



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PARABRISAS Y CAPOT DE TRES VEHÍCULOS SEDAN EN EL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO”**

**LATACUNGA LATACUNGA FABIÁN EDWIN**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2016**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-05-06

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**LATACUNGA LATACUNGA FABIÁN EDWIN**

Titulado:

**“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS PARA  
DETERMINAR LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL  
PARABRISAS Y CAPOT DE TRES VEHÍCULOS SEDAN EN EL  
COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. David Bravo Morocho  
**DIRECTOR**

---

Ing. Miguel Aquino Arroba  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACION

---

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LATACUNGA LATACUNGA FABIÁN EDWIN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PARABRISAS Y CAPOT DE TRES VEHÍCULOS SEDAN EN EL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO”

Fecha de Examinación: 2016-11-15

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. David Bravo Morocho <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Miguel Aquino Arroba <b>ASESOR</b>			

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

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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

---

Ing. José Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Latacunga Latacunga Fabián Edwin**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Yo, Fabián Edwin Latacunga Latacunga, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Latacunga Latacunga Fabián Edwin**  
Cedula de Identidad: 050382761-0

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Francisco y María Eloísa; por haber confiado en mí, ser los primeros quienes creyeron que lograría alcanzar esta meta, estar apoyándome en todo momento incondicionalmente, gracias por sus consejos y palabras de aliento, estar ahí en todos los momentos que los necesitaba, por ser unos seres que guía mi camino y ejemplo a seguir.

A mis hermanas, Saida y Sonia; por ser ustedes quienes me brindaron palabras de aliento y tener confianza en mí cuando no las tenía, haber confiado en mí que lo lograría, siendo ustedes quienes me motivaron a seguir adelante.

**Fabián Edwin Latacunga**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres, Francisco y María Eloísa; mis hermanas, Saida y Sonia; por ayudarme a cumplir una meta importante de mi vida, quienes son el combustible que me dan energía para seguir avanzando en el camino, por ser ustedes un pilar fundamental de mi vida, siendo ustedes el motor que me ayudó a seguir adelante y no detenerme hasta haber alcanzado mi meta y a toda mi familia; sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, las palabras escritas no son suficientes para agradecerles, muchas gracias.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, la cual se convirtió como un segundo hogar, en la cual adquirí varios conocimientos y pude cumplir con la meta planteada.

También un agradecimiento en especial a mi tutor y asesor por compartir sus conocimientos, quienes me guiaron para poder culminar el siguiente trabajo de titulación.

**Fabián Edwin Latacunga**

## CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación .....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Principios de aerodinámica .....	4
2.1.1	<i>Aerodinámica</i> .....	4
2.1.2	<i>Energía Cinética</i> .....	4
2.1.3	<i>Principio de Bernoulli</i> .....	4
2.1.4	<i>Densidad del aire</i> .....	5
2.1.5	<i>Presión</i> .....	5
2.1.6	<i>Flujo Laminar</i> .....	6
2.1.7	<i>Flujo Turbulento</i> .....	6
2.1.8	<i>Números de Reynolds</i> .....	7
2.1.9	<i>Número de Mach</i> .....	7
2.2	Influencia de la aerodinámica en el rendimiento del motor.....	8
2.2.1	<i>Flujo interior</i> .....	9
2.2.2	<i>Flujo exterior</i> .....	9
2.2.2.1	<i>Resistencia aerodinámica</i> .....	11
2.2.2.2	<i>Coefficiente de sustentación</i> .....	11
2.2.2.3	<i>Fineza (f)</i> .....	12
2.2.3	<i>Potencia</i> .....	12
2.3	Cálculo del área frontal de un vehículo .....	13
2.4	Métodos para evaluar la aerodinámica de los vehículos- .....	13
2.4.1	<i>Túnel de viento</i> .....	14
2.4.2	<i>Simulación por ordenador</i> .....	14
2.4.3	<i>Ventajas y desventajas del túnel de viento y la simulación por ordenador.</i> ..	15
2.5	Parque automotor en Ecuador .....	16
<b>3.</b>	<b>GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS PARTES A ANALIZAR EN CAD</b>	
3.1	Vehículo SEDAN .....	18
3.2	Características de las de los vehículos seleccionados .....	18
3.2.1	<i>Especificaciones técnicas del Chevrolet AVEO EMOTION GLS</i> .....	18
3.2.2	<i>Especificaciones técnicas del Chevrolet SAIL</i> .....	19
3.2.3	<i>Especificaciones técnicas del Chevrolet AVEO FAMILY</i> .....	20
3.3	Planos de los vehículos seleccionados .....	21
3.3.1	<i>Plano del CHEVROLET AVEO EMOTION GLS</i> .....	21
3.3.2	<i>Plano del CHEVROLET SAIL</i> .....	21
3.3.3	<i>Plano del CHEVROLET AVEO FAMILY</i> .....	22
3.4	Modelación de los vehículos mediante Software SolidWorks 2015 .....	22
3.4.1	<i>Modelación de la parte delantera del AVEO EMOTION GLS.</i> .....	22

3.4.2	<i>Modelación de parte delantera del Chevrolet SAIL.</i>	26
3.4.3	<i>Modelación de parte delantera del Chevrolet AVEO FAMILY</i>	29
3.5	Ángulos de Inclinación del capot y parabrisas de los vehículos modelados	31
3.5.1	<i>Ángulo de inclinación del CHEVROLET EMOTION GLS.</i>	31
3.5.2	<i>Ángulo de inclinación del CHEVROLET SAIL</i>	31
3.5.3	<i>Ángulo de inclinación del CHEVROLET AVEO FAMILY</i>	32
3.6	Tabla de ángulos de Inclinación del capot y parabrisas de los vehículos modelados	32

#### **4. SIMULACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO**

4.1	Método de volúmenes finitos	33
4.2	Procedimiento para realización de tareas mediante CAE	34
4.2.1	<i>Pre-proceso</i>	34
4.2.2	<i>Proceso o Cálculo</i>	34
4.2.3	<i>Post-proceso.</i>	35
4.3	Datos de temperatura, presión, densidad de aire en la provincia de Chimborazo	35
4.3.1	<i>Cálculo de la densidad de aire</i>	36
4.3.1.1	<i>Ley del gas ideal</i>	36
4.4	Análisis de los vehículos modelados mediante ANSYS 17.1	38
4.4.1	<i>Generación del túnel de viento</i>	40
4.4.2	<i>Cálculo del área frontal.</i>	41
4.4.3	<i>Calidad de mallado.</i>	42
4.5	Análisis del comportamiento aerodinámico Chevrolet SAIL	46
4.5.1	<i>Chevrolet SAIL 80 km/h</i>	46
4.5.1.1	<i>Análisis de presión estática</i>	46
4.5.1.2	<i>Análisis de la presión dinámica</i>	46
4.5.1.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	47
4.5.1.4	<i>Coficiente de sustentación (Cy).</i>	47
4.5.1.5	<i>Coficiente de arrastre (Cx)</i>	48
4.5.1.6	<i>Cálculo de fineza (f).</i>	49
4.5.1.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	49
4.5.1.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	49
4.5.2	<i>Chevrolet SAIL 100 Km/h</i>	50
4.5.2.1	<i>Análisis de presión estática</i>	50
4.5.2.2	<i>Análisis de la presión dinámica</i>	51
4.5.2.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.</i>	51
4.5.2.4	<i>Coficiente de sustentación (Cy).</i>	51
4.5.2.5	<i>Coficiente de arrastre (Cx).</i>	52
4.5.2.6	<i>Cálculo de fineza (f).</i>	52
4.5.2.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	52
4.5.2.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	53
4.5.3	<i>Chevrolet SAIL a 120 Km/h.</i>	53
4.5.3.1	<i>Análisis de presión estática</i>	54
4.5.3.2	<i>Análisis de presión dinámica</i>	54
4.5.3.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	54
4.5.3.4	<i>Coficiente de sustentación (Cy).</i>	55
4.5.3.5	<i>Coficiente de arrastre (Cx).</i>	55
4.5.3.6	<i>Cálculo de fineza (f).</i>	55

4.5.3.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	56
4.5.3.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	56
4.6	<i>Análisis del comportamiento aerodinámico AVEO EMOTION GLS</i>	57
4.6.1	<i>Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO EMOTION GLS</i>	57
4.6.2	<i>Chevrolet AVEO EMOTION GLS 80 Km/h</i>	57
4.6.2.1	<i>Análisis de presión dinámica</i>	58
4.6.2.2	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	58
4.6.2.3	<i>Coefficiente de sustentación (Cy)</i>	58
4.6.2.4	<i>Coefficiente de arrastre (Cx)</i>	59
4.6.2.5	<i>Cálculo de fineza (f)</i>	59
4.6.2.6	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	59
4.6.2.7	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	60
4.6.3	<i>Chevrolet AVEO EMOTION GLS 100 Km/h</i>	60
4.6.3.1	<i>Análisis de presión estática</i>	60
4.6.3.2	<i>Análisis de presión dinámica</i>	61
4.6.3.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	61
4.6.3.4	<i>Coefficiente de sustentación (Cy)</i>	61
4.6.3.5	<i>Coefficiente de arrastre (Cx)</i>	62
4.6.3.6	<i>Cálculo de fineza (f)</i>	62
4.6.3.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	62
4.6.3.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	63
4.6.4	<i>Chevrolet AVEO EMOTION GLS 120 Km/h</i>	63
4.6.4.1	<i>Análisis de presión estática</i>	63
4.6.4.2	<i>Análisis de presión dinámica</i>	64
4.6.4.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	64
4.6.4.4	<i>Coefficiente de sustentación (Cy)</i>	64
4.6.4.5	<i>Coefficiente de arrastre (Cx)</i>	65
4.6.4.6	<i>Cálculo de fineza (f)</i>	65
4.6.4.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	65
4.6.4.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	66
4.7	<i>Análisis del comportamiento aerodinámico Chevrolet AVEO FAMILY</i>	66
4.7.1	<i>Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO FAMILY</i>	67
4.7.2	<i>Chevrolet AVEO FAMILY 80 km/h</i>	67
4.7.2.1	<i>Análisis de presión estática</i>	67
4.7.2.2	<i>Análisis de presión dinámica</i>	67
4.7.2.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	68
4.7.2.4	<i>Coefficiente de sustentación (Cy)</i>	68
4.7.2.5	<i>Coefficiente de arrastre (Cx)</i>	68
4.7.2.6	<i>Cálculo de fineza (f)</i>	69
4.7.2.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	69
4.7.2.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	70
4.7.3	<i>Chevrolet AVEO FAMILY 100 Km/h</i>	70
4.7.3.1	<i>Análisis de presión estática</i>	70
4.7.3.2	<i>Análisis de presión dinámica</i>	71
4.7.3.3	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i>	71
4.7.3.4	<i>Coefficiente de sustentación (Cy)</i>	71
4.7.3.5	<i>Coefficiente de arrastre (Cx)</i>	72
4.7.3.6	<i>Cálculo de fineza (f)</i>	72
4.7.3.7	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i>	72
4.7.3.8	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i>	73

4.7.4	<i>Chevrolet AVEO FAMILY a 120 Km/h</i> .....	73
4.7.5	<i>Análisis de presión estática</i> .....	73
4.7.5.1	<i>Análisis de presión dinámica</i> .....	74
4.7.5.2	<i>Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1</i> .....	74
4.7.5.3	<i>Coefficiente de sustentación (Cy)</i> .....	74
4.7.5.4	<i>Coefficiente de arrastre (Cx)</i> . ....	75
4.7.5.5	<i>Cálculo de fineza (f)</i> .....	75
4.7.5.6	<i>Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre</i> .....	75
4.7.5.7	<i>Cálculo de Consumo de combustible</i> .....	76
4.8	<i>Análisis comparativo de resultados</i> .....	76
4.9	<i>Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 80 km/h</i> .....	77
4.10	<i>Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 100 km/h</i> ....	77
4.11	<i>Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 120 km/h</i> ....	78
4.12	<i>Coefficientes aerodinámicos de los vehículos modelos</i> .....	79
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	<i>Conclusiones</i> .....	80
5.2	<i>Recomendaciones</i> .....	80

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

Pág.

1.	Ventajas y desventajas del túnel de viento y la simulación por ordenador.....	15
2.	Ventas de vehículos según marca.....	16
3.	Principales modelos vendidos. ....	17
4.	AVEO EMOTION GLS.....	18
4.	(Continuación) .....	19
5.	Especificaciones Técnicas del Chevrolet SAIL .....	19
5.	(Continuación) .....	20
6.	Especificaciones Técnicas del Chevrolet AVEO FAMILY.....	20
7.	Ángulos de Inclinación del capot y parabrisas de los vehículos modelados. ....	32
8.	Lecturas tomadas en la ciudad de Riobamba durante 7 días .....	35
9.	(Continua) .....	36
9.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos SAIL a 80 Km/h. ....	47
10.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos SAIL a 100 km/h. ....	51
11.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos SAIL a 120 km/h. ....	55
12.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO EMOTION GLS 80 km/h. ....	58
13.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO EMOTION GLS 100 km/h. ....	61
14.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO EMOTION GLS 120 km/h. ....	64
15.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO FAMILY 80 km/h. ....	68
16.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO FAMILY 100 km/h. ....	71
17.	Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO FAMILY a120 km/h.....	74
18.	Chevrolet SAIL .....	76
19.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS. ....	76
20.	Chevrolet AVEO FAMILY.....	77
21.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 80 km/h. ....	77
22.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 100 km/h. ....	77
23.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 120 km/h. ....	78
24.	Coefficientes aerodinámicos de los vehículos modelos. ....	79

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
1. Principio de Bernoulli .....	5
2. Flujo Laminar .....	6
3. Flujo Turbulento.....	6
4. Flujo del aire en un vehículo.....	8
5. Comparación de resistencia aerodinámica y resistencia mecánica.....	10
6. Fuerzas generadas por la aerodinámica en un automóvil.....	10
7. Coeficientes Cx de vehículos.....	13
8. Simulación en túnel de viento .....	14
9. Simulación por ordenador .....	15
10. Plano del vehículo CHEVROLET AVEO EMOTION.....	21
11. Plano del vehículo CHEVROLET SAIL .....	21
12. Plano del vehículo CHEVROLET AVEO FAMILY.....	22
13. Modelación del capot .....	23
14. Detalles del capot .....	23
15. Inicio de modelación parte lateral del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	23
16. Detalles laterales Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	24
17. Modelación delantera y lateral del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	24
18. Modelación del parabrisas del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	24
19. Vista Isométrica Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	25
20. Vista Frontal Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	25
21. Vista Lateral Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	25
22. Vista Superior Chevrolet AVEO EMOTION GLS.....	26
23. Inicio de la modelación Chevrolet SAIL.....	26
24. Detalles de la parte delantera del vehículo Chevrolet SAIL.....	26
25. Modelación lateral del Chevrolet SAIL.....	27
26. Detalles lateral y delantera del Chevrolet SAIL.....	27
27. Aplicación de simetría de la parte lateral del Chevrolet SAIL.....	27
28. Conclusión del modelado del Chevrolet SAIL .....	28
29. Vista Isométrica renderizado Chevrolet SAIL.....	28
30. Vista Frontal renderizado Chevrolet SAIL.....	28
31. Vista Superior renderizado Chevrolet SAIL.....	29
32. Vista Superior renderizado Chevrolet SAIL.....	29
33. Modelación delantera y lateral Chevrolet AVEO FAMILY.....	29
34. Vista Isométrica Chevrolet AVEO FAMILY.....	30
35. Vista Frontal Chevrolet AVEO FAMILY.....	30
36. Vista Lateral Chevrolet AVEO FAMILY.....	30
37. Vista Superior Chevrolet AVEO FAMILY.....	31
38. Ángulo de inclinación del CHEVROLET EMOTION GLS.....	31
39. Ángulo de inclinación del CHEVROLET SAIL.....	31
40. Ángulo de inclinación del CHEVROLET AVEO FAMILY.....	32
41. Importación de la geometría generada en CAD.....	39
42. Selección del modelo generado en CAD.....	39
43. Generación de la geometría.....	39
44. Geometría generada a analizar.....	40
45. Dimensión del túnel de viento virtual.....	40

46.	Generación del túnel de viento virtual .....	41
47.	Rectángulo generado que cubre el modelado.....	41
48.	Inicio del proceso de mallado.....	41
49.	Cálculo de área frontal .....	42
50.	Calidad de mallado mediante Skewness. ....	42
51.	Calidad de mallado mediante Body Color. ....	43
52.	Calidad de mallado mediante Skewness. ....	43
53.	Mallado del modelado mediante Skewness. ....	44
54.	Asignación de variables del túnel de viento virtual .....	44
55.	Inicio en Setup.....	44
56.	Configuración del método de análisis. ....	45
57.	Configuración de datos requeridos por el software.....	45
58.	Inicio de cálculo. ....	45
59.	Presión estática Chevrolet SAIL a 80 Km/h. ....	46
60.	Presión dinámica Chevrolet SAIL 80 Km/h. ....	47
61.	Velocidad del aire a 100 km/h.....	50
62.	Presión estática Chevrolet SAIL 100 km/h.....	51
63.	Presión dinámica Chevrolet SAIL 100 km/h. ....	51
64.	Velocidad del aire a 120 km/h.....	53
65.	Presión estática a Chevrolet SAIL 120 km/h. ....	54
66.	Presión dinámica a Chevrolet SAIL 120 km/h.....	54
67.	Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO EMOTION GLS. ....	57
68.	Presión estática Chevrolet AVEO EMOTION GLS 80 km/h.....	58
69.	Presión dinámica Chevrolet AVEO EMOTION GLS 80 km/h. ....	58
70.	Presión estática Chevrolet AVEO EMOTION GLS 100 km/h.....	61
71.	Presión dinámica Chevrolet AVEO EMOTION GLS 100 km/h. ....	61
72.	Presión estática Chevrolet AVEO EMOTION GLS 120 km/h.....	64
73.	Presión dinámica Chevrolet AVEO EMOTION GLS 120 km/h. ....	64
74.	Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO FAMILY. ....	67
75.	Presión estática Chevrolet AVEO FAMILY 80 km/h. ....	67
76.	Presión dinámica Chevrolet AVEO FAMILY 80 km/h.....	68
77.	Presión estática Chevrolet AVEO FAMILY 100 km/h. ....	70
78.	Presión dinámica Chevrolet AVEO FAMILY 100 km/h.....	71
79.	Presión estática Chevrolet AVEO FAMILY 120 km/h. ....	73
80.	Presión dinámica Chevrolet AVEO FAMILY 120 km/h.....	74
81.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 80 km/h. ....	77
82.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 100 km/h. ....	78
83.	Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 120 km/h. ....	78

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

CAD	Diseño Asistido por Computador
CFD	Dinámica de Fluidos Computacional
CAE	Ingeniería Asistido por Computador

## RESUMEN

La aplicación del método de volúmenes finitos tiene como objetivo determinar la influencia de los ángulos de inclinación del parabrisas y capot en el comportamiento aerodinámico, la incidencia de la geometría en las prestaciones del vehículo, aportar y fortalecer a los estudiantes con conocimiento respecto a la aerodinámica automotriz.

El estudio se realiza con los tres vehículos sedan más vendidos en Ecuador, que son modelados mediante software CAD (Diseño Asistido por Computador) con el programa SolidWorks; una vez concluido se analiza con el software CAE (Ingeniería Asistida por Computador) mediante CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) que pertenece a Software ANSYS.

El análisis de la parte delantera de los tres vehículos muestra que cada geometría genera diferentes coeficientes aerodinámicos de arrastre y fineza. El estudio de los vehículos a 80 km/h, 100 km/h y 120 Km/h indica que mientras mayor sea la velocidad a que se desplace el vehículo mayor es la fuerza de arrastre generada; esto implica una potencia mayor para vencer aquella fuerza y consumo de combustible. El Chevrolet AVEO EMOTION GLS presenta mayor coeficiente de sustentación, el Chevrolet SAIL cuenta con una mejor fineza aerodinámica y el Chevrolet AVEO FAMILY tiene un menor coeficiente de arrastre, que son los tres vehículos que se estudió.

Con el estudio realizado se concluye que conducir a una velocidad de 80 km/h genera un menor consumo de combustible y se recomienda analizar todo el vehículo para conocer de mejor manera el comportamiento aerodinámico.

## ABSTRACT

This research is intended to study the Finite Volume Method to determine the influence of car hood and windscreen inclination in the aerodynamic power behavior as well as the incidence of geometry in the car performance in order to provide students with Knowledge in regarding the automotive aerodynamic behavior to enhance student knowledge.

This study was carried out by using three of the most bought SEDAN brand cars in Ecuador which were designed and shaped by the software CAD (Computer Assisted Design) from the SolidWorks Program and thus, once this study stage was concluded it was analyzed by the software CAE (Computer Assistance Engineering) through the CFD (Computer Fluid Dynamic) from the software ANSYS.

The analysis of the three vehicle forward-part as this study sample was carried out to assess the aerodynamic coefficients of drag and lift which shows that their particular geometry generates different aerodynamic coefficients of drag and lift. The study results from the 80 km/h, 100 km/h, 120 km/h-speed vehicles demonstrate that to the highest vehicle-displacement speed the highest drag-power is generated, that is, the highest speed power overcomes drag-power and fuel consumption. The Chevrolet AVEO EMOTION GLS demonstrates the highest performance coefficient but the Chevrolet SAIL accounts for the best aerodynamic power and the Chevrolet AVEO FAMILY has a lower drag-power.

The study results reveal that driving to 80 km/h generates a lower fuel consumption therefore it is advisable to make a complete analysis of whole vehicle to get a better of the aerodynamic power behavior.

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

Anteriormente la aerodinámica de los vehículos se las determinaba únicamente con los túneles de viento; con la evolución de la tecnología se hizo posible determinar mediante CFD (Dinámica de Fluidos computacional), la cual se basa en la resolución de ecuaciones matemáticas.

En 1959 Godunov presentó el primer esquema conservativo para la resolución de sistemas de leyes de conservación hiperbólicas no lineales, basado en la solución exacta de un problema de Riemann. Las formulaciones de volúmenes finitos actualmente empleadas son una evolución de este método (NOGUEIRA, y otros, 2010). El método de volúmenes finitos fue utilizado por primera vez en la simulación de un problema 2D no viscoso por McDonald.

El método de volúmenes finitos es una alternativa de los elementos finitos y diferencias finitas; la evolución de la tecnología ha hecho posible que se pueda aplicar el método de volúmenes finitos en ordenadores, con la cual se puede resolver numéricamente ecuaciones diferenciales.

En Bucaramanga en la Universidad Industrial de Santander, se ha aplicado el método de volúmenes finitos en el trabajo de grado: Modelamiento de flujo compresible por el método de volúmenes finitos en gasoductos.

La dinámica de fluidos computacional es utiliza en varios campos de la ingeniería entre las que se puede mencionar: Aerodinámica, Hidrodinámica de embarcaciones, Motores, Turbomáquinas, Transferencia de calor, Combustión, entre otros.

Se puede conocer la aerodinámica mediante túneles de viento o la simulación por ordenador, siendo la simulación por ordenador la más acogida por los diseñadores; debido a su costo, tiempo y facilidad de modificar parámetros para el análisis.

El análisis computacional permite conocer muchas variables que son difíciles de acceder en la realidad, como en la aerodinámica son: las presiones, coeficientes aerodinámicos, fuerza de sustentación y de arrastre.

En Ecuador se utiliza el software CFD para estudios aerodinámicos de buses, automóviles modificados la carrocería; en la ESPE de Latacunga se ha comparado un vehículo sedan estándar y un modificado con respecto a las propiedades aerodinámicas; en la ESPOCH, la Escuela de Ingeniería Automotriz con respecto a este tema ha realizado estudios en la construcción de la carrocería fórmula SAE, el análisis aerodinámico de una motocicleta CUSTOM 125 entre otros.

## **1.2 Justificación**

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo conocer la incidencia del ángulo de inclinación del capot y parabrisas en el comportamiento aerodinámico de tres vehículos sedan; cual es la potencia y la cantidad de combustible necesario para vencer las fuerzas aerodinámicas generadas cuando el vehículo se encuentre a velocidades de 80 km/h, 100 km/h y 120 km/h.

Se estudia la zona delantera del vehículo por ser la primera en estar en contacto con el viento y siendo esta la que debe disipar el aire que se opone a su movimiento, una vez que el auto inicie su desplazamiento; también ser el área frontal necesaria para los cálculos aerodinámicos respectivos y para el cálculo del área frontal es necesaria la modelación completa de la zona delantera.

Concluido el estudio se podrá tener una idea clara la cantidad de combustible necesaria para cada una de las velocidades y con ello poder determinar una velocidad adecuada para economizar el combustible.

Con este estudio se pretende ampliar y fortalecer el conocimiento con respecto a la aerodinámica en automoción a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH y por ende a todos los interesados con respecto a este tema, la cual es de suma importancia y en la que más se trabaja en la fabricación de automóviles en la actualidad.

### **1.3      Objetivos**

**1.3.1      Objetivo general.** Aplicar el método de volúmenes finitos para determinar la influencia del ángulo de inclinación del parabrisas y capot de tres vehículos sedan en el comportamiento aerodinámico.

**1.3.2      Objetivos específicos:**

- Estudiar la aerodinámica y la geometría de los vehículos sedan mediante revisión bibliográfica y comprender como afecta en el rendimiento del motor.
- Dibujar las geometrías del capot, parabrisas y spoiler delantero en conjunto mediante CAD para generar la geometría a analizar.
- Simular el comportamiento aerodinámico de la parte frontal del modelo mediante CFD para calcular los coeficientes aerodinámicos.
- Analizar el comportamiento aerodinámico mediante cálculos matemáticos para determinar su influencia en el rendimiento del motor.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Principios de aerodinámica

**2.1.1 Aerodinámica.** La aerodinámica es la parte de la mecánica de fluidos que se encarga de estudiar los fenómenos que se originan cuando existe movimiento relativo entre un sólido y el fluido gaseoso que lo rodea, determinando las presiones y fuerzas que se van a generar. (RODRÍGUEZ, 2014)

**2.1.2 Energía Cinética.** Todos los objetos en movimiento adquieren una energía cinética como consecuencia directa de su masa y velocidad, según la siguiente expresión. (ADMINISTRADOR, 2015):

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Donde:

$Ec$  = Energía cinética [J]

$m$  = Masa [kg]

$v$  = Velocidad [m/s]

**2.1.3 Principio de Bernoulli.** El teorema que por primera vez enunció Daniel Bernoulli en el año 1726, dice: en toda corriente de agua o de aire la presión es grande cuando la velocidad es pequeña y, al contrario, la presión es pequeña cuando la velocidad es grande. (EcuRed, s.f)

La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinética: Energía debida a la velocidad que posee el fluido.
- Potencial o gravitacional: Energía debido a la altitud que un fluido posea.
- Energía de presión: Energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

La siguiente ecuación conocida como "ecuación de Bernoulli" (trinomio de Bernoulli) consta de estos mismos términos.

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

Donde:

$v$  = velocidad del fluido en la sección considerada

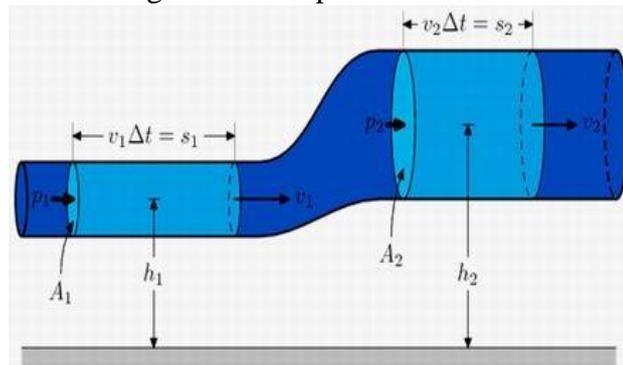
$\rho$  = densidad del fluido

$P$  = presión a lo largo de la línea de corriente

$g$  = aceleración gravitatoria

$z$  = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia

Figura 1. Principio de Bernoulli



Fuente: <http://cnsrosario2010.blogspot.com/>

**2.1.4** *Densidad del aire.* Cantidad de masa de aire por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{kg}{m^3} \quad (3)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

$m$  = Masa [kg]

$v$  = Volumen [m<sup>3</sup>]

**2.1.5** *Presión.* Fuerza que se aplica sobre un área determinada. En el S.I se mide en Pascal (Pa).

$$P = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2} = Pa \quad (4)$$

Donde:

$P$  = Presión [Pa]

$F$  = Fuerza [N]

$A$  = Área [m<sup>2</sup>]

**2.1.6** *Flujo Laminar.* Conocida también como corriente laminar, el movimiento del fluido es paralelo, uniforme, unidireccional, ordenada.

El flujo laminar por lo general se presenta en fluidos con viscosidades altas o velocidades bajas, donde la fuerza de inercia es mayor que la del rozamiento; las partículas siguen su trayectoria de una manera ordenada.

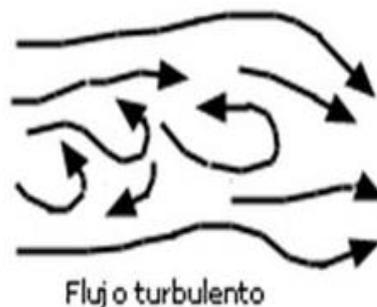
Figura 2. Flujo Laminar



Fuente: [http://www.cultek.com/aplicaciones.asp?opc=introduccion&p=Aplicacion\\_Flujo\\_Laminar](http://www.cultek.com/aplicaciones.asp?opc=introduccion&p=Aplicacion_Flujo_Laminar)

**2.1.7** *Flujo Turbulento.* Las partículas se desplazan de una manera desordenada, formando pequeños remolinos, la trayectoria no es uniforme. Por lo general se presenta cuando la velocidad es alta y la viscosidad baja.

Figura 3. Flujo Turbulento.



Fuente: [http://www.cultek.com/aplicaciones.asp?opc=introduccion&p=Aplicacion\\_Flujo\\_Laminar](http://www.cultek.com/aplicaciones.asp?opc=introduccion&p=Aplicacion_Flujo_Laminar)

**2.1.8** *Números de Reynolds.* Es un número adimensional que relaciona la viscosidad, densidad, velocidad y el diámetro de la tubería, con la cual se puede determinar si un flujo es laminar o turbulento.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} = \frac{v_s D}{\nu} \quad (5)$$

Donde:

$Re$  = Reynolds

$\rho$  = Densidad del fluido [ $kg \cdot s/m^4$ ]

$v_s$  = Velocidad del fluido [m/s]

$D$  = Diámetro del ducto [m]

$\mu$  = Viscosidad del fluido [ $kg \cdot s/m^2$ ]

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido [ $m^2/s$ ]

Se puede determinar de la siguiente manera si un flujo es laminar o turbulento:

- $Re \leq 2000$  flujo laminar
- $2000 \leq Re \leq 4000$  flujo transitorio
- $Re \geq 4000$  Flujo turbulento

**2.1.9** *Número de Mach.* Es un número adimensional, es el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio donde se mueve el objeto, utiliza como referencia la velocidad de sonido; la cual cambia dependiendo de las condiciones atmosféricas.

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (6)$$

Donde:

$M$  = Número de mach

$V$  = Velocidad del móvil

$V_s$  = Velocidad de transmisión del sonido

De acuerdo al número de Mach se puede considerar lo siguiente:

- Subsónico  $M < 0,7$
- Transónico  $0,7 < M < 1,2$
- Supersónico  $1,2 < M < 5$
- Hipersónico  $M > 5$

## 2.2 Influencia de la aerodinámica en el rendimiento del motor

El diseño de la carrocería de un vehículo tiene una importancia decisiva en la calidad de su aerodinámica, cuestiones tales como las prestaciones, la estabilidad, la adherencia al suelo y el consumo de combustible dependen directamente de las formas de la carrocería y de su aerodinámica. (RODRÍGUEZ, 2014)

Cuando un vehículo se desplaza tiene que apartar un volumen importante de aire para poder avanzar y también facilitar que se rellene el vacío que generan tras de sí. A velocidades bajas, esta fuerza es relativamente pequeña, pero a velocidades altas se convierte en la principal resistencia que debe vencer la potencia del motor para conseguir ganar más velocidad. (RODRÍGUEZ, 2014)

Para conseguir la forma aerodinámica óptima lo ideal sería que se asemejase a una gota de agua ya que ésta en su caída se moldea para ofrecer la mínima resistencia posible. En contra esta forma tendría una escasa habitabilidad interior por lo que en la búsqueda del diseño ideal se conjuga la forma y la habitabilidad. Por otra parte, no solo es importante la forma sino también las proporciones del vehículo para conseguir una resistencia mínima. Se pretende conseguir una forma estilizada que limite las turbulencias que se forman en la parte posterior. (ADMINISTRADOR, 2015)

Figura 4. Flujo del aire en un vehículo.



Fuente: [http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)

La magnitud de las fuerzas aerodinámicas que se generan cuando un vehículo se desplaza por la carretera, va a depender de las características del aire (viscosidad y densidad) y del sólido. El sólido, en este caso un automóvil, ha de considerarse su forma, su rugosidad superficial, el área de contacto con el aire y, sobre todo, la velocidad relativa entre éste y el aire. (RODRÍGUEZ, 2014)

El contacto del aire con el vehículo genera dos tipos de flujos: Flujo interior y flujo exterior.

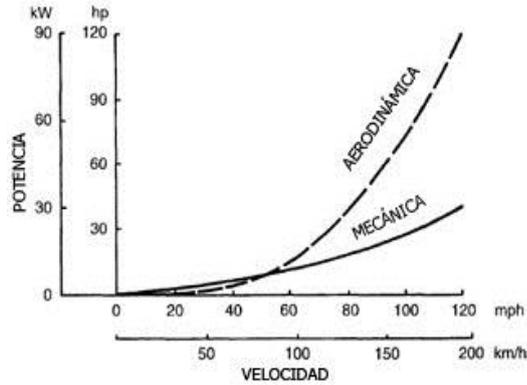
**2.2.1** *Flujo interior.* Agrupa el aire de ventilación del habitáculo y el utilizado en la admisión, refrigeración y refrigeración del motor. Supone aproximadamente el 20% del total de la resistencia aerodinámica y condiciona tanto el confort climático de los pasajeros como el rendimiento térmico del motor. La aerodinámica interior de una carrocería debe ser capaz de: (ADMINISTRADOR, 2015)

- Mantener la temperatura interior constante independientemente de la temperatura exterior y de la velocidad del vehículo.
- Renovar el aire de forma que el ambiente no se empobrezca (sin producir corrientes importantes de aire).
- No variar la humedad interior.
- Permitir varios niveles de temperatura para compensar la temperatura exterior y la radiación solar.

**2.2.2** *Flujo exterior.* Comprende el aire que circula sobre la carrocería como el que discurre entre la misma y el suelo. El flujo aerodinámico también afecta al confort de los pasajeros a través de la sonoridad. (ADMINISTRADOR, 2015)

La potencia necesaria para vencer la resistencia aerodinámica es mayor que la necesaria para vencer la resistencia mecánica. (INGELIBRE, 2014)

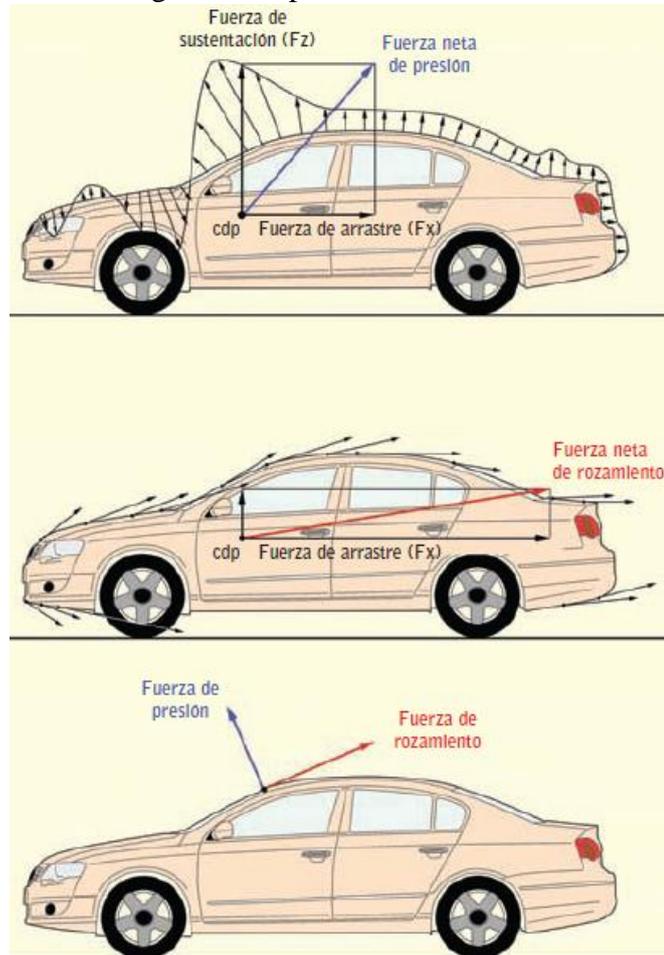
Figura 5. Comparación de resistencia aerodinámica y resistencia mecánica.



Fuente: <https://inglibreblog.wordpress.com/2014/04/24/aerodinamica-en-el-vehiculo-resistencia-aerodinamica/>

Cuando un vehículo se encuentra en movimiento se originan diferentes tipos de fuerzas, entre las que se pueden mencionar con respecto a la aerodinámica son las siguientes: Resistencia al avance ( $F_x$ ), fuerzas laterales ( $F_y$ ) y fuerzas verticales ( $F_z$ ); las cuales pueden ser ascendente o descendente.

Figura 6. Fuerzas generadas por la aerodinámica en un automóvil.



Fuente: [http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)

**2.2.2.1 Resistencia aerodinámica.** Fuerza que se opone al desplazamiento del cuerpo en sentido contrario a la que este se encuentre.

Fórmula de la resistencia aerodinámica:

$$R_x = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^2 \quad (7)$$

Donde:

$R_x$  = Resistencia aerodinámica [N]

$\rho$  = Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

$C_x$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

$A_f$  = Área frontal [m<sup>2</sup>]

$V$  = Velocidad [m/s]

De dicha ecuación se puede deducir que la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad, por lo que la potencia requerida para vencer esta resistencia será el cubo de la velocidad. Esto quiere decir que si aumenta al doble la velocidad, la potencia necesaria para vencer este rozamiento se incrementa ocho veces. (INGELIBRE, 2014)

**2.2.2.2 Coeficiente de sustentación.** Es una fuerza generada por el fluido sobre un cuerpo que se desplaza a través del fluido, en sentido perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo, su valor adimensional.

El coeficiente de sustentación puede ser positiva cuando el empuje se ejerce hacia arriba o negativa que representa la carga aerodinámica.

Fórmula de fuerza de sustentación:

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_y * A_f \quad (8)$$

Fórmula de coeficiente de sustentación:

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * v^2 * A_f} \quad (9)$$

Donde:

$F_y$  = Fuerza de sustentación [N]

$\rho$  = Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

$C_y$  = Coeficiente de sustentación

$A_f$  = Área frontal [m<sup>2</sup>]

$v$  = Velocidad [m/s]

**2.2.2.3** *Fineza (f)*. Definida también como la eficiencia aerodinámica, es el cociente entre la sustentación y la resistencia aerodinámica, es un valor adimensional, el diseño aerodinámico es mejor cuando el resultado de la fineza sea mayor.

$$f = \frac{C_y}{C_x} \quad (10)$$

Donde:

$f$  = Fineza

$C_y$  = Coeficiente de sustentación

$C_x$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

**2.2.3** *Potencia*. La potencia se puede definir como la cantidad de trabajo realizado en un determinado tiempo. Para vencer la fuerza generada en automoción por la aerodinámica existirá un gasto energético, que será la potencia necesaria para vencer aquella fuerza.

Para calcular la potencia necesaria para vencer la fuerza aerodinámica que se opone a su desplazamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$Pot = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot d}{t} = F \cdot V \quad (11)$$

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3 \quad (12)$$

Donde:

$F = R_x$  = Resistencia aerodinámica [N]

$Pot$  = Potencia [Hp]

$W = \text{Trabajo [J]}$

$t = \text{Tiempo [s]}$

$d = \text{Distancia [m]}$

### 2.3 Cálculo del área frontal de un vehículo

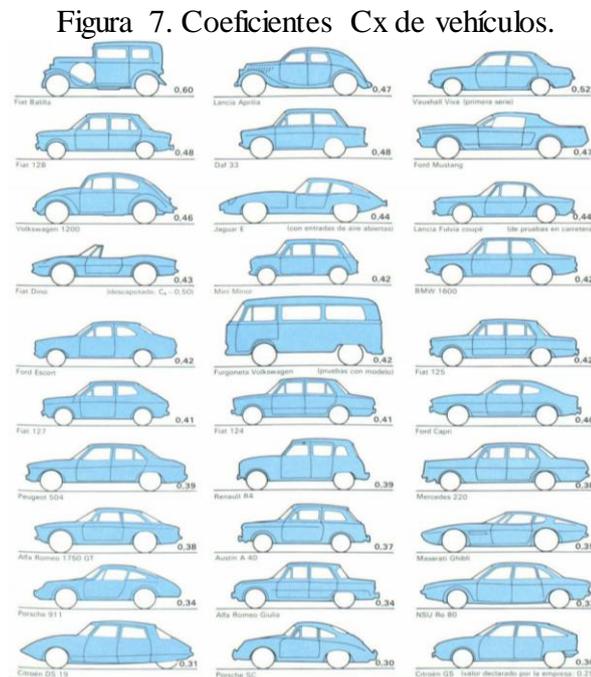
El área frontal del vehículo se puede determinar a partir del plano, existe una fórmula aproximada basada en bases de datos de vehículos que permiten determinar el área frontal como: (INGELIBRE, 2014)

$$A_f = 1,6 + 0,00056 * (m_v - 765) \quad (13)$$

Donde:

$A_f = \text{Área frontal}$

$m_v = \text{Masa del vehículo [Kg]}$



Fuente: [http://www.technicalcourses.net/porta/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/porta/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)

### 2.4 Métodos para evaluar la aerodinámica de los vehículos-

En la actualidad existen dos maneras de evaluar la aerodinámica de los vehículos las cuales son: túnel de viento y simulación por ordenador; con las cuales se pueden

conocer las fuerzas aerodinámicas, fuerza lateral, coeficientes aerodinámicos, presiones, entre otros datos.

**2.4.1** *Túnel de viento.* Para saber si un vehículo es aerodinámico se simula su situación real en un túnel aerodinámico de forma cilíndrica llena de ventiladores que generan distintas corrientes de aire a distintas velocidades; en vez de moverse el vehículo se mueve el aire contra el vehículo.

Normalmente se le unen tiras de lana en puntos clave de la superficie del móvil, sea una maqueta de un avión, un automóvil, una bicicleta, etcétera. A veces se utiliza un humo que ha sido coloreado mezclado con el aire para poder observar las turbulencias de una forma más clara.

Las turbulencias dejan patente las distintas presiones que se generan por las corrientes de aire, a veces estos datos son registrados por dispositivos electrónicos que interpreta un ordenador obteniendo tablas del perfil aerodinámico.

El túnel de viento consta de un colector por el que se acelera el aire de forma progresiva mediante potentes ventiladores, un dispositivo de telas metálicas para reducir las turbulencias del aire, una cámara de medición que propicia que el aire se genere en condiciones estables y un difusor en la salida de la cámara de medición para reducir la velocidad de salida del aire (AERODINÁMICA DE AUTOS, 2013).

Figura 8. Simulación en túnel de viento



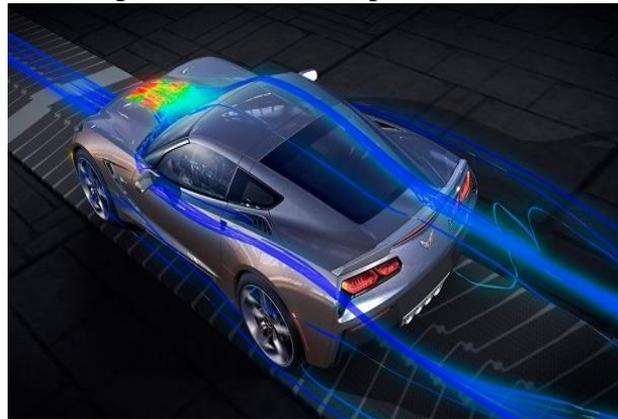
Fuente: <http://rjose1994.blogspot.com/2013/07/aerodinamica-de-autos.html>

**2.4.2** *Simulación por ordenador.* La llegada de la simulación por ordenador, surgió como alternativa de la simulación mediante túnel de viento; los ensayos y mantenimiento del túnel de viento son costosos.

Los comienzos de la dinámica de fluidos computacional o CFD no fueron sencillos, los modelos matemáticos utilizados eran complejos y requerían de mucho tiempo para su cálculo; se utilizan para conocer el comportamiento de los fluidos en movimiento.

El túnel de viento y el CFD no son más que dos herramientas que se utilizan de forma simultánea para avanzar más rápidamente y obtener mejores resultados en el desarrollo aerodinámico. (RODRÍGUEZ, 2014)

Figura 9. Simulación por ordenador



Fuente: <http://www.motorafondo.net/la-aerodinamica-en-los-coches-historia-y-evolucion/>

#### 2.4.3 Ventajas y desventajas del túnel de viento y la simulación por ordenador.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del túnel de viento y la simulación por ordenador

<b>Túnel de viento</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite comparar resultados prácticos con resultados teóricos.	Elevado costo de construcción.
Se puede observar el movimiento de partículas.	Costo elevado de mantenimiento.
Adecuado cuando el flujo es turbulento.	Alto costo de instrumentos de medición.
Repetitividad de sus resultados.	Requiere gran espacio.
<b>Simulación por ordenador</b>	
Permite modificar parámetros de manera más fácil.	Cuando el flujo turbulento es externo no es práctico realizarlo en la mayoría de los casos.
Los costos de la simulación no son tan elevados.	La simulación no genera soluciones óptimas para los problemas aerodinámicos.
Existe una variedad de programas que permiten simular.	Capacidad computacional de los ordenadores.

Fuente: Autor

## 2.5 Parque automotor en Ecuador

El parque automotor en el país es considerado como un sector fundamental para el crecimiento y desarrollo de la economía nacional, generando varias fuentes de trabajo.

El primer concesionario del país fue E. Maulme de Chevrolet, que apareció en los años 20 (ANUARIO 70 AÑOS DE CAMINO, 2016).

La fabricación de vehículos tiene sus orígenes a finales de los años 60 y principios de los 70. En Ecuador Autos y Maquinas del Ecuador S.A (AYMESA) es la pionera en el montaje y ensamblaje de automotores del país (ANUARIO 70 AÑOS DE CAMINO, 2016).

Tabla 2. Ventas de vehículos según marca

MARCA	2010	%	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%
CHEVROLET	53 429	40,42%	59 189	42,31%	54 947	45,24%	50 195	44,10%	53 574	44,62%	40 265	49,52%
KIA	10 908	8,25%	11 965	8,55%	10 144	8,35%	12 300	10,81%	12 038	10,03%	7 647	9,40%
HYUNDAI	17 241	13,04%	14 879	10,64%	12 296	10,12%	9 629	8,46%	10 623	8,85%	5 678	6,98%
NISSAN	9 407	7,12%	10 080	7,21%	7 051	5,81%	6 576	5,78%	6 019	5,01%	3 794	4,67%
MAZDA	8 589	6,50%	8 012	5,73%	5 120	4,22%	6 402	5,63%	6 916	5,76%	3 651	4,49%
TOYOTA	8 722	6,60%	6 730	4,81%	6 840	5,63%	6 425	5,65%	6 476	5,39%	3 651	4,49%
HINO	3 831	2,90%	4 133	2,95%	3 625	2,98%	3 735	3,28%	4 578	3,81%	3 385	4,16%
GREAT WALL	679	0,51%	2 085	1,49%	2 088	1,72%	1 688	1,48%	2 160	1,80%	2 445	3,01%
FORD	4 080	3,09%	4 385	3,13%	4 254	3,50%	4 086	3,59%	4 164	3,47%	1 771	2,18%
RENAULT	5 126	3,87%	5 441	3,89%	2 707	2,23%	2 624	2,30%	2 587	2,15%	1 128	1,39%
VOLKSWAGEN	2 603	1,97%	3 590	2,57%	2 969	2,44%	1 846	1,62%	1 942	1,62%	1 105	1,36%
CHERY	490	0,37%	1 515	1,08%	1 854	1,53%	1 134	1,00%	1 117	0,93%	1 059	1,30%
JAC	406	0,31%	924	0,66%	1 086	0,89%	1 175	1,03%	1 314	1,09%	891	1,10%
DFSK	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	765	0,64%	558	0,69%
CITROËN	115	0,09%	137	0,10%	178	0,15%	184	0,16%	453	0,38%	329	0,40%
MERCEDES BENZ	451	0,34%	446	0,32%	327	0,27%	44	0,04%	335	0,28%	316	0,39%
MITSUBISHI	1 034	0,78%	983	0,70%	371	0,31%	454	0,40%	419	0,35%	256	0,31%
FIAT	98	0,07%	68	0,05%	169	0,14%	508	0,45%	278	0,23%	236	0,29%
DONGFENG	96	0,07%	163	0,12%	90	0,07%	140	0,12%	303	0,25%	216	0,27%
FAW	3	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	49	0,04%	206	0,25%
JEEP	71	0,05%	155	0,11%	237	0,20%	409	0,36%	443	0,37%	203	0,25%
INTERNATIONAL	168	0,13%	234	0,17%	263	0,22%	161	0,14%	186	0,15%	192	0,24%
AUDI	111	0,08%	131	0,09%	150	0,12%	150	0,13%	191	0,16%	182	0,22%
KENWORTH	271	0,21%	353	0,25%	480	0,40%	492	0,43%	472	0,39%	179	0,22%
BYD	138	0,10%	77	0,06%	140	0,12%	31	0,03%	299	0,25%	171	0,21%
FUSO	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	151	0,19%
LIFAN	189	0,14%	288	0,21%	300	0,25%	73	0,06%	25	0,02%	146	0,18%
PEUGEOT	238	0,18%	349	0,25%	241	0,20%	162	0,14%	184	0,15%	146	0,18%
HONDA	198	0,15%	214	0,15%	216	0,18%	171	0,15%	147	0,12%	121	0,15%
JMC	42	0,03%	107	0,08%	122	0,10%	241	0,21%	106	0,09%	121	0,15%
GOLDEN DRAGON	0	0,00%	65	0,05%	52	0,04%	41	0,04%	2	0,00%	117	0,14%
BMW	203	0,15%	212	0,15%	152	0,13%	149	0,13%	150	0,12%	114	0,14%
SKODA	745	0,56%	647	0,46%	551	0,45%	525	0,46%	261	0,22%	100	0,12%
FREIGHTLINER	219	0,17%	249	0,18%	276	0,23%	341	0,30%	272	0,23%	96	0,12%
UD TRUCKS	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	86	0,07%	78	0,10%
FOTON	29	0,02%	20	0,01%	21	0,02%	48	0,04%	128	0,11%	76	0,09%
MACK	171	0,13%	199	0,14%	389	0,32%	227	0,20%	100	0,08%	63	0,08%
BEIBEN	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	52	0,04%	49	0,06%
YUTONG	0	0,00%	54	0,04%	49	0,04%	36	0,03%	48	0,04%	46	0,06%
OTRAS	2 192	1,66%	1 828	1,31%	1 711	1,41%	1 501	1,32%	798	0,66%	371	0,46%
<b>TOTAL</b>	<b>132 172</b>	<b>100%</b>	<b>139 893</b>	<b>100%</b>	<b>121 446</b>	<b>100%</b>	<b>113 812</b>	<b>100%</b>	<b>120 060</b>	<b>100%</b>	<b>81 309</b>	<b>100%</b>

Fuente: ANUARIO 70 AÑOS DE CAMINO, 2016

Las marcas que predominaron en la venta de vehículos en el país en el año 2015 son las siguientes: CHEVROLET 49,52%, KIA con el 9,40%, HYUNDAI 6,98%, NISSAN 4,67% en la siguiente tabla se puede apreciar de una manera más detallada.

Tabla 3. Principales modelos vendidos.

<b>Modelo</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
AVEO EMOTION 1.6L 4P GLD	3167	4030
SAIL 4P 1.4L 4X2 TM A/C	7447	3648
AVEO FAMILY 1.5L STD	4232	3574
AVEO FAMILY 1.5L AC	5154	3553
GRAND VITARA SZ NEXT AC 2.0 5P 4X2 TM	1441	2962

Fuente: ANUARIO 70 AÑOS DE CAMINO, 2016

En base a las estadísticas obtenidas por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador como se puede apreciar en la tabla anterior, se decidió tomar como modelos referenciales para el desarrollo de esta investigación los tres vehículos de mayor comercialización en Ecuador, siendo estos:

- AVEO EMOTION GLS
- SAIL
- AVEO FAMILY

Todos estos modelos pertenecen a la marca CHEVROLET, y se obtuvo los planos de dichos modelos para la generación de la geometría en CAD para su posterior simulación.

## CAPÍTULO III

### 3. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS PARTES A ANALIZAR EN CAD

En este capítulo se modelarán las partes a analizar de cada uno de los vehículos seleccionados, las cuales se analizarán en el siguiente capítulo mediante el software ANSYS 17.1; dicho software es uno de los paquetes más potentes que se encuentra en el mercado.

Para la modelación se utilizará el programa SolidWorks que es un software CAD (Diseño Asistido Por Computador), la cual permite diseñar geometrías de dos y tres dimensiones y ser uno de los programadas más utilizados en el campo automotriz.

#### 3.1 Vehículo SEDAN

Los vehículos sedan son una carrocería que se presentan en automóviles de turismo, son de tres volúmenes, el maletero está separado de la cabina y no tiene vidrio trasero.

#### 3.2 Características de las de los vehículos seleccionados

Las especificaciones técnicas de los vehículos permitirán realizar los cálculos correspondientes en lo posterior.

##### 3.2.1 *Especificaciones técnicas del Chevrolet AVEO EMOTION GLS*

Tabla 4. AVEO EMOTION GLS

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Motor	1,6 L DOHC
Válvulas	16
Potencia (HP/rpm)	103/6000
Torque (N.m/rpm)	144/3600
Relación de compresión	9,5:1
Relación final	4,176
Cilindrada cm <sup>3</sup>	1600
Suspensión delantera	Independiente McPherson

Tabla 5. (Continuación)

Suspensión posterior	Eje de torsión
Frenos delanteros	Disco ventilado
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	185/55 R15
Rines	Aluminio 15"
<b>Dimensiones</b>	
Alto (mm)	1505
Ancho (mm)	1710
Largo (mm)	4310
Distancia entre ejes (mm)	2480
<b>Capacidades y pesos</b>	
Capacidad de carga (kg)	410
Capacidad de tanque de combustible (lt/gal)	45/11,9
Peso bruto vehicular (kg)	1365
Capacidad de carga de baúl (lt)	351

Fuente: <http://www.automotorescontinental.com.ec/aveo-emotion-gls>

### 3.2.2 Especificaciones técnicas del Chevrolet SAIL

Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Chevrolet SAIL

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Motor	C 1,4 DOHC
Válvulas	16
Potencia (HP/rpm)	102/6000
Torque (N.m/rpm)	131/4200
Relación de compresión	10,2:1
Relación final	4,118
Cilindrada cm <sup>3</sup>	1398
Suspensión delantera	Independiente McPherson
Suspensión posterior	Twist
Frenos delanteros	Disco ventilado 9"
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	185/55 R15
Rines	Aluminio oscuro 15"
<b>Dimensiones</b>	
Alto (mm)	1505
Ancho (mm)	1690
Largo (mm)	4290
Distancia entre ejes (mm)	2465

Tabla 7. (Continuación)

<b>Capacidades y pesos</b>	
Capacidad de carga (kg)	375
Capacidad de tanque de combustible (lt/gal)	12/42
Peso bruto vehicular (kg)	1435
Capacidad de carga de baúl (lt)	370

Fuente: <http://www.chevrolet.com.ec/sail-sedan/especificaciones.html>

### 3.2.3 Especificaciones técnicas del Chevrolet AVEO FAMILY

Tabla 8. Especificaciones Técnicas del Chevrolet AVEO FAMILY

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Motor	1,5L STD
Válvulas	8
Potencia (HP/rpm)	83/5600
Torque (N.m/rpm)	128/3000
Relación de compresión	9,5:1
Relación final	3,944
Cilindrada cm <sup>3</sup>	1498
Suspensión delantera	Independiente McPherson
Suspensión posterior	eje de torsión
Frenos delanteros	Disco ventilado 9"
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	185/60R14
Rines	Acero 14"
<b>Dimensiones</b>	
Alto (mm)	1495
Ancho (mm)	1670
Largo (mm)	4235
Distancia entre (mm)	2480
<b>Capacidades y pesos</b>	
Capacidad de carga (kg)	325
Capacidad de tanque de combustible (lt/gal)	45/11,9
Peso bruto vehicular (kg)	1365
Capacidad de carga de baúl (lt)	374

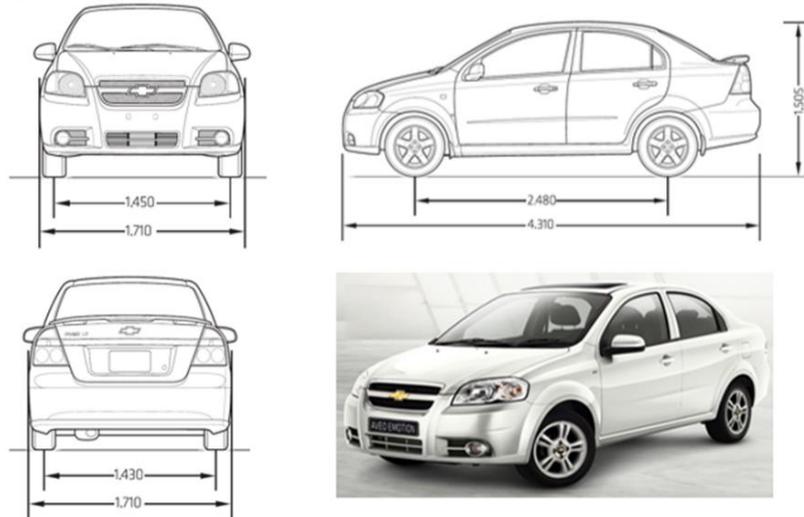
Fuente: <http://www.automotorescontinental.com.ec/aveo-family>

### 3.3 Planos de los vehículos seleccionados

Los planos que a continuación se encuentran servirán como referencia para realizar la modelación respectiva en lo posterior.

#### 3.3.1 Plano del CHEVROLET AVEO EMOTION GLS

Figura 10. Plano del vehículo CHEVROLET AVEO EMOTION.

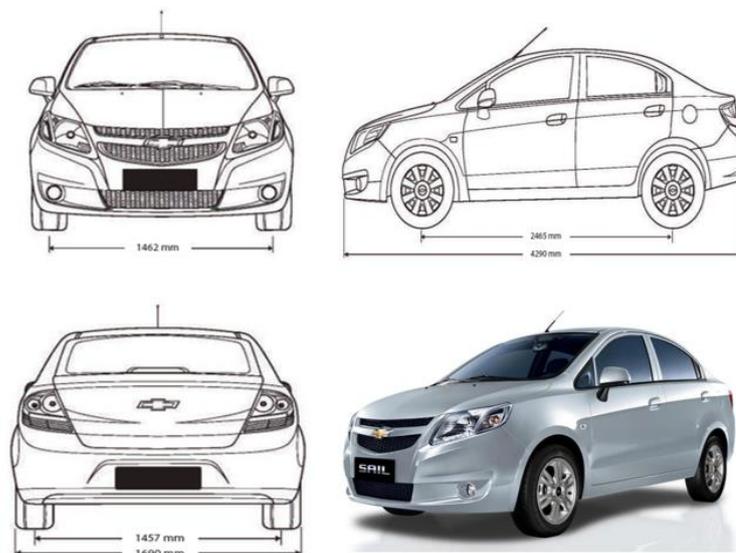


Fuente:

[https://www.globalbuypower.com/content\\_data/LAAM/EC/es/GBPEC/001/BRANDSITE/files/vehiculos/Autos/Aveo-Emotion/aveo-emotion\\_01\\_4.pdf](https://www.globalbuypower.com/content_data/LAAM/EC/es/GBPEC/001/BRANDSITE/files/vehiculos/Autos/Aveo-Emotion/aveo-emotion_01_4.pdf)

#### 3.3.2 Plano del CHEVROLET SAIL

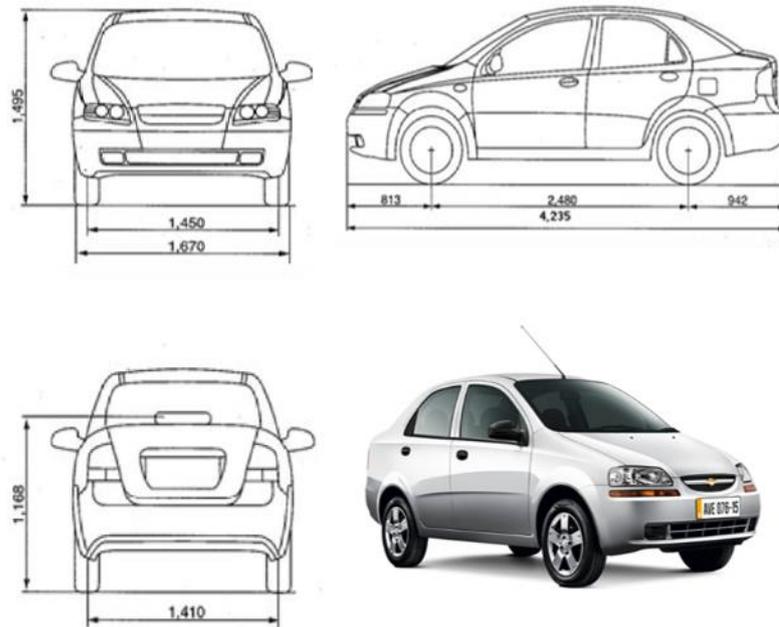
Figura 11. Plano del vehículo CHEVROLET SAIL



Fuente: <https://www.internacionaldevehiculos.com/pdf/sail-sedan.pdf>

### 3.3.3 Plano del CHEVROLET AVEO FAMILY

Figura 12. Plano del vehículo CHEVROLET AVEO FAMILY.



Fuente: [http://www.chevrolet.com.ec/content/dam/Chevrolet/lat-am/Ecuador/nscwebsite/es/Home/Owners/Vehicle%20Manuals/02\\_PDF/AVEO%20FAMILY.pdf](http://www.chevrolet.com.ec/content/dam/Chevrolet/lat-am/Ecuador/nscwebsite/es/Home/Owners/Vehicle%20Manuals/02_PDF/AVEO%20FAMILY.pdf)

## 3.4 Modelación de los vehículos mediante Software SolidWorks 2015

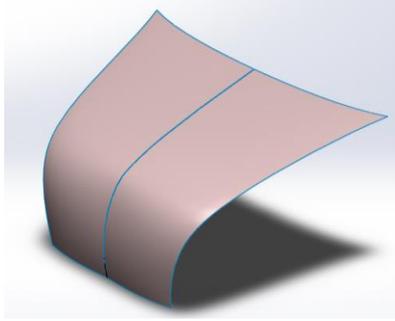
Con los planos y los datos de las especificaciones técnicas de los vehículos citados anteriormente se iniciará la modelación respectiva de cada uno de ellos.

**3.4.1 Modelación de la parte delantera del AVEO EMOTION GLS.** El primer vehículo con el que se inicia la modelación es el Chevrolet AVEO EMOTION GLS, la cual tiene un ancho de 1710 mm; cuya longitud es de 4310 mm y una altura de 1505 mm.

Para iniciar la de modelación se debe insertar los planos, los cuales servirán como referencia para poder realizar un croquis lo más real posible.

Se modela el capot, la cual servirá como referencia para el resto de la geometría; utilizando las herramientas de Solidworks como: líneas de croquis, herramientas de superficies para realizar la modelación en 3D.

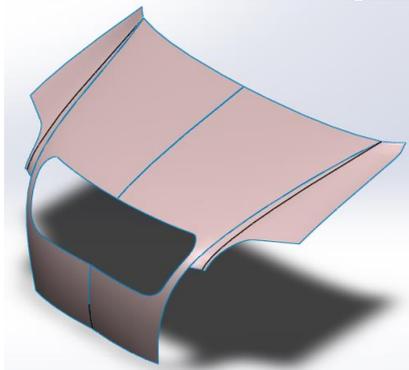
Figura 13. Modelación del capot



Fuente: Autor

Se inicia a dar algunos detalles para que el capot pueda ir tomando la apariencia real de la parte delantera del vehículo que se está modelando.

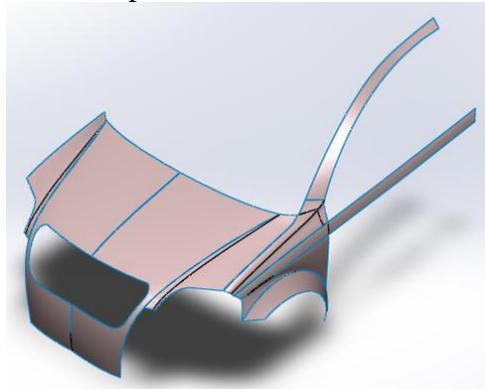
Figura 14. Detalles del capot



Fuente: Autor

Con la referencia de la parte delantera, se inicia a modelar la parte lateral con la ayuda de los planos que se pueden apreciar en las figuras anteriores.

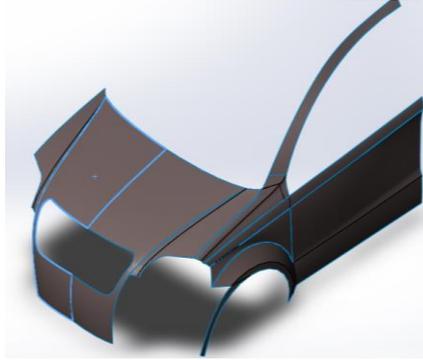
Figura 15. Inicio de modelación parte lateral del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



Fuente: Autor

Se realizan algunos detalles laterales como la puerta, postigo de puerta, la aleta delantera entre otros.

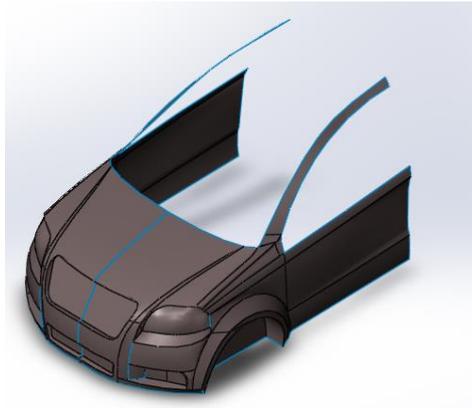
Figura 16. Detalles laterales Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



Fuente: Autor

Con las referencias del capot y la parte lateral del vehículo se inicia con los complementos de la parte de delantera y lateral, como son: el parachoques delantero, guarda polvos delantero, focos y spoiler delantero.

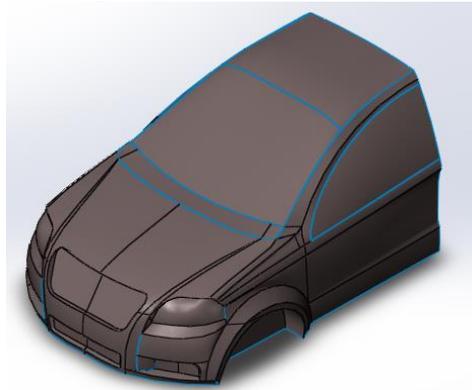
Figura 17. Modelación delantera y lateral del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



Fuente: Autor

A continuación se modela el parabrisas y el techo, se puede apreciar que la modelación del vehículo se asemeja al real.

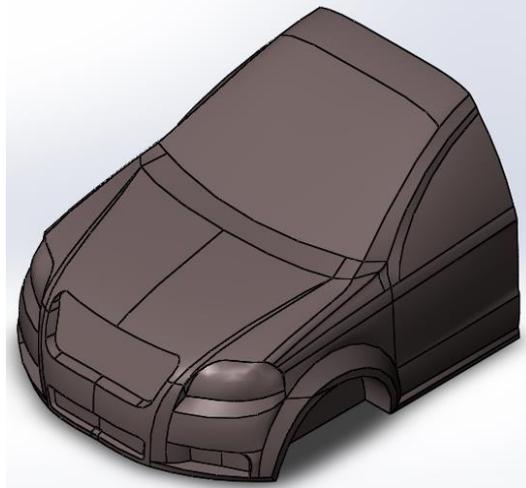
Figura 18. Modelación del parabrisas del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



Fuente: Autor

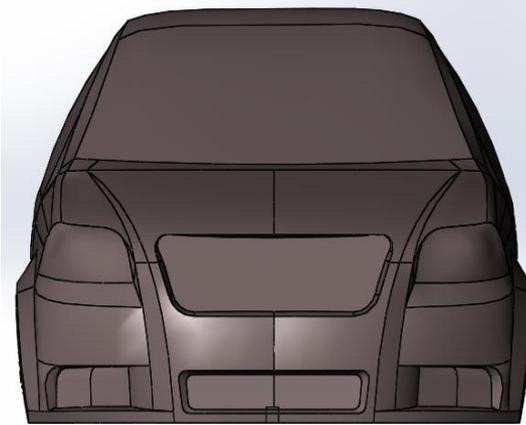
Al final se puede apreciar la modelación terminada, en la cual se ha utilizado algunas herramientas como son: croquis 2D, croquis 3D, superficies, simetría, extruir, redondeo, recubrir superficie, superficie rellenar entre otros.

Figura 19. Vista Isométrica Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



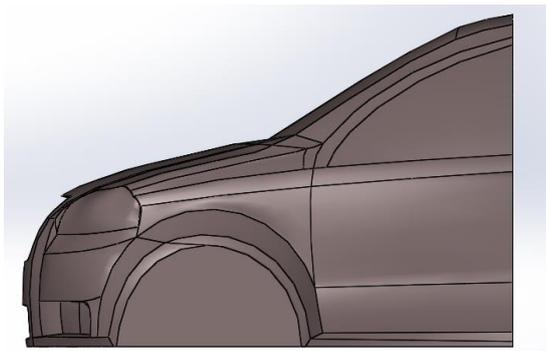
Fuente: Autor

Figura 20. Vista Frontal Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



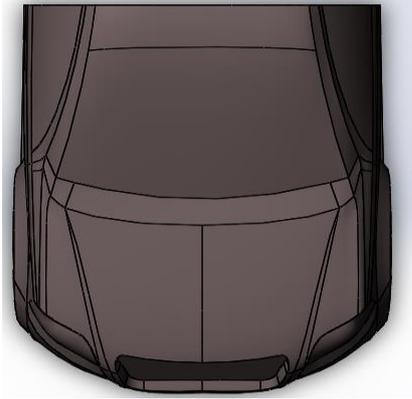
Fuente: Autor

Figura 21. Vista Lateral Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



Fuente: Autor

Figura 22. Vista Superior Chevrolet AVEO EMOTION GLS.

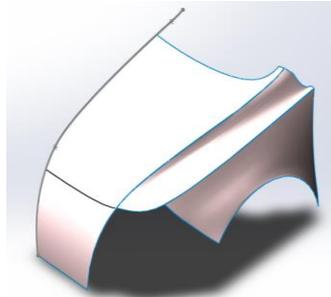


Fuente: Autor

**3.4.2** *Modelación de parte delantera del Chevrolet SAIL.* El siguiente vehículo a modelar es el Chevrolet SAIL que tiene las siguientes medidas; ancho 1690 mm, una altura de 1505 mm y un largo de 4290 mm.

Se inicia con la modelación del capot, al igual que en el modelado anterior, la cual servirá como referencia para modelar la parte delantera del vehículo.

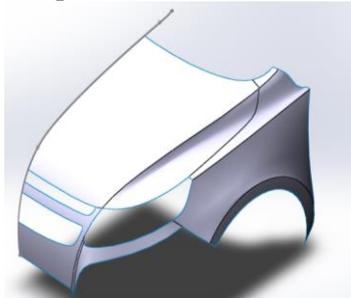
Figura 23. Inicio de la modelación Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

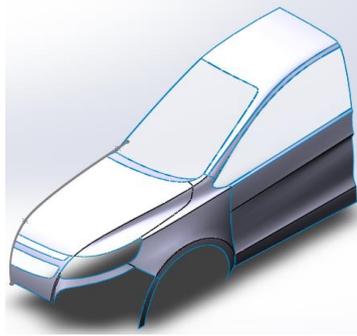
A continuación se realizan los detalles de la parte delantera; la geometría del vehículo que se está modelando se va asemejando al real.

Figura 24. Detalles de la parte delantera del vehículo Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

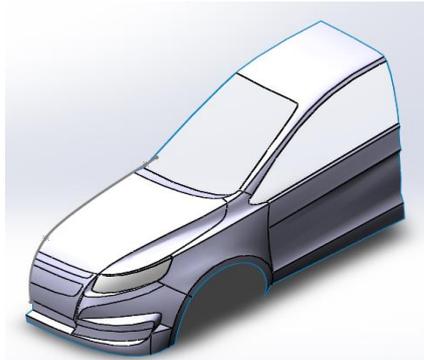
Figura 25. Modelación lateral del Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

Se inicia a dar detalles tanto de la parte delantera como la lateral; como son: el postigo de puerta, la aleta delantera, el parachoques delantero, guarda polvos delantero, focos y spoiler delantero.

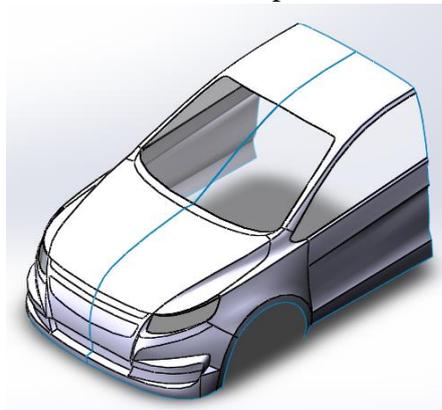
Figura 26. Detalles lateral y delantera del Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

Con la operación simetría se puede concluir el lado opuesto que faltaría por terminar, con esta operación se ahorra todos los pasos y tiempo que serían necesarios para concluir con el lado faltante.

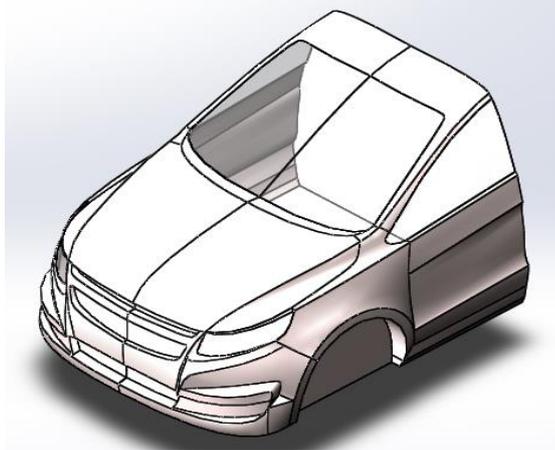
Figura 27. Aplicación de simetría de la parte lateral del Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

Con las imágenes del vehículo real se inicia a dar los detalles que faltan para que el modelado se asemeje al real, para lo cual se han utilizado diferentes operaciones como: superficies, extruir, croquis 2D y 3D, simetría entre otros; se obtiene como resultado el siguiente modelado.

Figura 28. Conclusión del modelado del Chevrolet SAIL



Fuente: Autor

Figura 29. Vista Isométrica renderizado Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

Figura 30. Vista Frontal renderizado Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

Figura 31. Vista Superior renderizado Chevrolet SAIL.



Fuente: Autor

Figura 32. Vista Superior renderizado Chevrolet SAIL.

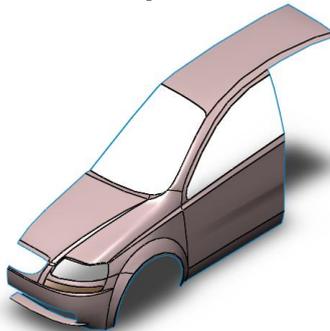


Fuente: Autor

**3.4.3** *Modelación de parte delantera del Chevrolet AVEO FAMILY.* El último vehículo a modelar es el AVEO FAMILY las dimensiones son las siguientes: cuyo ancho es 1670 mm, la longitud 4235 mm y la altura de 1495 mm.

Se inicia la modelación con el capot, luego con la parte lateral, al igual que en los que en los vehículos anteriores, utilizando el mismo procedimiento realizado en las modelaciones anteriores.

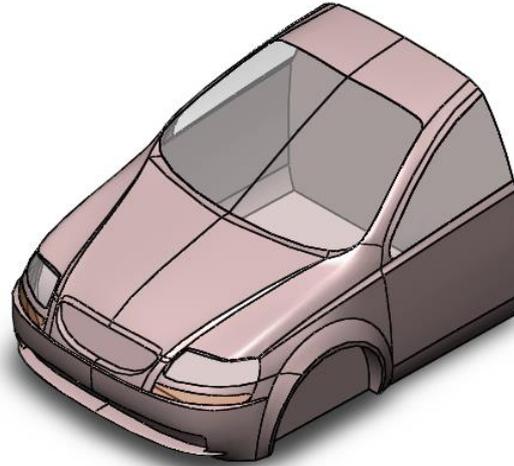
Figura 33. Modelación delantera y lateral Chevrolet AVEO FAMILY.



Fuente: Autor

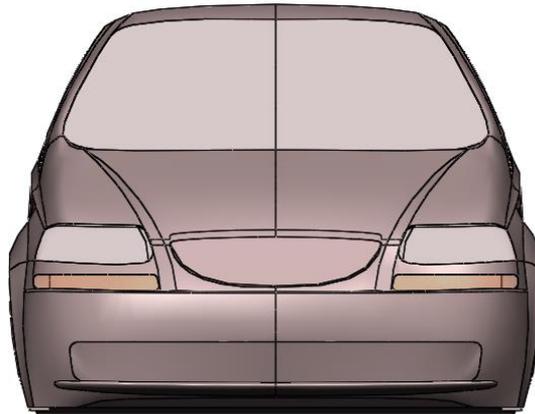
Se aplica simetría al igual que en la modelación anterior; por lo cual en la modelación de este vehículo, solo se insertaran las imágenes de las vistas principales.

Figura 34. Vista Isométrica Chevrolet AVEO FAMILY.



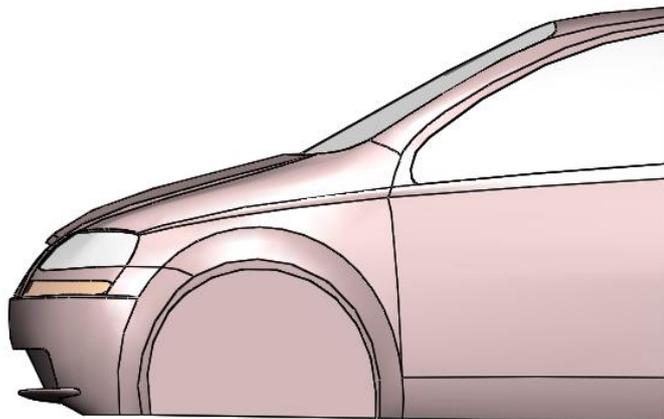
Fuente: Autor

Figura 35. Vista Frontal Chevrolet AVEO FAMILY.



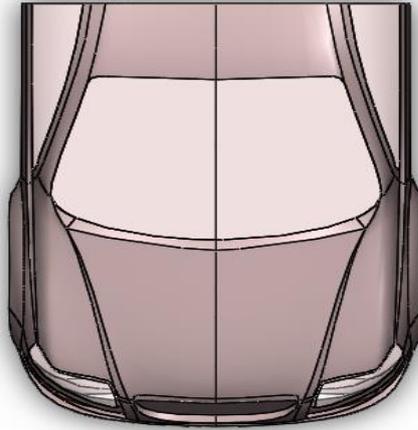
Fuente: Autor

Figura 36. Vista Lateral Chevrolet AVEO FAMILY.



Fuente: Autor

Figura 37. Vista Superior Chevrolet AVEO FAMILY.

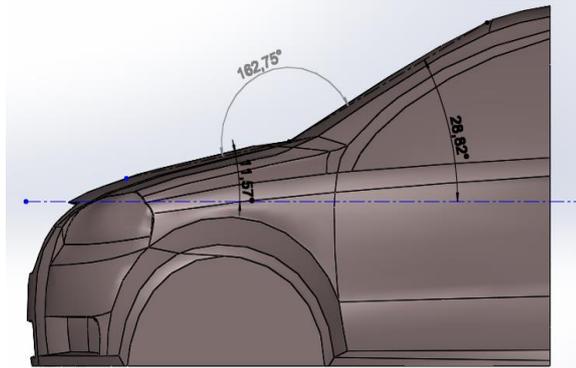


Fuente: Autor

### 3.5 Ángulos de Inclinación del capot y parabrisas de los vehículos modelados

#### 3.5.1 Ángulo de inclinación del CHEVROLET EMOTION GLS.

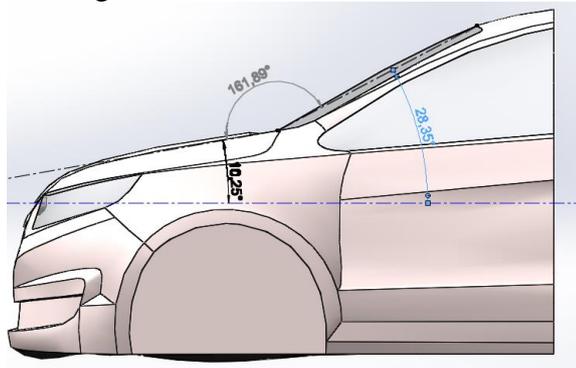
Figura 38. Ángulo de inclinación del CHEVROLET EMOTION GLS.



Fuente: Autor

#### 3.5.2 Ángulo de inclinación del CHEVROLET SAIL

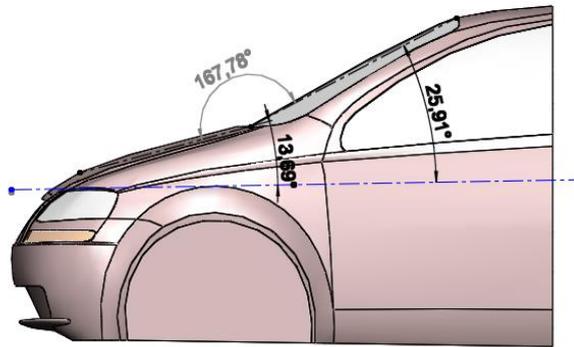
Figura 39. Ángulo de inclinación del CHEVROLET SAIL.



Fuente: Autor

### 3.5.3 Ángulo de inclinación del CHEVROLET AVEO FAMILY

Figura 40. Ángulo de inclinación del CHEVROLET AVEO FAMILY.



Fuente: Autor

### 3.6 Tabla de ángulos de Inclinación del capot y parabrisas de los vehículos modelados

Uno de los datos más relevantes de las carrocerías son los ángulos de inclinación del capot y parabrisas delantero, pudiendo hacer una tabla de estos como se muestra a continuación:

Tabla 9. Ángulos de Inclinación del capot y parabrisas de los vehículos modelados.

Modelo de vehículo	Ángulo de inclinación del capot	Ángulo de inclinación del parabrisas	Ángulo formado por el capot y parabrisas
CHEVROLET AVEO EMOTION GLS	11,57°	28,22°	162,75°
CHEVROLET SAIL	10,25°	28,35°	161,89
CHEVROLET AVEO FAMILY	13,69°	25,91°	167,78°

Fuente: Autor

## CAPÍTULO IV

### 4. SIMULACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO

En este capítulo se aplicará el método de volúmenes finitos para determinar la influencia del ángulo de inclinación del capot y parabrisas en el comportamiento aerodinámico de los vehículos seleccionados mediante CAE (Ingeniería Asistida por Computador).

El SOFTWARE que se utilizará es el ANSYS 17.1, mediante la herramienta fluent CFD (Dinámica de Fluidos Computacional); para realizar un mejor análisis del comportamiento aerodinámico se analizará toda la parte delantera de los vehículos citados anteriormente.

#### 4.1 Método de volúmenes finitos

El método de Volúmenes Finitos es una técnica de discretización que permite la simulación numérica de diversos tipos (elípticas, parabólicas o hiperbólicas) de leyes de conservación.

Se utiliza en varios campos de la ingeniería, como la mecánica de fluidos, y transferencia de calor y masa, o la ingeniería química y metalúrgica. Algunas de las características importantes del método de Volúmenes Finitos son similares a las del Método de Elementos Finitos: puede ser utilizado en geometrías arbitrarias, el uso de mallas no estructuradas, y esquemas robustos.

Una característica adicional es la conservación local de los flujos numéricos de una celda de discretización a la celda vecina. Esta última característica hace que el método sea relevante para problemas en que el flujo es dominante como por ejemplo en la mecánica de fluidos (SEPÚLVIDA, 2014).

Sea  $\phi(x, y, z)$  una magnitud escalar,  $\Omega$  un dominio en  $R^3$  y su  $\Gamma$  su frontera, podemos escribir una ecuación de conservación de esta cantidad en forma integral como (CIMEC, 2015):

$$\int_{\Omega} \frac{\partial \phi}{\partial t} d\Omega + \int_{\Gamma} \vec{v} \phi \vec{d}\Gamma + \int_{\Omega} c \phi d\Omega = \int_{\Omega} \nabla \phi \vec{d}\Gamma + \int_{\Omega} Q d\Omega \quad (14)$$

El primer término representa la variación de  $\phi$  en el tiempo, el segundo el flujo a través de  $\Gamma$  debido al campo de velocidades, el tercero la producción o destrucción de  $\phi$  debido a las reacciones, el cuarto el flujo debido a la difusión y finalmente el quinto la fuente (CIMEC, 2015).

## 4.2 Procedimiento para realización de tareas mediante CAE

**4.2.1 Pre-proceso.** Es la fase de inicio, donde se define la geometría o modelo a ser analizado en la cual consta lo siguiente:

- Construcción de la geometría del problema con la ayuda de CAD a través de líneas, áreas, volúmenes; se establece el modelo, en la cual se genera la malla. El mallado debe ser apropiado para poder contar con resultados fiables.
- Asignación de las propiedades del material a ser utilizado.
- Aplicación de las condiciones de contorno.
- Designación de las cargas (puntuales, lineales, superficiales).

**4.2.2 Proceso o Cálculo.** En esta etapa el programa se encarga de realizar los cálculos necesarios para poder solucionar el problema descrito en el pre-proceso, la cual es posible llevar a cabo con los siguientes pasos:

- Determinar el tipo de cálculo a realizar por ejemplo si es análisis estático o dinámico entre otros.
- Cálculo de variables derivadas como fuerzas de reacción, tensiones en los elementos, flujos de calor, etc.
- Configuración de los parámetros de cálculo, selección de intervalos de tiempo, norma del error, número de iteraciones etc.

- Transferencias de las cargas al modelo, solución de ecuaciones, utilización de algoritmos para la resolución de sistemas de ecuaciones; en la cual el programa se encarga de realizarlo una vez iniciado los cálculos.

**4.2.3** *Post-proceso.* Etapa final donde se puede apreciar los resultados de algunas maneras:

- Representación gráfica de los resultados mediante clasificación en colores dependiendo la magnitud de las variables, curvas de resultados, etc.; para una mejor comprensión.
- Listado de resultados.

### **4.3 Datos de temperatura, presión, densidad de aire en la provincia de Chimborazo**

En base a estudios realizados anteriormente de temas similares se toma como referencia la siguiente información:

Durante 7 días y a diferentes horas se tomaron las lecturas de: temperatura, presión, y altura en la ciudad de Riobamba, en el laboratorio de aerodinámica, de la escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, con un anemómetro KESTREL digital cuya tolerancia es de  $\pm 3\%$ . Cuando la unidad está apagada, los datos no se acumulan entre 2 y 5 segundos, una vez obtenidos estos datos se promedió, la temperatura, presión, y altura respectivamente cuyos resultados son los nuevos parámetros de entrada al software Ansys, esto se lo realizo con el objetivo de estudiar la aerodinámica en diferentes condiciones de carga y velocidad, como se muestra a continuación en la siguiente tabla: (ALBÁN PUCHA, 2016)

Tabla 10. Lecturas tomadas en la ciudad de Riobamba durante 7 días

<b>Lectura</b>	<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>T [°C]</b>	<b>Presión [hPa]</b>	<b>Altura [m]</b>
1	06	14:18	24,3	726,8	2713
2	08	08:53	16,7	730,3	2675
3	15	09:18	17,4	732,0	2654
4	16	10:30	17,2	733,2	2647
5	17	11:30	18,9	730,2	2678

Tabla 11. (Continúa)

6	20	08:25	15,1	731,4	2664
7	29	09:22	16,3	730,8	2668
Promedio			18,0	730,7	2671

Fuente: ALBÁN PUCHA, 2016

Los valores tomados por la mañana presentan una variación mínima, en la temperatura, presión y altura, esto indica que el fluido es laminar y liviano a mayor temperatura. (ALBÁN PUCHA, 2016)

Temperatura: De acuerdo a los datos obtenidos en la ciudad de Riobamba la temperatura tiene un promedio de  $17,986\text{ }^{\circ}\text{C} = 290,986\text{ K}$ . (ALBÁN PUCHA, 2016)

Presión: El promedio de presión obtenido durante los 7 días es de:  $730,671\text{ hPa} = 73067,100\text{ Pa}$ . (ALBÁN PUCHA, 2016)

#### 4.3.1 *Cálculo de la densidad de aire*

**4.3.1.1 *Ley del gas ideal.*** Es un gas hipotético, la cual está formada por partículas puntuales, las moléculas no interactúan entre sí y se mueven aleatoriamente, el gas se puede comprimir o expandir con facilidad, toman la forma y el volumen del recipiente que lo contiene y cuya ecuación es la siguiente:

$$P \cdot v = n \cdot R \cdot T \quad (15)$$

Donde:

$P$  = Presión

$v$  = Volumen

$n$  = Número de mol-gramos del gas.

$R$  = Constante Universal de gases [ $8,314\text{ J}/(\text{mol}^{\circ}\text{K})$ ]

$T$  = Temperatura

$$n = \frac{m}{M_m} \quad (16)$$

Donde:

$m$  = Masa (kg)

$M_m$  = Masa molar [28,97 g/mol]

Insertando la ecuación (15) en (14) se obtiene lo siguiente:

$$P \cdot v = \frac{m}{M_m} \cdot R \cdot T \quad (17)$$

Despejando la ecuación se tiene lo siguiente:

$$\frac{m}{v} = \frac{PM_m}{RT} \quad (18)$$

$$\frac{m}{v} = \delta$$

Con la siguiente relación se puede obtener la densidad del aire:

$$\delta = \frac{PM_m}{RT} \quad (19)$$

De los datos citados anteriormente se utilizaran la presión promedio y temperatura promedio.

$$\delta = \frac{73067,1Pa * 28.97 \frac{g}{mol}}{8,314 \frac{J}{mol^{\circ}K} * 289,986^{\circ}K}$$

$$\delta = 874,96 \frac{gPa mol^{\circ}K}{mol J^{\circ}K}$$

$$\delta = 874,96 \frac{gPa}{J}$$

Donde:

Pa=N/m<sup>2</sup>

J = N\*m

$$\delta = 874,96 \frac{g \frac{N}{m^2}}{Nm}$$

$$\delta = 874,96 \frac{gN}{Nm^3}$$

$$\delta = 874,96 \frac{g}{m^3} = 0,875 \frac{Kg}{m^3}$$

Resolviendo la ecuación se puede decir que la densidad del aire en Riobamba es de 0,875 kg/m<sup>3</sup>.

Este valor es debido a que la ciudad de Riobamba se encuentra a una altitud media de 2750 m.s.n.m. y la densidad del aire a nivel del mar es 1,3 kg/m<sup>3</sup>, la densidad del aire es inversamente proporcional a la altura que se encuentre.

#### **4.4 Análisis de los vehículos modelados mediante ANSYS 17.1**

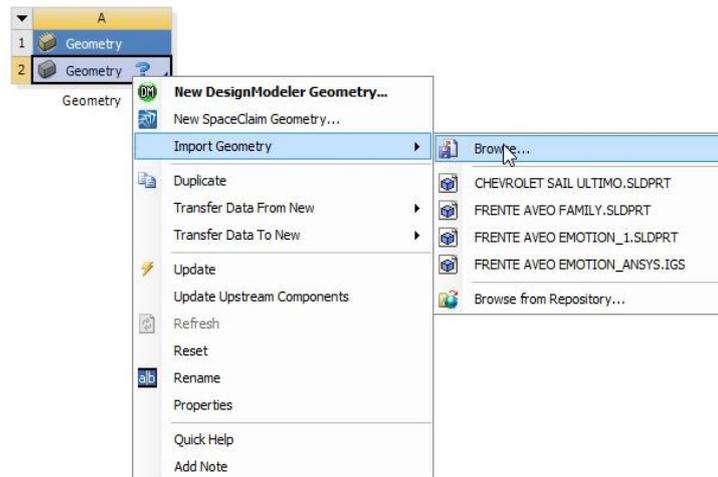
Para el análisis respectivo de los tres vehículos modelados se utilizará el software ANSYS 17.1, siendo este uno de los más utilizados en la industria automotriz.

Los datos requeridos por el programa se lo explicarán a medida que se avance la investigación.

Una vez generado el modelado o la geometría en CAD se procede a analizar el comportamiento aerodinámico mediante este software.

El primer paso a realizar es crear la geometría o importar la geometría generada en CAD.

Figura 41. Importación de la geometría generada en CAD.



Fuente: Autor

Se selecciona el modelado generado en CAD.

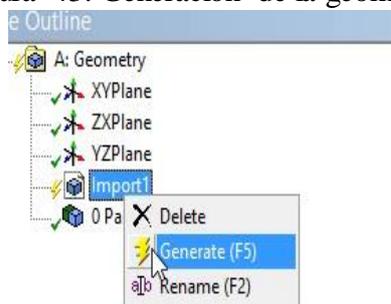
Figura 42. Selección del modelo generado en CAD



Fuente: Autor

A continuación se genera la geometría, importar dando click en generate.

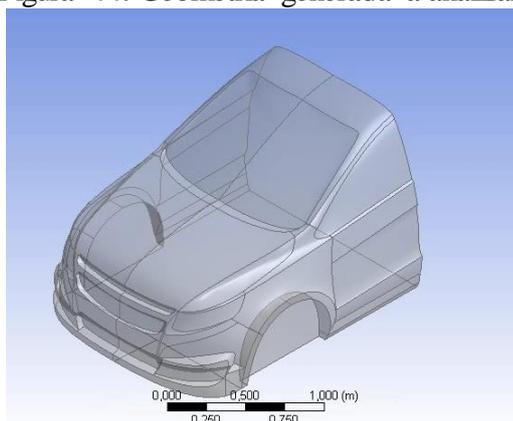
Figura 43. Generación de la geometría.



Fuente: Autor.

Se observa la geometría generada del vehículo que se va analizar.

Figura 44. Geometría generada a analizar.



Fuente: Autor.

A continuación se generara el túnel de viento virtual, donde se podrá apreciar como el aire virtual fluye en el vehículo modelado, conocer las reacciones de la carrocería al chocar con el aire y las resultantes.

**4.4.1** *Generación del túnel de viento.* Lo recomendado para la generación del túnel de viento virtual para el análisis mediante CFD; debe tener una longitud mínima de 3 veces de longitud del vehículo de frente y 5 veces de longitud del vehículo desde la parte posterior del vehículo; la altura entre el piso del túnel de viento y el piso del vehículo es de 0,2 m que puede considerarse la dimensión de los neumáticos; la sección frontal aproximadamente el doble de la anchura del vehículo.

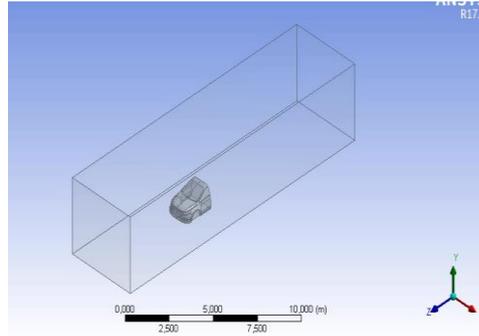
Las dimensiones del vehículo que se está analizando son las siguientes: longitud 2000 mm, altura 1280mm y una anchura de 1690 mm; por lo que se ha considerado realizar de las siguientes medidas el túnel del viento virtual: 3 m de ancho; 3,2 m de alto la cual los 0,2 m es respecto del piso y 16 m de largo.

Figura 45. Dimensión del túnel de viento virtual.

Sketching Modeling	
Details View	
Details of Enclosure1	
Enclosure	Enclosure1
Shape	Box
Number of Planes	0
Cushion	Non-Uniform
<input type="checkbox"/> FD1, Cushion +X value (>0)	1,5 m
<input type="checkbox"/> FD2, Cushion +Y value (>0)	3 m
<input type="checkbox"/> FD3, Cushion +Z value (>0)	6 m
<input type="checkbox"/> FD4, Cushion -X value (>0)	1,5 m
<input type="checkbox"/> FD5, Cushion -Y value (>0)	0,2 m
<input type="checkbox"/> FD6, Cushion -Z value (>0)	10 m
Target Bodies	All Bodies
Export Enclosure	Yes

Fuente: Autor.

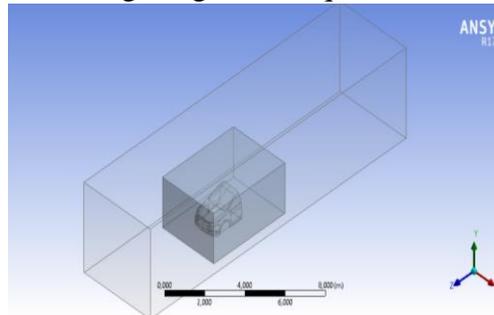
Figura 46. Generación del túnel de viento virtual.



Fuente: Autor.

Se crea un rectángulo extruido que cubra toda la geometría del vehículo, el rectángulo generado se utilizará para poder realizar en lo posterior un mallado más fino del modelado que se está analizando.

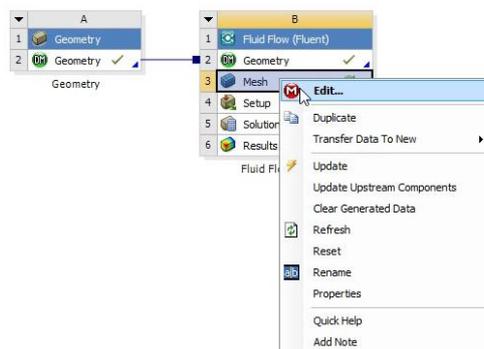
Figura 47. Rectángulo generado que cubre el modelado.



Fuente: Autor.

Una vez generada la geometría se procede a realizar el respectivo mallado.

Figura 48. Inicio del proceso de mallado.

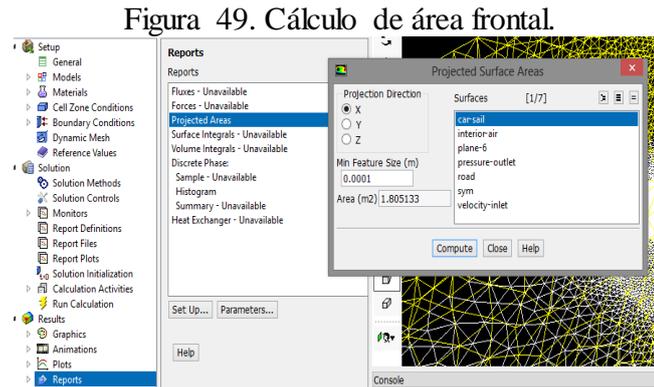


Fuente: Autor.

**4.4.2** *Cálculo del área frontal.* El área frontal es la primera en estar en contacto con el aire al momento de iniciar el vehículo su movimiento, por la tanto esta área es la encargada de disipar el flujo de aire que se opone a su movimiento.

Se calcula el área frontal debido a que es uno de los parámetros requeridos por el Software para el análisis, como por las fórmulas respectivas para poder determinar el comportamiento aerodinámico.

El área frontal se determina mediante el Software ANSYS 17.1, en setup como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Autor.

El área frontal calculada fue la siguiente:

$$A_f = 1,869488 \text{ m}^2$$

**4.4.3 Calidad de mallado.** Para verificar la calidad de mallado en análisis mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD), se utiliza el criterio de Skewness; la cual es la recomendada para este tipo de análisis, donde se evalúa de acuerdo a los colores que se presenta; iniciando desde un color azul de 0-0,25 que es un mallado excelente a un color rojo que es inaceptable de 0,98-1.00.

Figura 50. Calidad de mallado mediante Skewness.

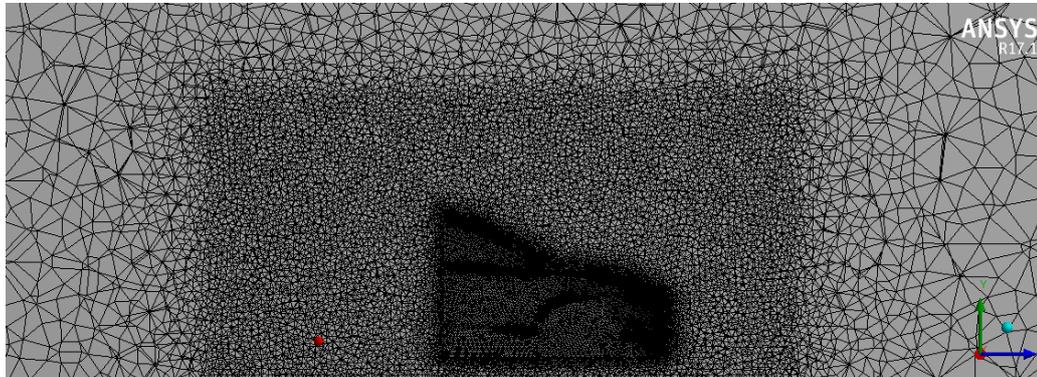
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.95	0.95-0.98	0.98-1.00*
Excellent	very good	good	acceptable	bad	Inacceptable*

Fuente: [http://www.users.miamioh.edu/sommerad/NSF%20Files/CFD\\_website.html](http://www.users.miamioh.edu/sommerad/NSF%20Files/CFD_website.html)

Las mallas generadas para el análisis serán de dos tipos, una para el túnel de viento y otra para la geometría que se está analizando. La malla de la geometría será más fina con respecto a la del túnel de viento por ser la zona de interés de estudio; ambas mallas deberán cumplir con un criterio de mallado adecuado para obtener resultados fiables.

Se puede observar en la siguiente figura los dos tipos de mallados realizados, un mallado para el túnel de viento y el mallado más fino corresponde al cuadro que se generó anteriormente, en el cual se encuentra la geometría a ser analizado.

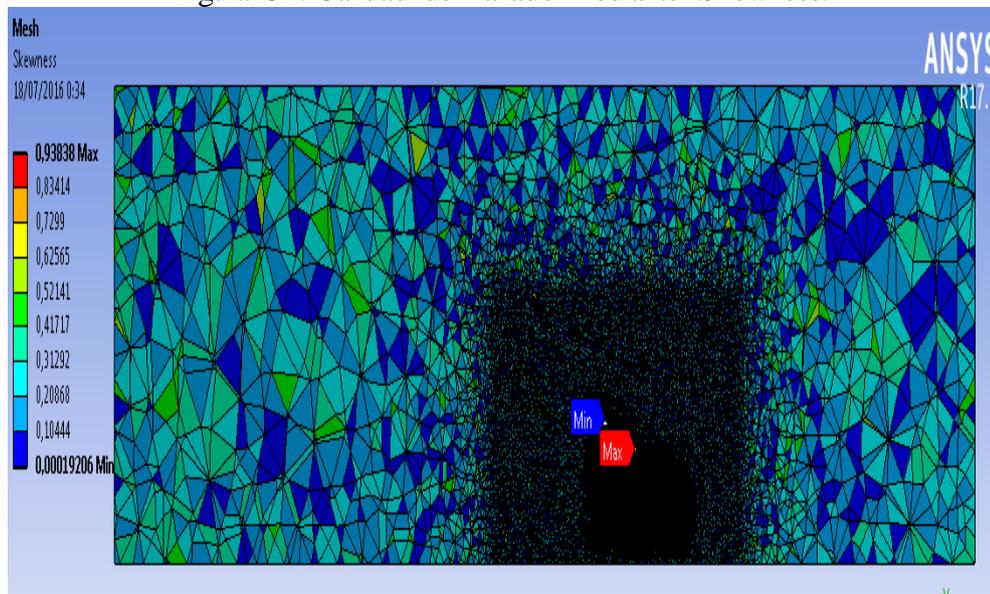
Figura 51. Calidad de mallado mediante Body Color.



Fuente: Autor

En la siguiente imagen se puede apreciar que el mallado del túnel de viento presenta colores azul y verde, lo cual significa que el mallado se encuentra entre buena y excelente.

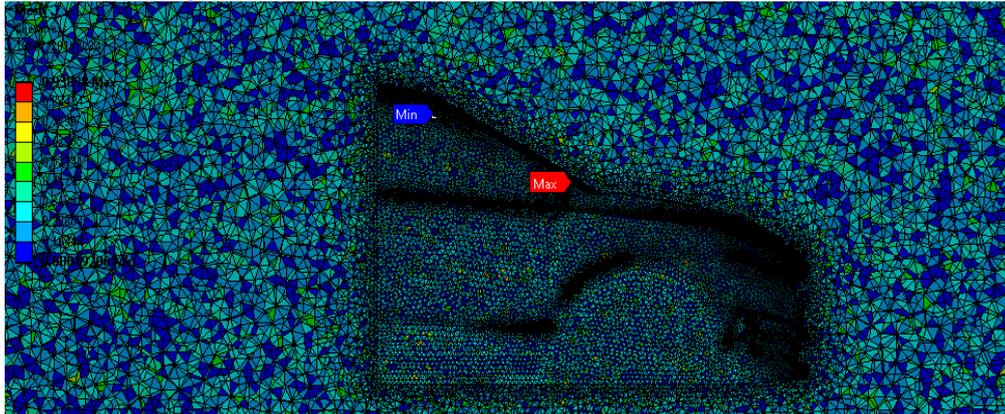
Figura 52. Calidad de mallado mediante Skewness.



Fuente: Autor.

El mallado de la geometría a analizar y el túnel de viento se la verifica mediante el criterio de Skewness, la cual muestra que el mallado se encuentra de buena a excelente, con esto se puede concluir que el mallado es adecuado para su respectivo análisis y los resultados que se obtendrán en lo posterior son fiables.

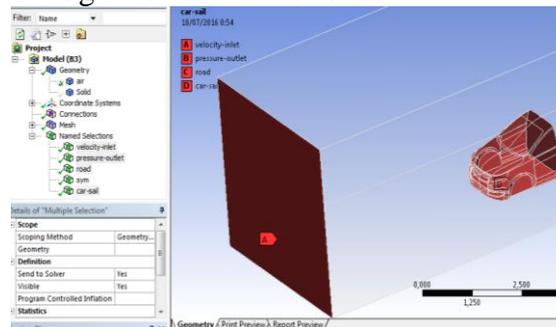
Figura 53. Mallado del modelado mediante Skewness.



Fuente: Autor

El túnel de viento se define de la siguiente manera: donde se inicia el flujo de aire virtual se la denomina velocity-in, la parte posterior del túnel pressure Outlet, el piso road, las paredes laterales como el techo sym y por último la geometría a analizar se la denomina de acuerdo al modelo que se esté analizando, en este caso car-sail.

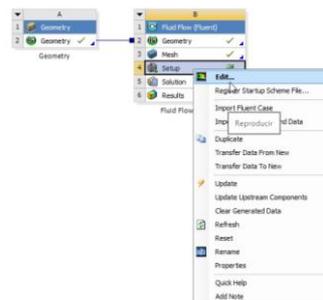
Figura 54. Asignación de variables del túnel de viento virtual.



Fuente: Autor.

Luego del mallado se inicia a insertar datos relevantes como las velocidades a que se deben analizar, la densidad del aire, temperatura, tipo de fluido entre otros datos; para lo cual debe ingresar en setup.

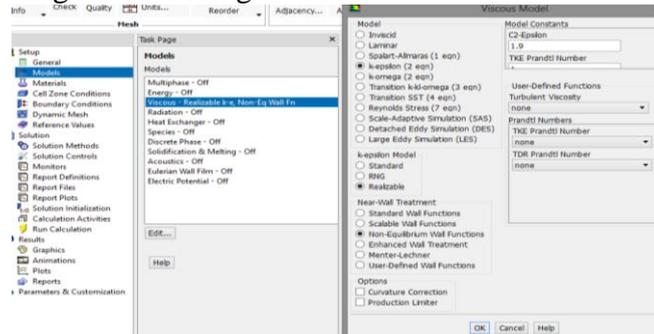
Figura 55. Inicio en Setup.



Fuente: Autor.

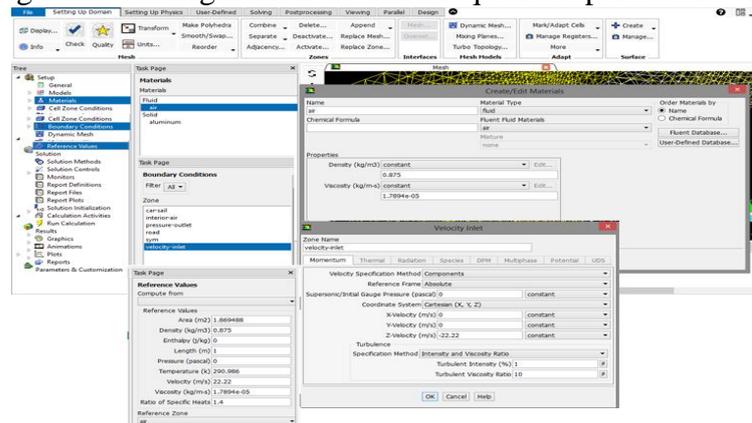
Luego de ingresar en setup, se inicia a configurar datos como: la densidad del aire que al realizar los respectivos cálculos se obtuvo lo siguiente  $0,875 \text{ kg/m}^3$ ; la velocidad a la que el aire circula que en este caso es de  $80 \text{ km/h}$  que es igual  $22,22 \text{ m/s}$ , se transforma m/s debido a que en el programa se introduce en m/s. Otro dato de importancia es la temperatura que es este caso de  $290,99 \text{ }^\circ\text{K}$ .

Figura 56. Configuración del método de análisis.



Fuente: Autor

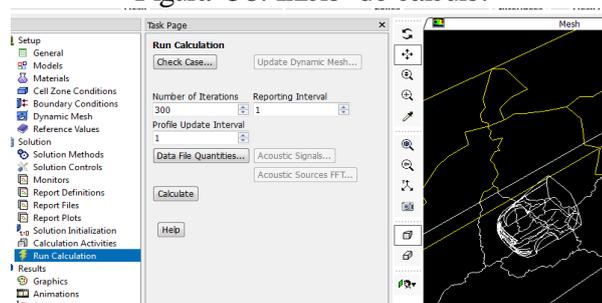
Figura 57. Configuración de datos requeridos por el software.



Fuente: Autor.

Luego de haber insertado los datos requeridos y el número de iteraciones, que en este caso es de 300 iteraciones; el software se encarga de realizar los cálculos necesarios.

Figura 58. Inicio de cálculo.



Fuente: Autor.

Con los resultados obtenidos se podrá realizar los respectivos cálculos para conocer el comportamiento aerodinámico de cada uno de los vehículos modelados a diferentes velocidades.

#### 4.5 Análisis del comportamiento aerodinámico Chevrolet SAIL

##### 4.5.1 Chevrolet SAIL 80 km/h

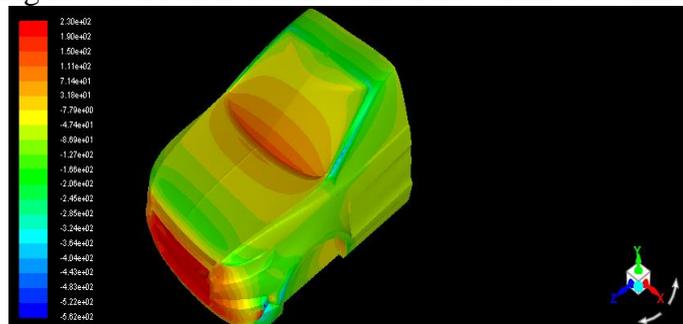
**4.5.1.1 Análisis de presión estática.** Como se puede observar en la siguiente figura, la presión se puede distinguir por medio de los colores, siendo la presión mínima el color azul y la máxima de color rojo.

La mayor parte de la geometría es de color verde, que se puede interpretar que la presión no tiene gran incidencia; las partes donde presentan mayor presión son el spoiler y parachoques delantero, las presiones mínimas y máximas son las siguientes:

$$P_{\min} = -561,7852 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 229,6371 \text{ Pa}$$

Figura 59. Presión estática Chevrolet SAIL a 80 Km/h.



Fuente: Autor.

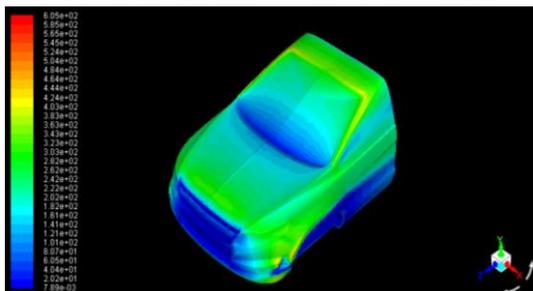
**4.5.1.2 Análisis de la presión dinámica.** La presión dinámica se genera una vez que el vehículo inicie a desplazarse o cuando el flujo de aire inicia a moverse sobre la geometría; la presión dinámica depende de la velocidad y de la densidad del aire.

A diferencia de la presión estática, donde la mayor presión se encuentra en el spoiler y parachoques delantero; en la presión dinámica son las zonas que menor presión presentan como se puede observar en la figura; los límites de presiones en este caso son:

$$P_{\min} = 0,00788 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 605,1838 \text{ Pa}$$

Figura 60. Presión dinámica Chevrolet SAIL 80 Km/h.



Fuente: Autor.

**4.5.1.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Los datos que se pueden obtener mediante este software son varios, los datos primordiales para este estudio son las fuerzas aerodinámicas y los coeficientes respectivos.

Los datos que se obtuvo mediante el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos SAIL a 80 Km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coefficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-208,50661	N	-0,51633	adimensional
Fuerza de sustentación	-175,7940	N	-0,43532	adimensional

Fuente: Autor.

**4.5.1.4** *Coefficiente de sustentación (Cy).* Se verificará que el coeficiente de sustentación obtenido mediante el software coincide con el cálculo realizado, mediante la fórmula respectiva.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$175,7940 \text{ N} = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * C_y * 1,869488 \text{m}^2 * (22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$175,7940 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * C_y * 1,869488 \text{m}^2 * (22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$175,7940 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * C_y * 1,869488 \text{m}^2 * (22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$175,7940 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 403,8209 * C_y * \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \text{m}^2 * \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$175,7940 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 403,8209 * C_y * \frac{\text{kgm}^4}{\text{m}^3 \text{s}^2}$$

$$C_y = \frac{175,7940 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}{403,8209 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}$$

$$C_y = 0,43532$$

El coeficiente de sustentación obtenido mediante cálculo es el mismo coeficiente proporcionado por el programa.

#### 4.5.1.5 Coeficiente de arrastre ( $C_x$ )

$$R_x = F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^2$$

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2(208,50661\text{N})}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,869488\text{m}^2 * (22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_x = \frac{2(208,50661)\text{kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,875 * 1,869488 * (22,22)^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \text{m}^2 * \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}$$

$$C_x = \frac{2(208,50661)\text{kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,875 * 1,869488 * (22,22)^2 \frac{\text{kgm}^4}{\text{m}^3 \text{s}^2}}$$

$$C_x = \frac{2(208,50661)\text{kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,875 * 1,869488 * (22,22)^2 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}$$

$$C_x = 0,51633$$

#### 4.5.1.6 Cálculo de fineza ( $f$ )

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,435}{0,516}$$

$$f = 0,8430$$

#### 4.5.1.7 Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{kg}{m^3} * 0,51 * 1,869488m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{kg}{m^3} * 0,51 * 1,869488m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 * 0,51 * 1,869488 * (22,22)^3 \frac{kg * m^2 * m^3}{m^3 s^3}$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{kg * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{kg * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 4576,1798 W$$

$$Pot = 6,137 HP$$

**4.5.1.8 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesario para vencer la potencia de  $Pot = 6,137 HP$  generada por las fuerzas aerodinámicas.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$\text{Gasolina} = 32,18 \frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

Donde:

$$1 \text{ HP} = 745,69 \text{ W}$$

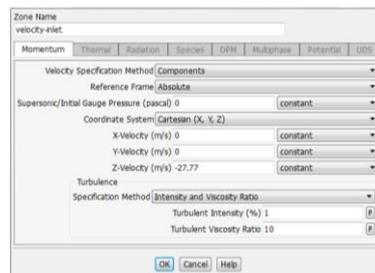
$$1 \text{ W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{N} * \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{Kg} * \text{m}^2}{\text{s}}$$

$$4576,1798 \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{1 \text{KJ}}{1000\text{J}} * \frac{1 \text{MJ}}{1000\text{KJ}} = 0,0045762 \frac{\text{MJ}}{\text{s}}$$

$$0,0045762 \frac{\text{MJ}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Lt}}{32,18 \text{ MJ}} = 0,000142206 \frac{\text{Lt}}{\text{s}} = 0,008532 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} = 0,51194 \frac{\text{Lt}}{\text{h}}$$

**4.5.2** *Chevrolet SAIL 100 Km/h.* Para realizar el análisis a 100 km/h se debe de transformar a m/s, la cual es de 27,77 m/s, las condiciones del problema son las mismas, con la diferencia que se edita la velocidad de entrada del aire.

Figura 61. Velocidad del aire a 100 km/h.



Fuente: Autor.

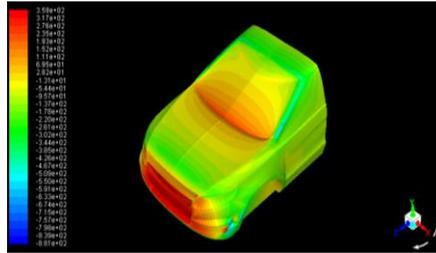
**4.5.2.1** *Análisis de presión estática.* La presión estática al igual que en el análisis a 80 km/h, las zonas donde se presentan mayor presión son el spoiler y parachoques delantero; esto se debe por ser la primera zona en estar en contacto con el aire, una vez que esta inicie a fluir por la geometría del vehículo.

Los límites de las de presión son las siguientes:

$$P_{\min} = -880,5037 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 358,5882 \text{ Pa}$$

Figura 62. Presión estática Chevrolet SAIL 100 km/h.



Fuente: Autor.

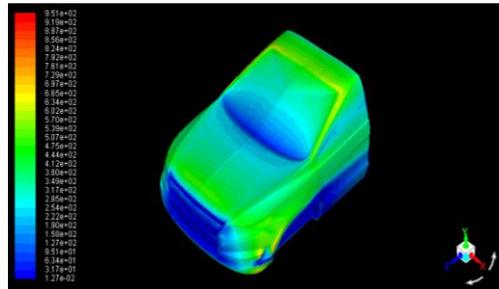
**4.5.2.2** *Análisis de la presión dinámica.* La presión dinámica al igual que a los 80 km/h donde existían las zonas de mayor presión son las zonas donde menor presión presentan, la única variación a los 100 Km/h son los límites de la presión.

Los límites de presión dinámica a 100 km/h son los siguientes:

$$P_{\min} = 0,01267 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 950,6851 \text{ Pa}$$

Figura 63. Presión dinámica Chevrolet SAIL 100 km/h.



Fuente: Autor.

**4.5.2.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Los datos que se obtuvo son los siguientes.

Tabla 13. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos SAIL a 100 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coefficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-325,71388	N	-0,51639	adimensional
Fuerza de sustentación	-275,13927	N	-0,43532	adimensional

Fuente: Autor.

**4.5.2.4** *Coefficiente de sustentación (Cy).* Verificación del coeficiente de sustentación obtenido por el software a una velocidad superior.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 275,13927 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,869488 \text{ m}^2 * (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_y = 0,43621$$

**4.5.2.5** *Coefficiente de arrastre (Cx).* Al igual que coeficiente de sustentación se procede a comprobar el coeficiente de arrastre a una velocidad diferente.

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2 * 325,71388 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,869488 \text{ m}^2 * (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_x = 0,51639$$

**4.5.2.6** *Cálculo de fineza (f).*

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,43621}{0,51639}$$

$$f = 0,8447$$

**4.5.2.7** *Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre.*

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,51 * 1,869488 \text{ m}^2 * (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

$$Pot = 8933,02511 W = 11,980 HP$$

**4.5.2.8 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de  $Pot = 11,980$  Hp generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$Gasolina = 32,18 \frac{MJ}{L} = 43,5 \frac{MJ}{Kg}$$

Donde:

$$1 HP = 745,69$$

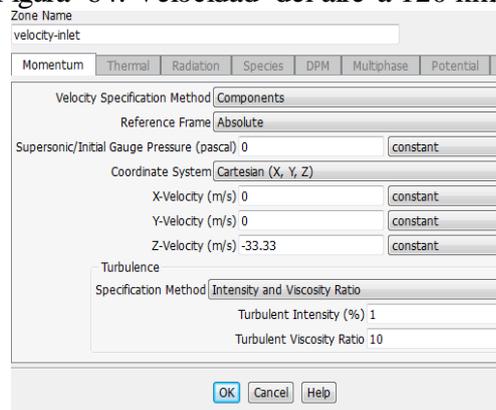
$$1W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{kg * m^2}{s}$$

$$8933,02511 \frac{J}{s} * \frac{1KJ}{1000J} * \frac{1MJ}{1000KJ} = 0,0089330 \frac{MJ}{s}$$

$$0,0089330 \frac{MJ}{s} * \frac{1 Lt}{32,18 MJ} = 0,00027759 \frac{Lt}{s} = 0,0166557 \frac{Lt}{min} = 0,99934 \frac{Lt}{h}$$

**4.5.3 Chevrolet SAIL a 120 Km/h.** Para el siguiente análisis, al igual que el anterior, el único parámetro a editar es la velocidad que debe estar en m/s, cuyo valor 33,33 m/s como se muestra en la siguiente figura.

Figura 64. Velocidad del aire a 120 km/h.



Fuente: Autor.

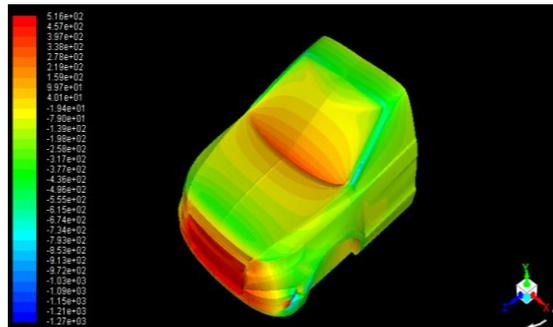
**4.5.3.1** *Análisis de presión estática.* Al igual que en las presiones estáticas anteriores, la mayor presión generada sigue siendo el spoiler y parachoques delantero, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Límites de la presión:

$$P_{\min} = -1269,811 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 516,4573 \text{ Pa}$$

Figura 65. Presión estática a Chevrolet SAIL 120 km/h.



Fuente: Autor.

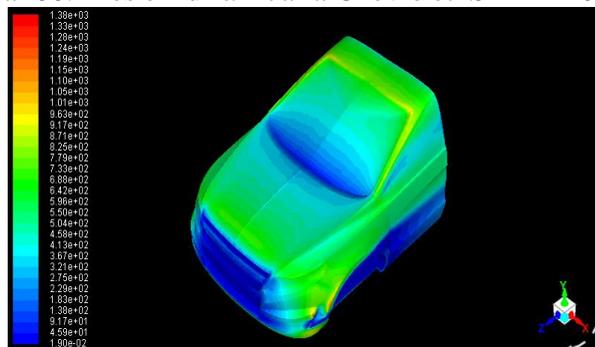
**4.5.3.2** *Análisis de presión dinámica.* Al incrementar la velocidad se incrementan también los límites de las presiones, por lo que se puede observar los límites de las presiones son mayores a los 120 km/h.

Los límites de presión dinámica a 120 km/h son las siguientes:

$$P_{\min} = 0,01898 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 1375,265 \text{ Pa}$$

Figura 66. Presión dinámica a Chevrolet SAIL 120 km/h.



Fuente: Autor.

**4.5.3.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Los datos que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos SAIL a 120 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-469,23887	N	-0,51644	adimensional
Fuerza de sustentación	-396,91641	N	-0,43684	adimensional

Fuente: Autor.

**4.5.3.4** *Coeficiente de sustentación (Cy).* Verificación del coeficiente de sustentación a una velocidad de 120 km/h.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 396,91641 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,869488 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_y = 0,43684$$

**4.5.3.5** *Coeficiente de arrastre (Cx).* Al igual que coeficiente de sustentación se procede a comprobar el coeficiente de arrastre a una velocidad diferente.

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2 * 469,23887 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,869488 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_x = 0,51644$$

**4.5.3.6** *Cálculo de fineza (f).*

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,43684}{0,51644}$$

$$f = 0,8459$$

**4.5.3.7** *Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre*

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * Cx * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{kg}{m^3} * 0,51 * 1,869488m^2 * (33,33 \frac{m}{s})^3$$

$$Pot = 15444,6068 W = 20,712 HP$$

**4.5.3.8** *Cálculo de Consumo de combustible.* Se procede a calcular la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de Pot = 20,712 HP generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$Gasolina = 32,18 \frac{MJ}{L} = 43,5 \frac{MJ}{kg}$$

Donde:

$$1 HP = 745,69 W$$

$$1W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s}$$

$$20,712 HP = 15444,6068 W = 15444,6068 \frac{J}{s}$$

$$15444,6068 \frac{J}{s} * \frac{1KJ}{1000J} * \frac{1MJ}{1000KJ} = 0,015445 \frac{MJ}{s}$$

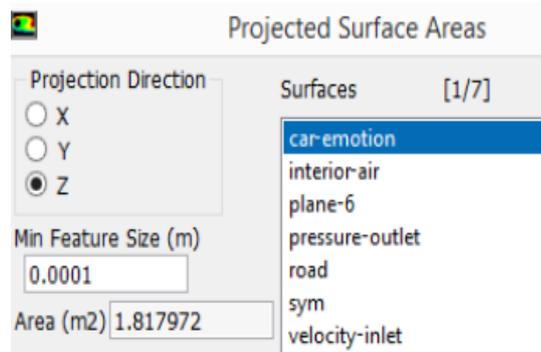
$$0,015445 \frac{MJ}{s} * \frac{1 Lt}{32,18 MJ} = 0,00047996 \frac{Lt}{s} = 0,028797 \frac{Lt}{min} = 1,72784 \frac{Lt}{h}$$

#### 4.6 Análisis del comportamiento aerodinámico Chevrolet AVEO EMOTION GLS

El procedimiento para realizar el análisis del Chevrolet AVEO EMOTION GLS son los mismos que los realizados en el CHEVROLET SAIL, con la diferencia que cambia el valor del área frontal.

**4.6.1** *Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.* Para calcular el área frontal se lo realiza como se explicó anteriormente del Chevrolet SAIL.

Figura 67. Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO EMOTION GLS.



Fuente: Autor.

El área calculada es la siguiente:

$$\text{Área frontal} = 1,817972 \text{ m}^2$$

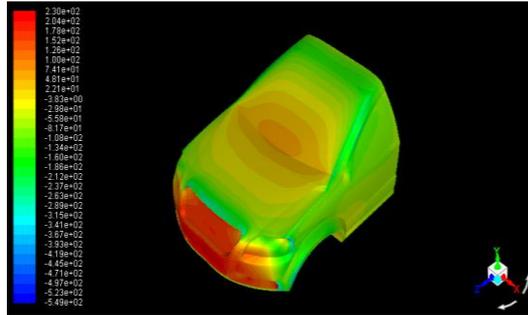
**4.6.2** *Chevrolet AVEO EMOTION GLS 80 Km/h.* Análisis de presión estática. Se puede apreciar en la siguiente figura que las zonas donde presentan mayor presión son el spoiler y parachoques delantero.

Los valores mínimos y máximos de las presiones son las siguientes:

$$P_{\min} = -549,0078 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 229,8153 \text{ Pa}$$

Figura 68. Presión estática Chevrolet AVEO EMOTION GLS 80 km/h.



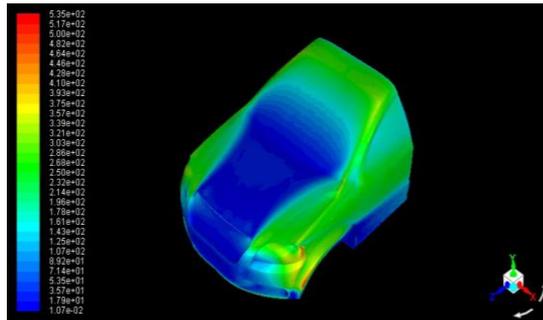
Fuente: Autor.

**4.6.2.1** *Análisis de presión dinámica.* A diferencia de la presión estática; el spoiler, parachoques delantero, una parte del capot y parabrisas, presentan la menor presión; los valores de las presiones son las siguientes:

$$P_{\min} = 0,010678 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 535,3167 \text{ Pa}$$

Figura 69. Presión dinámica Chevrolet AVEO EMOTION GLS 80 km/h.



Fuente: Autor.

**4.6.2.2** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Las fuerzas y coeficientes que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO EMOTION GLS 80 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-217,92492	N	-0,554949	adimensional
Fuerza de sustentación	-175,9430	N	-0,44804	adimensional

Fuente: Autor.

**4.6.2.3** *Coficiente de sustentación (Cy).* Al igual que en el análisis del Chevrolet SAIL, se comprobará el coeficiente obtenido por el software y calculado matemático.

$$Fy = \frac{1}{2} * \rho * Cy * Af * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 175,9430N}{0,875 \frac{kg}{m^3} * 1,817972 m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^2}$$

$$C_y = 0,44804$$

**4.6.2.4** *Coeficiente de arrastre (Cx).* Al igual que coeficiente de sustentación se procede a comprobar el coeficiente de arrastre.

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * C_x * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2 * 217,92492N}{0,875 \frac{kg}{m^3} * 1,817972 m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^2}$$

$$C_x = 0,55495$$

**4.6.2.5** *Cálculo de fineza (f)*

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,44804}{0,55495}$$

$$f = 0,8074$$

**4.6.2.6** *Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre*

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{kg}{m^3} * 0,55 * 1,817972 m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^3$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{kg * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{kg * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 4799,1033 W$$

$$Pot = 6,436 HP$$

**4.6.2.7 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de Pot = 6,436 HP generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$Gasolina = 32,18 \frac{MJ}{L} = 43,5 \frac{MJ}{Kg}$$

Donde:

$$HP = 745,69 W$$

$$1W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{kg * m^2}{s}$$

$$4799,1033 W \frac{J}{s} * \frac{1KJ}{1000J} * \frac{1MJ}{1000KJ} = 0,0047991 \frac{MJ}{s}$$

$$0,0047991 \frac{MJ}{s} * \frac{1 Lt}{32,18 MJ} = 0,00014913 \frac{Lt}{s} = 0,0089480 \frac{Lt}{min} = 0,53688 \frac{Lt}{h}$$

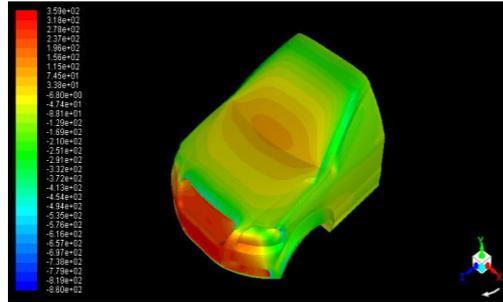
#### **4.6.3 Chevrolet AVEO EMOTION GLS 100 Km/h.**

**4.6.3.1 Análisis de presión estática.** Las zonas donde existe mayor presión se mantienen, lo que varía son los límites de la presión.

$$P_{min} = -859,9773 Pa$$

$$P_{max} = 358,8515 Pa$$

Figura 70. Presión estática Chevrolet AVEO EMOTION GLS 100 km/h.



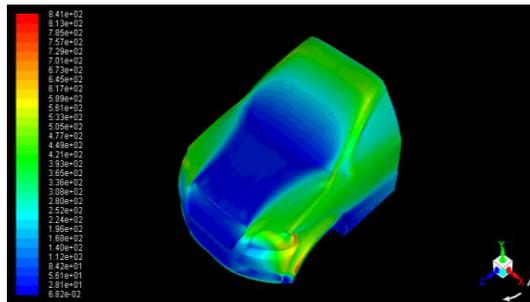
Fuente: Autor.

**4.6.3.2** *Análisis de presión dinámica.* A una velocidad mayor las zonas donde se presenta la presión máxima y mínima se mantiene, variando únicamente sus valores.

$$P_{\min} = 0,068158 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 841,1363 \text{ Pa}$$

Figura 71. Presión dinámica Chevrolet AVEO EMOTION GLS 100 km/h.



Fuente: Autor.

**4.6.3.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Las fuerzas y coeficientes que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 16. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO EMOTION GLS 100 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coefficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-340,43574	N	-0,555032	adimensional
Fuerza de sustentación	-275,22997	N	-0,44872	adimensional

Fuente: Autor.

**4.6.3.4** *Coefficiente de sustentación (Cy).* Se comprobará el coeficiente de sustentación a una velocidad superior.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 275,22997N}{0,875 \frac{kg}{m^3} * 1,817972 m^2 * (27,77 \frac{m}{s})^2}$$

$$C_y = 0,44872$$

**4.6.3.5** *Coeficiente de arrastre (Cx).* Al igual que coeficiente de sustentación se procede a comprobar el coeficiente de arrastre a una velocidad diferente.

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * C_x * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2 * 340,43574N}{0,875 \frac{kg}{m^3} * 1,817972 m^2 * (27,77 \frac{m}{s})^2}$$

$$C_x = 0,55503$$

**4.6.3.6** *Cálculo de fineza (f)*

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,44872}{0,55503}$$

$$f = 0,8085$$

**4.6.3.7** *Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre*

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{kg}{m^3} * 0,55 * 1,817972 m^2 * (27,77 \frac{m}{s})^3$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 9368,1875 W$$

$$Pot = 12,563 HP$$

**4.6.3.8** *Cálculo de Consumo de combustible.* Se calculará la cantidad de combustible necesario para vencer la potencia de  $Pot = 12,563 HP$  generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$Gasolina = 32,18 \frac{MJ}{L} = 43,5 \frac{MJ}{Kg}$$

Donde:

$$1 HP = 745,69 W$$

$$1W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{kg * m^2}{s}$$

$$9368,1875 W \frac{J}{s} * \frac{1KJ}{1000J} * \frac{1MJ}{1000KJ} = 0,0093682 \frac{MJ}{s}$$

$$0,0093682 \frac{MJ}{s} * \frac{1 Lt}{32,18 MJ} = 0,00029111 \frac{Lt}{s} = 0,017467 \frac{Lt}{min} = 1,04803 \frac{Lt}{h}$$

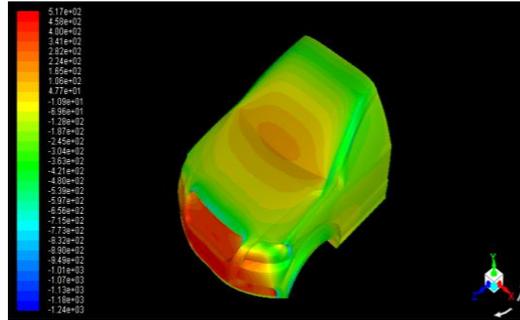
#### **4.6.4** *Chevrolet AVEO EMOTION GLS 120 Km/h*

**4.6.4.1** *Análisis de presión estática.* Al igual que en los anteriores, la zona de presiones máximo y mínimo no cambian, variando únicamente los valores.

$$P_{min} = -1242,303 Pa$$

$$P_{max} = 516,8173 Pa$$

Figura 72. Presión estática Chevrolet AVEO EMOTION GLS 120 km/h.



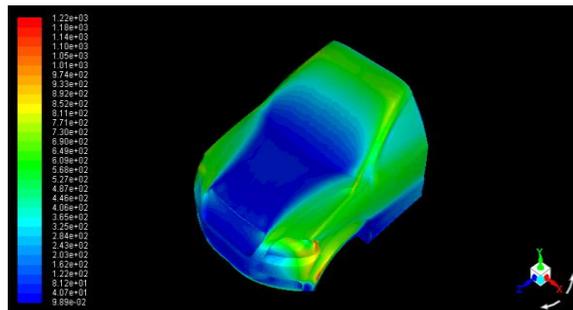
Fuente: Autor

**4.6.4.2** *Análisis de presión dinámica.* Igual que en las presiones anteriores, las zonas donde se aplican las presiones máximas y mínimas a una velocidad superior se mantienen, solo varían los valores de las presiones.

$$P_{min} = 0,098929 Pa$$

$$P_{max} = 1217,002 Pa$$

Figura 73. Presión dinámica Chevrolet AVEO EMOTION GLS 120 km/h.



Fuente: Autor.

**4.6.4.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Las fuerzas y coeficientes que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 17. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO EMOTION GLS 120 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-490,4038	N	-0,55503	adimensional
Fuerza de sustentación	-396,90455	N	-0,44921	adimensional

Fuente: Autor.

**4.6.4.4** *Coficiente de sustentación (Cy).* Verificación del coeficiente de sustentación a una velocidad superior.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 396,90455 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,817972 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_y = 0,44921$$

**4.6.4.5** *Coeficiente de arrastre (Cx).* Al igual que coeficiente de sustentación se procede a comprobar el coeficiente de arrastre a una velocidad diferente.

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * C_x * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2 * 490,4038 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,817972 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_x = 0,55503$$

**4.6.4.6** *Cálculo de fineza (f)*

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,44921}{0,55503}$$

$$f = 0,8093$$

**4.6.4.7** *Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre*

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,55 * 1,817972 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 16196,9737 W$$

$$Pot = 21,721 HP$$

**4.6.4.8 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de  $Pot = 21,721 HP$  generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$Gasolina = 32,18 \frac{MJ}{L} = 43,5 \frac{MJ}{Kg}$$

Donde:

$$1 Hp = 745,69 W$$

$$1W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s}$$

$$16196,9737 W \frac{J}{s} * \frac{1KJ}{1000J} * \frac{1MJ}{1000KJ} = 0,016197 \frac{MJ}{s}$$

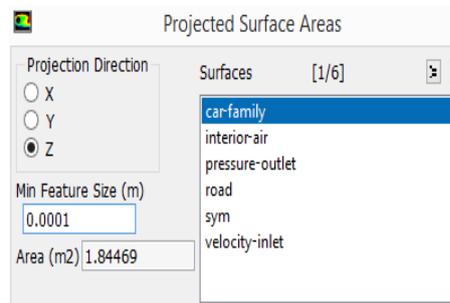
$$0,016197 \frac{MJ}{s} * \frac{1 Lt}{32,18 MJ} = 0,00050333 \frac{Lt}{s} = 0,030199 \frac{Lt}{min} = 1,81197 \frac{Lt}{h}$$

#### **4.7 Análisis del comportamiento aerodinámico Chevrolet AVEO FAMILY**

El algoritmo para poder realizar el respectivo análisis del Chevrolet AVEO FAMILY son los mismos que los anteriores análisis, por lo que para este vehículo solo se citaran los resultados obtenidos.

#### 4.7.1 Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO FAMILY.

Figura 74. Cálculo del área frontal del Chevrolet AVEO FAMILY.



Fuente: Autor.

El área calculada es la siguiente:

$$\text{Área frontal} = 1,84469 \text{ m}^2$$

#### 4.7.2 Chevrolet AVEO FAMILY 80 km/h

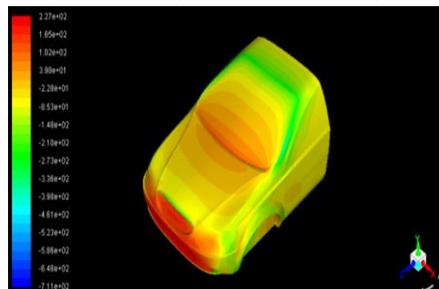
**4.7.2.1 Análisis de presión estática.** Las zonas donde se aplican la mayor presión son el spoiler y parachoques delantero.

Los valores mínimos y máximos de las presiones son las siguientes:

$$P_{\min} = -710,8937 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 227,4518 \text{ Pa}$$

Figura 75. Presión estática Chevrolet AVEO FAMILY 80 km/h.



Fuente: Autor.

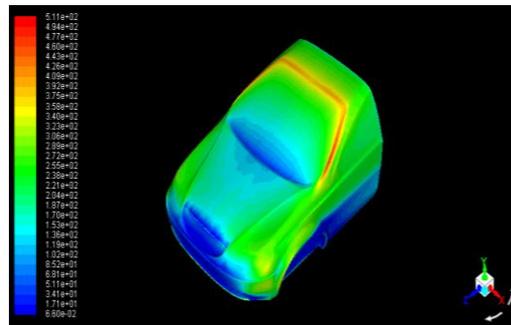
**4.7.2.2 Análisis de presión dinámica.** A diferencia de la presión estática; el spoiler, parachoques delantero, parte del inicio del capot y el inicio del parabrisas, son las zonas donde se presentan la menor presión.

Los valores de las presiones son las siguientes:

$$P_{\min} = 0,065994 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 510,6932 \text{ Pa}$$

Figura 76. Presión dinámica Chevrolet AVEO FAMILY 80 km/h.



Fuente: Autor.

**4.7.2.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Las fuerzas y coeficientes que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO FAMILY 80 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coefficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-171,13131	N	-0,429477	adimensional
Fuerza de sustentación	-94,391679	N	-0,2368886	adimensional

Fuente: Autor.

**4.7.2.4** *Coefficiente de sustentación (Cy)*

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 94,391679 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,84469 \text{ m}^2 * (22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_y = 0,23689$$

**4.7.2.5** *Coefficiente de arrastre (Cx)*

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * C_x * A_f * V^2}$$

$$Cx = \frac{2 * 171,13131 N}{0,875 \frac{kg}{m^3} * 1,84469 m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^2}$$

$$Cx = 0,42948$$

#### 4.7.2.6 Cálculo de fineza (f)

$$f = \frac{Cy}{Cx}$$

$$f = \frac{0,23689}{0,429478}$$

$$f = 0,5516$$

#### 4.7.2.7 Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * Cx * Af * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{kg}{m^3} * 0,42 * 1,84469 m^2 * (22,22 \frac{m}{s})^3$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 3718,6295 W$$

$$Pot = 4,987 HP$$

**4.7.2.8 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de Pot = 4,987 HP generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$\text{Gasolina} = 32,18 \frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

Donde:

$$1 \text{ HP} = 745,69 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{N} * \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

$$3718,6295 \text{ W} \frac{\text{J}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}} * \frac{1 \text{ MJ}}{1000 \text{ KJ}} = 0,0037186 \frac{\text{MJ}}{\text{s}}$$

$$0,0037186 \frac{\text{MJ}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Lt}}{32,18 \text{ MJ}} = 0,000115556 \frac{\text{Lt}}{\text{s}} = 0,006933 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} = 0,41600 \frac{\text{Lt}}{\text{h}}$$

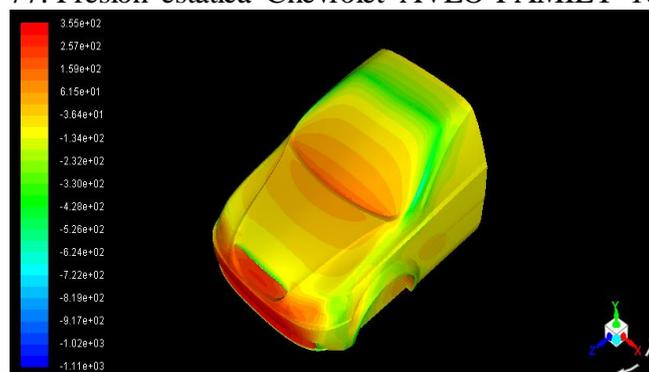
### 4.7.3 Chevrolet AVEO FAMILY 100 Km/h

**4.7.3.1 Análisis de presión estática.** Las zonas donde existe mayor presión se mantienen, lo que varía son los límites de la presión.

$$P_{\min} = -1113,169 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 355,1945 \text{ Pa}$$

Figura 77. Presión estática Chevrolet AVEO FAMILY 100 km/h.



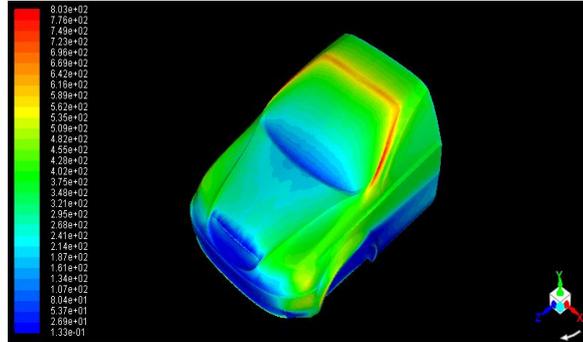
Fuente: Autor.

**4.7.3.2** *Análisis de presión dinámica.* Al igual que en la presión estática, donde se presenta la presión máxima y mínima se mantiene, variando únicamente sus valores.

$$P_{\min} = 0,1332961 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 802,9587 \text{ Pa}$$

Figura 78. Presión dinámica Chevrolet AVEO FAMILY 100 km/h.



Fuente: Autor.

**4.7.3.3** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Las fuerzas y coeficientes que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO FAMILY 100 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coefficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-267,3493	N	-0,429561	adimensional
Fuerza de sustentación	-148,10513	N	-0,237967	adimensional

Fuente: Autor.

**4.7.3.4** *Coefficiente de sustentación (Cy).* Se comprobará el coeficiente de sustentación a una velocidad superior.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 148,10513 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,84469 \text{ m}^2 * (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_y = 0,23797$$

#### 4.7.3.5 Coeficiente de arrastre ( $C_x$ )

$$C_x = \frac{2 * F_z}{\rho * C_x * A_f * V^2}$$

$$C_x = \frac{2 * 267,3493 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,84469 \text{ m}^2 * (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_x = 0,42956$$

#### 4.7.3.6 Cálculo de fineza ( $f$ )

$$f = \frac{C_y}{C_x}$$

$$f = \frac{0,23797}{0,42956}$$

$$f = 0,5540$$

#### 4.7.3.7 Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,42 * 1,84469 \text{ m}^2 * (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{\text{Kg} * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{\text{Kg} * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 7259,0265 \text{ W}$$

$$Pot = 9,735 \text{ HP}$$

**4.7.3.8 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de Pot = 9,735 HP generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$\text{Gasolina} = 32,18 \frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

Donde:

$$1 \text{ HP} = 745,69 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{N} * \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{s}}$$

$$7259,0265 \text{ W} \frac{\text{f}}{\text{s}} * \frac{1 \text{Kf}}{1000\text{f}} * \frac{1 \text{MJ}}{1000\text{Kf}} = 0,0072590 \frac{\text{MJ}}{\text{s}}$$

$$0,0072590 \frac{\text{MJ}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Lt}}{32,18 \text{ MJ}} = 0,000225574 \frac{\text{Lt}}{\text{s}} = 0,01353 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} = 0,81207 \frac{\text{Lt}}{\text{h}}$$

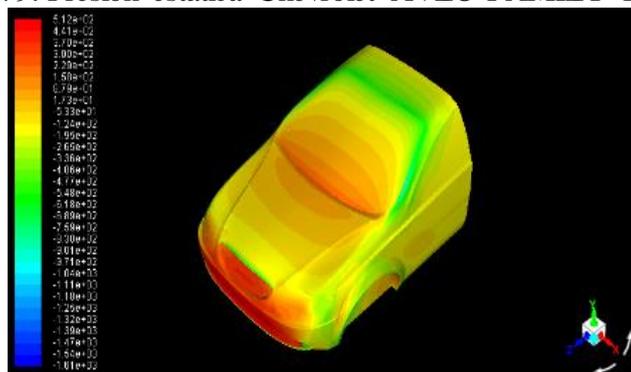
#### 4.7.4 Chevrolet AVEO FAMILY a 120 Km/h

**4.7.5 Análisis de presión estática.** Al igual que en los anteriores la zona de presiones máximo y mínimo no cambian, los valores son los que varían.

$$P_{\min} = -1606,725 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 511,5159 \text{ Pa}$$

Figura 79. Presión estática Chevrolet AVEO FAMILY 120 km/h.



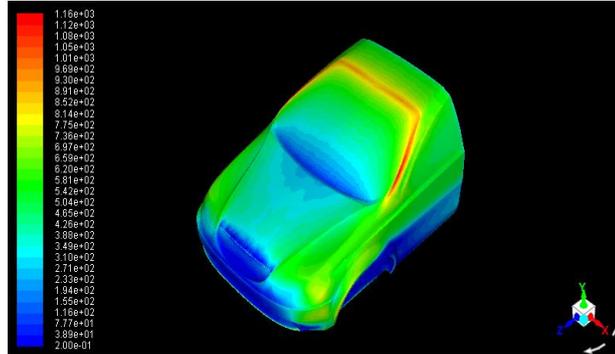
Fuente: Autor.

**4.7.5.1** *Análisis de presión dinámica.* Los puntos donde se aplican las presiones máximas y mínimos se mantienen, cambiando únicamente de valores.

$$P_{\min} = 0,2004872 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 1162,169 \text{ Pa}$$

Figura 80. Presión dinámica Chevrolet AVEO FAMILY 120 km/h.



Fuente: Autor.

**4.7.5.2** *Datos obtenidos mediante ANSYS 17.1.* Las fuerzas y coeficientes que se obtuvo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 20. Fuerzas y coeficientes aerodinámicos AVEO FAMILY a 120 km/h.

Fuerzas	Valor	Unidad	Coefficiente	Unidad
Fuerza de arrastre	-348,83428	N	-0,4292414	adimensional
Fuerza de sustentación	-213,67707	N	-0,2383339	adimensional

Fuente: Autor.

**4.7.5.3** *Coefficiente de sustentación (Cy).* Verificación del coeficiente de sustentación a una velocidad superior.

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * C_y * A_f * V^2$$

$$C_y = \frac{2 * F_y}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_y = \frac{2 * 213,67707 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,84469 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_y = 0,23833$$

**4.7.5.4** *Coeficiente de arrastre (Cx).* Al igual que coeficiente de sustentación se procede a comprobar el coeficiente de arrastre a una velocidad diferente.

$$Cx = \frac{2 * Fz}{\rho * A_f * V^2}$$

$$Cx = \frac{2 * 384,83428 \text{ N}}{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,84469 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$Cx = 0,42924$$

**4.7.5.5** *Cálculo de fineza (f)*

$$f = \frac{Cy}{Cx}$$

$$f = \frac{0,23833}{0,42924}$$

$$f = 0,55524$$

**4.7.5.6** *Cálculo de la potencia requerida para vencer la fuerza de arrastre*

$$Pot = \frac{1}{2} * \rho * Cx * A_f * V^3$$

$$Pot = \frac{1}{2} * 0,875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,42 * 1,84469 \text{ m}^2 * (33,33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

Donde:

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m}{s^2} * \frac{m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s^3}$$

$$Pot = 12550,3744 \text{ W}$$

$$Pot = 16,831 \text{ HP}$$

**4.7.5.7 Cálculo de Consumo de combustible.** Se calculará la cantidad de combustible necesaria para vencer la potencia de Pot = 16,831 Hp generada por la geometría del vehículo.

El poder calorífico de la gasolina es el siguiente:

$$\text{Gasolina} = 32,18 \frac{MJ}{L} = 43,5 \frac{MJ}{kg}$$

Donde:

$$1 \text{ HP} = 745,69 \text{ W}$$

$$1W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s}$$

$$12550,3744 \text{ W} \frac{J}{s} * \frac{1KJ}{1000J} * \frac{1MJ}{1000KJ} = 0,012550 \frac{MJ}{s}$$

$$0,012550 \frac{MJ}{s} * \frac{1 \text{ Lt}}{32,18 \text{ MJ}} = 0,00038999 \frac{\text{Lt}}{s} = 0,023399 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} = 1,40398 \frac{\text{Lt}}{h}$$

## 4.8 Análisis comparativo de resultados

Tabla 21. Chevrolet SAIL

Velocidad [km/h]	Fuerzas generadas		Cx	Cy	Fineza	Pot [HP]	Consumo de combustible [lt/h]
	Arrastres [N]	Sustentación [N]					
80	208,50661	175,7940	0,51633	0,43532	0,8430	6,137	0,51194
100	325,71388	275,13927	0,51639	0,43621	0,8447	11,980	0,99934
120	469,23887	396,91641	0,51644	0,43684	0,8459	20,712	1,72784

Fuente: Autor.

Tabla 22. Chevrolet AVEO EMOTION GLS.

Velocidad [km/h]	Fuerzas generadas		Cx	Cy	Fineza	Pot [HP]	Consumo de combustible [lt/h]
	Arrastres [N]	Sustentación [N]					
80	217,92492	175,9430	0,55495	0,44804	0,8074	6,436	0,53688
100	340,43574	275,22997	0,55503	0,44872	0,8085	12,563	1,04803
120	490,4038	396,90455	0,55503	0,44921	0,8093	21,721	1,81197

Fuente: Autor.

Tabla 23. Chevrolet AVEO FAMILY.

Velocidad [km/h]	Fuerzas generadas		Cx	Cy	Fineza	Pot [HP]	Consumo de combustible [lt/h]
	Arrastres [N]	Sustentación [N]					
80	171,13131	94,391679	0,42948	0,23689	0,5516	4,987	0,41600
100	267,3493	148,10513	0,42956	0,23797	0,5540	9,735	0,81207
120	384,83428	213,67707	0,42924	0,23833	0,55524	16,831	1,40398

Fuente: Autor.

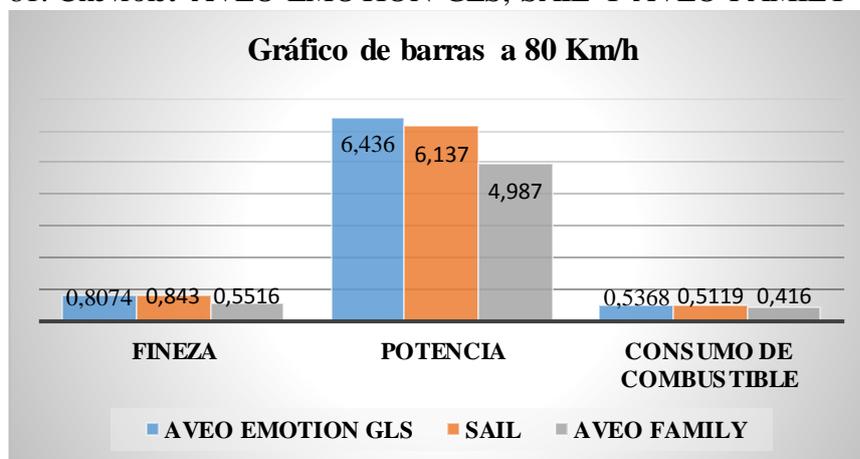
#### 4.9 Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 80 km/h

Tabla 24. Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 80 km/h.

Vehículo	Fuerzas generadas		Cx	Cy	Fineza	Pot [HP]	Consumo de combustible [lt/h]
	Arrastres [N]	Sustentación [N]					
AVEO EMOTION GLS	217,92492	175,9430	0,55495	0,44804	0,8074	6,436	0,53688
SAIL	208,50661	175,7940	0,51633	0,44804	0,8430	6,137	0,51194
AVEO FAMILY	171,13131	94,391679	0,42948	0,23689	0,5516	4,987	0,41600

Fuente: Autor.

Figura 81. Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 80 km/h.



Fuente: Autor.

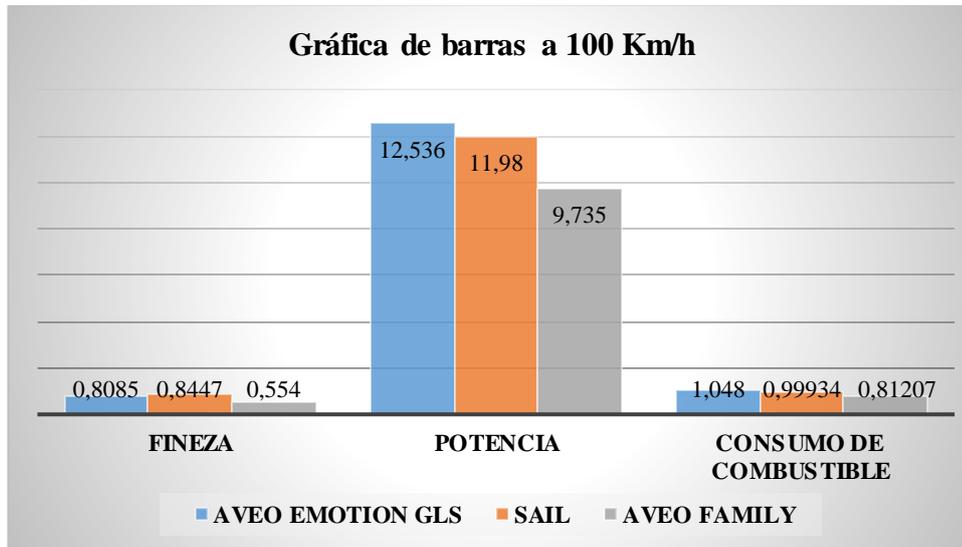
#### 4.10 Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 100 km/h

Tabla 25. Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 100 km/h.

Vehículo	Fuerzas generadas		Cx	Cy	Fineza	Pot [HP]	Consumo de combustible [lt/h]
	Arrastres [N]	Sustentación [N]					
AVEO EMOTION GLS	340,43574	275,22997	0,55503	0,44872	0,8085	12,563	1,04803
SAIL	325,71388	275,13927	0,51639	0,43621	0,8447	11,980	0,99934
AVEO FAMILY	267,3493	148,10513	0,42956	0,23797	0,5540	9,735	0,81207

Fuente: Autor.

Figura 82. Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 100 km/h.



Fuete: Autor.

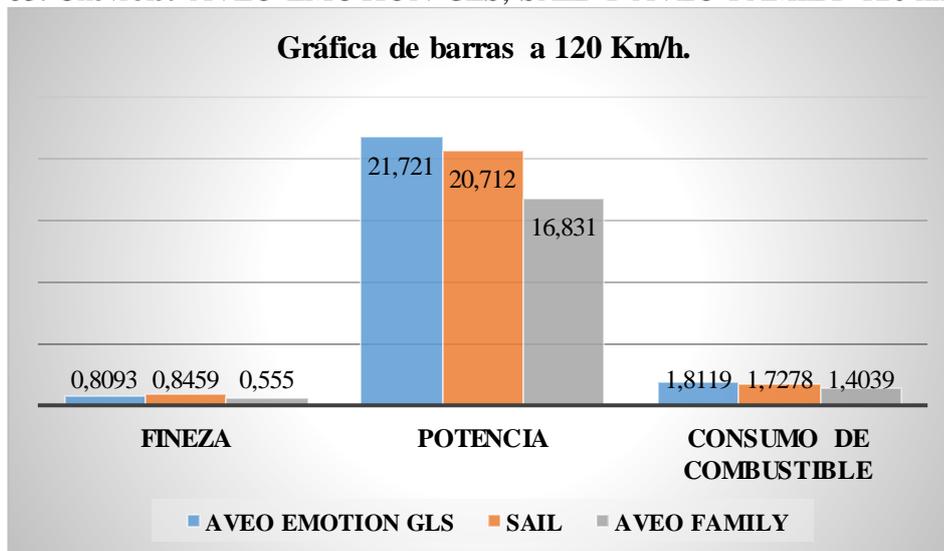
#### 4.11 Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 120 km/h

Tabla 26. Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 120 km/h.

Vehículo	Fuerzas generadas		Cx	Cy	Fineza	Pot [HP]	Consumo de combustible [lt/h]
	Arrastres [N]	Sustentación [N]					
AVEO EMOTION GLS	490,4038	396,90455	0,55503	0,44921	0,8093	21,721	1,81197
SAIL	469,23887	396,91641	0,51644	0,43684	0,8459	20,712	1,72784
AVEO FAMILY	384,83428	213,67707	0,42924	0,23833	0,55524	16,831	1,40398

Fuente: Autor.

Figura 83. Chevrolet AVEO EMOTION GLS, SAIL Y AVEO FAMILY 120 km/h.



Fuente: Autor.

#### 4.12 Coeficientes aerodinámicos de los vehículos modelos

Tabla 27. Coeficientes aerodinámicos de los vehículos modelos.

Vehículo	Coeficientes de arrastre		<i>Fineza</i>	Área frontal m <sup>2</sup>
	Arrastre $C_x$	Sustentación $C_y$		
AVEO EMOTION GLS	0,55	0,44	0,80	1,817972
SAIL	0,51	0,43	0,84	1,869488
AVEO FAMIY	0,42	0,23	0,55	1,84469

Fuente: Autor.

Con el estudio realizado se concluye que el consumo de combustible es directamente proporcional a la velocidad del vehículo, por lo que se recomienda conducir a una velocidad que no exceda de los 100 km/h y con ellos poder economizar el consumo de combustible independiente del vehículo que se conduzca.

También se concluye que mientras menor sea el coeficiente de arrastre es menor la fuerza de arrastre a vencer por el vehículo, esto implica una menor potencia generada por la geometría del vehículo y esto conlleva al ahorro de combustible.

De los tres vehículos modelados, el AVEO FAMILY es el que menos combustible consume, seguido del SAIL y por último el AVEO EMOTION GLS. El vehículo que tiene mejor diseño aerodinámico es el SAIL, seguido por el AVEO EMOTION GLS y luego por el AVEO FAMILY. El AVEO EMOTION GLS tiene el coeficiente de sustentación mayor que el AVEO FAMILY Y SAIL.

Cada vehículo tiene sus propias ventajas, el objetivo de este estudio es de conocer el comportamiento aerodinámico de cada uno de ellos; en sí, no dar a conocer cual es el mejor vehículo.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Se estudió la aerodinámica y geometría de los vehículos sedan y como afectan en el rendimiento del motor mediante revisión bibliográfica.

Se dibujó las geometrías del parabrisas, capot y spoiler delantero en conjunto mediante un software CAD y en lo posterior se pudo analizarlo.

Mediante el software ANSYS con el programa CFD se simuló la parte frontal del modelado y se pudo conocer el comportamiento y coeficientes aerodinámicos.

Matemáticamente se analizó el comportamiento aerodinámico y se determinó su influencia en el rendimiento del motor.

Se aplicó el método de volúmenes finitos en los tres vehículos sedan y se pudo determinar la influencia del ángulo de inclinación del parabrisas y capot en el comportamiento aerodinámico.

#### 5.2 Recomendaciones

Generar el modelo en Solidworks acorde a los planos técnicos de la carrocería y así lograr tener una similitud con la realidad.

Utilizar la herramienta de superficies complejas para facilitar la generación del modelo.

Generar y mejorar la malla alrededor del auto para obtener resultados más exactos.

Generar una malla óptima en la superficie del auto, ésta es muy importante al estar en contacto directo con el flujo de aire.

Utilizar un computador con buenas características para optimizar tiempo de análisis.

Continuar con estudios aerodinámicos con respecto a la automoción, la aerodinámica es uno de los parámetros fundamentales en la fabricación y diseño de cualquier vehículo en la actualidad.

## BIBLIOGRAFÍA

**ADMINISTRADOR.** *Características constructivas de la carrocería.* TECNO COCHE. [En línea] WWW.TECNOCOHE.COM, 8 de enero de 2015. [Citado el: 27 de mayo de 2016.]  
[http://www.tecnocoche.com/mecanica/mecanica\\_basica/caracteristica\\_carroceria.html](http://www.tecnocoche.com/mecanica/mecanica_basica/caracteristica_carroceria.html).

**AERODINÁMICA DE AUTOS.** *AERODINÁMICA.* INGENIERÍA AUTOMOTRIZ. [En línea] 4 de julio de 2013. [Citado el: 04 de junio de 2016.]  
<http://rjose1994.blogspot.com/2013/07/aerodinamica-de-autos.html>.

**ALBÁN PUCHA, GUSTAVO ARNULFO.** “*Análisis Y Simulación Aerodinámica De Una Motocicleta De Carretera Tipo Custom 125 Cc. Mediante Dinámica De Fluidos Computacional (DFC) Y Propuesta De Diseño De Un Carenado Frontal*”. RIOBAMBA-ECUADOR : s.n., 2016.

**ANUARIO 70 AÑOS DE CAMINO. AEADE ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR. 2016.** Quito-Ecuador : Grupo EL COMERCIO C.A, 2016.

**CIMEC.***Método de los volúmenes.* [En línea] 14 de 08 de 2015. [Citado el: 17 de 09 de 2016.] [http://www.cimec.org.ar/twiki/pub/Cimec/CursoCFD/chapter1\\_FVM.pdf](http://www.cimec.org.ar/twiki/pub/Cimec/CursoCFD/chapter1_FVM.pdf).

**EcuRed. s.f.** *Teorema de Bernoulli.* EcuRed conocimiento con todos y para todos. [En línea] s.f. [Citado el: 08 de 08 de 2016.] [http://www.ecured.cu/Teorema\\_de\\_Bernoulli](http://www.ecured.cu/Teorema_de_Bernoulli).

**INGELIBRE.***Para ingenieros. Tutoriales, apuntes, información.* Aerodinámica en el vehículo. Resistencia aerodinámica. [En línea] 24 de abril de 2014. [Citado el: 04 de junio de 2016.] <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/04/24/aerodinamica-en-el-vehiculo-resistencia-aerodinamica/>.

**NOGUEIRA, X, CUETO FELGUEROSO, L y COLUMINAS, X.***Una formulación numérica de volúmenes finitos de alto orden basada en el método de Mínimos Cuadrados Móviles para flujo compresible.* [Documento] Barcelona-España : Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

**RODRÍGUEZ, Carlos.***ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA DE UN VEHÍCULO.* Technical Courses. Cursos Técnicos. [En línea] info@technicalcourses.net, 04 de 08 de 2014. [Citado el: 27 de 05 de 2016.]  
[http://www.technicalcourses.net/porta/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/porta/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89).

**SEPÚLVIDA, Mauricio.***Introducción al Método de Volúmenes Finitos.* ESCUELA DE PRIMAVERA DE ANÁLISIS NUMÉRICO 2014. [En línea] 24 de septiembre de 2014. [Citado el: 07 de julio de 2016.]  
<http://www.ci2ma.udec.cl/epanum2014/cursos/cursoC/>.