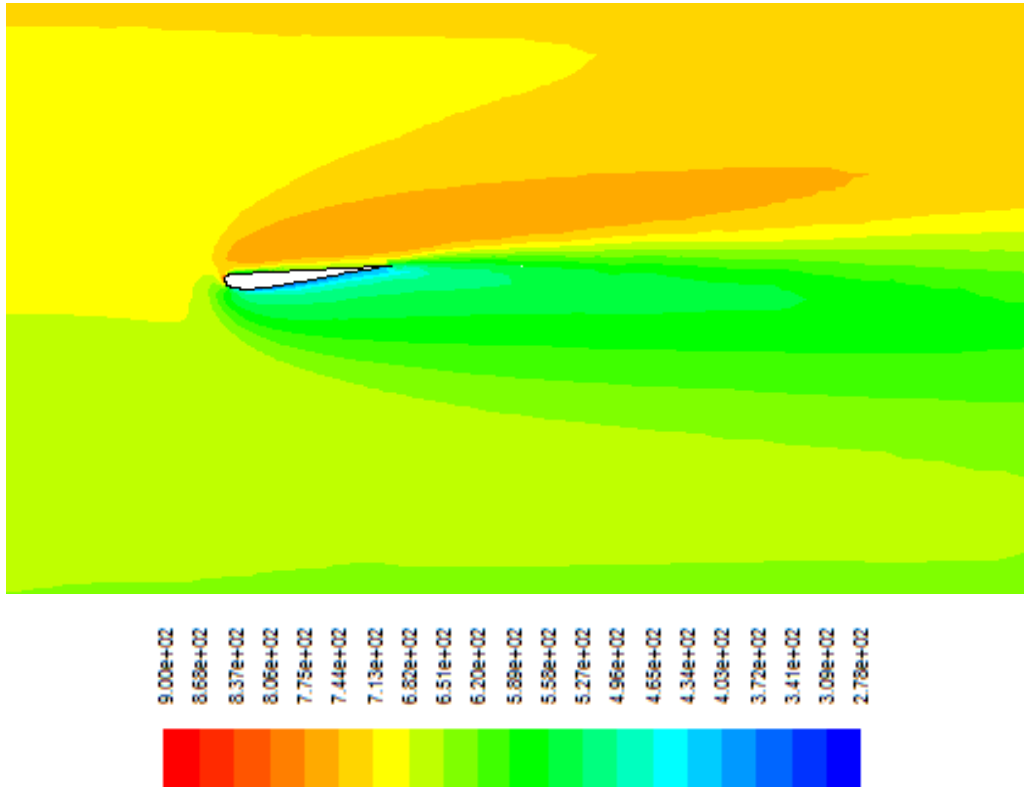


Figura 3.40 Contornos de presión perfil propio a 5°

Ángulo de ataque 10°

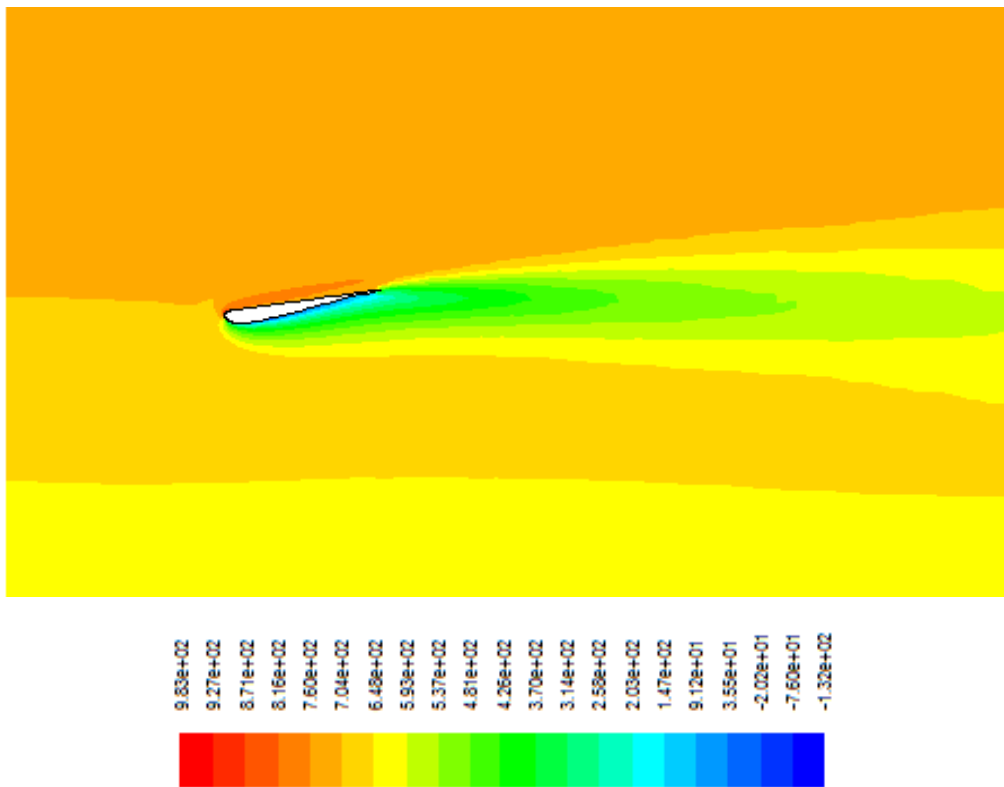


Figura 3.41 Contornos de presión perfil propio a 10°

Ángulo de ataque 12°

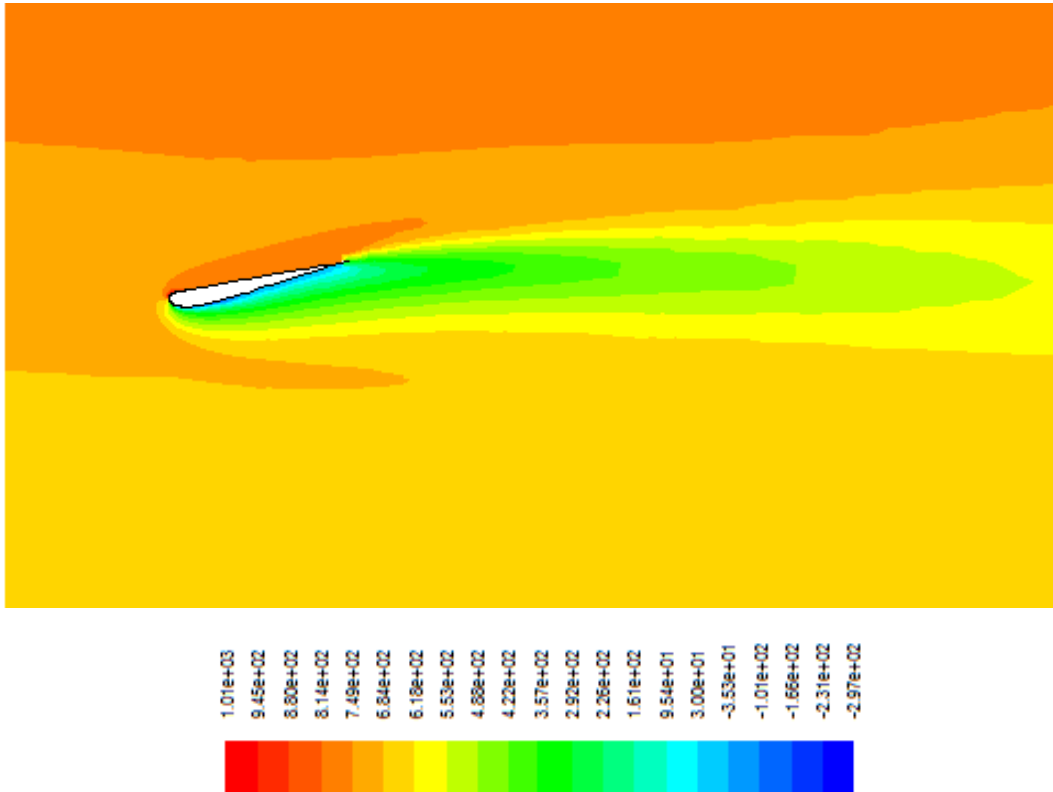


Figura 3.42 Contornos de presión perfil propio a 12°

Ángulo de ataque 15°

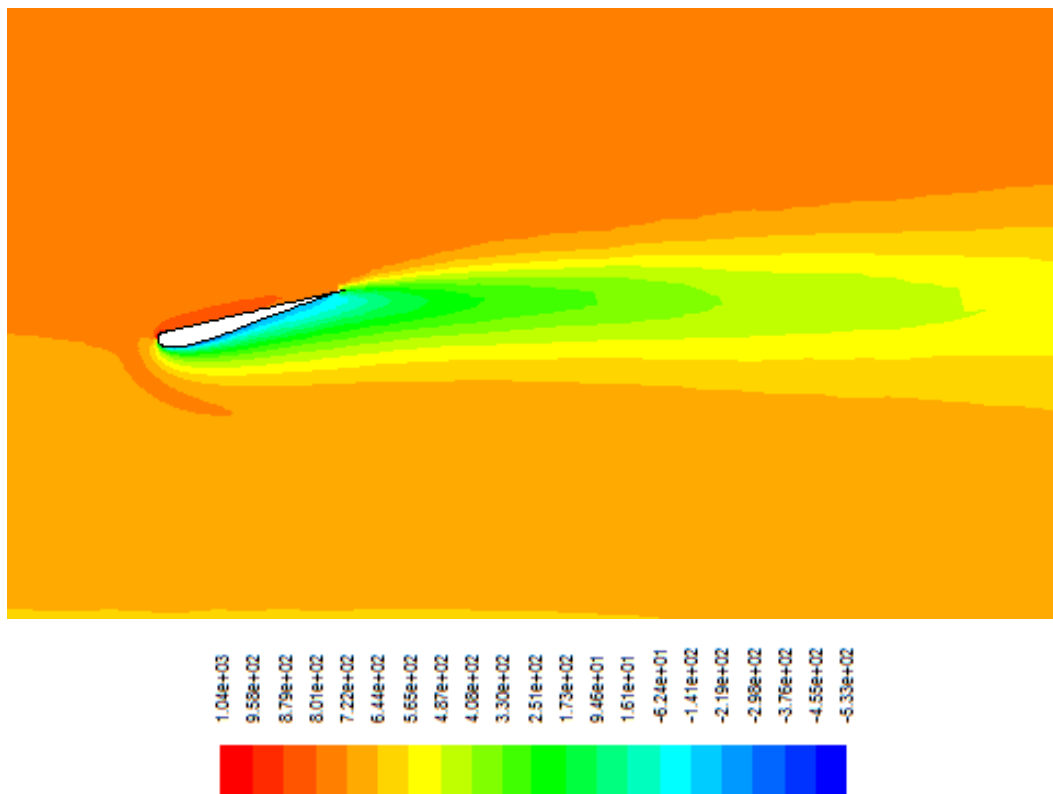


Figura 3.43 Contornos de presión perfil propio a 15°

Ángulo de ataque 20°

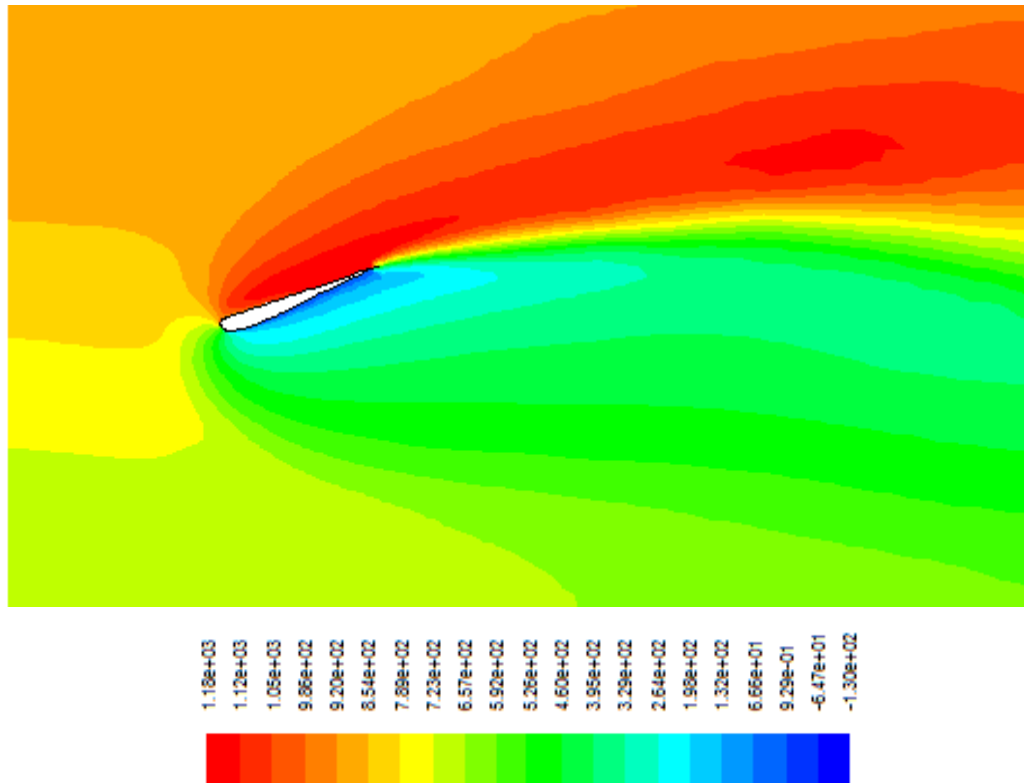


Figura 3.44 Contornos de presión perfil propio a 20°

De estas gráficas tenemos que la mayor presión se presenta a un ángulo de 20° siendo de 1180 Pa, superando a los valores obtenidos por los dos perfiles anteriores, este es un valor fundamental en la selección del perfil pero que no gobierna a la hora de la selección, ya que también se tiene que tomar en cuenta la resistencia que este perfil ofrece al aire. A continuación se presentan los valores de los coeficientes de sustentación y de resistencia del perfil diseñado.

Tabla 3.3 COEFICIENTES DE SUSTENTACIÓN Y ARRASTRE PARA EL PERFIL PROPIO

Perfil Alar	Ángulo	Cz	Cx	Eficiencia (Cz / Cx)
DISEÑO PROPIO	0	0.0833	0.0354	2.35
	5	0.4657	0.0596	7.81
	10	1.0567	0.1167	9.05
	12	1.2203	0.1538	7.93
	15	1.3864	0.2128	6.52
	20	1.3845	0.4134	3.35

En esta tabla se observa que el mayor coeficiente de sustentación se encuentra a 15°, pero también se puede observar que los valores de la eficiencia se mantienen muy bajos, podemos ver que todos estos valores están por debajo del 10 %, esto se produce ya que los valores de los coeficientes de sustentación no son los suficientemente grandes como para solventar la resistencia que produce este perfil en estudio.

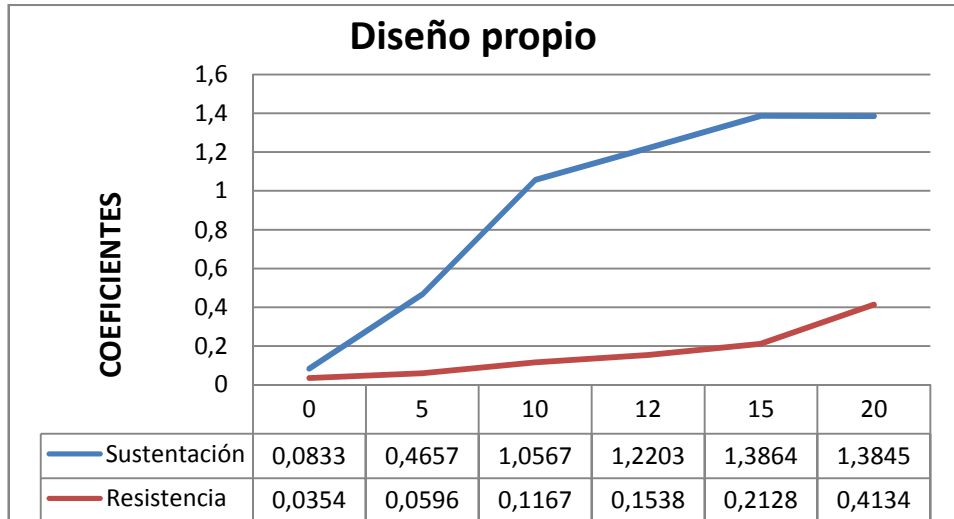


Figura 3.45 Sustentación y Resistencia Perfil diseño propio

3.3 Análisis de los resultados

Una vez creadas las gráficas y tablas correspondientes a cada uno de los perfiles en estudio: NACA 4412, NACA 6412 y un modelo de estilo propio, es hora de seleccionar el que mejor se comporte para esta aplicación, el que aporte mayor carga y que a la vez no genere mucha resistencia. Dichos coeficientes se comportan de una manera diferente según varía el ángulo de ataque al que el perfil esté sometido.

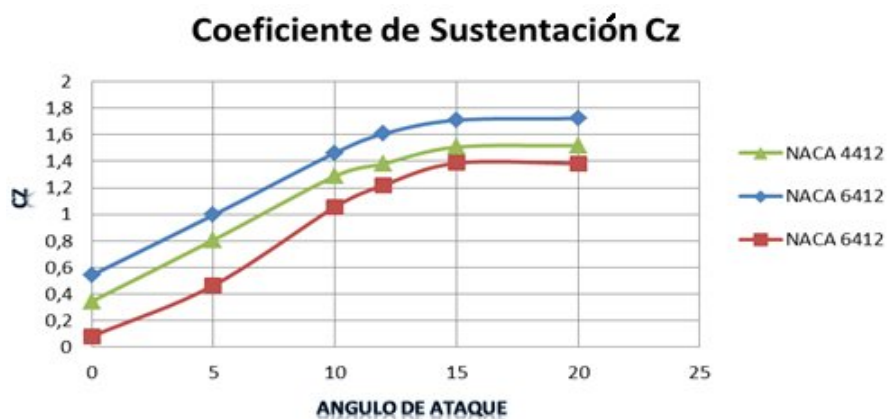


Figura 3.46 Cz en función del ángulo de ataque para los tres perfiles

En la gráfica se puede observar que el perfil NACA 6412 genera mayor carga que los perfiles NACA 4412 y que el perfil de diseño propio, se ve claramente que en todos los ángulos de ataque el perfil NACA 6412 supera a los demás perfiles con una ventaja considerable, además se puede observar que los tres perfiles en estudio entran en la zona de pérdida cuando el ángulo de ataque supera los 15 grados.

Para mayor precisión en la observación de la gráfica anterior a continuación se presenta la tabla con los coeficientes de anti sustentación, calculados mediante FLUENT:

Tabla 3.4 COEFICIENTES DE SUSTENTACIÓN DE LOS TRES PERFILES

Ángulo de Ataque	NACA 4412	NACA 6412	Diseño Propio
0	0.3462	0.5434	0.0833
5	0.8075	0.9952	0.4657
10	1.2879	1.4628	1.0567
12	1.3818	1.6069	1.2203
15	1.5069	1.7189	1.3864
20	1.5177	1.7121	1.3845

De esta tabla de coeficientes de sustentación se puede apreciar que el C_z máximo se encuentra en el NACA 6412, y que además el mayor coeficiente de anti sustentación se encuentra a los 15 grados en dicho perfil.

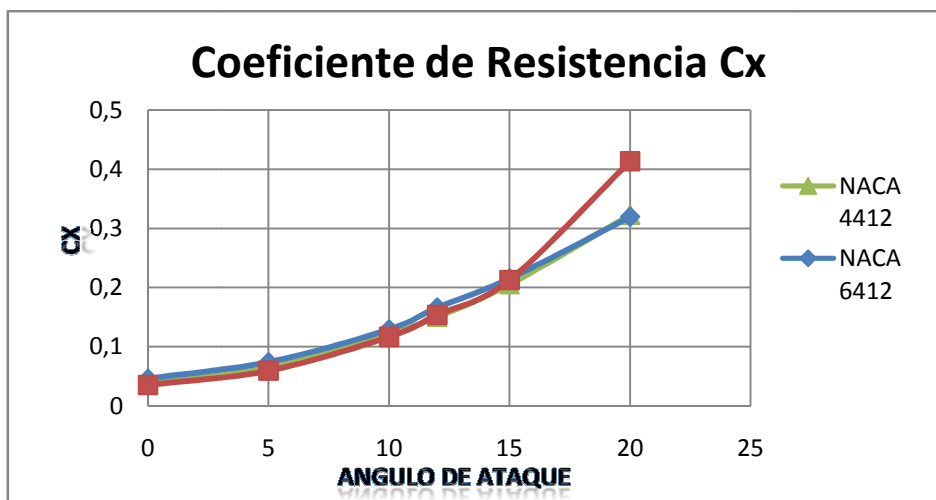


Figura 3.47 C_x en función del ángulo de ataque para los tres perfiles

En esta gráfica se observa que el perfil de diseño propio tiene una resistencia al aire semejante a los otros dos perfiles, esto se aprecia hasta los 15 grados cuando la resistencia crece de una manera considerable en relación al NACA 4412 y al NACA 6412, este parámetro de resistencia no es el único a considerarse en la selección del perfil adecuado, sino que, también dependerá de la carga generada por cada uno de los perfiles, viéndose reflejado en la relación entre sustentación y resistencia, (C_z/C_x). En la siguiente tabla se aprecia claramente y de forma precisa cuales son los coeficientes de resistencia para los perfiles en estudio:

Tabla 3.5 COEFICIENTES DE RESISTENCIA DE LOS TRES PERFILES

Ángulo de Ataque	NACA 4412	NACA 6412	Diseño Propio
0	0.0379	0.0458	0.0354
5	0.0643	0.0738	0.0596
10	0.1212	0.1292	0.1167
12	0.1504	0.1661	0.1538
15	0.2055	0.2153	0.2128
20	0.3228	0.3196	0.4134

En la tabla de los datos del coeficiente de resistencia se observa que el perfil de diseño propio mantiene una resistencia muy baja frente a los otros perfiles, pudiendo observarse que incluso a cero grado tiene la menor resistencia frente a los otros, siendo esta de 0.0354 pero también, se puede observar que al llegar a los 20 grados obtiene la mayor resistencia, estos parámetros nos mostrarán cual es el perfil adecuado a ser usado para el alerón, al ser comparados con los coeficientes de sustentación y sacar de esta comparación la eficiencia de cada uno de los perfiles en estudio. Aquí la gráfica de la eficiencia, la cual está definida por la división del coeficiente de sustentación para el coeficiente de resistencia (C_z / C_x):

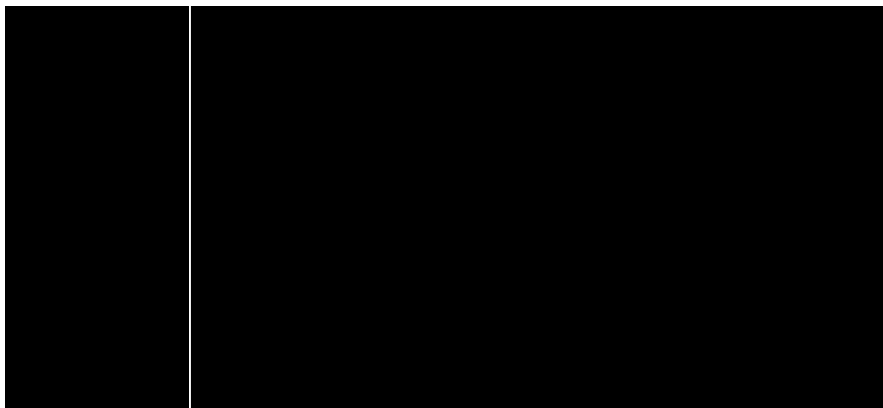


Figura 3.48 Eficiencia en función del ángulo de ataque para los tres perfiles

De esta gráfica podemos observar que el perfil NACA 6412 tiene una alta superioridad sobre el naca 4412 y siendo aún más alta la ventaja sobre el perfil creado, motivo por el cual este perfil NACA 6412 estaría el indicado para usarse en la construcción del alerón de posición variable.

Tabla3.6 EFICIENCIA DE LOS TRES PERFILES

Perfil Alar	Ángulo	Cz	Cx	Eficiencia (Cz/Cx)	Promedio
NACA 4412	0	0.3462	0.0379	9.13	8.92
	5	0.8075	0.0643	12.56	
	10	1.2879	0.1212	10.63	
	12	1.3818	0.1504	9.19	
	15	1.5069	0.2055	7.33	
	20	1.5177	0.3228	4.70	
NACA 6412	0	0.5434	0.0458	11.86	9.95
	5	0.9952	0.0738	13.49	
	10	1.4628	0.1292	11.32	
	12	1.6069	0.1661	9.67	
	15	1.7189	0.2153	7.98	
	20	1.7121	0.3196	5.36	
DISEÑO PROPIO	0	0.0833	0.0354	2.35	6.17
	5	0.4657	0.0596	7.81	
	10	1.0567	0.1167	9.05	
	12	1.2203	0.1538	7.93	
	15	1.3864	0.2128	6.52	
	20	1.3845	0.4134	3.35	

En esta tabla aprecia claramente cómo se comporta la eficiencia en cada uno de los perfiles en estudiado, se ve como el perfil NACA 6412 obtiene mayor eficiencia para todos los ángulos de ataque al que se encuentra sometido, superando al NACA 4412 y siendo superior que el perfil propio, esto no es de extrañar ya que los dos perfiles NACA han sido modificados y estudiados exhaustivamente para dar mejores resultados.

Dados los resultados anteriores ya sea de coeficientes de anti sustentación como coeficientes de resistencia y eficiencias, se procede a seleccionar el perfil NACA 6412 como el perfil

adecuado para la creación del alerón de posición variable, demostrando ser el perfil que posee los coeficientes de anti sustentación más elevados aunque los coeficientes de resistencia sean un poco mayores a los del NACA 4412 y del perfil propio, se llegó a seleccionar al NACA 6412 ya que compensa este aumento en la resistencia por un aumento considerable en la generación de carga que es lo importante para esta aplicación, y demostrando alta eficiencia.

CAPÍTULO IV

4 CONSTRUCCIÓN DEL ALERÓN

4.1 Forma.

Para definir la forma específica del alerón se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

CT= Cuerda Total

C1= Cuerda Flap 1

C2= Cuerda Flap 2

S= Separación entre Flaps de 1 a 4 % CT

T= Espesor del Flap de 20 a 30 % CT

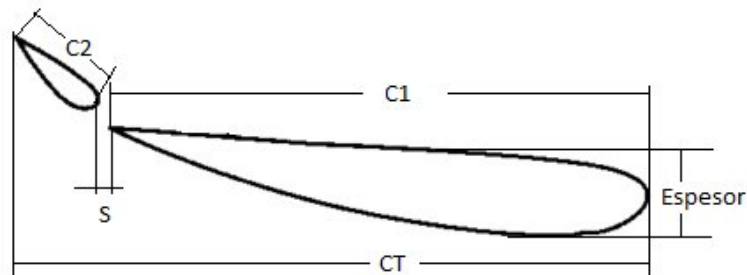


Figura 4.1 Forma del alerón y sus partes principales.

Debido a los estudios realizados anteriormente, el alerón de este proyecto será de dos flaps con un perfil único 6412 como plano principal y secundario con su respectivo dimensionamiento.

Por qué dos Flaps?:

Porque la principal desventaja que tiene un alerón de un flap, es la presencia de turbulencia en la cola del alerón, y debido a este efecto puede producirse una carga opuesta que trataría de levantar el alerón y por consecuencia al automóvil.

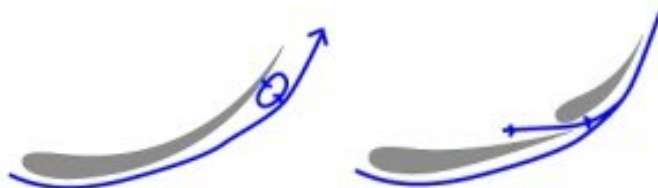


Figura 4.2 Diferencias entre un alerón de un flap y dos flaps

Por ejemplo si tomamos dos alerones de un Flap y otro de dos Flaps pero con la misma longitud de cuerda.



Figura 4.3 Alerón de un Flap y dos Flaps con la misma longitud de cuerda

A una velocidad de 40 m/s la carga ejercida por el alerón de un flap es 79,12 Lb y del alerón de dos flaps es de 77,54 Lb, en donde se puede observar que la carga generada no cambia mucho, pero la parte más importante es que con el alerón de dos flaps se disminuye el riesgo de generar turbulencia. La relación de aspecto (RA), viene dada entre, la división de la envergadura con respecto a la longitud de la cuerda.

$$= \text{---} \quad (4.1) \quad (\quad) = \text{---} \quad (4.2)$$

El C_z proporcional, nos dice que si aumentamos la relación de aspecto el coeficiente de anti-sustentación aumentará, produciendo más carga aerodinámica. Por ejemplo si tenemos la misma área efectiva de $0,24 \text{ m}^2$ tendríamos la siguiente tabla comparativa de la relación de aspecto:

Tabla 4.1 RELACIÓN DE ASPECTO

Envergadura.	1,5 m	1,2 m
Cuerda.	0,16 m	0,2 m
Área.	0,24 m ²	0,24 m ²
RA	9,375	6
C_z (proporcional)	0,82	0,75

Si mejoramos la relación de aspecto la carga aerodinámica aumentara en un 9,3% aproximadamente.

4.2 Dimensionamiento

Las dimensiones están basadas en la investigación y estudio de los capítulos anteriores y tomando en cuenta la carga y parámetros aerodinámicos del vehículo y perfil a prueba en el presente proyecto. El espesor del alerón varía desde 0,18 a 0,3CT:

Para $T = 0,18 CT$; el valor es mínimo, se usa para baja carga y poca resistencia.

Para $T = 0,3 CT$; el valor es máximo, se usa para cargas elevadas ya que el coeficiente de resistencia es muy alto.

Entonces el espesor del alerón será $0,18CT$ esto para tener buenas prestaciones aerodinámicas y ya que la carga es baja porque se aproxima a las 25 lb. También estará compuesto por dos difusores laterales para la optimización del flujo de aire y obtener mayores beneficios en velocidades mayores a la calculada. Las derivas laterales ayudarán a que el aire no se desvíe hacia los lados produciendo mayor carga y un óptimo funcionamiento del alerón.

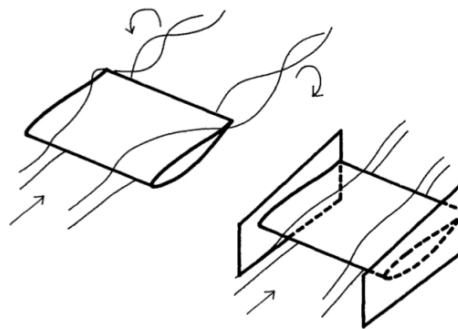


Figura 4.4 Derivas laterales

A continuación se detalla los datos de las dimensiones del alerón de posición variable:

Longitud del plano principal: 1,40 m.

Cuerda plano principal: 0,22 m.

Espesor del plano principal: 0,001 m a 0,04 m.

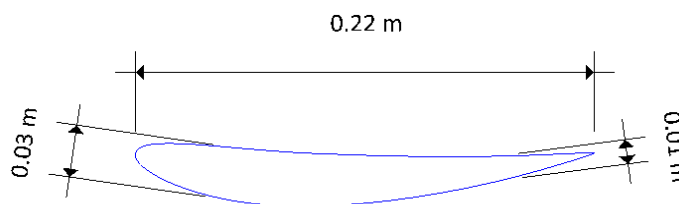


Figura 4.5 Dimensionamiento del perfil principal

Longitud del plano secundario: 1,40 m.

Cuerda plano secundario: 0,07 m.

Espesor del plano secundario: 0,003 m a 0,009 m.

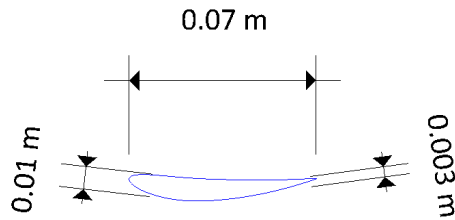


Figura 4.6 Dimensionamiento del perfil secundario

Distancia entre flaps: 0,005 m.

Difusores: Forma trapezoidal proporcional al alerón.

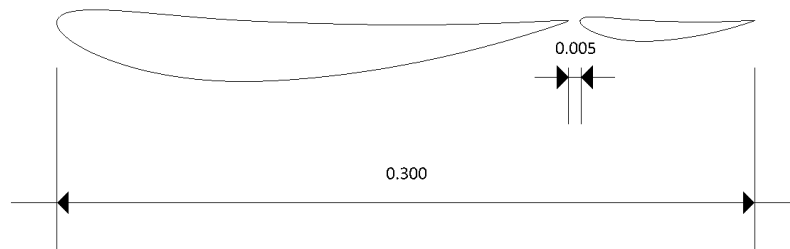


Figura 4.7 Conjunto alerón

4.3 Ubicación efectiva del alerón

Para determinar la posición correcta en la que el alerón deberá ir instalado, hay que basarse en la simulación en FLUENT del automóvil en estudio con el alerón montado en la parte trasera de dicho vehículo; en la cual se adoptó un modelo turbulento y una velocidad de 33,33 m/s. En la siguiente gráfica se puede apreciar las diferencias de presión existentes en todo el contorno del vehículo.

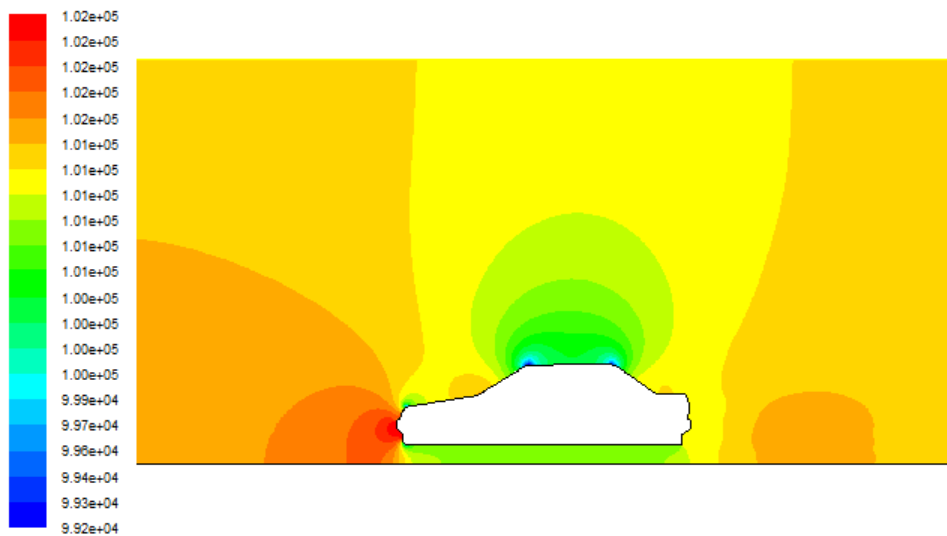


Figura 4.8 Contornos de presión para el automóvil sin alerón

En la siguiente gráfica se puede apreciar las diferencias de velocidad en todo el contorno del vehículo.

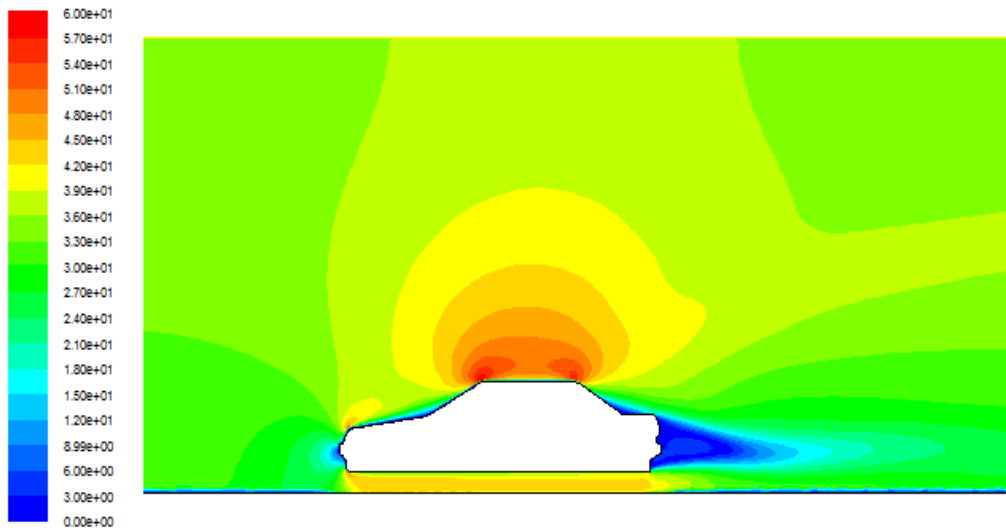


Figura 4.9 Contornos de velocidad para el automóvil sin alerón

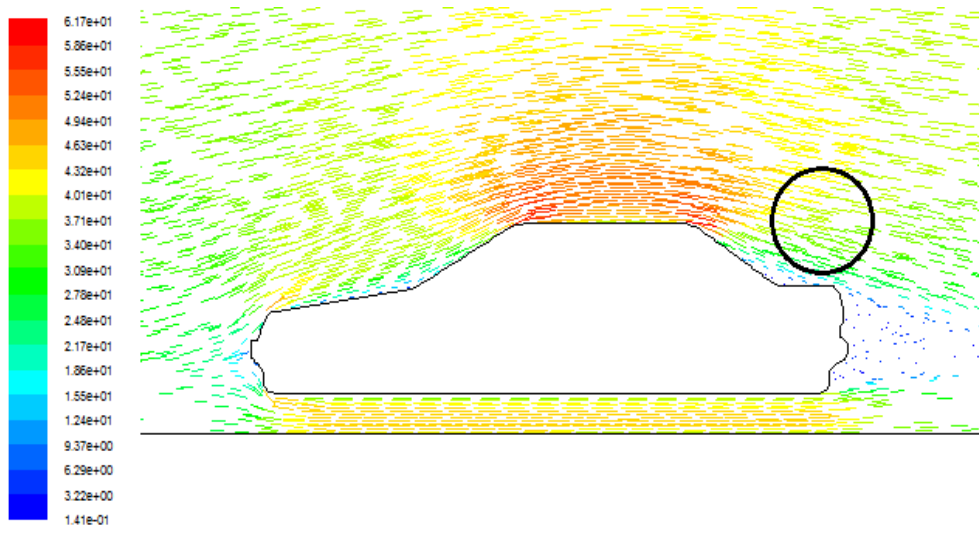


Figura 4.10 Líneas de flujo alrededor del vehículo sin alerón

La zona encerrada en el círculo de la fig.84 muestra la posible ubicación del alerón en base a la velocidad adquirida por el aire, y evitando las zonas de turbulencia que se presentan de azul.

Con la ayuda del programa FLUENT se observan las variaciones tanto en presión como en velocidad alrededor del vehículo y con el alerón montado en la zona de prueba. Para obtener la posición final del alerón se tuvieron que realizar un gran número de simulaciones, hasta encontrar la ubicación más adecuada, en la cual el alerón ofrece mejores prestaciones tanto en carga aerodinámica como en resistencia.

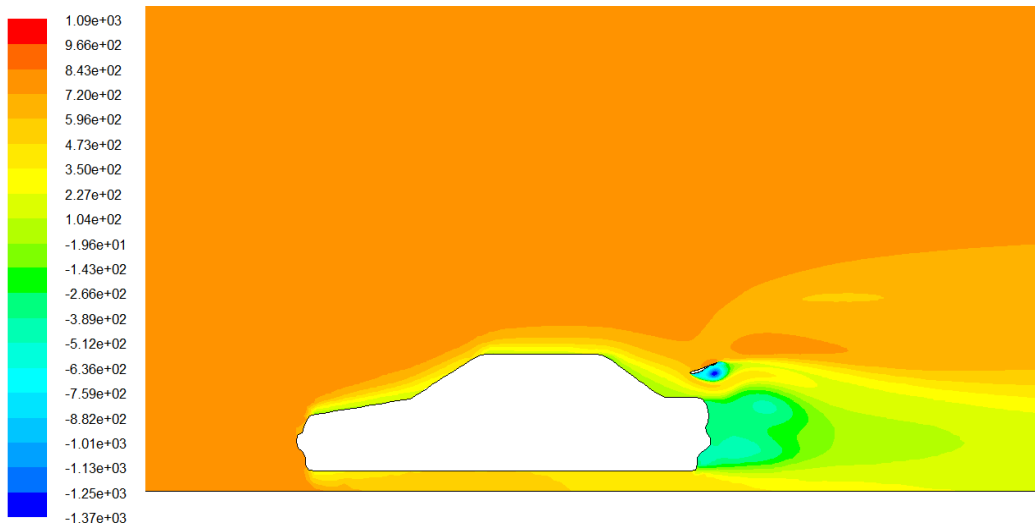


Figura 4.11 Contornos de presión alrededor del automóvil con alerón

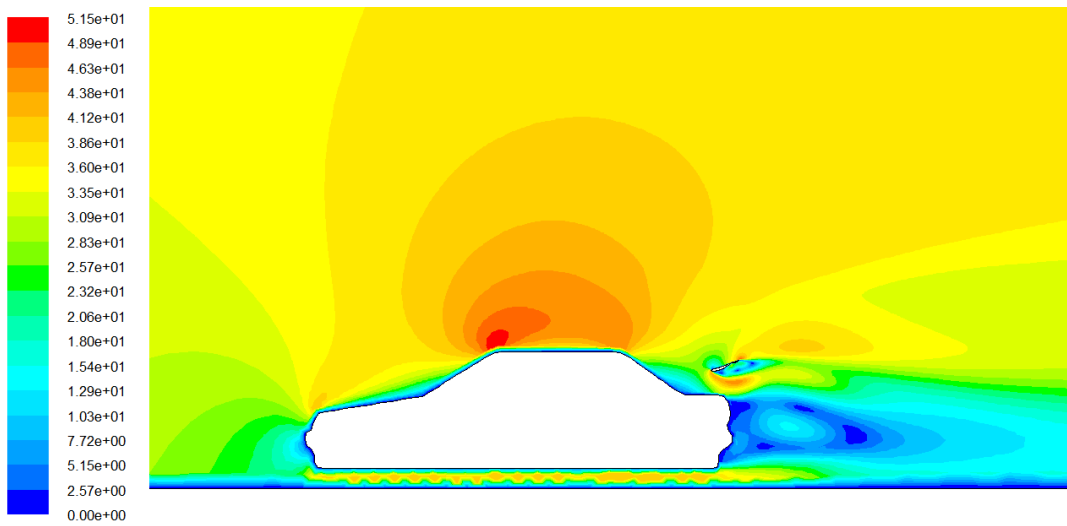


Figura 4.12 Contornos de velocidad alrededor del automóvil con alerón

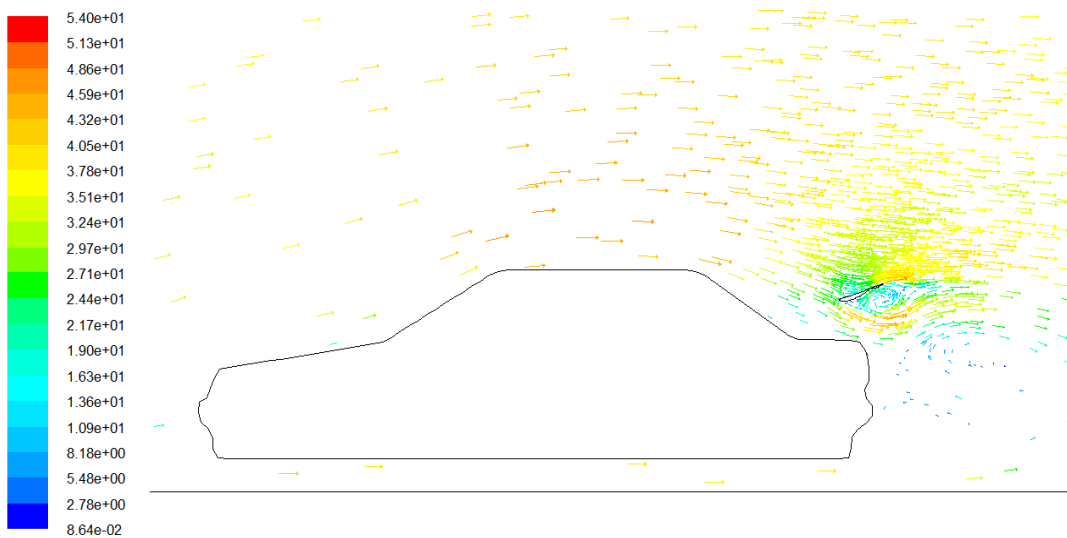


Figura 4.13 Líneas de flujo alrededor del vehículo con alerón

La ubicación efectiva del alerón se encuentra dentro del área dibujada en la Fig. 88 donde se puede apreciar mediante colores las diferentes velocidades y turbulencia (efecto negativo en el alerón), producida por el vehículo en el túnel de viento virtual.

Las velocidades están dentro del rango estimado para la generación de la carga propuesta, y el alerón no está afectado por la turbulencia.

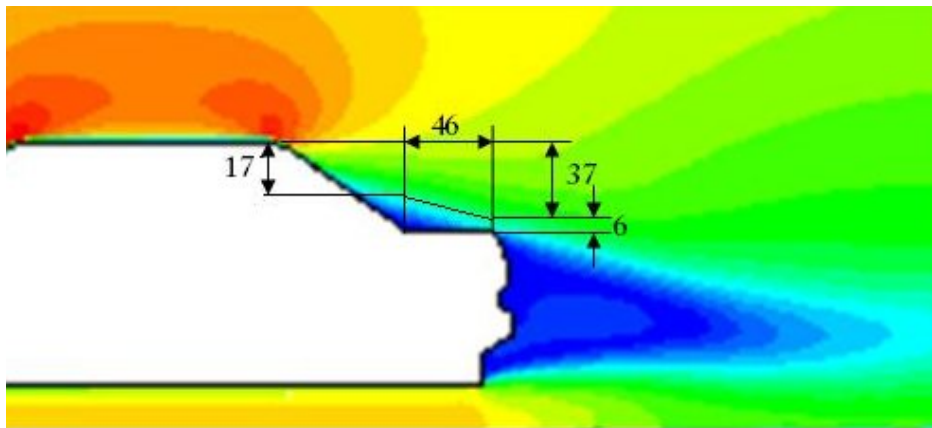


Figura 4.14 Ubicación efectiva del alerón

A continuación se muestra la tabla de resultados de las simulaciones efectuadas para saber dónde se instalará el alerón, basado en el $C_{z_{max}}$. Este coeficiente de sustentación no es el mismo para los dos flaps ya que se encuentran a distintas condiciones ya sean de velocidad del aire, impurezas, zonas de presión, etc.

Tabla 4.2 UBICACIÓN EFECTIVA DEL ALERÓN

MODELO	DISTANCIAS EN CM		Cz	
	A	B	FLAP1	FLAP 2
A	18	14	0,2055	0,0442
B	24	15	0,2394	0,0476
C	24	20	0,3635	0,0737
D	24	25	0,3255	0,0714
E	24	30	0,3236	0,0692
F	30	15	0,3419	0,0663
G	30	20	0,3741	0,0749
H	30	25	0,4189	0,0849
I	30	30	0,3804	0,0744

Se seleccionó el modelo de simulación H ya que la posición a la que se encuentra el alerón en dicho modelo ofrece el mayor coeficiente de anti-sustentación.

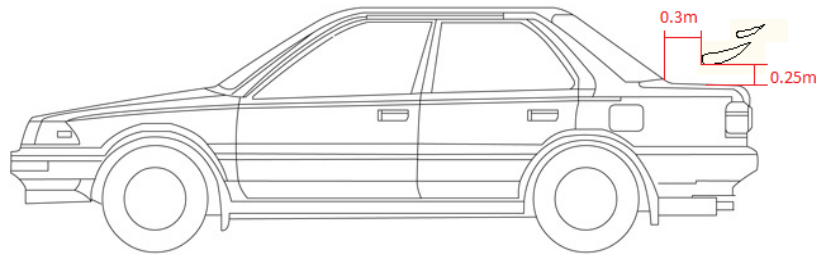


Figura 4.15 Vehículo en análisis

4.4 Carga del alerón

En los apartados anteriores se recolectó la información correspondiente para realizar los cálculos de carga generada por el alerón, mostrándose estos datos a continuación:

$$Cz_1 = 0.4189$$

$$Cz_2 = 0,0849$$

Velocidad del vehículo = 33m/s

Densidad del aire = 1,225 Kg/m³

4.4.1 Cálculo de la carga del alerón

Para el cálculo de la carga se tomara en cuenta dos variantes:

- Cálculo empírico de la carga del alerón.
- Cálculo mediante los datos obtenidos del programa FLUENT.

4.4.1.1 Cálculo empírico

Perfil: NACA 6412

Velocidad: 33m/s

Cz_{1max} a 15°: 0, 4189

Área del plano principal = 0,3108 m²

Longitud de los dos flaps (envergadura) = 1.4 m.

Densidad del aire: 1,225 Kg/m³

Cz_{2max} a 15°: 0, 0849

Área del plano secundario = 0,1064 m²

El cálculo empírico está basado en la siguiente fórmula:

$$= - * * * \quad (4.3)$$

Dónde: ρ es la densidad del aire, C_z es el coeficiente de sustentación, A es el área del alerón y V es la velocidad del móvil elevada al cuadrado.

$$1 = \frac{0,4189 * 1,225 * 1110 * 0,3108}{2}$$

$$1 = 88,51 \cong 19,85$$

$$2 = \frac{0,0849 * 1,225 * 1110 * 0,1064}{2}$$

$$2 = 6,14 \cong 1,38$$

$$= 88,51 + 6,14 = 94,65 \cong 21,23$$

Se observa que la carga es de aproximadamente 22 Lb para el presente proyecto, la carga aerodinámica extra en el vehículo representará mayor velocidad de paso por curva ya que dicha carga extra hará que el vehículo se adhiera mejor a la calzada y se pueda maniobrar el vehículo sin riesgo a perder adherencia.

4.4.1.2 Cálculo mediante los datos de FLUENT

Para el siguiente cálculo se tomarán los datos del programa FLUENT, y se multiplicará por el área ya que el programa da una carga para un área de uno. Entonces la carga real del alerón según el programa será:

Tabla 4.3 POSICIÓN Y CARGA DEL ALERÓN SEGÚN EL PROGRAMA

MODELO	DISTANCIAS EN CM		CARGAS EN NEWTONS		
	A	B	FLAP1	FLAP 2	TOTAL
A	18	14	139,85	30	169,93
B	24	15	162,92	32	195,31
C	24	20	247,38	50	297,53
D	24	25	221,52	49	270,11
E	24	30	220,22	47	267,32
F	30	15	226,05	44	270,05
G	30	20	249,54	49	298,54
H	30	25	279,43	56	335,43
I	30	30	253,63	49	302,63

FLUENT da el valor de la carga expresado en newton pero siendo el valor de $A=1$. A este valor se multiplica por el área efectiva del alerón que será:

$$F = -\rho * C_z * A * V$$

Área del flap1 = 0,3108 m² Carga calculada: 279,43 N Carga real: 86,85 N

Área del flap2 = 0,1064 m² Carga calculada: 56 N Carga real: 5,96 N

La carga efectiva real será: 86,85 N + 5,96 N = **92,81 N = 20,81 lb.**

Para los cálculos del mecanismo de variación se tomará como dato 30 Lb, debido a los errores de cálculo, aumentar el coeficiente de seguridad y otros factores como son: suciedad en el aire, presencia de turbulencia, densidad del aire, temperatura del aire, etc. Que podrían variar la carga del alerón y afectar al mecanismo.

4.4.1.3 Potencia absorbida por el alerón.

La potencia absorbida por carga aerodinámica, es otro detalle a prestar atención ya que si le agregamos exceso de carga aerodinámica la potencia absorbida será muy elevada, y el motor no respondería a las necesidades de la calzada y del conductor. Para este cálculo se necesita del valor de C_x obtenido de la siguiente tabla:

Tabla 4.4 POSICIÓN Y CX DEL ALERÓN SEGÚN FLUENT

MODELO	DISTANCIAS EN CM		Cx	
	A	B	FLAP1	FLAP 2
A	18	14	0.0663	0.0162
B	24	15	0.0713	0.0162
C	24	20	0.1208	0.0235
D	24	25	0.1098	0.0236
E	24	30	0.1094	0.0235
F	30	15	0.1078	0.0219
G	30	20	0.1278	0.0268
H	30	25	0.1443	0.0303
I	30	30	0.1295	0.0252

$$= \frac{* *}{* *} \quad (4.4)$$

$$1 \quad = \frac{0,1443 * 0,3108 * 1110}{1225}$$

$$1 \quad = \frac{49,78}{1225} = 0,041$$

$$2 \quad = \frac{0,0303 * 0,1064 * 1110}{1225}$$

$$2 \quad = \frac{3,58}{1225} = 0,00331$$

$$= 0,041 + 0,00331 = 0,04433$$

De los cálculos anteriores se puede observar que la resistencia que ofrece el alerón al aire, no es lo suficientemente grande como para disminuir la potencia y el rendimiento del motor de una manera considerable, razón por la cual no es necesario someter el vehículo a pruebas en el dinamómetro ya que sería un gasto innecesario y casi imperceptible de visualizar.

4.5 Selección del material a utilizar

Elegir los materiales más apropiados para fabricar un componente en particular dependerá de una serie de factores, tales como:

- La familiaridad que tenga con ese material y los métodos de fabricación necesarios.
- Los requisitos estructurales y físicos del componente.
- Los costes del material en relación con el presupuesto.
- El número de piezas de repuesto que quisiera tener.

Los componentes sencillos, tales como el difusor, o los separadores de flujo, que son prácticamente planos y sin curvatura, pueden fabricarse de madera contrachapada, metal en planchas o de fibra de vidrio.

Los componentes con una sola curvatura o curvados en un solo plano, tales como los alerones sencillos, pueden hacerse de metal o fibra, mientras que los componentes con curvaturas complejas, como las cajas de aire o separadores más complejos, es más conveniente fabricarlos con fibra de vidrio o carbono.

Los alerones pueden estar hechos de:

- Aluminio o acero.
- Aluminio sobre una estructura hecha de madera.
- Fibra en su totalidad.

Esto cubre una amplia gama de posibles métodos, pero algo común que deben tener es la necesidad de una subestructura que ofrezca al alerón la rigidez y la resistencia adecuada, así como un método de sujeción. Los componentes y sus monturas tienen que estar a la altura en términos de integridad estructural, y deben ser resistentes en concordancia con los requerimientos, tomando en cuenta una de las partes más críticas como es el peso, ya que debe ser lo más ligero posible para mejorar las prestaciones del coche.

Las cargas que los alerones crean son proporcionales a la velocidad del vehículo, y por esto los componentes deben resistir todas las circunstancias y todas las cargas que se les impone. Los materiales que se tomarán en cuenta para el desarrollo del alerón será: aluminio, plástico

y fibra de vidrio, debido a la disponibilidad en el mercado ecuatoriano y sus diferentes propiedades tanto mecánicas como físicas.

4.5.1 Aluminio

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad (2.7 g/cm^3) y su alta resistencia a la corrosión. Mediante aleaciones adecuadas se puede aumentar sensiblemente su resistencia mecánica (hasta los 690 MPa). Es buen conductor de la electricidad y del calor, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato.

Mecánicamente es un material blando y maleable. En estado puro tiene un límite de resistencia en tracción de $160\text{-}200 \text{ N/mm}^2$ [$160\text{-}200 \text{ MPa}$]. Todo ello le hace adecuado para la fabricación de cables eléctricos y láminas delgadas, pero no como elemento estructural. Para mejorar estas propiedades se alea con otros metales, lo que permite realizar sobre él operaciones de fundición y forja, así como la extrusión del material.

Tabla4.5 PROPIEDADES DEL ALUMINIO

Rigidez relativa de aluminio laminado de 2 capas y 1,2 mm			
Material	Peso relativo	Deflexión , mm	Rigidez relativa
CSM / resina de poliéster	1,00	35	1,00
Kevlar / resina de poliéster	0,94	22	1,69
Carbono / resina de poliéster	0,79	25	1,77
Carbono / epoxy	0,84	21	1,98
Carbono / Coremat / resina de poliéster	1,87	1	18,72
Carbono / Nomex / epoxy	1,27	0,5	55,12
Carbono pre-preg	0,78	35	1,28
Aluminio	2,62	2,5	5,34

Los alerones de aluminio son razonablemente baratos de construir, y este es el principal motivo de su popularidad, pero tienen la desventaja de ser más pesados de lo necesario, además que se abollan fácilmente con cualquier golpe. El borde de ataque puede dañarse con facilidad.

4.5.2 Plástico

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominados polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

Los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material pasa de estado sólido a estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico. Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos son estas:

- Fáciles de trabajar y moldear.
- Tienen un bajo costo de producción.
- Poseen baja densidad.
- Suelen ser impermeables.
- Buenos aislantes eléctricos.
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas.
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.
- Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

La fabricación de los alerones de plástico no es muy recomendada ya que debido a sus propiedades de flexibilidad no responde a los requerimientos de los componentes aerodinámicos, para ello se ha empleado almas o bases en su interior que permite aumentar su rigidez, pero con la desventaja de que su peso aumenta crucialmente, disminuyendo así sus beneficios en la aerodinámica.

4.5.3 Fibra de vidrio

Las fibras de vidrio están constituidas fundamentalmente por sílice, que se combina con diferentes óxidos (alúmina, alcalinos y alcalinotérreos), que en función de sus respectivos porcentajes permiten modificar las características de la fibra resultante.

La elevada resistencia que poseen las fibras de vidrio es producida por los enlaces covalentes entre el silicio y los radicales de oxígeno. Las principales características de la fibra de vidrio son:

- Excelente resistencia mecánica (resistencia a la tracción y fatiga).
- Resistencia a la humedad (debe sin embargo evitar la humedad antes de la laminación porque perjudica la unión con la resina).
- Excelente aislante eléctrico
- Débil conductividad térmica.
- Tendencia a la maleabilidad
- Bajo alargamiento.
- Excelente adherencia a la matriz (utilizando recubrimientos apropiados para cada tipo de resina).
- Alta vida útil

La mayoría de los competidores en el mundo del motor están familiarizados con el plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

- Resistencia a flexión (MPa): 80 – 140
- Resistencia a tracción (MPa): 40 – 85
- Módulo de tracción (GPa): 2 – 3.5
- Porcentaje de elongación: 1,2 – 4,8

En su forma más barata y sencilla, la fibra de vidrio entrelazado al azar se sitúa en una matriz de resina de poliéster curada, con la que se consigue un medio duro, resistente y relativamente ligero, que puede extenderse o depositarse con pinceles u otras herramientas, en varias formas complejas, con el fin de crear paneles, morros, difusores, alerones, y prácticamente todos los componentes mencionados.

4.6 Esfuerzo máximo del alerón.

El alerón va a estar sometido principalmente a flexión, por lo que se tendrá que realizar una comparación entre el esfuerzo de flexión máxima del alerón, y el esfuerzo máximo permisible del material, para saber si el material va soportar nuestros requerimientos aerodinámicos, en cuanto a carga se refiere. La fórmula para el cálculo de esfuerzo máximo por flexión viene dado por la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{M}{I} e \quad (4.5)$$

Donde M es el momento flexionante máximo, e es la distancia de la fibra superficial al eje neutro, I es el momento de inercia con respecto al eje, para el presente cálculo se tomó como dato de carga 50 lb por diversos factores a los que el alerón estaría sometido independientemente de la carga.

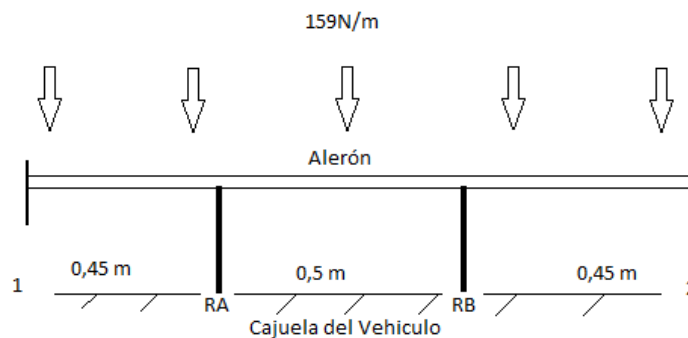


Figura 4.16 Ubicación de la carga generada por el alerón

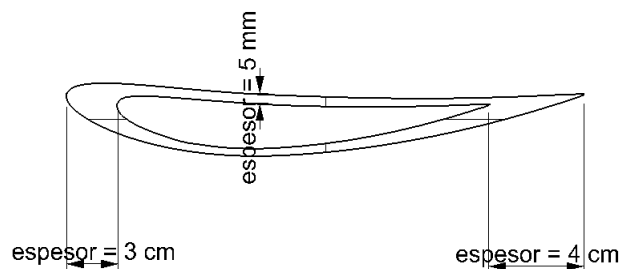


Figura 4.17 Espesores del alerón

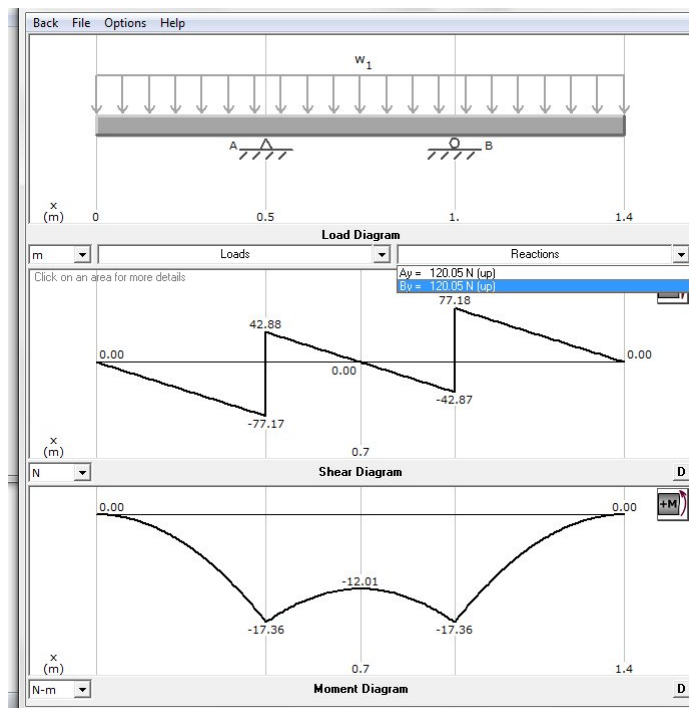


Figura 4.18 Momento máximo del alerón

El momento máximo es = 17.36 Nm; continuando con el cálculo se obtienen: el centro de gravedad, el área, y los momentos de inercia del perfil; utilizando como herramienta de cálculo el programa RHINOCEROS.

El área del alerón se encuentra representada en la figura que se observa a continuación:

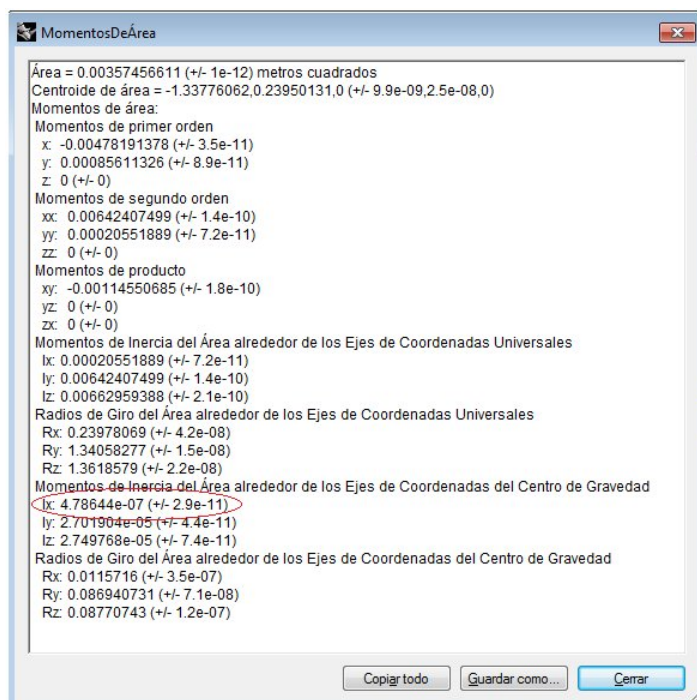


Figura 4.19 Momentos de área calculados por el programa RHINOCEROS

El momento de inercia fue calculado en Rhinoceros, debido a la complejidad de la forma del perfil.

$$= 4,7864$$

Con estos datos se procede a la realización de los cálculos correspondientes:

$$= \frac{17,36 * 0,015}{4,7864} ()$$

$$= 544041,45 ()$$

$$= 0,54$$

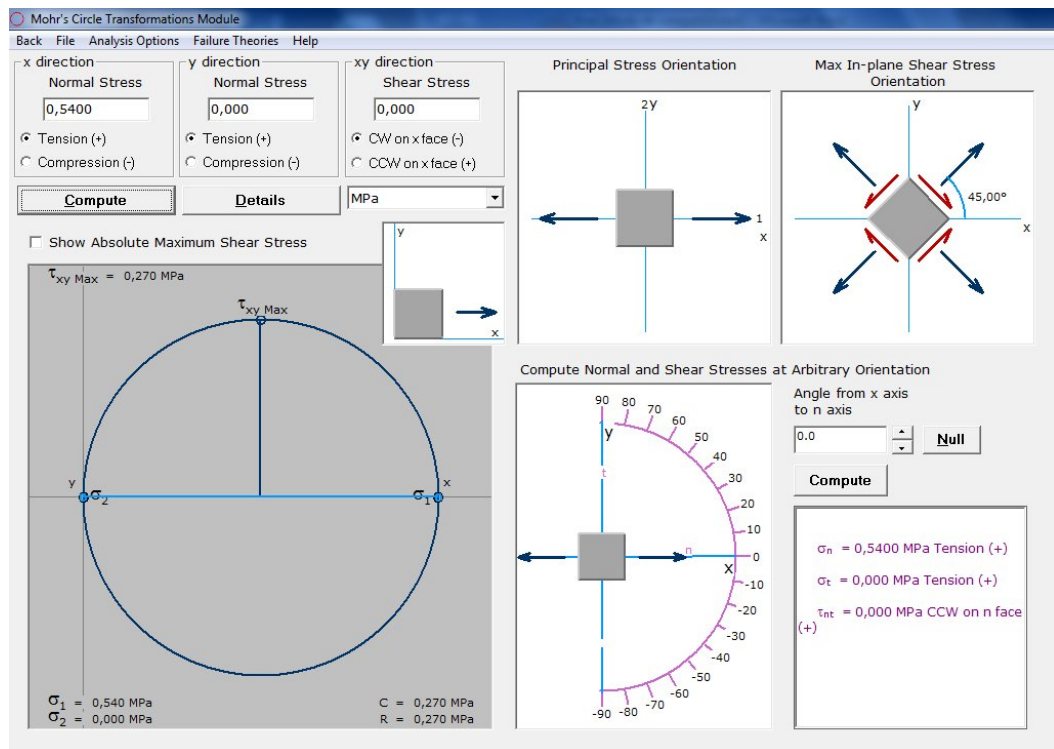


Figura 4.20 Cálculo esfuerzo cortante máximo en MDSolids

$$= 0,27$$

4.7 Material a emplear en el alerón

Para la fabricación del alerón se tomara en cuenta el material que tenga mejores propiedades, tanto mecánicas, de moldeado, y que sea de bajo costo, tomando en cuenta las ofertas que el

mercado ecuatoriano ofrezca. El peso también desempeña un papel muy importante en la selección del material; para esta aplicación se necesita un material muy liviano, además que se pueda modificar con facilidad. Primero estudiaremos el comportamiento mecánico de cada uno de estos, y sus atributos como elementos aerodinámicos.

Tabla4.6 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LOS TRES MATERIALES A UTILIZAR EN EL ALERÓN.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	COSTO (\$)
ALUMINIO	110	Elevado
PLASTICO	40	Elevado
FIBRA DE VIDRIO	40 - 85	Aceptable

Tabla4.7 SELECCIÓN DEL MATERIAL A EMPLEARSE

σ_{\max} del alerón (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Maleabilidad	Costo	
0,54 <	110 Aluminio	★	Elevado	Soldadura especial
	40 Plástico	★★	Elevado	Creación de la matriz
	50 Fibra de vidrio	★★★	Aceptable	Moldeo y Resinado

Como el esfuerzo máximo del alerón es menor a los permisibles por todos los materiales en prueba, se deberá tomar otro camino para la selección del material. Por lo tanto se tomará el material que mejor facilidades de moldeo tenga, en este caso la fibra de vidrio, porque el aluminio resulta difícil de moldear, y el plástico es muy flexible, además de los costos en producción.

Entonces el material seleccionado para el alerón será la fibra de vidrio, tanto por sus características mecánicas, aerodinámicas y por su facilidad de encontrar en el mercado ecuatoriano.

4.8 Mecanismo de variación del ángulo del alerón

Para el mecanismo de variación se analizará tres posibles diseños:

1. *Que varié todo el conjunto de flaps.*

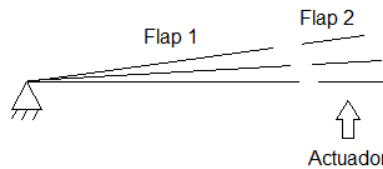


Figura 4.21 Mecanismo de variación 1

La ventaja de este sistema radica en la disminución de actuadores, evitando el aumento en el peso del mecanismo y siendo solo dos los que varíen la posición del alerón. En este caso los dos flaps variarán conjuntamente, y también se puede cambiar el ángulo de ataque de forma manual.

2. *Que varié solo el segundo flap.*

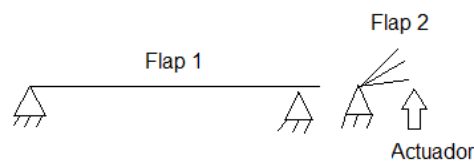


Figura 4.22 Mecanismo de variación 2

Este tipo de variación no es tan eficiente ya que la carga generada por el flap principal no va a variar (tan solo por la velocidad del vehículo), y como consecuencia no actuará de la forma esperada. En este sistema se observa que el actuador solo cambiará la posición del segundo flap y la generación de carga de este flap no es lo suficiente para cumplir las necesidades aerodinámicas del vehículo.

3. *Que varié cada flap individualmente.*

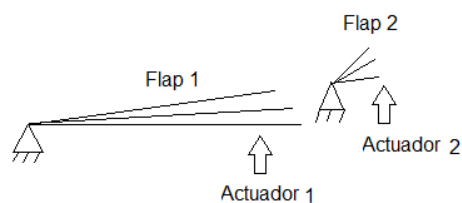


Figura 4.23 Mecanismo de variación 3

Es una de las formas más eficientes con la desventaja de que el flap secundario entra en pérdida muy rápido; porque al flap secundario se le suma los grados del flap principal más la variación del secundario. Además el número de actuadores se incrementarán a mínimo cuatro y lo que conllevará a un aumento en el peso del mecanismo.

En conclusión el Mecanismo de variación 1 es el más efectivo para este proyecto, primero por la facilidad de construcción y manipulación ya que lleva solo dos actuadores para la variación del ángulo, segundo por costos de fabricación ya que utilizar más actuadores implicaría un gasto innecesario y tercero porque al aplicar un número menor de actuadores disminuye considerablemente el peso de todo el conjunto.

4.8.1 El diseño del mecanismo.

Primero se empieza con el cálculo de las reacciones en los soportes, la carga que deben soportar y el mecanismo más eficiente para la variación del ángulo de ataque del alerón de posición variable.

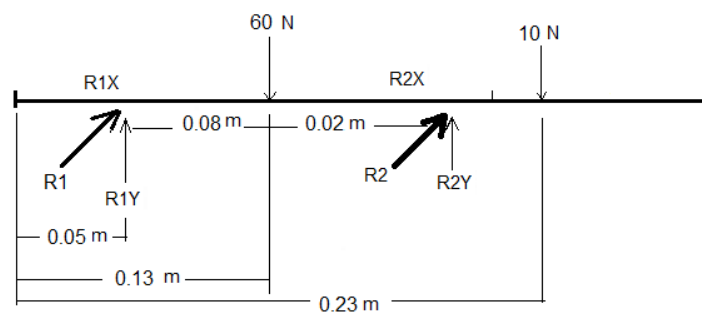


Figura 4.24 Diagrama de las reacciones de los soportes

$$\sum F_x = 0$$

$$R1X + R2X = 70$$

$$R1X = 70 - 66 = 4 \cong 0,89$$

$$\sum M_1 = 0$$

$$R2Y \cdot 0,13 = 0,08 \cdot 60 + 0,18 \cdot 10$$

$$R2Y = 66 \cong 14,8$$

$$R1X = 70 - 66 = 4 \cong 0,89$$

$$= \frac{1}{2} = 26,5 \quad (4.6)$$

$$\dot{n} =$$

$$\dot{n} = 26,5 \cdot 3$$

$$\dot{n} = 79,5 \quad .$$

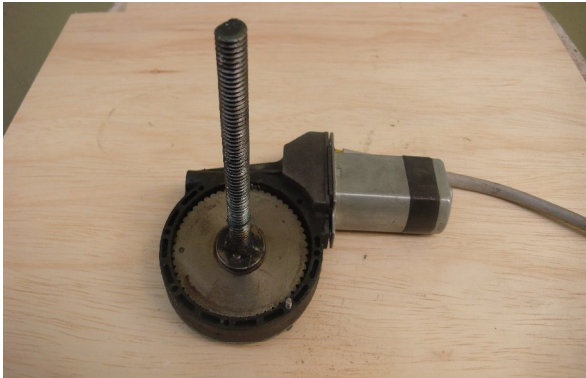


Figura 4.28 Reductor acoplado

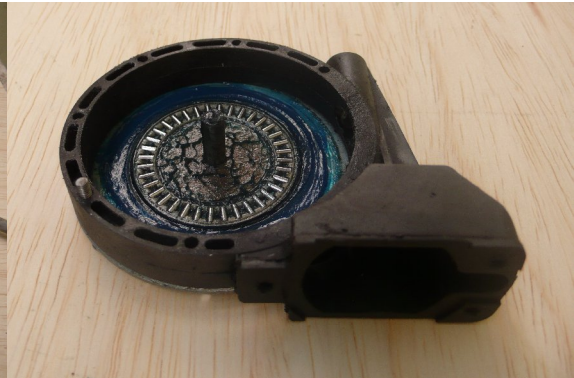


Figura 4.29 Carcasa del reductor.

Carga a la que está sometido el mecanismo = 86,16 N = 8,78 kg

Diámetro del tornillo = 0,9525 cm

Entonces el torque generado en el tornillo es de = 8,78 kg x 0,476 cm = 4,18 kg.cm

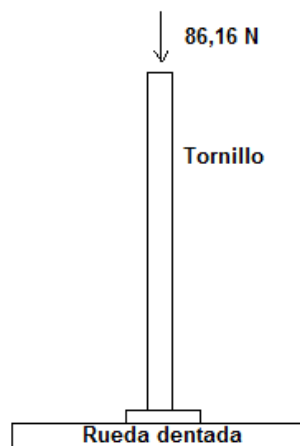


Figura 4.30 Vista frontal del reductor

$$< \dot{n}$$

$$4,18 \text{ kg.cm} < 79,5 \quad .$$

El torque de la rueda dentada es mayor al torque generado por la carga del alerón. Para saber si el tornillo no fallara se analizara en un programa de análisis de esfuerzos para evaluar mediante la teoría de EULER sobre COLUMNAS, y saber si el tornillo no sufrirá fallas por pandeo.

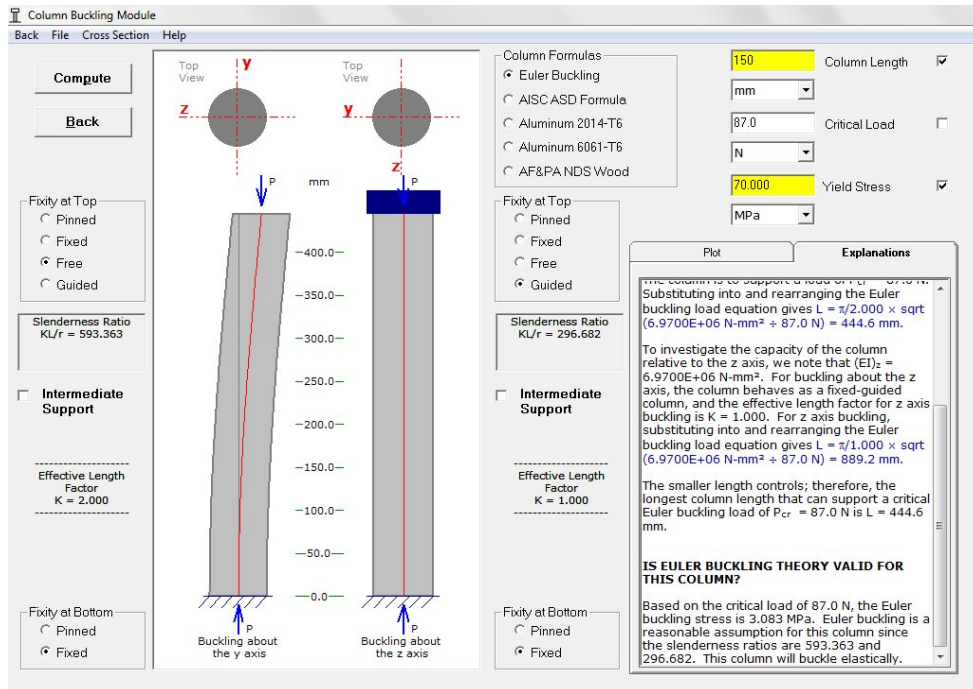


Figura 4.31 Análisis del tornillo en el programa MDSolid

Como se puede apreciar en la figura anterior y según la teoría de EULER el tornillo trabaja en modo elástico permitiendo así la utilización de este, y se puede observar según el programa que al tornillo se le puede ejercer una carga máxima de 360 N antes de entrar en la zona plástica. En conclusión el mecanismo funciona perfectamente y puede levantar con facilidad la carga a la que se encuentra sometido.



Figura 4.32 Partes constitutivas del variador



Figura 4.33 Guía del variador

4.9 Material a emplear en el mecanismo

Para elegir el material a emplear se tomará en cuenta la propiedades de los ejes y los tubos de acero, y se optará por cualquiera de estos según convenga.

Entonces cual elegir? Principalmente la estética y resistencia son los factores que se deben tomar en cuenta para la elección del material, entonces, si optamos por ejes de transmisión el conjunto en general se verá afectado por un aumento considerable en el peso y se verá aerodinámicamente antiestético. Entonces si elegimos los tubos, la resistencia de los mismos cumplirá con los requerimientos mecánicos que se necesitan, además el conjunto en general será sumamente liviano, además que hay que tomar en cuenta que solo servirán como guías del mecanismo variador.

4.10 Elementos constitutivos del alerón

4.10.1 Conjunto del alerón

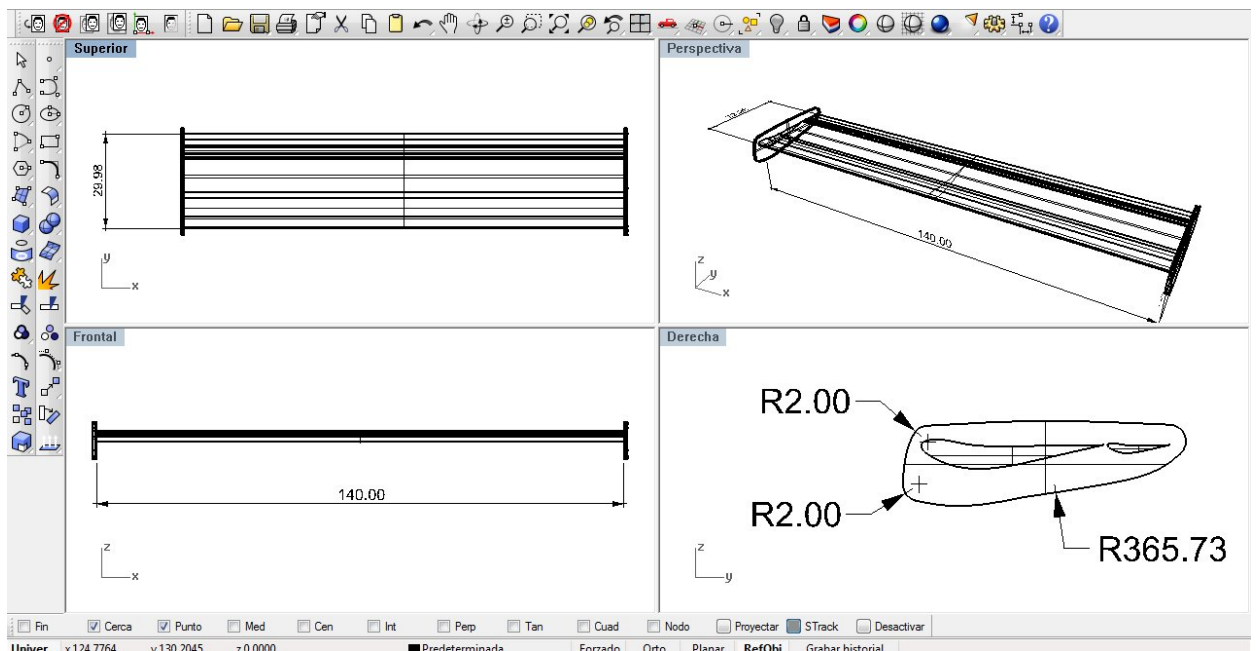


Figura 4.34 Perspectivas del ala

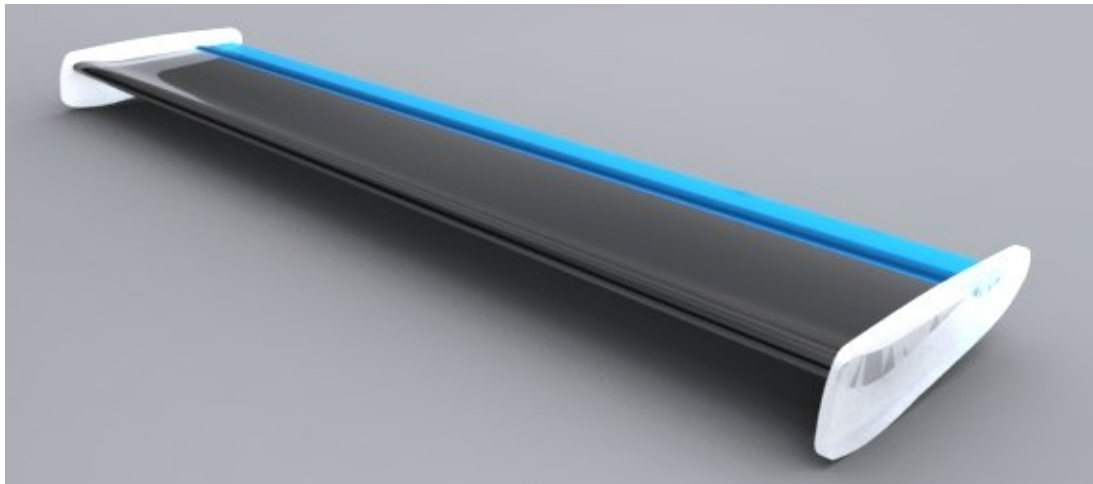


Figura 4.35 Ala renderizada en HIPERSHOT



Figura 4.36 Ala terminada



Figura 4.37 Ala terminada II

4.10.2 Mecanismo de variación del alerón

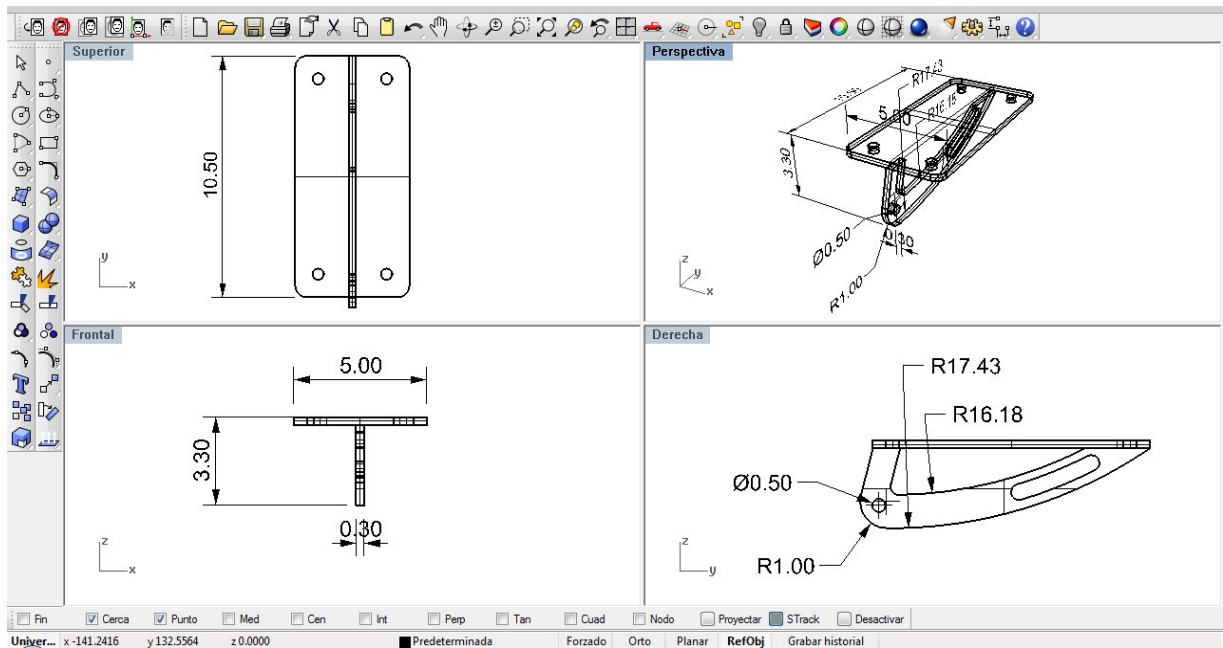


Figura 4.38 Perspectivas del mecanismo de variación

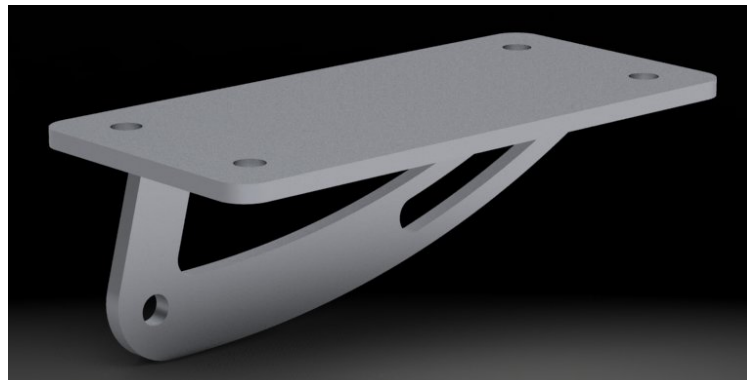


Figura 4.39 Mecanismo de variación renderizado



Figura 4.40 Mecanismo de variación terminado

4.10.3 Soporte base del alerón

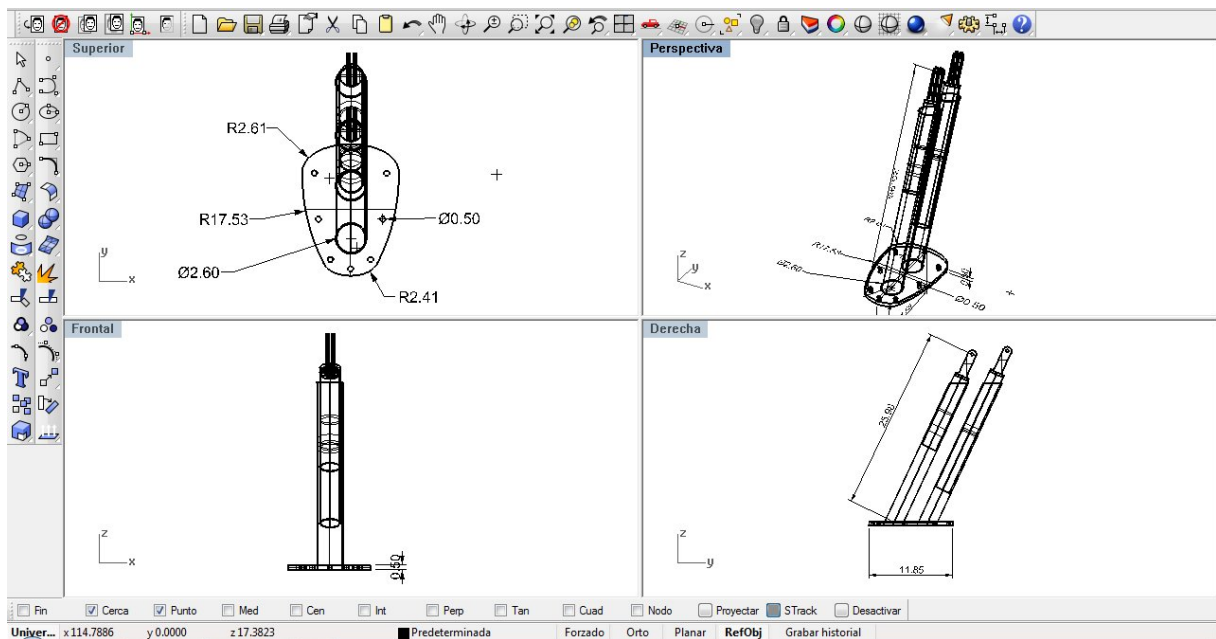


Figura 4.41 Perspectivas del soporte

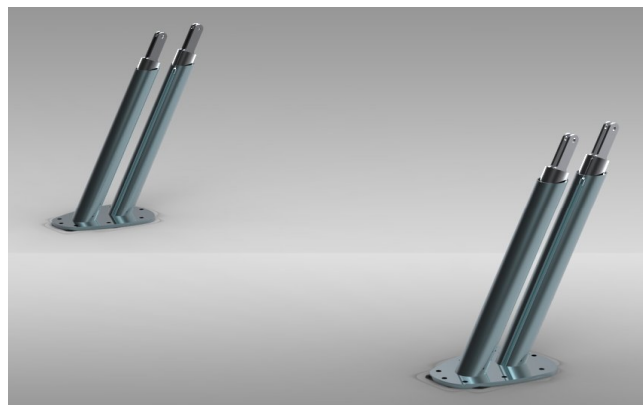


Figura 4.42 Soporte renderizado



Figura 4.43 Soporte terminado

4.10.4 Conjunto mecanismo de variación.

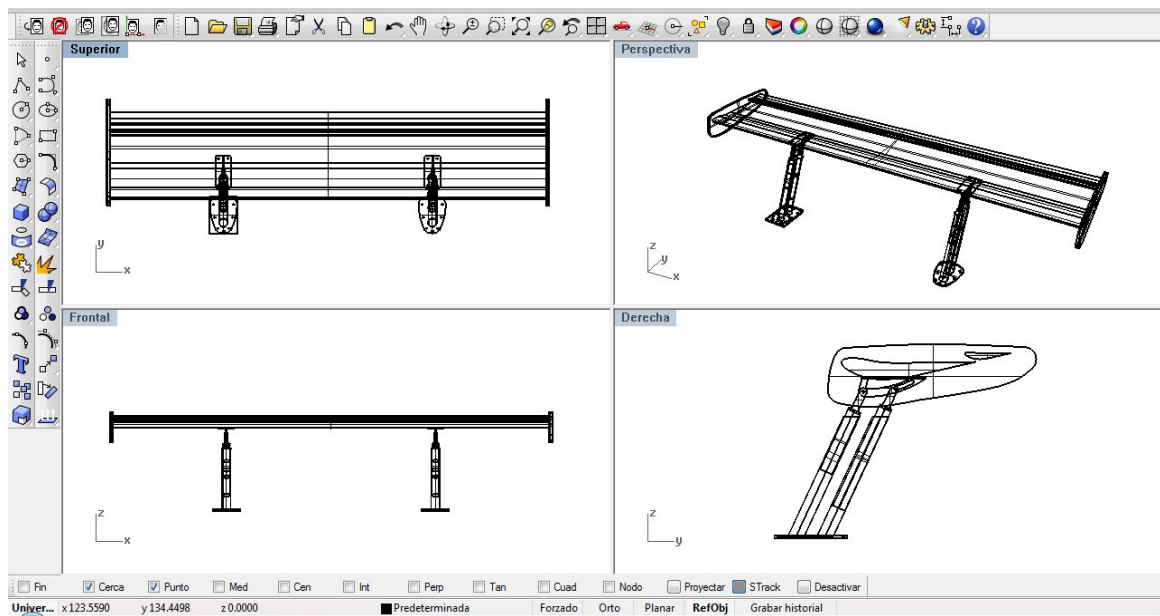


Figura 4.44 Perspectivas del conjunto

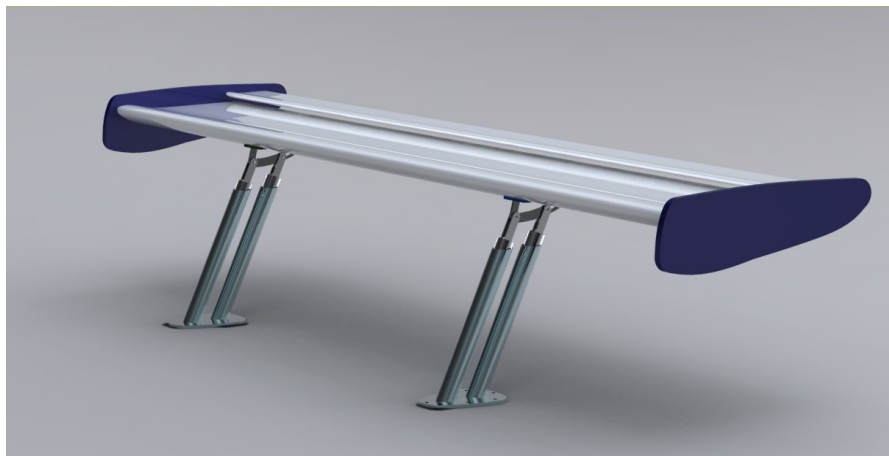


Figura 4.45 Conjunto renderizado



Figura 4.46 Conjunto terminado

CAPÍTULO V

5 EL MÓDULO DE CONTROL

5.1 Elementos del sistema de control del alerón

El control se puede realizar de dos formas: manual y automático según las exigencias del conductor. En síntesis el módulo de control se basará en las señales generadas por los sensores: TPS (ángulo de ataque del alerón), celda de carga y del sensor de velocidad, para modificar la posición del alerón y a la vez poder visualizar estos datos en el interior del vehículo en una pantalla, y poder controlar los motores de variación de ángulo del alerón. A continuación se muestra una gráfica del sistema de control simplificado.

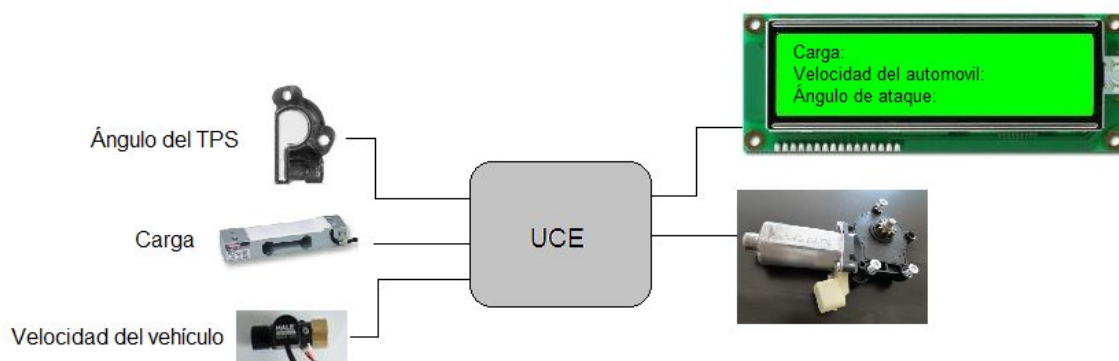


Figura 5.1 Esquema completo del sistema del control

Listado de componentes principales del módulo de control:

- PIC 16F877A
- Dos motores de CC
- TPS
- Celda de carga (mide la carga en función de la variación de voltaje)
- Sensor de Velocidad
- LCD, Relevadores, Diodos, Resistencias, Leds, Potenciómetros, etc...

5.1.1 Datos de entrada y de salida

Para la variación del alerón se tomará en cuenta dos tipos de control:

- Que varié en función de la carga y
- Que varié en función del ángulo del alerón entonces se tiene que:

Que varié en función de la carga

En este caso la variable a controlar es la carga del alerón independientemente del ángulo que este tenga.

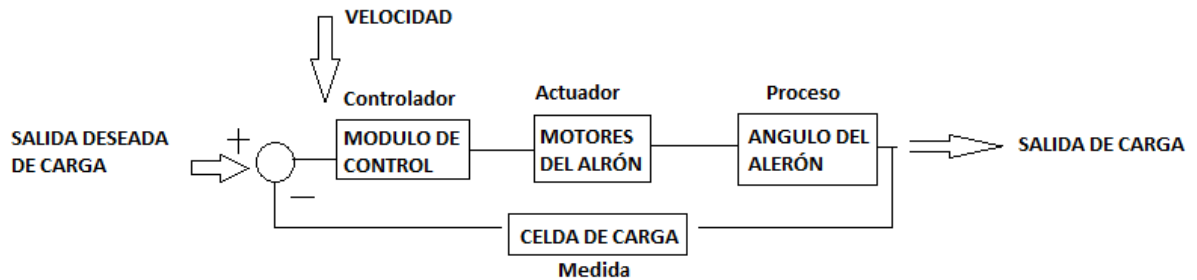


Figura 5.2 Diagrama de bloques 1

La principal desventaja de este control automatico es su alteracion de las señales por las vibraciones ya que la celda de carga es muy sensible.

Que varié en función del ángulo del alerón

En este caso la variable a controlar es el ángulo de ataque del alerón independientemente de la carga que este genere.

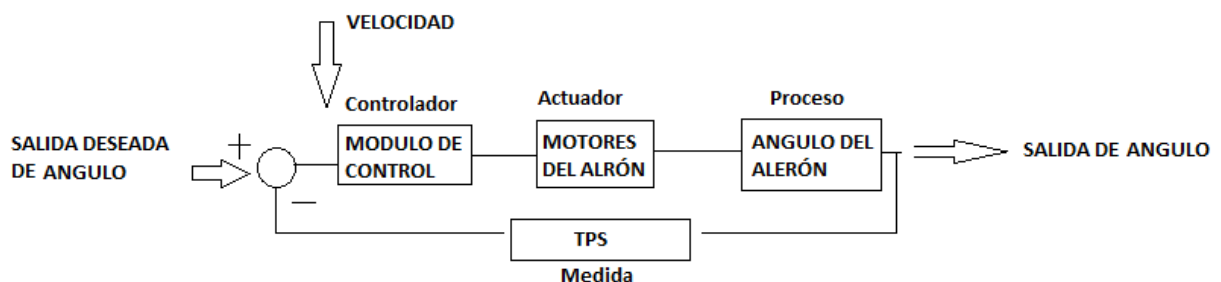


Figura 5.3 Diagrama de bloques 2

De los dos casos en cuestión se ha visto que el caso 2 es el que mejor se acoge a las necesidades requeridas, ya que con las vibraciones debido a la calzada la carga generada tomará otro valor. Consecuentemente si se toma como prioridad el ángulo del alerón entonces, se podría ir configurando la variación de la posición angular del mismo según las necesidades de carga del vehículo.

5.1.1.1 Funcionamiento del TPS

El TPS para esta aplicación tiene la siguiente configuración:

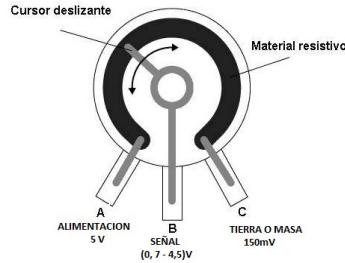


Figura 5.4 Configuración del TPS

De los datos recolectados se puede observar que la variación de voltaje es muy pequeña entre ángulos (0,03 – 0,57) V, dificultado así el control de los motores para la variación del ángulo del alerón, así que por lo tanto la variación angular será en tres posiciones (0, 9 y 15) °, para un efectivo control de los motores.

Tabla. 5.1 VARIACIÓN DE SEÑAL DEL TPS EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DEL ALERÓN

VARIACIÓN DE SEÑAL DEL TPS EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DEL ALERÓN				
	SEÑAL TPS (V)			
ÁNGULO (°)	DATO 1	DATO 2	DATO 3	PROMEDIO
0	2,42	2,41	2,41	2,41
5	2,46	2,48	2,46	2,47
10	2,50	2,52	2,51	2,51
15	2,56	2,57	2,55	2,56
20	2,61	2,63	2,61	2,62

Tabla. 5.2 ÁNGULO DE FUNCIONAMIENTO DEL ALERÓN

ÁNGULOS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALERÓN			
ÁNGULO (°)	DATO 1	DATO 2	DATO 3
0	2,42	2,41	2,41
9	2,49	2,50	2,48
15	2,56	2,57	2,55

Por lo tanto el alerón tendrá esta variación:

Tabla. 5.3 ÁNGULO DE FUNCIONAMIENTO DEL ALERÓN SEGÚN TPS Y A 120
KM/H

Voltaje TPS (V)	Angulo (°)	Carga (Lb)
2,40 – 2,43	0	5 a 10
2,48 – 2,50	9	10 a 20
2,55 – 2,57	15	25 a 30

5.1.1.2 Mediciones de pulso del sensor de velocidad

Este sensor es de tipo inductivo y genera una señal cuadrada de 0 y 12V, para esta aplicación se debe hallar primero la relación distancia/señal para poder hallar la velocidad del vehículo en función de los pulsos generados por el sensor, para lo cual se estableció lo siguiente.

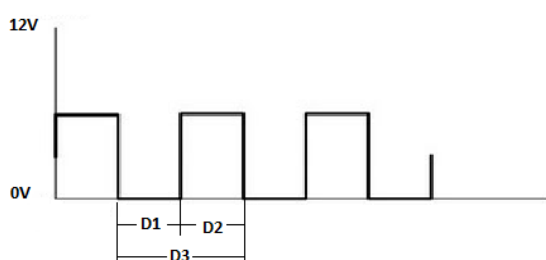


Figura 5.5 Configuración de la señal del sensor de velocidad

De lo cual se obtuvo los siguientes datos:

Tabla. 5.4 PULSO DEL SENSOR EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

PULSO DEL SENSOR EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA			
DATO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)
1	79	67	146
2	80	69	149
3	77	72	149
4	77	74	151
5	81	70	151
6	80	72	152
PROMEDIO	79	70,67	149,67

Como se puede apreciar en 79cm el sensor emite una señal de 0V, y durante 70,67cm el sensor emite una señal de 12V y cumple un ciclo de funcionamiento a los 149,67cm. Este sensor ayudará al control del alerón en función de la velocidad, generando la carga según los requerimientos de la calzada y del conductor.

5.1.1.3 Amperaje requerido por los motores para la variación del ángulo del alerón

Para este caso se consta con dos motores de CC con un torque de 3Kg.cm que irán instalados de tal forma que el ángulo del alerón sea preciso y no se corra el riesgo de falla, para esto se hará un mecanismo de piñones que incrementarán el torque de los motores, como se vio en el capítulo anterior. Para obtener los datos de la siguiente tabla se sometieron a pruebas de carga los motores con sus respectivos mecanismos reductores y mostrando los siguientes datos:

Tabla. 5.5 AMPERAJE REQUERIDO POR LOS MOTORES

AMPERAJE REQUERIDO POR LOS MOTORES	
Carga (Lb)	Consumo (A)
0	1 (moverse)
5	1,1 - 1,45
10	1,5 - 1,75
15	1,6 - 2
20	1,7 - 2,3
25	2,2 - 2,7
30	3 - 3,4
35	3,3 - 3,7

Esta tabla ayudará a saber con qué rangos de Amperaje funciona el motor y saber hasta que carga puede elevar, y además para tomar en cuenta al momento de realizar el control de los mismos, ya que si no se eligen los elementos suficientemente resistentes a este amperaje, el módulo de control se podría echar a perder.

5.1.1.4 Mediciones de las variaciones de voltaje de la celda de carga

Para nuestro caso se utiliza una celda de carga de un solo punto de apoyo, teniendo esta una capacidad de carga máxima de 40 kg, y teniendo los siguientes datos de variación de voltaje:

Tabla. 5.6 VARIACIONES DE VOLTAJE DE LA CELDA DE CARGA

carga (lb)	voltaje 2	voltaje 1	Promedio
0	2.58	2.59	2.585
1	2.6	2.6	2.6
2	2.61	2.61	2.61
3	2.62	2.62	2.62
4	2.64	2.63	2.635
5	2.65	2.66	2.655
10	2.71	2.71	2.71
15	2.76	2.76	2.76
20	2.83	2.83	2.83
25	2.9	2.91	2.905
30	2.97	2.98	2.975
35	3.02	3.03	3.025
40	3.09	3.1	3.095
45	3.15	3.17	3.16
50	3.21	3.22	3.215

5.2 Diseño del circuito de control

Para el diseño del circuito de control, se ha visto la necesidad de contar con ayuda extra, debido a la falta de conocimiento en sistemas de control, programación y fabricación de placas complejas.

Primero se empieza con la obtención de las variables principales y los datos necesarios para la programación de los diversos micros controladores que se utilizarán en la simulación en el programa PROTEUS.

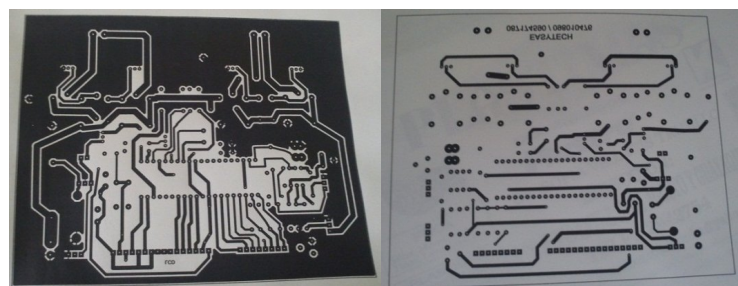


Figura 5.6 Generación de las pistas

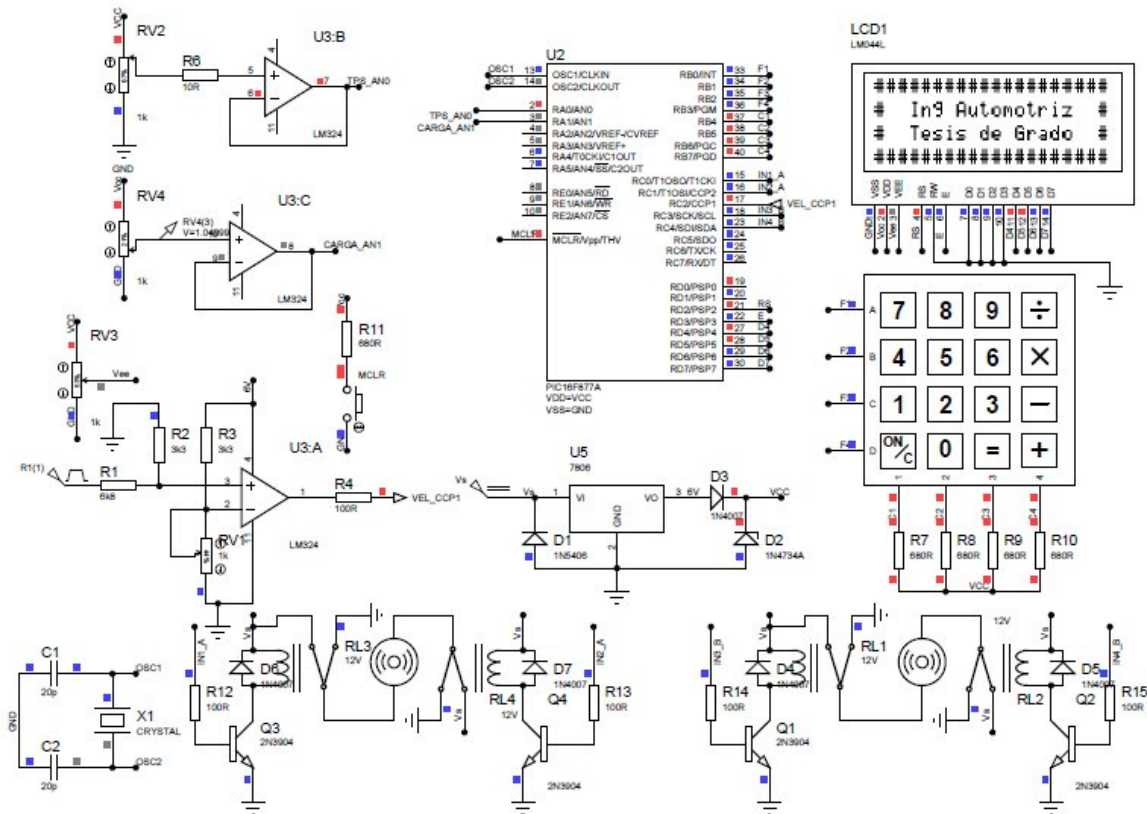


Figura 5.7 Simulación de módulo de control en PROTEUS

Luego se procede a la comprobación y aprobación de la programación, para luego proceder a la fabricación de la placa en cuestión.

5.3 Diseño y construcción del circuito

Luego de haber culminado la respectiva programación y comprobación del funcionamiento de todos los elementos en el programa, se procede a la fabricación de las pistas de la placa principal.

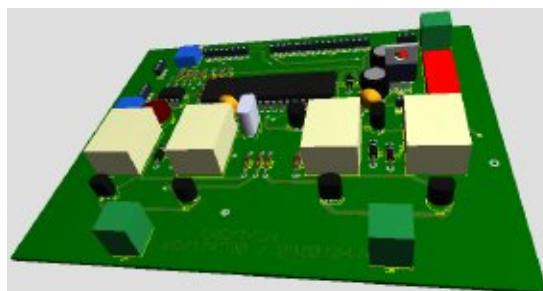


Figura 5.8 Simulación del módulo en 3D

Luego se continúa con la fabricación de la placa principal y secundaria.

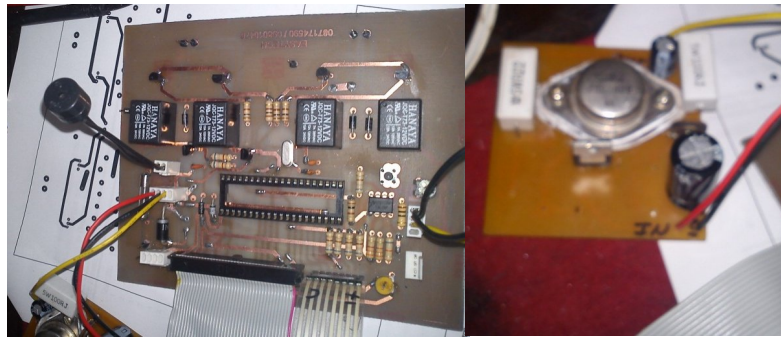


Figura 5.9 Fabricación de la placa principal y secundaria.

A continuación se procede a ensamblar todos los demás elementos del sistema de control, como el display, el teclado y el circuito de la celda de carga, etc...

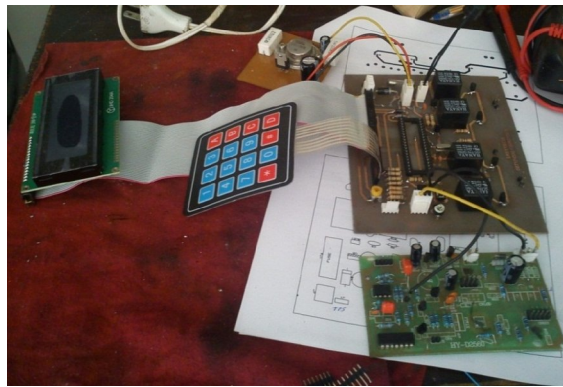


Figura 5.10 Conjunto del sistema de control

Como se puede apreciar en la figura anterior se necesita de un soporte, base o caja que contenga a todos estos elementos, ya que son frágiles y podrían sufrir daños. Entonces se optó por tomar esta configuración de la caja, para poder manipular fácilmente la placa, pudiéndose apreciar claramente alguna falla o defecto que esta tenga, o en caso de sustitución facilitar y agilizar el trabajo.

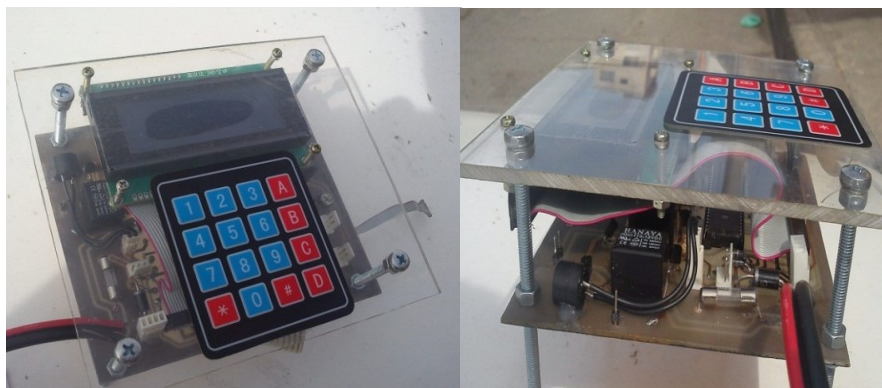


Figura 5.11 Carcasa del módulo de control

5.4 La visualización de datos

Para la visualización de los datos se cuenta con un LCD, en donde se mostrara los valores de carga y ángulo del alerón de posición variable, además de la velocidad del vehículo.



Figura 5.12 Display de observación de los datos

5.5 Instalación en el vehículo

Primero se empezará con la adaptación de la celda de carga, en el vehículo, como se muestra en la siguiente figura, la cual está posicionada en el centro de la cajuela del auto en donde se concentran todas las cargas, ya sea muertas (peso) como vivas (alerón).



Figura 5.13 Instalación de la celda de carga en el vehículo

A continuación se procede a adaptar el TPS en el pivote principal del alerón para obtener la variación de voltaje de este, y saber la posición del alerón.



Figura 5.14 Adaptación del TPS en el mecanismo

Después se continúa con las adaptaciones siguientes como son el sensor de velocidad.



Figura 5.15 Sensor de velocidad **Figura 5.16** Adaptación del sensor en el auto

Después de tener todo lo necesario instalado y probado se culmina con la instalación del módulo de control en el vehículo.

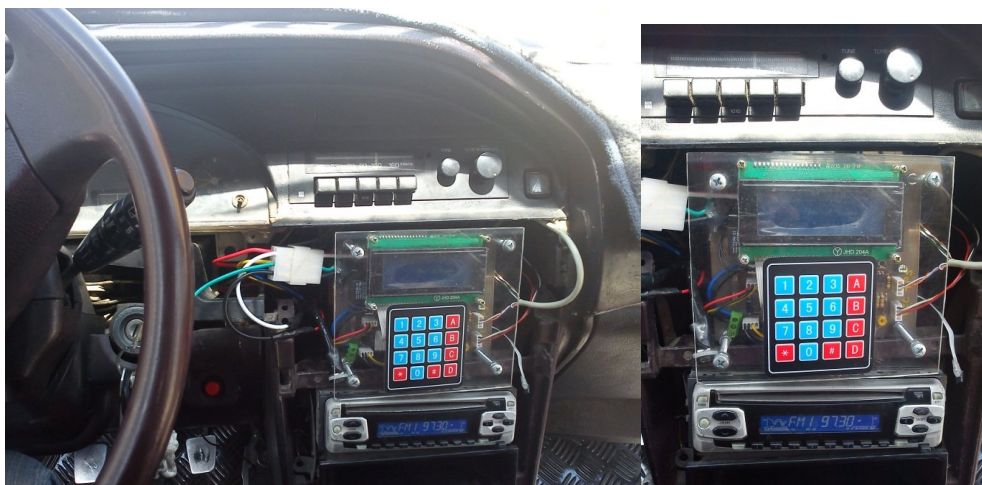


Figura 5.17 Adaptación del módulo de control en el vehículo.



Figura 5.18 Adaptación del módulo de control en el vehículo II

CAPÍTULO VI

6 PRUEBAS DE RUTA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Pruebas de ruta

Para esta parte del proyecto, se deben definir las condiciones a las que el vehículo está sometido al desplazarse por una vía o carretera, entonces las condiciones más importantes a ser tomadas en cuenta son las siguientes:

6.1.1 Selección del tramo de prueba

El automóvil se someterá a las respectivas pruebas en el tramo Riobamba – Guamote. Se ha seleccionado este tramo ya que las condiciones de la carretera, clase y tipo, además de su poca afluencia de tráfico facilitan la realización de las pruebas con el vehículo. También se tomarán las respectivas medidas de seguridad como son: cascos, cinturones de seguridad y principalmente revisar el perfecto funcionamiento del vehículo. Este tramo cumple con las condiciones habituales como son: curvas, rectas, pendientes pronunciadas y zonas de alta y baja velocidad.

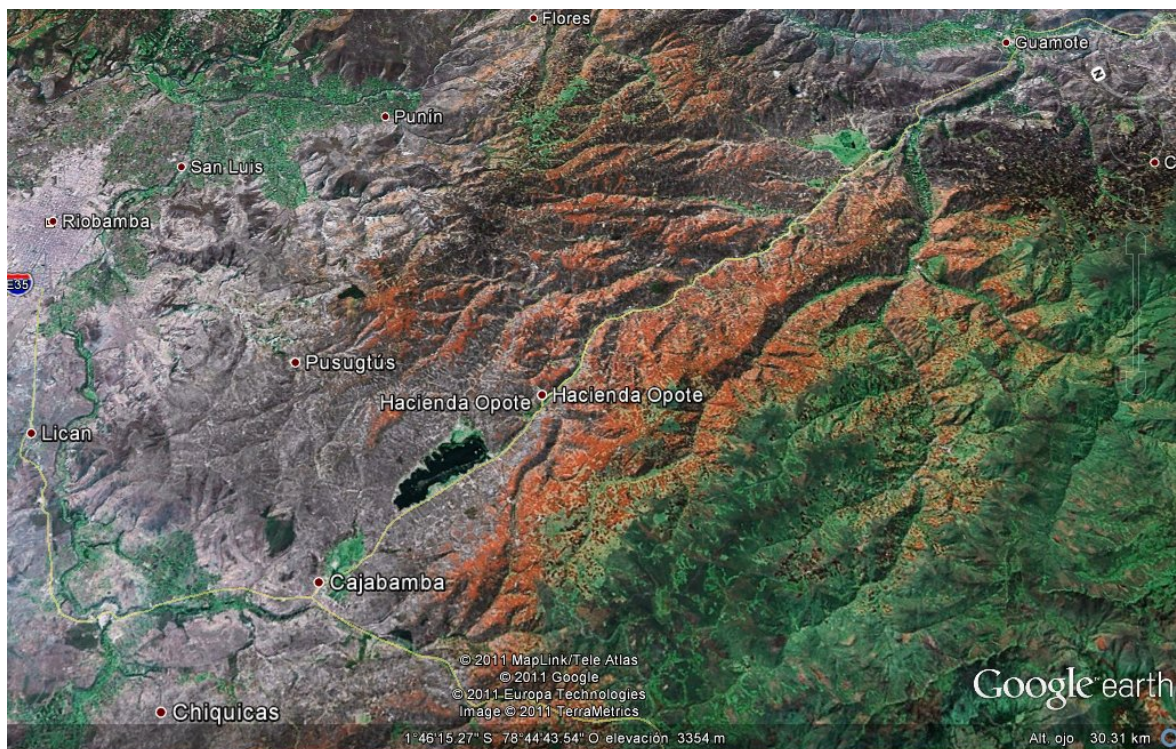


Figura 6.1 Mapa vial del tramo de prueba

Este tramo nos ofrece un nivel de seguridad vial óptimo dado que primero debemos pensar en la seguridad de los ocupantes.

6.1.2 Condiciones de prueba del vehículo

El automóvil se verá sometido a varias condiciones para determinar su comportamiento en carretera con y sin el alerón, estas condiciones son:

Velocidad: 20 – 120 km/h.

Clima despejado

Afluencia de tránsito baja

Las curvas que se presentan en todo el tramo son de 1ro, 2do y 3er grado.



Figura 6.2Curvas de 1,2 y 3 grado

Las curvas fueron estudiadas y definidas por corredores de rally.

Las condiciones mencionadas anteriormente son las que presentan con mayor frecuencia en las carreteras de nuestro país. Con la realización de estas pruebas se analizará la influencia que tiene el alerón sobre el vehículo al:

- Alcanzar altas velocidades en recta (120km/h) y
- Al tomar las curvas en el tramo de prueba (1ro,2do y 3er grado)

6.2 Pruebas del vehículo en ruta sin alerón

Primero se realizará una prueba de ruta sin alerón para estudiar el comportamiento del vehículo tanto en rectas como en curvas, a una velocidad previamente establecida en ambos casos, y para el paso por curva del vehículo se tomarán en cuenta las condiciones anteriores y el grado de dificultad de la curva.

6.2.1 Recolección de datos sin alerón

Se someterá al vehículo a pruebas tanto en recta como en curvas sin el alerón para hallar valores de carga y también la velocidad al paso por curva. Como la cajuela también es considerada un generador de carga, se realizará la pruebas con el módulo de control y los diferentes sensores instalados para tener una lectura de cuánta carga puede generar la cajuela a una misma velocidad y condiciones a al que se someterá el alerón.

Tabla 6.1. VELOCIDAD EN RECTA Y CURVA DEL VEHÍCULO SIN ALERÓN

PRUEBA DEL VEHÍCULO SIN ALERÓN TRAMO RIOBAMBA - GUAMOTE		
Velocidad (km/h)	Carga (Lb)	OBSERVACIONES
20	0	No se puede apreciar carga aerodinámica
30		
40		
50	3-5	Se aprecia una carga en el display del módulo de control
60		La carga se mantiene estable a estas velocidades
70		Presencia de vibraciones
80	5-8	Se aprecia una carga superior a la anterior
90		Las cargas se mantienen
100		Las vibraciones aumentan
110		La carga no es suficiente en altas velocidades
120	6-10	El aumento en las vibraciones impiden incrementar la velocidad pensando en la seguridad de los ocupantes

Como se puede apreciar en la tabla anterior la cajuela genera como máximo 11 Lbs. Siendo insuficientes para:

- Reducir y controlar las vibraciones al incrementar la velocidad.
- Generar confianza al piloto y aumentar la velocidad.

Se opta por instalar un alerón que varíe de posición según las necesidades del vehículo; para reducir las vibraciones y aumentar la velocidad del automóvil.

6.3 Pruebas del vehículo en ruta con alerón

Para este caso el vehículo se someterá a pruebas similares a las anteriores, pero con la diferencia que el alerón estará instalado con su respectivo mecanismo y se probará el funcionamiento de este, para luego realizar una comparación de: carga, velocidad máxima y vibraciones que se presentan en el vehículo con alerón y sin alerón.

6.3.1 Recolección de datos con alerón

En esta parte se realizará una tabla en donde se mostrarán las condiciones a las que el vehículo está sometido a lo largo de todo el tramo de prueba, esto con el alerón variando de forma automática en función de la velocidad que tome el automóvil.

Tabla 6.2 VELOCIDAD Y CARGA DEL VEHÍCULO CON ALERÓN

PRUEBA DEL VEHÍCULO CON ALERÓN TRAMO RIOBAMBA - GUAMOTE			
Velocidad (km/h)	Ángulo	Carga (lb)	Observaciones
20	0°	0	La celda empieza a censar
30		3	La carga no varia
40		5	Existe un pequeño incremento de carga
50	9°	5-8	El alerón se pone a 9° automáticamente
60		8-10	Presencia de vibraciones
70		10-13	La carga se incrementa proporcionalmente
80		14-15	Las vibraciones permanecen constantes
90	15°	15-16	EL alerón se pone a 15° automáticamente
100		17-19	Se corroboran los datos de las simulaciones
110		20 – 21	Se disminuyen las vibraciones y se alcanza la
120		22 - 25	velocidad máxima con mucha facilidad.

Como se puede apreciar en la tabla anterior la carga que genera el alerón disminuye principalmente las vibraciones generando mayor confianza al conductor y a sus ocupantes. Además se comprueba que los datos de las simulaciones se aproximan a los valores reales de carga cerciorando la funcionalidad del programa FLUENT y de los beneficios como son la, reducción en los costos y principalmente en evitar la construcción de modelos no funcionales.

6.4 Comparación y análisis de los resultados

Después de la obtención de los datos de carga y velocidad de las pruebas realizadas, se muestran los siguientes resultados donde se pueden apreciar las diferencias en la carga generada con y sin el alerón.

Tabla 6.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

VELOCIDAD (km/h)	CARGA (Lb)		
	Sin alerón	Con alerón	FLUENT
20	0	0	0,58
30		2	1,31
40		4	2,34
50	3-5	5-7	3,66
60		7-9	5,27
70		9-11	7,17
80	5-8	10-13	9,36
90		12-15	11,85
100		14-17	14,63
110		18 - 21	17,7
120	6-10	20 - 25	21

Como se puede apreciar en la tabla anterior las diferencias de carga son muy notables al realizar las pruebas con alerón y sin alerón, provocando que:

- Se minimizan las vibraciones,
- Se alcanzan altas velocidades fácilmente y
- Principalmente la carga calculada en los capítulos anteriores (simulación) es similar a la carga real generada por el alerón a la misma velocidad y ángulo.

La implementación del alerón aumenta la confianza necesaria en el piloto para poder alcanzar la velocidad máxima con facilidad.

En conclusión se incrementó la eficiencia aerodinámica que presentaba el automóvil al inicio cumpliendo con las expectativas propuestas para este proyecto.

También se observa que la carga obtenida mediante FLUENT es similar a la carga real generada por el alerón en las pruebas; existiendo un pequeño margen de error ya que en la práctica se presentan corrientes de aire, turbulencias al rebasar a otro vehículo, la suciedad del ambiente, la temperatura del ambiente, la densidad del aire, etc...que son factores que influyen en el momento de la generación de carga del alerón.

6.5 Comparación y análisis de la velocidad en curva

Una de las pruebas a las que se sometió el automóvil con y sin el alerón fue la prueba de paso por curva; para esta prueba con la ayuda de pilotos de competición especialmente en trepada de montaña se pudo catalogar el grado de dificultad que presentaron las curvas en el tramo de prueba, siendo estas de tres tipos:

Grado 1: velocidad promedio 90 a 100 km/h

Grado 2: velocidad promedio 75 a 85 km/h

Grado 3: velocidad promedio 65 a 70 km/h

Tabla 6.4 COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE PASO POR CURVA

GRADO	VELOCIDADES DE PASO POR CURVA					
Curva	Velocidad sin alerón (km/h)	Carga sin alerón (lb)	Velocidad con alerón (km/h)	Carga con alerón (lb)	Aumento de velocidad (km/h)	Aumento de Carga (lb)
1	88	5-8	105	21	17	16
	85		100	20	15	15
	84		100	20	16	14
2	75	3-5	88	15	13	11
	72		84	14	12	10
	71		82	14	11	10
3	64	3-5	72	12	8	8
	58		68	11	10	6
	55		63	10	8	5

En la tabla superior se puede observar que existe un incremento de velocidad en el paso por curva, ya que la carga que genera el alerón a estas velocidades es lo suficiente para mantener el automóvil adherido al piso y por ende ganando estabilidad, maniobrabilidad y la confianza en el piloto para poder tomar las curvas a mayor velocidad sin poner en riesgo la integridad de los ocupantes.

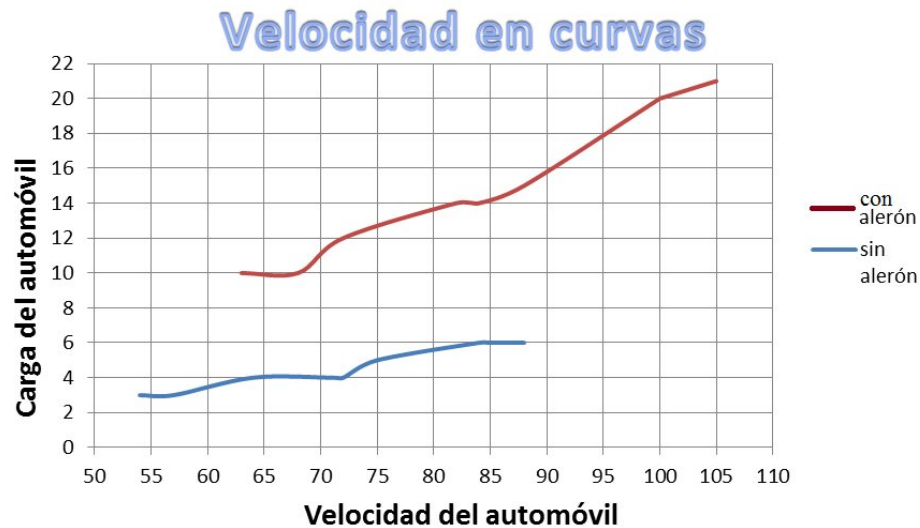


Figura 6.3 Velocidades en curva.

Como se puede apreciar en la gráfica anterior los rangos de velocidad incrementan al implementar el alerón en el vehículo y siendo esta carga suficiente para el tramo de prueba y consecuentemente para todas las vías posibles siendo estas urbanas rurales o circuitos de competición.

6.6 Costos de fabricación

Los costos de fabricación vienen dados en las siguientes tablas en donde se muestra cada uno de los pasos que se realizaron para la fabricación del alerón para este proyecto y su respectivo presupuesto.

En estas tablas se encuentran detalladas todas las operaciones realizadas dentro de la fabricación de todos los componentes del alerón, los materiales empleados, la mano de obra aplicada y diferentes costos que indirectamente influenciaron en la fabricación, teniendo en cuenta el tiempo en la fabricación.

6.6.1 Costos directos

Materiales

Tabla 6.5ANÁLISIS DE COSTOS DE MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CELDA DE CARGA	u	1	120	130
SENSOR DE VELOCIDAD	u	1	30	30
SENSOR TPS	u	1	20	20
PIC 16F877A	u	2	20	50
TECLADO DE MEMBRANA	u	1	20	20
FIBRA DE VIDRIO	m	4	8	32
MASILLA PLÁSTICA	lt	3	8	24
ACERO DE TRANSMISIÓN 2,5in	kg	1	20	20
MOTORES DE CC	u	4	20	80
TUBO DE ACERO 1in	m	6	2	12
GASOLINA SÚPER	gal.	13	1.5	20
MADERA	m	2	5	10
RODAMIENTOS	u	2	7	14
CABLES N12 Y UTP	m	15	1.5	23
PLATINA DE ACERO 2mm	m ²	1	10	10
PINTURA POLIURETANO	lt	2	40	80
TOTAL				575

Maquinarias y Herramientas

Tabla 6.6ANÁLISIS DE COSTOS DE EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	HORA – EQUIPO	COSTO - HORA	PRECIO TOTAL
TORNO	8	6	48
FRESADORA	2	5	10
SOLDADORA ELECTRICA	5	4	20
SOLDADORA OXI-ACETILENICA	1	4	4
TOTAL			82

Mano de Obra

TABLA 6.7 ANÁLISIS DE COSTOS MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	HORA - HOMBRE	SALARIO REAL - HOMBRE	PRECIO TOTAL
SOLDADOR	7	12	84
TORNERO	8	10	80
CARPINTERO	4	6	24
ELECTRÓNICO	20	15	300
TOTAL			488

Transporte

TABLA 6.8 ANÁLISIS DE COSTOS DE TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	HORA	SALARIO REAL - HOMBRE	PRECIO TOTAL
TRANSPORTE	15	90	90
TOTAL			90

6.6.2 Costos indirectos

TABLA 6.9 ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCIÓN	HORA	SALARIO REAL - HOMBRE	PRECIO TOTAL
COSTO INGENIERIL (12%)	30	140	140
UTILIDAD	0	0	0
TOTAL			140

TOTAL \$ 1375

Como se puede apreciar en la tabla anterior; los costos son aceptables para la fabricación del alerón siendo *factible* la implementación en todos los vehículos ya sean urbanos o de competencia que se encuentran circulando alrededor del Ecuador y por qué no de todo el mundo, ya que los beneficios que presenta la implementación de un alerón variable son claramente visibles y haciendo énfasis en su utilización a nivel de competencia, pudiéndose

producir alerones personalizados para cada vehículo en particular. Los costos de fabricación disminuirán si se construye en serie debido a que la investigación ya está hecha, además de la facilidad que presenta el módulo de control para ser utilizado en el estudio de otro tipo de alerones para cada automóvil en particular.

6.7 Consumo de combustible

El consumo de combustible del vehículo incrementará en cierto porcentaje debido a que el alerón representa una resistencia más para todo el automóvil. Entonces para hallar este valor se hará una tabla donde se mostrará el consumo de combustible con y sin alerón en todo el tramo de prueba y se hallará el porcentaje de incremento. Guamatense encuentra a una distancia de 46 kilómetros de Riobamba, y el consumo de combustible del automóvil de prueba es de 38 Km por Galón.

TABLA 6.10 ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL TRAMO DE PRUEBA

CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL TRAMO DE PRUEBA				
	Sin alerón	Con alerón	Diferencia	(%)
Combustible (Galones)	1,5	1,8	0,3	Aumento del 20%
Tiempo (min)	50	35	15	Disminución del 30%

Como se puede apreciar en la tabla anterior el consumo de combustible incrementa en un 20%, pero con la ventaja de que el tiempo se disminuye en un 30% lo que es favorable si se utilizara para vehículos de competición, y comprobando una vez más que la velocidad de paso por curva aumenta de forma considerable, y la velocidad de punta en recta se puede alcanzar con seguridad.

CAPÍTULO VII

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se incrementó el conocimiento aerodinámico en todos los aspectos, tanto en diseño, construcción y funcionalidad de los alerones.
- El alerón de posición variable de esta investigación cumple con todos los parámetros de diseño aerodinámico.
- Los materiales con los que están contruidos los diferentes elementos del alerón pueden resistir cargas mayores a las calculadas; generando mayor coeficiente de seguridad.
- El módulo de control funciona perfectamente dentro del rango de trabajo programado, y cumple con todas las expectativas deseadas, además nos da la posibilidad de implementarlo en cualquier tipo de automóvil.
- El vehículo mejoró notablemente el agarre y maniobrabilidad tanto en rectas como en curvas, es decir el alerón funciona perfectamente.
- Las cargas calculadas en el programa y las cargas experimentales son similares permitiéndonos así la utilización de software para evitar la construcción innecesaria de modelos de alerones no funcionales.
- La capacidad de variación de ángulo del alerón, es rápida y eficiente, ya que se apega a las necesidades de carga del vehículo, además nos da la posibilidad de variar la posición angular del alerón dependiendo del uso al que se vea sometido el automóvil pudiendo ser carreteras o circuitos de competición.

- La variación angular del alerón puede ser automática y manual; también se puede variar la altura total de forma manual, para generar más carga aerodinámica si el conductor así lo desee, y dependiendo de la calzada.

7.2 **Recomendaciones**

- Tomar en cuenta los criterios de diseño aerodinámico para la creación y/o utilización de un alerón en un vehículo ya sea urbano o de competición.
- Realizar un estudio previo del comportamiento aerodinámico del automóvil; utilizando Software de dinámica de fluidos computacional (DFC) para la selección del aditamento adecuado para el vehículo.
- Utilizar los materiales adecuados para la fabricación de todo tipo de aditamento, con criterio aerodinámico y principalmente ambientalista.
- No superar el ángulo máximo de ataque del alerón o de lo contrario entrará en pérdida.
- Utilizar un alerón de posición variable ya sea en automóviles urbanos como de competición.
- Capacitar a los docentes de la escuela de Ingeniería Automotriz en la manejo de programas de dinámica de fluidos computación para su posterior utilización en las diferentes cátedras relacionadas con este tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]<http://webdelautomovil.com/2007/10/aerodinamica-34>
- [2]<http://es.scribd.com/doc/6697613/Aerodinamica-en-Los-Automoviles>
- [3]<http://tuning.deautomoviles.com.ar/articulos/aerodinamica/agarre.html>
- [4]<http://www.efectosuelo.com/efecto-suelo/>
- [5]<http://www.loschupacharkas.com/t1624-tutorial-diseno-de-alerones>
- [6]http://www.enracor.com.ar/enracor/info_05.htm

BIBLIOGRAFÍA

CARMINE, Golia. Aerodinámica 1. 1ra ed. Italia. 2004.

CASTAÑÉ, Josep. El Equipo de Competición. Paperback Madrid 1996

KARMAN, Theodore. Aerodynamics. Estados Unidos. 1964.

KATZ, Joseph. Race Cars Aerodynamics. Cambridge. 1995.

Mc BEATH, Simon. Aerodinámica del automóvil de competición. CEAC Abril 2000

LINKOGRAFÍA

HISTORIA DE LA AERODINÁMICA

[HTTP://AERODINAMICAAUTOMOVIL.IESPANA.ES/UNA%20MICA%20DHISTORIA_ES.HTM](http://aerodinamicaautomovil.iespana.es/una%20mica%20dhistoria_es.htm)

2011 – 04 – 06

LA AERODINÁMICA EN LOS AUTOMÓVILES

[HTTP://WWW.SCRIBD.COM/DOC/6697613/AERODINAMICA-EN-LOS-AUTOMOVILES.HTML](http://www.scribd.com/doc/6697613/aerodinamica-en-los-automoviles.html)

2011 – 04 – 19

LAS CARROCERÍAS DE LOS AUTOMÓVILES

[HTTP://WWW3.MAPFRE.COM/CESVIMAPREVISTA/REVISTA59/PDFS/CARROCERIA.PDF](http://www3.mapfre.com/cesvimaprevista/revista59/pdfs/carroceria.pdf)

2011 – 05 – 07

AERODINÁMICA

[HTTP://WWW.ESI2.US.ES/GT/AUTOMOVILES/AERODINAMICA.PDF](http://www.esi2.us.es/gt/automoviles/aerodinamica.pdf)

2011 – 05 – 08

AERODINÁMICA DE AUTOS PARTICULARES

[HTTP://WWW.URBANPOWER.CL/2008/06/02/LA-AERODINAMICA-PT2-AUTOS-PARTICULARES/.HTML](http://www.urbanpower.cl/2008/06/02/la-aerodinamica-pt2-autos-particulares/.html)

2011 – 06 – 26

TIPOS DE PERFILES AERODINÁMICOS Y SU CONSTRUCCIÓN

[HTTP://AERODINAMICAAUTOMOVIL.IESPANA.ES/QUE%20ES%20LA%20AERODINAMICA_ES.HTML](http://aerodinamicaautomovil.iespana.es/que%20es%20la%20aerodinamica_es.html)

2011 – 06 – 30

COMPONENTES AERODINÁMICAS

[HTTP://TECNICAF1.COM/2009/01/SUSTENTACION-LIFT-DOWN-FORCE/](http://tecnicaf1.com/2009/01/sustentacion-lift-down-force/)

2011 – 07 – 15

EFEECTO SUELO

[HTTP://WWW.EFECTOSUELO.COM/ANGULO-VARIABLE-DEL-ALERON-
DELANTERO-DE-UN-FORMULA-1/.HTML](http://www.efectosuelo.com/angulo-variable-del-aleron-delantero-de-un-formula-1/.html)

2011 – 07 – 05

COMO UTILIZAR FLUENT

[HTTP://WWW.FLUENT.COM/SOFTWARE/SF_MESH_AND_TUTORIALS/TUTO
RIAL_AIRFOIL.HTM](http://www.fluent.com/software/sf_mesh_and_tutorials/tutorial_airfoil.htm)

2011 – 07 – 08

PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO

[HTTP://WWW.POLIMEROSCOMPUESTOS.CL/PAGE/PRFV.HTM](http://www.polimeroscompuestos.cl/page/prfv.htm)

[HTTP://WWW.MATERIALESSAM.ORG.AR/SITIO/BIBLIOTECA/BARILOCHE/
TRABAJOS/A11/1111.PDF](http://www.materialessam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloch/trabajos/A11/1111.pdf)

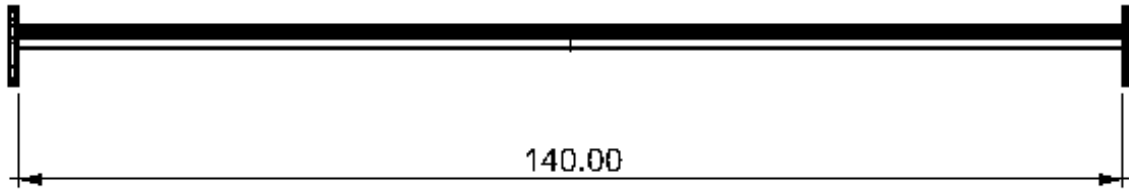
2011 – 07 – 20

ANEXOS

ANEXO 1

VISTAS DEL ALERÓN Y DERIVAS LATERALES

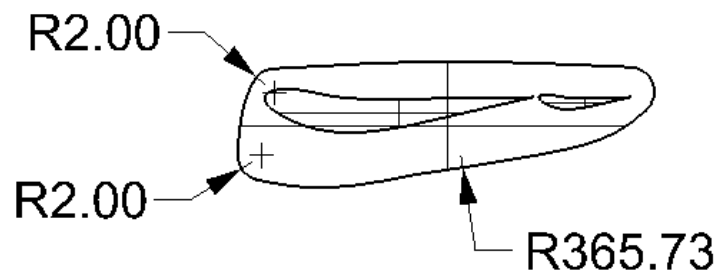
Vista frontal del alerón



Vista Superior del alerón

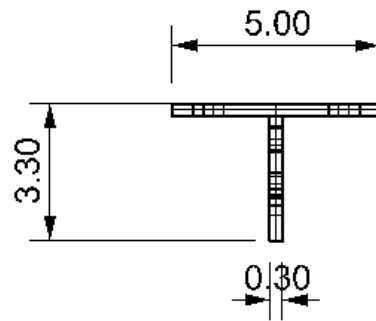


Vista lateral derecha del alerón (derivadas laterales)

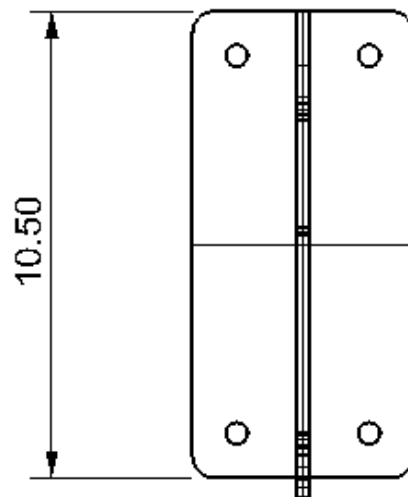


VISTAS DE LA PLACA DE VARIACIÓN

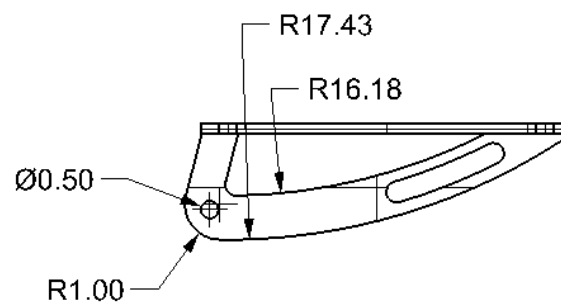
Vista frontal de la placa de variación



Vista superior de la placa de variación

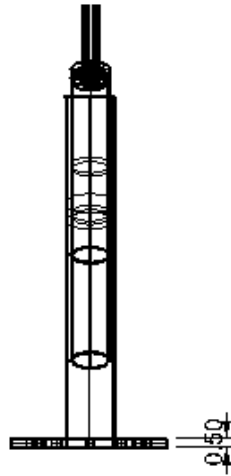


Vista lateral derecha de la placa de variación

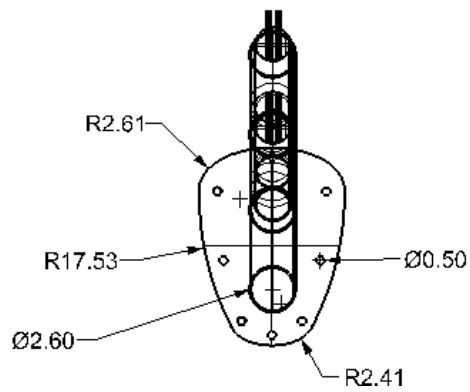


VISTAS DEL SOPORTE BASE DEL ALERÓN

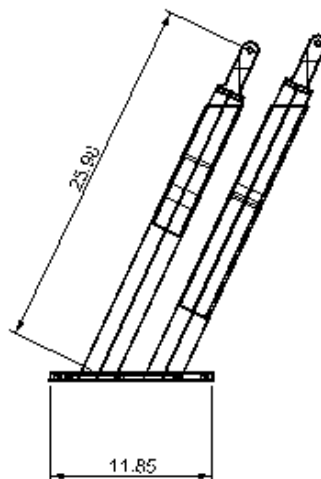
Vista frontal del soporte base del alerón



Vista superior del soporte del alerón



Vista lateral derecha

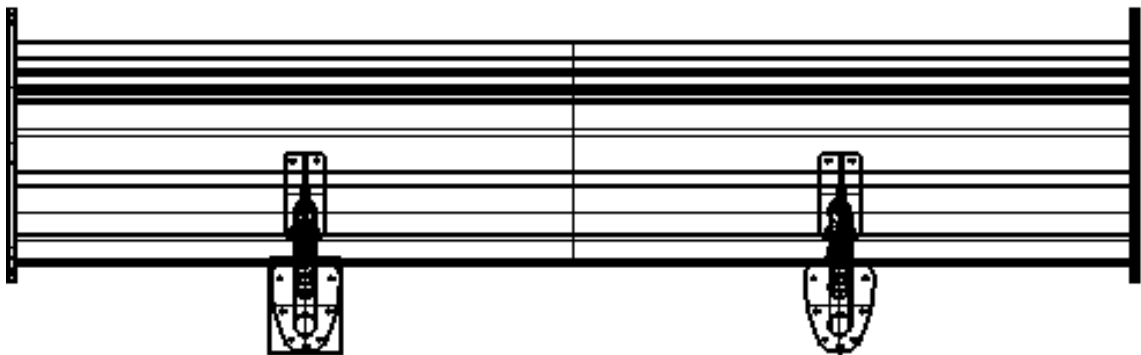


VISTAS DEL CONJUNTO

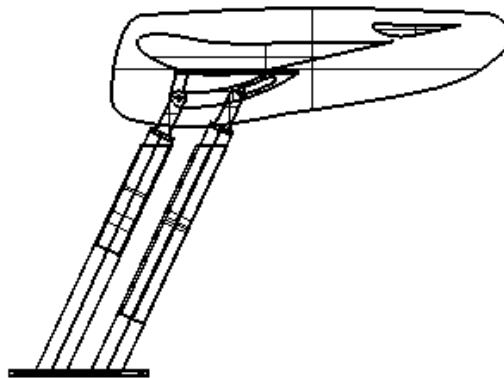
Vista frontal del conjunto



Vista superior del conjunto



Vista lateral derecha del conjunto



ANEXO 2

MANUAL DEL MÓDULO DE CONTROL

El módulo de control es fácil de usar y tiene las siguientes características:

- Datos de entrada: Sensor de velocidad, TPS (posición angular del alerón) y celda de carga.
- Datos de salida: Display o monitor y los motores de CC que varían la posición angular del alerón.
- Switch de encendido y apagado.
- Variación angular manual y automática, dependiendo de las necesidades del piloto y carretera.
- Variación independiente de cada motor.
- Encerado de posición angular del a alerón y carga.

Empezaremos con el encerado del módulo de control:

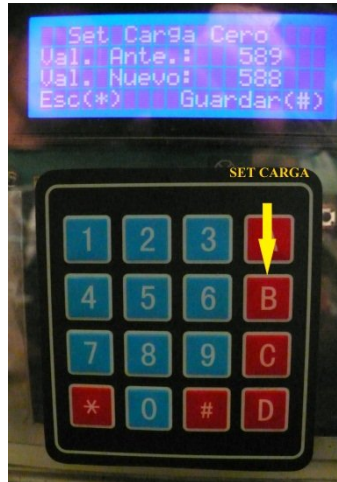
1. Encender el módulo con el switch (on/off)
2. Luego pulsar el botón (D) para entrar al menú principal del módulo.



3. Encerar el ángulo del alerón con la tecla (A)



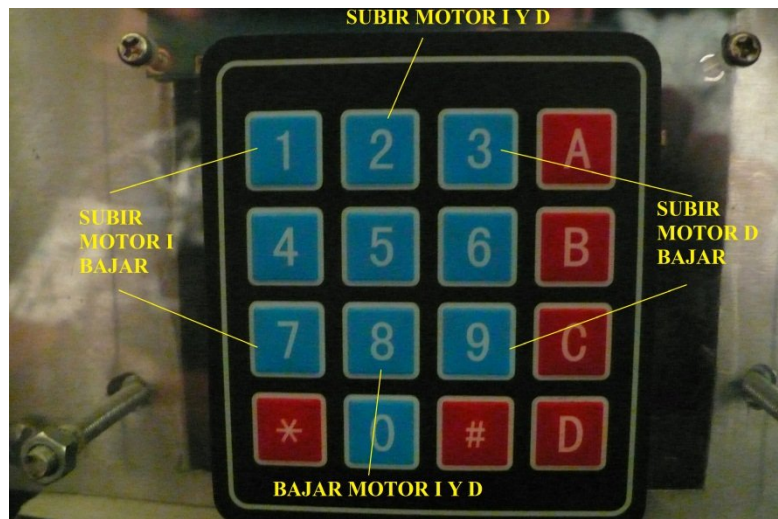
4. Encerrar la celda de carga con la tecla (B), y guardamos con (#) o salimos con (*)



5. Ingresar el cartograma de funcionamiento con la tecla (C), y guardamos con (#) o salimos con (*), hay que ingresar los tres pares necesarios. **NOTA se debe ingresar un ángulo (entre 0 y 15°)** para rangos de velocidad entre 0 y 40Km/h; entre 41 y 80Km/h y entre 81 y 120Km/h.



Si por alguna circunstancia extraordinaria los soportes del alerón están desalineados el módulo de control tiene la capacidad de mover los motores de uno en uno hasta ajustarlos con los siguientes botones.



Luego de haber ingresado todos los pares de funcionamiento el módulo de control, está listo para usarse.

