

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO AERONÁUTICO.
2. **TITULO:** ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UN VEHÍCULO URBANO MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES APLICADO A LA COMPETENCIA DE SHELL ECO MARATHON.
3. **AUTORES:** Juan Sebastián Barrera Rodríguez, Christian Camilo Ramírez Rodríguez, Diego Alejandro Maldonado Martínez.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C
5. **FECHA:** Junio de 2014
6. **PALABRAS CLAVE:** Aerodinámica, Coeficiente de Drag, resistencia al avance, Downforce, gradientes de presión adverso y gradientes de presión favorable.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** desarrollo de proyecto de investigación, se pretende realizar un análisis y diseño preliminar aerodinámico de un vehículo urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon.
8. **LINEAS DE INVESTIGACIÓN:** La línea de investigación de la facultad está orientada a Energía y Vehículos. / Diseño y construcción de vehículos.
9. **METODOLOGÍA:** De carácter analítico.
10. **CONCLUSIONES:** Por medio de CFD fue posible obtener los coeficientes

ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UN VEHÍCULO URBANO MEDIANTE DINÁMICA
DE FLUIDOS COMPUTACIONALES APLICADO A LA COMPETENCIA DE
SHELL ECO MARATHON

BARRERA RODRÌGUEZ JUAN SEBASTIAN
MALDONADO MARTINEZ DIEGO ALEJANDRO
RAMÌREZ RODRIGUEZ CHRISTIAN CAMILO

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA AERONAUTICA
BOGOTÁ D.C.
2014

ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UN VEHÍCULO URBANO MEDIANTE DINÁMICA
DE FLUIDOS COMPUTACIONALES APLICADO A LA COMPETENCIA DE
SHELL ECO MARATHON

BARRERA RODRÌGUEZ JUAN SEBASTIAN
MALDONADO MARTINEZ DIEGO ALEJANDRO
RAMÌREZ RODRIGUEZ CHRISTIAN CAMILO

Trabajo de Grado

M.Sc. Ing. Rafael Mauricio Cerpa

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA AERONAUTICA
BOGOTÁ D.C.
2014

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. fecha: (DD/MM/AAAA)

DEDICATORIAS

Esta tesis la dedico a Dios porque gracias a él he logrado culminar mi carrera profesional, también quiero dedicarla a mis padres por entregarme su amor y sabiduría, porque gracias a su sacrificio y esfuerzo me permitieron iniciar una maravillosa carrera. Por siempre apoyarme en los momentos necesarios para seguir adelante y cumplir con esta meta propuesta.

Juan Sebastián Barrera Rodríguez

Esta tesis la dedico a Dios porque gracias a él he logrado culminar mi carrera profesional, también quiero dedicarla a mis padres por entregarme su amor y sabiduría, porque gracias a su sacrificio y esfuerzo me permitieron iniciar y terminar una maravillosa carrera. Por siempre apoyarme en los momentos necesarios para seguir adelante y cumplir con esta meta propuesta.

Diego Alejandro Maldonado Martínez

Quiero dedicar este proyecto a Dios quien me lleno de sabiduría e inteligencia
para sacar adelante mi carrera profesional,

En segunda instancia a mi madre quien con sus sacrificios y apoyo también
permitió que terminara mis estudios; gracias madre por convertir a tu hijo en
un profesional Te Amo,

Y por último a la persona más importante que llegó a mi vida,
Cuando más fuerza y ganas necesitaba para terminar mis estudios,
Quien me dio el impulso para salir adelante y ser alguien para luchar por su
futuro

Mi hija **Martina**; este logro es tuyo.

Christian Camilo Ramírez Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

*Agradecer a Dios por el sueño cumplido de ser profesionales como
Ingenieros Aeronáuticos;*

*Gracias a nuestro padres por ayudarnos y apoyarnos a cumplir nuestro
sueño;*

*También agradecerles a todas las personas que aportaron sus
conocimientos para lograr este gran paso profesional, a cada una de
ellas muchas gracias por permitirnos aprender de ustedes;*

*Gracias al ingeniero Rafael Cerpa por su apoyo incondicional en la
realización de este trabajo de grado y por cada conocimiento y
experiencia que nos brindó a lo largo de este camino;*

*Gracias a nuestros compañeros quienes nos brindaron su apoyo,
compañía y su amistad muchas gracias.*

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	19
2. MARCO DE REFERENCIA.....	20
2.1 MARCO LEGAL O NORMATIVO.....	20
2.2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.2.1 HISTORIA DE LA AERODINÁMICA Y LA IMPORTANCIA EN LOS CARROS.....	22
2.2.2 CONCEPTOS PRINCIPALES	30
3. METODOLOGIA	33
3.1 LÍNEA BASE DE DISEÑO.....	36
3.2 MODELO Y MEDIDAS GENERALES DEL VEHICULO PRELIMINAR.	37
3.3 GEOMETRIA 2D	39
3.3.1 Boceto carro No. 1.....	39
3.3.2 Boceto carro No. 2.....	39
3.3.3 Boceto carro No. 3.....	40
3.3.4 Boceto carro No. 4.....	40
3.3.5 Boceto carro No. 5.....	41
3.4 PROCESO DE SIMULACIÓN 2D.....	42
3.5 ANÁLISIS SIMULACIONES 2D O POST-PROCESAMIENTO.....	43
3.5.1. Análisis de convergencia de mallas.....	44
3.5.2. Características de los casos para el boceto carro No.5	46
3.5.3. Análisis de Resultados carro No.1	49
3.5.4. Análisis de resultados carro No.2.....	51
3.5.5. Análisis de resultados carro No.3.....	54
3.5.6. Análisis de resultados carro No.4.....	56

3.5.7. Análisis de resultados carro No.5	58
3.6. GEOMETRIA 3D	61
3.6.1. Boceto carro No. 1.....	62
3.6.2. Boceto carro No.2.....	63
3.7. PROCESO DE SIMULACIÓN 3D.....	63
3.7.1. Análisis de convergencia de mallas 3D.....	65
3.7.2. Análisis Resultados Carro No.1	69
3.7.3. Análisis Resultados Carro No.2.....	73
3.7.4. Histograma resultados 3D	80
3.7.5. Comparación Coeficiente de resistencia al Avance y Resistencia al Avance de proceso 2D y 3D.....	82
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFIA	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Metodología de trabajo.....	34
Tabla 2. Características mallas.....	45
Tabla 3. Características mallas.....	47
Tabla 4. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (C_{d_w}) Boceto 1.....	49
Tabla 5. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (D_w) Boceto 2.....	52
Tabla 6. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (C_{dw}) Boceto 3.....	54
Tabla 7. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (C_{dw}) Boceto 4.	56
Tabla 8. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (C_{dw}) Boceto 5.....	58
Tabla 9. Características casos.....	67
Tabla 10. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce ($C_{d_w w}$) Carro 1 3D.....	71
Tabla 11. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (C_{d_w}) Carro 2 3D.....	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo general carro Formula 1.....	21
Figura 2. La Jamais Contente (1899).....	22
Figura 3a. Figura 3a. El Baker torpedo (1902).....	23
Figura 3b. Gobron Brille (1904).	23
Figura 4a. Benz Tropfenwagen (1923).....	24
Figura 4b. Bugatti Tp 32 (1923).....	24
Figura 5. Voisin Laboratoire (1923).	24
Figura 6a. Alfa Romeo 12c (1938).....	24
Figura 6b. Mercedes Benz W25 (1937).	24
Figura 6c. Mercedes Benz W125 (1937)	25
Figura 6d. Mercedes Benz W165 (1939).	25
Figura 6e. Lancia Ferrari (1956)	25
Figura 6f. Ferrari 246 F1 (1958).	25
Figura 7. Cooper Climax vista y real (1959).	25
Figura 8. Mercedes Benz T80.....	26
Figura 9. Brabham (1968).	26
Figura 10. Brabham Formula 2 (1969).....	27
Figura 11a. Brabham (1974) y 11b	27
Figura 11b. McLaren (1975).....	27
Figura 12. Brabham BT52 (1983).....	28
Figura 13. Williams FW15 (1994)	29
Figura 14a. Ferrari F2004 Formula 1.....	30
Figura 14b. Evolución coches Ferrari F1	30
Figura 15. Ejemplo comparación de mallas.....	31
Figura 16. Flujo laminar y flujo turbulento.....	31
Figura 17. Isométrico del Diseño Base.....	35
Figura 18a. Dimensiones del vehículo vista lateral	35
Figura 18b. Dimensiones del vehículo vista frontal.....	36
Figura 19. Isométrico del Diseño preliminar	37
Figura 20a. Dimensiones del vehículo: vista de techo.....	37
Figura 20b. Dimensiones del vehículo vista.....	37
Figura 20c. Dimensiones del vehículo vista frontal.....	37
Figura 21. Boceto carro No. 1.....	38
Figura 22. Boceto carro No. 2.....	39
Figura 23. Boceto carro No. 3.....	39
Figura 24. Boceto carro No. 4.....	40
Figura 25. Boceto carro No. 5.....	40
Figura 26. Condiciones de frontera y medidas volumen de control.....	41
Figura 27. Comparación CD vs h boceto carro No.4.....	45
Figura 28. Comparación CD vs h boceto carro No. 5.....	47
Figura 29. Grafica contornos de presión estática.....	47

Figura 30. Grafica contorno de velocidad.....	49
Figura 31. Grafica contornos de presión estática.....	50
Figura 32. Grafica contorno de velocidad.....	51
Figura 33. Grafica contornos de presión estática.....	53
Figura 34. Grafica contorno de velocidad.....	54
Figura 35. Grafica contornos de presión estática.....	55
Figura 36. Grafica contorno de velocidad.....	56
Figura 37. Grafica contorno de presión.....	57
Figura 38. Grafica contorno de velocidad.....	58
Figura 39a. Coeficiente de Downforce.	59
Figura 39b. Downforce.....	59
Figura 39c. Coeficiente de Resistencia al Avance.....	60
Figura 39d. Resistencia al Avance.....	60
Figura 40. Isométrico 3D para simulación.....	61
Figura 41. Boceto carro No.1.....	61
Figura 42. Boceto carro No.2.....	61
Figura 41. Isometrico 3D.....	63
Figura 44. Condiciones de frontera 3d y dimensiones volumen de control	64
Figura 45. H vs Coeficiente de Resistencia al avance.....	67
Figura 46. Contorno de esfuerzos cortantes.....	68
Figura 47. Contorno de presión.....	69
Figura 48. Contorno de velocidad.....	70
Figura 49. Líneas de corriente de velocidad.....	71
Figura 50. Contorno de esfuerzos cortantes.....	73
Figura 51. Comportamiento de esfuerzos cortantes.....	74
Figura 52. Contorno de presión.....	75
Figura 53. Variación presión estática.....	76
Figura 54. Presión Absoluta.....	76
Figura 55. Contorno de velocidad.....	77
Figura 56a. Líneas de corriente de velocidad.....	78
Figura 56b. Líneas de corriente de velocidad.....	78
Figura 57a. Coeficiente de Downforce.....	79
Figura 57b. Downforce.....	89
Figura 57c. Coeficiente de Resistencia al Avance.....	80
Figura 57d. Resistencia al Avance.....	80
58a. Coeficiente de Resistencia al Avance.....	81
58b. Resistencia al Avance.....	81

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A SIMULACIÓN MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS
COMPUTACIONALES PARA UN VEHÍCULO EN 2D (PASO A PASO)

ANEXO B SIMULACIÓN MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS
COMPUTACIONALES PARA UN VEHÍCULO EN 3D (PASO A PASO)

ANEXO C PLANO VEHÍCULO FINAL EN 3-DIMENSIONES

ANEXO D ACTAS GRUPO DE INVESTIGACION DE ECO SHELL MARATON.

GLOSARIO DE NOMENCLATURA

Simbología latina y griega

A = Área

C_d = Coeficiente de Resistencia al Avance

C_{d_w} = Coeficiente de Downforce

C_f = Coeficiente de Fricción

γ = Distancia a la Pared más cercana

D = Resistencia al Avance

D_w = Downforce

Δs = Espaciamiento de pared

h = Valor Proporcional del Espaciado de la Cuadrícula

L = Longitud de Referencia

N = Número de elementos

ρ = Densidad

Q = Calidad

Re_x = Reynold por Viscosidad Dinámica

T_{Wall} = Parámetro de Pared bañada

μ = Velocidad de Corriente Libre

u_* = Velocidad de Fricción en la Pared más cercana

U_{fric} = Parámetro de Fricción

U_∞ = Velocidad de Corriente Libre

v = Velocidad

ϑ = Viscosidad Cinemática del Fluido

Y^+ = Parámetro de cálculo para el espaciamiento entra la pared y el primer nodo.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado hace parte del proyecto de investigación institucional titulado “Diseño de un Vehículo Concepto Urbano Aplicado a la Competencia Shell Eco Marathon” el cual hace parte de la convocatoria 008 de la Universidad de San Buenaventura Bogotá.

La compañía Shell en pro de disminuir índices de contaminación, brinda la oportunidad a entusiastas, de diseñar y competir con vehículos que generen el mayor rendimiento energético con un menor consumo de combustible en una competencia conocida como Shell Eco-Marathon. Esta competencia se hace anualmente en diferentes lugares y versiones tales como América, Asia y Europa.

Los equipos deben realizar uno de los circuitos del continente, donde participen de manera que logren demostrar que tan lejos pueden viajar con el consumo equivalente a un solo litro de combustible, y realizar el diseño exclusivo de los vehículos para las consideraciones energéticas que son propuestas.

Por esta razón se ha tomado la decisión de participar con el diseño de un vehículo que se acople a los requisitos y reglas de la competencia Shell Eco-Marathon versión Américas, por lo cual el grupo Green Energy GIMOC ha iniciado una investigación enfocada en el diseño de vehículos; dicho estudio se dividió en subgrupos enfocados a diseños específicos del vehículo Urbano, estos subgrupos son los de aerodinámica, motores híbridos, motor de cuatro tiempos, estructuras y sistemas. La división de aerodinámica es la encargada de crear el perfil de un vehículo de concepto urbano aplicado a dicha competencia.

El estudio del análisis aerodinámico del vehículo tiene gran importancia en el modelamiento del boceto o forma externa de este, ya que simulando el vehículo se pueden observar las interacciones que incurren y lo afectan, para que de esta manera se mejore el diseño obteniendo disminución en el coeficiente de arrastre y unas mejores distribuciones de presión a lo largo de este, ya que son las variables de mayor importancia.

La metodología de trabajo se fundamentará en simulaciones mediante dinámica de fluidos computacionales de diferentes prototipos de carrocería, con lo cual se analizará el comportamiento e interacción que tiene el vehículo inmerso dentro de un flujo de aire y así obtener el menor coeficiente de arrastre que mejore las condiciones de avance.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

La competencia se ha venido llevando a cabo desde el año 1939 por la necesidad de obtener ahorro de combustible, teniendo como resultados grandes avances en la aerodinámica de los vehículos. A lo largo de los años en los cuales se ha realizado la competencia se han visualizado una serie de records y resultados bastante relevantes para la industria automotriz y de una u otra manera un aporte al medio ambiente. “En el año 2003 fue establecido un record mundial por un equipo Francés con un vehículo llamado MICROJoule el cual recorrió 10.705 [mpgimp]”¹, el record actual es de 12.665 [mpgus] establecido por el PAC-CAR II en el año 2005. El estudio de la aerodinámica en los vehículos en la actualidad se trabaja por medio del modelado computacional teniendo en cuenta las principales fuerzas aerodinámicas que interactúan con el vehículo y que afectan su comportamiento, un ejemplo claro lo demuestran los estudiantes de la Universidad Politécnica de Valencia, quienes participaron en la competencia con un modelamiento en cfd del comportamiento del vehículo tanto en aspectos cinemáticos como dinámicos. Otro ejemplo de proyecto de investigación constituido entorno a la competencia lo da el centro Ricerche FIAT que utiliza CFD para su diseño del Fiat Panda MultiEco y enfatizan “El uso de ANSYS CFX durante el diseño del ciclo de la eficiencia del combustible en el Fiat Panda MultiEco fue importante para que este alcanzara las metas aerodinámicas”².

En la escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación realizó un proyecto de grado para el estudio aerodinámico del vehículo s1 con métodos sencillos, donde utilizaron el programa de diseño en 3D solidworks 2009 y su paquete de simulación de flujo, llamado flowxpress dando un resultado que no es útil para la simulación de vehículos de competición³.

En la Universidad de San Buenaventura es la primera vez que se desea diseñar esta clase de vehículos, de tal manera se están abriendo los horizontes para conocimientos alternos y aplicación de los estudios enseñados, demostrando así la aplicabilidad de estos en diferentes ramas, no solamente en la aeronáutica. El diseño de este vehículo se ve sometido a las leyes ya preestablecidas por la competencia Shell Eco-marathon, que es una competencia realizada en Europa, Asia y América, también existe en Colombia una competencia conocida como

¹ Simpson, Richard (2003-07-18). "Running on empty". The Daily Telegraph (London: Telegraph Media Group). Acogida 2012-02-17

² R.Tregnago. Using CFD to Design an Environmentally-Friendly Car. Centro Ricerche Fiat. CRF Vehicle Division. ©2006 ANSYS, Inc. All Rights Reserved.

³ Estudio de la Capacidad Aerodinámica de Carrocerías de Vehículos Categoría cm, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.

Formula Sena, esta se enfoca en eficiencia energética y en la fuentes de energía alternativa para el vehículo, por lo cual es similar a la competencia Shell Eco-marathon.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El diseño del vehículo urbano, requiere un estudio del comportamiento aerodinámico de manera que se logren menores coeficientes de arrastre, para disminuir el consumo de combustible, por lo tanto hay que modelar una carrocería exterior que permita proponer una geometría que genere un diseño aerodinámico adecuado.

Con base en lo anterior, la pregunta que abarca el problema planteado y a la cual se le dará solución será la siguiente:

¿Cuáles son las características de diseño geométrico de una carrocería exterior que permita un avance eficiente al vehículo diseñado según la normatividad técnica de la competencia Shell Eco Marathon?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de apoyar nuevos temas y contenidos en los planes de estudio de los cursos de ingeniería aeronáutica, este proyecto se orienta en el desarrollo de modelos de simulación aerodinámicos, por medio de dinámica de fluidos computacionales que determinen de una mejor manera el comportamiento del vehículo ante el flujo con el que interactúa. Es de gran importancia la vinculación con los temas de eficiencia energética como se está tratando, ya que corresponde a un elemento destacado en el medio de transporte. El concepto de disminución de arrastre y optimización del consumo de combustible es de gran prioridad, ya que en la actualidad todo diseño tecnológico debe estar de la mano con la reducción de contaminantes, con tal de innovaren los sistemas de manejo ambiental, por tanto estos conceptos propuestos por la Shell Eco Marathon nos encaminan a nuevas tecnologías e información vital para continuar un estudio de la aerodinámica tratada en la actualidad.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Diseñar aerodinámicamente la carrocería exterior del vehículo urbano para la competencia Shell Eco Marathon mediante simulación computacional.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Escoger mediante simulación dinámica de fluidos computacionales los prototipos concepto urbano en 2D.
- Diseñar en 3D el prototipo seleccionado.
- Definir el prototipo final mediante simulación en 3D del vehículo aplicado a la competencia ECO-SHELL MARATHON.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

- Realizar un procesamiento de diseño para obtener 5 modelos en 2D involucrando características geométricas utilizadas en la competencia y sus cargas aerodinámicas.
- Realizar 1 simulación en 2D de cada modelo obtenido en el alcance anterior donde se obtendrán los diferentes coeficientes de arrastre y sustentación, para un proceso de selección de 2 modelos.
- Realizar 1 simulación en 3D por cada modelo seleccionado en el alcance anterior donde se obtendrá el coeficiente de arrastre.
- Realizar un análisis de convergencia de mallas para un prototipo en 2D y 3D.

1.5.2 Limitaciones

- La capacidad computacional de las simulaciones se suscribe a los computadores que se encuentran en la Universidad de San Buenaventura.
- El diseño del vehículo estará acorde a la reglamentación del Shell Eco Marathon.
- No se construirá el vehículo.
- No se harán pruebas de túnel de viento.
- No se tendrá en cuenta las llantas en 2D ni la rugosidad del suelo.
- Se simulará la carcasa exterior y no se tendrá en cuenta la simulación del fluido dentro del vehículo.
- Para la simulación en 2D se hará con respecto al boceto ubicado en el eje de simetría del vehículo.
- Las simulaciones se harán con la velocidad máxima de la competencia y con un viento de frente.

- Los resultados obtenidos no se compararan con datos de carros similares debido a que no se encuentra esa información disponible.
- Las simulaciones únicamente se harán empleando el modelo de Spalart-Allmaras.
- La validación de los resultados únicamente se hará con la independencia de malla, la convergencia de las ecuaciones y valores de coeficientes de arrastre y sustentación.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO LEGAL O NORMATIVO

A continuación se presentan las normas propuestas por la competencia SHELL ECO-MARATHON⁴ para el vehículo concepto urbano, las cuales se implementaran para diseñar correctamente el vehículo.

Artículo 44: Definición.

Bajo el nombre de "Concepto Urbano", Shell ofrece una oportunidad para diseñar y construir vehículos con bajo consumo de combustible, estos se acercan al concepto de producción de hoy en día. Concepto Urbano de vehículos deben cumplir con la regla específica de la Shell Eco-maratón para este grupo. En este grupo se requieren:

Artículo 45: Dimensiones.

- a) La altura total del vehículo debe estar entre 100 cm y 130 cm.
- b) El ancho total del cuerpo, sin espejos retrovisores, debe estar entre 120 cm y 130 cm.
- c) La longitud total del vehículo debe estar entre 220 cm y 350 cm.
- d) La anchura de pista debe ser al menos 100 cm para el eje delantero y 80 cm para la parte trasera eje, medido entre los puntos medios donde los neumáticos tocan el suelo.
- e) La distancia entre ejes debe ser al menos 120 cm.

⁴ Disponible en Internet: <http://s01.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/sem-global-official-rules-chapter-1-2014.pdf>

f) La cabina del conductor debe tener una altura mínima de 88 cm y un mínimo ancho de 70 cm en los hombros del conductor.

g) La distancia al suelo debe ser al menos 10 cm.

Artículo 46: Cuerpo de vehículos.

a) Los equipos deberán presentar técnicas dibujos, fotografías o animaciones del diseño de los vehículos todo a los organizadores para su aprobación lo más temprano posible.

Esto se recomienda para evitar molestias al no de la técnica inspección en el evento por razones de diseño de incumplimiento.

b) El cuerpo debe cubrir todas las partes mecánicas con exclusión de las ruedas y la suspensión, si el vehículo se ve desde la parte delantera, trasera, los lados o desde arriba.

c) Las ruedas y la suspensión deben estar completamente cubiertas por el cuerpo cuando se ve desde por encima y hasta la línea central del eje cuando se ve desde la parte frontal o trasera. La cubierta de ruedas y la suspensión debe ser una parte rígida integral de la carrocería del vehículo.

d) El acceso al vehículo por el conductor debe ser lo más fácil y práctica como típicamente se encuentran en la producción de automóviles de pasajeros de tipo. La "puerta" de apertura debe tener un mínimo dimensión de 500 x 800 mm.

Esto significa que la apertura de la puerta será verificada con una forma rectangular plantilla de 500 x 800 mm.

e) El vehículo debe tener un techo que cubre el compartimiento del conductor.

f) El espacio para el equipaje debe estar disponible para un objeto de una maleta, al igual que con unas dimensiones de 500 x 400 x 200 mm (L x W x H).

j) Los órganos no debe incluir ningún apéndices externos que podrían ser peligrosos otros miembros del equipo, por ejemplo, puntas afiladas deben tener un radio de 5 cm o más, alternativamente, debe ser de espuma o material deformable similares.

Artículo 48: Ruedas

a) Las llantas deben tener entre 13 a 17 pulgadas de diámetro.

b) Las ruedas situadas en el interior de la carrocería del vehículo debe ser inaccesible para el conductor por un mamparo. Cualquier manipulación o la manipulación de las ruedas están prohibidas desde el momento en que el vehículo llegue a la línea de salida hasta que cruza la línea de meta.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 HISTORIA DE LA AERODINÁMICA Y LA IMPORTANCIA EN LOS CARROS.

Actualmente se pueden observar diferentes formas o elementos futurísticos en los carros de competición para garantizar la aerodinámica de los vehículos y la eficiencia que estos deben otorgar en la carrera, sin embargo estas no son las formas utilizadas para los automóviles corrientes y aun así en éstos, se busca una mejor eficiencia para disminuir características que perjudican el coche.

El desarrollo de la aerodinámica es el estudio más fundamental en los aspectos de diseño y de mayor influencia en la eficiencia, teniendo ahora la importancia en todas las competencias de carreras en el mundo, como por ejemplo en la Formula 1, NASCAR, Formula 3000, Formula 3, rallies, entre otros.

Pero para llegar a esto se necesitó de estudios y pruebas que poco a poco posicionaron a la aerodinámica en un lugar de alta importancia para el diseño de automóviles. Para entender mejor esto, se debe ver cronológicamente el avance que tuvo esta ciencia.



Figura 1. Modelo general carro Formula 1. [7]

En el pasado, la importancia del diseño y construcción de los coches se vinculaban con la rapidez que este llegaría a tener. Siendo este el objetivo, los diseñadores se enfocaban en la fabricación de motores con mayor potencia. Pero esto no es tan fácil, y la velocidad de los coches tiene muchos aspectos que influyen en su desempeño.

La historia de la aerodinámica inicio cuando las competencias de velocidad en automóviles y los records de velocidad requerían de algo más que no solo la potencia del motor, de allí se partió para crear formas aerodinámicas en la carrocería que complementarían el poder del motor y obtener mejores resultados.

El primer indicio se vio en Achères, Yvelines, cerca de París, Francia en el año de 1899. Este coche eléctrico conocido como La Jamais Contente, el cual se observa en la figura 2, este tenía la forma de una bala o proyectil, con una línea aerodinámica bien definida, pero con la posición del piloto muy expuesta en la parte superior, lo que estropeaba la aerodinámica.

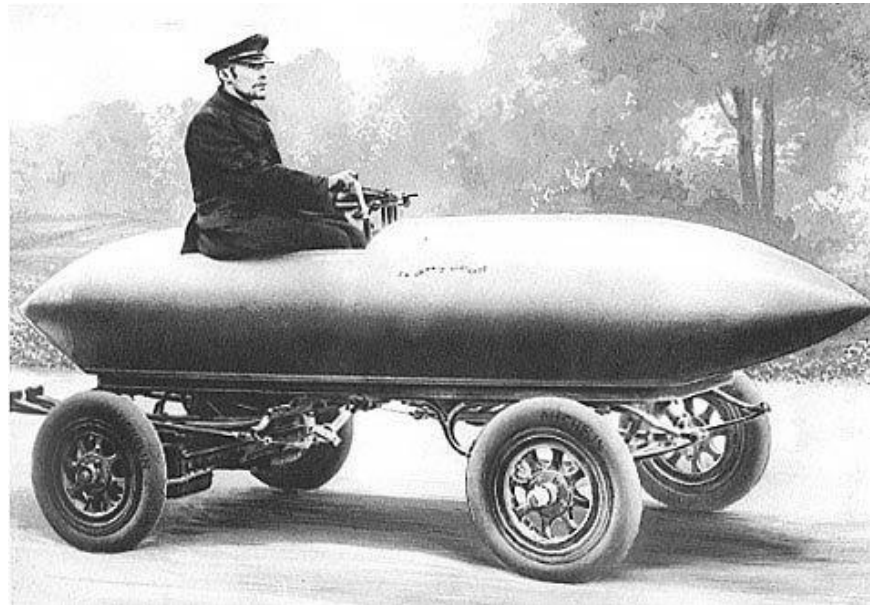


Figura 2. La Jamais Contente (1899). [8]

Este vehículo fue el primero en superar la barrera de los 100 km/h, con un diseño muy revolucionario para esta época.

Luego en 1902 un coche llamado El Baker que llegó a los 125 km/h, este era un monoplaza, con impulsor eléctrico, diseñado con perfil especial, cabina reforzada,

carenado aerodinámico, un diseño que por su forma estaba adelantado a su tiempo

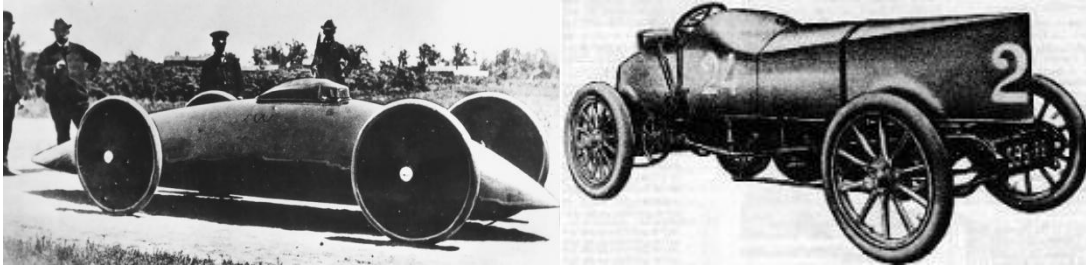


Figura 3a. El Baker torpedo (1902) [9] y Figura 3b. Gobron Brille (1904). [10]

Desde aquí se inició la carrera por diseñar los coches con mejor aerodinámica, aunque por ahora se mantendría el diseño similar a la carrocería de La Jamais Contente, como por ejemplo el Gobron Brille de 1904 con motor naftero, que superó a muchos coches de motor a vapor y eléctrico con una velocidad de casi 170 km/h. Este coche tenía en su carrocería un diseño similar a la quilla de un barco. El Stanley Ricker contaba con diferentes variantes, una de ellas fue el motor de dos cilindros a vapor con el que en 1906 logró pasar los 200 km/h.

También se debe tener en cuenta que para el nacimiento de la aerodinámica como una ciencia se tuvo un gran avance y desarrollo en la industria de la aviación. Varios descubrimientos fueron realizados por los principales exponentes de esta ciencia como Leonardo Da Vinci, Isaac Newton, George Cayley, Charles Renand, Feliz du Temple, Francis Herbert Wenham, los hermanos Wright y muchos más. Todos estos descubrimientos llevaron a la conclusión de una forma aerodinámica muy eficiente, la cual se asemejaba a la forma de una gota.

Con esto en 1910 se comenzó a imponer esta forma en la carrocería de los coches, el más conocido el Blitz Benz, que disminuyó el tiempo puesto por el Stanley de 28,2 segundos en una milla.

Luego de la primera guerra mundial, la tendencia a diseñar la carrocería de los coches con forma de gota aumentó, siendo así los modelos más importantes precursores de los diseños aerodinámicos, con una mezcla del diseño de la aviación.

En 1923 un monoplaza de gran importancia fue el Benz Tropfenwagen, este carro diseñado en forma de gota de agua y con el motor localizado atrás del conductor ganó varias competencias en el Gran Prix de Europa. Para el mismo año el diseño contemporáneo y robusto del Bugatti type 32 llevó a ganar premios en el Gran Prix ACF, y otro gran auto fue el Voisin Laboratoire con su diseño perfilado.

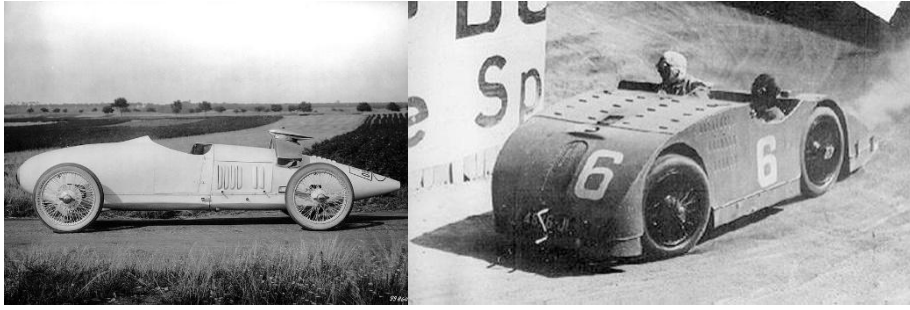


Figura 4a. Benz Tropfenwagen (1923) [11] y Figura 4b. Bugatti Tp 32 (1923). [12]



Figura 5. Voisin Laboratoire (1923). [13]

El diseño de todos estos vehículos buscaba desviar el flujo del aire mediante el perfil diseñado en la parte superior e inferior, con curvas suaves que intenta separar el fluido de forma que no se generará una alta presión en la parte delantera e igualmente obtener altos coeficientes aerodinámicos de penetración, más aun, con los avances en el diseño del perfil las partes laterales del vehículo seguían manteniendo una forma poco fina.

Con esto entrando a la década de los 30's, durante y después de la segunda guerra mundial, empresas como Alfa Romeo, Mercedes y Ferrari, bajo un mismo concepto de diseño fisionómico crearon diferentes automóviles que fueron parte importante en la evolución de la aerodinámica. Tras la experimentación en el túnel de viento, se hicieron estudios y cambios importantes como el carenado de las ruedas, el traslado del motor a la parte posterior del vehículo, para así diseñar soluciones aerodinámicas en la zona delantera del chasis.

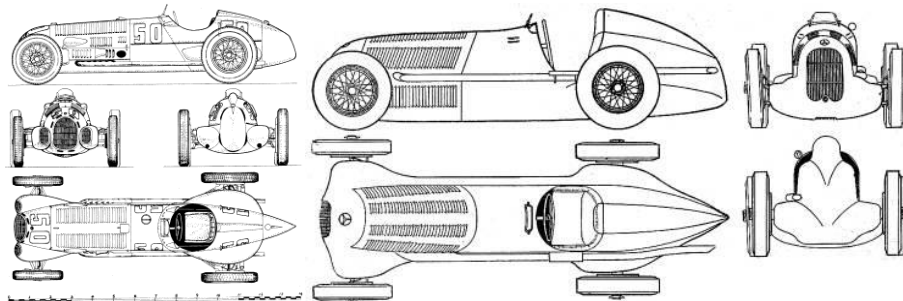


Figura 6a. Alfa Romeo 12c (1938) [14] y Figura 6b. Mercedes Benz W25 (1937). [15]

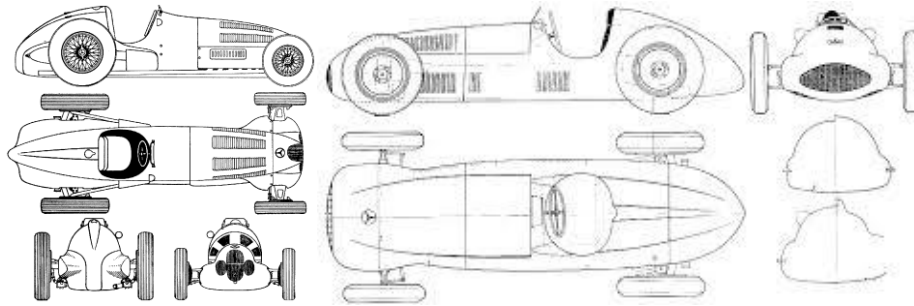


Figura 6c. Mercedes Benz W125 (1937) [16] y Figura 6d. Mercedes Benz W165 (1939). [17]

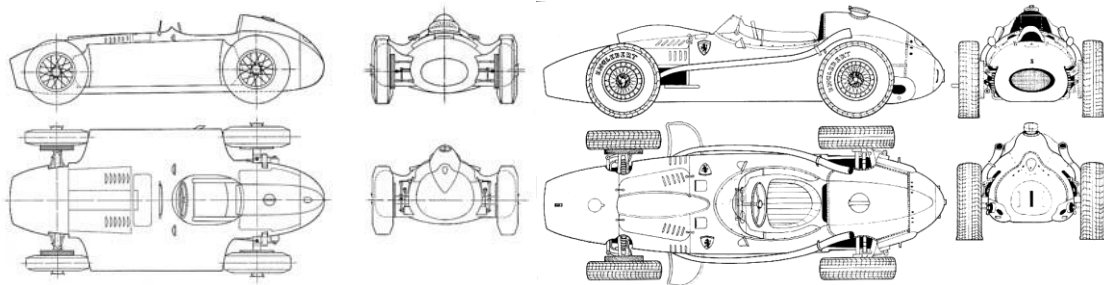


Figura 6e. Lancia Ferrari (1956) [18] y Figura 6f. Ferrari 246 F1 (1958). [19]

Con esto, el diseño de la parte delantera de la carrocería desde la década de los 60's se incrementó, siendo parte esencial para conseguir la separación del fluido y un aumento en la velocidad del vehículo en competición. Como lo fue el Cooper Climax de 1959, primer auto con motor en la parte posterior.

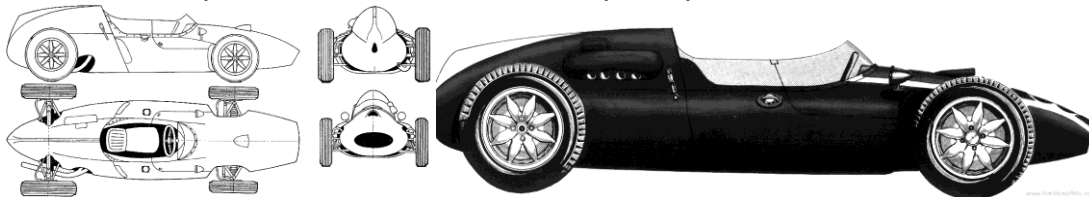


Figura 7. Cooper Climax vista y real (1959). [20]

Con el inicio de la década de los 60's, se inicia también la inclusión de elementos en los vehículos para propósitos aerodinámicos, al no existir limitaciones reglamentarias para el diseño de estos elementos, la forma de la carrocería tuvo un cambio extremo con tal de aumentar la eficiencia, como lo fue en el Mercedes Benz con su figura por usual.



Figura 8. Mercedes Benz T80. [21]

Luego de esto, se evidencio que a mediados de la década de los 60's la forma de la carrocería volvió a cambiar. Ahora era de forma alargada y delgada, por lo cual se llamó forma de “cigarro”.

La instalación de elementos aerodinámicos se vio más vinculada desde 1968 durante el Gran Premio de Mónaco, en la que se vio un Lotus con esta forma alargada, monoplaza, alerón trasero y con dos spoilers delanteros.

Poco después Brabham y Ferrari aparecieron en competición con coches similares, estos contaban con robustos alerones traseros, que aunque rudimentarios ya cumplían funciones vitales aerodinámicas. También se debe destacar la introducción del ángulo de incidencia variable en el alerón trasero, el cual es controlado por el conductor en cabina.

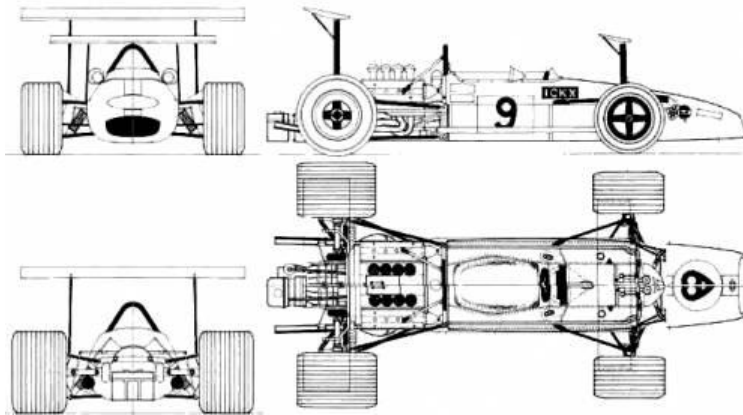


Figura 9. Brabham (1968). [22]

Ya con el aumento de la velocidad en los vehículos de competición, se necesitaba de una mayor estabilidad para que estos logaran en el menor tiempo posible un circuito que involucraba todo tipo de curvas, por lo cual la importancia de estos elementos en el coche fue propuesta a esto, la estabilidad.

Estos elementos contaban con un perfil aerodinámico inverso, tomado y estudiado de la aviación. Este perfil inverso produce en los coches una mayor sujeción al suelo, lo que le da mayor agarre y así estabilidad.

Bajo este concepto se llegó a exageraciones en los elementos aerodinámicos, como en el Brabham de la F2, que utilizaron un alerón biplano de enormes dimensiones.



Figura 10. Brabham Formula 2 (1969). [23]

Durante la década de los 70's los diseños ahora se enfocaban en una forma de cuña, para que la separación en la entrada del vehículo fuera más fácil y no ejerciera puntos de presión altos a lo largo de la longitud de este.

Además estos elementos llegaron a ser los más utilizados en la Formula 1, donde los coches deportivos entraron a tener diversos diseños, todos con el uso de elementos aerodinámicos y nuevos materiales.

Con esto los diseñadores se enfocaron en estudiar la posibilidad de mejorar la estabilidad, ya que con el uso de alerones y la variación del ángulo de incidencia se presentaban problemas de inestabilidad y turbulencia. De esta manera se inició el estudio de mejores ubicaciones en el vehículo de estos elementos, con lo cual les permitiría disminuir los tamaños, peso y ángulos de incidencia altos.

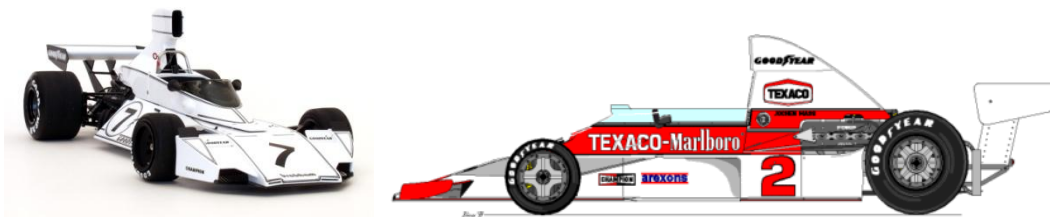


Figura 11a. Brabham (1974) [24] y Figura 11b. McLaren (1975). [25]

Otro elemento aerodinámico importante introducido en esta década fueron los skirts o faldillas, que cumplían la función de impedir el paso de corriente de aire

por debajo del auto, esto con el objetivo de mejorar las características de velocidad en la máquina. Existieron diversas derivadas de los skirts, las cuales cumplían la misma función en el vehículo.

Con esta instalación en los vehículos, la generación de los wing cars comenzaría, siendo los antecesores de los actuales vehículos y cuya ingeniería comenzó a ser aplicada minuciosamente en cada pieza del coche.

En la década de los 80's los skirts se prohibieron debido a que le permitían al coche ir a velocidades muy altas, lo cual en las curvas era peligroso porque generaba una mayor probabilidad de generar accidentes, los cuales fueron números durante este periodo. Debido a esto la compañía Brabham diseño el BT52 con forma de flecha. Este coche se convirtió en un hito para la época debido a la fusión entre la aerodinámica diseñada y el poder motriz utilizado, el cual fue el primer motor turbo.



Figura 12. Brabham BT52 (1983) [26]

Para los nuevos diseños de los 90's, tras la búsqueda de mayores velocidades y cumplir la reglamentación impuesta por la competición, los diseñadores de Lotus perfeccionaron un elemento ya anteriormente usado, la suspensión activa. Esta compensaba el balanceo que sufría el automóvil en cada etapa del circuito, ya fuera en la aceleración, frenado repentino o curvas, con esto el piloto adquiría mayor velocidad.

El mejor ejemplo de esta aplicación es el Williams FW14B y su sucesor el FW15, aunque esta implementación fue prohibida un año después de ser introducida.



Figura 13. Williams FW15 (1994). [27]

El equipo Ferrari impuso su vehículo durante el inicio del siglo 21, este fue un gran ejemplo de las innovaciones en cada parte o sección del coche, los diseñadores se encargaron de pulir el conjunto completo de elementos para así conseguir la eficiencia, confiabilidad y excelencia ante los demás carros.



Figura 14a. Ferrari F2004 Formula 1 [28] y Figura 14b. Evolución coches Ferrari F1. [29]

2.2.2 CONCEPTOS PRINCIPALES

Es necesario tener en cuenta algunos conceptos para realizar el estudio adecuado de la aerodinámica del vehículo, por lo cual a continuación se verá el significado de estos importantes conceptos.

Aerodinámica: es la ciencia que se ocupa del estudio del movimiento del aire y de las acciones que el mismo ejerce sobre los cuerpos que se mueven inmersos en él, ya sea que el flujo interactúe interna o externamente. Esta se desarrolla a partir de las ecuaciones de Newton, como son las de continuidad, cantidad de movimiento y energía, gracias a estas expresiones se puede generar modelos que describan y demuestren el movimiento de los fluidos al interactuar con un cuerpo.

Viscosidad: es la propiedad de los fluidos que se presentan como resistencia a la velocidad de deformación. Cuando no existe viscosidad en el fluido suele llamarse fluido ideal, aunque esto no sucede en la realidad.

Capa límite o capa fronteriza: es la zona donde el flujo en movimiento es perturbado por el contacto con un sólido. Esta se divide en dos ramas, laminar o turbulenta. Así la capa límite laminar será aquella donde el movimiento del fluido se hace de manera ordenada, teniendo una circulación laminar, mientras que en la capa límite turbulenta el movimiento de las partículas del fluido se desplaza de forma caótica, es decir, las partículas se desplazan en todas las direcciones.

Resistencia o resistencia aerodinámica: es la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire, está siempre tiene el sentido opuesto a la velocidad relativa del fluido. También es conocida como la fuerza que se opone al avance de un cuerpo al interactuar con un fluido.

Sustentación: es la fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad del corriente incidente. La aplicación más conocida es la del ala, de un ave o un avión, superficie generada por un perfil alar.

Y^+ : Es un valor adimensional el cual brinda la estimación de una distancia a la pared con la cual se puede producir los efectos de la capa límite del objeto a analizar, esta condición se utiliza para no refinar la malla; en partes del objeto donde es complejo que la malla se acople a la estructura o forma del objeto o en casos extremos modificar la geometría. A continuación se muestra la ecuación para calcular dicha condición:

$$Y^+ = \frac{u_* + \gamma}{\vartheta}$$

- u_* : es la velocidad de fricción en la pared más cercana.
- γ : es la distancia a la pared más cercana.
- ϑ : es la viscosidad cinemática del fluido

Convergencia de mallas: La convergencia de mallas se interpreta en la refinación de una malla por medio del análisis de calidad de varias mallas, esto se utiliza para que la solución tienda a ser la más exacta. Los criterios de convergencia no

permiten conocer el error, pero si garantizar la tendencia hacia una solución más exacta.

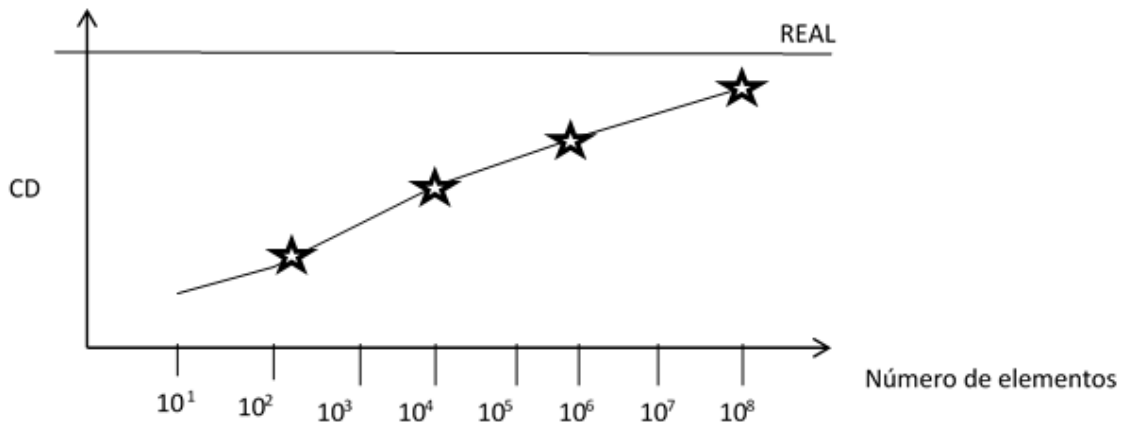


Figura 15. Ejemplo comparación de mallas.

Gradiente de presión favorable: Se considera como la disminución de la presión a lo largo del objeto de análisis, en la dirección a la cual se dirige el flujo a este fenómeno se denomina gradiente de presión favorable.

Gradiente de presión adverso: Al contrario del fenómeno anterior este aumenta la presión en la dirección del flujo a este se denomina gradiente de presión adverso ya que tiende a frenar el flujo a lo largo del cuerpo sumergido en un fluido.

Flujo laminar y turbulento: Se considera flujo laminar cuando el aire pasa a lo largo de la superficie de análisis y las partículas de aire se mueven hacia la misma dirección y la velocidad es el promedio de la velocidad del aire que está pasando por el objeto de análisis.

Cuando el flujo se separa del aire se conoce como flujo turbulento es decir que las partículas pueden tener la misma velocidad promedio del aire pero estas no necesariamente deben viajar en la misma dirección a la cual pasa el aire, cualquier interrupción en el aire como vientos cruzados u otros objetos pueden provocar un flujo turbulento.

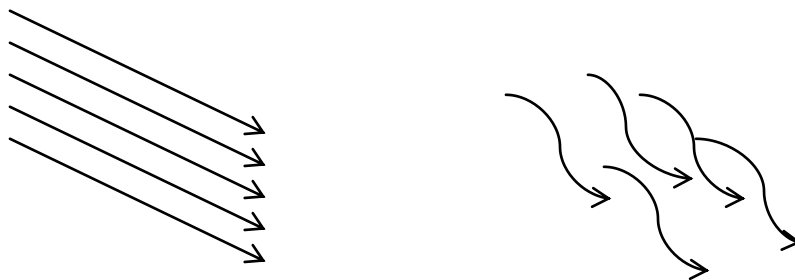


Figura 16. Flujo laminar y flujo turbulento.

Esfuerzo cortante: Este se produce debido a las moléculas que viajan alrededor del cuerpo a diferentes velocidades y chocan con este lo que surge un cambio en la velocidad, lo que genera un esfuerzo cortante en el fluido.

Para la simulación de un cuerpo sumergido en un ambiente es necesario un modelo dinámico que describa los aspectos que cambian con el tiempo por medio de técnicas numéricas las cuales hoy en día son utilizadas en sistemas algebraicos computacionales, permitiendo una mejor legibilidad en dichos sistemas. El uso de sistemas computacionales genera un menor costo .en la evaluación de estos cuerpos sumergidos en un fluido.

Una malla volumétrica se realiza para evaluar las fuerzas en los nodos de los elementos y el resultado final será la suma de los efectos locales causado en cada nodo. La mayor aplicación es la simulación de ecuaciones físicas para análisis estructural, deformaciones, fracturas. Este tipo de simulaciones se describe mediante métodos numéricos como: Elementos Finitos, Volúmenes Finitos o Diferencias finitas.

Se pretende un modelamiento aerodinámico el cual es el encargado de estudiar el movimiento relativo entre el vehículo y el fluido (aire) que lo rodea, para determinar la distribución de presión en este y las fuerzas que se generan debido a esta distribución de presión y a los cortantes.

La fuerza aerodinámica aplicada en un vehículo es la fuerza que necesita este cuerpo para moverse dentro de este ambiente sin contar con el rozamiento con el suelo, la mayor cantidad de resistencia de un vehículo se da por la necesidad de vencer la resistencia del aire y los gradientes de presión que se forman debido a esto.

3. METODOLOGIA

A continuación se realizó un diagrama de flujo donde se facilita la explicación de la metodología utilizada en el desarrollo del trabajo y así tener un lineamiento, que se tendrá en cuenta a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Se inició teniendo una geometría de línea de base con la cual se estableció de acuerdo a las normas y regulaciones de la competencia Shell Eco-Marathon la forma exterior del vehículo, con este se parte para realizar las modificaciones que se vayan a concebir para generar la forma aerodinámica del vehículo tanto en 2D, como en 3D.

Luego de esto, el proyecto se continua con la realización de las simulaciones en dos dimensiones de diferentes bocetos de vehículos, los cuales van a constar

inicialmente del pre-procesamiento, solucionador y post-procesamiento. En el pre-procesamiento se realiza el diseño de la geometría, condiciones de contorno y el enmallado del modelo. Luego de esto se procede a realizar la simulación (Solucionador), y para finalizar se hace la extracción de datos e imágenes, el cual va ser el Post procesamiento y análisis de resultados.

De acuerdo a las simulaciones en dos dimensiones se selecciona el modelo óptimo (Menor coeficiente de arrastre) y se procede a simular el modelo en tres dimensiones, en el cual se realiza nuevamente el Pre-procesamiento, Solucionador y Post-procesamiento del vehículo, finalizando con el análisis de los resultados que se obtenga de la simulación generada.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

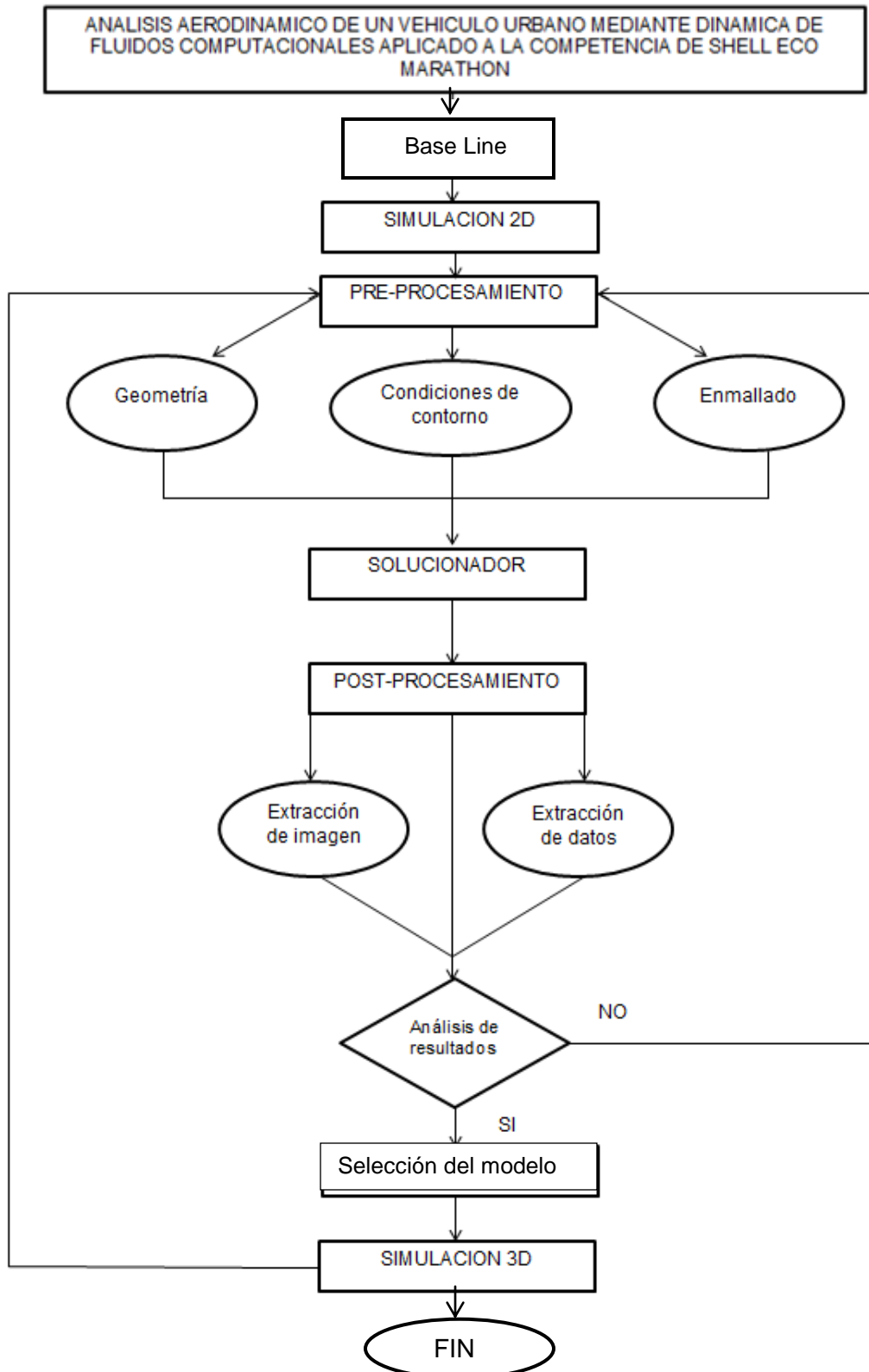


Tabla1. Metodología de trabajo

3.1 LÍNEA BASE DE DISEÑO.

Se entiende como línea base el punto de partida del proyecto, ya que es el modelo base del vehículo con el fin de ser la primera medición de los parámetros más relevantes del vehículo. Esta línea base muestra el diseño general y acotado del vehículo, como por ejemplo las medidas de altura, ancho y largo máximas, la altura con respecto al suelo, entre otras.

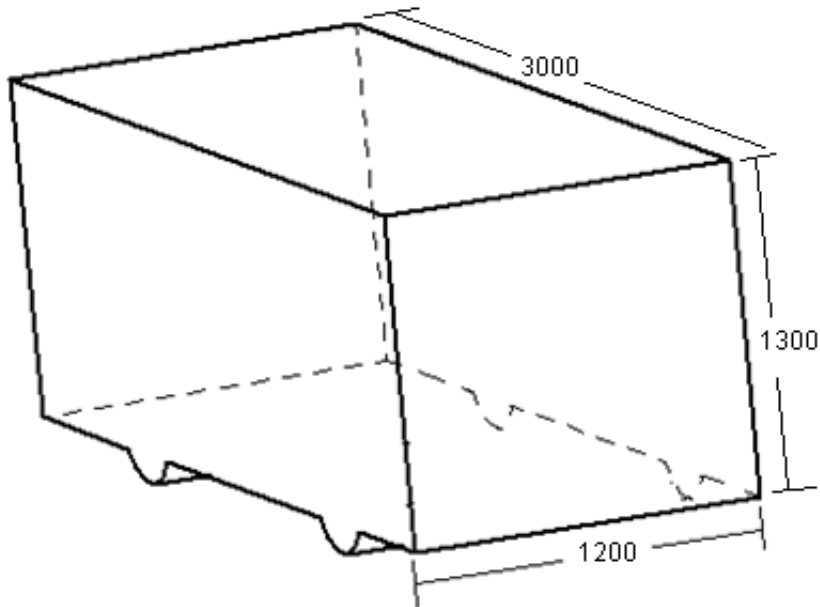


Figura 17. Isométrico del Diseño Base

Las figuras 18a y 18b permiten observar las dimensiones decididas del modelo, tales como, altura y longitud del vehículo máxima, distancia entre ejes, longitud de las ruedas, altura con respecto al suelo. Para una mayor uniformidad, todas las dimensiones se manejan en milímetros (mm).

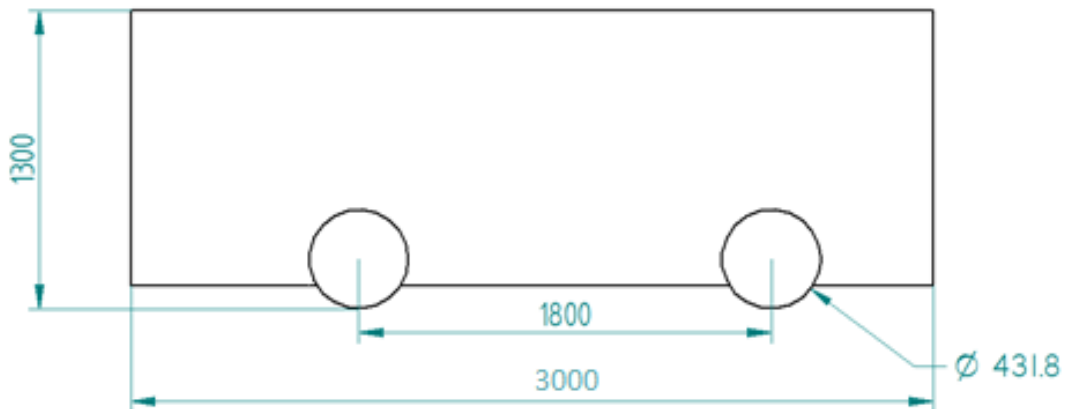


Figura 18a. Dimensiones del vehículo: a) vista lateral

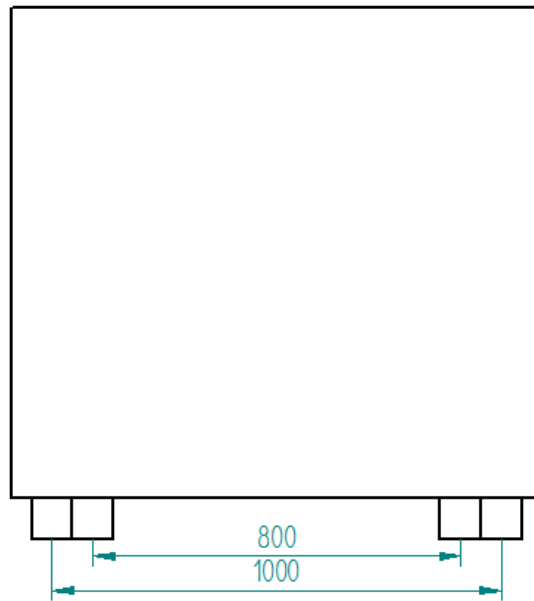


Figura18b. Dimensiones del vehículo: b) vista frontal.

3.2 MODELO Y MEDIDAS GENERALES DEL VEHICULO PRELIMINAR.

El grupo de investigación Green Energy GIMOC, presentó ante Dirección de Investigaciones en la convocatoria 008, el proyecto titulado “Diseño de un vehículo concepto urbano aplicado a la competencia Shell Eco – Marathon (Fase I)”. Este proyecto está subdividido en los siguientes grupos de trabajo, los cuales hacen parte de diferentes proyectos de grado aprobados por el programa de Ingeniería Aeronáutica: división de aerodinámica, división de sistemas de propulsión, división de motor recíproco, división de estructuras y división de sistemas.

De acuerdo con el volumen de control establecido, y de acuerdo a los objetivos planteados al inicio del proyecto, la división de aerodinámica fue la encargada de la representación digital y diagramación del vehículo en dos y tres dimensiones, basando su modelo en la reducción en la resistencia al avance y dando una forma aerodinámica que cumpla con esta disminución para así reducir el consumo de combustible y cumplir con los objetivos propuestos al inicio de la investigación, de acuerdo a simulaciones en CFD realizadas en los bocetos 2D se obtuvo el volumen de control mostrado en la figura 3.

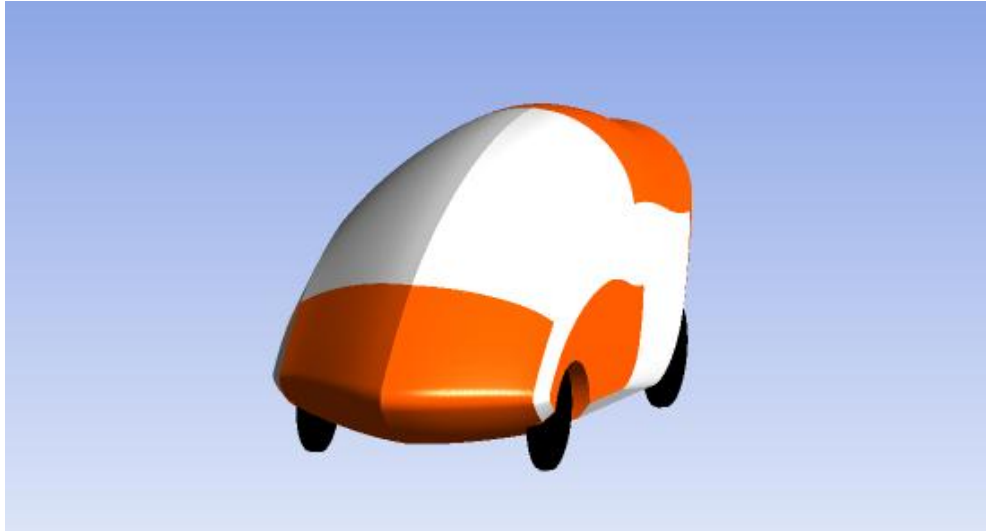


Figura 19. Isométrico del Diseño preliminar

Las figuras 20a, 20b y 20c permiten observar las dimensiones más relevantes del modelo tales como, altura máxima del vehículo, ancho del vehículo, distancia entre ejes, entre otras. Para una mayor uniformidad, todas las dimensiones se manejan en milímetros (mm).

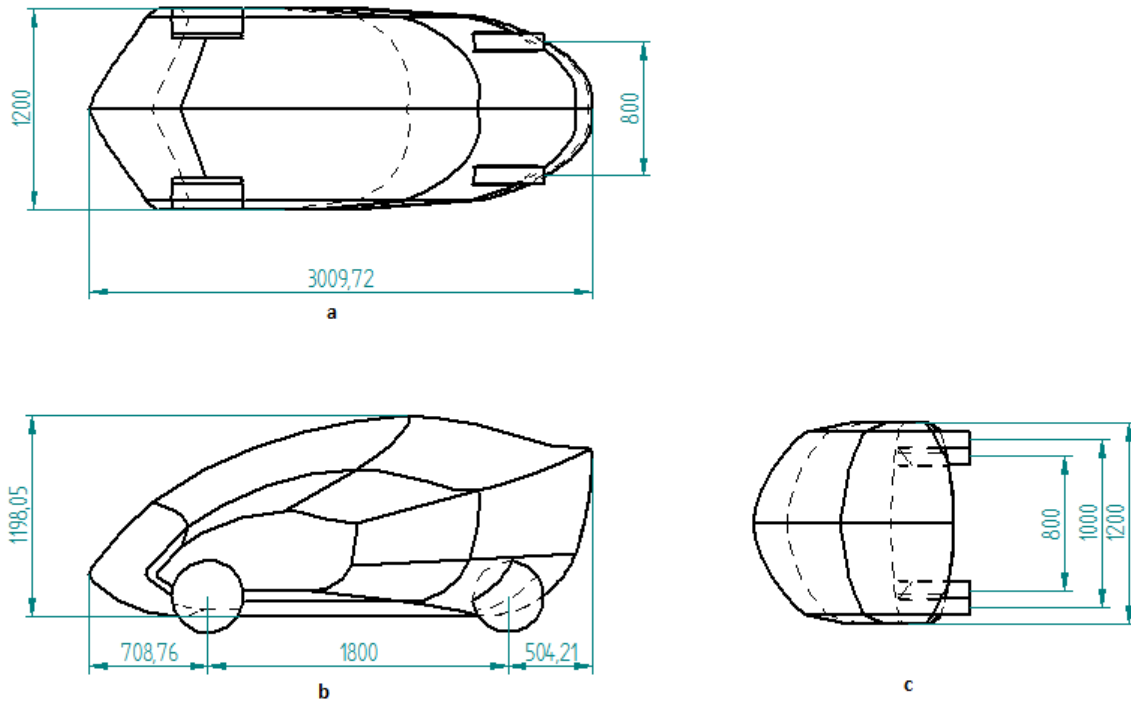


Figura 20. Dimensiones del vehículo: a) vista de techo, b) vista lateral y c) vista frontal.

3.3 GEOMETRIA 2D

3.3.1 Boceto carro No. 1

El primer boceto realizado por el grupo de aerodinámica para la competencia de eco Shell marathon se basó en los perfiles de los carros urbanos existentes en el mercado y los ya diseñados para dicha competencia. Como se observa en la imagen 21 la parte delantera del vehículo tiene una curvatura pronunciada con el fin de reducir la resistencia al avance, mientras que en la parte trasera del vehículo se adapta esta forma para disminuir la turbulencia que genera el fluido al dejar de hacer contacto con el cuerpo.

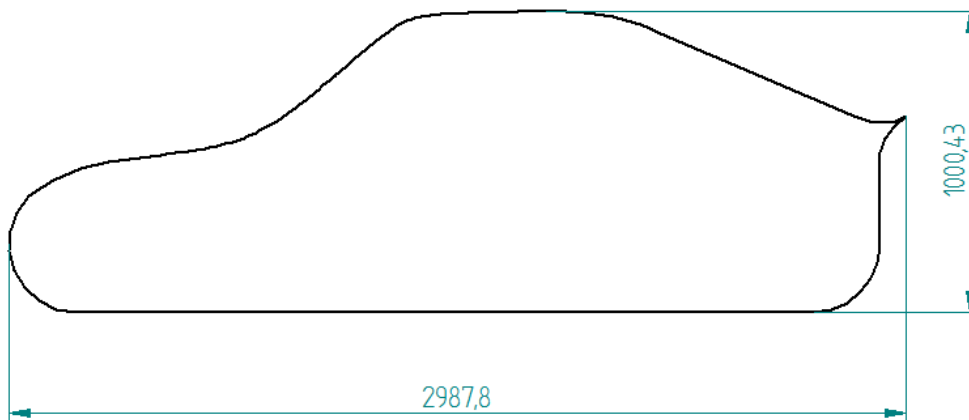


Figura 21. Boceto carro No. 1

3.3.2 Boceto carro No. 2

De acuerdo con los resultados del análisis del boceto anterior que se encuentran en numeral 3.5.3 del documento, se disminuyó la curvatura de la parte delantera del parabrisas y se levantó la parte trasera del vehículo, con el fin de disminuir la zona de presión generada por la geometría cóncava en esta sección.



Figura 22. Boceto carro No. 2

3.3.3 Boceto carro No. 3

Para este boceto según resultados del análisis del carro No.2 (numeral 3.5.4.), se disminuyó la parte frontal, con el fin de reducir la zona de alta presión generada en la parte delantera, También se eliminó la parte trasera debido al desprendimiento de capa límite que se observa en la figura 32.

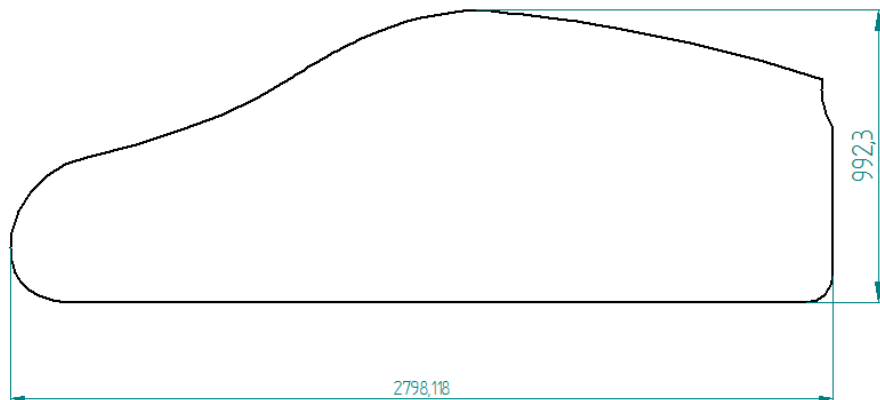


Figura 23. Boceto carro No. 3

3.3.4 Boceto carro No. 4

En este boceto la parte delantera se diseña más curva con el fin de eliminar las zonas de alta presión originadas en esta sección del vehículo. Además de esto se decide bajar más la parte trasera del coche y darle forma curva, para analizar el comportamiento del fluido con respecto a los anteriores bocetos, y tener un criterio más amplio del diseño de la parte posterior del automóvil, la importancia del diseño de la parte trasera del vehículo es explicada a profundidad en el numeral 3.4.

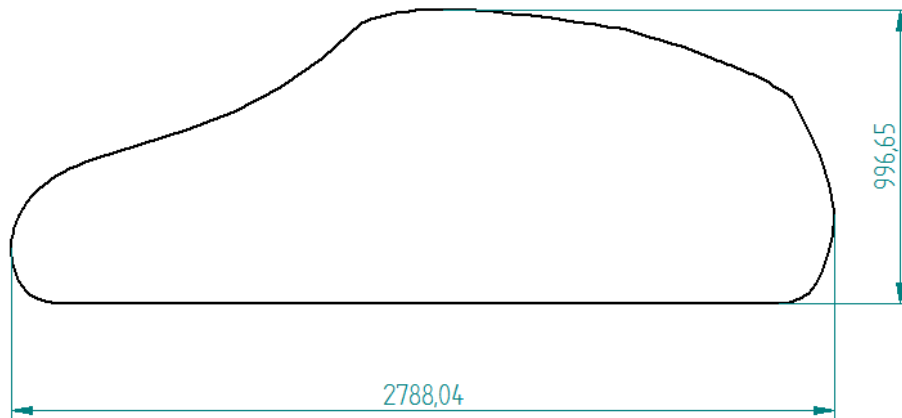


Figura 24. Boceto carro No. 4

3.3.5 Boceto carro No. 5

Observando los resultados de los anteriores bocetos que se encuentran en los numerales 3.5.3 - 3.5.6., se decide diseñar un boceto en el cual se tenga en cuenta el comportamiento del fluido en los modelos anteriores, con el fin de reducir la resistencia al avance, dándole una mejor forma aerodinámica al vehículo.

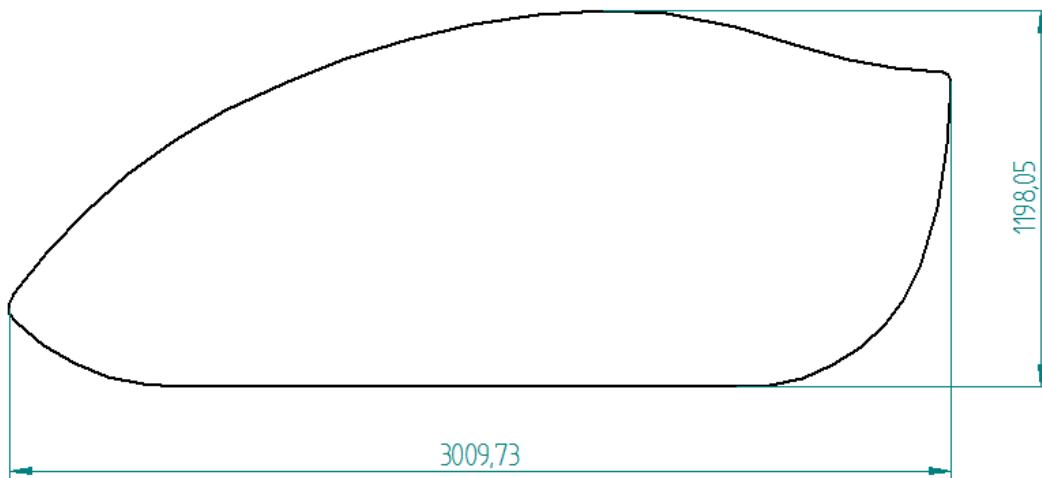


Figura 25. Boceto carro No. 5

3.4 PROCESO DE SIMULACIÓN 2D

El proceso de simulación se compone de tres pasos principales. El Pre-procesamiento, Solucionador y Post-procesamiento.

El procedimiento utilizado en el pre-procesamiento y solucionador mediante el software ANSYS 15 es mostrado en el Anexo 1.

La geometría del vehículo se diseñó de acuerdo a las dimensiones ya preestablecidas en las normas de la competencia Shell Eco-marathon. Esta geometría se fue adecuando según los resultados de las simulaciones en dos dimensiones obtenidas, consiguiendo así la forma final de la carrocería mostrada en la figura 25.

La figura 26 muestra el volumen de control utilizado para las simulaciones en dos dimensiones del vehículo, dicho volumen tiene 20 metros de largo 7 metros de alto; y es estandarizado para los procesos de simulación realizados en dos dimensiones. Las medidas utilizadas en el volumen de control fueron asumidas de acuerdo a estudio de antecedentes de simulaciones de vehículos tanto terrestres como aéreos.⁵

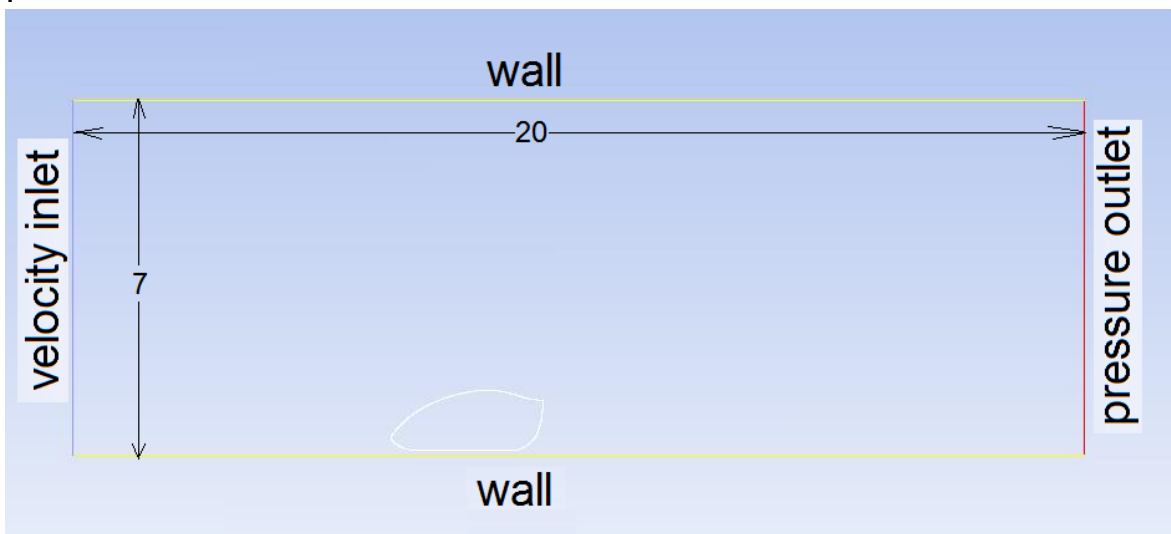


Figura 26. Condiciones de frontera y medidas volumen de control.

La figura 26 presenta las condiciones de contorno asumidas para la simulación en dos dimensiones; en la entrada se asumirá "Velocidad de Entrada", la condición de salida del fluido será "presión de salida", para el piso y techo la condición

⁵ Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

propuesta es "pared". El uso de estas Condiciones de frontera fue teniendo como guía lo estipulado en el libro The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics.⁶

3.5 ANÁLISIS SIMULACIONES 2D O POST-PROCESAMIENTO.

La Resistencia al avance, es un parámetro aerodinámico importante para el rendimiento del vehículo ya que este puede limitar la velocidad máxima. Mientras menor sea la resistencia, menor potencia necesitara un vehículo para moverse a cierta velocidad involucrando directamente el consumo de combustible.

El comportamiento de la resistencia al avance tanto para la parte delantera como la parte trasera es muy diferente, por lo que se consideran de forma separada.

Por este motivo se realizan bordes lisos sobre el vehículo para disminuir la presión en la parte delantera y así poder disminuir la resistencia al avance generado en esta sección.

La otra parte que se ve afectada por la resistencia al avance es la parte trasera, como el vehículo se mueve a través del aire, las moléculas de aire se mueven alrededor del vehículo, debido a esto las partículas de aire llenan el espacio dejado por este. Esto se conoce como vacío posterior; un ejemplo claro de esto es el fenómeno conocido como la estela en ambientes de carreras, este fenómeno ocurre cuando la separación entre dos carros es corta, haciendo que la densidad del aire en la salida del vehículo que va por delante sea menor, reduciendo el consumo de combustible del automóvil que va atrás, debido a que con menos moléculas de aire para golpear en la parte delantera de su vehículo menos energía tiene que utilizar para romper esta resistencia al avance por consiguiente consume menos combustible.

Otro factor importante en el aumento de la resistencia al avance, es que a diferencia de las aplicaciones aeroespaciales los carros están cerca de la tierra o suelo, por lo cual se debe aumentar el Downforce.

La carga aerodinámica (**dowforce**) es ventajosa para un vehículo ya que aumenta la carga efectiva sobre los amortiguadores lo que genera más tracción de aceleración, incrementando la fuerza vertical de los neumáticos traduciéndolo en más agarre, se aclara que no es lo mismo aumentar el peso del vehículo por los siguientes parámetros:

⁶ Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

- La competencia Eco Shell-Marathon establece un peso máximo lo cual limita esta variable.
- Aumentar el peso no es ventajoso, ya que para mover el carro si no se modifica el motor tendría que consumir más combustible sin tener en cuenta que la inercia del carro aumentaría por lo que la tendencia del carro a seguir en movimiento disminuiría de cierta forma.
- El vehículo no ganaría velocidad y se volvería más lento.

El Downforce es importante para el vehículo que se quiere diseñar ya que el consumo de combustible depende de la eficiencia del motor y del sistema de transmisión, con más tracción la eficiencia del sistema de transmisión aumenta sin necesidad de pasar los límites de peso de la competencia.

Con la anterior teoría se pretende obtener gradientes de presión que beneficien el análisis de las simulaciones y de tal forma poder llegar a un boceto en 2D donde se puedan atenuar estos fenómenos.

Para reducir la resistencia generada por la fricción, los cambios de secciones serán continuos en la superficie del vehículo, ya que si existe alguna discontinuidad se generará un incremento de este fenómeno. Esto también depende del espesor, si este aumenta, la resistencia aumentará, así mismo los gradientes de presión adversos y desprendimientos de capas límites.

3.5.1. Análisis de convergencia de mallas.

EL presente análisis se le realizó a los bocetos de los vehículos No. 4 y No. 5, generando tres tipos de mallas con diferente número de nodos; para la variación de elementos se tuvo en cuenta parámetros como el máximo tamaño de los prismas, el Y^+ , número de capas cerca al automóvil y máximo tamaño de nodos en el contorno, a continuación se nombraran las características de cada caso.

Características de los casos para el boceto carro No.4 son:

Caso 1

Las condiciones de frontera y las dimensiones del volumen de control son nombradas en la figura 26 y no cambiaran en ningún caso; para este caso la malla tiene un Y^+ de 1, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m \cdot seg}$, una velocidad de corriente libre de $8.3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m con esos

datos se obtuvo un espaciamiento de pared de 0,00004408 m esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

$$\Delta s = Y^+ * \mu * \rho * U_{fric} \quad \text{Ecuación No. 1}$$

$$U_{fric} = T_{Wall} * \rho \quad \text{Ecuación No. 2}$$

$$T_{Wall} = C_f * \rho * U_\infty * 22 \quad \text{Ecuación No. 3}$$

$$C_f = 0.026 * Rex * \frac{1}{7} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

$$Rex = L * \mu * \rho * U_\infty \quad \text{Ecuación No. 5}$$

$$\Delta s = 0.00004408 \text{ m}$$

Las ecuaciones enunciadas anteriormente fueron extraídas de: flat-plate boundary layer theory from Frank M. White's Fluid Mechanics 5th edition, pag. 467.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,2 y 15 capas obteniendo 474693 nodos.

Caso 2

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 2, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8.3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m con esos datos se obtuvo un espaciamiento de pared de 0,000088178949580m esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,5 y 20 capas obteniendo 260520 nodos.

Caso 3

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 3, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8.3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m con esos datos se obtuvo un espaciamiento de pared de 0,0001322684243712993m esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 2 y 30 capas obteniendo 109420 nodos.

Tabla 2. Características mallas

	CASO 1	CASO 2	CASO 3
N	474693	260520	109420
H	0,00145142	0,0019592	0,00302309
Q	0,057	0,023	0,012

En la figura 27 se observara en el eje y los resultados del coeficiente de resistencia al avance de las simulaciones de cada caso y en el eje x un parámetro proporcional al espaciamiento de la cuadrícula.

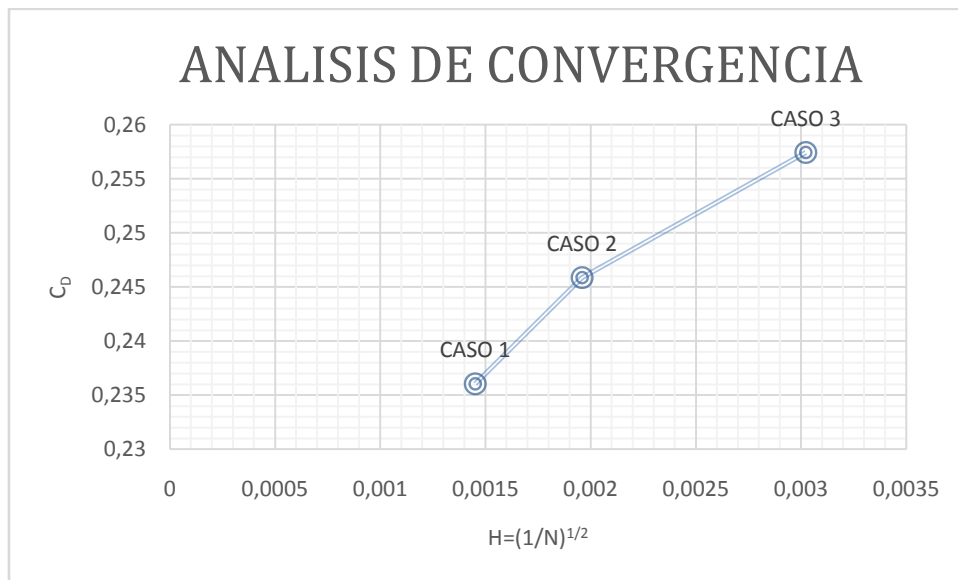


Figura 27. Comparación C_D vs h boceto carro No.4

3.5.2. Características de los casos para el boceto carro No.5

Caso 1

Las condiciones de frontera y el volumen de control son mostradas en la figura 26 con las dimensiones establecidas y no cambiaran en ningún caso; para este caso

la malla tiene un Y^+ de 1, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8.3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m con esos datos se obtuvo un espaciamiento de pared de 0,00004408 m esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,2 y 15 capas obteniendo 456486 nodos.

Caso 2

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 2, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8.3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m con esos datos se obtuvo un espaciamiento de pared de 0,000088178949580m esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,5 y 20 capas obteniendo 242748 nodos.

Caso 3

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 3, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8.3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m con esos datos se logra un espaciamiento de pared de 0,0001322684243712993m esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 2 y 30 capas obteniendo 108551 nodos.

Tabla 3. Características mallas.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3
N	456486	242748	108551
H	0,00148008	0,00202965	0,00303517
Q	0,05	0,0278	0,0278

En la figura 28 se observará los resultados del coeficiente de Drag (C_D) con la variación de h que estará en término de N siendo este el número de elementos por malla y se escoge la malla con mayor calidad.

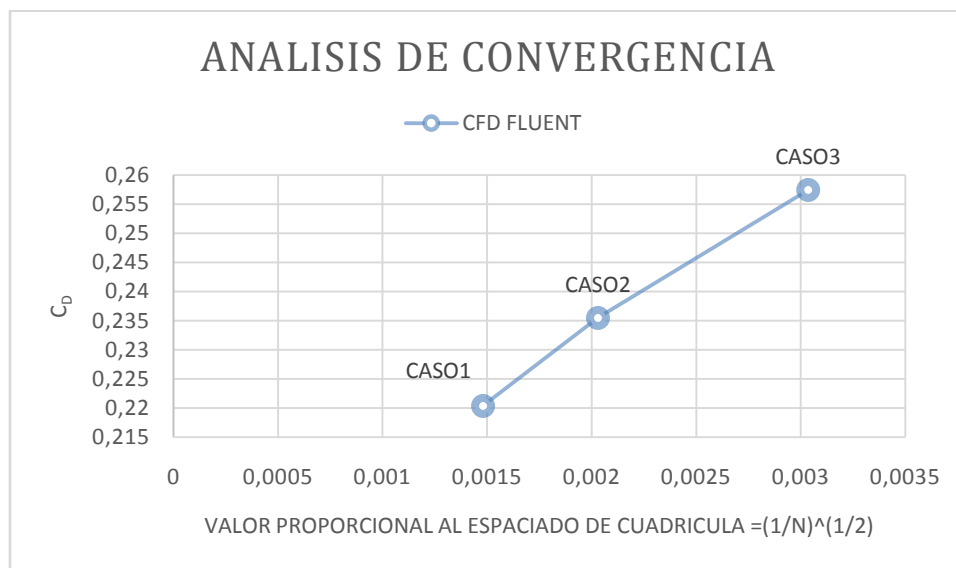


Figura 28. Comparación C_D vs h boceto carro No. 5.

Como se observa en las figuras 27 y 28, el caso número 1 es el de mayor calidad por consiguiente el análisis de resultados se realizó con la malla utilizada en el caso número 1.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

3.5.3. Análisis de Resultados carro No.1

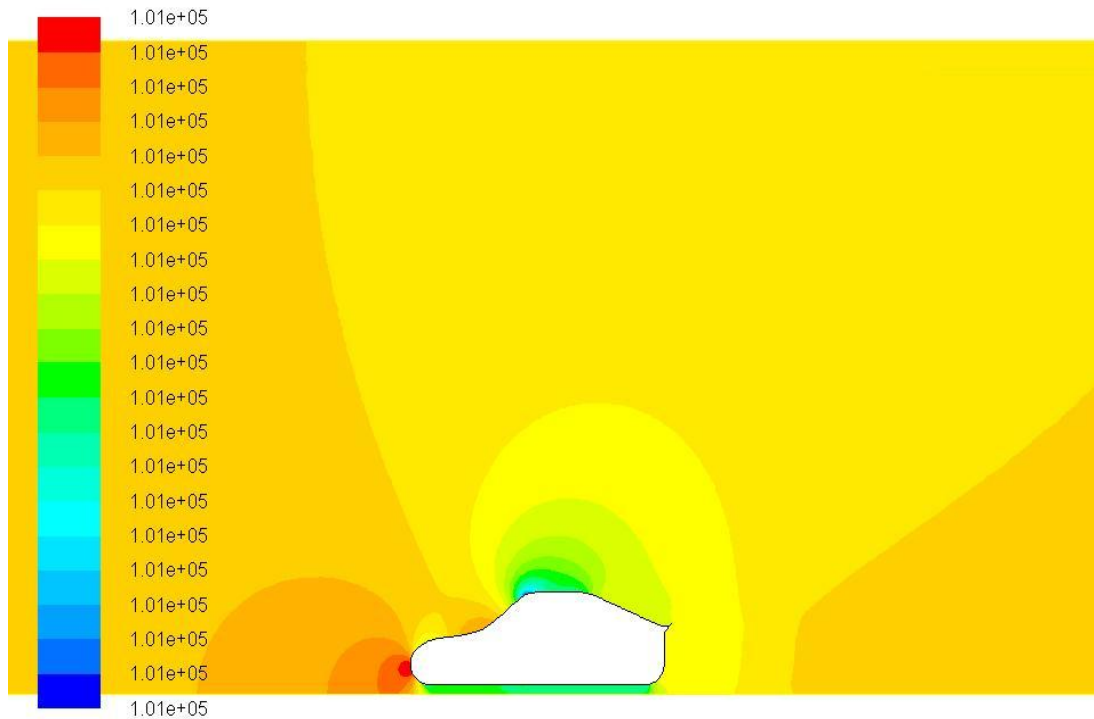


Figura 29. Grafica contornos de presión estática (Pascals).

Según la teoría de Bernoulli el incremento de velocidad es relacionado con una disminución de la presión, generando zonas de baja presión o de alta presión, esto conlleva a gradientes de presión adversos o favorables; un gradiente de presión favorable es cuando el flujo va de mayor a menor presión, lo que es de gran ayuda ya que se evita el desprendimiento de capa límite, como se observa en la figura 29, en la parte frontal del automóvil se genera una zona de alta presión eso quiere decir que en ese punto la velocidad del flujo es baja. También se puede observar una disminución de la presión en la parte superior del vehículo, lo que quiere decir por lo antes enunciado que en esta zona la velocidad del flujo es mayor. Estos dos fenómenos generan un gradiente de presión favorable evitando desprendimiento del flujo y aumento de la resistencia al avance.⁷

La zona de alta presión que se observa en la parte frontal, es producida debido a la energía necesaria para separar las moléculas de aire.⁸

⁷ "<http://catedras.quimica.unlp.edu.ar/ftransporte/clase6b.pdf>"

⁸ "<http://catedras.quimica.unlp.edu.ar/ftransporte/clase6b.pdf>"

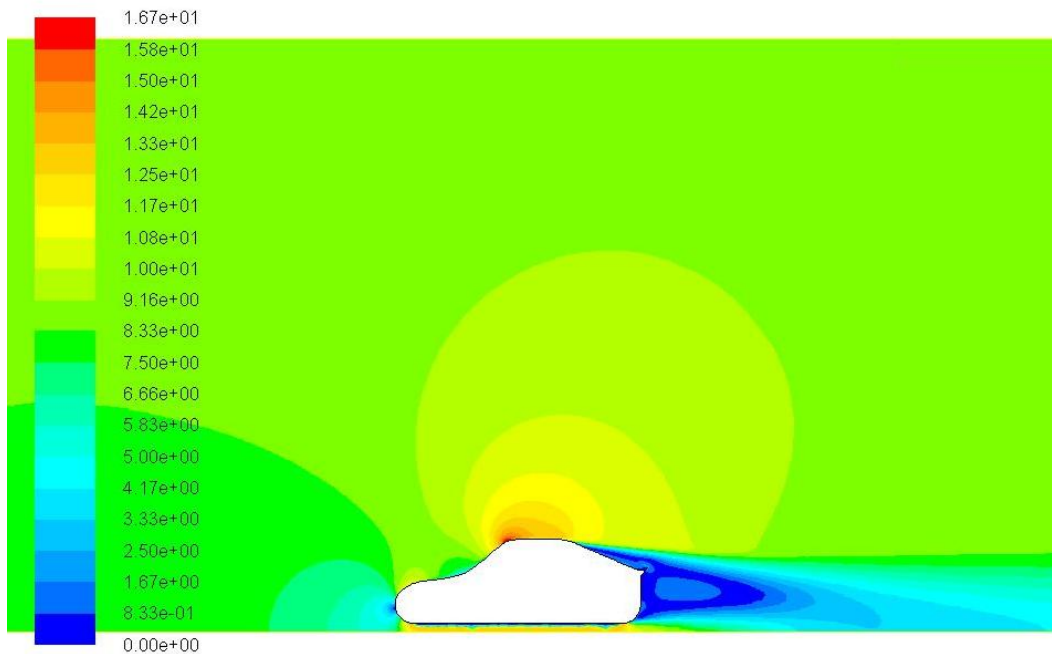


Figura 30. Grafica contorno de velocidad (m/s).

Como se enuncio anteriormente es posible ver que en las zonas de alta presión la velocidad del flujo es baja, también se observa que en la parte trasera se genera una zona de alta presión que es menor que la de adelante, lo que es recomendable evitar, ya que esto genera un gradiente adverso de presiones proporcional a un desprendimiento del flujo, tal cual sucede en el parabrisas trasero del automóvil. Esto se debe a que los perfiles de velocidades en ese punto, además se generan vórtices o zonas de recirculación de aire debido al desprendimiento del fluido en la parte posterior del vehículo.

Las moléculas de aire tratarán de llenar el vacío dejado por el carro a esto se le conoce como vacío posterior y causara un aumento en la (resistencia al avance).

Tabla 4. Resultados del coeficiente de la Resistencia al avance (C_d) y coeficiente del Downforce (C_{d_w}) Boceto 1.

C_d	0.351513
C_{d_w}	-0.132586

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene la siguiente ecuación: donde es importante aclarar que el área va a ser el área frontal del vehículo, es decir el alto de este, por tal razón se encuentra en unidades de longitud, ya que no se tiene en cuenta el ancho por ser un boceto en 2D.

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A^9 \quad \text{Ecuación No. 6}$$

$$D = 0.351513 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$

$$D = 17.79 N$$

Para calcular el dowforce (D_w) se tiene la siguiente ecuación:

$$Dw = Cdw \frac{1}{2} \rho v^2 A^{10} \quad \text{Ecuación No. 7}$$

$$Dw = -0.132586 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$

$$Dw = -6.713379412 \frac{N}{m}$$

3.5.4. Análisis de resultados carro No.2

Para este análisis se disminuyó la curvatura del parabrisas de la parte delantera y se redujo el ángulo o curvatura en la parte trasera con el fin de disminuir el desprendimiento del flujo.



Figura 31. Grafica contornos de presión estática (Pascales).

⁹ Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

¹⁰ Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

Como se observa en los resultados indicados en la figura 31, se logró disminuir la zona de alta presión en el parabrisas trasero, y se tiene a favor una zona de baja presión en la parte superior, lo que genera que el gradiente de presión adverso decrezca y su resultado sea una disminución de la resistencia al avance, además evita que los vectores de velocidad cerca a la pared aumenten y no sean iguales a cero, o estén en retroceso, creando un perfil de velocidad más uniforme.

“El desprendimiento de capa límite es un fenómeno característico de sistemas en los cuales el fluido circula con un gradiente de presión adverso. Por este motivo, cuando el fluido circula sobre una placa plana no ocurre, pues la presión fuera de la capa límite no varía en la dirección del flujo.”¹¹

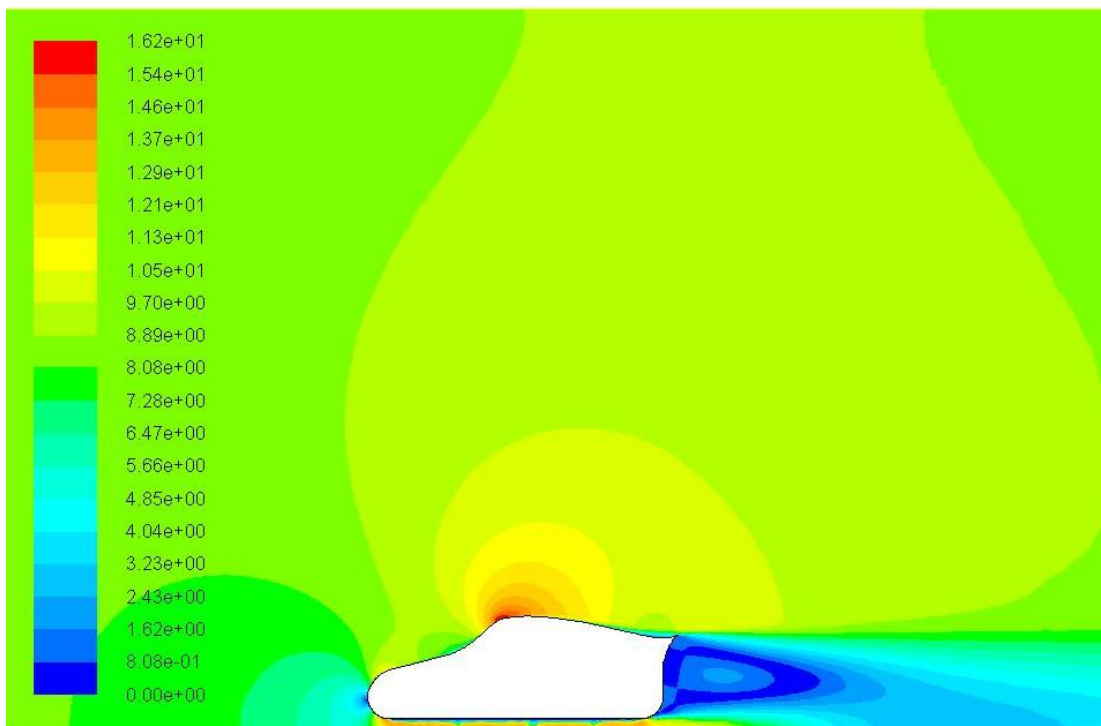


Figura 32. Grafica contorno de velocidad

Como se enuncia en la figura 32 debido a la zona de baja presión en la parte superior el fluido sufre una aceleración en este punto, también disminuye el desprendimiento de capa límite en la sección trasera del automóvil, lo que confirma que el gradiente adverso decrece en la parte del parabrisas trasero, disminuyendo la resistencia al avance y aumentando el downforce.

¹¹ <http://catedras.quimica.unlp.edu.ar/ftransporte/clase6b.pdf>.

Aunque se disminuye el gradiente adverso, se sigue observando el desprendimiento de fluido y se requiere evitar este comportamiento del fluido.

Tabla 5. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (Cd) y coeficiente del Downforce (Dw) Boceto 2.

Cd	0.329622
Cd_w	- 0.148491

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene la de la ecuación No. 6:

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D = 0.329622 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$

$$D = 16.690 \frac{N}{m}$$

Para calcular el dowforce (Dw) se utiliza la ecuación 7:

$$Dw = -0.148491 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$

$$Dw = -7.5187 \frac{N}{m}$$

3.5.5. Análisis de resultados carro No.3

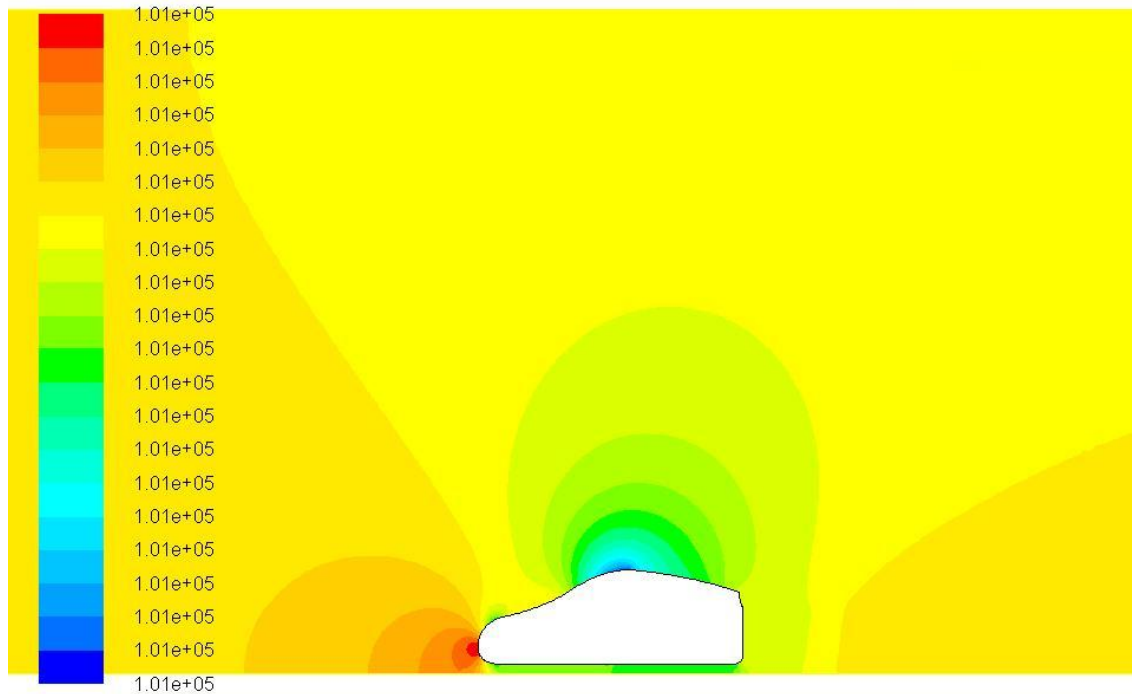


Figura 33. Grafica contornos de presión estática(Pascales).

La figura 33 indica el análisis aerodinámico del boceto número 3, con las modificaciones realizadas, se logró disminuir la zona de baja presión en la parte delantera del vehículo, pero nuevamente se incrementó la zona de baja presión en la parte superior del automóvil, lo cual genera que el gradiente de presión adverso crezca, ocasionando un aumento en la resistencia al avance del vehículo.

Los resultados obtenidos, demuestran que es menor la resistencia al avance para este caso en comparación que en la simulación anterior, esto se debe a que la zona de presión de la parte delantera del vehículo disminuye y la energía necesaria para romper esta zona es menor, también los perfiles de velocidad son más uniformes y el gradiente favorable aumenta en la parte posterior.

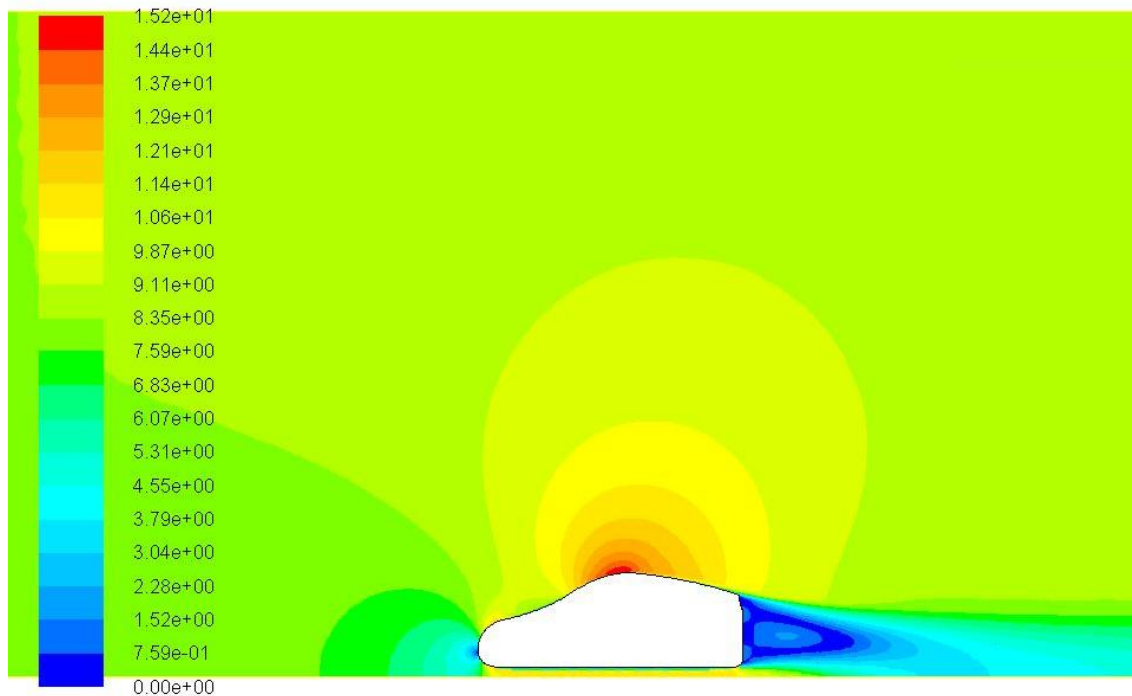


Figura 34. Grafica contorno de velocidad (m/s).

En la figura 34 Se visualiza como se aumenta la velocidad en la zona donde se genera baja presión (Parte superior del vehículo), en este caso se disminuye la zona de baja velocidad en la parte frontal del modelo, lo que conlleva a realizar una modificación en la zona frontal del automovil, con un boceto en forma de bala de tal modo que la perturbación del fluido sea menor.

Tabla 6. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (Cd) y coeficiente del Downforce (Cdw) Boceto 3.

Cd	0. 239696
Cdw	0.454941

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene la de la ecuación No. 6:

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D = 0.239696 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} \left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2 (1.2m)$$

$$D = 12.13680 \frac{N}{m}$$

Para calcular el dowforce (D_w) se tiene la ecuación No. 7:

$$D_w = 0.454941 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$
$$D_w = 23.03555 \frac{N}{m}$$

Se observa un downforce positivo lo que en realidad no afectara el carro ya que no supera el peso del automóvil por consiguiente no generara sustentación, puede ser muy efectivo en el momento que el carro adquiera velocidades de 8.3 m/s ya que el vehículo utilizará menos potencia para moverse, para este caso en la simulación el carro estará en línea recta

3.5.6. Análisis de resultados carro No.4



Figura 35. Grafica contornos de presión estática (Pascales).

La figura 35 muestra los contornos de presión del modelo número 4. En este caso se observa una distribución de presiones menor en la parte posterior del vehículo con las modificaciones efectuadas, también se obtuvo una distribución de presiones más uniforme en la parte trasera del automóvil. El gradiente de presión

adverso disminuirá en comparación con los anteriores modelos propuestos, por lo que la turbulencia en esta zona será menor y generará menor cantidad de perturbaciones negativas en el modelo.

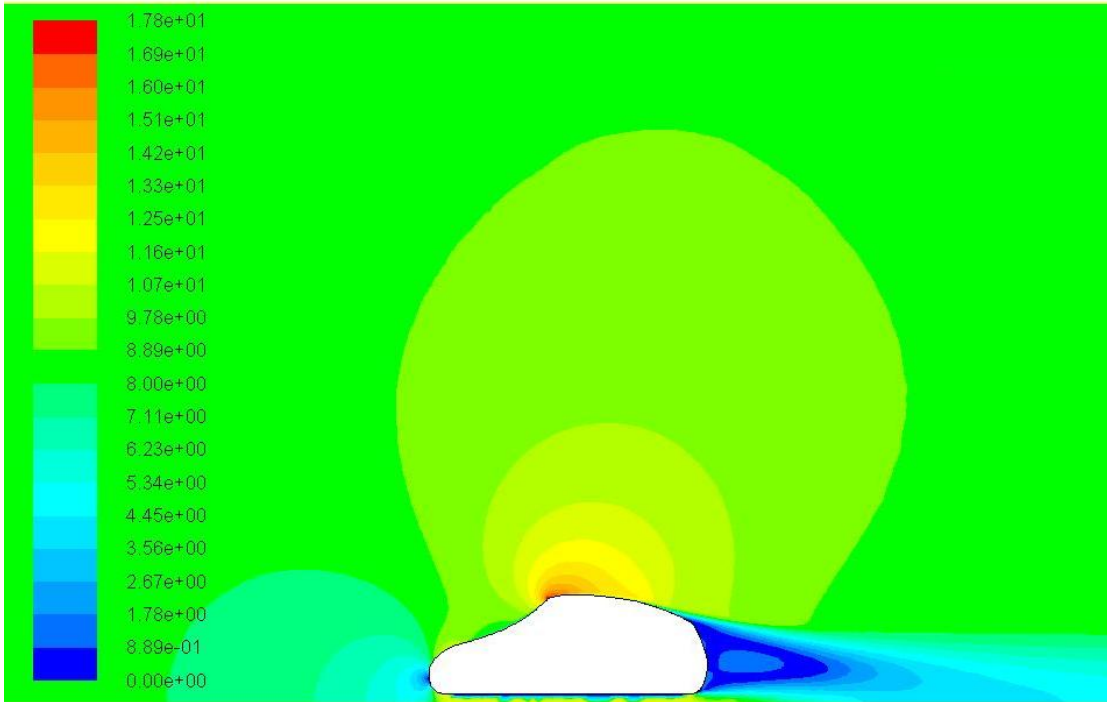


Figura 36. Grafica contorno de velocidad (m/s).

En la figura 36 se observa que en la parte superior del vehículo zonas de alta velocidad debido a la forma cóncava del parabrisas, pero sus valores son menores en comparación con las anteriores simulaciones, también es posible observar una disminución en la creación de turbulencia en la parte trasera, que acompañado por la distribución de presiones en la parte delantera disminuye la resistencia al avance.

Tabla 7. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (Cd) y coeficiente del Downforce (Cdw) Boceto 4.

Cd	0.236049
Cd_w	0.336339

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene la de la ecuación No. 6:

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D = 0.236049 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} \left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2 (1.2m)$$

$$D = 11.95 \frac{N}{m}$$

Para calcular el dowforce (D_w) se tiene la ecuación No. 7:

$$D_w = 0.336339 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} \left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2 (1.2m)$$

$$D_w = 17.030239 \frac{N}{m}$$

3.5.7. Análisis de resultados carro No.5

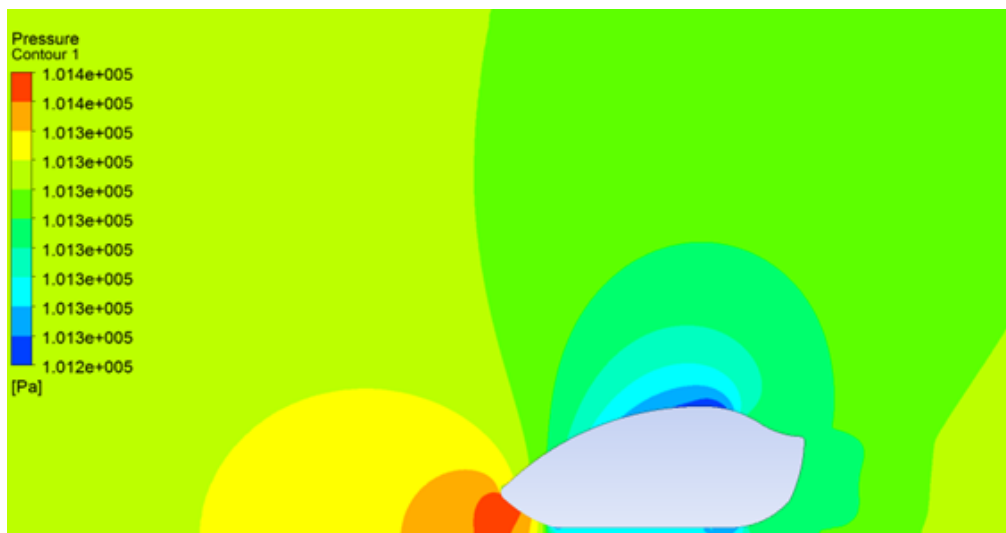


Figura 37. Grafica contorno de presión (Pascales).

En la figura 37 se muestra el vehículo seleccionado para realizar el proceso de simulación en 3 dimensiones, el cual se diseñó insertando las mejores características que poseían los cuatro bocetos anteriores para que de esta manera se obtuvieran los mejores resultados posibles. En esta imagen se ve la distribución de presiones en el boceto; se observa un gradiente de presión favorable desde la sección delantera a la superior del vehículo, lo cual impide el desprendimiento de capa límite en esta zona; en la sección trasera del vehículo la presión disminuye entrando en un contorno de baja presión a lo largo de la longitud del vehículo, lo que aumenta la velocidad del flujo alrededor de este.

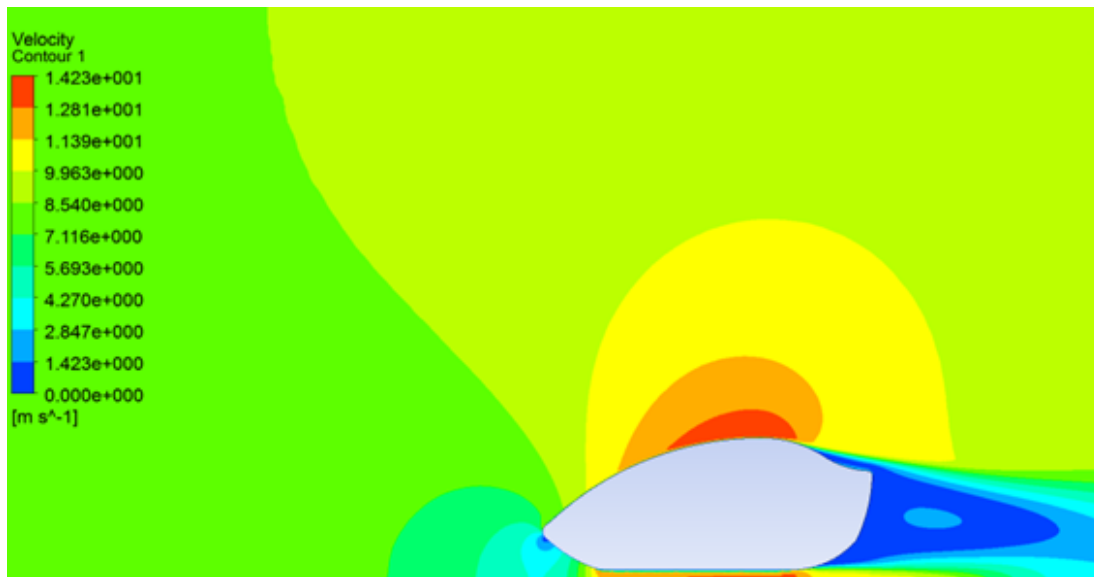


Figura 38. Grafica contorno de velocidad (m/s).

En la figura 38 se observa la distribución de velocidades del boceto carro No. 5, en la parte superior del vehículo se crea una zona de alta velocidad la cual llega a ser de $14,23 \frac{m}{s}$. En la parte posterior se disminuye la velocidad rápidamente debido a que en esta zona como se ve en la figura 35 se genera una zona de alta presión produciendo un gradiente de presiones adverso como consecuencia se genera un flujo turbulento; esto no implica efectos adversos en la aerodinámica del vehículo debido a la baja velocidad de desplazamiento. Además es importante resaltar que con dicho modelo se logró un aumento de la velocidad en la parte delantera con respecto a los bocetos anteriores, disminuyendo la resistencia al avance.

Tabla 8. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (Cd) y coeficiente del Downforce (Cdw) Boceto 5.

Cd	0.20203456
Cd_w	0.47589

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene la de la ecuación No. 6:

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D = 0.20203456 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$

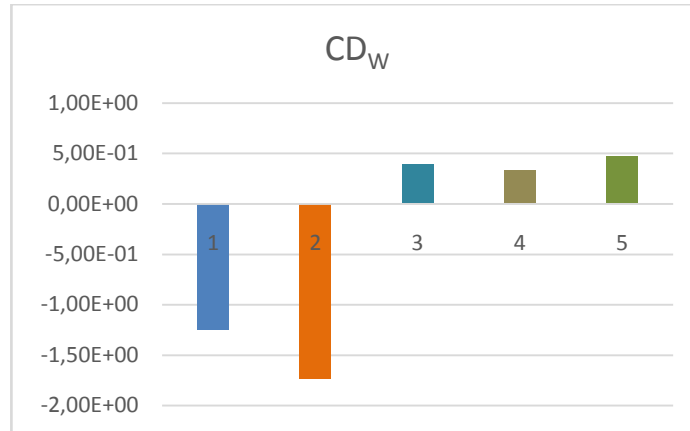
$$D = 10.22809 \frac{N}{m}$$

Para calcular el dowforce (D_w) se tiene la ecuación No. 7:

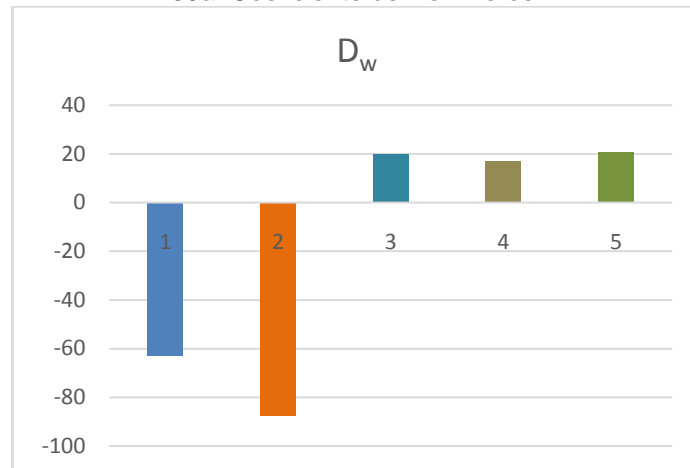
$$D_w = C_d w \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D_w = 0.47589 \frac{1}{2} 1.225 \frac{Kg}{m^3} (8.3 \frac{m}{s})^2 (1.2m)$$

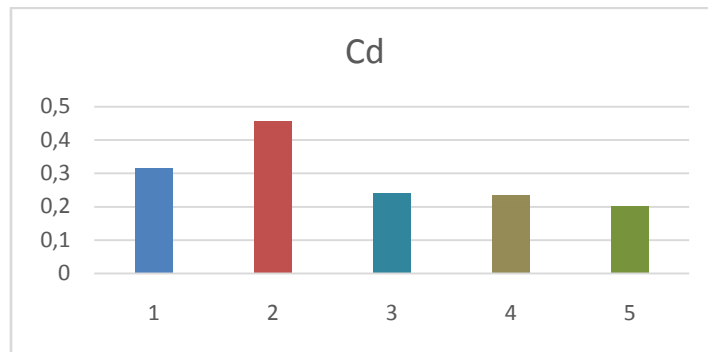
$$D_w = 24.0917 \frac{N}{m}$$



39a. Coeficiente de Downforce.



39b. Downforce.



39c. Coeficiente de Resistencia al Avance.

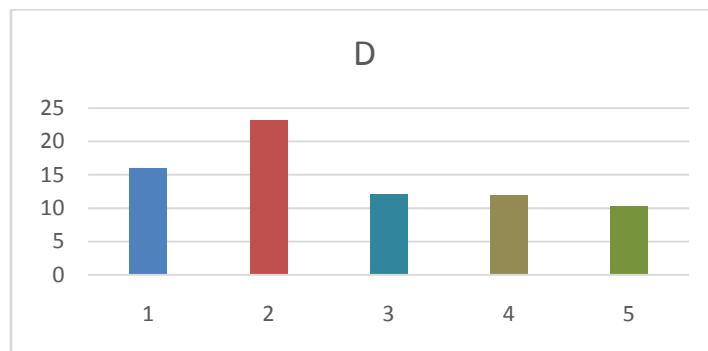


Figura 39d. Resistencia al Avance.

Los resultados mostrados en las figuras 39a-d; dan a conocer los coeficientes de resistencia al avance y de downforce, además de la resistencia al avance y downforce generada en cada uno de los modelos estudiados. Como se enunció anteriormente se seleccionó el modelo número cinco para ser simulado en 3 dimensiones ya que generó el menor coeficiente de resistencia al avance y los mayores valores de downforce de todos los modelos estudiados. Es importante recalcar que tener un bajo índice de resistencia al avance y un aceptable downforce (En este caso no es estudiado a fondo dado las bajas velocidades) disminuye el consumo de combustible del vehículo.

3.6. GEOMETRIA 3D

Luego de interpretar los resultados obtenidos de las simulaciones de los bocetos en 2D y observar que el vehículo con menor coeficiente de resistencia al avance es el carro número 5 que se encuentra en el numeral 3.5.7., se decide escoger este modelo y crear un diseño preliminar en 3D. Este boceto se modificará según el comportamiento que tenga con la interacción del fluido de acuerdo a las simulaciones realizadas.

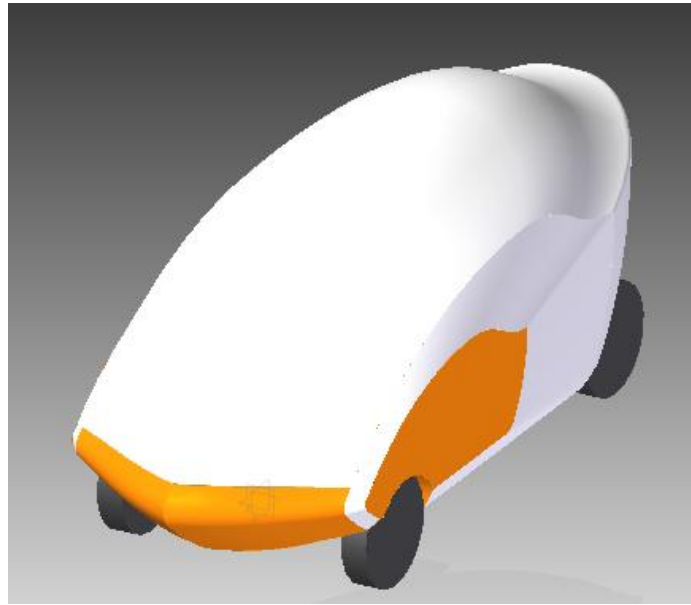


Figura 40. Isométrico 3D para simulación.

3.6.1. Boceto carro No. 1

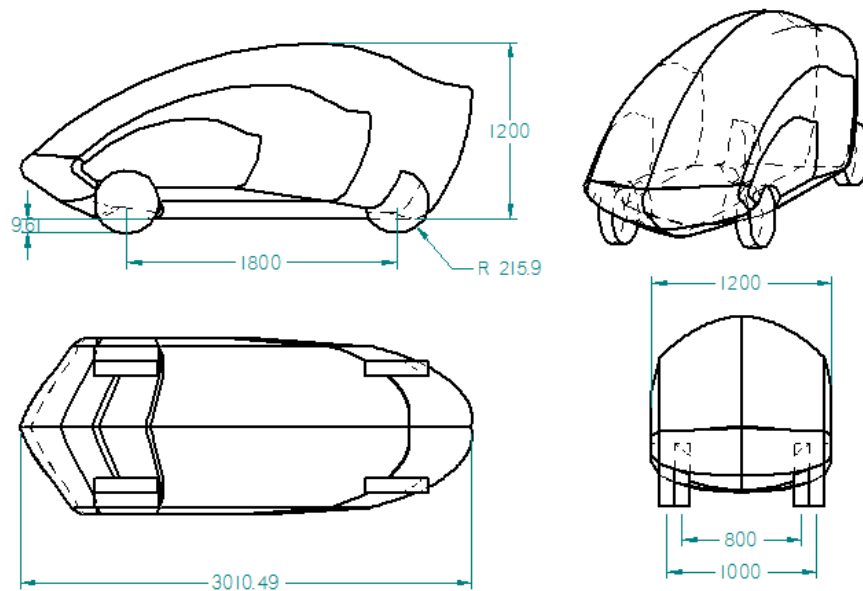


Figura 41. Boceto carro No.1

El boceto preliminar en 3D se diseñó con bordes lisos y continuos para disminuir el coeficiente de Drag parasito ya que este parámetro depende de la geometría, también se tuvo en cuenta parámetros como la zona de alta presión generada en la parte delantera y geometrías de vehículos ya existentes en esta competencia.

3.6.2. Boceto carro No.2

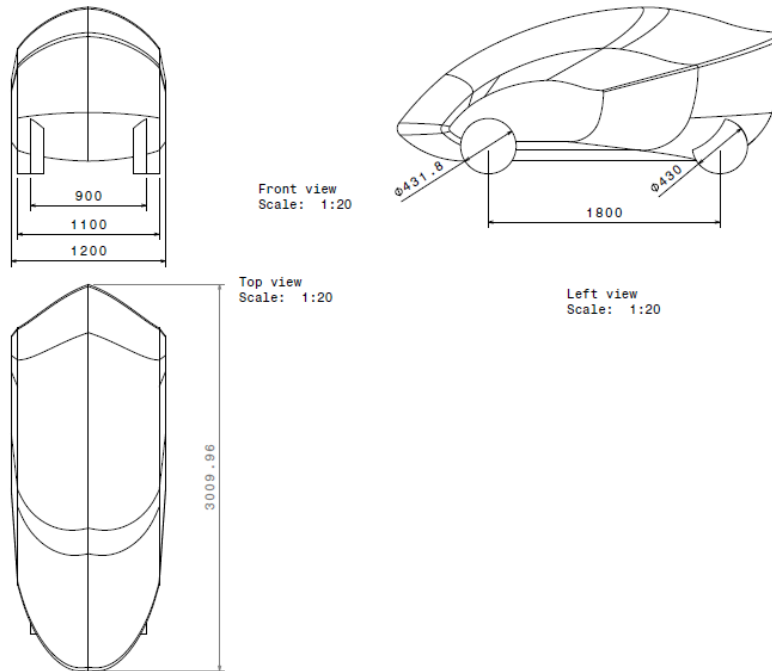


Figura 42. Boceto carro No.2.

La figura 42 muestra el boceto final, incluyendo las modificaciones realizadas debido a resultados del boceto inicial, los principales cambios fueron:

- Modificación de la parte delantera para disminuir la zona de alta presión.
- Reducción de la curvatura de la sección posterior para disminuir el desprendimiento de capa límite generada en esta zona.
- Aumento del diámetro de la llanta según acta de reunión grupo de investigación Green Energy GIMOC No.5.

3.7. PROCESO DE SIMULACIÓN 3D

Como ya se había enunciado en el proceso de simulación en 2D, el proceso de simulación se compone de tres pasos principales. El Pre-procesamiento, Solucionador y Post-procesamiento.

Para observar el procedimiento de Pre-procesamiento y Solucionador del vehículo en 3 dimensiones, dirigirse al Anexo B.

La geometría del vehículo se diseñó de acuerdo a las dimensiones ya preestablecidas en las normas de la competencia Shell Eco-marathon. Esta geometría se fue adecuando según los resultados de las simulaciones obtenidas, finalizando con la mostrada en la figura 43.

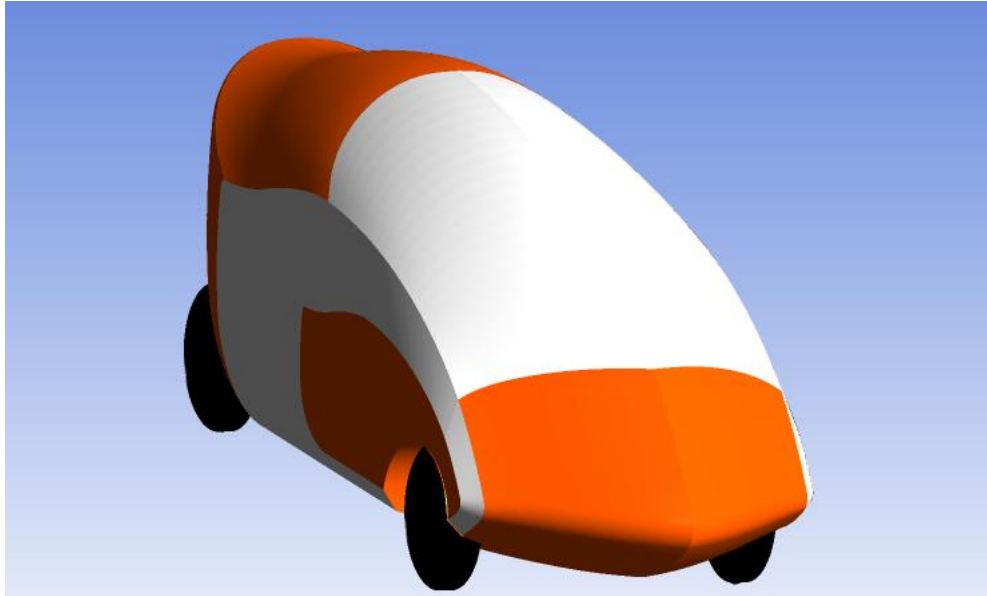


Figura 43. Isometrico 3D.

En cuanto al volumen de control mostrado en la figura 44, necesario para realizar el proceso de enmallado, se establecieron las siguientes medidas: 20 metros de largo, 7 metros de alto y 10 metros de ancho. Como ya se había mencionado en la sección 3.4, este volumen de control se seleccionó de acuerdo a la teoría encontrada en "The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics"¹²

¹² Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

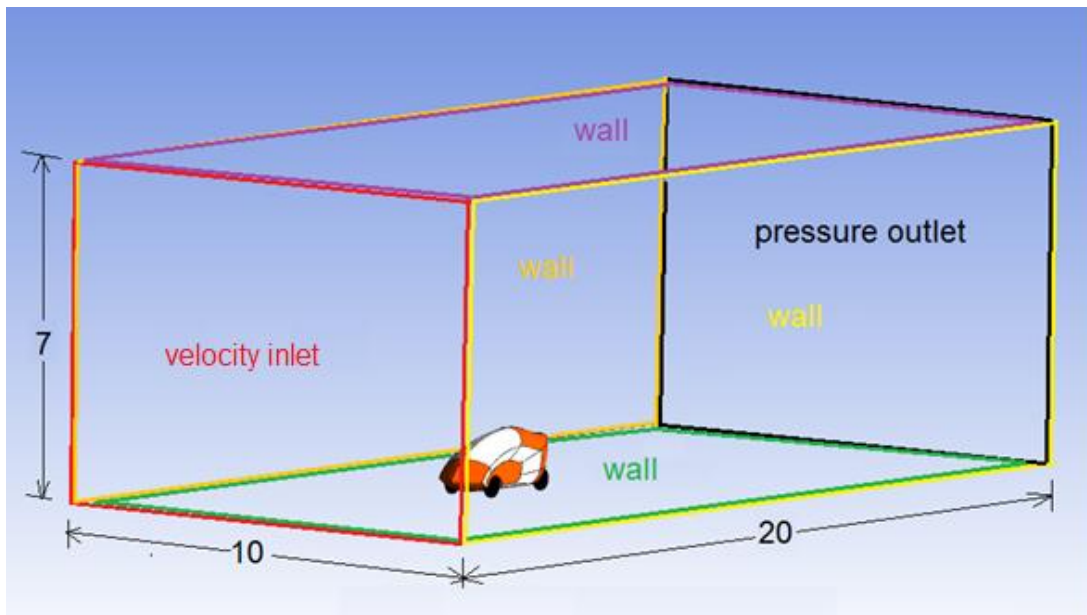


Figura 44. Condiciones de frontera 3d y dimensiones volumen de control

La figura 44 indica las condiciones de frontera utilizadas en el pre – procesamiento. En la entrada del volumen de control se selecciona “velocidad de entrada”, a la salida “presión de salida”, para el piso y techo la condición será “pared”, estas condiciones se tomaron del libro *The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics*.¹³

3.7.1. Análisis de convergencia de mallas 3D.

Para este análisis se realizaron en el carro modelo final (Figura 43) 6 tipos de mallas con diferente número de elementos; para la variación de los mismos se tuvo en cuenta parámetros como el máximo tamaño de los prismas, el Y^+ , el número de capas cerca al automóvil y el máximo tamaño de nodos en el contorno, a continuación se nombrarán las características de cada caso. Es necesario aclarar que las condiciones de frontera y las dimensiones del volumen de control nombradas en la figura 44, no cambiarán en ningún caso de enmallado.

Caso 1

Se decidió no colocar el espaciamiento de la pared, para este caso el máximo tamaño del nodo en la superficie del vehículo es 16 mm y al exterior es de 1024 mm, esto se realiza en part mesh size como se observa en el anexo B.

¹³ Gugula, Mateusz. " *The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics* ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,2 y 3 capas obteniendo 2269502 nodos.

Caso 2

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 1, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8,3 \frac{m}{seg}$, que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m, con esos datos da como resultado un espaciamiento de pared de 0,0004408m, esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,5 y 10 capas obteniendo 1289359 nodos.

Caso 3

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 3, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8,3 \frac{m}{seg}$, que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m, con estos datos da como resultado un espaciamiento de pared de 0,0001322684243712993m, esto se obtiene de la Ecuación No. 1.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 2 y 20 capas obteniendo 976482 nodos.

Caso 4

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 1, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8,3 \frac{m}{seg}$, que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m, con esos datos se tendrá como resultado un espaciamiento de pared de 0,0004408m, esto se obtiene de la Ecuación No. 1, para este caso el máximo tamaño de nodo en la superficie del vehículo es 32mm y al exterior es de 1024 mm, esto se realiza en part mesh size como se observa en el anexo B.

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 1,5 y 15 capas obteniendo 920451 nodos.

Caso 5

Para este caso la malla tiene un Y^+ de 3, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8,3 \frac{m}{seg}$ que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m, con esos datos se tendrá como resultado un espaciamiento de pared de $0,0001322684243712993m$, esto se obtiene de la Ecuación No.1, para este proceso el máximo tamaño de nodo en la superficie del vehículo es 64 mm y al exterior es de 2048 mm, esto se realiza en part mesh size como se observa en el anexo B

En este caso se realizó la malla con un factor de escala de 2 y 20 capas obteniendo 875426 nodos.

Caso 6

La malla para este proceso tiene un Y^+ de 3, con las siguientes condiciones de entrada, densidad de $1,225 \frac{kg}{m^3}$, viscosidad dinámica de $17,4 \frac{kg}{m*seg}$, una velocidad de corriente libre de $8,3 \frac{m}{seg}$, que es la reglamentada por la competencia como se encuentra en el marco legal y una longitud de referencia que en este caso es el largo del vehículo de 3m, con esos datos se obtendrá un espaciamiento de pared de $0,0001322684243712993m$, esto se logra de la Ecuación No. 1, para este caso el máximo tamaño de nodo en la superficie del vehículo es 64 mm y al exterior es de 4096 mm, esto se realiza en part mesh size como se observa en el anexo B

En este proceso se realizó la malla con un factor de escala de 1,2 y 15 capas obteniendo 572300 nodos.

En la figura 46 se observarán los resultados del coeficiente de Drag (C_d) con la variación de h, que estará en término de N siendo este el número de elementos por malla

Para todos los casos se varió el máximo tamaño de los nodos en los prismas y en las condiciones de frontera, además se tuvo en cuenta el Y^+ y se fue variando el número de capas, de tal forma que se obtuvo la Tabla 9.

Tabla 9. Características casos.

	CASO 1	CASO2	CASO3	CASO 4	CASO 5	CASO 6
N	2269502	1289359	976482	920451	875426	572300
h	0,0006638	0,00088067	0,00101197	0,00104232	0,00106878	0,00132187
Q	0,05	0,0389	0,0389	0,008	0,006	0,005869

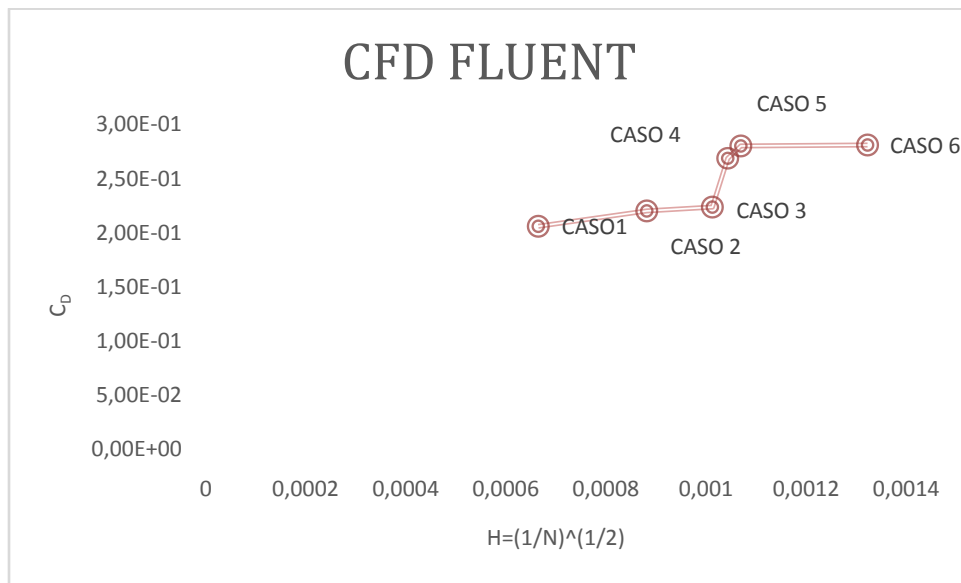


Figura 45. H vs Coeficiente de Resistencia al avance.

Como se observa en la Tabla 9 y Figura 45, el caso número 1 es el de mayor calidad y según tendencia como se puede observar entre mayor calidad los resultados se comportarán más lineales por consiguiente el análisis de resultados se realizó con la malla utilizada en el caso número 1, esta malla tiene las características que se anuncia en el ANEXO B y anteriormente se especificaron.

3.7.2. Análisis Resultados Carro No.1

Los contornos de esfuerzos cortantes dan la información de los puntos en donde existe un desprendimiento de capa límite; la figura 46 indica los resultados obtenidos en el análisis computacional de los contornos de esfuerzos cortantes y con los cuales se puede concluir que en las secciones de color azul, ubicadas en las ruedas, parte posterior y frontal del vehículo se generan zonas de desprendimiento de la capa límite.

Estas zonas de desprendimiento de capa limite incidirán en el aumento de la resistencia al avance debido a la creación de flujo turbulento; especialmente en la zona delantera, donde la separación del flujo perjudica la interacción con el cuerpo debido a que podría producir flujo turbulento a lo largo del vehículo.

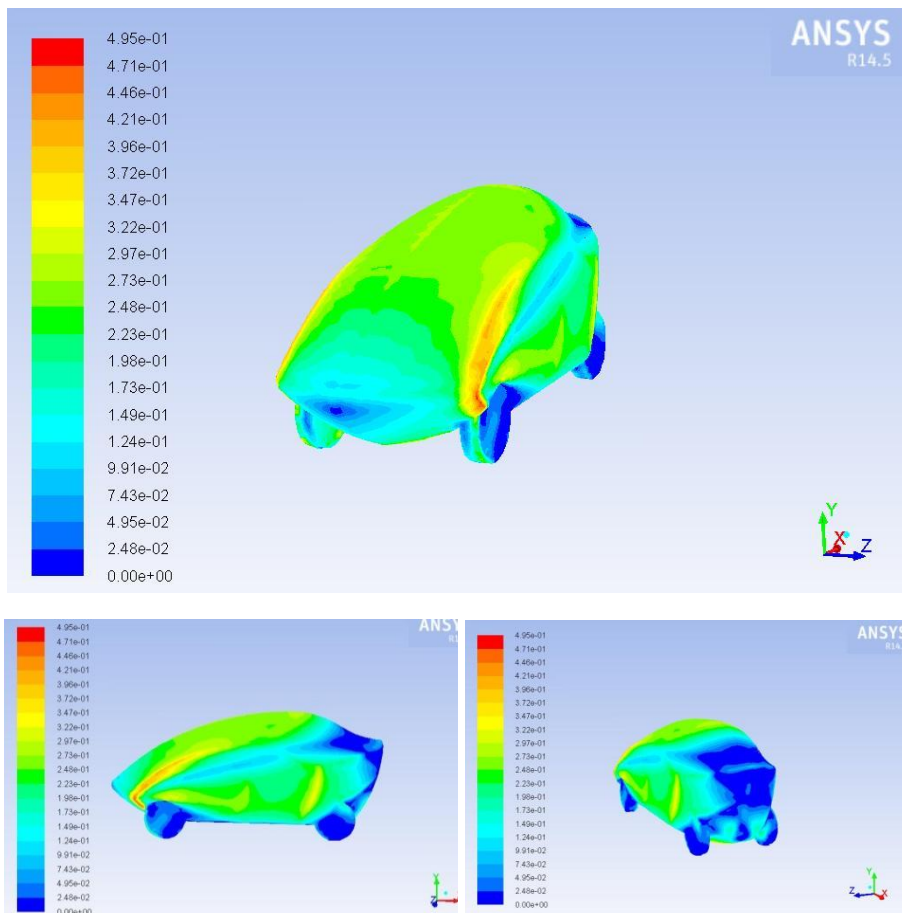


Figura 46. Contorno de esfuerzos cortantes (Pascales).

Como se puede observar en las gráficas de contorno de presiones mostradas en la figura 47, la parte delantera del vehículo esta sufriendo un aumento de presión

el cual aumenta la resistencia al avance de este, luego disminuye de tal manera que en los bordes laterales delanteros y en la parte superior existen las presiones mas bajas; este cambio en la presión favorable genera una aceleración del flujo para luego volver a sufrir una desaceleración cuando entra a la parte trasera donde se incrementa la presión nuevamente. A causa de este gradiente de presión adverso se genera un desprendimiento de la capa limite y consecuentemente un flujo turbulento afectando la aerodinámica del vehículo.

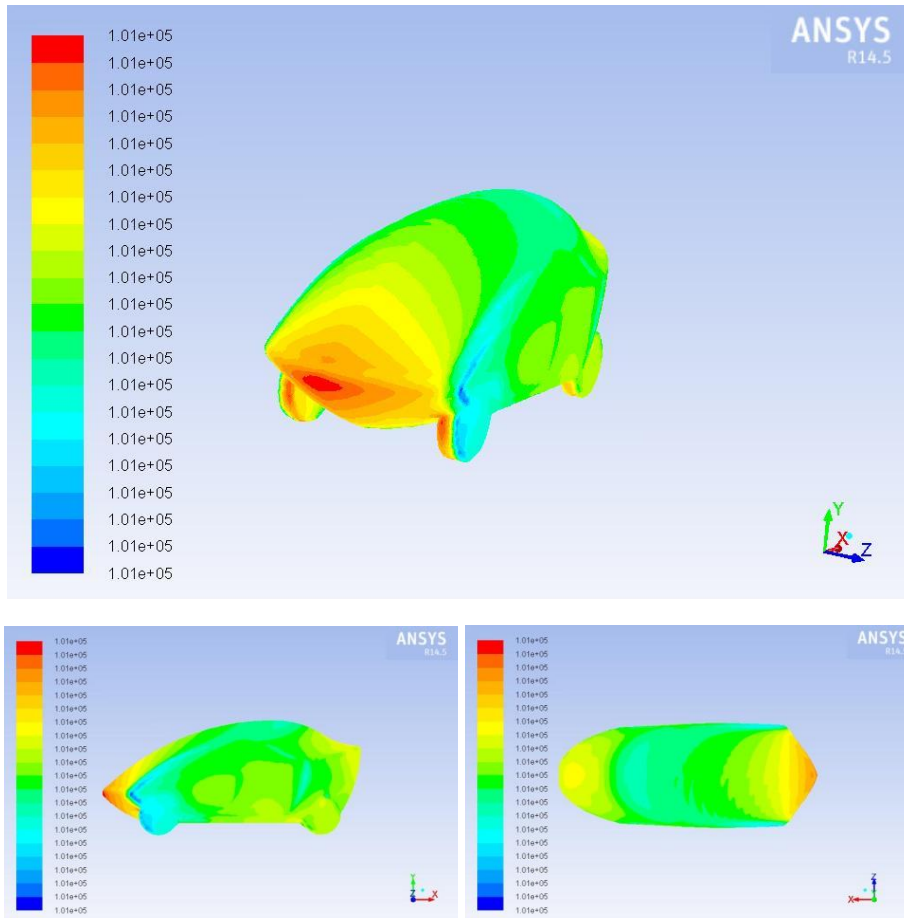


Figura 47. Contorno de presión (Pascales).

En la imagen de contorno de velocidad mostrado en la figura 48 se evidencia como el fluido en la pared del vehículo mantiene una velocidad de cero, esto debido a que la viscosidad del material, que impide la aceleración del flujo en la pared.

También se observa el comportamiento del fluido a lo largo del vehículo en las imágenes de contorno y líneas de corriente de velocidades, donde es importante

notar que el fluido se adapta completamente a la geometría en todas las secciones, esta interacción es muy buena ya que no genera una alta resistencia al avance. Se puede observar en la parte posterior que el flujo se vuelve turbulento debido a la interacción del flujo que viene de la parte superior, inferior y lateral, siendo un comportamiento normal en los coches.

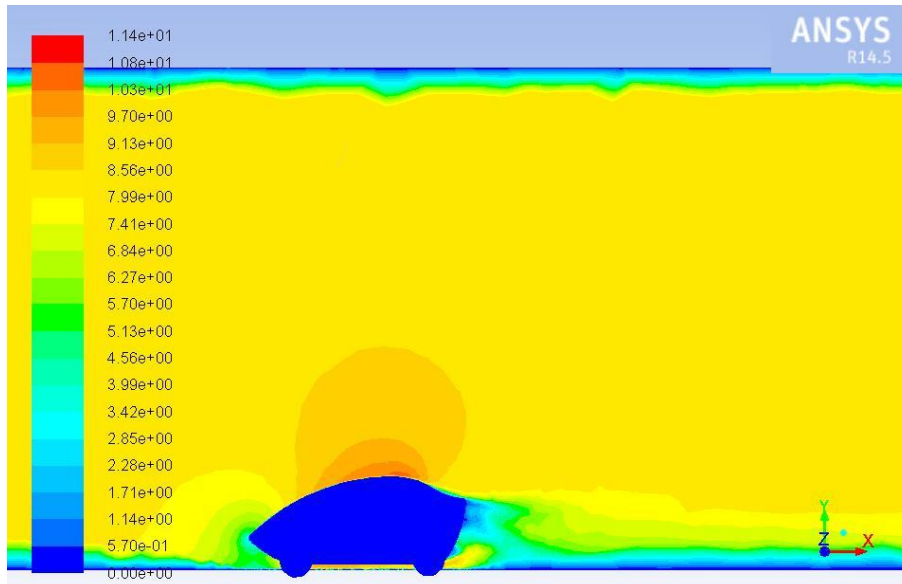


Figura 48. Contorno de velocidad (m/s).

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

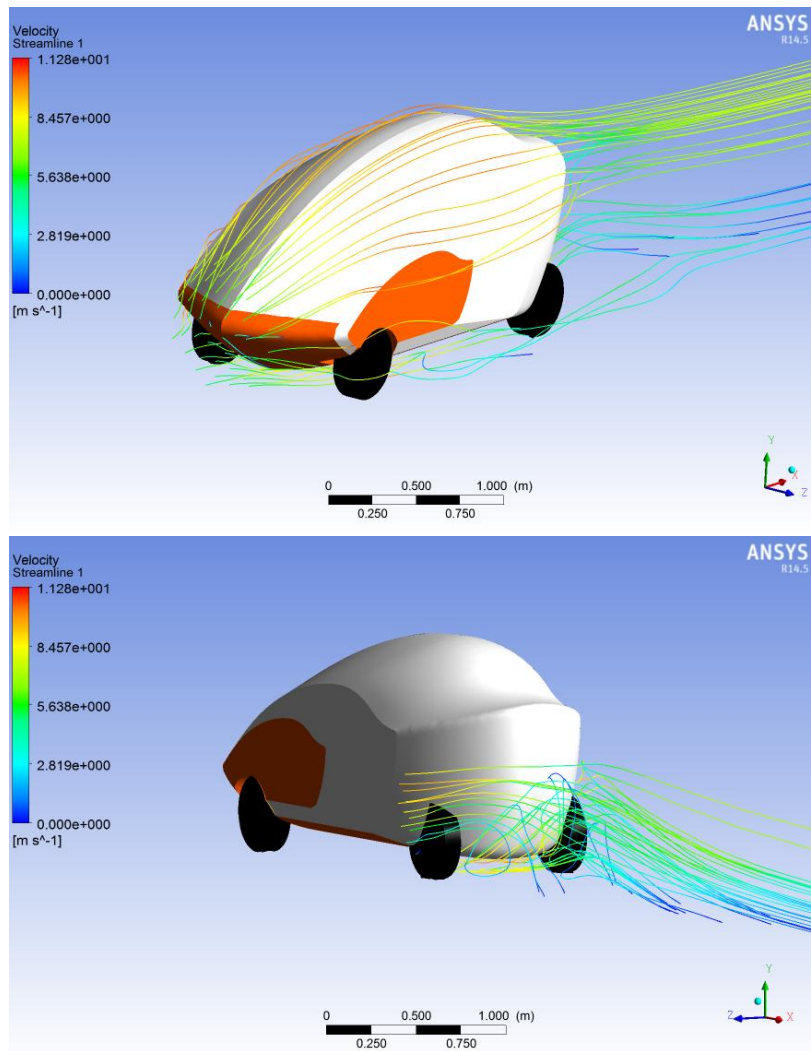


Figura 49. Líneas de corriente de velocidad.

Tabla 10. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (Cd) y el coeficiente del Downforce (Cd_ww) Carro 1 3D.

Cd	0.280012
Cd_ww	0.0259

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene la ecuación No. 6, donde es importante aclarar que el área va a ser el área frontal del vehículo, es decir el alto por el ancho de este.

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D = 0.280012 \frac{1}{2} 1.225(8.3^2)(1.26)$$

$$D = 14.88 \text{ N}$$

Para calcular el dowforce (D_w) se tiene la siguiente ecuación No. 7:

$$D_w = C_{dw} \frac{1}{2} \rho v^2 A^{15}$$

$$D_w = 0.0259 \frac{1}{2} 1.225(8.3^2)(1.26)$$

$$D_w = 1.3751567 \text{ N}$$

3.7.3. Análisis Resultados Carro No.2

Este segundo prototipo del vehículo ha sido diseñado de acuerdo a los lugares en donde se evidenció un comportamiento no deseado del flujo en el primer prototipo. Los cambios efectuados fueron en la parte delantera donde se bajó y curvo la punta buscando de esta manera disminuir el coeficiente de resistencia al avance debido a la alta concentración de presión formada en esta parte, además de la modificación de la sección posterior para evitar el desprendimiento de la capa límite.

En segunda instancia se aumentó la altura del alerón buscando con esto disminuir la generación de vórtices, los cuales generaban una turbulencia en la parte trasera del vehículo, además de aumentar la resistencia al avance del mismo. Conjuntamente a estos dos cambios efectuados, el diámetro en las ruedas se cambió, variando el diámetro según acta numero 5 realizada con el grupo del proyecto de investigación Green Energy GIMOC.

Con estas variaciones en la forma del vehículo se realizó el análisis computacional en Fluent detallando los siguientes resultados.

¹⁴ Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

¹⁵ Gugula, Mateusz. " The Design and Optimisation of Formula SAE Car Body Aerodynamics ". Politechnika Warszawska., Marzo 2013.

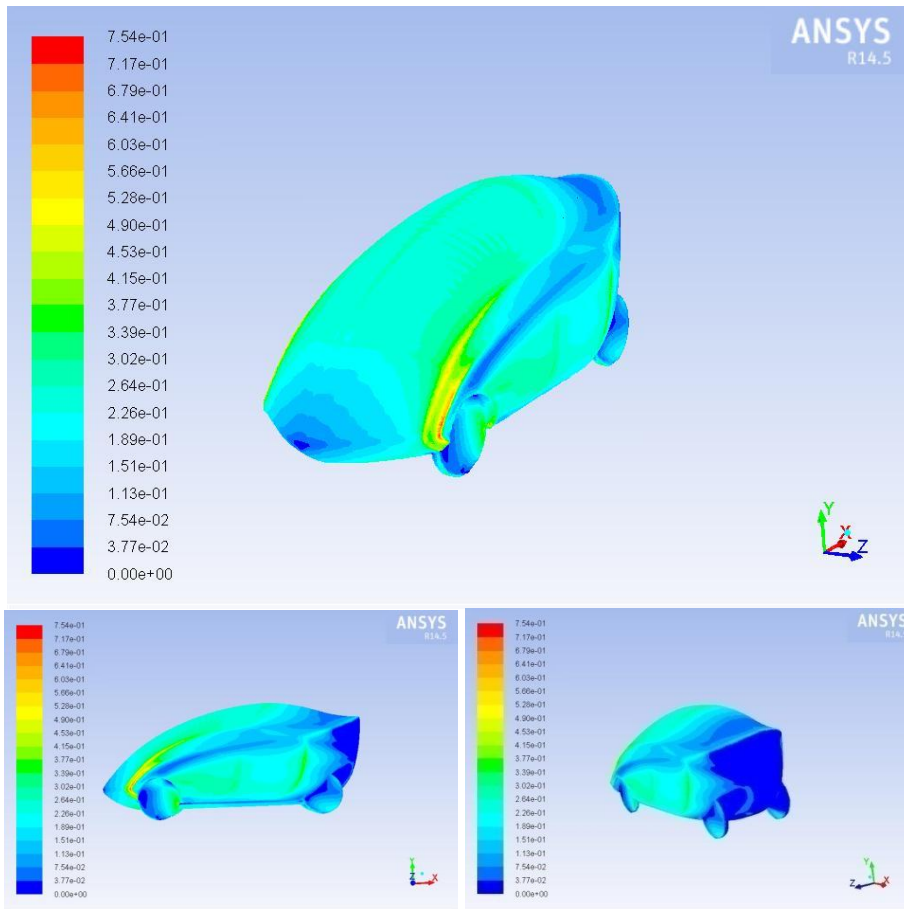


Figura 50. Contorno de esfuerzos cortantes (Pascuales).

Para el contorno de esfuerzos cortantes mostrado en la figura 50, se puede observar que existe una mejor distribución del flujo a lo largo del vehículo, en general no existen variaciones en los flujos cortantes, lo que disminuye el aumento de la resistencia al avance debido a una disminución de la fricción generada entre el flujo y la superficie del automóvil, aunque existen lugares donde hay un aumento del esfuerzo cortante, este no llega a afectar drásticamente el objetivo buscado, el cual es disminuir la resistencia al avance.

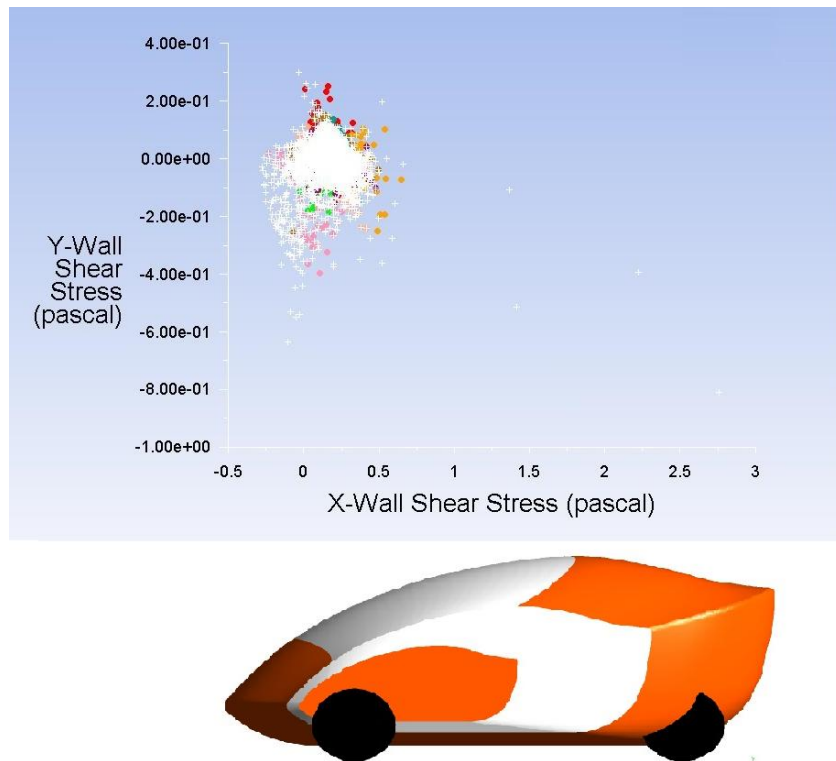


Figura 51. Comportamiento de esfuerzos cortantes (Pascales).

En la Figura 51 se observa cómo se comporta los esfuerzos cortantes en Y respecto a los esfuerzos cortantes en X como se observa los esfuerzos más grandes en Y se darán en la parte delantera del vehículo y de la llanta delantera hacia atrás el esfuerzo en Y disminuye y en X aumenta generando una buena distribución lo cual es bueno ya que disminuye el desprendimiento de capa límite que se genera en la parte trasera.

Para este segundo caso se puede observar en las gráficas de contorno de presión (Figura 52) que en la parte delantera del vehículo se sigue manteniendo una presión alta, su influencia en la resistencia al avance se reduce tal cual lo indican los datos arrojados por la simulación en FLUENT, lo cual significa que se redujo la presión en este punto en comparación con el primer vehículo.

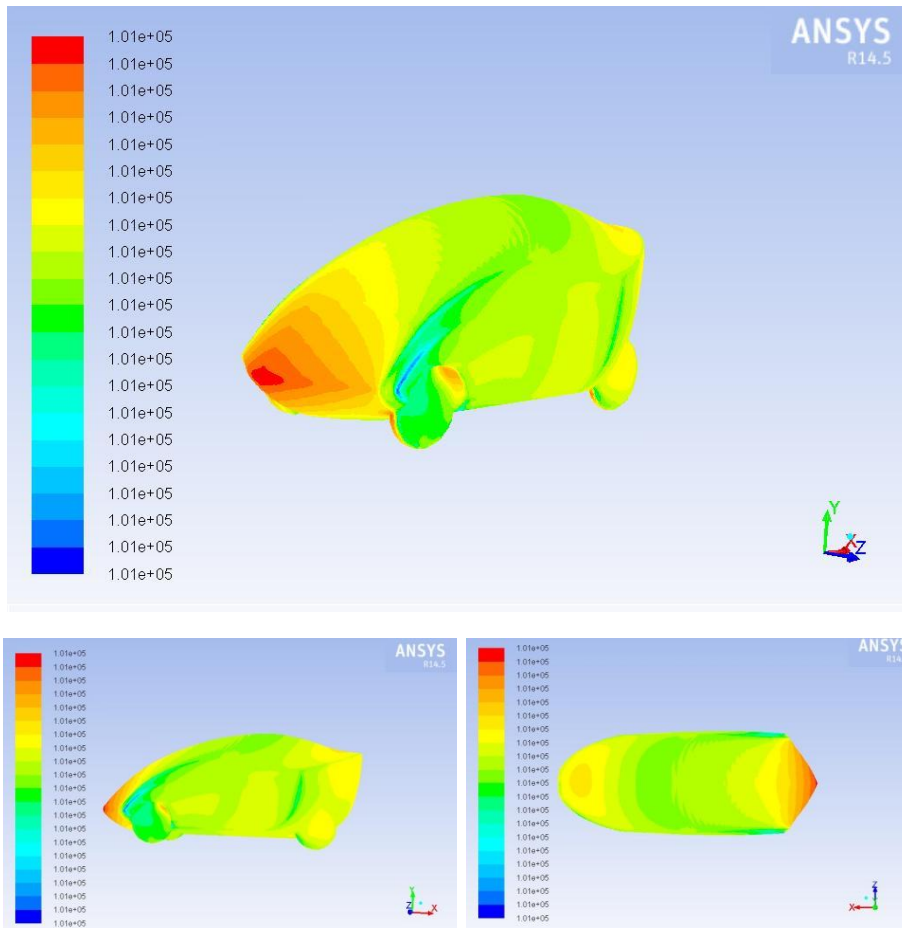


Figura 52. Contorno de presión (Pascales).

En la Figura 53 se observa que la variación de presión estática a través del automóvil es mínima ya que la velocidad del fluido es solo de 8,3 m/s. Se observa una diferencia de presiones alta en -0.1m donde se encuentran las llantas y esto debido a que en esta zona del automóvil por la parte superior se observaría una zona de alta presión y por debajo una zona de baja presión generando en este punto la mayor diferencia de presiones.

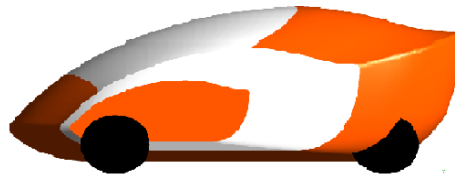
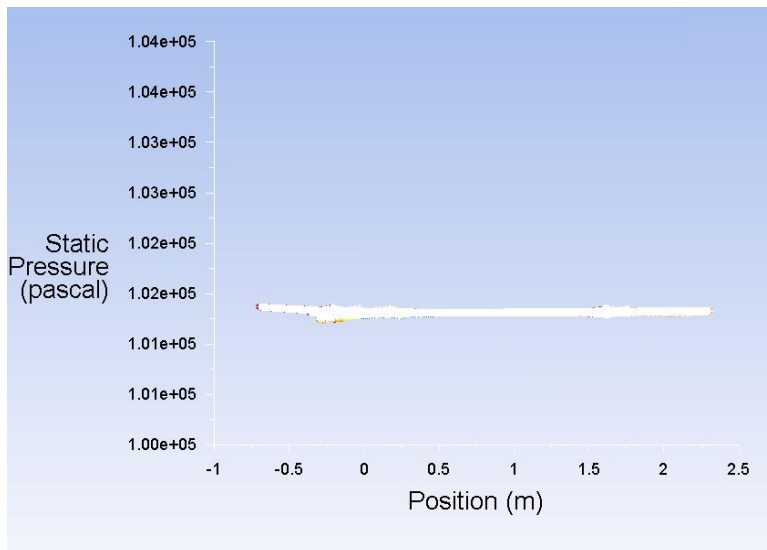


Figura 53. Variación presión estática.

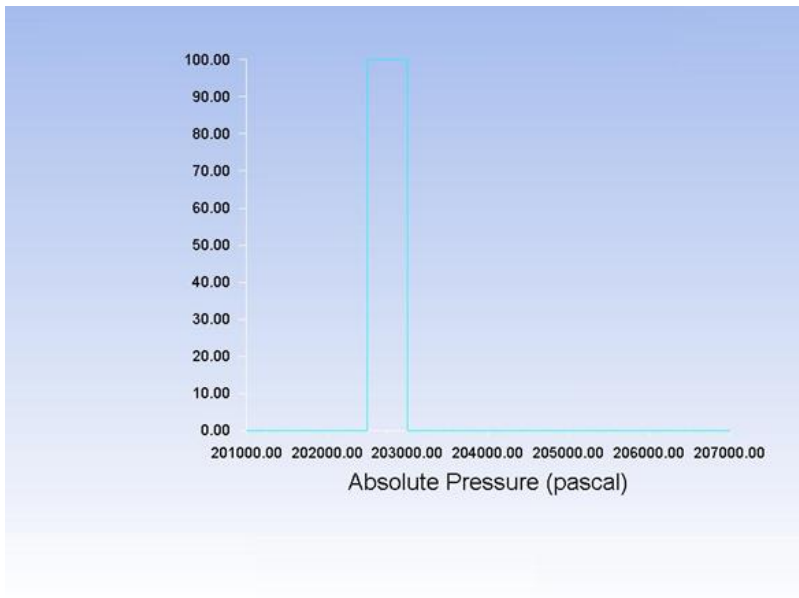


Figura 54. Presión Absoluta.

En la Figura 54 se observa que la presión absoluta a través del vehículo se mantendrá entre 202500 pascales a 203000 pascales lo que concluye que la

variación de la presión es mínima, esto se puede dar debido a la velocidad tan baja y los cambios de secciones del vehículo no son bruscos.

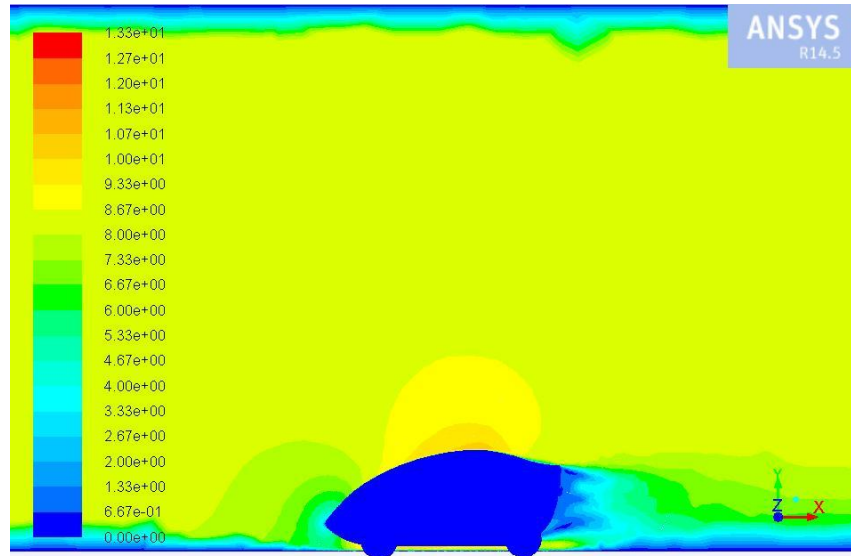
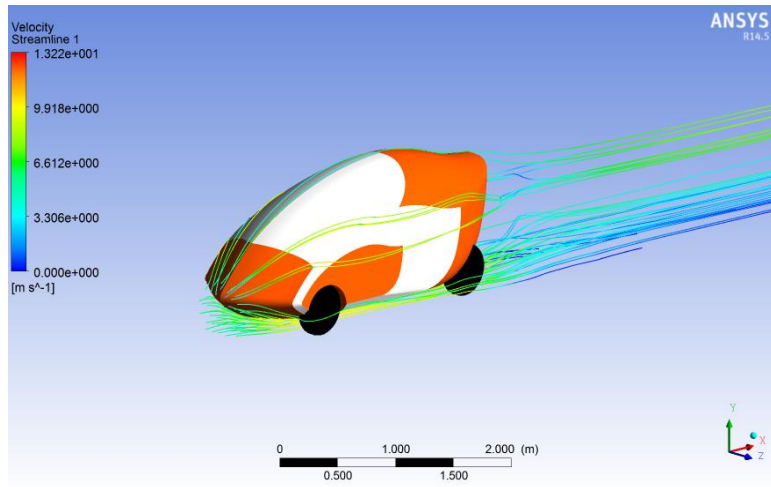


Figura 55. Contorno de velocidad (m/s).

Al observar el contorno de velocidad en la figura 55 y compararlo con el del primer prototipo en la figura 48, se evidencia que se redujo el aumento de velocidad que se presentaba en la parte superior del vehículo, el fluido luego de transitar por la parte superior con alta velocidad reduce rápidamente sus valores al entrar al alerón, razón por lo cual se generaba turbulencia que afectaba la aerodinámica del carro; para este segundo prototipo no se presenta este cambio de velocidad, por consiguiente el comportamiento del fluido mejora, reduciendo el flujo turbulento.

En la figura 56a y 56b se pueden observar las líneas de corriente del flujo, adaptándose de mejor manera al contorno del vehículo. En la parte delantera el flujo se adapta a la carrocería sin generar oposición a la forma que posee el vehículo (Figura 56b).



56a.

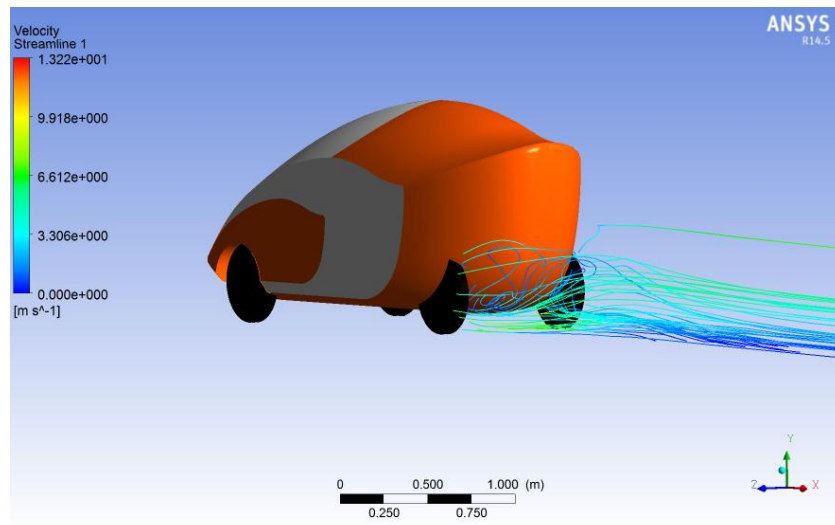


Figura 56b. Líneas de corriente de velocidad.

Tabla 11. Resultados del coeficiente de Resistencia al avance (C_d) y el coeficiente del Downforce (C_{d_w}) Carro 2 3D.

C_d	0.20291
C_{d_w}	0.0223

Para calcular la resistencia al avance (D) se obtiene de la ecuación No. 6:

$$D = Cd \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$D = 0.20291 \frac{1}{2} 1.225 (8.3^2) (1.26)$$

$$D = 10.787 \text{ N}$$

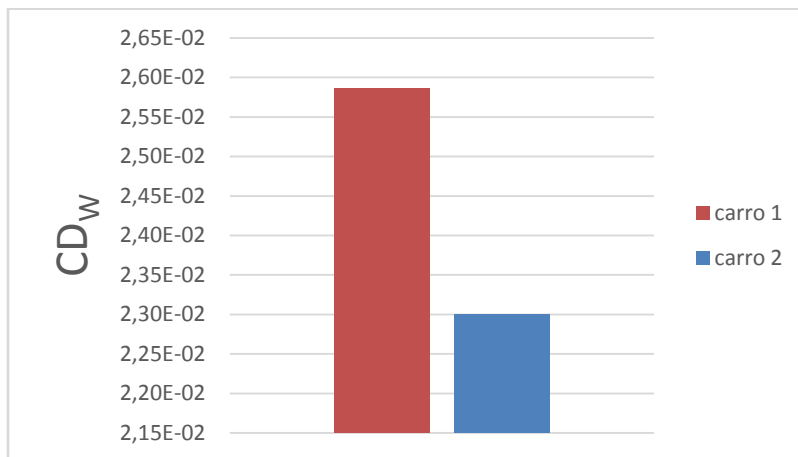
Para calcular el dowforce (D_w) se tiene la ecuación No. 7:

$$D_w = Cdw \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

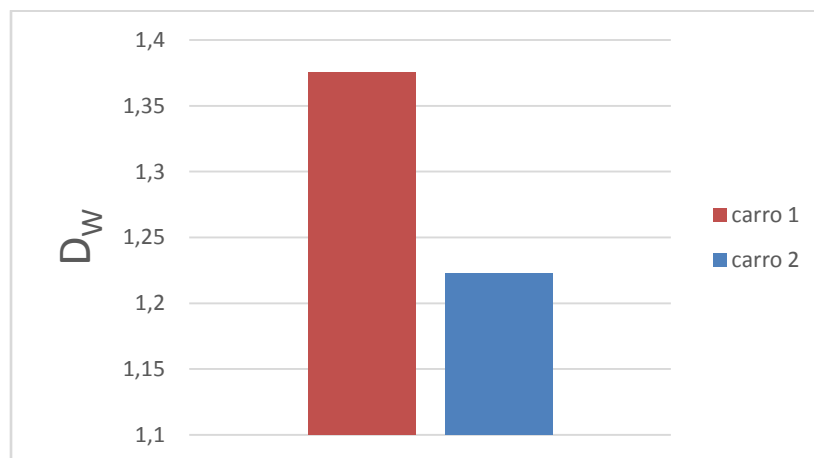
$$D_w = 0.0223 \frac{1}{2} 1.225 (8.3^2) (1.26)$$

$$D_w = 1.1870 \text{ N}$$

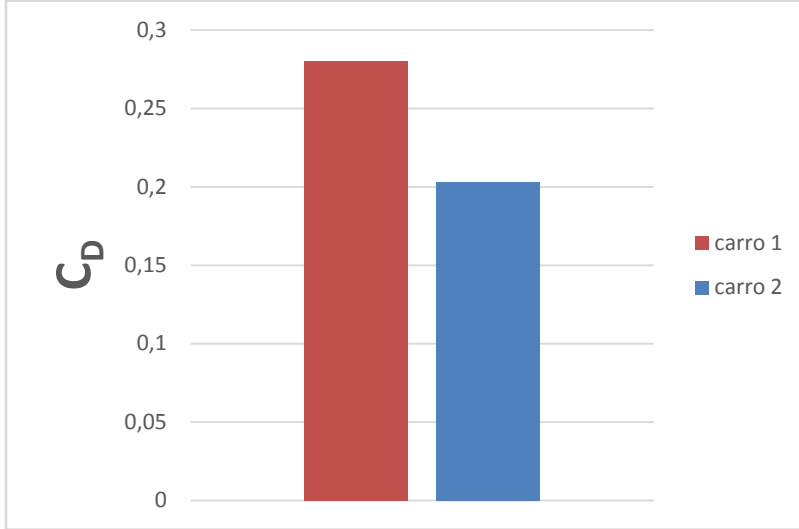
3.7.4. Histograma resultados 3D



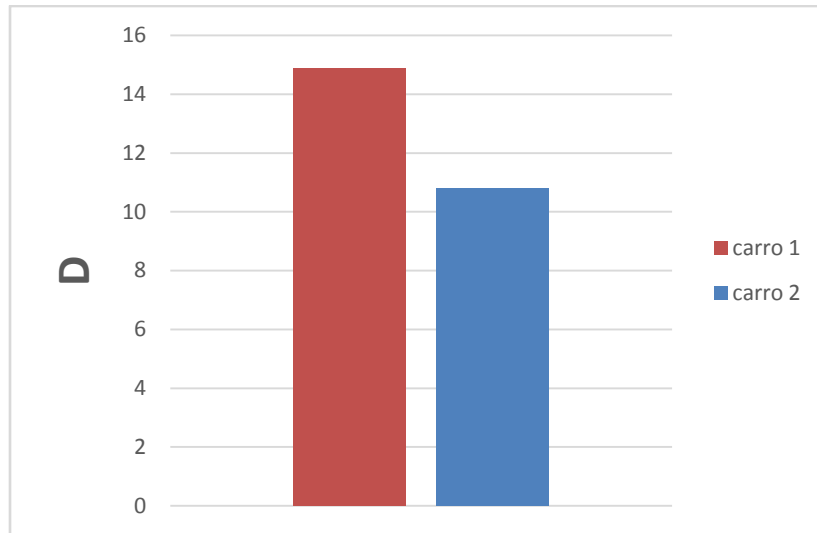
57a. Coeficiente de Downforce.



57b. Downforce.



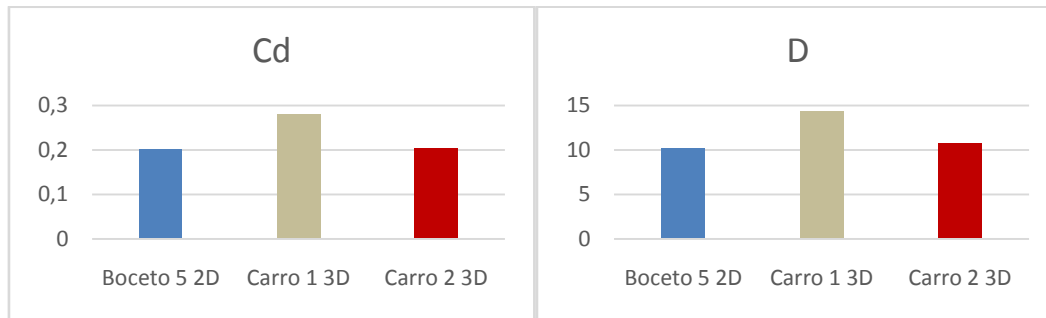
57c. Coeficiente de Resistencia al Avance.



57d. Resistencia al Avance

Como se observa en los anteriores resultados en el carro 2 se presenta una disminución de la resistencia al avance del 27,5 % respecto al carro 1.

3.7.5. Comparación Coeficiente de resistencia al Avance y Resistencia al Avance de proceso 2D y 3D.



58a. Coeficiente de Resistencia al Avance y 58b. Resistencia al Avance.

Es importante detallar que aunque los valores de Coeficiente de Resistencia al Avance obtenidos en las simulaciones de 2D y 3D son similares, es indispensable y necesario realizar la simulación en 3D para obtener datos más confiables, ya que en las simulaciones realizadas en 2D no se tiene en cuenta el cambio de sección.

Para esta tipo de simulaciones se toma como referencia el 2D para diseñar una sección con la cual se facilite posteriormente la modificación del objeto en 3D, sin necesidad de realizar variadas correcciones en este.

Para la resistencia al avance como se observa en la figura 58b, tampoco va a existir una drástica variación en los valores calculados entre el boceto en 2D y los vehículos en 3D, esto se debe a que los valores utilizados para calcularlo no van a variar, con excepción del área utilizada.

CONCLUSIONES

Para disminuir la resistencia al avance del vehículo, las curvaturas del mismo no deben tener una pendiente superior a 0,085 y que el área frontal del vehículo sea menor a $1,26\text{m}^2$ sin afectar la ergonomía del piloto.

La creación de superficies cóncavas en la parte del parabrisas del vehículo genera un incremento del downforce del 30% como se puede observar en los histogramas de las simulaciones en 2D.

Se puede determinar de acuerdo al análisis de convergencia de mallas en 3D que mientras mayor sea la calidad de malla el resultado tendrá una tendencia lineal como se observan en las gráficas antes enunciadas.

Es importante realizar las simulaciones en 3D para analizar correctamente el comportamiento aerodinámico del objeto que se estudia, ya que el análisis en 2D no es suficiente debido a que este no contempla el cambio de sección lateral del objeto.

El área directamente involucrada con la resistencia al avance es el área frontal el cual es de 1.26m^2 , esta área se podría disminuir sin afectar la ergonomía del piloto hasta $1,1\text{m}^2$ para que los resultados de la resistencia al avance disminuyan.

El carro en 3D que se escogió como producto final, es el carro No.2 debido a que en el documento el carro No.2 tiene un C_d de 0.20291 a diferencia del carro No.1 que tiene un C_d 0.280012, es menor el C_d del carro No.2 ya que el propósito de la competencia es tener el menor coeficiente de drag para tener el menor consumo de combustible.

RECOMENDACIONES

No se recomienda que para el método de turbulencia Spalart-allmaras se utilice una capa límite en el modelo a simular, ya que la calidad de la malla es menor a 0.01 en comparación a otros tipos de mallas.

Para resultados que se aproximen más a la realidad es recomendable utilizar otro modelo de turbulencia como el DES, modelos híbridos que analizan la turbulencia generada por los objetos sumergidos en un fluido, ya que esta turbulencia también genera resistencia al avance.

Se recomienda para futuros análisis realizar las simulaciones con modelo híbridos con mallas estructuradas.

Se recomienda analizar la interacción de las llantas con el suelo para tener en cuenta la contribución de coeficientes de arrastre debido a estas.

Se recomienda que antes de iniciar un proceso de simulación se verifique la capacidad computacional que necesitará el modelo el cual va a ser utilizado, ya que esto limita la veracidad de los resultados que se obtendrán.

BIBLIOGRAFIA

[1] Chris Wolfe, The Immersed Boundary Approach to Fluid Flow Simulation, Senior Product Manager, ANSYS, Inc

[2] Driving Vehicle Performance Simulation helps to reduce and improve acoustic performance of cars, including an electric vehicle, ANSYS Advantage Staff

[3] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Estudio de la Capacidad Aerodinámica de Carrocerías de Vehículos Categoría CM.

[4] James Mauricio Correa Sánchez, Modelado y Simulación dinámica de vehículos de competición, Universidad Politécnica de Valencia, 2010.

[5] Janusz Piechna, Fundamentos de aerodinámica para un vehículo, Publishing and communications Warszawa.

[6] Diseño Formula 1 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<https://jasf1961.wordpress.com/tag/down-force/>>.

[7] Carros Formula 1 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.alandavid.com.br/formula-1-201/carro-formula-1-jpg/>>.

[8] La Jamais Contente [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente>.

[9] Michael Lamm, Courtesy Ironstone Concours d'Elegance, El Baker torpedo [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://deansgarage.com/2011/electric-baker-torpedo-racers/>>.

[10] Gobron Brille [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://thelongestlistofthelongeststuffatthelongestdomainnameatlonglast.com/first381.html>>.

[11] Mercedes Benz in motorsport. Benz Tropfenwagen [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_in_motorsport>.

[12] Bugatti [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.bugatti.com/en/tradition/bugatti-models/t32.html>>.

[13] Voisin Laboratoire [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.auto100.com/gabriel-voisin-at-the-mullin/>>.

[14] Alfa Romeo 12c [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.motorsfolia.com/photo/alfa-romeo-12c/04/default.html>>.

[15] Mercedes Benz W25 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.bhds.us/mas/maria-bertrand-severi.html>>.

[16] The-Blueprints. Mercedes Benz W125 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <[http://www.the-blueprints.com/blueprints/cars/mercedes/19459/view/mercedes-benz_w125_gp_\(1937\)/](http://www.the-blueprints.com/blueprints/cars/mercedes/19459/view/mercedes-benz_w125_gp_(1937)/)>.

[17] Motors town. Mercedes Benz W165 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.motorstown.com/imgs/37929-mercedes-benz-w165-7.html>>.

[18] Sites JuanMFangio. Lancia Ferrari [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.museofangio.com/img/varias/img52.jpg>>.

[19] Car Blueprints. Ferrari 246 F1 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://carblueprints.info/eng/view/ferrari/ferrari-246-f1-1958>>.

[20] The-Blueprints. Cooper Climax [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.the-blueprints.com/search/cooper+climax/>>.

[21] Old Machine Press. Mercedes Benz T80 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://oldmachinepress.wordpress.com/2012/10/01/mercedes-benz-t80-type-80/>>.

[22] The-Blueprints. Brabham BT26 F1 GP [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <[https://www.the-blueprints.com/blueprints/cars/brabham/44526/view/brabham_bt26_f1_gp_\(1968\)/](https://www.the-blueprints.com/blueprints/cars/brabham/44526/view/brabham_bt26_f1_gp_(1968)/)>.

[23] F1 Wolf. Brabham Formula 2 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.f1wolf.com/2008/11/are-really-the-2009-f1-cars-going-to-be-the-ugliest-ever-check-these.html>>.

[24] MRO F1 Engineering. Brabham [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <http://www.mrof1engineering.co.uk/?page_id=377>.

[25] McLaren M 23 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <https://www.boris-lux.de/04_types/11_f1/f1_history/f1hi.php?print=yes>.

[26] Grand Prix Models. Brabham BT52 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.grandprixmodels.com/searchdetail.php?ref=TMK006&/Tameo-Kits-1:43-Brabham-BT52-BMW-model>>.

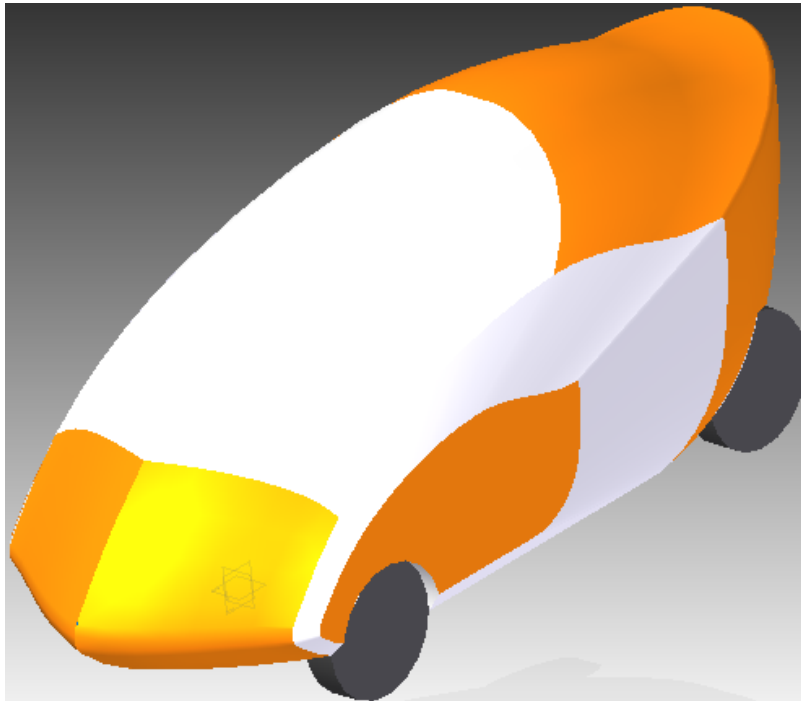
[27] 1zu87. Williams FW15 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <http://www.galerie.1zu87.com/1zu43_Williams_Renault_FW_15_C_Formel_1_1994_elf_Renault_Nr_0_Damon_Hill_Test_Car_Onyx_188_23394.html>.

[28] Slot Adictos. Ferrari F2004 Formula 1 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://slotadictos.mforos.com/21954/3355853-fotos-definitivas-del-ferrari-f1-de-scalextric/>>.

[29] Evolución Ferrari F1 [en línea]. [citado 23 de Abril 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=3345063&page=5>>.

ANEXO A

SIMULACIÓN MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES PARA UN VEHÍCULO EN 2D



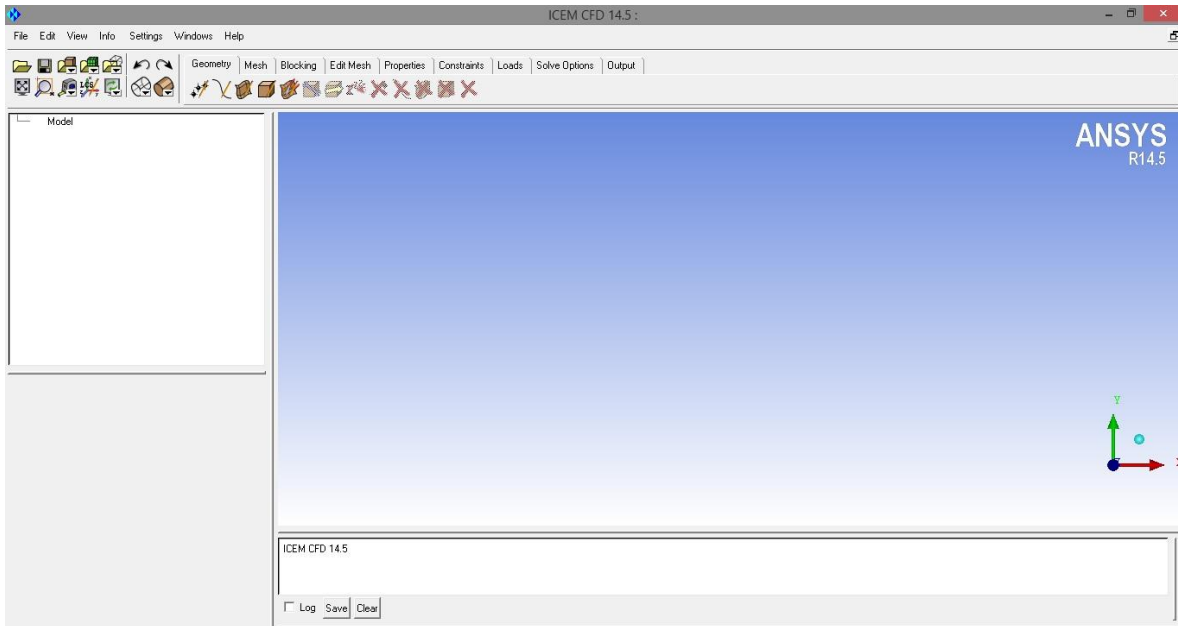
Contenido anexo A

1.	GEOMETRÍA.....	90
1.	File >	90
2.	Creación del contorno.	91
3.	Ensamble de partes.	92
4.	Malla.....	94
2.	SOLVER o Solucionador.....	97
1.	Abrir archivo.	98
2.	Check	98
3.	Solver	98
4.	Definir modelo.	98
5.	Definir materiales.	98
6.	Definir condiciones de operación.	98
7.	Definir métodos de solución.	99
8.	Parámetro de control de solución.....	99
9.	Inicializar.	99
10.	Iniciar cálculo.	99
11.	Monitors.	100
12.	Resolver.....	100

1. GEOMETRÍA

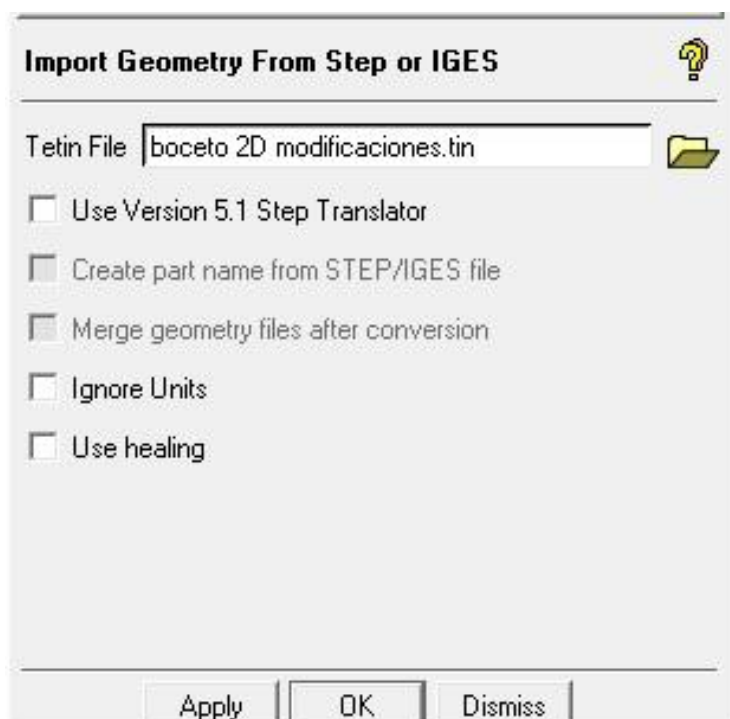
La geometría del vehículo en 2D se realiza en CAD y se guarda como la opción formato IGS.

El programa ICEM es utilizado para realizar el enmallado.




1. **File** > Import Geometry > STEP/IGES

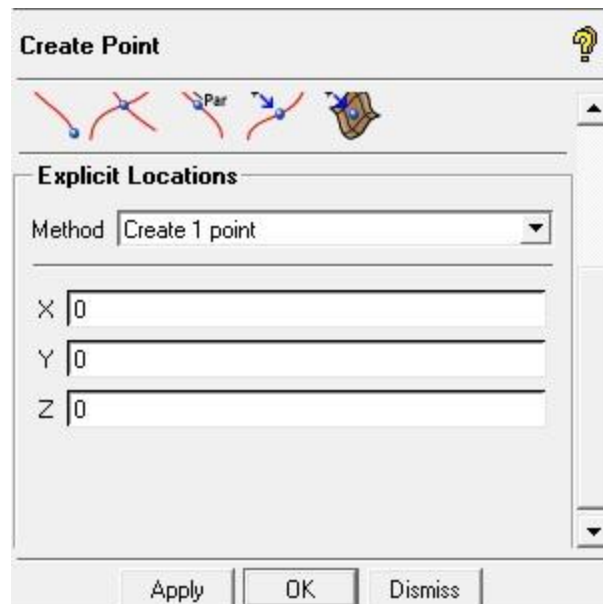
Se busca el archivo .igs de la geometría y se carga, luego en la ventana de la parte inferior izquierda de la pantalla dejar por defecto las opciones y dar APPLY.



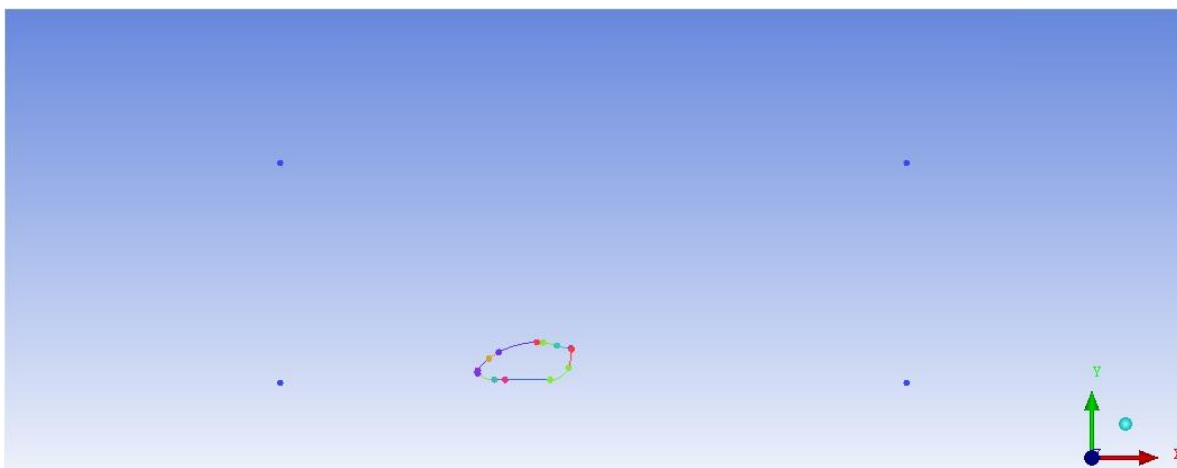
2. Creación del contorno.

Una vez se tiene el vehículo se inicia el proceso de creación del contorno de enmallado. Para esto se va a la parte superior de la ventana en GEOMETRY,



Create Point >  y se ingresan los valores de los puntos del cuadro de contorno.

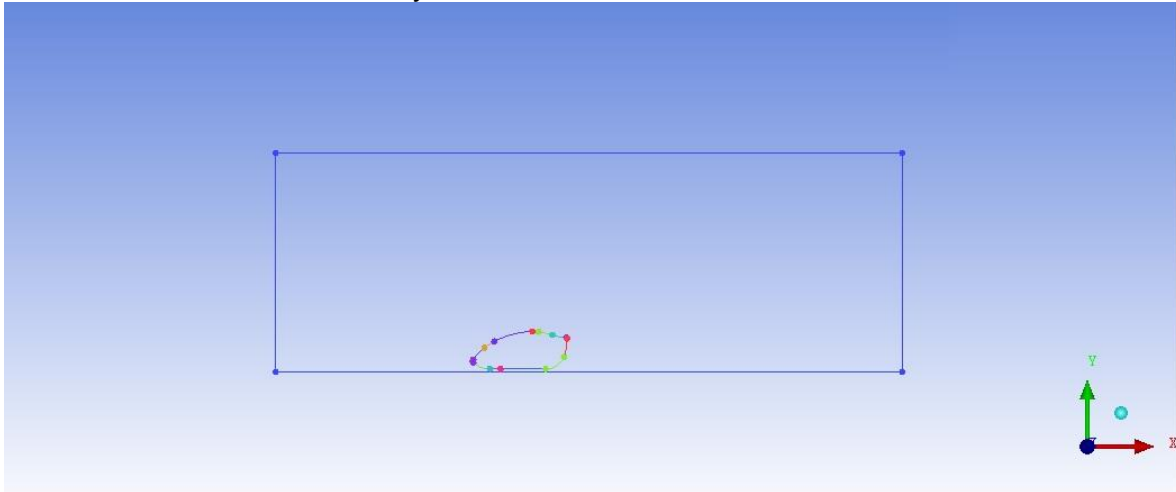


X	-7000	-7000	13000	13000
Y	-215,79	6784,1	-215,79	6784,1
Z	0	0	0	0



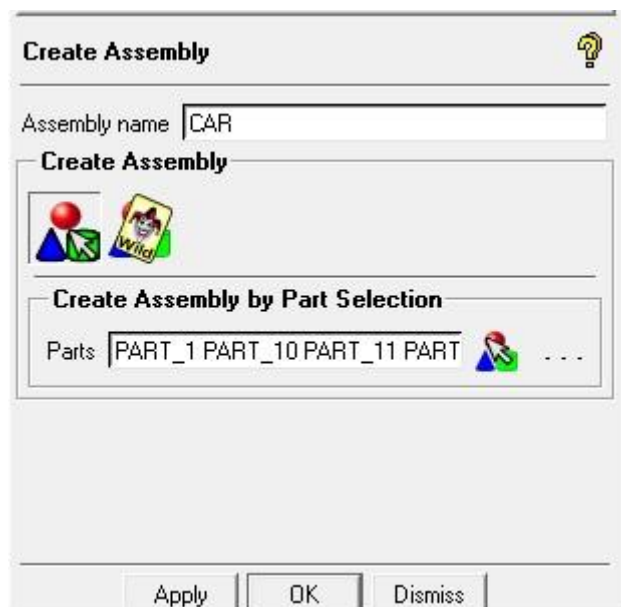
Ahora se unen los puntos que se crearon con la opción de líneas en la unión.

GEOMETRY > Create/Modify Curve >  Front Points > 




3. Ensamble de partes.

Ya creado el cuadro del contorno se hace el ensamble de las partes del vehículo convirtiéndolo en una sola parte. Para esto se va al árbol de control y se le da click derecho a Parts, Create Assementy, y se seleccionan las partes del vehículo, excepto GEOM y luego APPLY.




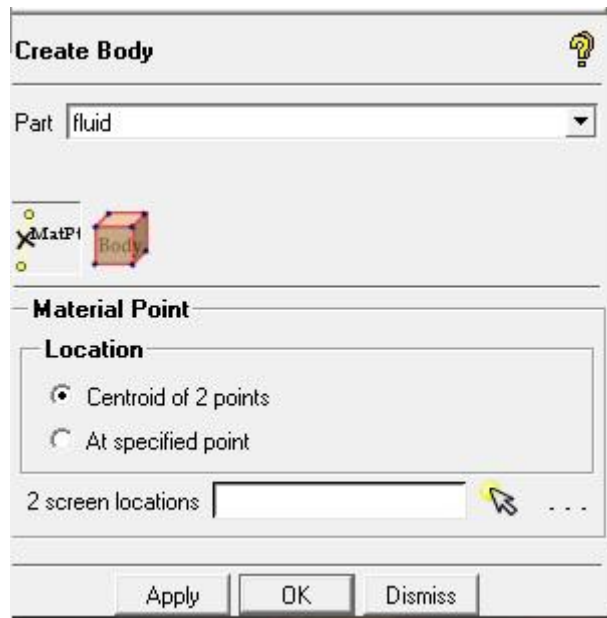
Luego se extrae la curva del plano.

GEOMETRY > Create/Modify Curve  > Extract Curves from Surfaces 

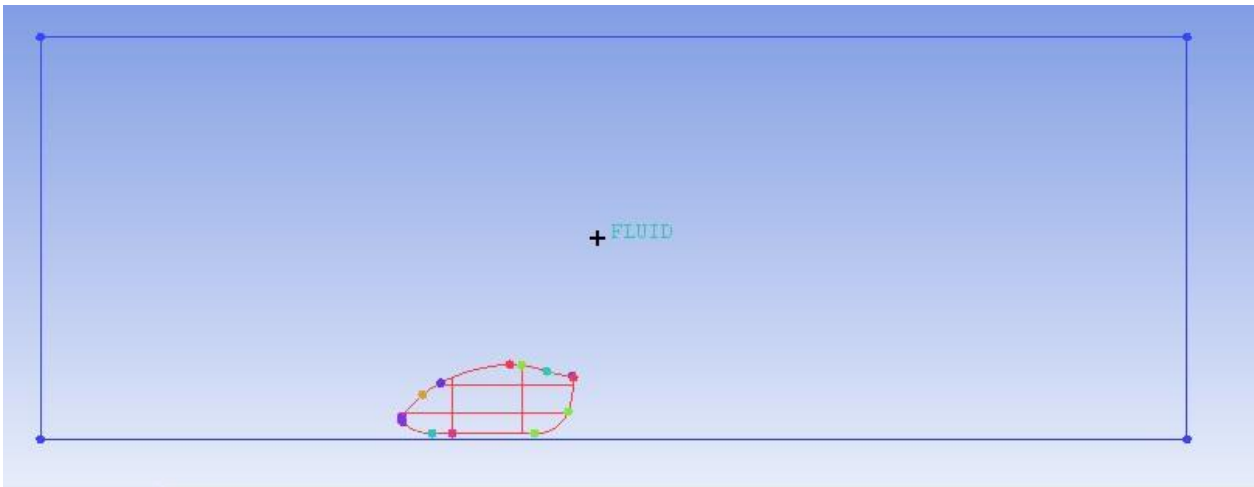
Se deselecciona en el árbol de control GEOM y en la barra de Select geometry se da click en  y en el cuadro de la parte inferior izquierda se da APPLY.

Después se procede a crear el Material Point.



Geometry > Create Body 

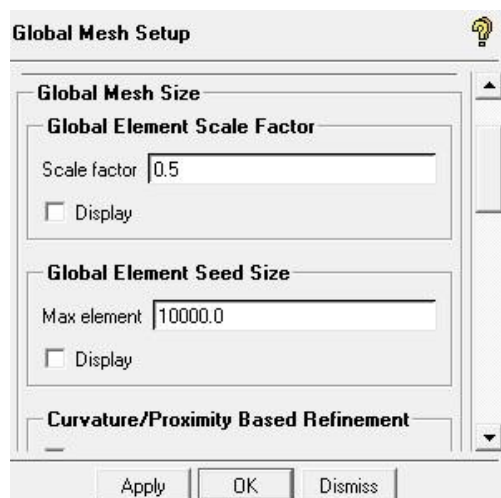



Ingresa en Part el nombre FLUID, luego en Location debe estar seleccionado Centroid of 2 points y se escogen en el cuadro de contorno dos puntos para crear el flujo. Asegurarse antes de seleccionar los puntos que en el árbol de control este seleccionado Points. Luego se da APPLY.

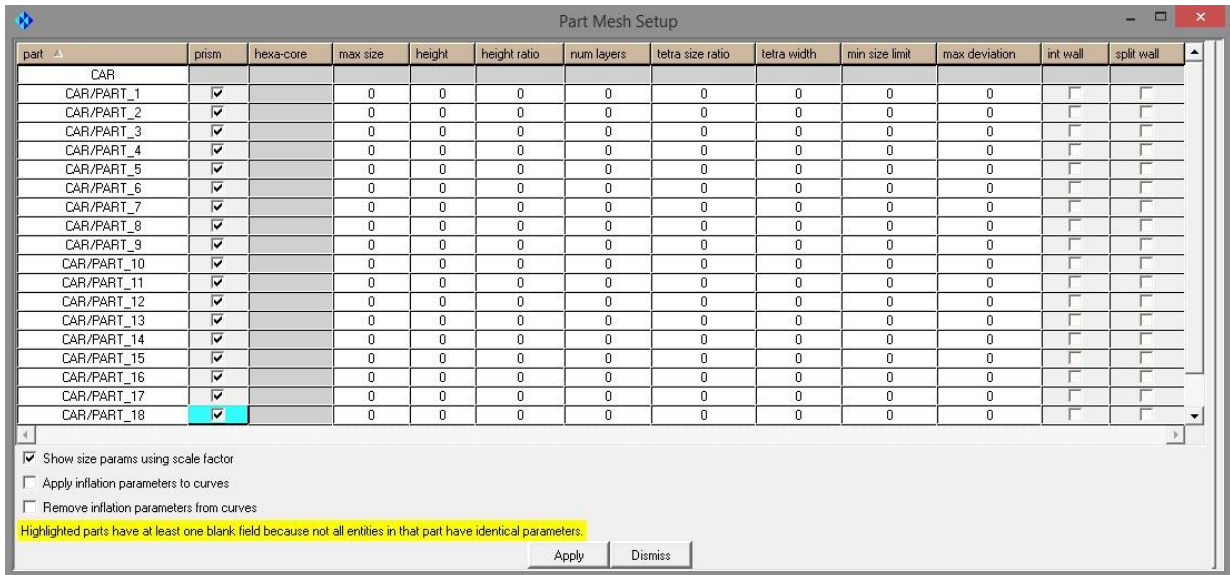


4. Malla

A continuación se asigna el tamaño de la malla se ingresa a Mesh-Global Mesh Setup  > Global Mesh Size . Donde se coloca 0.5 En el scalar factor, y 10000 en Max elementos. Luego APPLY.



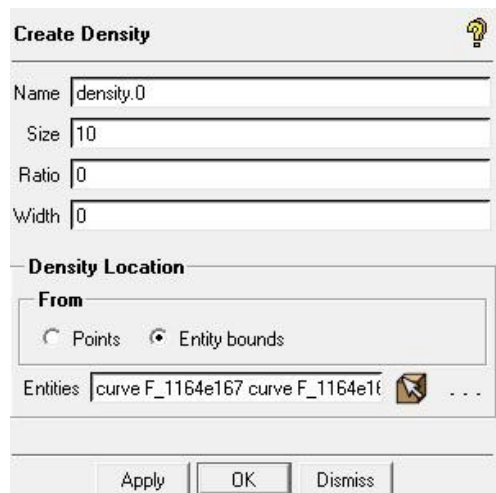
Se especifica las partes donde se crearon los primas de la siguiente forma se ingresa en Mesh- Part Mesh Setup . Luego APPLY.



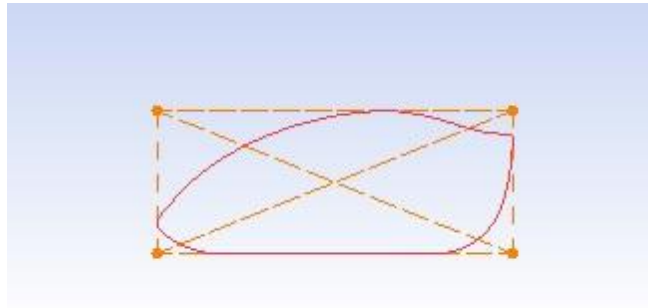
Se creara una density box en la cual ira encerrada el vehículo en 2D logrando que el programa identifique el objeto y realice una especie de socialización esta malla se conoce como UNSTRUCTURED. Para lo anterior ingrese Mesh-Create Mesh

Density .


De valores a el mesh size como usted crea necesario para su malla en este caso se ingresa 10, ingrese la opción entity bounds y seleccione el automóvil.

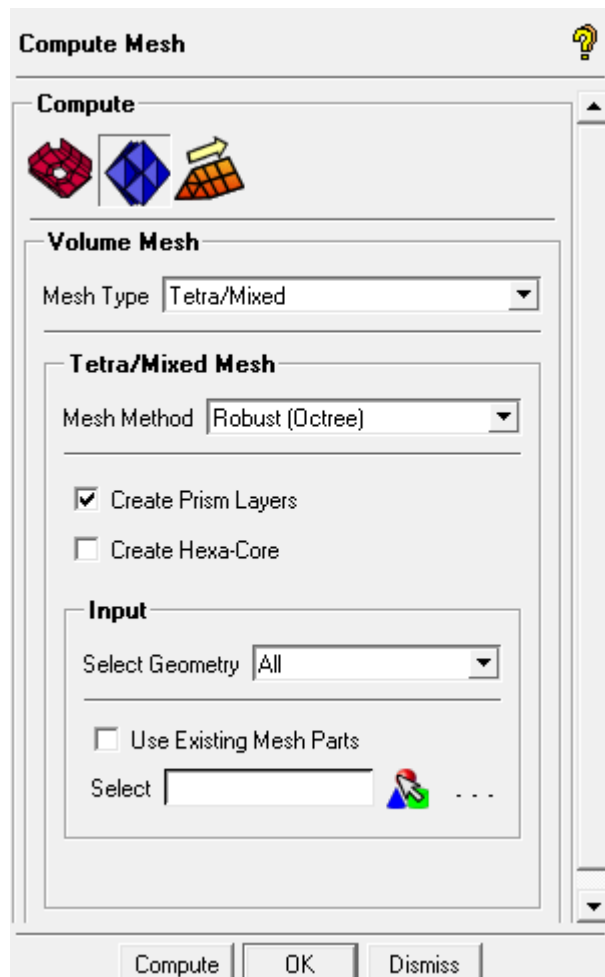


Luego APPLY



En el siguiente pasó se genera la malla de la siguiente forma:

Mesh > Compute Mesh  > Volume Mesh .



La imagen anterior debe estar seleccionado en Mesh Method la opción Robust (Octree) y habilitar la opción Create Prism Layers y click en Compute.



2. SOLVER o Solucionador.

A continuación, ya teniendo la geometría establecida del vehículo en 2D de acuerdo a las normativas de la competencia Shell Eco Marathon, y con en el enmallado apropiado, se realiza la simulación del fluido al que se somete el vehículo, las condiciones de contorno y la configuración de solución de datos para resolverlo en FLUENT.

Para obtener la solución adecuada se deben seguir el siguiente proceso.

- Abrir el archivo (*. MSH) con la geometría, la red y las condiciones límite pre-definidas.
- Compruebe la malla y la escala.
- Seleccione la formulación solver.
- Elija las ecuaciones básicas que hay que resolver: laminar o turbulent (o inviscid), chemical species o reaction, heat transfer models, etc.
- Especifique las propiedades del material.
- Especificar las condiciones de contorno.
- Especificar el método de solución.
- Ajustar los parámetros de control de solución.
- Inicializar el campo de flujo.
- Calcular una solución.
- Examine los resultados.

- Guardar los resultados.

Los pasos para realizar la simulación en Fluent del vehículo son los siguientes:

1. Abrir archivo.

En Fluent se abre el archivo del enmallado previamente realizado y guardado como .msh.

2. Check

Se analiza y comprueba que no exista ningún problema en la malla realizada, ya sea de algún nodo equivocado o volumen en la malla. En caso de que exista error debe corregirse la malla.

3. Solver

Se escoge la opción que se desea resolver:

4. Definir modelo.

Para empezar no se escogerán modelos DES, LES, DNS, ya que son modelos que requieren recursos computacionales altos, lo cual afecta la simulación ya que no contamos con este. Así que nos quedan las opciones RANS y modelos laminares, estos modelos laminares no son aplicables para el caso, debido a que el comportamiento del fluido no es laminar sino turbulento. Así que quedan los modelos RANS, de los cuales el modelo Viscous Spalart – Allmaras es el escogido, este resuelve una ecuación del modelo de remolino de la viscosidad como variable, excepto cerca a la pared viscosa de la capa límite.

Este modelo mantiene el modelo SA invariante y es pasiva en la mayoría de las capas límite. La modificación reduce eficazmente la producción de la viscosidad turbulenta cuando la vorticidad es mayor que la esfuerzo.

5. Definir materiales.

En la base de datos del programa se encuentra el fluido necesitado para la simulación, este es el aire que permanecerá con las propiedades constantes.

6. Definir condiciones de operación.

Se define la velocidad y presión de funcionamiento para la simulación, las cuales son de 8.333 (m/s) y 101.325 (Pa) respectivamente ubicadas en el origen.

7. Definir métodos de solución.

Se escoge el Scheme SIMPLE, ya que este es un algoritmo para relacionar las correcciones de velocidad y presión para hacer cumplir la conservación de la masa y para obtener el campo de presión.

De acuerdo a esto la gradiente que se selecciona es Least Squares Cell Based, en este método la solución es asumida con una variación lineal.

Los valores de pressure, momentum y Modified Turbulent Viscosity son los sugeridos por defecto en Ansys, ya que con esto se logra la convergencia deseada sin volver complejo el proceso de iteración.

8. Parámetro de control de solución.

Para obtener una solución se debe definir el problema, por lo cual se debe especificar la información de las variables dependientes en las condiciones de frontera.

Se debe conocer de la información que se requiere de la condición de frontera y localizar los límites sobre las variables dependientes, o aproximada. Las condiciones de frontera que sean definidas pobremente pueden llegar a tener un impacto significativo en la solución.

Al realizar el enmallado se había pre-seleccionado unas condiciones de frontera las cuales pueden ser cambiadas si se desea. En nuestro caso se mantendrán las opciones iguales.

- Velocity inlet. Esta es seleccionada en la parte delantera para especificar la velocidad del fluido durante el proceso.
- Pressure outlet. Se especifica la presión con la que va a tener el contorno de trabajo.
- Car – Wall. Con esto el proceso determina la ubicación de los objetos y realizar de manera correcta la simulación.

9. Inicializar.

Los valores se debe inicializar en el parámetro velocity inlet de 8.33 m/s.

10. Iniciar cálculo.

En este punto Fluent mostrará una gráfica donde se observará que la solución está convergiendo o no, esta grafica ira apareciendo mientras se está iterando.

11. Monitors.

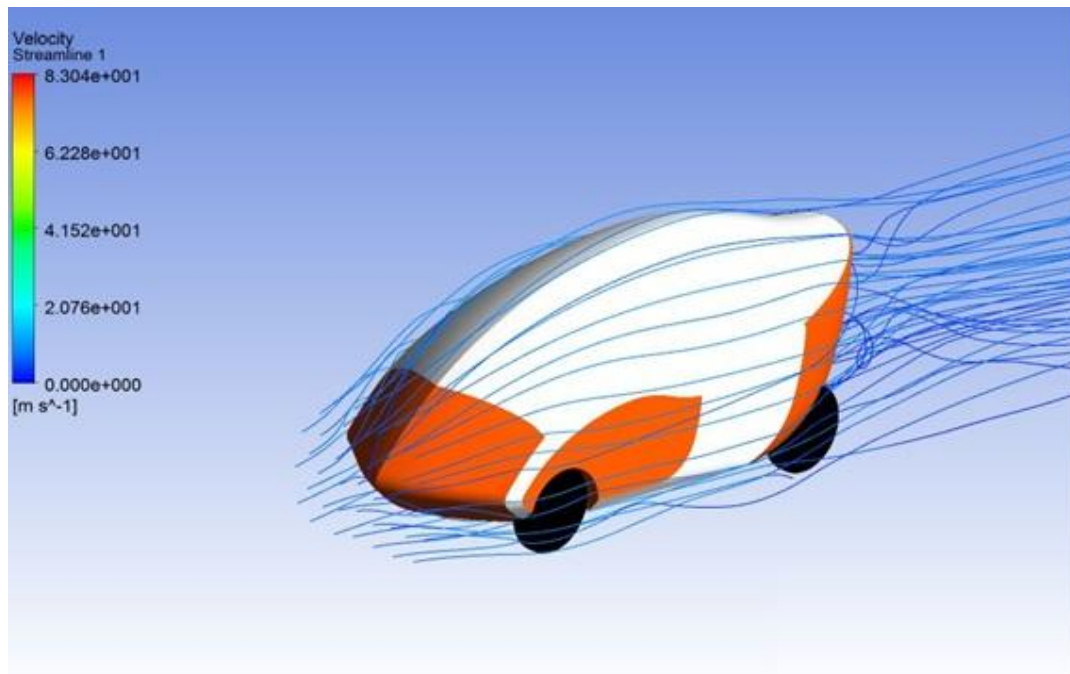
Se seleccionan los monitores que se desea aparezcan simulados, en nuestro caso será el coeficiente de Lift y coeficiente de Resistencia al avance. Las gráficas resultantes de coeficiente de Lift y coeficiente de Resistencia al avance se observarán mientras se está iterando. Los valores de estos coeficientes se conocerán en cada momento de la iteración.

12. Resolver.

Se debe ingresar el número de iteraciones deseadas y seleccionar “calculate” para iniciar la simulación.

ANEXO B

SIMULACIÓN MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES PARA UN VEHÍCULO EN 3D



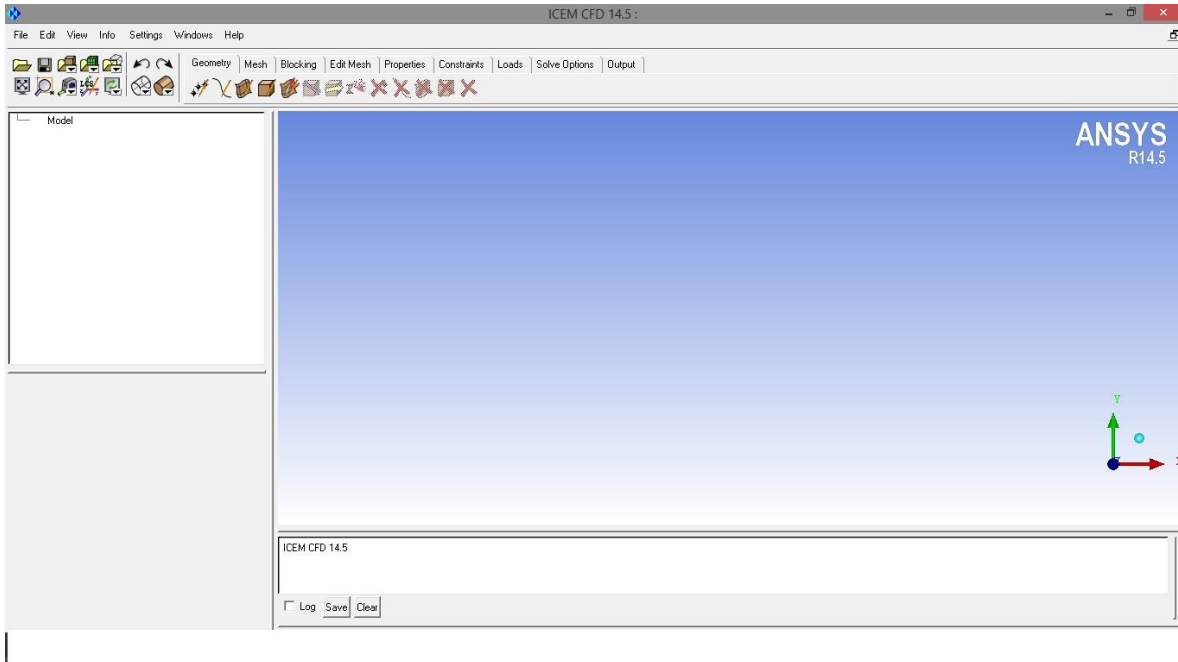
Contenido anexo B

1.	GEOMETRÍA.....	104
1.	File > Import Geometry > STEP/IGES.....	104
2.	Creación del contorno	105
3.	Ensamble de partes	106
4.	Extracción curva del plano	107
5.	Material point.....	107
6.	Enmallado	108
7.	Suavizar la malla (smoothing the mesh)	113
8.	Guardar el proyecto.....	114
2.	SOLVER o Solucionador.....	116
1.	Abrir archivo.	117
2.	Check.....	117
3.	Solver	117
4.	Definir modelo.	117
5.	Definir materiales.	117
6.	Definir condiciones de operación.	117
7.	Definir métodos de solución.	117
8.	Parámetro de control de solución.....	118
9.	Inicializar.	118
10.	Iniciar cálculo.	118
11.	Monitors.	118
12.	Resolver.....	119

1. GEOMETRÍA

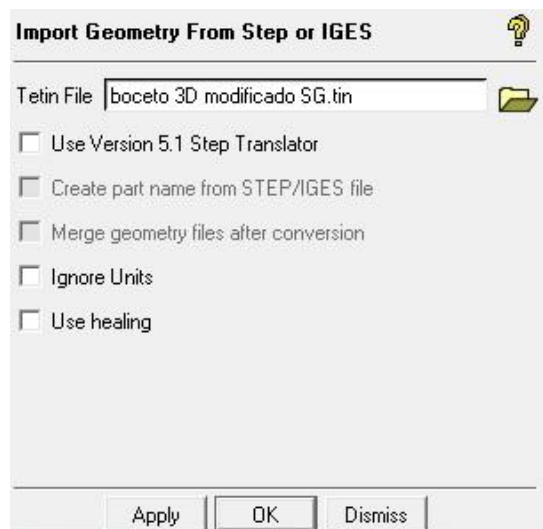
La geometría del vehículo en 3D se realiza en el programa Solid Edge y se guarda como la opción formato IGS.

Luego se utiliza el programa ICEM para realizar el enmallado. De acuerdo a esto, se abre ICEM CFD 14.5 y luego se carga el archivo de la siguiente manera.




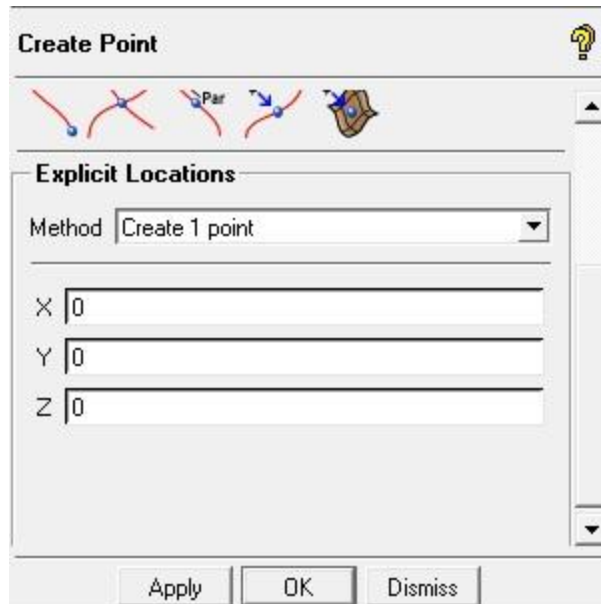
1. File > Import Geometry > STEP/IGES

Se busca el archivo .igs de la geometría y se carga, luego en la ventana de la parte inferior izquierda de la pantalla dejar por defecto las opciones y dar APPLY.

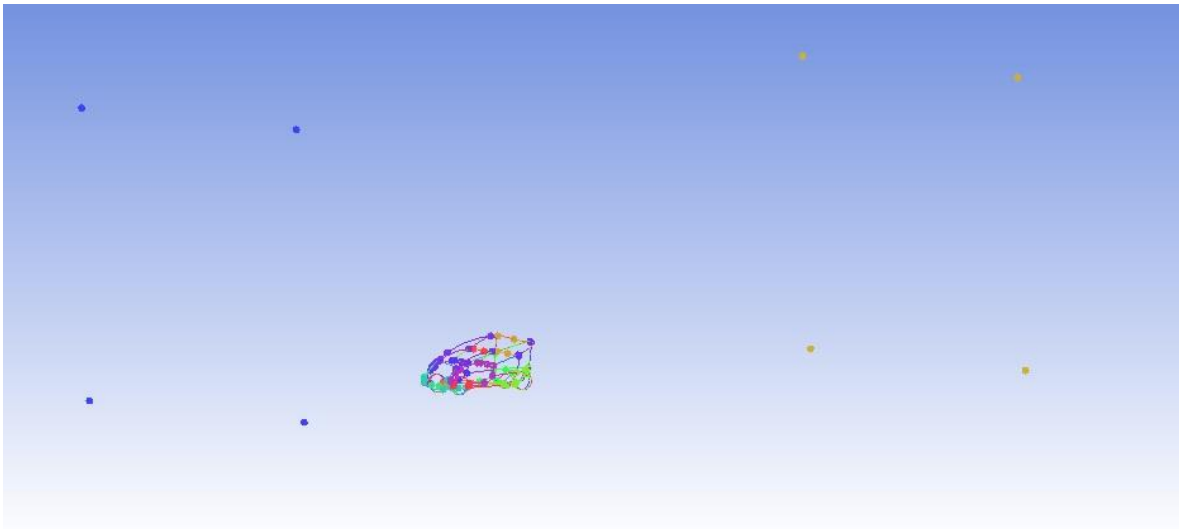


2. Creación del contorno

Una vez se tiene el vehículo se inicia el proceso de creación del contorno de enmallado. Para esto se va a la parte superior de la ventana en GEOMETRY, Create Point  y se ingresan los valores de los puntos del cuadro de contorno.

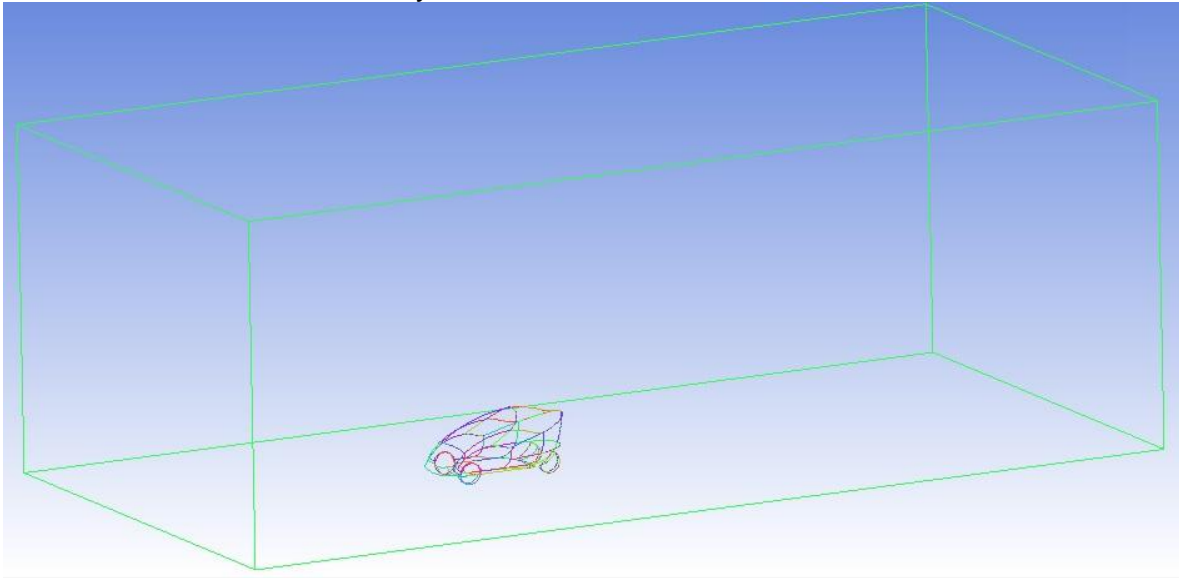


X	-7000	-7000	13000	13000	-7000	-7000	13000	13000
Y	-215,79	6784,1	-215,79	6784,1	-215,79	6784,1	-215,79	6784,1
Z	5000	5000	5000	5000	-5000	-5000	-5000	-5000



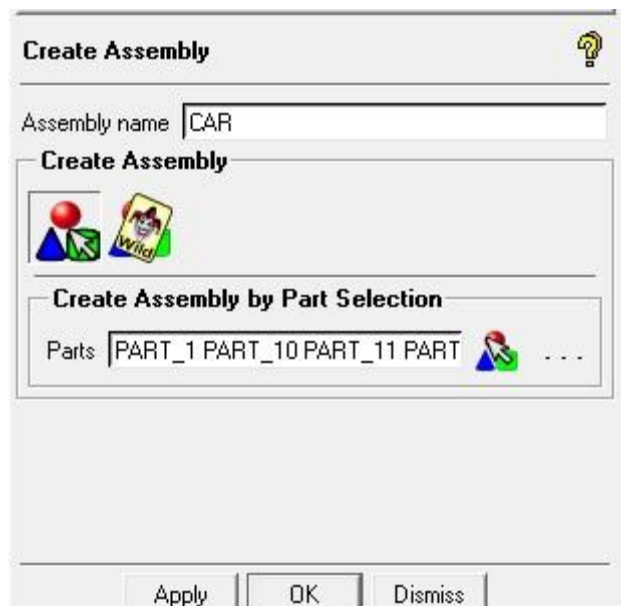
Ahora se unen los puntos, crear líneas entre puntos.

GEOMETRY > Create/Modify Curve  > Front Points 






3. Ensamble de partes

Ya creado el cubo del contorno se hace el ensamble de las partes del vehículo convirtiéndolo en una sola parte. Para esto se va al árbol de control y se le da click derecho a Parts, Create Assemembly, y se seleccionan las partes del vehículo, excepto GEOM y luego APPLY.




4. Extracción curva del plano

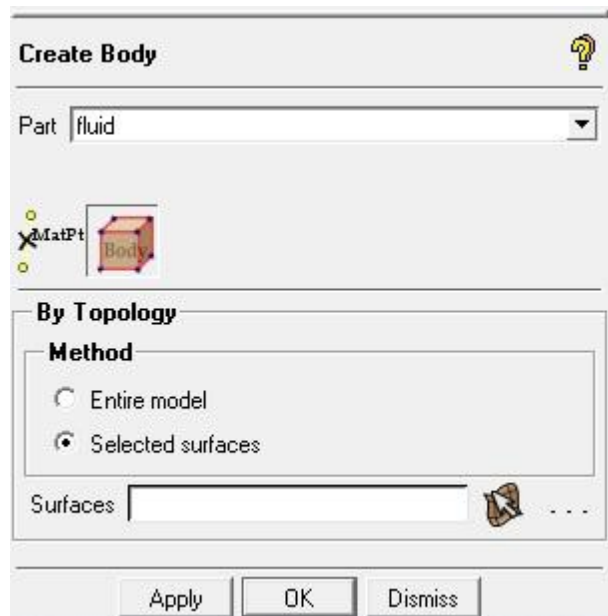
Luego se extrae la curva del plano.

GEOMETRY > Create/Modify Curve  > Extract Curves from Surfaces 
Se deselecciona en el árbol de control GEOM y en la barra de Select geometry se da click en  y en el cuadro de la parte inferior izquierda se da APPLY.

5. Material point

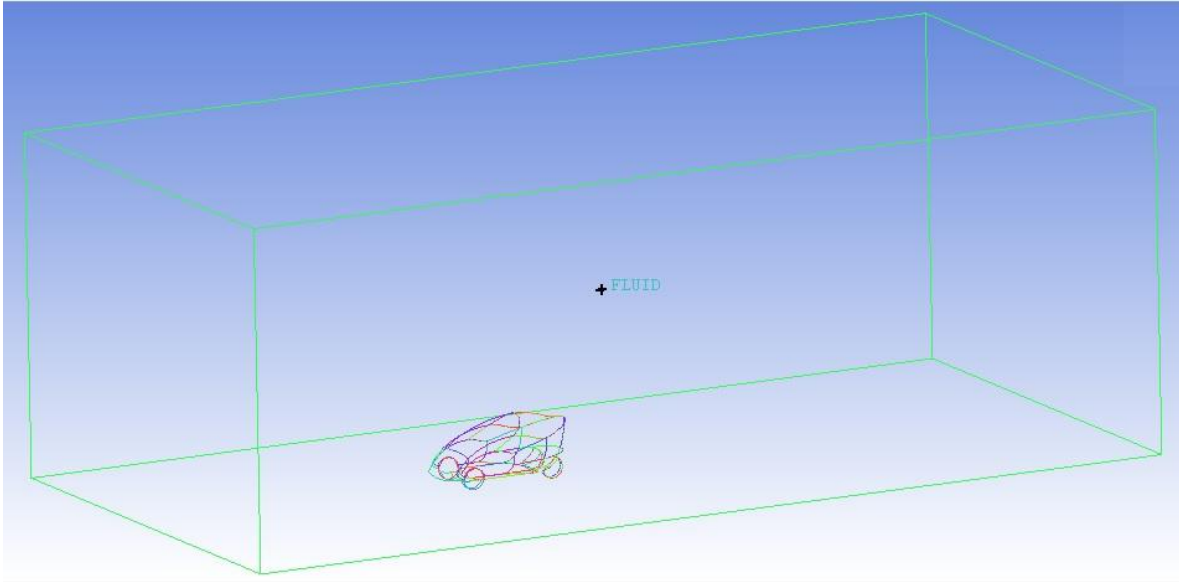
Después se procede a crear el Material Point.

Geometry > Create Body 





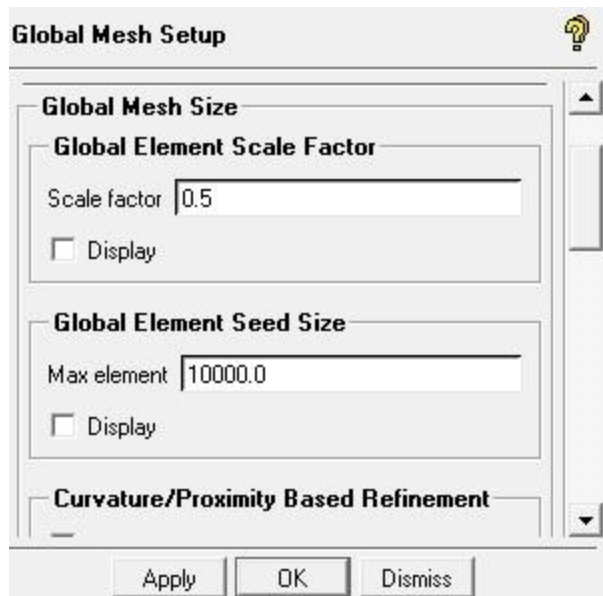
Ingresa en Part el nombre FLUID, luego en Method, escoja Selected Surfaces y se escoge la superficie de contorno para crear el flujo. Asegurarse antes de seleccionar en el árbol de control la opción Surfaces.

Luego se da APPLY.

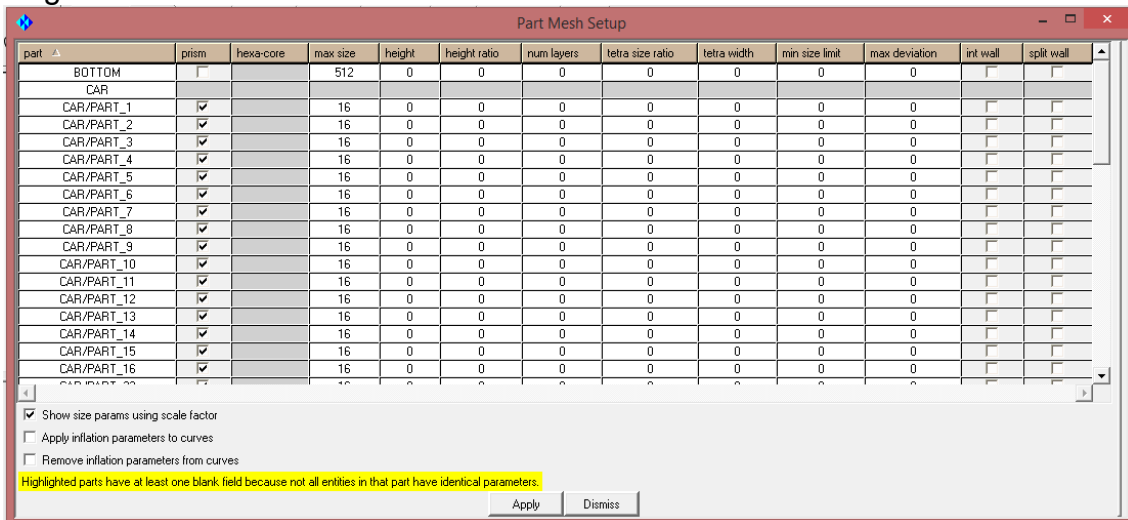


6. Enmallado

A continuación se asigna el tamaño de la malla se ingresa Mesh-Global Mesh Setup  > Global Mesh Size . Donde se colocara 0.5 En el scalar factor, y 10000 en Max elementos.
Luego APPLY.



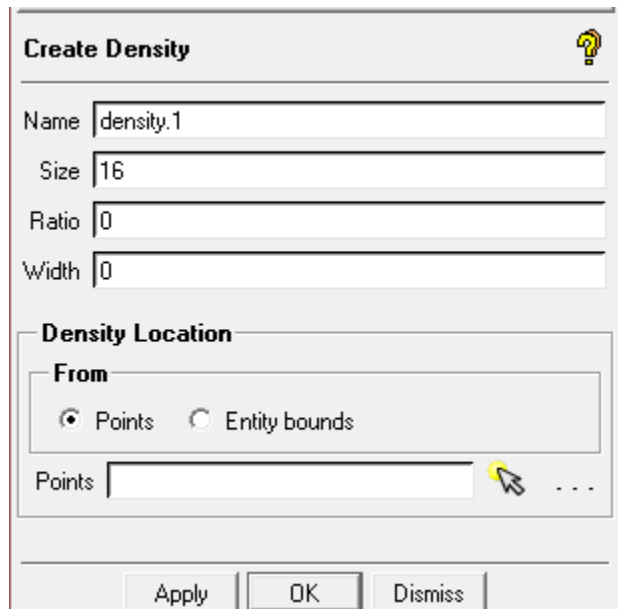
Se especifica las partes donde se crearon los primas de la siguiente forma se ingresa en Mesh- Part Mesh Setup. Luego APPLY.



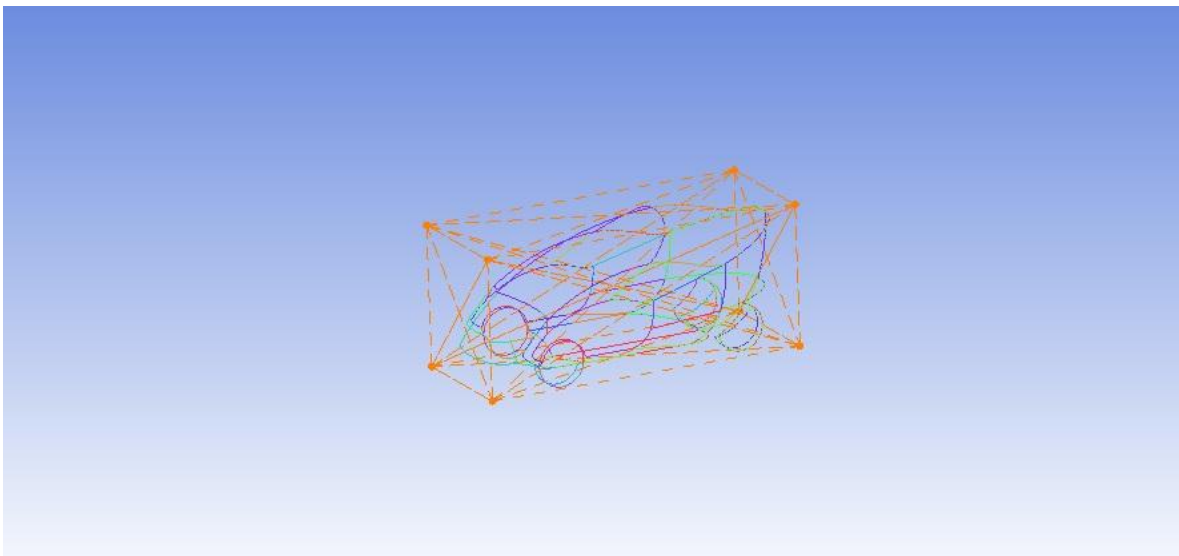
Se creara una density box en la cual ira encerrada, el vehiculo en 3D logrando que el programa identifique el objeto y realice una especie de socialización esta malla se conoce como UNSTRUCTURED. Para lo anterior ingrese Mesh>Create Mesh

Density .

De valores a el mesh size como usted crea necesario para su malla en este caso se ingresa en size 16, ingrese la opción entity bounds y seleccione el automóvil.

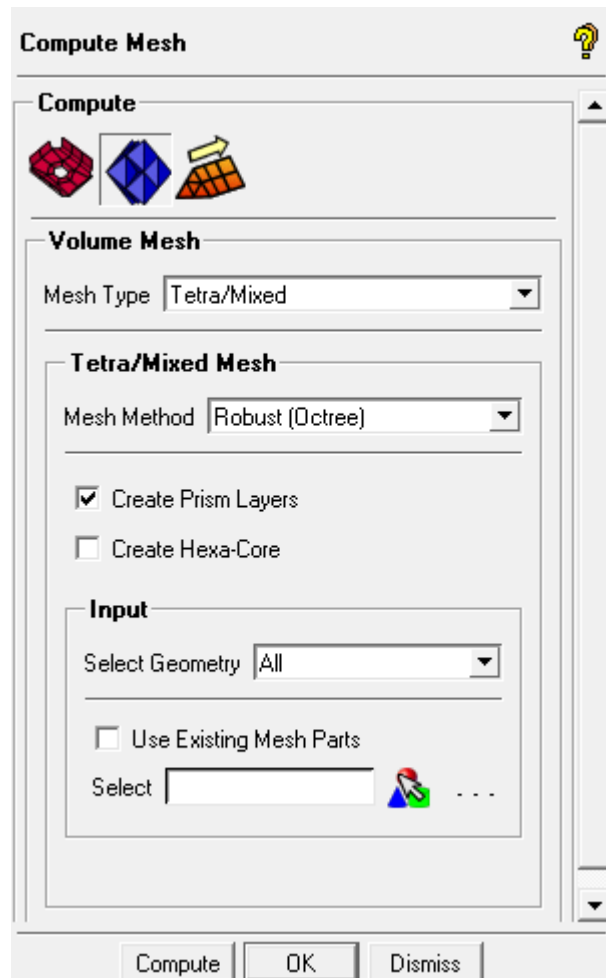


Luego APPLY

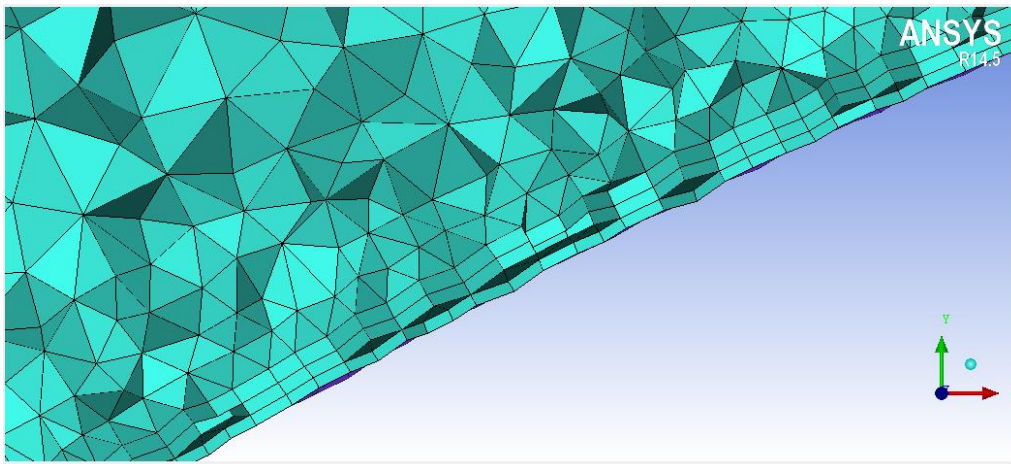
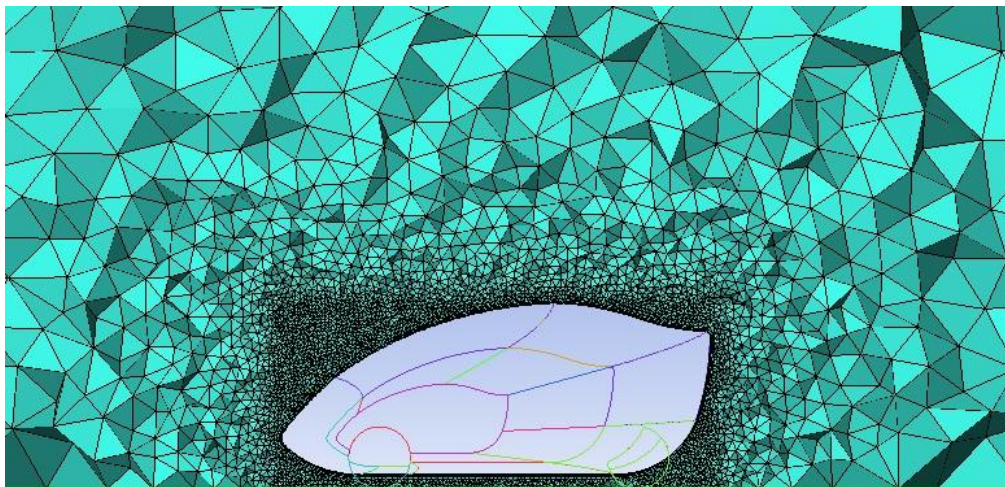
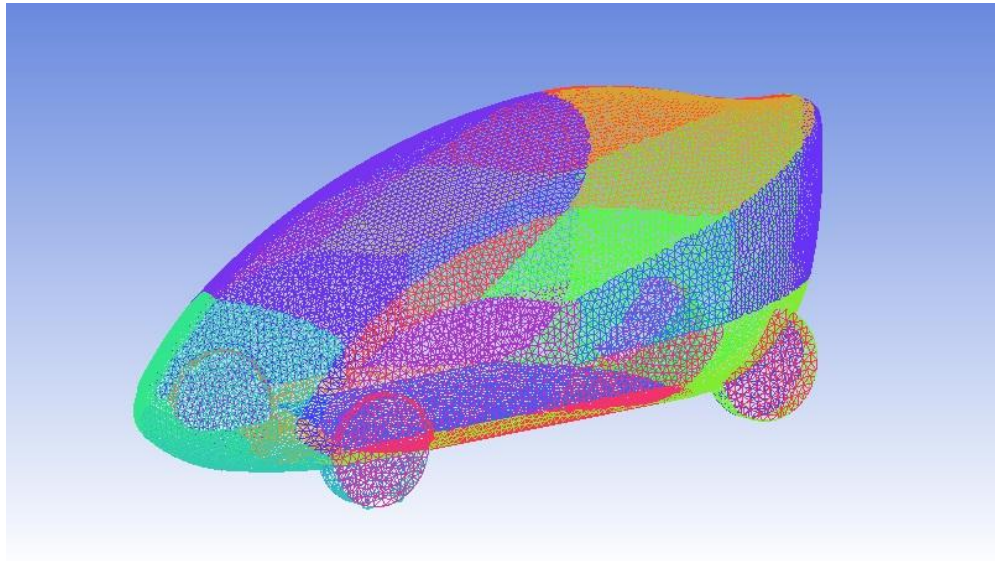


En el siguiente pasó se genera la malla de la siguiente forma:


Mesh > Compute Mesh  > Volume Mesh .



La imagen anterior debe estar seleccionada en Mesh Method la opción Robust (Octree) y habilitar la opción Create Prism Layers y click en Compute.



Se debe comprobar los posibles problemas de la malla para no causar inconvenientes en el solucionador al momento del análisis para esto se chequea la malla.

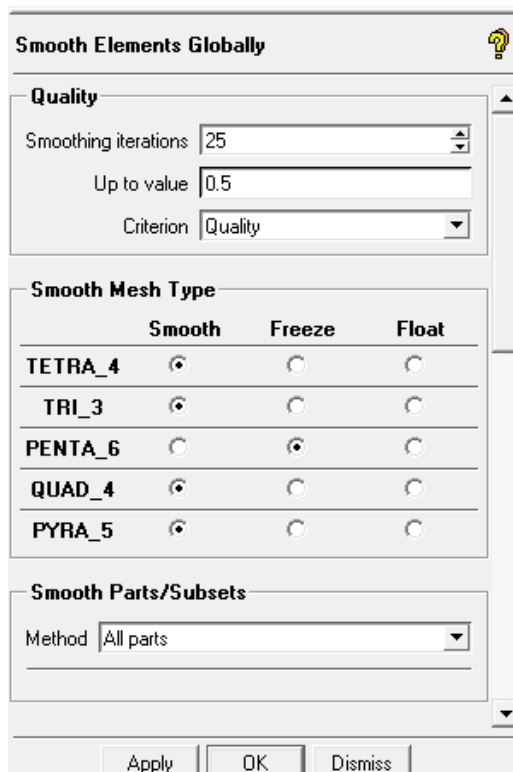
Edit mesh > Check mesh 

7. Suavizar la malla (smoothing the mesh)

En este paso, se suaviza la malla para mejorar la calidad y no generar problemas en el solucionador. Este paso de suavizado de la malla implica el mejoramiento de los elementos internos sin modificar los prismas.

Después de suavizar los elementos también se debe hacer lo mismo con los prismas.

Edit Mesh > Smooth Mesh Globally 



Smooth Elements Globally			
Quality			
Smoothing iterations	25		
Up to value	0.5		
Criterion	Quality		
Smooth Mesh Type			
	Smooth	Freeze	Float
TETRA_4	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
TRI_3	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PENTA_6	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
QUAD_4	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PYRA_5	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Smooth Parts/Subsets			
Method	All parts		
Apply OK Dismiss			

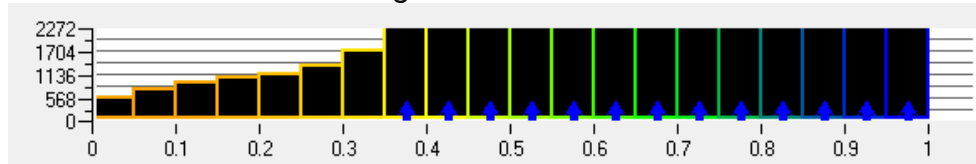
Introduzca los valores que se ven en la imagen y de click en apply.

Para suavizar la malla incluyendo los elementos y los prismas se ingresan los siguientes valores:

- Ingrese 2 en smoothing iterations

- Introduzca 0.01 en Up to value
- Seleccione en Smoot la opción Penta_6
- Click en Apply

A continuación se muestra el histograma de calidad.



8. Guardar el proyecto.

- Guarde el archivo del proyecto.


File > Save Project as

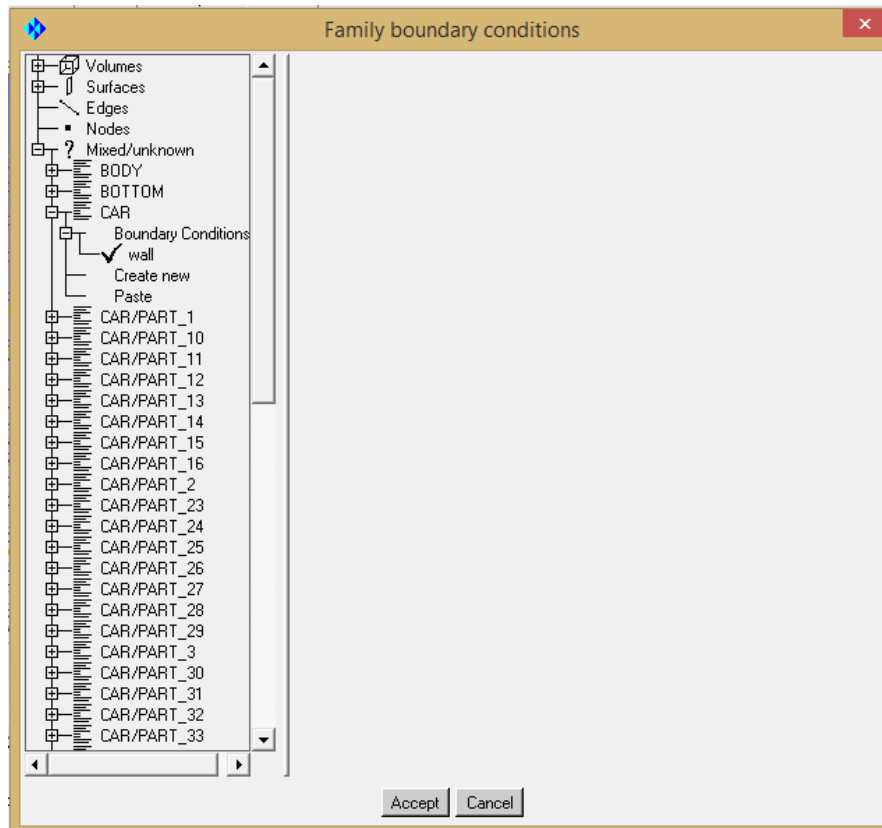
- Guarde el archivo Output para Ansys Fluent

Output > Select solver 

Seleccione Ansys Fluent del output solver y de click en apply

- Seleccione las boundary conditions

Output > Boundary conditions 

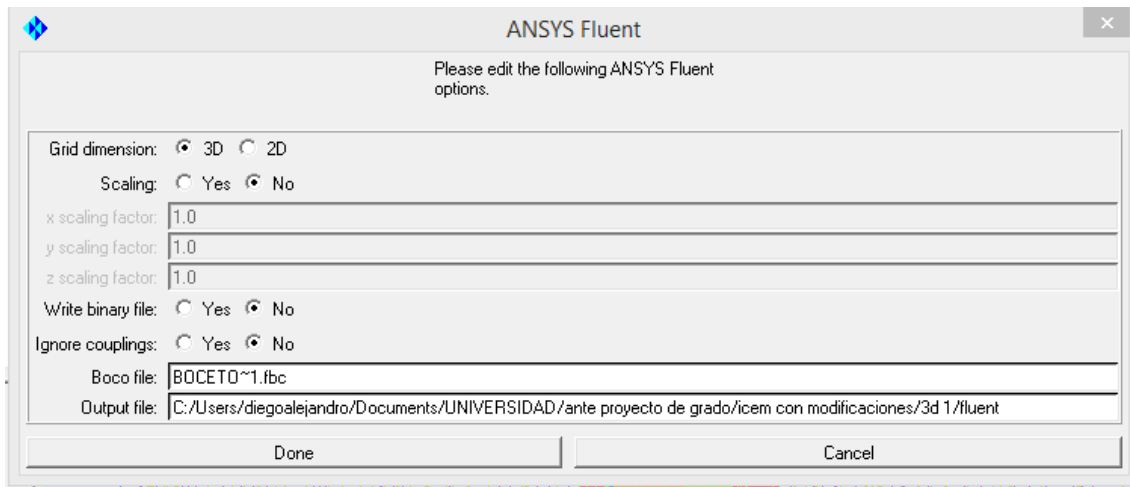


Seleccione cada condición que se le dio al proyecto y en boundary conditions seleccione la opción Wall.

- Escribir el archivo de entrada para ansys fluent

Output > Write input 

- Seleccione el archivo .uns y aparecerá la siguiente imagen.



- De click en Done
- Salga de la sesión

File > Exit

2. SOLVER o Solucionador.

A continuación, ya teniendo la geometría establecida del vehículo en 3D de acuerdo a las normativas de la competencia Shell Eco Marathon, y con en el enmallado apropiado, se realiza la simulación del fluido al que se somete el vehículo, las condiciones de contorno y la configuración de solución de datos para resolverlo en FLUENT.

Para obtener la solución adecuada se deben seguir el siguiente proceso.

- Abrir el archivo (*. MSH) con la geometría, la red y las condiciones límite pre-definidas.
- Compruebe la malla y la escala.
- Seleccione la formulación solver.
- Elija las ecuaciones básicas que hay que resolver: laminar o turbulent (o inviscid), chemical species o reaction, heat transfer models, etc.
- Especifique las propiedades del material.
- Especificar las condiciones de contorno.
- Especificar el método de solución.
- Ajustar los parámetros de control de solución.
- Inicializar el campo de flujo.
- Calcular una solución.
- Examine los resultados.
- Guardar los resultados.

Los pasos para realizar la simulación en Fluent del vehículo son los siguientes:

1. Abrir archivo.

En Fluent se abre el archivo del enmallado previamente realizado y guardado como .msh.

2. Check

Se analiza y comprueba que no exista ningún problema en la malla realizada, ya sea de algún nodo equivocado o volumen en la malla. En caso de que exista error debe corregirse la malla.

3. Solver

Se escoge la opción que se desea resolver:

4. Definir modelo.

Para empezar no se escogerán modelos DES, LES, DNS, ya que son modelos que requieren recursos computacionales altos y de mucho tiempo, lo cual nos afecta ya que no contamos con este. Así que nos quedan las opciones RANS y modelos laminares, estos modelos laminares no son aplicables para nuestro caso, debido a que el comportamiento del fluido no es laminar sino turbulento. Así que nos quedan los modelos RANS, de los cuales el modelo Viscous Spalart – Allmaras es el escogido, este resuelve una ecuación del modelo de remolino de la viscosidad como variable, excepto cerca a la pared viscosa de la capa límite.

Este modelo mantiene el modelo SA invariante y es pasiva en la mayoría de las capas límite. La modificación reduce eficazmente la producción de la viscosidad turbulenta cuando la vorticidad es mayor que la esfuerzo.

5. Definir materiales.

En la base de datos del programa se encuentra el fluido necesitado para la simulación, este es el aire que permanecerá con las propiedades constantes,

6. Definir condiciones de operación.

Se define la velocidad y presión de funcionamiento para la simulación, las cuales son de 8.333 m/s y 101.325 Pa respectivamente ubicadas en el origen.

7. Definir métodos de solución.

Se escoge el Scheme SIMPLE, ya que este es un algoritmo para relacionar las correcciones de velocidad y presión para hacer cumplir la conservación de la masa y para obtener el campo de presión.

De acuerdo a esto la gradiente que se selecciona es Least Squares Cell Based, en este método la solución es asumida con una variación lineal.

Los valores de pressure, momentum y Modified Turbulent Viscosity son los sugeridos por defecto en Ansys, ya que con esto se logra la convergencia deseada sin volver complejo el proceso de iteración.

8. Parámetro de control de solución.

Para obtener una solución se debe definir el problema, por lo cual se debe especificar la información de las variables dependientes en las condiciones de frontera.

Se debe conocer de la información que se requiere de la condición de frontera y localizar los límites sobre las variables dependientes, o aproximada. Las condiciones de frontera que sean definidas pobremente pueden llegar a tener un impacto significativo en la solución.

Al realizar el enmallado se había pre-seleccionado unas condiciones de frontera las cuales pueden ser cambiadas si se desea. En nuestro caso se mantendrán las opciones iguales.

- Velocity inlet.
- Pressure outlet.
- Car – Wall

9. Inicializar.

Los valores se debe inicializar en el parámetro velocity inlet de 8.33 m/s.

10. Iniciar cálculo.

En este punto Fluent mostrará una gráfica donde se observará que la solución está convergiendo o no, esta grafica ira apareciendo mientras se está iterando.

11. Monitors.

Se seleccionan los monitores que se desea aparezcan simulados, en nuestro caso será el coeficiente de Lift y coeficiente de Resistencia al avance. Las gráficas resultantes de coeficiente de Lift y coeficiente de Resistencia al avance se

observarán mientras se está iterando. Los valores de estos coeficientes se conocerán en cada momento de la iteración.

12. Resolver.

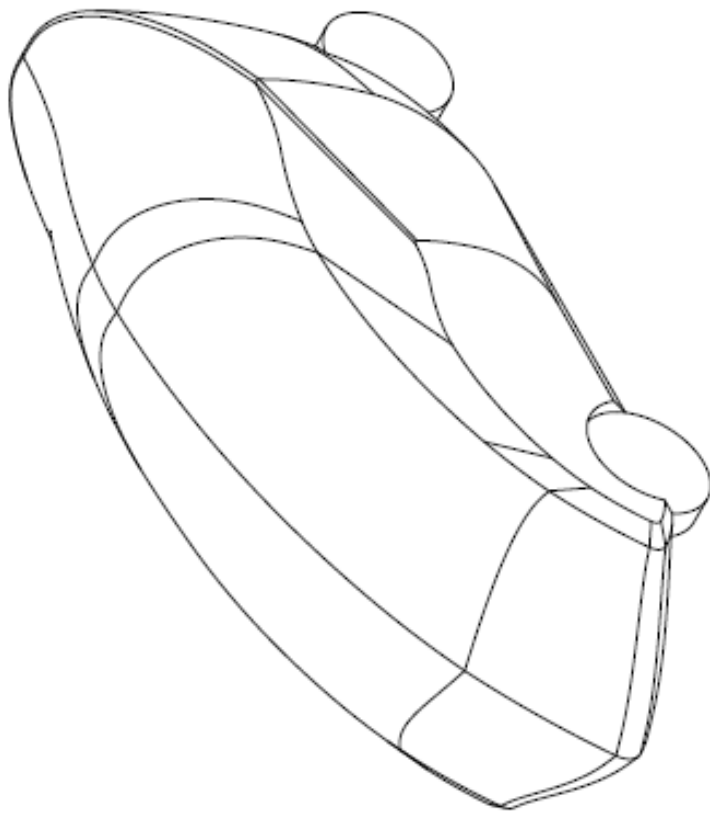
Se debe ingresar el número de iteraciones deseadas y seleccionar “calculate” para iniciar la simulación.

ANEXO C

PLANOS VEHÍCULO FINAL EN 3-DIMENSIONES.

A B C D E F G H

4 3 2 1 4 3 2 1



Isometric view
Scale: 1:15

This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

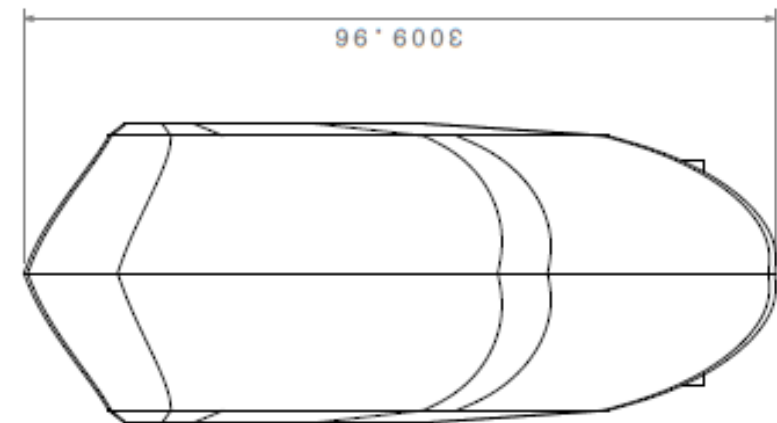
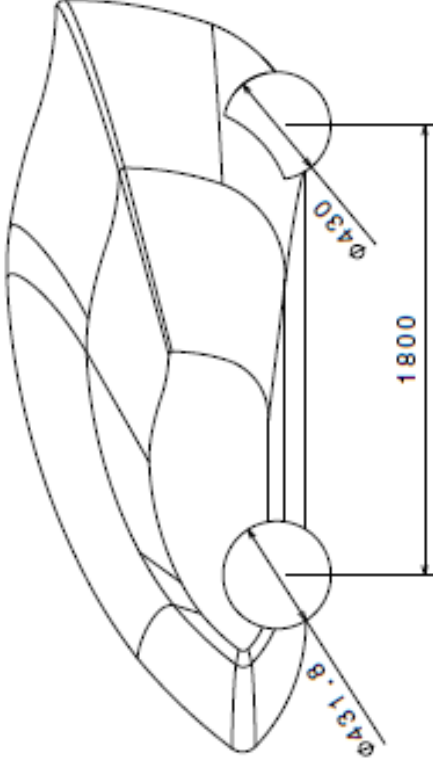
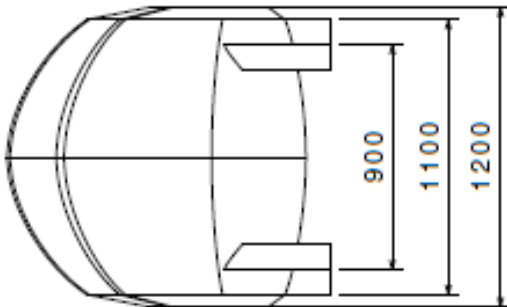
DRAWN BY	DATE
JUAN S. BARRERA	28/04/2014
CHECKED BY	DATE
DIEGO A. MALDONADO	xxx
DESIGNED BY	DATE
CRISTIAN C RAMIREZ	xxx

**UNIVERSIDAD DE SAN
BUENAVETURA**

DRAWING TITLE:
CARROCERÍA CARRO CONCEPTO URBANO
(VISTA ISOMETRICA)

SIZE	DRAWING NUMBER	REV
A3	002	1
SCALE 1:15 UNITS (mm)		SHEET 1/1

H B A



This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.

DRAWN BY	DATE
JUAN S. BARRERA	28/04/2014
CHECKED BY	DATE
DIEGO A. MALDONADO	xxx
DESIGNED BY	DATE
CRISTIAN C. RAMIREZ	xxx

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVETURA	
DRAWING TITLE: CARROCERIA CARRO CONCEPTO URBANO (VISTAS ISO)	
SIZE	REV
A3	1
DRAWING NUMBER	
001	
SCALE	SHEET
1:20 UNITS (mm)	1/1

A B C D E F G H

4

3

2

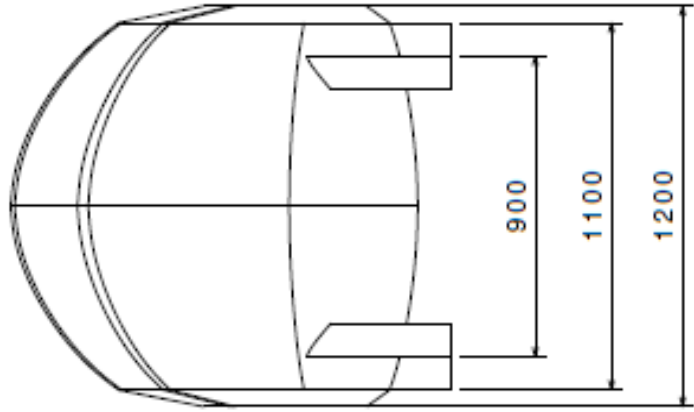
1

4

3

2

1



Front view
Scale: 1:15

This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

DRAWN BY	DATE
JUAN S BARRERA	28/04/2014
CHECKED BY	DATE
DIEGO A MALDONADO	xxx
DESIGNED BY	DATE
CRISTIAN C RAMIREZ	xxx

**UNIVERSIDAD DE SAN
BUENAVENTURA**

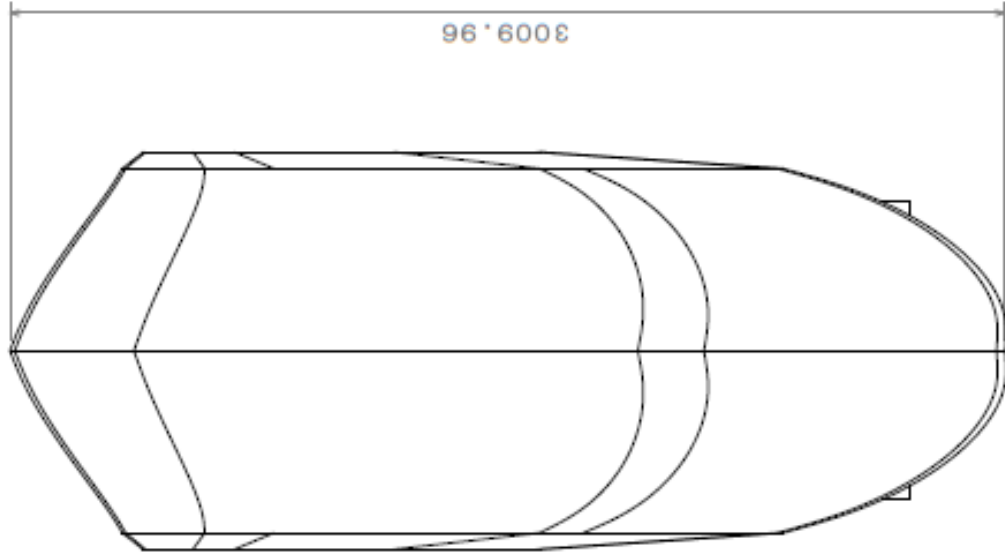
DRAWING TITLE:
CARROCERIA CARRO CONCEPTO URBANO
(VISTA FRONTAL)

SIZE	DRAWING NUMBER	REV
A3	003	1
SCALE	1:15 UNITS (mm)	SHEET 1/1

H G B A

A B C D E F G H

Top view
Scale: 1:15



4 3 2 1

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DRAWING TITLE: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVETURA	
DRAWN BY JUAN S. BARRERA	DATE 28/04/2014	DRAWING TITLE: CARROCERIA CARRO CONCEPTO URBANO (VISTA SUPERIOR)	
CHECKED BY DIEGO A. MALDONADO	DATE xxx	SIZE A3	REV 1
DESIGNED BY CRISTIAN C. RAMIREZ	DATE xxx	SCALE 1:15	DRAWING NUMBER 005
		UNITS (mm)	SHEET 1/1

H B A

A B C D E F G H

4

3

2

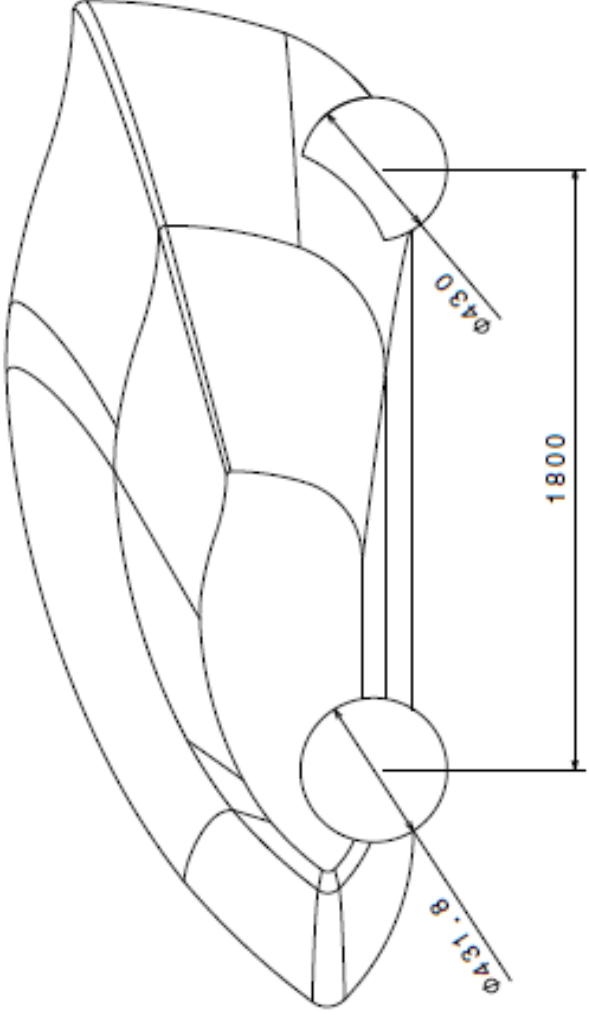
1

4

3

2

1



Left view
Scale: 1:15

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DRAWING TITLE: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVETURA	
DRAWN BY JUAN S. BARRERA	DATE 28/04/2014	CARROCERIA CARRO CONCEPTO URBANO (VISTA LATERAL ISQUIERDA)	
CHECKED BY DIEGO A. MALDONADO	DATE xxx	SIZE A3	DRAWING NUMBER 004
DESIGNED BY CRISTIAN C RAMIREZ	DATE xxx	SCALE 1:15 UNITS (mm)	REV 1
		SHEET 1/1	SHEET 1/1

H G B A

ANEXO D

ACTAS GRUPO DE INVESTIGACION DE ECO SHELL MARATON.



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
ACTA DE REUNIÓN: Número 1. 2013-2

Fecha

19 de julio de 2013

Tipo de reunión

Informativa y organizativa.

Asistentes

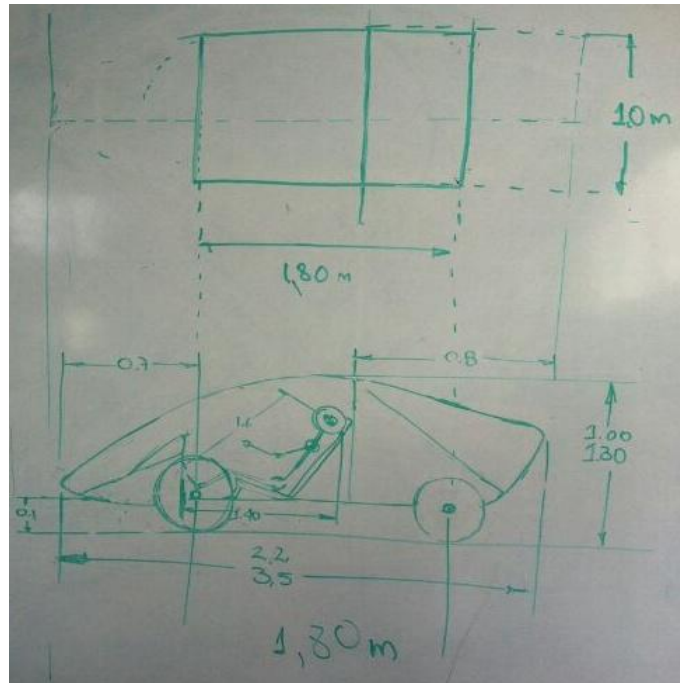
Ing. M.Sc. Rafael Cerpa, Ing. M.Sc. Alejandro Urrego, Diego Cortés, Sammy Mustafa, Sebastián Bernal, Michael Mesa, Christian Ramírez, Sebastián Barrera, Diego Maldonado, Ángela Pinzón, Diana Forero.

Orden Del Día

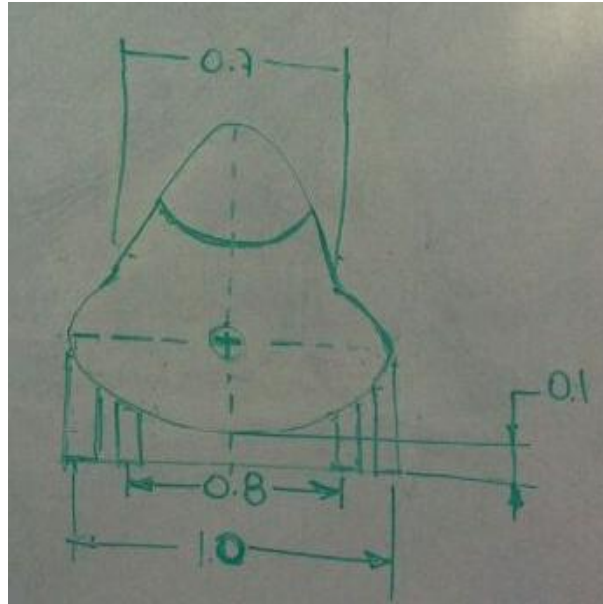
1. Lineamientos iniciales proyecto institucional.
2. Selección del prototipo del vehículo, diseño y dimensionamiento preliminar base line.
3. Acuerdos pactados.
4. Varios.

Temas Tratados

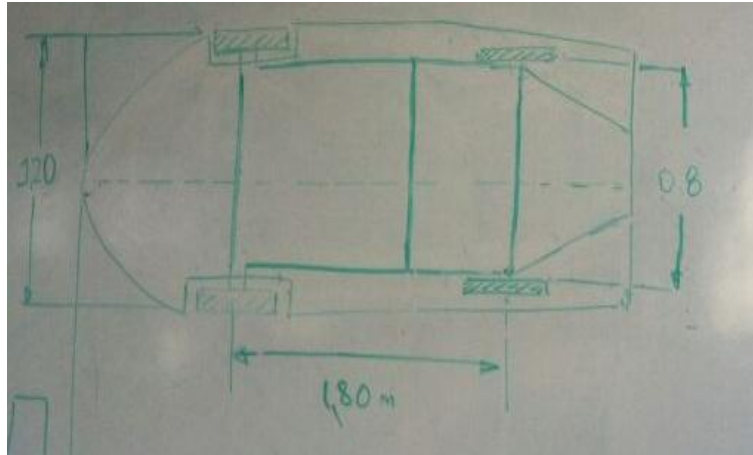
1. Lineamientos iniciales proyecto institucional: Los ingenieros Rafael Cerpa y Alejandro Urrego, explicaron a los estudiantes que se aplicaría a la convocatoria 008 de la Dirección de Investigaciones; además que la vinculación con el proyecto de los mismos, sería como auxiliares de investigación. Además se les indicó que era necesario generar un artículo publicable por grupo de trabajo.
2. Selección del prototipo del vehículo, diseño y dimensionamiento preliminar base line: Los integrantes del grupo realizaron un estudio de antecedentes, donde se revisaron prototipos utilizados en competencias anteriores. Además se extrajeron las normas de diseño y funcionamiento aplicadas al concepto de vehículo urbano. Teniendo en cuenta lo anterior se realizó el primer boceto del vehículo y su dimensionamiento inicial.



Boceto 1. Vista lateral del vehículo.



Boceto 2. Vista frontal del vehículo.



Boceto 2. Vista superior del vehículo.

3. Acuerdos adoptados

Acuerdo	Responsables	Fecha de entrega
Se pactó realizar una reunión cada 45 días en la que se muestren los avances de cada grupo, y del mismo modo se hagan las correcciones requeridas. De igual forma se planteó traer para la próxima reunión el cronograma de actividades de cada grupo, con el fin de iniciar el proyecto al tiempo con el periodo académico; además que se debe hacer una programación del ángulo de giro que debe tener el vehículo.	Diego Cortés. Sammy Mustafa. Sebastián Bernal. Michael Mesa. Christian Ramírez. Sebastián Barrera. Diego Maldonado. Ángela Pinzón. Diana Forero.	24 de julio de 2013
Realizar el documento el base line del vehículo.	Grupo aerodinámica	

4. Agotado el orden del día se dio por terminada la reunión del grupo de investigación.

Firma de asistencia

Tutores:

Ing. Rafael Mauricio Cerpa _____

Ing. Alejandro Urrego _____



Miembros del grupo:

Diego Fernando Cortes _____
Sebastián Bernal Castillo _____
Michael Daniel Mesa _____
Christian Camilo Ramírez _____
Diego Alejandro Maldonado _____
Juan Sebastián Barrera _____
Sammy Mustafa Prieto _____
Ángela Pinzón _____
Diana Forero _____



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
ACTA DE REUNIÓN: Número 2. 2013-2

Fecha

25 de julio de 2013

Tipo de reunión

Informativa y organizativa.

Asistentes

Ing. M.Sc. Rafael Cerpa, Ing. M.Sc. Alejandro Urrego, Diego Cortés, Sammy Mustafa, Sebastián Bernal, Michael Mesa, Christian Ramírez, Sebastián Barrera, Diego Maldonado, Ángela Pinzón, Diana Forero.

Orden Del Día

1. Organización de cada proyecto dejando estipulado un cronograma de actividades para cada grupo.
2. Adjudicación de tareas.

Temas Tratados

- Pautas iniciales para el inicio de la investigación de cada proyecto.
- Se delegó un tutor para cada grupo de trabajo, en donde los grupos de aerodinámica y sistema de propulsión serán dirigidos por el ingeniero Rafael Cerpa, el grupo de diseño del motor a pistón lo dirigirá la ingeniera Luisa Mónico y el grupo de estructuras estará a cargo del ingeniero Alejandro Urrego.

Acuerdos adoptados

Acuerdo	Responsables	Fecha de entrega
<p>Se debe entregar un avance de cada proyecto cada mes a lo largo del semestre.</p> <p>Cada grupo debe hacer un cronograma de actividades en Microsoft project, y este debe ser planteado para ponerlo en el salón de motores ubicado en el hangar.</p>	<p>Diego Cortés, Sammy Mustafa, Sebastián Bernal, Michael Mesa, Christian Ramírez, Sebastián Barrera, Diego Maldonado.</p>	<p>29 de agosto de 2013</p>

Firma de asistencia

Tutores:

Ing. Rafael Mauricio Cerpa _____

Ing. Alejandro Urrego _____

Miembros del grupo:

Diego Fernando Cortes _____

Sebastián Bernal Castillo _____

Michael Daniel Mesa _____

Christian Camilo Ramírez _____

Diego Alejandro Maldonado _____

Juan Sebastián Barrera _____

Sammy Mustafa Prieto _____

Ángela Pinzón _____

Diana Forero _____



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
ACTA DE REUNIÓN: Número 3. 2014-1

Fecha

19 de Mayo de 2014

Tipo de reunión

Informativa y organizativa.

Asistentes

Ing. M.Sc. Rafael Cerpa, Ing. M.Sc. Luisa Mónico, Diego Cortés, Samy Mustafa, Sebastián Bernal, Michael Mesa, Christian Ramírez, Sebastián Barrera, Diego Maldonado

Orden Del Día

3. Organización para la entrega del proyecto de cada grupo.
4. Adjudicación de tareas.

Temas Tratados

- Realizar un acta de cesión de derechos.
- Realizar un acta para la publicación de un libro.
- Entregar al final un CD/DVD con toda la información de cada proyecto, por cada grupo.
- Realizar acta siguiente de los pasos a seguir.
- Realizar cada grupo un artículo AIAA.
- Definir la plantilla de presentación que se va a utilizar para uniformar los grupos de exposición.

Acuerdos adoptados

Acuerdo	Responsables	Fecha de entrega
<p>Realizar el acta para la cesión de derechos.</p> <p>Realizar un acta para la publicación de un libro.</p> <p>Realizar un acta para los pasos a seguir.</p> <p>Realizar la plantilla de presentación para unificar las exposiciones de los proyectos.</p>	<p>Ing. Rafael Cerpa</p> <p>Ing. Luisa Mónico</p>	<p>25 de Junio de 2014</p>
Acuerdo	Responsables	Fecha de entrega
<p>Se debe entregar un CD/DVD con absolutamente toda la información de los proyectos.</p> <p>Cada grupo debe realizar un artículo al final.</p>	<p>Diego Cortés,</p> <p>Sammy Mustafa,</p> <p>Sebastián Bernal,</p> <p>Michael Mesa,</p> <p>Christian Ramírez,</p> <p>Sebastián Barrera, Diego Maldonado.</p>	<p>25 de Junio de 2014</p>

Firma de asistencia

Tutores:

Ing. Rafael Mauricio Cerpa _____

Ing. Luisa Mónico _____

Miembros del grupo:

Diego Fernando Cortes _____

Sebastián Bernal Castillo _____

Michael Daniel Mesa _____

Christian Camilo Ramírez _____

Diego Alejandro Maldonado _____

Juan Sebastián Barrera _____

Sammy Mustafa Prieto _____