



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la
obtención del título de Ingeniero en Automotriz.**

AUTOR:

Byron Sebastian Murillo Vega

TUTOR:

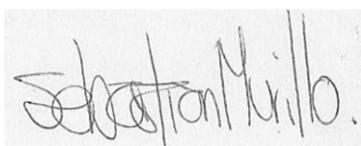
Ing. Álvaro Miguel Remache Chimbo

**ANÁLISIS AERODINÁMICO Y MANUFACTURA ADITIVA DE
ALERONES DE COMPETENCIA MEDIANTE DINAMICA DE FLUIDOS
COMPUTACIONAL.**

CERTIFICACIÓN

Yo **Byron Sebastian Murillo Vega** declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Byron Sebastian Murillo Vega

Yo, **Álvaro Miguel Remache Chimbo**, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firmado electrónicamente por:

**ALVARO MIGUEL
REMACHE CHIMBO**

Álvaro Miguel Remache Chimbo

Director de Tesis

Escuela de Ingeniería Automotriz

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado principalmente a mis padres Bayron Murillo y Ana Vega que han sido, son y serán mis pilares fundamentales, ya que en todo momento me han sabido brindar su apoyo incondicional desde el primer día y ser una guía para poder alcanzar todos las metas y objetivos propuestos en la vida. También, mi dedicatoria es para mis hermanas ya que siempre me supieron dar consejos y proveer de motivación y la moral que supieron proporcionarme en las diferentes adversidades.

Agradecimiento

Empezando a dar las gracias a Dios por darme la sabiduría, fortaleza la inteligencia para seguir adelante en esta travesía y nunca permitir que desmaye en el camino, un especial agradecimiento a mi familia por que han sabido brindarme el apoyo incondicional para salir adelante y lograr ser una excelente persona y profesional basándose.

Del mismo modo, quiero agradecer a todas esas personas que de una u otra forma creyeron en mí o abrieron sus puertas para aportar un granito de arena en la formación tanto personal, como académico y profesional, gracias por todos los consejos y enseñanzas.

Pero sin duda agradezco también, a las personas que no creyeron en mí o a las que me dijeron un no como respuesta, ya que sin ellos no habría tenido la motivación y ganas de lograr mis objetivos.

Del mismo modo, quiero agradecer a la Universidad Internacional Del Ecuador por permitirme acceder a estudiar la carrera de ingeniería en mecánica automotriz y los docentes que fueron parte del proceso de aprendizaje tanto en el ámbito humano como académico

Índice de Contenido

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD.....	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Resumen.....	8
Introducción.....	9
Fundamentación teórica.....	10
Fuerzas Aerodinámicas.....	10
RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes simulation).....	10
Distancia adimensional a la pared.....	11
Coeficiente de arrastre.....	11
Coeficiente de sustentación.....	11
Eficiencia Aerodinámica.....	11
Potencia.....	12
Materiales.....	12
El vehículo de marca Suzuki modelo Forsa 1.....	12
Ficha técnica del vehículo Suzuki Forsa 1.....	12
Alerones comerciales.....	13
Escáner 3D “Sense” 1era generación.....	13
Autódromo internacional de Yahuarcocha.....	14
El Software CAD Fusión 360 (versión estudiantil).....	14
Software Ansys “FLUENT” (versión estudiantil).....	14
Software de laminación “Ultimaker Cura” (Software libre).....	14
Impresora 3D “Ender 3 v2”.....	14
Bobinas de filamento.....	15
Métodos.....	15
Resultados y discusión.....	20
Conclusiones.....	24
Referencias.....	25
Anexos.....	29
ANEXOS INTRODUCCIÓN.....	29
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	34
ANEXOS MATERIALES Y METODOS.....	55

ANÁLISIS AERODINÁMICO Y MANUFACTURA ADITIVA DE ALERONES DE COMPETENCIA MEDIANTE DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL.

Ing. Álvaro Miguel Remache Chimbo. Byron Sebastian Murillo Vega.

Ingeniería Automotriz- Universidad Internacional del Ecuador.

alremachech@uide.edu.ec, Quito-Ecuador

bymurillove@uide.edu.ec, Quito-Ecuador

Resumen

Esta investigación se fundamenta en el análisis aerodinámico de distintos modelos de alerones para competencia en el vehículo Suzuki Forsa Mk1, el objetivo fue determinar la eficiencia aerodinámica de cada uno de los ejemplares mediante la recolección de datos de presiones, fuerzas y coeficientes. Para ello se utilizó la ingeniería inversa y poder recabar las dimensiones en modelos a escala 1:1 y como siguiente paso la simulación de dinámica de fluidos computacionales para finalmente obtener el alerón con mejor eficiencia aerodinámica y poder prototiparlo mediante manufactura aditiva. Los resultados mostraron que ambos alerones generan carga aerodinámica indistintamente uno del otro, esto se debe que son dos factores importantes en la aerodinámica: el ángulo de ataque y el área de contacto de la fuerza normal con el alerón, en este caso se escogió el alerón de 30° debido a que genera un downforce de -412 N. Lo cual ayuda a que el vehículo sea más estable en curvas del circuito evitando así el sobre viraje en el auto, de esta manera se busca la implementación nuevos métodos de fabricación de piezas automotrices funcionales sin dejar de lado la parte ingenieril.

Palabras claves: análisis aerodinámico, manufactura aditiva, CFD, Suzuki Forsa, Digitalización, Swift 1.

Abstract

This research is based on the aerodynamic analysis of different models of spoilers for competition in the Suzuki Forsa Mk1 vehicle, the objective was to determine the aerodynamic efficiency of each of the specimens by collecting data on pressures, forces and coefficients. To do this, reverse engineering was used to obtain the dimensions in 1:1 scale models and, as a next step, computational fluid dynamics simulation to finally obtain the spoiler with the best aerodynamic efficiency and be able to prototype it through additive manufacturing. The results showed that both ailerons generate aerodynamic load indistinctly one from the other, this is because they are two important factors in aerodynamics: the angle of attack and the contact area of the normal force with the aileron, in this case the aileron was chosen. of 30° because it generates a downforce of -412 N. Which helps the vehicle to be more stable in curves of the circuit, thus avoiding oversteering in the car, in this way the implementation of new methods of manufacturing parts is sought. functional automotive without neglecting the engineering part.

Keywords: aerodynamic analysis, additive manufacturing, CFD, Suzuki Forsa, Digitization, Swift 1

Introducción

En la antigüedad se fabricaban las diferentes partes de un vehículo mediante procesos de manufactura tradicional utilizando así materiales conservadores debido a las propiedades del mismo. En Ecuador hace algunos años la fabricación de autopartes se realizaba de manera artesanal lo que demandaba muchos recursos para lograr obtener dichas partes. Hoy en día mediante el desarrollo de las nuevas tecnologías de manufactura y los diferentes materiales, es posible recrear con exactitud dichos elementos con una optimización de recursos y sin dejar de lado la calidad de los productos. Unos de los elementos que tiene gran peso en la industria de la fabricación de autopartes son los alerones para distintos tipos modelos de vehículos que existen en el Ecuador, dichas partes aseguran generar una eficiencia aerodinámica en el rendimiento del vehículo, lo que se traduce a una mayor adherencia de las ruedas en el asfalto, ahorro de combustible, velocidad punta, entre otros. En años anteriores hablar de aerodinámica, significaba hablar exclusivamente de túneles de viento y largos algoritmos matemáticos, con la aparición de las nuevas tecnologías, hoy en día es posible analizar distintas variables que en un principio eran casi imposibles de obtener, optimizando al máximo los recursos y obteniendo datos lo más cercanos a la realidad mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD), este apartado tecnológico que se utilizaría se fundamenta en la resolución de ecuaciones de forma eficaz, para ello se utilizara el modelo de turbulencia Rans $k - \epsilon$. Debido a que no necesitan recursos computacionales elevados, tal como RSM y LES (Çengel & Cimbala, 2006) A través de recursos de ingeniería inversa como es el escaneo 3D se recreará archivos CAD con un mallado bien definido, permitiendo así obtener datos y dimensiones precisas. (Munson B. R., 2009) Según el estudio de la universidad internacional del Ecuador, señala que el ángulo de incidencia en el alerón influye en la carga aerodinámica del vehículo para una mayor adherencia en los neumáticos posteriores. (Samaniego, Guerrero, & Antamba, 2019) En el uso de alerones se debe tomar en cuenta el ángulo de incidencia, debido a que si el ángulo es demasiado pronunciado afectara al avance del vehículo y como consecuencia aumentara el consumo de combustible, va a depender principalmente de la forma de alerón y del vehículo para ofrecer una menor resistencia al avance ocasionando así un menor consumo de combustible. (Agama & Jonathan, 2019) Además, En Ecuador, el software CFD se utiliza para estudios aerodinámicos de autobuses, automóviles modificados y carrocerías tanto para vehículos de turismo como para monoplazas de fórmula SAE, entre otros. (Latacunga, 2016)

El enfoque de esta investigación se basa en el estudio aerodinámico del vehículo con diferentes ejemplares de alerones a través de dinámica de fluidos computacional, para realizar una comparativa y la validación de funcionalidad de dichos elementos en función de los datos obtenidos. Por tanto, se generará modelos CAD del vehículo con cada alerón partiendo de la digitalización de cada ejemplar realizando una integración total mediante aplicaciones de diseño asistido por computadora que posteriormente se someterá a los distintos análisis CFD para obtener el coeficiente de arrastre y sustentación para cada caso posteriormente, en base a los resultados obtenidos realizar un análisis comparativo de la eficiencia aerodinámica de los distintos ejemplares. Finalmente se

seleccionará el mejor alerón en función de los datos y el análisis realizando para la fabricación del mismo a través de nuevos procesos de fabricación como es la manufactura aditiva, que actualmente se encuentra en auge debido a la optimización de recursos con respecto de procesos de fabricación antiguos o tradicionales, dando así un prototipo funcional al vehículo.

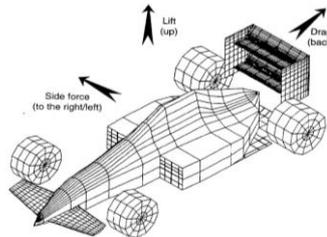
Fundamentación teórica

Fuerzas Aerodinámicas

Cuando un auto circula a una velocidad considerable de hasta 330 km/h, existen fuerzas implicadas en la aerodinámica del vehículo y esta tiene dos componentes principales las cuales son: La resistencia al avance o “Drag” dicha fuerza está expuesta en la dirección del flujo del aire impactando contra el cuerpo y sustentación o “carga” se produce de forma perpendicular al drag. y un momento de cabeceo. Estas fuerzas se fusionan entre sí como vectores para dar la fuerza aerodinámica total resultante. (Castañe, 1996)

Figura 2.1.

Denominación de fuerzas aerodinámicas.



Fuente. (Castañe, 1996)

Los modelos matemáticos que se utilizarán en el desarrollo del estudio se basan en la turbulencia del fluido y su modelamiento, a continuación, se presentan los modelos matemáticos con los que se va a trabajar en la dinámica de fluidos computacional.

RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes simulation)

$$\nabla u_i = 0 \quad \text{Ec. [2.1]}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{v \partial \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_j} \quad \text{Ec. [2.2]}$$

Donde:

\bar{u}_i = viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

ρ = densidad del fluido (kg/ m³).

v = velocidad de fluido (m/s).

\bar{p} = presión del fluido (Pa).

Dicho modelo matemático se llevará a cabo en las diferentes simulaciones de la dinámica de fluidos computacional el modelo $k-\epsilon$ permite modelar los términos tensoriales de la energía cinética k y de la tasa de disipación ϵ , adicionalmente el modelo $k-\epsilon$ se deriva de los modelos de viscosidad de turbulencia de Prandtl. (Davidson, 2003). Las ecuaciones de Navier Stokes, toman en cuenta los efectos de los arremolinamientos

en las zonas de la capa límite, lo que permite obtener una predicción adecuada del valor de las fuerzas de arrastre y de la presión generada sobre el cuerpo. Adicionalmente, los estudios actuales de la dinámica de fluidos toman en cuenta valores adimensionales para poder escalar sus análisis. (Samaniego, Guerrero, & Antamba, 2019)

Esto nos da la oportunidad de calcular y conocer la distancia adimensional a la pared (y^+), el coeficiente de arrastre (C_D) así como también el coeficiente de presión (C_p), y el coeficiente de sustentación (C_l), cabe mencionar que dichos coeficientes y modelos matemáticos son adimensionales, a continuación se presentara el modelo matemático :

Distancia adimensional a la pared

Este modelo matemático pertenece a la pared en unidades de la distancia.

$$y^+ = \frac{yu_\tau}{\nu} \quad \text{Ec. [2.3]}$$

Donde:

- u_τ = velocidad cortante de capa límite entre la superficie del vehículo y la capa límite entre el fluido (m/s).
- ν = viscosidad cinemática de la corriente de fluido (m²/s).

Coefficiente de arrastre

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho_\infty u_\infty^2 A} \quad \text{Ec. [2.4]}$$

Donde:

- C_D = Coeficiente de arrastre. (valor adimensional)
- F_D = Fuerza de arrastre (N).
- ρ_∞ = Densidad de la corriente del fluido que rodea alrededor del elemento (kg/m³).
- u_∞ = velocidad relativa del objeto en función del aire (m/s).
- A = Área frontal proyectada del vehículo (m²). (Rodríguez, 2014)

Coefficiente de sustentación

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad \text{Ec. [2.5]}$$

Donde:

- C_L = Coeficiente de sustentación. (valor adimensional)
- F_L = Fuerza de sustentación. (N)
- V = velocidad del fluido (m/s).
- ρ = densidad del fluido (kg/ m³).
- A = área de referencia o superficie alar (m²). (Crespi, 2017)

Eficiencia Aerodinámica

“Es la correlación entre el downforce y el drag. (McBeath, 1997) A continuación, se mostrará el modelo matemático.

$$f = \frac{C_l}{C_d} \quad \text{Ec. [2.6]}$$

Donde C_l : es el coeficiente de sustentación, C_d : coeficiente de arrastre.

Potencia

Es la cantidad de energía en unidad de tiempo que se necesita para mover el vehículo. A continuación, se presenta el modelo matemático de la potencia específica para vencer la resistencia aerodinámica que se opone al desplazamiento del vehículo. (Alba, 2011)

$$Pa = \frac{1}{2} C_d * \rho * A_f * v^3 \quad \text{Ec. [2.7]}$$

Donde:

- Pa: es la potencia requerida para vencer el aire. (W)
- C_d : Coeficiente de arrastre.
- ρ : es la densidad del fluido. (kg/m^3)
- A_f : área frontal del cuerpo perpendicular al movimiento del flujo del fluido. (m^2)
- v : es la velocidad del viento. (m/s).

El análisis de todas estas ecuaciones ya mencionadas con anterioridad son un papel fundamental para el estudio aerodinámico, debido a que estas fuerzas influyen en la generación de estabilidad y una mayor adherencia al vehículo cuando se encuentra en movimiento.

Materiales

Para la realización de este estudio se procede a utilizar herramientas fundamentales que nos facilitaran el desarrollo de la investigación:

El vehículo de marca Suzuki modelo Forsa 1

Este vehículo ha marcado y sigue marcando historia en el deporte tuerca en el Ecuador y Colombia, ya sea en rally o en circuito, y hasta el día de hoy tiene participación en las carreras.

Ficha técnica del vehículo Suzuki Forsa 1

Donde se hallará todas las dimensiones del automóvil para corroborar todas las mediciones una vez que el vehículo haya pasado a ser un archivo CAD.

Tabla 3.1. Ficha técnica de Suzuki Forsa 1.

Suzuki Forsa 1 (1983 – 1989)	
Motor y datos técnicos	
Motor	3 en Línea
Combustible	Gasolina

Alimentación	Carburador Aisan 2V
Situación	Transversal
Cilindrada	993 cm ³
Sobrealimentación	N/A
Potencia	50 PS or 49 bhp or 37 kW @ 5800 rpm
Par máximo	75 Nm or 55 Lb.ft @ 3600 rpm
Velocidad Máxima	145 km/h
Dimensiones, aerodinámica y peso	
Num. de Puertas	3
Batalla	224 cm
Longitud	358 cm
Anchura	153 cm
Altura	135 cm
Coefficiente CX	-
Peso	675 kg
Relación	13.5 kg/hp
Peso/Potencia	

Fuente. (ultimatespecs, 2005)

Alerones comerciales.

Dichos elementos serán la variable para cada análisis aerodinámico comparativo. Estos alerones se ubican en la parte posterior del vehículo, son fabricados con fibra de vidrio y resina poliéster. Generalmente son fabricados en talleres artesanales de enderezada y pintura.

Escáner 3D “Sense” 1era generación.

Se trata de un escáner portátil, que puede escanear objetos en las tres dimensiones con una precisión de 0.9mm a 50 cm de distancia. (3Dnatives, 2019) Dicho es el encargado de transformar un objeto físico a un objeto digital a través de fotogramas y una nube de puntos, el cual puede digitalizar objetos pequeños, grandes, hasta personas. A continuación, se presenta las características de este equipo.

Tabla 3.2. Características del Escáner 3D Sense.

Fabricante: 3D Systems	Precisión (mm) : 0.9
Tecnología: Luz estructurada	Escaneo a color: NO
Dimensiones (mm): 178 x 129 x 330	Formatos exportables: Stl, Obj, Ply
Tamaño Max (mm): 3000 x 3000	Software: 3D Sense
Peso (kg): 1	Compatibilidad de sistema operativo: Windows, Mac
Resolución (mm): 1	Energía: 2.25w

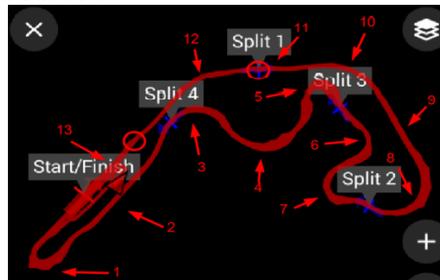
Fuente. (3Dnatives, 2019)

Autódromo internacional de Yahuarcocha.

Lugar donde se realizan las pruebas. Se toma en cuenta la información obtenida del estudio de (Samaniego G. , 2018). Donde indica las diferentes velocidades en las distintas secciones de la pista. Como se muestra en la figura y tabla.

Figura 3.4

Zonas del circuito de Yahuarcocha.



Fuente (Samaniego G. , 2018)

Tabla 3.2. Velocidades anti horario Suzuki Forsa 993 cc en autódromo de Yahuarcocha.

Sección del circuito	Descripción	Velocidad máxima (km/h)
1	Curva 1 izquierda (curva lenta)	49,2
2	Recta 1	116,1
3	Curva 2 derecha (curva rápida)	91
4	Curva 3 izquierda (curva rápida)	102,5
5	Curva 4 derecha (curva lenta)	59,6
6	Curva 5 derecha (curva lenta)	69,4
7	Curva 6 izquierda (curva lenta)	71,5
8	Curva 7 izquierda (curva rápida)	93,4
9	Recta 2	107,3
10	Curva 8 izquierda (curva rápida)	115
11	Recta 3	117,9
12	Curva 9 izquierda (curva rápida)	123,6
13	Recta 4	133,2
Velocidad promedio		105,1

Fuente. (Samaniego G. , 2018)

El Software CAD Fusión 360 (versión estudiantil).

El programa ayudará a transformar el vehículo con los distintos alerones en modelado CAD, o modelos digitales. (Autodesk, 1999)

Software Ansys “FLUENT” (versión estudiantil).

El programa ayudará a realizar varios análisis aerodinámicos y estructurales, con las distintas variables, tratando así de acercarse a la realidad y generar resultados satisfactorios. (Ansys, 1970)

Software de laminación “Ultimaker Cura” (Software libre)

Dicho programa se encargará de realizar la laminación capa por capa del objeto y la configuración de parámetros que se requiere para la impresión y se encargará de transformar de un modelo CAD a un Código G.

Impresora 3D “Ender 3 v2”.

La máquina se procederá a realizar las distintas impresiones de las secciones del alerón.

Bobinas de filamento.

Material que se va a utilizar para la fabricación de la pieza, se elegirá un polímero que es bastante común en el mundo de la impresión 3d. En este caso se optó por el material “Pet G” basándonos principalmente en la facilidad de impresión y las propiedades mecánicas de dicho material. A continuación, se presentará las propiedades de impresión y propiedades mecánicas.

Tabla 3.3. Propiedades de impresión del Pet G.

Cualidad	Pet G
Facilidad de impresión	Alta
Temperatura de extrusión (°C)	225-245
Temperatura de cama caliente (°C)	60-90
Potencia del ventilador (%)	100
Adhesión entre capas.	Alta

Fuente. (ABAX, 2018)

Tabla 3.4. Propiedades mecánicas del Pet G.

Cualidad	Pet G
Densidad (g/cm³)	1,27
Resistencia a la tracción (MPa)	Media – Baja :50
Resistencia a la flexión (kg/cm²)	Media: 700
Resistencia al impacto (KJ/m²)	Media: 105
Temperatura de deformación	Alta: 85
Resistencia UVA y humedad	Buena
Reciclabilidad	Buena

Fuente. (ABAX, 2018)

Métodos

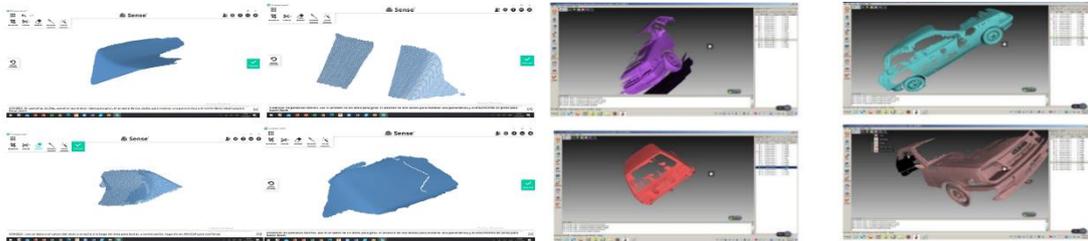
Utilizamos cuatro métodos para este estudio, los cuales se expresan a continuación. El primer método es el muestreo con esta metodología se recopilará toda la información requerida tanto en fichas técnicas, libros, manuales de fabricante y digitalizaciones para confirmar todas las dimensiones tanto teóricas como prácticas. Como segundo método a utilizar es el denominado “método comparativo” el cual permitirá realizar análisis y obtener resultados de cada uno de los casos de manera esquemática y numérica. El tercer método es el matemático para la validación de datos y distintos tipos de resultados de manera aproximada, como pueden ser deducciones numéricas, realizando así cálculos matemáticos, los que ayudaran a dar más fuerza a la validación del alerón que se encuentre con una mejor eficiencia aerodinámica y resultados gráficos para la comprensión del comportamiento del aire al momento de impactarse con el vehículo para cada caso. Una vez que se ha determinado el alerón con mayor eficiencia se procederá con el cuarto y último método el cual es el experimental con el cual se busca prototipar el alerón con mejor aerodinámica. cumpliendo así los objetivos planteados en un principio.

La técnica que se usará dentro del primer método es el escaneo 3D tanto para los alerones como para el vehículo. transformando un elemento físico a un elemento digital

CAD, en el cual se puede diseñar y ensamblar distintos componentes entre sí. Como se muestra en la figura 4.1.

Figura 4.1.

Digitalización de los diversos tipos de alerones /Digitalización de vehículo Suzuki Forsa 1.



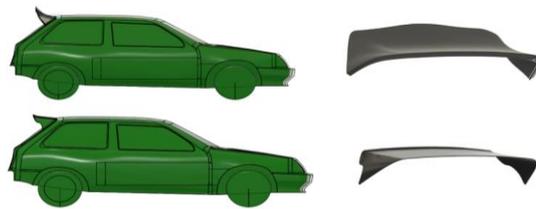
Fuente. Murillo (2022) / (Samaniego G. , 2018)

Una vez digitalizados los elementos, se procede a la reconstrucción y corrección de fallas en los escaneos. De modo que se utiliza el software de diseño “Fusión 360” ya que tiene un buen desempeño con archivos de mallas. Como se muestra en la figura 4.2. Se toma como referencia al vehículo del estudio realizado por (Samaniego G. , 2018). Debido a que el modelo del vehículo es el mismo que se está analizando en este trabajo de investigación.

Una vez, reconstruidos y ensamblado los elementos, el siguiente paso es realizar las mediciones para constatar las dimensiones entre el escaneo 3d y las medidas tomadas a mano con herramientas de medición.

Figura 4.2.

Modelación, reconstrucción y corrección en CAD para vehículo Suzuki y alerones.



Fuente. Murillo (2022)

Tabla 4.1.

Comparación de medidas de escáner 3D vs medidas tomadas a mano.

		Dimensiones escaneadas (mm)	Dimensiones a mano (mm)	Error (%)
Alerón 11°	Largo	1139,6	1134	±1%
	Ancho	276,16	280,2	±1%
	Espesor	3,87	3,57	±10%
Alerón 30°	Largo	1089,63	1082	±1%
	Ancho	247,2	270	±10%
	Espesor	14,65	13,45	±10%

Fuente. Murillo (2022)

Como se muestra en la tabla 4.1. Se obtiene las dimensiones con el escáner 3d versus las medidas realizadas a mano con herramientas de medición, las medidas se

realizaron en función del largo, el ancho y el espesor. En virtud de ello las digitalizaciones se generaron en bruto lo cual se arregló en el software CAD para llegar al diseño final.

los resultados tiene una diferencia en las medidas existe un error del $\pm 1\%$ y una diferencia de medidas con un error del $\pm 10\%$ aproximadamente. En el error del más bajo porcentaje no habría un problema como tal ya que varía décimas y milésimas de milímetro el cual es tolerable para el propósito del prototipado y del estudio como tal. ahora, el porcentaje más alto se divisa una divergencia considerable en la cual influyen factores como las limitaciones del escáner y software, técnicas de escaneo deficientes. Ahora bien, para mejor y tener una correlación en las dimensiones se optaría por un rediseño del alerón corrigiendo las medidas en la cual tiene un alto porcentaje de diferencia basándose en la nube de puntos y en las dimensiones correctas para que las tres dimensiones tanto digitales como físicas tengan similitud y un error de porcentaje bajo.

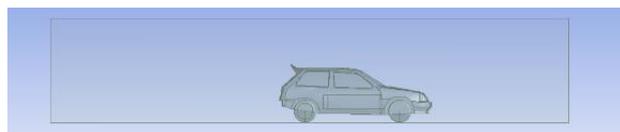
Consiguientemente, la técnica que se usa para el segundo método es el análisis de fluidos computaciones mediante el software “Ansys Fluent” versión estudiantil. debido a que es uno de los softwares CAE más utilizados en la industria automotriz. Para ello se seguirá cronológicamente distintas fases que se requieren para realizar las simulaciones y la obtención de resultados fiables. A continuación, se presenta las fases.

Pre-procesamiento (fase 1)

En esta fase se define el dominio computacional, se debe configurar una distancia de tres vehículos en la sección frontal y cinco en la sección posterior. (Lanfrit, 2005) esta variable es el entorno donde va a fluir el flujo de aire (túnel de viento) . Como se muestra en la figura 4.3.

Figura 4.3.

Creación de dominio computacional.



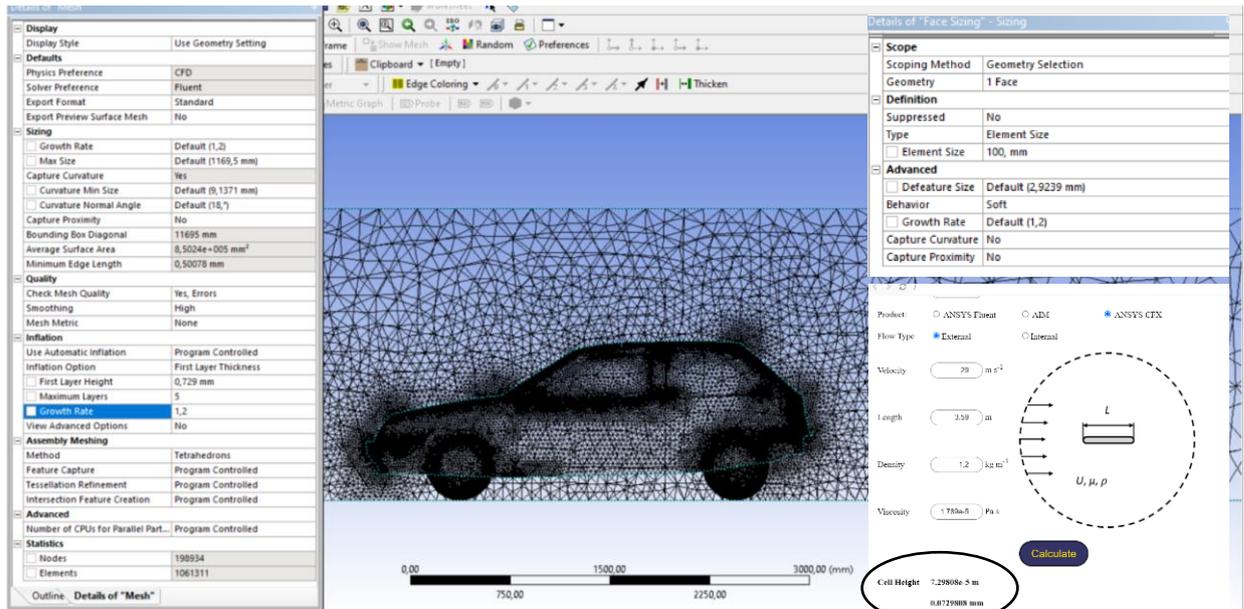
Fuente. Murillo (2022)

Para el mallado se utiliza la técnica de simetría, de esta forma se tendrá un ahorro de recursos computacionales. (Mustafa, 2012).

En la opción de “Size” se configura el tamaño de la malla, la curvatura y proximidad, el suavizado “Alto”, el grueso y la tasa del incremento del 20% (Lanfrit, 2005), pero para obtener resultados lo más cercanos a la realidad se utilizó un “Elemento Size” de 100mm (Mustafa, 2012). Una variable muy importante a definir es el mallado, por tanto, se debe calcular la distancia adimensional a la pared “y+”. para poder calcular la altura de celda de la pared adimensional, se utiliza la aplicación de “calculador de altura de celda” con la configuración de datos dependiendo del módulo CFD que se va a utilizar. Como se muestra en la figura 4.4.

Figura 4.4.

Instalación de túnel de viento / valor de celda en función de y⁺.



Fuente. Murillo (2022)

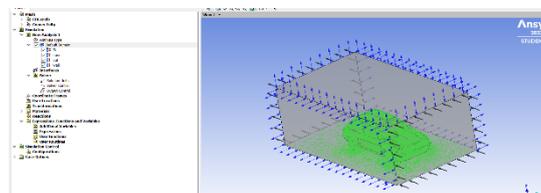
Procesamiento (fase2)

En dicha etapa se delimita las configuraciones para el túnel de viento, como:

- El modelo de turbulencia que en este caso se ha elegido el modelo de turbulencia RANS k-ε. Según Davidson, P “dicho modelo permite calcular los complejos términos tensoriales de la energía cinética k y la tasa de disipación ε. [8]
- La definición de la condición de frontera: entrada, salida, paredes y vehículo de nuestro túnel de viento,
- La velocidad a la cual el fluido va a circular, en este caso el valor con el que se trabajara es de 105 km/h lo que es igual a 28m/s, (Samaniego G. , 2018)
- El cálculo de iteraciones que realiza el computador.

Figura 4.5.

Configuración de túnel de viento.



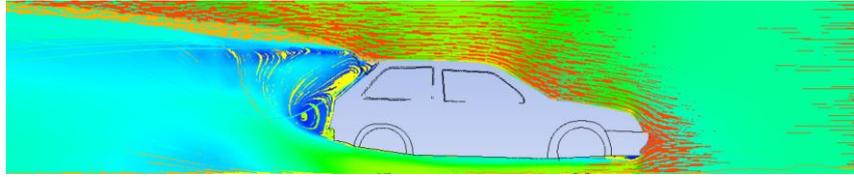
Fuente. Murillo (2022).

Post-procesamiento (fase3)

En esta fase se obtienen los resultados de forma numérica para una mayor comprensión de los datos obtenidos en cada simulación y de manera gráfica para entender el comportamiento del fluido al impactar con el vehículo. Como se muestra en la figura 4.6.

Figura 4.6.

Resultados de manera gráfica.



Fuente. Murillo (2022)

Una vez que se ha determinado el alerón con mayor eficiencia se procederá a aplicar el cuarto método que es el experimental de tal manera se utilizará la técnica de manufactura aditiva de tipo FDM, el cual se basa en fundir y depositar al mismo tiempo un cordón de plástico capa tras capa hasta formar el objeto deseado. Para dicho tipo existe una extensa variedad de polímeros en el mercado y algunos en desarrollo aún. Los materiales más comunes en la manufactura aditiva es el PLA, PET G y ABS.

Tabla 5.2

Características de materiales usado comúnmente en la manufactura aditiva por FDM.

Material	Característica
PLA: Ácido Poliláctico. plástico biodegradable derivado del almidón de maíz	<p>Ecológico y Rapidez de impresión</p> <p>La resistencia al calor es escasa por lo que se funde a partir de los 60°C.</p> <p>Quebradizo y propiedades mecánicas bajas.</p>
PET: Tereftalato de Polietileno comúnmente usado en botellas y recipientes plásticos	<p>Plástico ideal para el contacto d alimentos.</p> <p>Propiedades mecánicas buenas, flexible y resistente al calor</p> <p>La desventaja es sensible a la humedad.</p>
ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno. Termoplástico derivado del petróleo, material usado en objetos plásticos (piezas de lego)	<p>Propiedades mecánicas buenas, poco flexible.</p> <p>Soporta temperaturas desde – 20°C hasta 80°C</p> <p>Desventajas: No es biodegradable, sensible a la deformación y contracción al momento de imprimir, emite humos nocivos.</p>

Fuente. (ABAX, 2018).

Para obtener un prototipado de excelente calidad se toma en cuenta 5 variables que al trabajar en conjunto forman un proceso eficaz en la fabricación y prototipado de objetos mediante manufactura aditiva.

Figura 4.7

Variables y etapas de prototipado.



Fuente: (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018)

La primera variable es tener una idea de un objeto para satisfacer una necesidad, en consecuencia, se tomará en cuenta, el objetivo de la pieza, la funcionalidad, las dimensiones y hasta el material en el cual se quiere prototipar. Como segunda variable es el diseño 3D, en el cual se plasmará la idea en bocetos 3d que tengan la capacidad de exportar archivos en formato STL. la tercera variable es la “laminación o slicing” para ello se necesita un software especializado que procesé los archivos y pueda transformarlos

de STL a un código G. Para esta variable hay que realizar una serie de acciones y configuraciones según las necesidades del prototipado y de la persona quien lo configure. Para saber cuánto tiempo se demorará una impresora 3D en fabricar un objeto, hay que tomar en cuenta distintos factores que define la velocidad y calidad.

- **Tamaño del objeto:** tomar en cuenta la dimensión de la figura a imprimir, entre más sencilla y pequeña el tiempo de fabricación será menor.
- **Dificultad del objeto:** existen figuras o elementos que tienen formas, curvas complejas lo que hará que el elemento se tarde más tiempo en fabricar.
- **Altura de capa:** Cuanto más delgada sea la altura de la capa, más fina quedará la impresión 3D, por el contrario, entre más gruesa sea, mucho más tosco será el resultado final. Aquí entra un factor muy importante que es el diámetro de la boquilla, ya que de esto dependerá en reducir o incrementar el tiempo de impresión.
- **Relleno del objeto:** En función de la pieza que se vaya a crear, puede que tenga mucho relleno, y, por lo tanto, necesite más tiempo. O, por el contrario, puede que sea una figura hueca y el tiempo sea mucho inferior.

Una vez que se tomen en cuenta todas estas variables se procede al prototipado del alerón.

Resultados y discusión

Una vez obtenidos todos los resultados tanto numéricamente como gráficamente se procede a la tabulación, de manera que se tomará como referencia los valores de datos del vehículo sin alerón y del vehículo con un alerón de 15° y de 20° de estudios previos realizados en la UIDE, que ocupará las tres primeras filas.

Tabla 5.1.
Resultados de simulaciones en Ansys "Fluent"

	Downforce (N)	C_l	Drag (N)	C_D	Eficiencia aerodinámica
Vehículo stock	-90,01	-0,12	186,94	0,26	0,6:1
Vehículo + alerón de 15°	-339,726	-0,47	243,06	0,33	1,42:1
Vehículo + alerón de 20°	-348,847	-0,48	252,04	0,34	1,38:1
Vehículo + alerón de 11°	-339,844	-0,46	249,86	0,34	1,36:1
Vehículo + alerón de 30°	-412	-0,54	324,66	0,43	1,37:1

Fuente: Murillo (2022)

Ahora bien, se analiza los alerones con el ángulo de 11° y de 30°, los mismos ofertan en el país. Como se muestra en la tabla 5.2 de los resultados el alerón de 11° presenta una mayor carga aerodinámica que el alerón de 15°, esto se debe principalmente a las diferencias de área que existen en los alerones. Como se muestra en la tabla 5.2. Ya que al existir una mayor área será directamente proporcional la fuerza de sustentación negativa que se creará.

Tabla 5.2

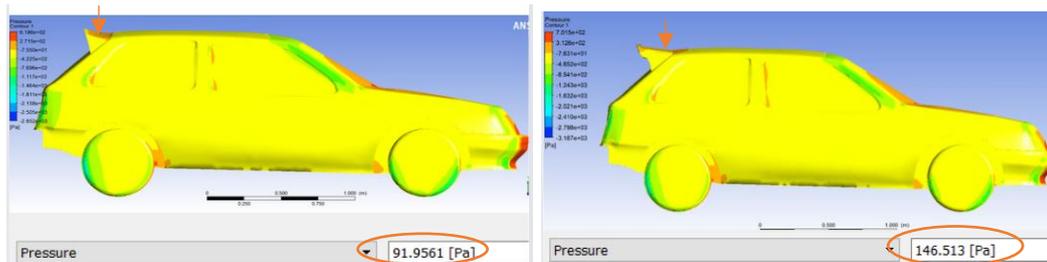
Cálculo de la fuerza en función del alerón y presión de los alerones.

	Presión (Pa)	Área (m ²)	Fuerza (N)
Alerón 15°	91,96	0.172	15,82
Alerón 11°	146.51	0.243	35,60

Fuente: Murillo (2022).

Figura 5.1.

Diferencia de presiones del alerón de 15° y alerón de 11.



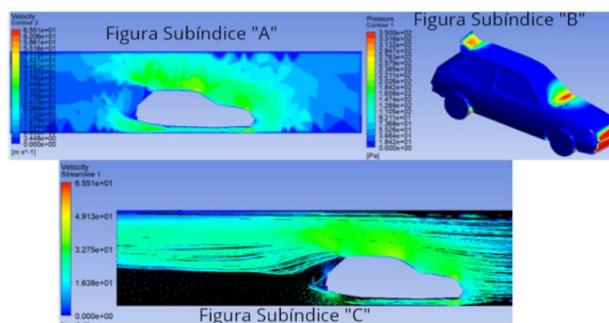
Fuente. Murillo (2022)

El alerón que se ha elegido por ser más eficiente es el alerón de 30° debido a varios factores, el primero el coeficiente de arrastre dicho alerón tiene un coeficiente de arrastre de 0.43 dicho valor se encuentra dentro del rango de los coeficientes prácticos, un coeficiente, según Samaniego “el coeficiente práctico específicamente del automóvil al que se está sometiendo a pruebas es de 0.38”, lo que significa que el vehículo tendrá un 13% adicional de oposición al flujo del aire en el momento de tomar una recta. Como segunda característica lo que se busca en un vehículo de competencia y sea veloz y aerodinámico a la vez para ello el alerón de 30° genera una carga aerodinámica de -412 N en el tren posterior, lo cual en las curvas será menos propenso al sobre viraje, y evitando así realizar trompos o pérdidas de pista y generando mucho más agarre los neumáticos sobre el asfalto y teniendo una estabilidad en las curvas rápidas y lentas del circuito de Yahuarcocha, compensando el tiempo penalizado en las rectas.

Los resultados gráficos, se analizará las figuras 5.2 con subíndices A, B y C para comprender de mejor manera como es que se comporta el aire cuando entra en contacto con el vehículo.

Figura 5.2.

Resultados gráficos obtenidos en las simulaciones CFD.



Fuente. Murillo (2022)

Figura subíndice “A” podemos observar la velocidad del flujo del aire cuando pasa por la carrocería del automóvil y constatar que valor numérico se encuentra en la diferentes secciones o partes de la carrocería, usualmente se lo compara la velocidad de la parte superior con la parte inferior del vehículo, ya que si el aire pasa con una mayor velocidad en la parte inferior de la carrocería la sección superior tendrá más presión vertical lo que se traduce a mayor carga aerodinámica.

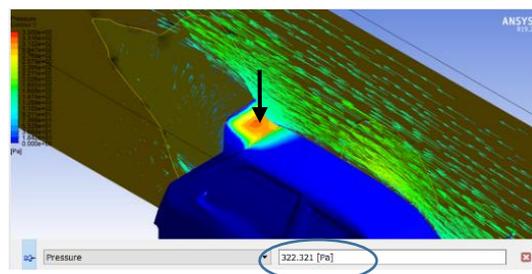
Figura subíndice “B” se observa la concentración de presión que ejerce el viento de forma horizontal en el vehículo, como se puede observar la mayor concentración es en el parachoques delantero, en la zona entre el parabrisas y el revestimiento del capó fijo, en los neumáticos y alerón. Donde se encuentra un mayor volumen de presión es en la parte del guardachoque debido a que la primera parte del vehículo que interfiere con el flujo horizontal del aire.

Figura subíndice “C” se observa mediante líneas de corriente como fluye el flujo del aire a través del vehículo. En la parte frontal del auto se encarga de dividir el aire que fluirá tanto por la parte superior como inferior del mismo, el flujo en la parte superior se comporta de forma laminar hasta llegar a la parte posterior del vehículo, el cual reordena todos los flujos de aire, y eliminando en su mayoría vórtices, que contribuyen con retención al avance, en este caso al tener un alerón se va a generar muchos más vórtices en la parte del parabrisas que une el techo y el maletero, lo que se traduce a una succión y por ende existirá una mayor resistencia al avance.

Una vez obtenidos todos los resultados y realizado el análisis correspondiente pasaremos a la etapa del prototipo, en la figura 5.3. Se observa la distribución de presiones que influyen sobre el vehículo con distintos tonos de colores. Las secciones de color rojo significan presiones máximas, colores amarillo y naranja son presiones medias y el color azul significa presiones mínimas. En virtud de ello se toma como referencia el valor máximo de la presión que influye únicamente en la parte de la superficie del alerón (322.32 Pa) como fundamento en la simulación estructural del alerón.

Figura 5.3.

Distribución de presión alrededor del vehículo.

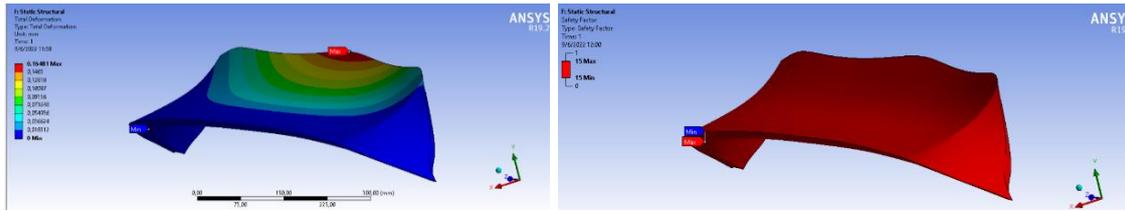


Fuente. Murillo (2022)

Como siguiente paso, se somete el alerón de 30° a un análisis estructural, para verificar que si es viable la fabricación con el tipo de modelo y el tipo de material que se utilizará, es el polímero “Pet”, consiguientemente se realizan los procedimientos para obtener los resultados de nuestro análisis estructural, el cual se muestra a continuación en la figura 5.4.

Figura 5.4.

Deformación total del alerón. / Valor de Factor de seguridad.



Fuente. Murillo (2022)

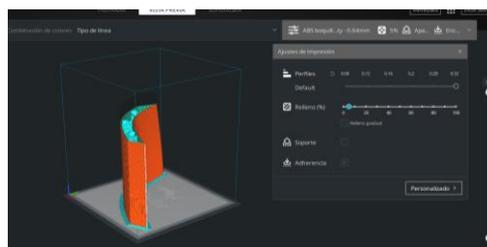
Una vez obtenido los resultados de los análisis el tipo de modelo y estructura del alerón, no presenta ningún problema con respecto de la carga aerodinámica obtenida de los análisis CFD. La deformación máxima se encuentra en el rango de 0.16mm y el valor mínimo de factor de seguridad se encuentra en 15, el cual nos indica que el elemento está sobredimensionado. El factor de seguridad es un factor de diseño que nos permite saber el sobredimensionamiento, ya sea en dimensiones, material del elemento y que garantiza que no fallara a las cargas que va a estar sometida. La condición del coeficiente mínimo de seguridad debe ser ≥ 1 . Para que nuestro objeto no fracase. En este caso para reducir el factor de seguridad se por un rediseño del alerón en el grosor del mismo, haciéndolo más delgado, de esta forma reduciríamos el factor de seguridad.

La tecnología utilizada para el prototipado es la manufactura aditiva por FDM (Modelado por Deposición Fundida). y el material elegido en este caso será el polímero Pet-G debido a sus buenas propiedades mecánicas y propiedades amigables con el medio ambiente. Como siguiente paso se prepara y configura el perfil de impresión basándose en la orientación, calidad, temperatura, velocidad y tipo de material, diámetro de boquilla con el cual se va a imprimir. Como se muestra en la figura 5.5.

El prototipado del alerón mediante impresión 3d se lo realiza por fundición de un plástico capa por capa hasta conseguir el elemento deseado y en tiempos de producción aceptable.

Figura 5.5.

Laminación de partes del alerón.



Fuente. Murillo (2022)

Tabla 6.3. Perfil de impresión

Medida de Nozzle (mm)	0.8
Altura de capa (mm)	0.64
Grosor de paredes (mm)	3.6
Recuento de líneas de pared	4
Capas superiores e inferiores	4
Densidad de relleno (%)	25
Patrón de relleno	concéntrico
Temperatura de impresión (°C)	215

Temperatura de placa de impresión (°C)	75
Velocidad de impresión (mm /s)	40
Refrigeración (%)	100
Adherencia a la placa	Borde

Fuente. (Murillo 2022)

Figura 5.6.

Proceso de prototipado mediante manufactura aditiva.



Fuente. (Murillo 2022)

Conclusiones

- Al aplicar la digitalización en 3d del vehículo y de los distintos modelos de alerones se constató que la resolución de elementos está en el rango de ± 6.5 mm en función de las dimensiones de la carrocería y de los alerones, lo cual para este trabajo resultó favorable ya que existe una correlación de los datos del fabricante del auto y del levantamiento de medidas que se realizaron con las dimensiones obtenidas en el escaneo, además, permitió optimizar recursos en comparación del modelado CAD tradicional, dando así una figura CAD lo más cercano a la realidad en un menor tiempo. Para digitalizar cualquier tipo de objetos se debe tomar en cuenta el color de los mismo, ya que, si el color es negro o semejante, el escáner no digitalizar correctamente y habrá fallas en el escaneo, para lo cual, se debe utilizar colores como el gris o blanco mate. Así se maximizará el escaneo y se obtendrá mejores resultados. Por lo que para escanear elementos a un volumen mayor de 45cm es muy dificultoso escanear.

- La variación del ángulo de ataque del alerón el área superior del alerón, juegan un papel fundamental en la generación de carga aerodinámica, así como la resistencia al avance, principalmente esto va a depender del tipo de circuito en el que se vaya a competir. El alerón de 11° que produce una fuerza de -339.84 N con una área de contacto de 0.243 m^2 y el alerón de 15° genera una fuerza vertical de -339.726 N con una área de 0.172 m^2 lo que se llegó a la conclusión de al tener una mayor área de contacto con la fuerza vertical y generara un mayor Downforce.

- En este caso se ha seleccionado el alerón de 30° debido a que tiene un excelente Down force y una buena eficiencia aerodinámica, lo que se traduce a un vehículo de carreras con una mayor estabilidad y firmeza en las curvas de los circuitos sin tomar en cuenta pérdidas de pista o de maniobras tengan consecuencias de abandono del mismo.

- El criterio que se suele utilizar en el “el coeficiente de arrastre es al acercarse más al valor 0 tiene una menor resistencia al avance” y como consecuencia el vehículo tendrá un consumo excesivo de combustible, adicionalmente el motor hará menor esfuerzo para vencer el flujo de aire al momento de circular, en este caso el vehículo con el alerón de 11° tiene un $C_d = 0.33$ lo que indica el impacto del aire con el vehículo no afectara al rendimiento del vehículo en pista, ahora el alerón de 30° tiene un $C_d = 0.43$ que se traduce a un porcentaje mayor de acarreo en función del coeficiente de arrastre del alerón de 11° , cuando el vehículo entre en contacto con el aire pero no será del todo lento, porque se encuentra dentro del rango de coeficiente de arrastre de un vehículo de turismo normal que es de $C_d = 0.45$. Las carreras de automóviles se ganan en las curvas, a esto me refiero que el vehículo que frene menos en las curvas y tenga una excelente estabilidad podrá compensar los tiempos que pierde en las rectas.

- Si bien en cierto la fabricación de accesorios de carrocería de vehículos se hace de manera artesanal y el levantamiento de medidas en función de la perspectiva del ojo humano muchas de las veces dichos accesorios no aportan en el performance del vehículo, más bien lo afectan. Ahora con el uso de las nuevas tecnologías de la ingeniería la fabricación y prototipado de accesorios de vehículos va a aportar al desempeño del automóvil, ya que los elementos al estar diseñados y analizados bajo normativas y programas de alto desempeño el elemento se produce tal cual como se lo plantea de forma digital sin dejar de lado la calidad y los procesos de ingeniería que se encuentran de tras de la pieza.

- El uso de la manufactura aditiva ayuda al prototipado rápido sin desperdiciar material oficial para la fabricación de piezas y se recorta el tiempo de producción.

Referencias

3Dnatives. (22 de 02 de 2019). *3D Natives, el sitioweb de la impresión 3d*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/3D-compare/es/escaneres-3d/sense/>

ABAX. (15 de 05 de 2018). *ABAX*. Obtenido de ABAX: <https://abax3dtech.com/2020/12/15/pla-y-petg-caracteristicas-diferencias-y-aplicaciones/>

Agama, R., & Jonathan, G. (2019). *“Diseño de un alerón trasero para un automóvil*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Alba, M. (2011). *Metodología de obtención de los coeficientes de sustentación y arrastre para un rango amplio de números de Reynolds y ángulos de ataque para aplicaciones en turbinas eólicas*. Bogotá: Universidad America .

- Anderson, J. D. (2010). *Fundamentals of Aerodynamics*. New York : McGraw-Hill Education - Europa.
- Ansys. (- de - de 1970). *Ansys Fluent*. (Ansys) Recuperado el 20 de 03 de 2022, de <https://www.ansys.com/>
- Autodesk. (20 de 09 de 1999). *Autodesk Inventor*. (Autodesk) Recuperado el 20 de 03 de 2022, de <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- BARNARD, R. (1996). *Road Vehicles Aerodynamic Design*. Longman.
- Bayona, C., Londoño, L., & Nieto, E. (2015). *Identificación del modelo de turbulencia más adecuado, utilizando software de dinámica de fluidos computacional, para el diseño del vehículo urbano de la competencia Shell Eco Marathon*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura .
- Bergua, D. X. (2015). *Análisis CFD aerodinámico de "JukeNismo" con recursos de MareNostrum y CSUC. Diseño de alerón trasero para las "24SERIES"*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Bertin, J. J., & Cummings, R. M. (2013). *aerodynamics for Engineers*. New York: Pearson.
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, A. (2018). *Diseño e impresion de objetos 3D*. Paraguay: Unipe Editorail Universitaria.
- Campos, L. R. (2008). *Diseño de un alerón de un vehículo de competición*. castelldefels: TFC-E.T.S INGENIEROS AERONAUTICOS.
- Carrillo, J. M., & Castillo, L. G. (2015). *Consideraciones del mallado aplicadas a cálculo de flujos bifásicos con las técnicas de dinámica de fluidos computacional*. Escuela de Ingeniería de Caminos y de minas .
- Castañe, J. (1996). *El Equipo de Competición*. Madrid: CEAC S.A.
- Cebeci, T. (2004). *Modelos de turbulencia y su aplicación. Métodos numéricos eficientes con programas de computadora*. Berlín: Springer.
- Çengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones*. Mexico: McGraw Hill.
- Crespi, L. R. (2017). *Mejoras aerodinámicas en un turismo convencional*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Crowe, C. T., Donald F, E., & Roberson, J. A. (2009). *Mecanica de Fluidos Ingenieria*. Mexico D.F: Ceca.
- Davidson, P. (2003). *Turbulence : an introduction for scientists and engineers*. New York: Oxford University Press.
- Elhadi, G., Ali, J., & Evangelos, K. (2012). *Mallado Estrategias para la Predicción Precisa el Rendimiento Aerodinámico*. SAE International.
- García Alejandro, A., Gutiérrez, T. C., Jiménez, B. J., & López, A. J. (2011). *SIMULACIÓN DE GRANDES REMOLINOS DEL FLUJO SOBRE UN CILINDRO (RE=1.4E+5)*. San Luis de Potosí: LABINTHAP – SEPI – ESIME – IPN.

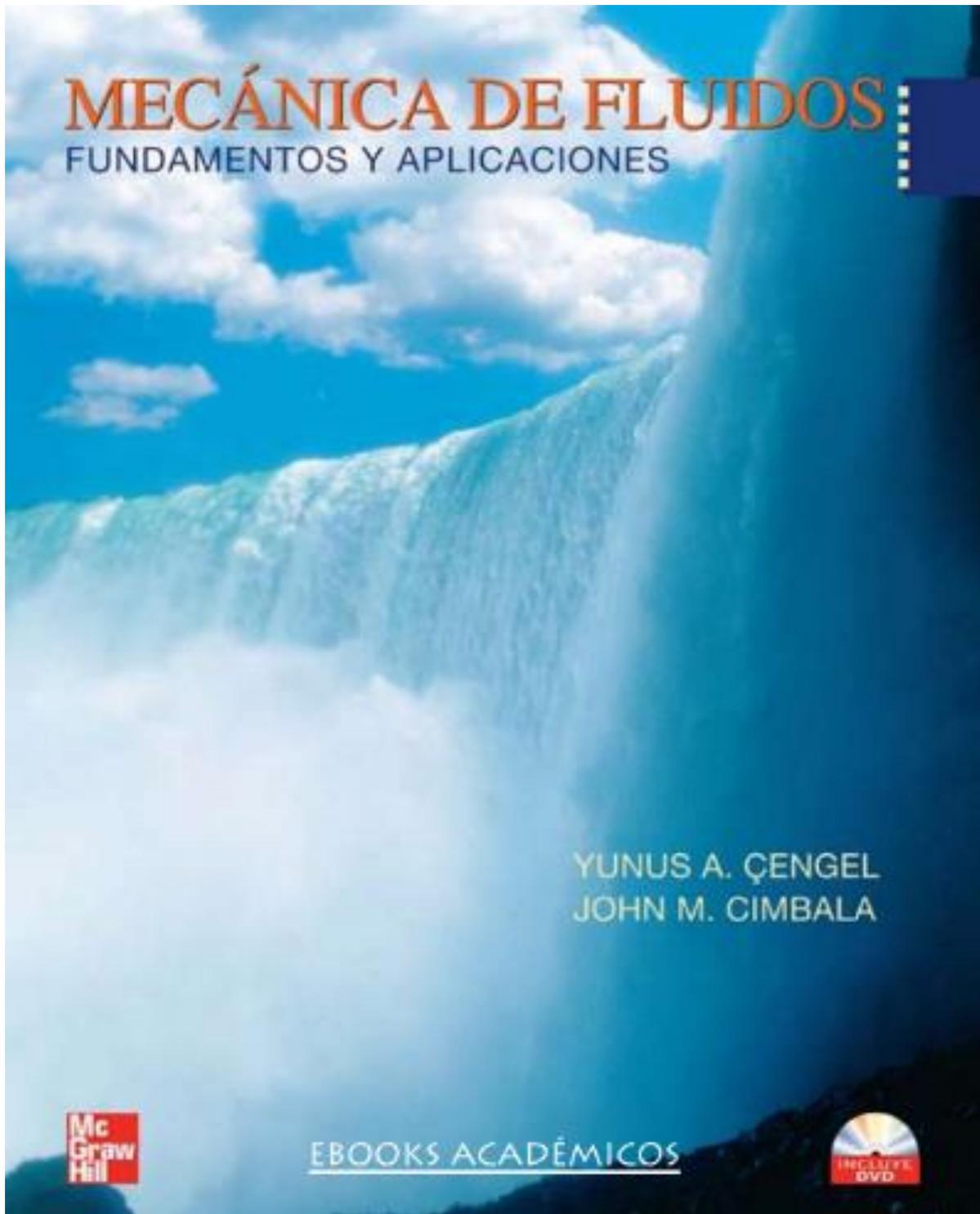
- Gil, G. J. (2013). *Diseño conceptual y análisis CFD del alerón trasero de un automóvil tipo sedan*. Mexico, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Gilhaus, R. H. (1998). *Directional stability, aerodynamics of road vehicles*. Pennsylvania: SAE International.
- Hucho, W.-H., Gilhaus, A., & Hoffman. (1998). *Aerodynamics of a Road Vehicle*. USA: SAE International.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2009). *Modelado por Deposición Fundida - Principio de Funcionamiento*. INTI.
- Katz, J. (1995). *Race Car Aerodynamics*. Massachusetts: Bentley Publishers.
- Lanfrit, M. (2005). *Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT*. Fluent Deutschland GmbH.
- Latacunga, F. (2016). *Aplicación del método de volúmenes finito para determinar la influencia del parabrisas y capot de tres vehículos sedan en el comportamiento aerodinámico*. Riobamba.
- Martínez, A. C. (2019). *Diseño y cálculo estructural del alerón trasero de un vehículo deportivo*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- McBeath, S. (1997). *Aerodinámica del automóvil de competición*. Dorchester: Veloce Publishing Ltd .
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos* . Mexico : Pearson Educación.
- Munson, B. R. (2009). Fundamental of Fluids Mechanics. En *Fundamental of Fluids Mechanics* (págs. 96-103). John Wiley & Sons, Inc.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). *Elementary Fluid Dynamics - The Bernoulli Equation*. John Wiley & Sons, Inc.
- Mustafa, C. (2012). *ESTUDIO CFD SOBRE EFECTOS AERODINÁMICOS DE UN REARWING / SPOILER ON*. Santa Clara, California : Universidad de Santa Clara .
- Obidi, T. Y. (2014). *Theory and applications of aerodynamics for ground vehicles*. SAE.
- Ortiz, A. P. (2019). *Diseño aerodinámico del alerón trasero para el Chevrolet Sail S3*. Quito: Universidad Intenacional SEK.
- Peter, D. (2003). *Turbulence: An Introduction for Scientists and Engineers*. New York: Oxford University Press.
- Piomelli, U. (2021). *Large eddy simulations in 2030 and beyond*. Ontario: royalsocietypublishing.
- Qu, S., Shengnan, L., & Ong, M. C. (2021). An evaluation of different RANS turbulence models for simulating breaking waves past a vertical cylinder. *ScienceDirect, 1*, 13.
- Rafael, C. L. (2016). *Mejoras aerodinámicas en un turismo convencional*. Barcelona: ETSEIB.
- Rodríguez, C. (04 de 08 de 2014). *Technical Courses*. . (Cursos Técnicos) Recuperado el 22 de 10 de 2021, de http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

- Rojo, L. M. (2016). *Docplayer*. Recuperado el 3 de 11 de 2021, de <https://docplayer.es/19100006-Ecuaciones-de-navier-stokes-fenomenos-turbulentos.html>
- Samaniego, G. (2018). *DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN ALERÓN PARA APLICACIÓN AUTOMOTRIZ CON MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER CON REFUERZO DE FIBRA DE VIDRIO POR MEDIO DE CAD / CAE / CAM*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Samaniego, G. F., Guerrero, B. A., & Antamba, J. F. (2019). Análisis del diseño Aerodinámico de un Alerón Preparado para competición. *Scielo*, 1, 8.
- Teran, H., Torres, G., Arteaga, O., & Sanchez, W. (2018). *Mecánica de fluidos*. Sangolqui : Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Thomas, G. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. SAE International: Pennsylvania.
- ultimatespecs. (3 de Abril de 2005). *ultimateSpecs*. Obtenido de ultimateSpecs: <https://www.ultimatespecs.com/es/car-specs/Suzuki/5874/Suzuki-Swift-I-10.html>
- Zahera, M. (2012). Valencia .

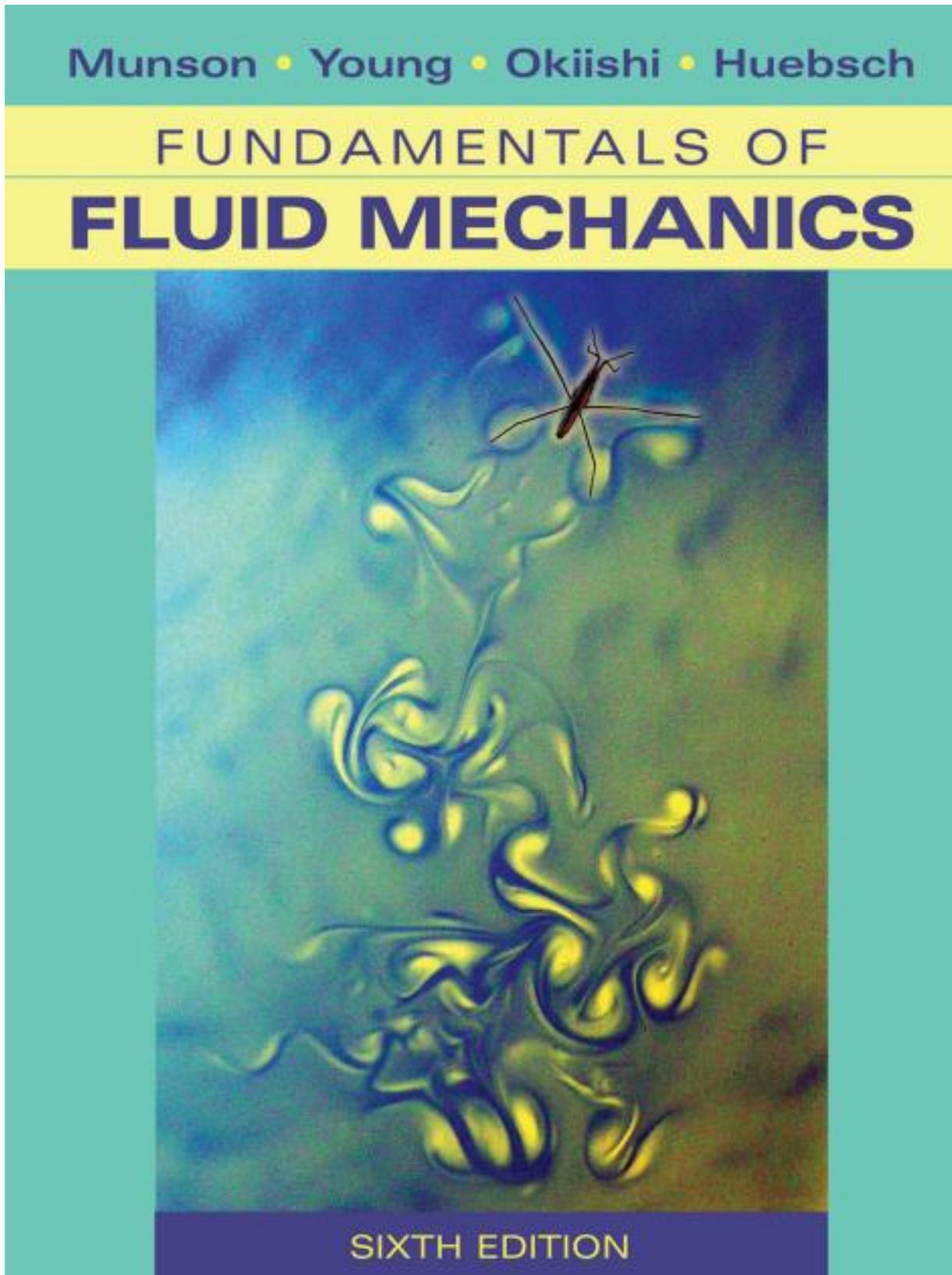
Anexos

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo I. Yunus A. Çengel y John. M. Cimbala. (2006). Mecánica de fluidos.



Anexo 2. Munson B. R. (2009). Mechanic of fluids.



Anexo 3. Samaniego, G y otros. (2019). Análisis del diseño aerodinámico de un alerón preparado para competencia utilizando simulaciones numéricas.

Análisis del diseño Aerodinámico de un Alerón Preparado para Competencia utilizando Simulaciones Numéricas

Giovanni F. Samaniego^{1*} Byron A. Guerrero² y Jaime F. Antamba¹

(1) Facultad de Ciencias Técnicas, Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Casilla 170411, Quito - Ecuador

(2) School of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Mathematics and Computer Science. University of Adelaide, Adelaide 5000, SA.

(e-mail: gisamaniegofl@uide.edu.ec; byron.guerrero@adelaide.edu.au; jaantambagu@uide.edu.ec)

Resumen

En este artículo se analiza numéricamente el comportamiento aerodinámico del vehículo Suzuki Forsa con un alerón para competencia en pista. Para el diseño del alerón se realiza una simulación en ANSYS Fluent utilizando el modelo de turbulencia RANS $k - \epsilon$ con una malla gruesa y una malla refinada. La malla fina permitió validar los datos considerando una distancia de pared normalizada $y^+ = 5$ y una tasa de inflación de 1.20, obteniendo un coeficiente de arrastre C_D similar a los datos experimentales obtenidos en este vehículo. Con esta configuración, se realizaron simulaciones CFD con alerones cuyos ángulos de incidencia son de 5°, 10°, 15° y 20°. Se concluye, que un ángulo de 20° brinda una fuerza de sustentación negativa (carga aerodinámica) adecuada para que los neumáticos del vehículo tengan un mejor agarre con el pavimento. Una vez desarrollada la simulación numérica, se fabrica el prototipo de alerón con la configuración a 20° en material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio.

Palabras clave: simulación CFD; aerodinámica; sustentación; arrastre

Analysis of Aerodynamic Design of an Airfoil for a Racing Using Numerical Simulations

Abstract

This article studies numerically the aerodynamic behavior of a Suzuki Forsa vehicle in which a racing airfoil will be installed. To perform the airfoil design, a numerical simulation was carried out using ANSYS Fluent with a turbulence model RANS $k - \epsilon$ with a coarse and a refined mesh. The data was validated with the refined mesh using a normalized wall distance $y^+ = 5$ and an inflation rate of 1.20. As a result, it was obtained a drag coefficient similar to its experimental value. With this configuration, there were carried out CFD simulations with angles of attack of 5°, 10°, 15° and 20°. It is concluded that an attack angle of 20° allows obtaining a suitable down force so that the wheels have enough adherence to the pavement. Once the numerical simulation was finished, an airfoil prototype was manufactured with the configuration of 20° degrees in composite material with polyester and a fiberglass reinforcement.

Keywords: CFD simulation; aerodynamics; down force; drag force.

Anexo 4. Agama, R y Gallegos, J. (2019). Diseño de un alerón trasero para un automóvil.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un alerón trasero para un automóvil”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Russell Alejandro Agama Fuentes

Jonathan Jaime Gallegos Silva

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

Anexo 5. Latacunga, F. (2016). Aplicación del método de volúmenes finito para determinar la influencia del parabrisas y capot de tres vehículos sedan en el comportamiento aerodinámico.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

LATACUNGA LATACUNGA FABIÁN EDWIN

TRABAJO DE TITULACIÓN

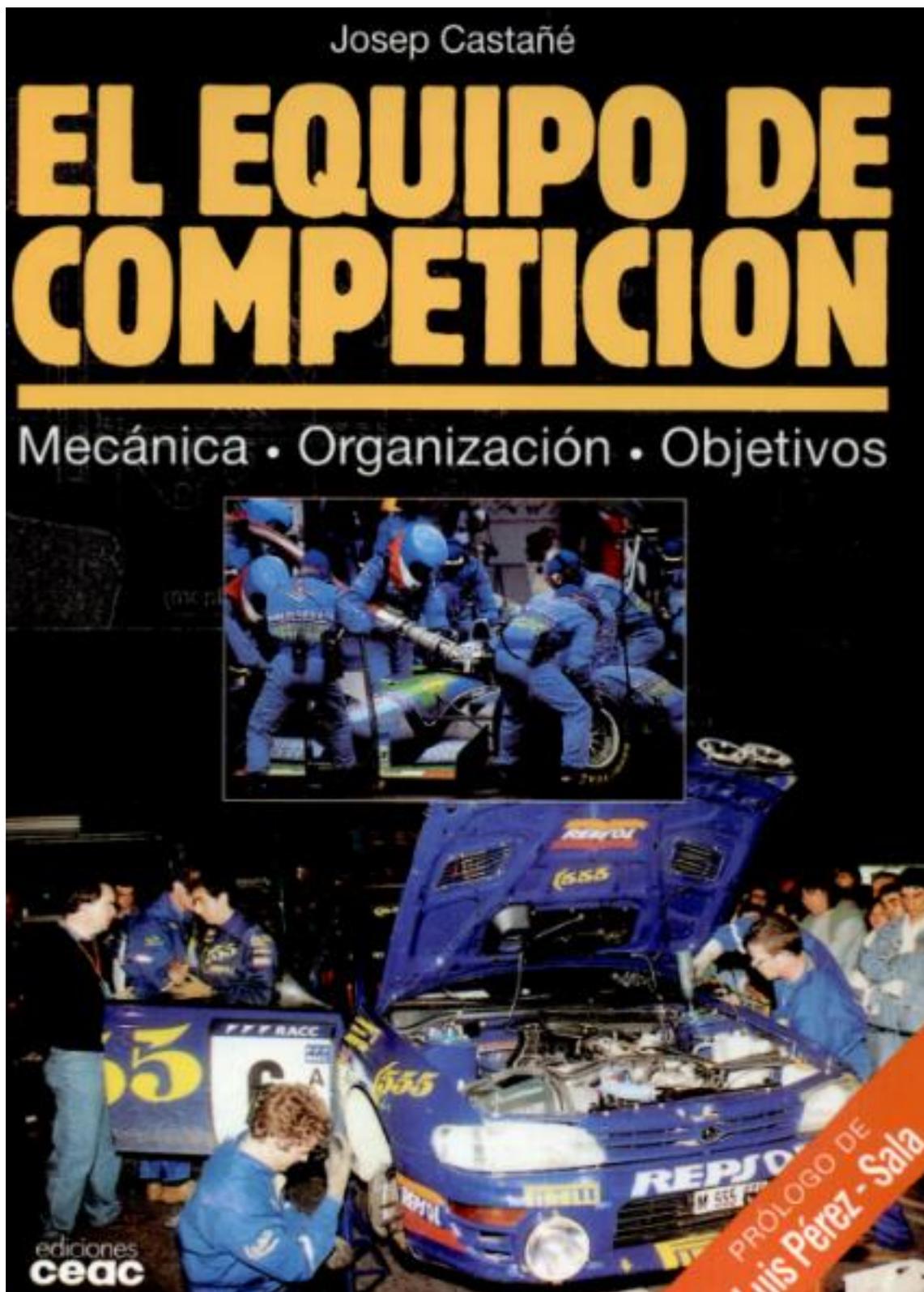
Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

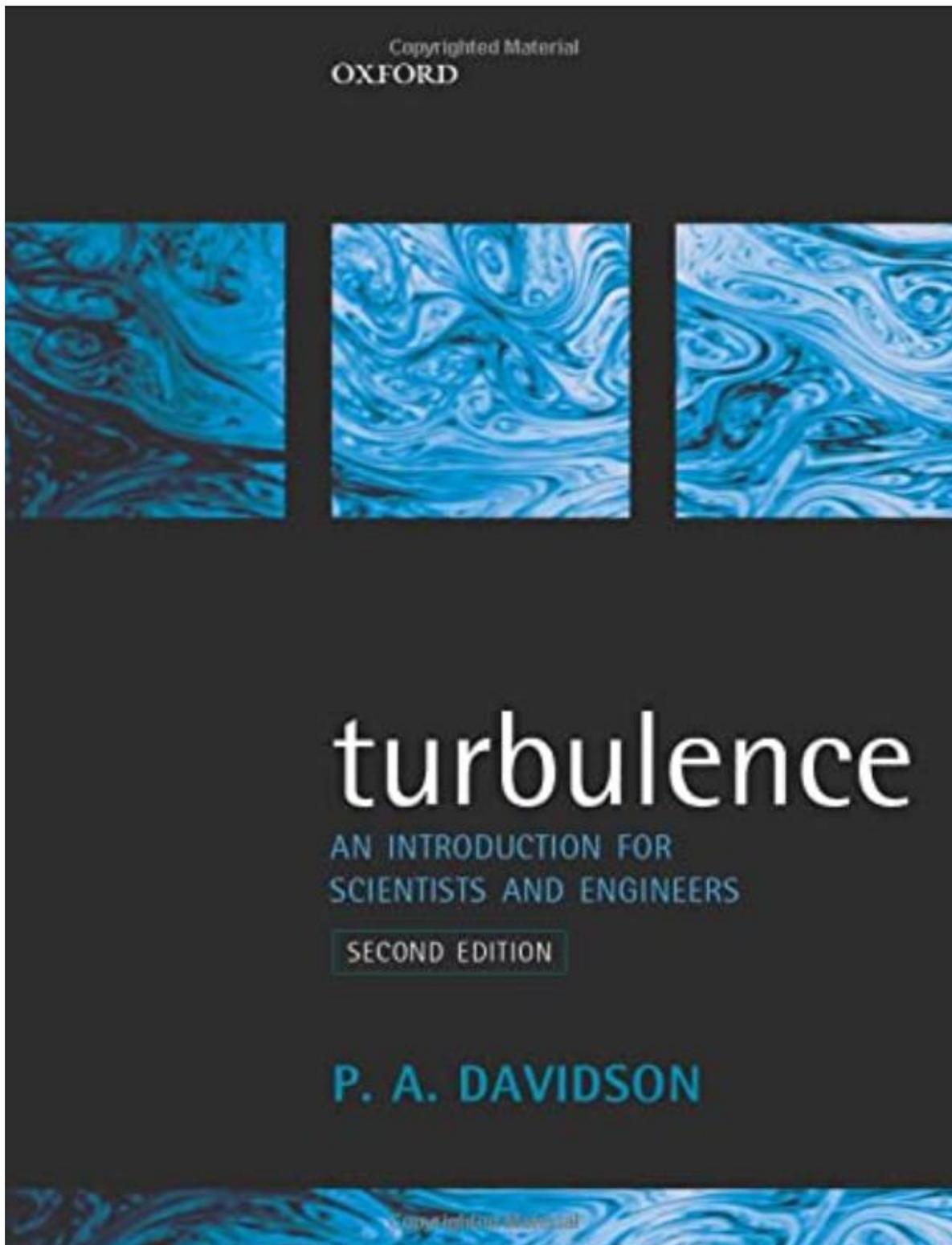
**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEORICA

Anexos 6. Castañe, J. (1996). El Equipo de Competición.



Anexo 7. Davidson, P. (2003). Turbulence : an introduction for scientists and engineers.



Anexo 8. Valverde, J. (2019). Desarrollo de metodologías enfocadas a aplicaciones de ingeniería inversa para reproducir objetos mediante escaneo 3d, sistemas CAD/CAM y prototipado rápido.



**ESCUELA POLITÉCNICA
NACIONAL**



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DESARROLLO DE METODOLOGÍAS ENFOCADAS A
APLICACIONES DE INGENIERÍA INVERSA PARA REPRODUCIR
OBJETOS MEDIANTE ESCANEADO 3D, SISTEMAS CAD/CAM Y
PROTOTIPADO RÁPIDO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN DISEÑO Y SIMULACIÓN**

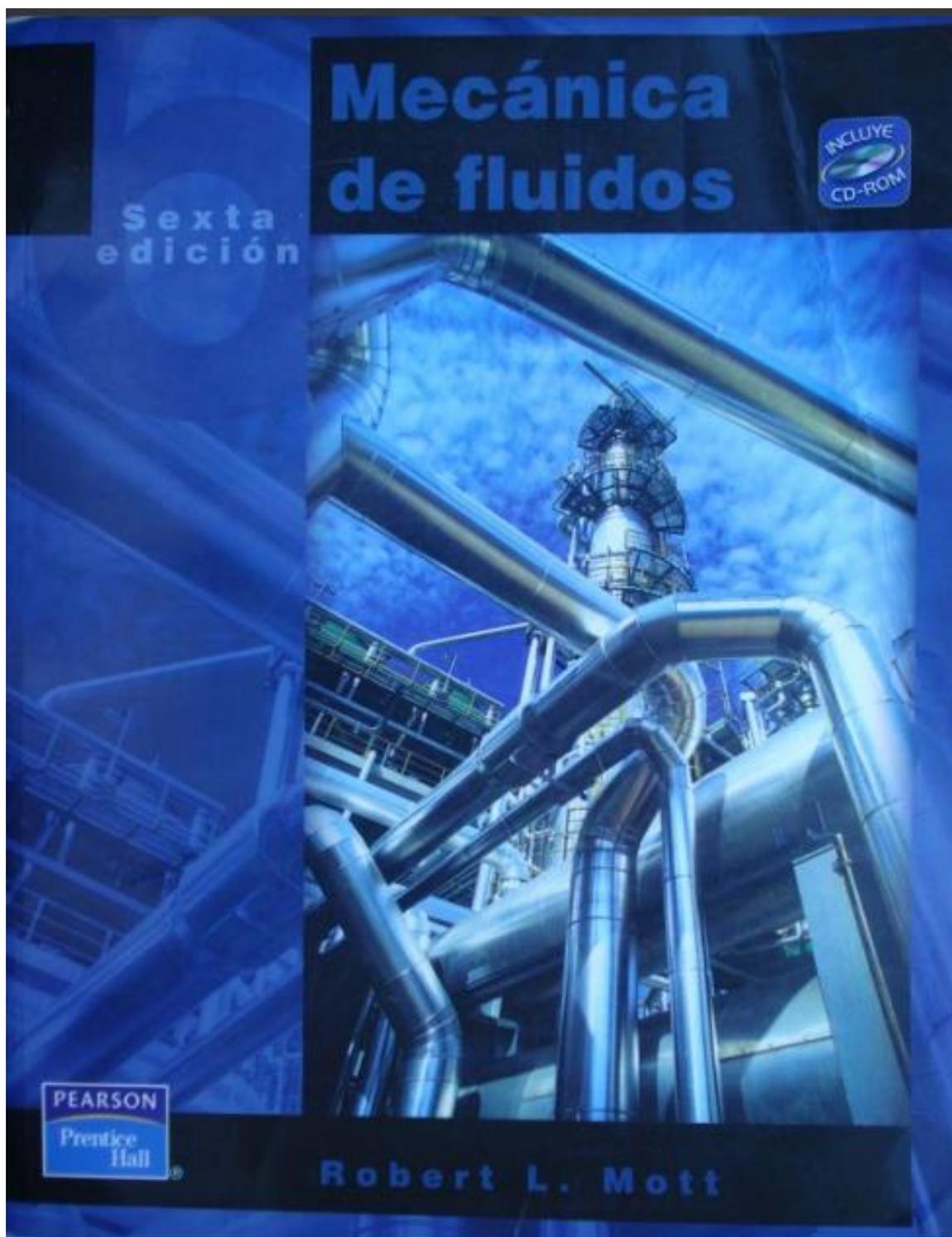
VALVERDE BASTIDAS JAVIER GONZALO
javier.valverde@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARIO ALBERTO CESÉN ARTEGA, M.Sc.
mario.cesen@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. LUIS RICARDO SOTO AYMAR, M.Sc.
luis.soto@epn.edu.ec

Quito, julio 2019

Anexo 9. Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos.



Capítulo 2

Ecuaciones de Navier-Stokes. Fenómenos Turbulentos

2.1. Ecuaciones de Navier-Stokes

2.1.1. Introducción

Antes de obtener las ecuaciones fundamentales que gobiernan el comportamiento de los fluidos, es preciso dejar claro el significado de las palabras mecánica de fluidos. Se puede decir que esta rama de la física, se encarga del movimiento e interacción de un gran número de elementos individuales[10], que en nuestro caso son moléculas y átomos.

Se supone que la densidad del fluido es lo bastante grande como para poder aproximarla a un medio continuo, de esta forma, cualquier porción infinitesimal de fluido contiene el suficiente número de partículas para poder definir una velocidad e incluso una energía cinética media en el elemento infinitesimal. En mecánica de fluidos, como vimos en el apartado 1.2.2, se definen unas variables y propiedades promediadas en un volumen infinitesimal, considerándolas como propiedades en cada punto del fluido.

La obtención de las ecuaciones de la mecánica de fluidos se basa en el hecho de que el comportamiento dinámico del fluido es gobernado por las siguientes ecuaciones de conservación[8]:

- La conservación de la masa o ecuación de continuidad.
- La conservación del momento cinético o de la cantidad de movimiento.
- La conservación de la energía.

La conservación de una magnitud fluida implica el estudio de esa magnitud en el interior de un volumen de control definido previamente, teniendo en cuenta, la *variación a través del contorno*, el *incremento de la magnitud fluida debida a fuentes y fuerzas internas*, y el efecto de *fuerzas externas actuando sobre el volumen* considerado.

El paso por unidad de tiempo de una magnitud a través del contorno se denomina flujo. En general, el flujo puede ser descompuesto en dos términos: uno debido al *transporte convectivo* y otro causado por el movimiento molecular considerando el fluido en reposo, llamado *transporte difusivo* (proporcional al gradiente de la magnitud considerada).

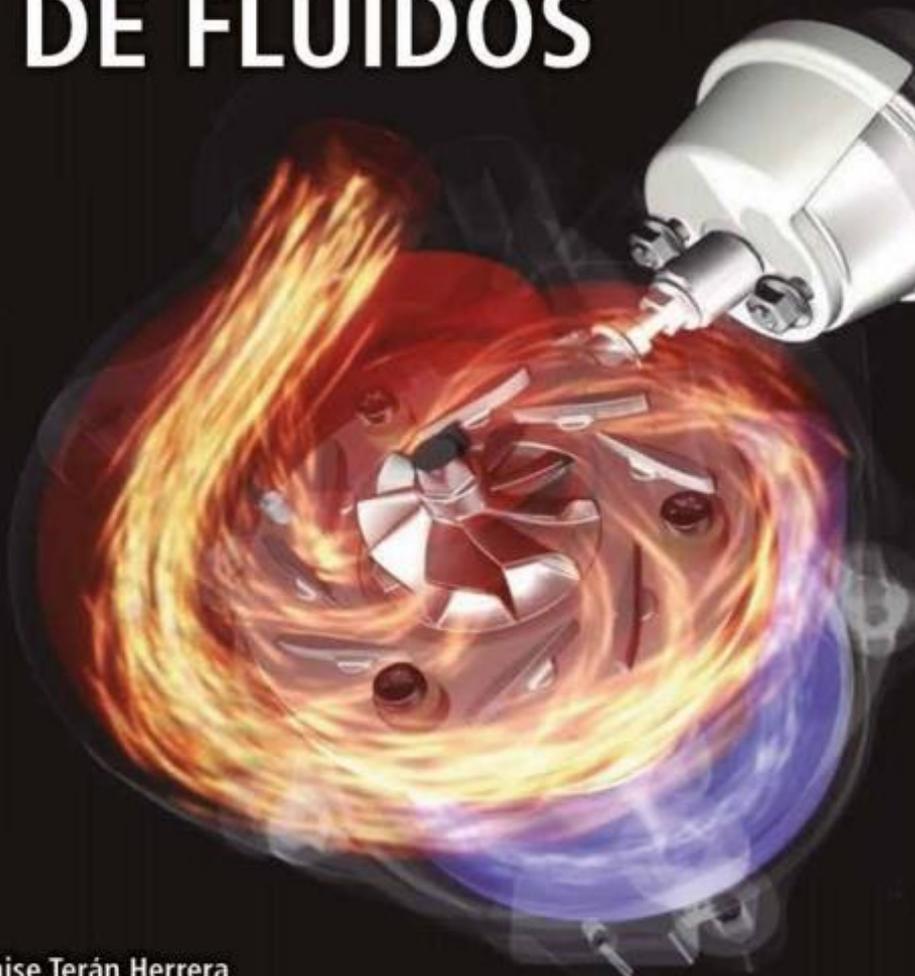
En un dominio fluido representado por líneas de corriente, se toma una región arbitraria del fluido, separada del resto por una superficie cerrada, $\partial\Omega$, que encierra un volumen de control, Ω . Además se define un elemento diferencial de superficie, dS , con normal positiva hacia afuera del dominio, \vec{n} (ver Figura 2.1).

El principio de conservación aplicado a una magnitud escalar por unidad de volumen U dice que la variación temporal de la magnitud dentro del volumen de control, Ω ,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega \tag{2.1}$$

Anexo 11. Teran, H y otros. (2018). Mecanica de fluidos.

MECÁNICA DE FLUIDOS



Héctor Cochise Terán Herrera
Guido Rafael Torres Muñoz
Oscar Bladimir Arteaga López
Wilson Edmundo Sánchez Ocaña



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Anexo 12. Samaniego, G. (2018). Diseño y manufactura de un alerón para aplicación automotriz con materiales compuestos de matriz poliéster con refuerzo de fibra de vidrio por medio de CAD/ CAE /CAM.



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

**MAESTRÍA EN MANUFACTURA Y DISEÑO ASISTIDOS POR
COMPUTADOR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGÍSTER EN: MANUFACTURA Y DISEÑO
ASISTIDOS POR COMPUTADOR**

**TEMA: DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN ALERÓN PARA
APLICACIÓN AUTOMOTRIZ CON MATERIALES COMPUESTOS DE
MATRIZ POLIÉSTER CON REFUERZO DE FIBRA DE VIDRIO POR
MEDIO DE CAD / CAE / CAM.**

AUTOR: SAMANIEGO FLOR, GIOVANNI FRANCISCO

DIRECTOR: MSc. GUERRERO HINOJOSA, BYRON ANDRÉS

SANGOLQUÍ

2018

Anexo 13. Piomelli, U. (2021). Large eddy simulations in 2030 and beyond.



rsta.royalsocietypublishing.org

Review



Cite this article: Piomelli U. 2014 Large eddy simulations in 2030 and beyond. *Phil. Trans. R. Soc. A* **372**: 20130320.

<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0320>

One contribution of 13 to a Theme Issue 'Aerodynamics, computers and the environment'.

Subject Areas:

environmental engineering, mechanical engineering, fluid mechanics

Keywords:

turbulence simulation and modelling, large eddy simulations, numerical simulation

Author for correspondence:

U. Piomelli

e-mail: ugo@me.queensu.ca

Large eddy simulations in 2030 and beyond

U. Piomelli

Department of Mechanical and Materials Engineering,
Queen's University, Kingston, Ontario, Canada

Since its introduction, in the early 1970s, large eddy simulations (LES) have advanced considerably, and their application is transitioning from the academic environment to industry. Several landmark developments can be identified over the past 40 years, such as the wall-resolved simulations of wall-bounded flows, the development of advanced models for the unresolved scales that adapt to the local flow conditions and the hybridization of LES with the solution of the Reynolds-averaged Navier–Stokes equations. Thanks to these advancements, LES is now in widespread use in the academic community and is an option available in most commercial flow-solvers. This paper will try to predict what algorithmic and modelling advancements are needed to make it even more robust and inexpensive, and which areas show the most promise.

1. Introduction

Turbulence occurs frequently in nature and technological applications and has been the subject of study for several centuries. In 1510, Leonardo da Vinci accompanied a drawing of the vortices shed behind an immersed, blunt obstacle with the following note:

Observe the motion of the water surface, which resembles that of hair, that has two motions: one due to the weight of the shaft, the other to the shape of the curls; thus, water has eddying motions, one part of which is due to the principal current, the other to the random and reverse motion (personal translation.)

Unfortunately, the mathematical tools were not available to enable him to follow up on this comment. Several centuries had to pass before Osborne Reynolds would



© 2014 The Author(s) Published by the Royal Society. All rights reserved.

Anexo 14. Bayona, C y otros(2015). Identificación del modelo de turbulencia más adecuado, utilizando software de dinámica de fluidos computacional, para el diseño del vehículo urbano de la competencia Shell Eco Marathon.

2

**IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA MÁS
ADECUADO, UTILIZANDO SOFTWARE DE DINÁMICA DE
FLUIDOS COMPUTACIONAL, PARA EL DISEÑO DEL VEHÍCULO
URBANO DE LA COMPETENCIA SHELL ECO MARATHON.**

CARLOS ANDRÉS BAYONA CASTRO

LINA PAOLA LONDOÑO GALLÓN

EDUARDO ALFREDO NIETO CRUZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

INGENIERÍA AERONÁUTICA

BOGOTÁ, COLOMBIA

2015

Anexo 15. Crespi, L. R. (2017). Mejoras aerodinámicas en un turismo convencional.

Trabajo de Final de Grado

Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

MEJORAS AERODINÁMICAS EN UN TURISMO CONVENCIONAL

MEMORIA

Autor: Rafael Crespi Limiñana
Director: Enric Trillas Gay
Convocatoria: Enero 2017



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Industrial de Barcelona



Anexo 16. Rakibul, S y otros. (2014). Numerical study on aerodynamic drag reduction of racing cars.



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia Engineering 90 (2014) 308 – 313

Procedia
Engineering

www.elsevier.com/locate/procedia

10th International Conference on Mechanical Engineering, ICME 2013

Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars

S.M. Rakibul Hassan*, Toukir Islam, Mohammad Ali, Md. Quamrul Islam

Department of Mechanical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka-1000, Bangladesh

Abstract

Aerodynamic drag is one of the main obstacles to accelerate a solid body when it moves in the air. When a racing car or road vehicle burns fuel to accelerate, drag force pulls it from back to reduce the speed and hence the fuel efficiency is adversely affected. About 50 to 60% of total fuel energy is lost only to overcome this adverse aerodynamic force. To win a race, which may be decided by fraction of second, the racing cars need a faster acceleration, which is possible by reducing the drag force by optimizing its shape to ensure stream-lining or reducing the separation. Reduction of aerodynamic drag has become one of the prime concerns in vehicle aerodynamics. This article is concentrated on different aspects analysis of aerodynamic drag of racing cars and different drag reduction techniques such as rear under body modification and exhaust gas redirection towards the rear separation zones. Through a numerical process (Finite Volume Method) of solving the Favre-averaged Navier-Stokes equations backed by k- ϵ turbulent model, the drag coefficient of the car under analysis is found to be 0.3233 and it is evident that the drag can be reduced up to 22.13% by different rear under-body modifications and up to 9.5% by exhaust gas redirection towards the separated region at the rear of the car. It is also evident that if somehow the negative pressure area and its intensity at the rear of the car can be minimized, the separation pressure drag is subsequently reduced.

© 2014 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>).

Selection and peer-review under responsibility of the Department of Mechanical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET).

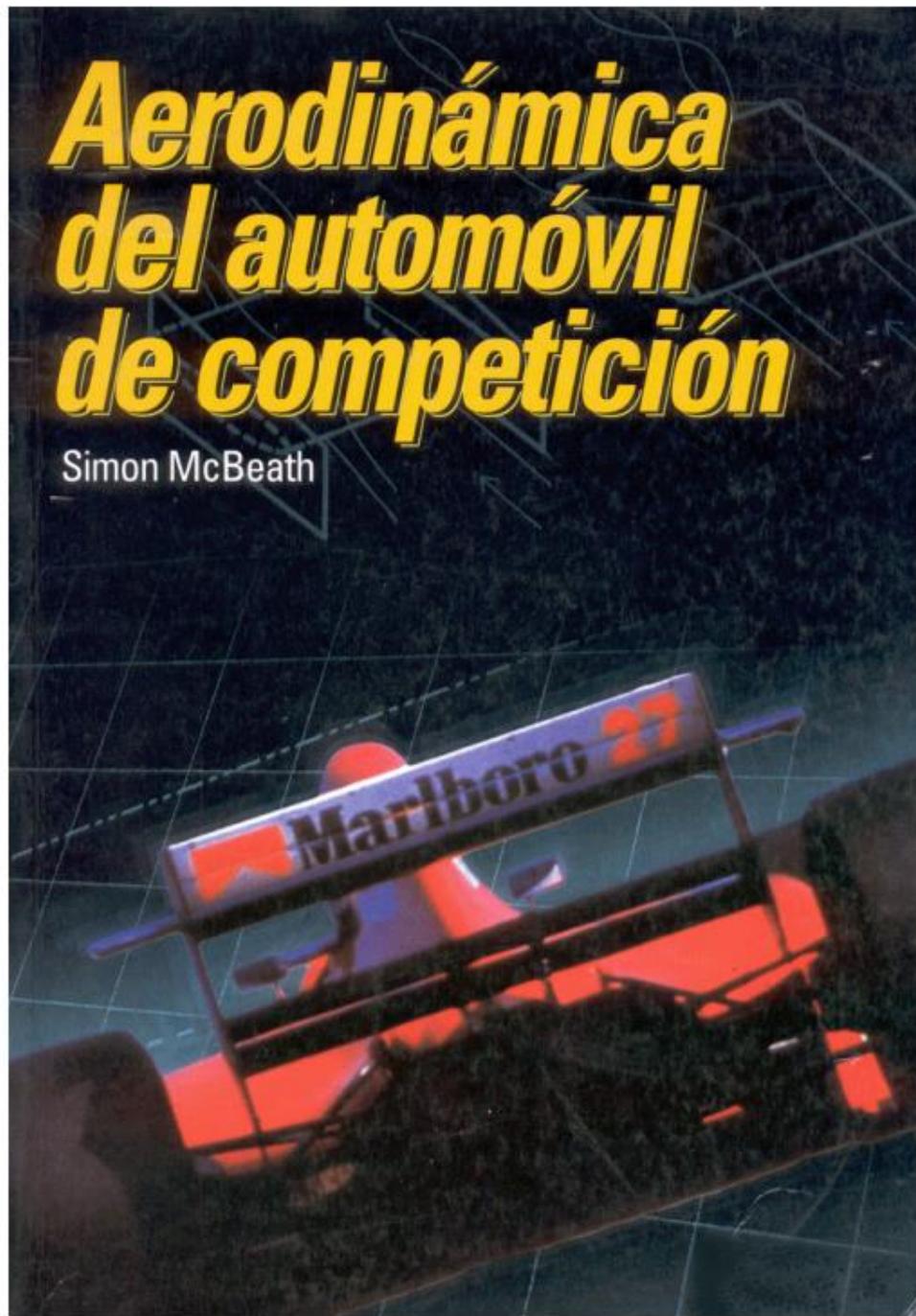
Key Words: Aerodynamic drag, separation, coefficient of drag, under-body diffuser, exhaust gas redirection.

1. Introduction

Aerodynamic drag of racing cars has probably received highest attention over last five decades in experimental and practical field of fluid dynamics. Many researchers and authors have described different forms of

* Corresponding author. Tel.: +8801920795748
E-mail address: mkthshassan21@gmail.com

Anexo 17. McBeath, S. (1997). Aerodinamica del automovil de competicion.



Anexo 18. Alba, M. (2011). Metodología de obtención de los coeficientes de sustentación y arrastre para un rango amplio de números de Reynolds y ángulos de ataque para aplicaciones en turbinas eólicas.

Metodología de obtención de los coeficientes de sustentación y arrastre para un rango amplio de números de Reynolds y ángulos de ataque para aplicaciones en turbinas eólicas

Methods for obtaining lift and drag coefficients for a wide range of Reynolds numbers and angles of attack for wind turbine applications

Manuel F. Mejía De Alba^{1*}, Luis E. García Fernández², Mónica A. Gutiérrez Almonacid³

¹ M.Sc., I.M., Doctor Universidad Argentina. *manuelmejia@profitec.unsw.edu.au

² M.Sc., I.M., Doctor Universidad Argentina

³ Estudiante Ingeniería Mecánica, Universidad Argentina

Fecha de recepción del artículo: 25/01/2011; Fecha de aceptación del artículo: 26/01/2011

Resumen

En la investigación en diseño de turbinas eólicas, comúnmente es necesario analizar su comportamiento al usar diferentes tipos de perfiles en sus alabes. De éstos, es necesario conocer sus coeficientes de sustentación y arrastre; sin embargo, estos datos no están disponibles para todos los perfiles con que se desea experimentar.

En este artículo se explora una alternativa con la que se cuenta para la determinación de estos coeficientes y se implementa la metodología para la generación de los datos de un perfil curvado.

Palabras clave

Turbina eólica, coeficientes de sustentación, coeficientes de arrastre, método de los paneles, extensión de ángulos de ataque.

Abstract

In research of wind turbine design, often is necessary to analyze the behavior of different types of aerodynamic profiles on their blades. Of these, is necessary to know the coefficients of lift and

drag, but this data is not available for all the profiles wanted to be used to analyze the turbines.

In this paper will be explore an alternative for the determination of these coefficients and is implemented the methodology for generating curved profile data.

Keywords

Wind Turbine, lift coefficient, drag coefficient, panel method, extension of angles of attack.

Introducción

El comportamiento de los dispositivos aerodinámicos, depende principalmente de los coeficientes de sustentación (C_L) y arrastre (C_D), de las partes que estén en contacto con el fluido. Las turbinas eólicas son dispositivos aerodinámicos que extraen energía del viento para transformarla en energía mecánica o eléctrica.

Las hélices de las turbinas, normalmente están diseñadas con base a perfiles aerodinámicos

Anexo 19. Jinping, Li y otros. (2021). Bayesian uncertainty analysis of SA turbulence model for supersonic jet interaction simulations.

Bayesian uncertainty analysis of SA turbulence model for supersonic jet interaction simulations

Jinping LI^a, Shusheng CHEN^{b,c}, Fangjie CAI^d, Sheng WANG^a, Chao YAN^{a,*}

^a School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China

^b School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

^c AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

^d China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China

Received 16 November 2020; revised 22 July 2021; accepted 22 July 2021

KEYWORDS

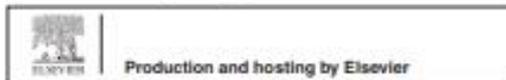
Bayesian calibration;
MAP estimation;
SA turbulence model;
Supersonic jet interaction;
Uncertainty quantification

Abstract The Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) models are still the workhorse in current engineering applications due to its high efficiency and robustness. However, the closure coefficients of RANS turbulence models are determined by model builders according to some simple fundamental flows, and the suggested values may not be applicable to complex flows, especially supersonic jet interaction flow. In this work, the Bayesian method is employed to recalibrate the closure coefficients of Spalart-Allmaras (SA) turbulence model to improve its performance in supersonic jet interaction problem and quantify the uncertainty of wall pressure and separation length. The embedded model error approach is applied to the Bayesian uncertainty analysis. Firstly, the total Sobol index is calculated by non-intrusive polynomial chaos method to represent the sensitivity of wall pressure and separation length to model parameters. Then, the pressure data and the separation length are respectively served as calibration data to get the posterior uncertainty of model parameters and Quantities of Interests (QoIs). The results show that the relative error of the wall pressure predicted by the SA turbulence model can be reduced from 14.99% to 2.95% through effective Bayesian parameter estimation. Besides, the calibration effects of four likelihood functions are systematically evaluated. The posterior uncertainties of wall pressure and separation length estimated by different likelihood functions are significantly discrepant, and the Maximum a Posteriori (MAP) values of parameters inferred by all functions show better performance than the nominal values. Finally, the closure coefficients are also estimated at different jet total pressures. The similar

* Corresponding author.

E-mail address: yanchao@buaa.edu.cn (C. YAN).

Peer review under responsibility of Editorial Committee of CJA.



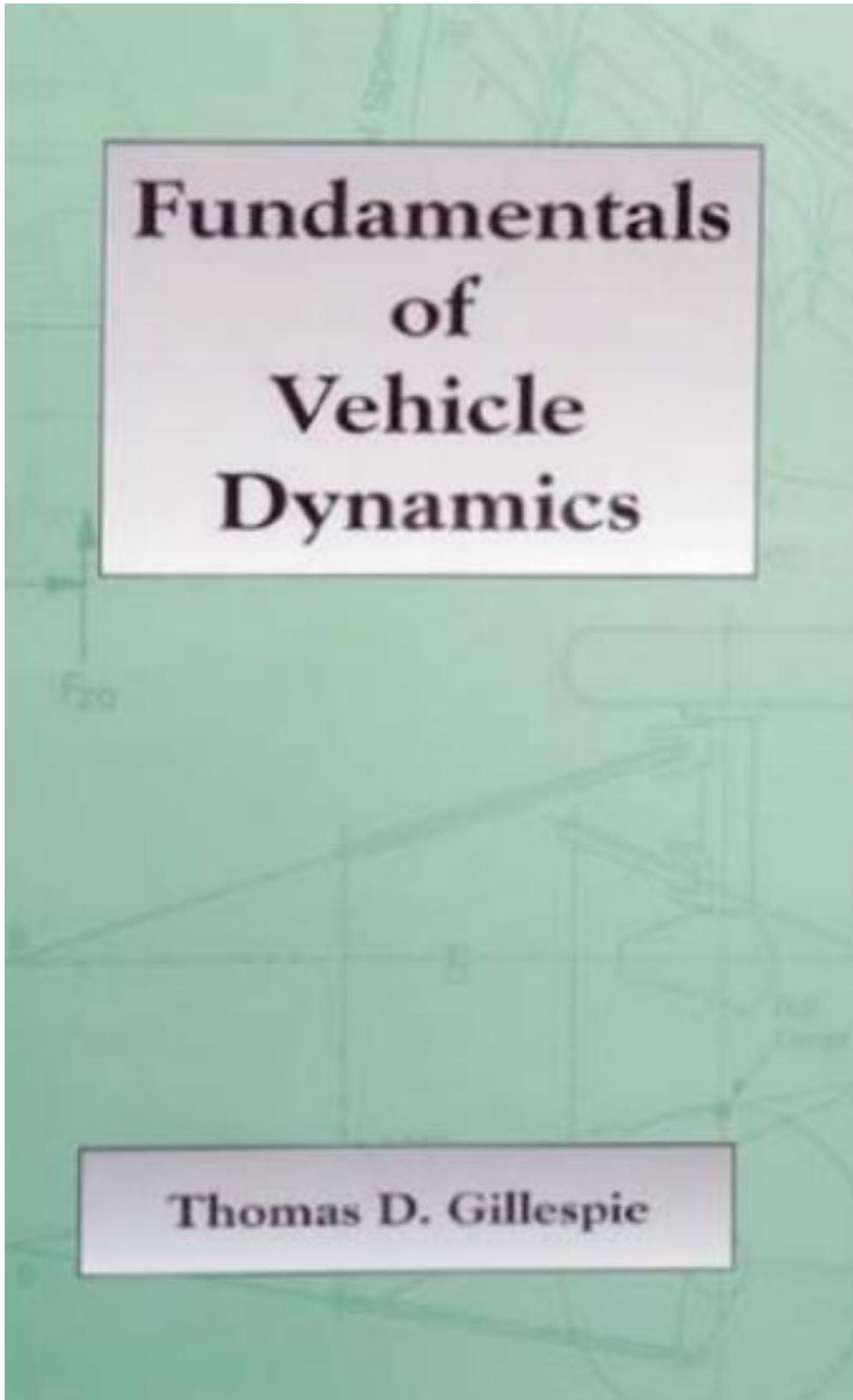
<https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.07.039>

1000-9361 © 2021 Production and hosting by Elsevier Ltd. on behalf of Chinese Society of Aeronautics and Astronautics.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Please cite this article in press as: LI J et al. Bayesian uncertainty analysis of SA turbulence model for supersonic jet interaction simulations. *Chin J Aeronaut* (2021).

Anexo 20. Thomas, G. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics.



Anexo 21. Anderson, J. D. (2010). Fundamentals of Aerodynamics.

FUNDAMENTALS OF AERODYNAMICS

Second Edition

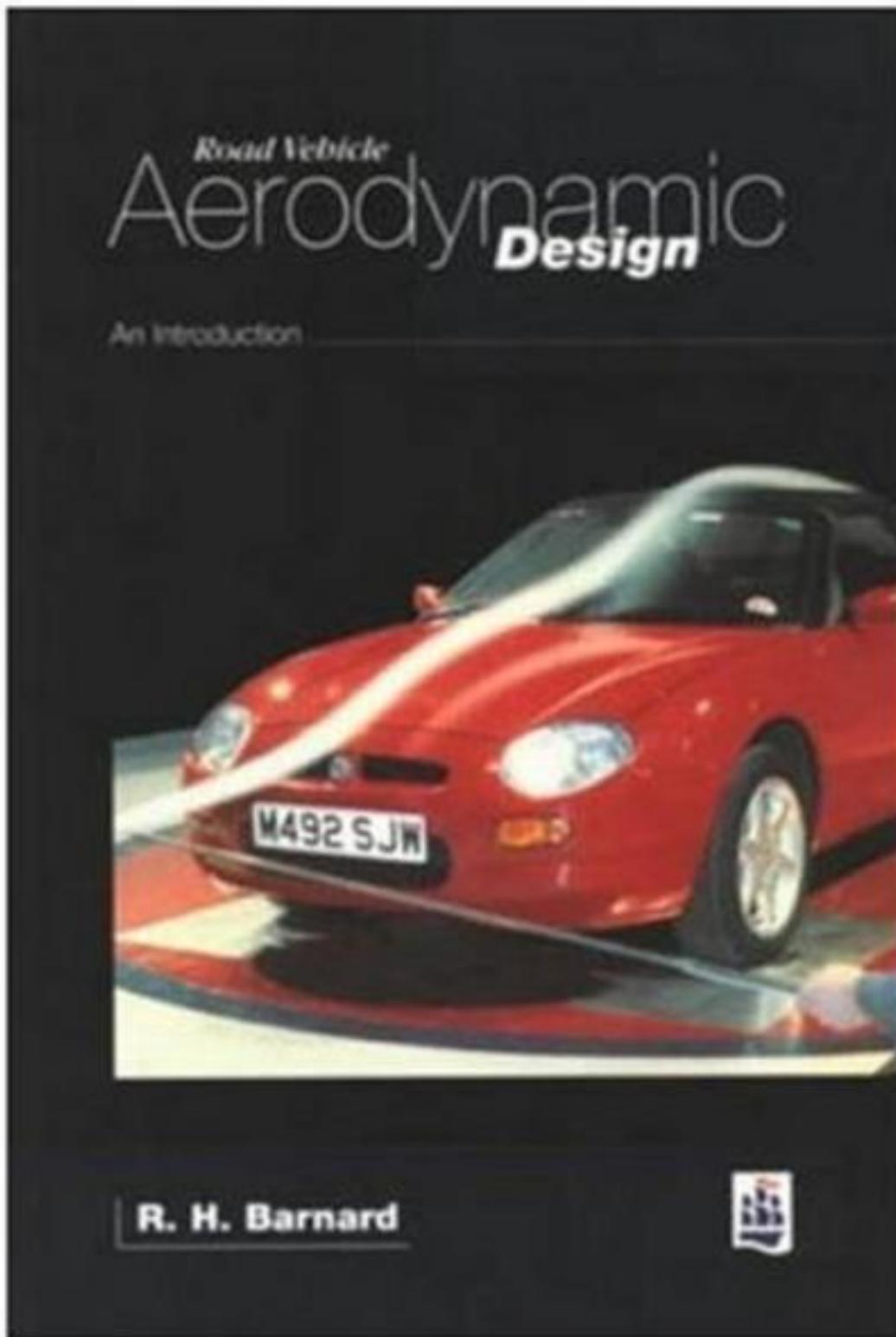
John D. Anderson, Jr.

*Professor of Aerospace Engineering
University of Maryland*

McGraw-Hill, Inc.

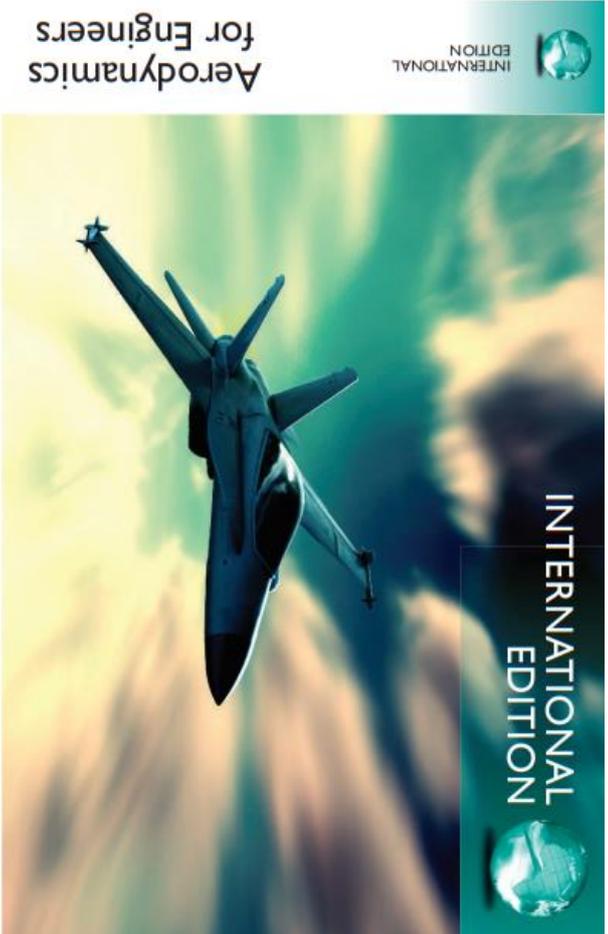
New York St. Louis San Francisco Auckland
Bogotá Caracas Hamburg Lisbon London Madrid
Mexico Milan Montreal New Delhi Paris San Juan
São Paulo Singapore Sydney Tokyo Toronto

Anexo 22. BARNARD, R. (1996). Road Vehicles Aerodynamic.



Anexo 23. Bertin, J. J., & Cummings, R. M. (2013). aerodynamics for Engineers.

The editorial team at Pearson has worked closely with educators around the globe to inform students of the ever-changing world in a broad variety of disciplines. Pearson Education offers this product to the international market, which may or may not include alterations from the United States version.



This is a special edition of an established title widely used by colleges and universities throughout the world. Pearson published this exclusive edition for the benefit of students outside the United States and Canada. If you purchased this book within the United States or Canada you should be aware that it has been imported without the approval of the Publisher or Author.

Pearson International Edition



INTERNATIONAL EDITION

Aerodynamics for Engineers

SIXTH EDITION

Bertin Cummings

PEARSON

INTERNATIONAL EDITION

Aerodynamics for Engineers

SIXTH EDITION

John J. Bertin • Russell M. Cummings

ALWAYS LEARNING

PEARSON



AERODYNAMICS OF ROAD VEHICLES

Wolf-Heinrich Hucho

Ostring 48, D-6231, Schwalbach (Ts), Germany

Gino Sovran

General Motors Research and Environmental Staff, Warren,
Michigan 48090-9055

KEY WORDS: aerodynamic design, aerodynamic testing, aerodynamic forces,
flow fields

1. INTRODUCTION

In fluid mechanical terms, road vehicles are bluff bodies in very close proximity to the ground. Their detailed geometry is extremely complex. Internal and recessed cavities which communicate freely with the external flow (i.e. engine compartment and wheel wells, respectively) and rotating wheels add to their geometrical and fluid mechanical complexity. The flow over a vehicle is fully three-dimensional. Boundary layers are turbulent. Flow separation is common and may be followed by reattachment. Large turbulent wakes are formed at the rear and in many cases contain longitudinal trailing vortices.

As is typical for bluff bodies, drag (which is a key issue for most road vehicles—but far from the only one) is mainly pressure drag. This is in contrast to aircraft and ships, which suffer primarily from friction drag. The avoidance of separation or, if this is not possible, its control are among the main objectives of vehicle aerodynamics.

With regard to their geometry, road vehicles comprise a large variety of configurations (Figure 1). Passenger cars, vans, and buses are closed, single bodies. Trucks and race cars can be of more than one body. Motorcycles and some race cars have open driver compartments. With the race car being the only exception, the shape of a road vehicle is not primarily

485

0066-4189/93/0115-0485\$02.00

Aerodynamics of Race Cars

Joseph Katz

Department of Aerospace Engineering, San Diego State University, San Diego, California 92182;
email: jkatz@mail.sdsu.edu

Annu. Rev. Fluid Mech. 2006.38:27-63. Downloaded from arjournals.annualreviews.org by UNIVERSITY OF SOUTH AUSTRALIA on 11/26/08. For personal use only.

Annu. Rev. Fluid Mech.
2006. 38:27-63

The *Annual Review of
Fluid Mechanics* is online at
fluid.annualreviews.org

doi: 10.1146/annurev.fluid.
38.050304.092016

Copyright © 2006 by
Annual Reviews. All rights
reserved

0066-4189/06/0115-
0027\$20.00

Key Words

downforce, inverted wings, ground effect, drag

Abstract

Race car performance depends on elements such as the engine, tires, suspension, road, aerodynamics, and of course the driver. In recent years, however, vehicle aerodynamics gained increased attention, mainly due to the utilization of the negative lift (downforce) principle, yielding several important performance improvements. This review briefly explains the significance of the aerodynamic downforce and how it improves race car performance. After this short introduction various methods to generate downforce such as inverted wings, diffusers, and vortex generators are discussed. Due to the complex geometry of these vehicles, the aerodynamic interaction between the various body components is significant, resulting in vortex flows and lifting surface shapes unlike traditional airplane wings. Typical design tools such as wind tunnel testing, computational fluid dynamics, and track testing, and their relevance to race car development, are discussed as well. In spite of the tremendous progress of these design tools (due to better instrumentation, communication, and computational power), the fluid dynamic phenomenon is still highly nonlinear, and predicting the effect of a particular modification is not always trouble free. Several examples covering a wide range of vehicle shapes (e.g., from stock cars to open-wheel race cars) are presented to demonstrate this nonlinear nature of the flow field.

Review of Research on Vehicles Aerodynamic Drag Reduction Methods

Mohd Nizam Sudin¹, Mohd Azman Abdullah¹, Shamsul Anuar Shamsuddin¹, Faiz Redza Ramli¹, Musthafah Mohd Tahir¹

¹Center for Advanced Research on Energy (CARE), Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM), Hang Tuah Jaya, 76100 Durian Tunggal, Melaka, Malaysia.
E-mail: nizamsudin@utem.edu.my

Abstract— Recent spikes in fuel prices and concern regarding greenhouse gas emissions, automotive design engineers are faced with the immediate task of introducing more efficient aerodynamic designs vehicles. The aerodynamic drags of a road vehicle is responsible for a large part of the vehicle's fuel consumption and contribute up to 50% of the total vehicle fuel consumption at highway speeds. Review on the research performance of active and passive flow control on the vehicle aerodynamic drag reduction is reported in this paper. This review intends to provide information on the current approaches and their efficiency in reducing pressure drag of ground vehicles. The review mainly focuses on the methods employed to prevent or delay air flow separation at the rear end of vehicle. Researches carried out by a number of researchers with regard to active and passive flow controls method on vehicle and their effect on aerodynamic drag in terms of drag coefficient (C_D) was highlighted. Passive methods i.e. Vortex Generator (VG), spoiler and splitter and active flow controls i.e. steady blowing, suction and air jet are among the methods had been reviewed. In addition several attempts to couple these flow control methods were also reviewed. Several aspects of aerodynamic drag that need for further investigation as to assist for vehicles aerodynamic design and for practical reasons were highlighted. Progressive research on active flow control was observed due to its flexibility for wide range of application without body shape modification.

Index Term— Aerodynamic drag, drag coefficient, active control, passive control, vehicle aerodynamic

1. INTRODUCTION

The rapidly increasing fuel prices and the regulation of green house gasses to control global warming give tremendous pressure on design engineers to enhance the current designs of the vehicle using the concepts of aerodynamics as to enhance the efficiency of vehicles [1]. Fuel consumption due to aerodynamic drag consumed more than half of the vehicle's energy. Thus, the drag reduction program is one of the most interesting approaches to cater this matter. Aerodynamic drag consists of two main components: skin friction drag and pressure drag. Pressure drag accounts for more than 80% of the total drag and it is highly dependent on vehicle geometry due to boundary layer separation from rear window surface and formation of wake region behind the vehicle. The location of separation determines the size of wake region and consequently, it determines the value of aerodynamic drag. According to Hucho [2], the aerodynamic drag of a road vehicle is responsible for a large part of the vehicle's fuel

consumption and contributes up to 50% of the total vehicle fuel consumption at highway speeds. Reducing the aerodynamic drag offers an inexpensive solution to improve fuel efficiency and thus shape optimization for low drag become an essential part of the overall vehicle design process [3]. It has been found that 40% of the drag force is concentrated at the rear of the geometry [4].

Flow separation control is of major interest in fundamental fluid dynamics as well as in various engineering applications [1-56]. Numerous techniques have been explored to control the flow separation either by preventing it or by reducing its effects. These methods range from the use of passive to active control devices either steady or unsteady (e.g. synthetic jets, acoustic excitation). Among the various strategies employed in aerodynamic control, conventional passive control techniques, consisting in modifying the shape of the vehicle or attaching add-on devices to reduce the aerodynamic drag, appears as the easiest to implement but unfortunately it only dedicated for particular application. Due to wide range of applications active flow control is preferable. Thus research efforts are now focusing on active flow control techniques as an alternative to conventional design-modification solutions.

2. IMPACT OF AERODYNAMIC DRAG ON FUEL CONSUMPTION

Sudden spike in fuel prices and concern of greenhouse gas emissions, automotive design engineers are facing a new challenge for introducing more aerodynamic design vehicles. The ineffective aerodynamic shape results in excessive drag which leads to increased fuel consumption rates. The main cause of vehicle aerodynamic drag is due to pressure drag or form drag. Pressure drag on vehicles due to flow separation constitutes more than 80% of the total aerodynamic drag [5], while frictional drag constitutes for the remaining 20%. Thus, reducing aerodynamic drag is significant for the fuel consumption efficiency. In United States, the ground vehicles consumed about 77% of all (domestic and imported) petroleum; 34% is consumed by automobiles, 25% by light trucks and 18% by large heavy duty trucks and trailers. It has been estimated that 1% increase in fuel economy can save 245 million gallons of fuel per year. Additionally, the fuel consumption by ground vehicles accounts for over 30% of CO₂ and other greenhouse gas (GHG) emissions. Moreover, most of the usable energy from the engine goes into

ANEXOS MATERIALES Y METODOS

Anexo 27. Ultimatespecs. (2005). Ficha tecnica del vehiculo suzuki forsa 1.

Suzuki Swift I 1.0 Motor Datos Técnicos	
Motor :	En línea 4
Código del Motor :	G10
Combustible :	Gasolina
Alimentación :	Carburetor Aisan 2V
Situación :	Transversal
Cilindrada :	993 cm3 / 60.6 cu-in
Diámetro x Carrera :	74.0 x 77.0 mm 2.91 x 3.03 inches
Válvulas :	6 Válvulas
Sobrealimentación :	N/A
Relación de Compresión :	8.8
Potencia :	50 PS / 49 HP / 37 kW @ 5800 rpm
Par máximo :	75 Nm / 55 lb-ft @ 3600 rpm
Tracción :	FWD
Caja de Cambios :	5 velocidades Manual

Suzuki Swift I 1.0 Prestaciones	
Velocidad Máxima :	145 Km/h / 90 Mph
Aceleración 0-100 km/h :	15.9 s

Suzuki Swift I 1.0 Dimensiones, Aerodinámica y Peso	
Num. de Puertas :	3
Batalla :	224.0 cm / 88.19 in
Longitud :	367.0 cm / 144.49 in
Anchura :	154.0 cm / 60.63 in
Altura :	135.0 cm / 53.15 in
Coefficiente Cx :	-
Frenos Delanteros :	Disco (- mm / - in)
Frenos Traseros :	Tambor (- mm / - in)
Neumáticos Delanteros :	145/- R12
Neumáticos Traseros :	145/- R12
Peso :	670 Kg / 1477 lbs
Relación Peso/Potencia :	13.4 kg/hp
Volúmenes de maletero :	250 L / 8.8 cu-ft
Suspensión Delantera :	Independent. McPherson. coil springs. anti-roll bar
Suspensión Trasera :	De Dion axle. Coil springs. anti-roll bar

Stop seeing this ad

Why this ad?

Ads by Google

Resumen

Este trabajo pretende mostrar la interacción del aire con un automóvil en circulación en estado estacionario y como mejorar su aerodinámica con la ayuda de programas de cálculo numérico basados en la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD). Se estudia un modelo de turismo de serie al que posteriormente se le han añadido los apéndices aerodinámicos necesarios para mejorar su aerodinámica sin modificar la geometría inicial del modelo o sus prestaciones, como la potencia del motor o la fricción de los neumáticos.

Primero se han introducido los conceptos básicos de la aerodinámica que se requieren para entender el comportamiento del aire alrededor del turismo, las mejoras aerodinámicas que se quieren añadir y los resultados obtenidos. Una vez entendidos los conceptos, se ha diseñado manualmente la geometría del coche, con el programa de diseño *SolidWorks*, partiendo de un automóvil de geometría sencilla como es el modelo Peugeot 206 y se ha explicado el proceso para preparar la simulación del modelo en circulación con el programa de simulación *AnsysFluent*.

Obtenidos los resultados del modelo original, el siguiente paso, objetivo de este trabajo, ha sido proceder a la adición de los apéndices aerodinámicos, explicando previamente su funcionamiento teórico y analizando los resultados de las simulaciones con las mejoras aplicadas, evidenciando los resultados teóricos esperados. Se han llevado a cabo simulaciones a diferentes velocidades para conocer como varía el flujo alrededor del vehículo y los parámetros a estudiar como son los coeficientes de sustentación y de arrastre, proporcionales a la eficiencia aerodinámica, valor que se quiere maximizar siempre.

Para finalizar, interpretando los resultados, se obtiene que las mejoras aerodinámicas transforman un coeficiente de sustentación, inicialmente positivo, en negativo, por tanto, proporcionando un buen agarre del vehículo al suelo, muy importante para la circulación a velocidades elevadas. Pero además, se logra disminuir un 5,5% el coeficiente de resistencia al avance y mantener prácticamente constante la fuerza total de resistencia al avance.



Machine Translated by Google



Sentido™ 2

escáner 3D

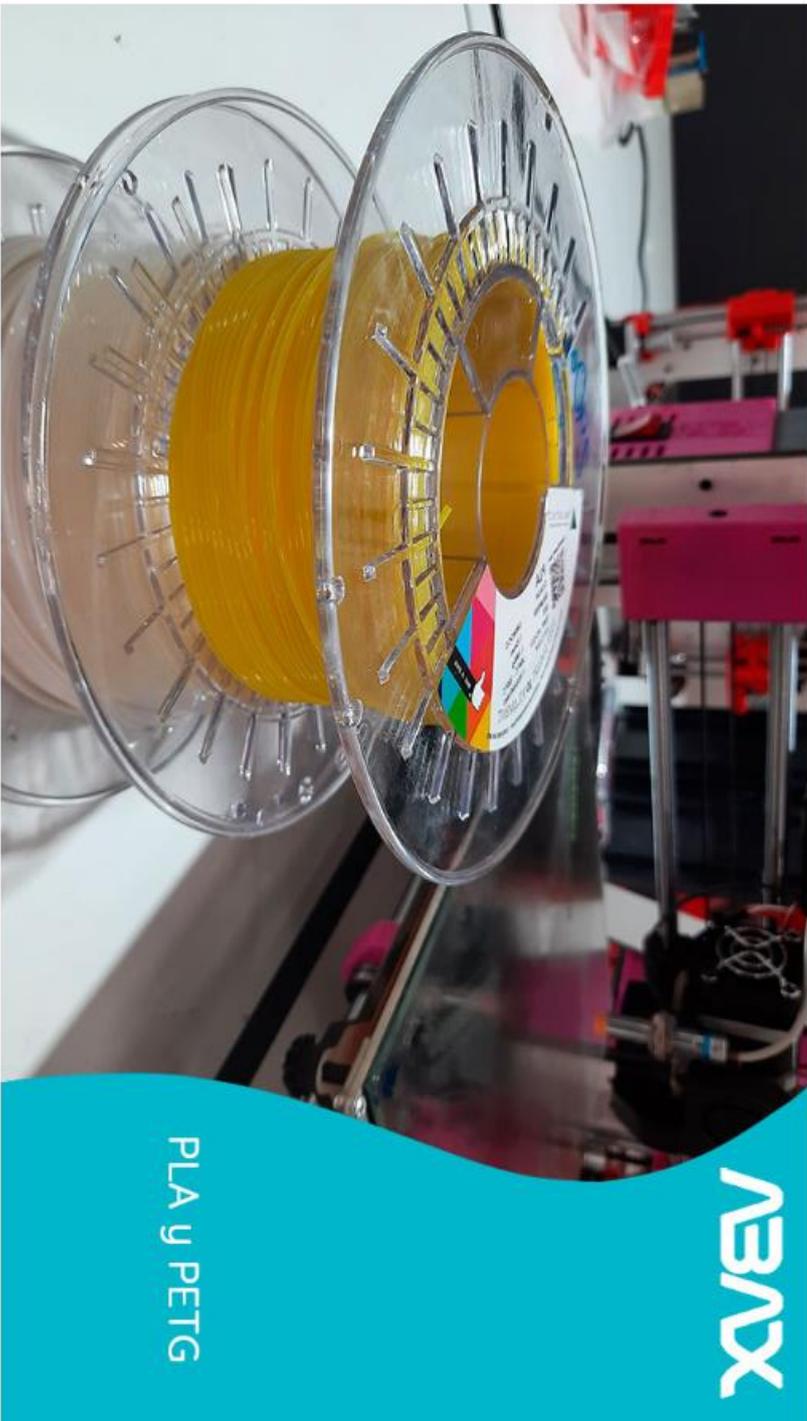
Captura tu mundo en 3D



Guía del usuario

Instrucciones originales

Anexo 30. ABAX. (2018). Características y propiedades mecánicas de los materiales mas usados en la impresión 3d.



[Impresoras 3D](#) ▾ [Impresión 3D](#) ▾ [Aprende](#) ▾ [Fresadoras CNC](#) [Contacto](#)

PLA y PETG: características, diferencias y aplicaciones

Anexo 31. Bergua, D. X. (2015). Análisis CFD aerodinámico de “JukeNismo” con recursos de MareNostrum y CSUC. Diseño de alerón trasero para las "24SERIES".

Análisis CFD aerodinámico de “JukeNismo”

Resumen

El análisis computacional de fluidos (CFD) es un recurso muy valioso para muchas vertientes de la Ingeniería moderna. En este proyecto se aprovecha el Supercomputador MareNostrum, entre otros medios, para realizar dicho estudio y configurar el diseño óptimo que permita a un vehículo de competición mejorar en cuanto a su eficiencia aerodinámica se refiere.

En este documento se refleja el recorrido por todos los pasos que se deben realizar para completar un análisis que requiere de un objetivo concreto; des de detectar las necesidades, virtudes y puntos débiles hasta la resolución que permita mejorar el rendimiento general de la máquina tratada.

En primer lugar, se estudia el entorno y las características que influirán en el estudio, se repasan los parámetros necesarios que permitirán recoger la información necesaria y se analiza brevemente los distintos modelos de simulación computacional.

A continuación, se diseña y modeliza diferentes alerones para la posterior simulación. Una vez escogido el modelo óptimo se analiza el conjunto del vehículo completo y, concluyendo, se comprueban y verifican los resultados con la teoría de la dinámica de fluidos.



Anexo 32. Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, A. (2018). Diseño e impresión de objetos 3D.



Anexo 33. Carrillo, J. M., & Castillo, L. G. (2015). Consideraciones del mallado aplicadas a cálculo de flujos bifásicos con las técnicas de dinámica de fluidos computacional.

Consideraciones del mallado aplicadas al cálculo de flujos bifásicos con las técnicas de dinámica de fluidos computacional

José María Carrillo Sánchez, Luis Gerardo Castillo Elsitidí
 Grupo de investigación Hidr@m - Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental
 Escuela de Ingeniería de Caminos y de Minas
 Paseo Alfonso XIII, Nº 52, 30203 Cartagena (España)
 Teléfono: 968327012
 E-mail: jose.carrillo@upct.es, luis.castillo@upct.es

Resumen. Cuando se realizan simulaciones con software de dinámica de fluidos computacional (denominados genéricamente CFD), el primer paso es generar un mallado de la zona de estudio (dominio fluido). La necesidad de partir de un mallado de gran calidad es tanto más importante cuanto mayor es la turbulencia en la zona de estudio. En la simulación de fenómenos bifásicos agua-aire con software CFD aumentan las exigencias del mallado. En este artículo se va a analizar la variabilidad de resultados que se obtienen con el software comercial ANSYS CFX, aplicado a un aliviadero de vertido libre, cuando se emplean distintos tipos de mallado a una misma situación de flujo. Posteriormente los resultados se comparan con los medidos en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena.

1 Consideraciones generales

Los software CFD obtienen la solución de los problemas de Mecánica de Fluidos resolviendo de forma numérica las ecuaciones de Navier-Stokes y promediado de Reynolds:

- Conservación de continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

- Conservación de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{S}_M$$

- Conservación de energía:

$$\frac{\partial (\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\tau}) + \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}_M + \mathbf{S}_E$$

donde

$$\boldsymbol{\tau} = \mu \left(\nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T - \frac{2}{3} \delta \nabla \cdot \mathbf{U} \right)$$

$$h_{tot} = h + \frac{1}{2} \mathbf{U}^2$$

Donde p es la presión, ρ la densidad del fluido, \mathbf{U} el vector velocidad, $\boldsymbol{\tau}$ el tensor de tensiones turbulentas, h la energía, \mathbf{S}_M el término de las fuerzas másicas, \mathbf{S}_E el término fuente, λ la viscosidad volumétrica, μ la viscosidad dinámica y δ el delta de Kronecker.

Para resolver el problema de clausura (sistema con más incógnitas que ecuaciones) se han desarrollado diferentes algoritmos que tienen en cuenta modelos turbulencia de distintos grados de complejidad, que van desde los modelos algebraicos de vorticidad para la viscosidad ($k-\epsilon$, RNG , $k-\omega$), hasta los modelos de tensión de Reynolds (RMS).

2 Tipos de elementos de mallado

El dominio fluido del área de estudio se divide en volúmenes de control, en los cuales se deben satisfacer el equilibrio de las ecuaciones que rigen el fenómeno. Por tanto, las características y el número de estos elementos influye considerablemente en el proceso de resolución numérica.

ANSYS CFX (2006) ofrece la posibilidad de emplear diferentes tipologías de elementos para realizar el mallado del dominio fluido (Fig. 1). De este modo es capaz de poder adaptar el mallado a cualquier contorno de los sólidos que limitan el dominio fluido.

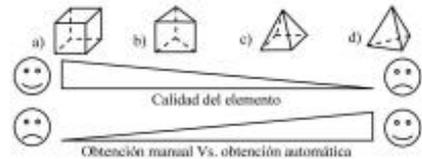


Figura 1. Tipologías de elementos. a) hexaédrico; b) prisma; c) pirámide; d) tetraedro.

La característica principal que diferencia a los distintos elementos es el número de nodos con el que resuelven las ecuaciones dentro de su volumen de control. A mayor número de nodos por elemento, más precisa será su resolución interna. En la Tabla 1 se expone un resumen de los datos.

Forma del elemento	Nodo por volumen de control
Tetraedro	4
Pirámide	5
Cuña o prisma	6
Hexaedro	8

Tabla 1. Tipología de elementos.

Anexo 34. García Alejandro, A., Gutiérrez, T. C., Jiménez, B. J., & López, A. J. (2011).
SIMULACIÓN DE GRANDES REMOLINOS DEL FLUJO SOBRE UN CILINDRO

MEMORIAS DEL XVII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM
21 al 23 DE SEPTIEMBRE, 2011 SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

A5_81

**SIMULACIÓN DE GRANDES REMOLINOS DEL FLUJO SOBRE UN
CILINDRO ($Re=1.4E+5$)**

Alejandro Alonzo García¹, Claudia Gutiérrez Torres², José A. Jiménez Bernal³, José Luis López Aguado
Montes⁴ Juan Gabriel Barbosa Saldaña⁵
LABINTHAP – SEPI – ESIME – IPN
Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, Edif. 5, 3er Piso
Col. Lindavista, C.P. 07738, D. F. México.
Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada

¹alejandro_1980@hotmail.com, ²cgutierrez@ipn.mx, ³jjimenezb@ipn.mx, ⁴pepe07245@hotmail.com,
⁵jbarbosas@ipn.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio numérico del flujo turbulento externo sobre un cilindro para un $Re=1.40E+5$. Debido a la complejidad de este tipo de flujos (periodicidad y diversas frecuencias temporales y espaciales), se optó por abordar el problema bajo la técnica simulación de grandes remolinos. Ésta técnica resuelve los remolinos más grandes del flujo en función del tamaño de un filtro espacial y temporal, y modela las escalas más pequeñas. La malla utilizada fue construida con 968000 elementos pentáedricos y fue refinada en la vecindad del cilindro mediante dos métodos. Los resultados en general fueron aceptables en lo que se refiere a las distribuciones de presiones a lo largo del cilindro, las características reproducidas del flujo y las zonas de separación. Sin embargo, algunos otros parámetros de flujo como el coeficiente de arrastre no pudieron ser aproximados.

ABSTRACT

This paper presents a numerical study of turbulent flow over a circular cylinder for $Re = 1.4E+5$. Due to the complexity of this type of oscillating turbulent flows, we chose to address the problem under the large eddy simulation technique, which solves the largest eddies of flow depending on the size of a spatial-temporal filter. The mesh used was built with 968000 pentahedron elements and was refined in the vicinity of the cylinder by two methods. The results were generally acceptable in regard to distributions of pressure along the cylinder, the intrinsic flow characteristics and separation regions. However, some other parameters of flow as the drag coefficient were overpredicted.

Key words: *turbulent flow, circular cylinder, large eddy simulation, Re , numerical study.*

1.- INTRODUCCIÓN

En el área de la mecánica de fluidos, el estudio del flujo externo sobre un cilindro resulta ser un tema clásico de investigación, debido a que en éste, se manifiestan diferentes características de flujo tales como la formación de una capa límite, la separación de flujo ocasionada por la aparición de un gradiente de presión adverso, la formación de una estela que en general, provoca a su vez, la aparición de fuerzas fluctuantes en las paredes del cilindro, etcétera.

Estas características comunes pueden variar fuertemente (y provocar un comportamiento de flujo completamente diferente) según ligeros cambios del número de Reynolds y de otros factores tales como la rugosidad superficial, la relación de aspecto L/D, la relación de bloqueo H/D, la distancia del cilindro, la nivelación y distancia del cilindro con respecto a las paredes de las zonas de pruebas etcétera.

Es importante recordar que debido a que los cilindros son geometrías que encontramos en distintos dispositivos mecánicos tales como intercambiadores de calor, soportes de plataformas acuáticas y terrestres, edificios, aeronaves, tuberías de transporte entre otras, los diseñadores buscan una mejor comprensión del fenómeno para poder optimizar los distintos dispositivos ingenieriles.

Desde el punto de vista experimental, Zdravkovich [1] presenta un compilado serio de distintos experimentos controlados del flujo sobre cilindros para distintas condiciones de flujo (distintos números de Reynolds, condiciones de bloqueo, relación de aspecto, etcétera).

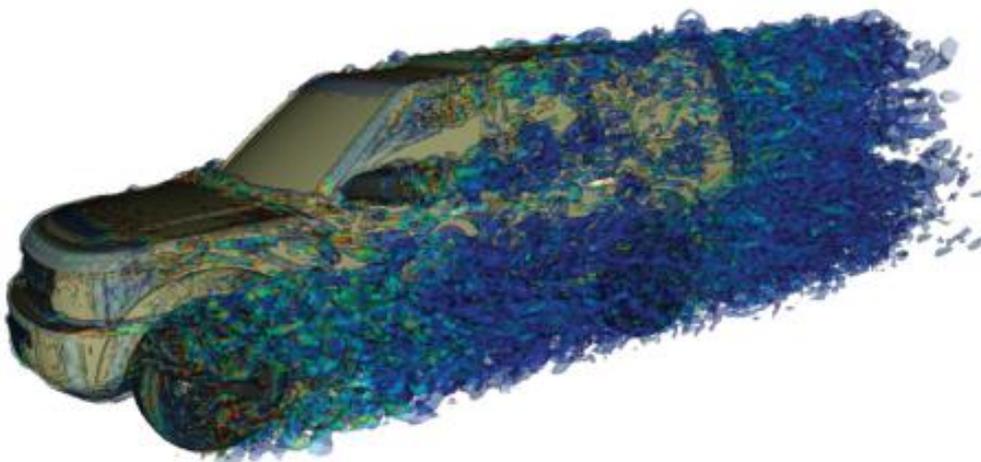
En muchos de esos experimentos, las variables de flujo estudiadas no presentan información del campo de flujo. Es por eso que la simulación numérica resulta ser una herramienta

Anexo 35. Obidi, T, Y. (2014). Theory and applications of aerodynamics for ground vehicles. SAE.



AUTOMOTIVE
COMMERCIAL VEHICLE

Theory and Applications of Aerodynamics for Ground Vehicles



T. Yomi Obidi

Anexo 36. Lanfrit, M. (2005). Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT. Fluent Deutschland GmbH.

Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT

Version 1.2
(Feb 9th 2005)

Marco Lanfrit (mgl@fluent.de)
Fluent Deutschland GmbH
Birkenweg 14a
64295 Darmstadt/Germany

This document gives a description of a straightforward and reliable way to perform simulations in the field of automotive external aerodynamics using the CFD software package FLUENT. Items and approaches listed below do not claim to be complete nor optimized, they are just recommendations based on experience with recent comparable studies.

1. INTRODUCTION

External aerodynamics is one of the main applications in the automotive industry. Engineers in the field of aerodynamics have been using CFD for a long time. Traditionally, CFD is used to verify wind-tunnel experiments, optimize car shapes in terms of lift and drag, and study salient flow features. In the last few years the simulation of aero-acoustics has become another major application, which helps the aerodynamicist to obtain fast and reliable results for a specific configuration. To use CFD during the design cycle one needs a reliable and straightforward approach, which makes it possible to compare results for different vehicles and for several alternative vehicle modifications.

CFD is always subject to some constraints not only in the field of external aerodynamics. Among other constraints, allocatable RAM, total amount of CPU time and expected response time for results have to be taken into consideration. They determine the modeling approach used in terms of cell count and the complexity of numerical models. This influences the accuracy of the results as one can see for the simulation of the Ford Ka (Table 1). As a first step the existing best practice was applied, using a so-called coarse mesh with 5.5 million cells for a complete car model including a detailed underbody. In the next step, the same numerical models have been used with a finer mesh (11.5 million cells), while in the last step a higher order turbulence model was used in conjunction with the fine mesh. Table 1 shows the results of this set of simulations for drag coefficient c_D .

mesh size & turbulence model	c_D	Δc_D	CPUhs
wind-tunnel experiment	0.321	-	-
coarse mesh (5.5 M cells) realizable k- ϵ	0.336	4.7 %	450
fine mesh (11 M cells) realizable k- ϵ	0.328	2.1 %	750
fine mesh (11 M cells) RSM	0.322	0.3 %	1200

Table 1: Comparison of results for different modeling approaches [1]

The results clearly show the improvement of simulation accuracy in comparison to windtunnel results, when more effort is put into the modeling approach. In the next sections the most common modeling approaches for Geometry Cleanup, Meshing and Simulation are discussed.

Anexo 37. Arteaga, O y otros. (2019). Diseño , simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo tipo formula SAE.

DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FÓRMULA SAE.

Oscar Arteaga¹
Stalin Mena²
Vinicio Caiza³
Juan Villaña⁴

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Extensión Latacunga

Quijano Ordoñez y Marqués de Maenza S/N Latacunga, Ecuador

Email: obarteaga@espe.edu.ec¹, jsmena@espe.edu.ec², vinicio.caiza@yahoo.com³, juanpl.91@hotmail.com⁴

Latacunga – Ecuador

RESUMEN

El presente trabajo muestra una investigación realizada para diseñar una carrocería acorde a las normas que exige la organización SAE para un prototipo de auto de carreras tipo Formula Student, así como también la construcción de la misma para evidenciar la optimización realizada durante el proceso llevado a cabo para su posterior competencia.

Empezando por el diseño, se tendrá que estudiar los efectos que causa el aire a determinadas velocidades para poder aprovechar las corrientes del fluido con miras a aumentar el desempeño del vehículo. Se tiene que analizar la carrocería en sí para ubicar curvas que ayuden a direccionar el aire hacia los dispositivos aerodinámicos tales como pontones, difusores, piso, casco, y la estructura de todo el vehículo mediante un software de diseño mecánico y simulación CFD.

La segunda parte se basa en el estudio de los materiales de construcción, para ello se ha optado por analizar la resistencia mecánica de tres plásticos reforzados con fibras naturales y minerales. Con los resultados de análisis y con los resultados del proceso de diseño se tiene el criterio necesario para continuar con la siguiente fase que es la construcción del diseño computacional.

En el proceso de construcción se toma en cuenta el área que va a ser cubierta por cada tipo de material para adquirir la cantidad necesaria. Se toma en consideración el sistema de construcción para obtener el resultado deseado que es reducir los pesos en comparación con los

anteriores diseños realizados para participar en la misma competencia.

ABSTRACT

This paper presents an investigation to design an bodywork according to the standards required by the organization SAE for a prototype of racing car type Formula Student, as well as the construction of it to demonstrate the optimization performed during the process carried out for subsequent competition.

Starting with the design, you will have to study the effects caused by air at certain speeds to take advantage of the fluid flows in order to increase vehicle performance. You have to analyze the bodywork itself to locate curves that help direct the air to the aerodynamic devices such as sidepods, diffusers, floor, helmet, and the structure of the entire vehicle by mechanical design software and CFD simulation.

The second part is based on the study of building materials, for it has been chosen to analyze the strength of three plastics reinforced with naturals and minerals fibers. With the results of this analysis and the results of the design process, you have the criteria necessary to continue the next phase which is the construction of computational design.

In the construction process takes into account the area to be covered by each type of material to acquire the necessary amount. The build system is taken into account to obtain the desired result is to reduce the weights compared with previous designs made to participate in the same competition.

Anexo 38. Mustafa, C. (2012). ESTUDIO CFD SOBRE EFECTOS AERODINÁMICOS DE UN REARWING / SPOILER ON.

Santa Clara University
Scholar Commons

Mechanical Engineering Masters Theses

Student Scholarship

2012

CFD study on aerodynamic effects of a rear wing/ spoiler on a passenger vehicle

Mustafa Cakir
Santa Clara University

Follow this and additional works at: http://scholarcommons.scu.edu/mech_mstr

 Part of the [Aerodynamics and Fluid Mechanics Commons](#), and the [Mechanical Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Cakir, Mustafa, "CFD study on aerodynamic effects of a rear wing/spoiler on a passenger vehicle" (2012). *Mechanical Engineering Masters Theses*. Paper 1.

This Thesis is brought to you for free and open access by the Student Scholarship at Scholar Commons. It has been accepted for inclusion in Mechanical Engineering Masters Theses by an authorized administrator of Scholar Commons. For more information, please contact scroggin@scu.edu.

Anexo 39. Instituto Nacional de Tecnología industrial. (2009). Modelado por Deposición Fundida - Principio de Funcionamiento. INTI.



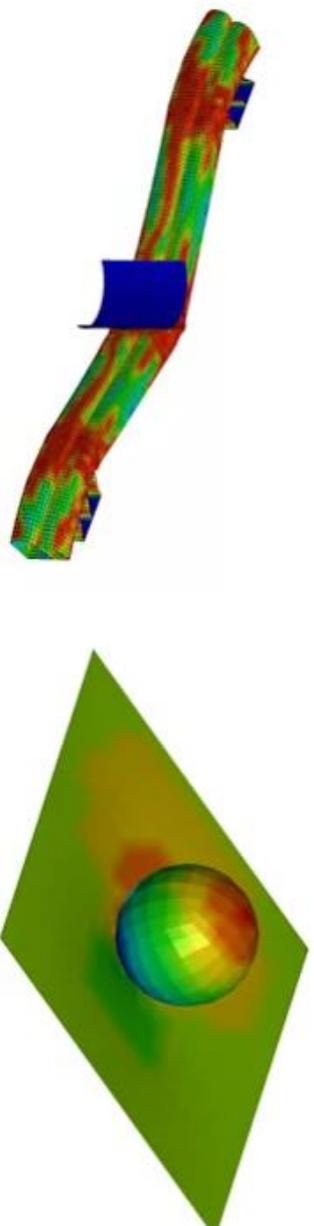
ANSYS LS-DYNA Student - Descarga gratuita de software

ANSYS LS-DYNA Student ofrece acceso gratuito al programa de simulación explícita más utilizado del mundo, capaz de simular la respuesta de los materiales a períodos cortos de carga severa. Los estudiantes pueden trabajar a través de simulaciones que involucran fallas en los materiales y ver cómo progresa la falla a través de una pieza o un sistema. Las aplicaciones incluyen automoción, aeroespacial, fluidos incompresibles, fluidos compresibles y ondas de choque, electromagnética y más.

Términos de uso: las descargas gratuitas para estudiantes son solo para uso educativo y solo se pueden usar para el autoaprendizaje, la instrucción de los estudiantes, los proyectos de los estudiantes y las demostraciones de los estudiantes.

DESCARGAR ANSYS LS-DYNA STUDENT 2020 R2.2

(Licencia integrada válida hasta el 31/7/23)



Wing positioning

Using FlowWizard CFD to optimise a wing's location on a simplified Touring Car model revealed some surprisingly complicated interactions

What effect does the position of a rear wing on a racecar have on its performance? The relationship between the two is known to be critical, but where do you start? Sadly, there seems to be an almost complete lack of information in print that can be readily applied in the real world, so when the opportunity to take a close look at a practical case presented itself we decided to share some of the general

by SIMON MCBEATH

insights that arose. Hopefully, the findings will help readers with their own installations.

PREFERRED POSITION

The available literature on this subject provides few references on this wing/body relationship. Joseph Katz helps in *Race Car Aerodynamics* by quoting an SAE paper (920345) in which wing heights between 0.5 and 5.5 times the wing chord above

the rear deck were evaluated on generic Sports Prototype and sedan racecars. But in most competition categories wing height is likely to be less than a single wing chord dimension, so this reference only provided a couple of practically useful data points, and in both cases the published graphs showed this to be perhaps the most crucial part of the data set. And as a single wing angle only was cited in each case, more examples at and below a single chord above

the rear deck, and at a range of angles, would be invaluable.

So when Racecar Engineering contributor Marshall Pruett's Motorsport Engineering (MPME) requested assistance in mapping the mandatory wing profile used in the SCCA's Speed World Challenge Touring Car division, in which the team competes with Scion TC racecars, it was agreed that it would be best if the actual environment in which the wing was to work could be simulated, with little time and only modest

MODELLING PROFILES

Figure 1
CAD model of the mandatory single-element wing used in SCCA Touring Cars



Figure 2
Graph showing downforce and drag forces calculated by FlowWizard for the wing in isolation

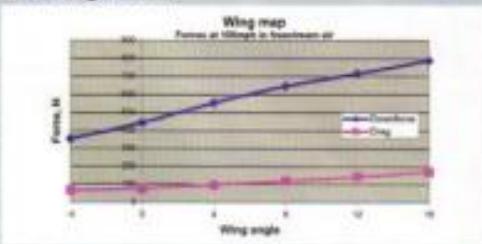


Figure 3
CAD model of the simplified car



Figure 4
Flow vectors along the wingless car centreline

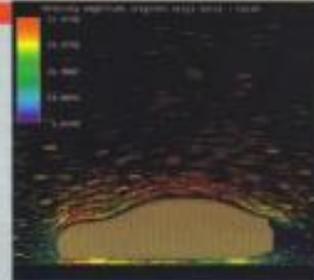
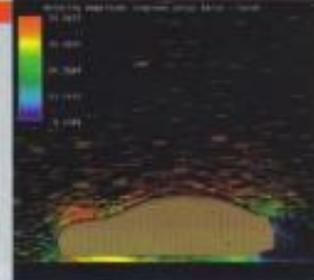


Figure 5
Flow vectors along the wingless car 0.6m out from the centreline



Reproduction (PDF) of articles published online by Elsevier is prohibited. Copyright © 2014

computing resources available, it was decided to generate a very simple 3D CAD model that incorporated the basic side view and front view profiles of the car, these profiles being derived from photos on the manufacturer's website. The hope was that using the essential features of the body shape would provide a more realistic environment for the wing to operate in, and that this would then allow some trends as to the best height and angle for the wing to be obtained. The study performed was therefore in similar spirit to those performed on other simplified reference bodies that appear in various aerodynamic texts.

The regulations for the series not only mandate a specific wing profile, they also specify a maximum height for any part of the wing at six inches (150mm) below the maximum roof height, and a maximum rearward location no further back than the rear of the approved bodywork. These locations are here designated h-max for the maximum height and x-max for the rearmost position. It was decided to use x-max locations only, that is all positions

to be tested would feature the wing as far back on the car as the rules permitted. And that four wing heights would be tested, each at a range of wing angles. Chosen heights were: the maximum permitted; h-max, which was set at 150mm below maximum roof height (with the wing horizontal this meant the leading edge was roughly one chord dimension above the rear deck); and three additional lower heights at h-max-30mm, -60mm and -90mm, in each case, as the wing was rotated, its position was reset so that the highest point of the end plate matched these figures, and that the rearmost point of the end plate met the maximum rearward location rule.

INITIAL MODELS AND RUNS

The first task was to produce the wing to the mandatory profile. A scanned outline drawing of the profile was carefully measured to generate a set of points through which a spline curve could be fitted in the CAD software. The 2D profile was then scaled to the

correct chord dimension (215mm, or approx 8.5in) and then extruded in 3D to the maximum allowed span (1.22m, including a pair of simple end plates, or roughly 48in). The wing model is shown in figure 1, and the map of downforce and drag forces obtained using default Flowizard settings at 100mph (44.7m/s) is shown in figure 2.

Next, the CAD model of the car had to be tested in the CFD software. The auto meshing

facility of Flowizard is unable to deal with volumes between 'solid' objects that taper away to nothing, such as the intersection of cylinders representing tyres with the flat plane representing the ground. So, as much for speed in generating the model as to enable the automatic meshing to take place, the wheels were simply constructed as quadrilateral block shapes to approximate the correct overall dimensions. This gave four contact patches that would not only mesh, but which would also enable the car model to be attached to the ground plane in Flowizard and enable runs at a representative ground clearance - a significant factor in obtaining realistic flows over the top of the car.

The car model was subjected to CFD and is shown in figure 3 while figures 4 to 9 show various post-processed CFD-generated graphics illustrating the flows around the wingless car. Total lift and drag were calculated

on the car model as 572.7N (128.4lb) and 1113.5N (249.7lb) respectively, corresponding to a lift coefficient of +0.248 and a drag coefficient of 0.462. While not representative of the real car, the changes to these numbers brought about by the wing could at least be assessed.

Looking at the area over the rear screen and deck where the rear wing operates, it would

all positions tested would feature the wing as far back on the car as rules permitted

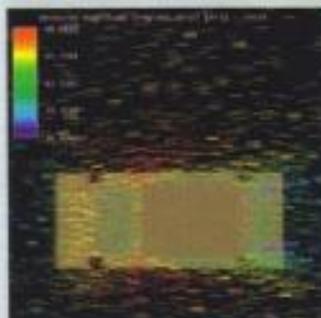


Figure 6
Flow vectors along the wingless car from above at h-max, 150mm below the roof peak

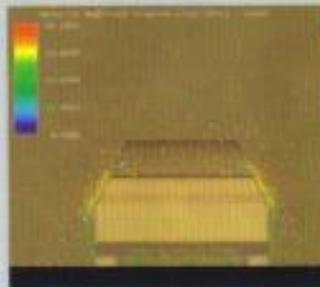


Figure 8
Flow vectors across the wingless car from behind on a plane just ahead of where the wing leading edge would be

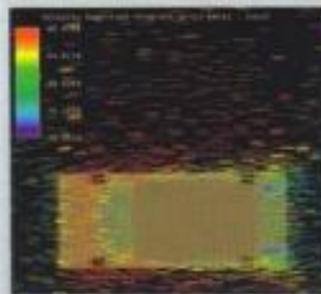


Figure 7
Flow vectors along the wingless car from above at h-max -90mm, 240mm below the roof peak

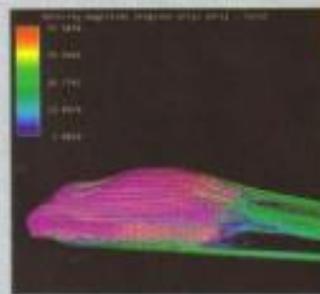


Figure 9
Path lines demonstrate the complexity of the flow field around this generic Touring Car

LIFT OVER DRAG

Figure 10
Total lift on the car plus wing, with the wing at its maximum permitted height

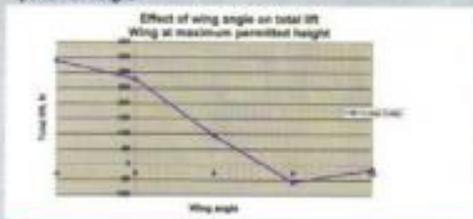


Figure 11
The car's total drag with the wing at maximum height

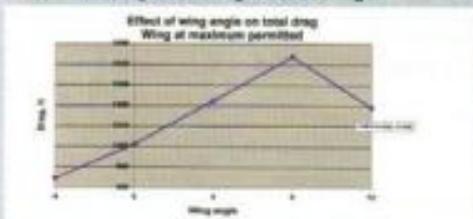


Figure 12
Lift over drag, calculated using changes to the coefficients relative to the no-wing case

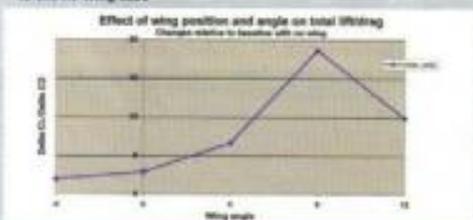


Figure 13
The downforce generated by the wing alone at h-max

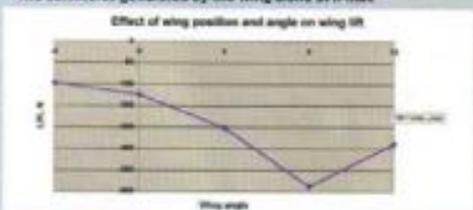
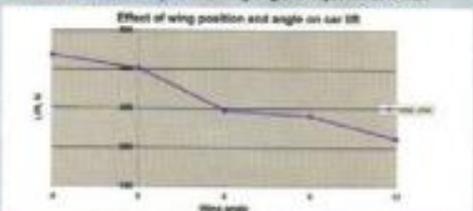


Figure 14
The lift on the car only as the wing angle is adjusted at h-max



appear that the general character of the flow field has been captured using this simple model and CFD parameters. Clearly the flow over much of the rear screen has a pronounced downward direction to it (figure 4, centreline flow vectors), and is also generally convergent around the rear (figures 6 and 7 from above), as well as spiraling in from the sides around the rear screen pillars (figure 8). Notice too though that the flow above the rear deck in figure 5, half a wing span out from the centreline, is more horizontal than it is on the centreline, so the outer portions of our 1.22m plain span wing will obviously see a different onset flow angle to the more central portions. Clearly too, air in which the wing will operate will be at varying velocities.

WING-ON-CAR TRIALS

The next step was to test the wing on the car at various heights and angles. The angle sweep on the wing in isolation showed it would run to 16 degrees without stalling. However, it seemed unlikely that it would reach this angle when over much of its span the onset flow would be approaching downwards at about 20 degrees. So the wing was mapped first at the maximum permitted height, starting with an angle of minus four degrees and continuing until performance dropped off. Figure 10 and 11 plot the total lift and drag of the car and wing combination at wing angles of up to 12 degrees, where it became apparent the wing had stalled.

Notice that even though it is partly masked by the car ahead of it, the wing is still capable of reversing the 'natural' positive lift and even turning it into a small amount of downforce at the two steepest angles run here. Consider that the eradication of lift alone would be worth about an extra six per cent vertical force on the tyres at 100mph if the car weighed 1000kg (2200lb). In this exercise we were not attempting to determine the front to rear division of the vertical aerodynamic forces, and note too that the racing version of the Scion uses a front splitter to develop front-end downforce to balance the rear wing.

Another interesting observation is that total drag appears to have been reduced by the wing at all angles, compared to the no-wing case. What appears to be happening here is that the wing lifted the general angle of flow along the back of the car and reduced its velocity over the rear screen. This further lowered the static pressure here and, because the sloping screen is partially rear-facing, reduced drag. Suddenly it opens up the idea of different configurations for different tracks, although the best setting for maximum downforce and efficiency is eight degrees at this wing height according to figure 12, which plots the ratio of the two coefficients as a measure of efficiency.

CFD software can also calculate the forces on the separate components, and figure 13 shows how much less peak downforce it is able to generate when mounted behind the car's 'greenhouse'. In fact the wing generated just 43 per cent of the freestream value at eight degrees. Especially interesting though is the plot in figure 14, which shows the car's lift reduces as the wing angle is increased, even after the wing's own contribution has declined at 12 degrees. To see how the wing turns the flow at the rear, take a close look at the CFD graphics in figures 15 to 17 run at the peak downforce and efficiency setting of h-max and eight degrees.

OTHER WING HEIGHTS

All the results from the first wing height seemed logical and easily explained. As additional wing heights were mapped however, the picture became much more complex. In an attempt to present the findings reasonably clearly, let's first look at the downforce generated by just the wing at the different heights above the deck, shown in figure 18. At angles of four degrees and above the wing generated less downforce in the lower positions, which we might reasonably have predicted because the wing was being moved into less energetic airflow.

However, at the shallower wing angles the pattern becomes more difficult to



No budget for wind tunnel or CFD testing?
Track testing can reveal a lot about a racecar's
aerodynamics, even with minimal data acquisition capability

By **Simon McBeath**

There's no denying that wind tunnel or CFD time comes at a cost. And if the budget isn't there, then arguments about the cost-effectiveness of such testing are just turbulent hot air. But it is still possible to make some useful observations and measurements on a racecar's aerodynamics to gather information, perhaps indirectly, about the flows and forces involved. This article aims to collate some practical ideas about what you can reasonably expect to achieve using track time only. And these methods are not just for the cash-strapped racer; they are a sensible alternative – if not a necessary supplement – to wind tunnel or CFD for any team.

Positive benefits

A big advantage of track testing, be it on a circuit, a disused runway, a drag strip or whatever venue is available, is that you test the actual racecar itself. So the flows and the resultant forces are all real. You also evaluate the realities of less-than-perfect bodywork fit, protruding fasteners, warts and all. While some of this is also true of full-scale

In this Racecar Essentials we go back to the racetrack and look at practical ways of examining the aero performance of your racecar with minimal or no outlay at all.

wind tunnel testing (and could be of CFD if your digital model included such detail), another plus of track testing is that the vehicle moves over the track as well as through the air. This means the wheels rotate, and that there is no need to simulate 'moving ground', or to develop means of controlling the slow moving boundary layer of air that develops over the floor of a wind tunnel

“A BIG ADVANTAGE IS THAT YOU TEST THE RACECAR ITSELF”

ahead of the test model. CFD allows these benefits too, but you need – or at least must create – a 3D CAD model first, and that facility is often unavailable or unaffordable. So there are positive benefits to using track time to gather aerodynamic data. As with any simulation techniques though, there are shortcomings too, as we shall see.

So what kind of aerodynamic knowledge can you obtain on track? This depends fundamentally on what level of data acquisition is available to you. In this Essentials article we'll look at what's attainable with little or no data logging equipment, assuming only that basic timing and some form of speed logging is at hand.

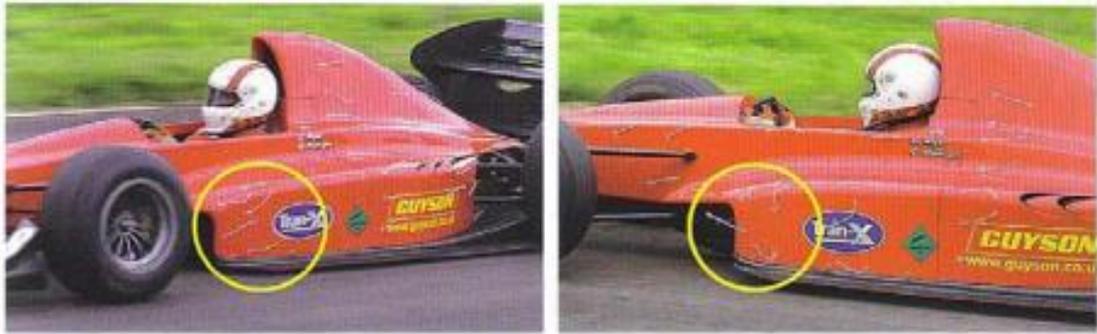
Flow visualisation

The first thing we can do though requires no instrumentation whatsoever, and that is flow visualisation. Then we can go to the racetrack to measure the effects of aerodynamic configuration changes on speeds and times. And finally we can have a crack at measuring total drag, and possibly too the effects of configuration changes on total drag. This term covers a range of methods for revealing where otherwise invisible air is flowing.

We sometimes get brief glimpses of flow patterns around racecars, even on TV. For example, on humid days, the reduced static pressure in the core of the tip vortices of high downforce rear wings can condense atmospheric water vapour, rendering the vortices fleetingly visible. And when an engine blows up we sometimes see the ensuing smoke and vapour emissions following the counter-rotating circulatory patterns in the racecar's wake.

But these transient glimpses are of little practical use. We need methods that allow us to visualise the airflow in specific areas of interest, and which we can record. Two media are readily available, both of which reveal flow directions on the racecar's surfaces: wool tufts and fluid streaks. Neither requires a proper racetrack.

Wool tufting is an old but very useful technique. Pieces of wool yarn (in to 4in (75mm to 100mm) long) are taped to the surfaces of interest



Using basic wool tufts on your racecar can be very revealing. At high speed (above left - indicated by the low ground clearance) the tufts on the front of the sidepod trail backwards as you might expect, whereas at low speed (above right - with greater ground clearance visible) the same tufts show reverse flow

so that they trail along in the direction of the local flow when the vehicle moves. The tape should be thin and stuck down smoothly so as to disrupt the airflow as little as possible. The car is then driven, perhaps at different pre-determined speeds, and observers take photographs or video footage for later study. If this visual recording is done from a 'chase car' then it needs to be far enough away so as not to alter the airflow over the test car.

Wool tufting makes it possible to visualise not just the local flow direction over a surface but also, to an extent, the flow quality. Regions where the flow follows an unexpected direction can perhaps show where local pressures are low (the flow tending towards such areas), or maybe even where flow separation has occurred (reverse flow). And 'failing' tufts, which show up in photos taken with a slowish shutter speed as fan-shaped blurs, can reveal where the flow is particularly turbulent or unsteady.

The undersides of critical surfaces pose more of a problem, but these days it is possible to

obtain small video cameras that can be taped or tie-wrapped in the most inaccessible places to record the flows on, for example, the underside of a wing or a diffuser. Again, care must be taken that the recording device does not interfere with the flow you are recording. Even though wool

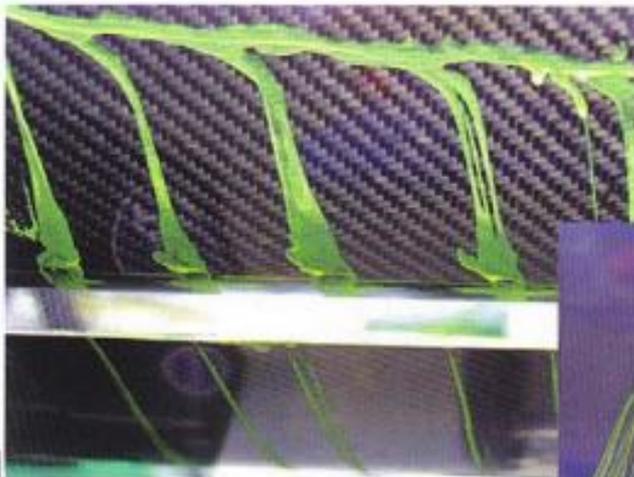
“WOOL TUFTING IS AN OLD BUT VERY USEFUL TECHNIQUE”

tufts only reveal flows at the surfaces, you can begin to build up a mental picture of the flow field around the car. And this is incredibly useful information, obtainable for very little cost. The photos illustrate some of the detail that can be divined using this method.

Equally cost effective is the use of a suitable fluid, possibly with a dye or colourant added, that is placed in droplet form on the surfaces of

interest prior to sending the car out, again probably at a range of pre-determined speeds. If you haven't used this technique before, it is likely that you will have noticed how dirty water droplets or oil droplets from cars ahead can leave behind streak marks on your car's body surfaces that follow the local surface airflow. These constitute a 'frozen' record of where the air was flowing along the surfaces.

The deliberate use of fluid droplets to exploit this effect requires some thought, especially with regard to which fluid to use. Paraffin, diesel/fuel oil or thin lubricating oil (coloured with a dye like fluorescein or a small amount of copper grease) are suitable, though ambient temperature plays a role. If it's too hot the fluid will evaporate too fast and not give a full or accurate picture. Too cold and it won't evaporate, and may flow back over the marks it has left to confuse the 'printed' record. Experimentation with fluid and colourings may be necessary, but be sure to avoid fluids that are corrosive to paint or bodywork! →



Paraffin coloured with fluorescein dye shows this dual-element rear wing to be working well, but near its limit - the pattern near the flap trailing edge (top of picture) shows some flow separation occurring in the centre of the wing

Flow visualisation fluids can be very revealing. The central mounting structure is having a very adverse effect on the flow along the underside of this wing (the wing leading edge is at the bottom of the picture)



Anexo 43. Morocho, R. (2012). Diseño y construcción aerodinámica tuning para faldones, alerones y estribos de un vehículo Chevrolet Esteem 2002 .



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA.

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN AERODINÁMICA TUNING PARA
FALDONES, ALERONES Y ESTRIBOS DE UN VEHÍCULO
CHEVROLET ESTEEM 2002."

DANIEL SANTIAGO MOROCHO RAMÓN.

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ.

LATACUNGA - ECUADOR

2012

Anexo 44. Fraga, B. (2017). Analisis aerodinamico de un camion Hino serie 500 mediante la inclusión de una alerón en el techo de la cabina.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingenierías

Maestría en Diseño Mecánico Automotriz

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

“Análisis aerodinámico de un camión Hino serie 500 mediante la inclusión de un alerón en el techo de la cabina”

Nota de Autor

Ing. Bayronn Ernesto Fraga López, Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Universidad Internacional SEK.

Director Jaime Molina, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

bayronnfraga@hotmail.com.

Quito 2017

Anexo 45. Kieffer, W. (2005). CFD study of section characteristics of formula Mazda race car wings.



Available online at www.sciencedirect.com



Mathematical and Computer Modelling 43 (2006) 1275–1287

**MATHEMATICAL
AND
COMPUTER
MODELLING**

www.elsevier.com/locate/mcm

CFD study of section characteristics of Formula Mazda race car wings

W. Kieffer^a, S. Moujaes^{b,*}, N. Armbya^b

^a MSME UNLV 2002, United States

^b ME Department, UNLV, United States

Received 2 November 2004; received in revised form 14 March 2005; accepted 21 March 2005

Abstract

A great deal of research has been done on the aerodynamic characteristics of race cars competing in major racing series throughout the world. Because of the competitive nature of motor sport, this research is usually not published until after it is obsolete. The teams operating at the minor league levels of the sport do not have the funding resources of the major series to perform aerodynamic research. In an effort to provide some information for teams competing in the minor league Formula Mazda racecar class, this study was conducted using the Star-CD CFD code to perform a turbulent simulation (using a $k-\epsilon$ model) of the airflow on the front and rear wings of a Formula Mazda car with different angles of attack and the effect of the ground on the front wing. Results are presented graphically, showing pressure and velocity distributions and lift (C_l) and drag coefficients (C_d) for the different cases. It was shown that the ground effect has a marked effect on the C_l and that the angle of attack has a significant effect on the lift and drag coefficients, and it was shown that an angle of 12° below the horizontal seems to indicate stalling conditions. It is suggested that this information, along with experimental validation, can be valuable for improving the optimum handling of these Formula Mazda race cars.

© 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: CFD; Aerofoil; Mazda race cars; $k-\epsilon$ turbulent modelling

1. Introduction

Aerodynamic developments that result from research in the highly competitive environment of motor sport are used as a competitive advantage for the team or manufacturer that funded the research. Any team that gains an advantage is rather reluctant to share that information with their competitors. Therefore, much of the research in this industry/sport is not published. The research that is published refers to generic shapes or to vehicles that are no longer competitive due to rule changes or other technological developments.

The work by [1] contains theoretical fundamentals of the flow across two-dimensional (2-D) wing sections and the application of the theories to three dimensions (3-D). Research in [2] investigated the design and effectiveness of

* Corresponding address: University of Nevada Las Vegas, Department of Mechanical Engineering, 4505 Maryland Pkwy Box 454027, 89154-4027 Las Vegas, NV, United States.

E-mail address: samir@me.unlv.edu (S. Moujaes).

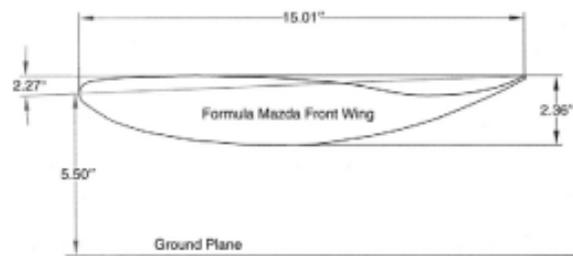


Fig. 2. Cross section drawing of front wing (airfoil).

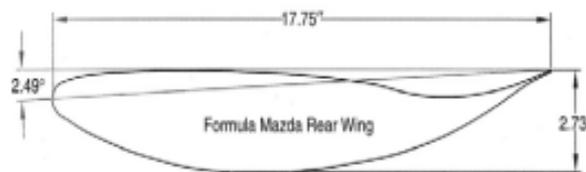


Fig. 3. Cross section drawing of rear wing (airfoil).

3. Physical characteristics of the wings

A Formula Mazda front wing is a single element configuration comprised of two sections, one on either side of a fiberglass nose. Each wing section has angle of attack adjusters on the inboard end and spill plates on the outboard end. The wing has a chord of 15 in. It is mounted with the center of the leading edge 5.5 in. above the ground, well within the distance of ground effect. The simulation here will concentrate on the angle of attack and effect of the ground on the lift and drag in the case of the front wing on the car, and on the effect of the angle of attack on the rear wing. A sectional drawing of the front wing is shown in Fig. 2. The angle dimension in the drawing is the difference in angle of attack between the SCCA, Inc. measurement method and standard aerodynamic practice. Based on the wing dimensions and the properties of Standard Air, the front wing operates at $Re = 0.9 \times 10^6$ at 80 miles/h and at $Re = 1.5 \times 10^6$ at 130 miles/h.

A drawing showing the cross section of the rear wing is shown in Fig. 3. It is of single element design with two support struts in the center and spill plates on the end. Angle of attack adjusters are provided as part of the support strut assembly. The wing has a chord of 17.75 in. (SCCA, Inc). The wing is mounted above the bodywork and can be considered to be in free air. The dimensioned angle in the drawing is the difference in angle of attack between the SCCA, Inc. measurement method and standard aerodynamic practice. Based on the wing dimensions and the properties of standard air, the rear wing operates at $Re = 1.1 \times 10^6$ at 80 miles/h and at $Re = 1.8 \times 10^6$ at 130 miles/h.

4. The physical model

The problem was treated as a two-dimensional problem to validate the concept and to determine the amount of computer resources required for future work. Racecars, on the other hand, generally have a finite depth of airfoil, and hence the treatment here is mainly to capture the main features of the airfoil geometry and the effect of the important parameters such as the angle of attack and the ground effect on the front airfoil. Ref. [1] describes limitations of applying two-dimensional wind tunnel results to three-dimensional wings with finite length. Refs. [8,9] expanded on this specifically to racecar applications where the flow about the airfoil interacts with the ground and body. Because of this interaction, only a small part of the wing operates in true two-dimensional conditions. Despite these limitations, the two-dimensional approach can be applied to this problem, because the problem is structured as a comparison between different conditions using the same airfoil.

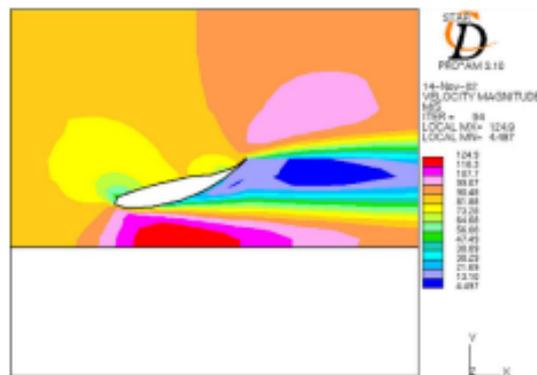
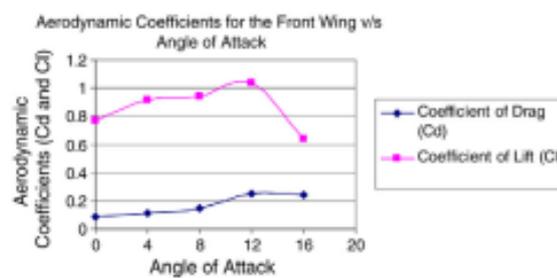


Fig. 13. Front wing velocity distribution with 16° AOA.

Fig. 14. Front wing variation of the C_d and C_l as a function of AOA.

shows that a greater portion of the lower surface of the wing is in close proximity to the ground. The air accelerates through the gap between the airfoil and the ground, creating a low-pressure area. The greater the portion of the lower surface that is in close proximity to the ground, the larger the low-pressure area and hence, the greater the downward force will be. Fig. 13 represents the plot of the velocity field for the 16° AOA which indicates a fairly high velocity near the ground as opposed to above the airfoil, with some rather low velocities at the trailing edge of it. This latter area indicated some flow reversal for this case as well.

The CFD code is able to calculate the resultant lift and drag force on the wing, and Fig. 14 shows the variation of the coefficients of lift (C_l) and drag (C_d) for various angles of attacks of the front wing in ground effect. The greatest downforce occurs at 12° AOA. This shows the condition of what could be considered the “stalling” condition. The C_d is the normalized (by dividing by the velocity head) and integrated horizontal force on the wing surface area, while the C_l is the normalized (by dividing by the velocity head) and integrated vertical force on the wing area.

6.2. Rear wing

For the rear wing, only the free standing wing airfoil is simulated, as the wing is much higher off the ground and hence no ground effect was simulated for this paper.

Fig. 15 shows a sample velocity plot for the rear wing with 0° angle of attack and indicates, in general, the higher velocity magnitudes on the bottom surface of the airfoil, as expected due to the inverted positioning of these airfoils.

Different cases were run for the other angle of attacks, and the plots obtained were compared with that of 0° angle of attack. Figs. 16 and 17 depict a sample of the variation of the velocity and pressure distribution at 0° AOA, respectively. As expected for the inverted airfoils, the low-pressure suction area is on the lower surface of the airfoil, with the positive pressure side being on the upper surface of the airfoil. Figs. 18 and 19 show sample plots of the contours for two AOAs, showing pressure and velocity plots at 8° and 12° AOA, respectively for the rear wing. Figs. 20 and 21 show the summary of the velocity and pressure normalized distributions for the different angles of

How to wing it

If the technical regulations allow the requisite freedom, just where do you locate your rear wing? At the rear of course – but exactly where?
By SIMON McBEATH

A topic in which there appears to be no single answer to a simple question is where to place the rear wing on a sports racing car. In principle, one can vary the span of wing location on a discrete basis (up and for down) or continuously (up – attempting to push the wing up and to back that after giving the wing a chance to be in the rear of the rear body. So, with the aid of a CFD software and a sports car model, we have taken a closer look.

We have also been privileged to speak with a leading authority of the rear wing wing design, Andrew Chappell at DaimlerChrysler in the USA, who has shared some interesting insights on his company's methodology, including the data we'll quote here.

Virtual assessment

The basis for the CFD exercise was one of the leading CFD models in the industry, originally developed by the author in our October 2012 issue (102/11) in which a variety of aerodynamic layout concepts were evaluated for a virtual Formula 1 car. The methodology was to design and build the rear wing using a software tool that allowed the user to define the wing location on the model and then another tool to run the CFD analysis. The model was then used to assess the aerodynamic performance of the rear wing. The model was then used to assess the aerodynamic performance of the rear wing. The model was then used to assess the aerodynamic performance of the rear wing.

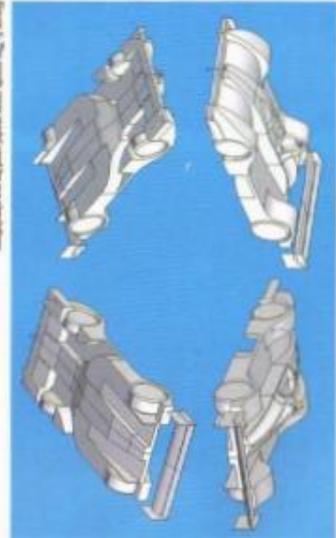


Figure 1: The sports car model used for our simulations



Figure 2: In our initial trial, varying wing height at the datum wing location showed body downforce differently from total downforce

The only part of the car that was not fixed at a location of the wing, which had been defined in the model, was the rear wing. The rear wing was defined in the model as a rectangular plate with a height of 1.5m and a width of 1.5m. The rear wing was defined in the model as a rectangular plate with a height of 1.5m and a width of 1.5m. The rear wing was defined in the model as a rectangular plate with a height of 1.5m and a width of 1.5m.

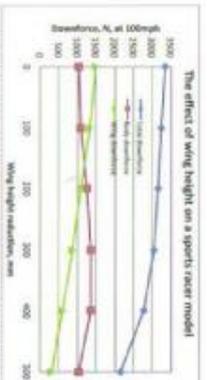


Figure 2: In our initial trial, varying wing height at the datum wing location showed body downforce differently from total downforce

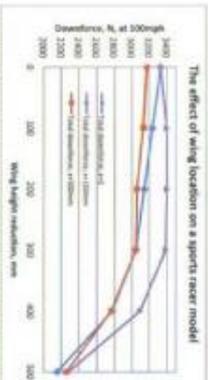


Figure 4: Adding further a location, provided a more pronounced impact of total downforce rather than wing height

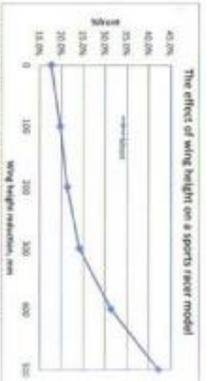


Figure 5: The efficiency gain was highlighted the greatest benefit to be gained by altering wing height and a location

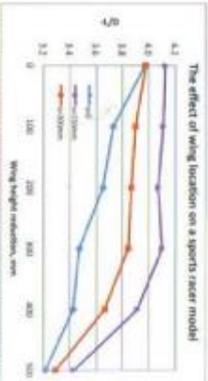


Figure 5: The efficiency gain was highlighted the greatest benefit to be gained by altering wing height and a location

Table 1 - The basic aerodynamic parameters of maximum wing height and force downforce wing locations, forces in Newtons at 100km/h (divided by 4.459 to get equivalent in lb)

Location	Wing DL, N	LD	%Total
0mm	3033.6	639.2	13.97
+150mm	3022.0	802.5	14.52
+300mm	3172.3	786.3	13.97

Table 2 - Separating wing and body downforce

Location	Wing DL, N	Body DL, N
0mm	1497.0	1537.0
+150mm	1468.1	1589.9
+300mm	1497.0	1676.5

But in making this choice it was also borne in mind that the total vertical separation between the wing and the datum and right center line was wing height at its well as to be. So, the next phase of work thus saw the wing moved to two additional locations, 150mm (5.9ft) and 300mm (11.8ft) further aft, and the model was evaluated once again at its defined heights, varying from maximum height to 500mm (19.7ft) below maximum. In 100km/h, 5.9m increments to create a matrix of data points, all at the datum since the height of datum and with zero lift.

Available from other sources, wind tunnel results for a rear wing of a sports racing car were used to compare the results of the CFD simulation. The results showed that the CFD simulation was able to predict the results of the wind tunnel tests with a high degree of accuracy. The results showed that the CFD simulation was able to predict the results of the wind tunnel tests with a high degree of accuracy.

STUDY – REAR WINGS

Table 4 – Aerodynamic data on the Stohr WF1, scaled from data supplied in 1bf at 150mph

Specification	Total downforce, N, 100mph	-L/D	%lost
2007 spec factory WF1	-2280 - 2380	-3.2	41%
Low DF Dautless WF1	-3170 - 3270	-6.1	45%
High DF Dautless WF1	-3765	-4.8	44%



The Dautless rear wing has been staged to work with the flows coming off the car (Courtesy: Dautless Racing)

“We have to run some pretty wild wheel rates in order to keep the thing off the ground”

wing as a “trim” device for aero balance. In particular, we started from the classic NACA studies on optimum flap gap positioning and distances – this turned out to not be quite correct in our application, but very illuminating none the less. The airfoils (four sections, all told) and basic layout of the rear wing were guided by CFD and track testing of the car without a rear wing to gain a better understanding of airflow patterns over and around the car. That got us into the ballpark for orientation and local wind speed and turbulence factors for choosing airfoils. The exact placement was driven by more factorial experiments for height and setback from the trailing edge of the bodywork – one to establish interaction with the undertray/splitter, and another one to narrow down the precise placement. We could quite readily get better results for the rear wing in isolation by placing it up in clear airflow 300-400mm above the tail of the car, but this always had a negative effect on overall performance numbers for the car. Since our guiding principal was a holistic approach, optimising the car as a package won out.

“CFD was followed by instrumented track testing, and we eventually managed to get a day in the Ford wind tunnel with a WF1 to test our rear wing assembly. As one might expect, the numbers did not match exactly with CFD, but the behavioural patterns were quite predictable and correlated nicely with the virtual work that we’d done on the car. Very gratifying!”

An interesting intersection here comes from UK-based owner/driver Iain Cummings, whose CTR Developments-run Speeds features a Dautless rear wing and a splitter designed with help from Clayton. Cummings said “Rennie was very specific about the orientation of the leading edge of the wing’s main plane in relation to the trailing edge of rear diffuser (90mm up and 105mm rearward).

“He also told me that the secondary plane ‘does most of the heavy lifting,’ and this would appear to be true because when I tore it off on the Silverstone International circuit the car was completely unstuck at both ends (which I’m guessing at least demonstrates that we have good interaction between the wing and the front splitter/diffuser).

“We have to run some pretty wild wheel rates in order to keep the thing off the ground. Variation of the front ride height also has marked effects, so we have arranged for the car to, as far as possible, run at an optimum 26mm dynamic ride height. Variation of the secondary flap angle also produces quite large downforce changes at the front as well as at the rear.”

Clayton also commented on topic of the stiff platform: “The Stohr WF1 has some interesting characteristics that influence the need for higher rates. Primary among these is that the car does not have anti-roll bars of any sort, nor are the roll centres arranged to do much in the way of inhibiting roll. The chassis is also more

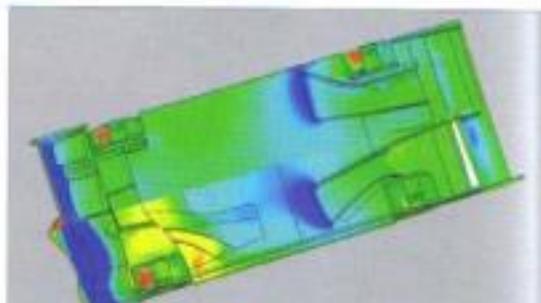


Figure 11: Surface pressure distributions of the underside of the Stohr WF1. Upper half is the 2007 factory spec, lower half is with the low wing, integrated Dautless package. Once more, the changes in pressure distribution and magnitudes are evident (Courtesy: Dautless Racing)



Rear shot gives a clearer idea of the wing’s low position on the Dautless Racing Stohr WF1 (Courtesy: Dautless Racing)

flexible than we would like to see at the rear of the car (this is one of the areas that we will be addressing with future updates); and taken together it demands significant spring rates to keep a stable aero platform.”

And so to the nub of the matter: how did the aerodynamic data alter between the earlier conventional wing location package and the new, low wing integrated package? Clayton is refreshingly open with some comparisons and hard data, commenting that “the comparison varies depending on downforce configuration. See Table 4 for the key data.

It’s clear from these numbers that the Dautless aero package represented a considerable advance over the ‘pre-low wing’ integrated package. And although it plainly isn’t sensible to ascribe that entire advance to the low wing per se, it obviously played a large part in the integrated whole. Figure 11.

The last word then to Clayton: “It should be noted our raised splitter (to avoid pitch sensitivity) also creates knock-on effects for the undertray and rear wing – and the philosophy behind the undertray design plays into the airflow patterns around the car, in turn influencing how the rear wing behaves. We’ve found there is no ‘one-size-fits-all’ approach as all can be made to work to a reasonable degree. The question is: can you put them together in a beneficial way where all of the interactions reinforce each other positively?”

Anexos resultados y discusión

Anexo 46. Parras, D y otros. (2016). Use of scanning and reverse engineering for the prototyping of mechanical parts

20th International Congress on Project Management and Engineering
Cartagena, 13-15th July 2016

USE OF 3D SCANNING AND REVERSE ENGINEERING FOR THE PROTOTYPING OF MECHANICAL PARTS

Parras, D. ¹; Romero, L. ²; Cavas, F. ¹; Nieto, J. ¹; Cañavate, F.J.F. ¹; Fernández-Pacheco, D.G. ¹

¹ Universidad Politécnica de Cartagena, ² Universidad Nacional de Educación a Distancia

A 3D scanner permits to capture the shape and characteristics of any type of volume or environment and to build a three-dimensional model by the aid of a specific software. While each type of technology has its advantages and is used for various purposes, with all of them it is necessary to establish a reference system between the object and the scanner.

The information obtained by the 3D scanner consists on a point cloud which is further processed in order to determine the way in which the points are joined and generate the model. This process is known as reconstruction.

In order for a 3D scanner to be useful for many applications, its accuracy must be characterized. This requires a comparison between the model created from the scanner's sensing and the scanned real object. Most experts agree the triangulation laser as the most accurate technology.

In the present work a three-dimensional reconstruction of some mechanical pieces by using a scanner based on laser triangulation technology is performed. Subsequently, these reconstructions will be prototyped using a 3D printing machine in order to detect differences with respect to initial models.

Keywords: laser; reconstruction; hardware; point cloud

UTILIZACIÓN DEL ESCANEADO 3D E INGENIERÍA INVERSA PARA EL PROTOTIPADO DE PIEZAS MECÁNICAS

Un scanner 3D permite capturar la forma y características de cualquier tipo de volumen o ambiente y construir un modelo tridimensional del mismo mediante la ayuda de un software específico. Si bien cada tecnología posee sus ventajas y se utiliza para diversos fines, en todas ellas es necesario establecer un sistema de referencia entre el objeto y el escáner.

La información obtenida por el scanner 3D consiste en una nube de puntos que posteriormente es procesada mediante lo que se conoce como reconstrucción, pudiendo determinar así la forma en que están unidos los puntos y generar el modelo.

Para que un escáner 3D pueda ser útil en diversas aplicaciones, debe ser examinada su precisión. Esto requiere una comparación entre el modelo creado a partir de la detección del escáner y el objeto real escaneado, coincidiendo todos los expertos en señalar la triangulación por láser como la tecnología más precisa.

En el presente trabajo se realiza la reconstrucción tridimensional de una serie de piezas mecánicas mediante un escáner basado en la tecnología de triangulación por láser para, posteriormente, ser prototipadas mediante una máquina de impresión 3D y poder observar los errores respecto a los modelos iniciales.

Palabras clave: láser; reconstrucción; hardware; nube de puntos

Correspondencia: Dolores Parras Burgos - dolores.parras@upct.es



Can wings generate useful downforce at the speeds encountered in the SCCA's 'Solo' category? *Racecar* uses Flowizard CFD software to find an answer

BY SIMON McBEATH

The Sports Car Club of America's (SCCA) Solo, or Autocross as most of its proponents call it, is a relatively low speed, against-the-clock discipline in which drivers in a wide range of car categories and classes negotiate sinuous courses marked out with cones. UK readers could think of the events as part way between autotests and sprints. Speeds are deliberately restricted to a maximum of around 80 to 85mph (129 to 137km/h) for safety reasons. As such, many curves are taken in the 50 to 60mph (80 to 96km/h) speed range, and minimum speeds in the tightest corners can be as low as 15 to 20mph (24 to 32km/h). As a result, two schools of aerodynamic thought abound: the first believes that the competition environment does not warrant the exploitation of what are often thought to be rather modest aerodynamic forces; the second believes the complete opposite. So, with the help of Flowizard CFD software, a wing design project was initiated that not

only demonstrated the levels of aerodynamically-generated forces that are available, but which also highlighted methods of optimising configurations before any manufacturing or installation was undertaken.

The project related here came about during autumn 2006, after the annual SCCA Solo National Championship at Heartland Park, Topeka, Kansas. This is the end of season gathering for autocrossers from all over the USA and Canada and hundreds converge on this mid-west venue for what has been called 'the world's largest amateur motorsports championship'.

Following last September's event, an enquiry came in from car owner Dan Wasdahl and driver Joe Cheng who had, in their own words, been 'sordidly thumped' by perennial front-runners, the Rowlands, George Bowland, and

his son Todd (a former Champ Car and now NASCAR engineer) both run A Modified cars, the fastest single-seat specials in the sport of Autocross. Such cars typically feature unclad spaceframe chassis and highly tuned two-stroke snowmobile engines with CVT transmissions. They weigh in at around 900lb (409kg) and frequently sport some of the most radical-looking wings you'll see in motorsport, along with profiled, ground effect undersides (see figs 1 to 4).

The enquiry from the Wasdahl/Cheng team outlined various areas of the car that were going to receive attention, but the specific enquiry concerned the car's aerodynamics. The Rowlands had already obtained the assistance of Dr Michael Selig at the University of Illinois at Urbana-Champaign, who had previously worked with Newman

WHAT MIGHT BE EXPECTED OF THIS TYPE OF RELATIVELY EXTREME WING?

Hass Racing, saying 'drag be damned, give us the most downforce you can,' which, as it happens, also nicely summarises the Waddah/Cheng enquiry.

Fortunately, at about the same time we were working on a new, multi-element wing set up for the UK hillclimb market, and, coincidentally, were also evaluating a relatively new CFD software package from ANSYS, called Flowzard (see sidebar on p52). The opportunity to see what could be learned about multi-element wings using this type of software was too good to pass up. And such was the openness of the project participants that it provided the opportunity to see not just what the software could do, but also what might be expected of this type of relatively extreme wing.

It's fair to say the Waddah/Cheng team's reasoning for the selection of three-element front and four-element rear wings was coloured by the opposition's approach. The Bowlands had apparently tried a four-element front wing on their car, but felt that the front wing was deflecting the air-flow over the rear wing. Cutting back to a three-element front seemingly helped the rear wing to work better (though this may have been a balance issue). The slightly narrower span at the front was decided upon as wings can easily get damaged when they come into contact with sturdy cones.

Practicality dictated the first step, which was to examine whether the new 300mm (11.8in) chord hillclimb main-

element profile being worked on would, in concert with 170mm (6.7in) chord flaps of an existing stock profile, enable a set up that could reach the target maximum plan area and give reason to expect good performance. CAD sketches of proposed configurations were exchanged by email first to ensure the project set off on the right track (see figs 5 and 6).

INITIAL VALIDATION

Although the target was three and four-element designs, it was decided first to use Flowzard to evaluate a dual-element set up because there were reasonable amounts of data on an earlier dual-element design to hand from full and half-scale wind tunnel work. By running this earlier dual-element profile against the new profile in Flowzard, it would be possible to correlate Flowzard's results with the wind tunnel data, and simultaneously gain comparative data on old vs new profiles.

PROJECT BRIEF

Wing area FRONT AND REAR COMBINED

2025ft² (1.89m²) when viewed in plan view

FRONT VIEW AREA

Unlimited

REAR WING

6ft (1829mm) span, four elements

FRONT WING

5ft (1524mm) span, three elements

Aim

DOWNFORCE

Generate the maximum downforce possible (the team would add engine power to overcome additional drag if required)

THE TARGET WAS THREE AND FOUR- ELEMENT DESIGNS

CASE STUDY:



Figure 1 & 2

The Dan Waddah/Joe Cheng car featured in the study had relatively modest three-element wings front and rear



Figure 3

The 'opposition'. This is George Bowland's championship-winning BDR Shark. The Shark sports a three-element wing at the front and a four-element wing at the rear



Figure 4

The Bowlands received design assistance from the University of Illinois at Urbana Champaign



from the basic Flowizard settings were probably fairly indicative, if treated with the aforementioned caution, and also that the basis chosen for this high downforce wing set up had started well in dual-element form.

The images show some of the parameters that may be plotted with Flowizard. Though not as flexible in this regard as its big brother Fluent, some very useful visualisations are still available. Of particular interest was the flow between the two elements, and the vector plot seemed to show this to be satisfactory. The total pressure plot also revealed the feed of 'fresh' air onto the flap's suction surface. The air above the wing has higher total pressure, or higher energy, and part of the function of the slot gap is to allow this higher energy air to bleed through. The vector plot then shows how this air accelerates, creating useful reductions in static pressure on the flap's suction surface to help 'drive' the flow under the element in front (see figs 7 to 10).

THREE, THEN FOUR ELEMENTS

The next phase was to add a second flap to create a three-element wing, and an earlier 2D CFD project suggested starting points for the relative flap angles and locations. In essence, this was also to be the configuration of the front wing. Once again, one of the principal aims here was initially to try to ensure that the flow between the elements and onto the next element, as it were, was satisfactory.

The plots show the vectors through the first and second slot gaps, and small differences are apparent in the angle of the onset flow onto each flap. It was felt that this was something that could be optimised at a later stage. Furthermore, the flow off the suction (lower) surface of the mainplane was being slightly deflected, but adjustments to the slot gap would improve that later. The results of this one-off run showed that even without any optimisation, this three-element

VELOCITY VECTORS

Figure 11
Same geometry as the dual-element slot gap, but the velocity vectors through the first slot gap of the triple-element wing were slightly different

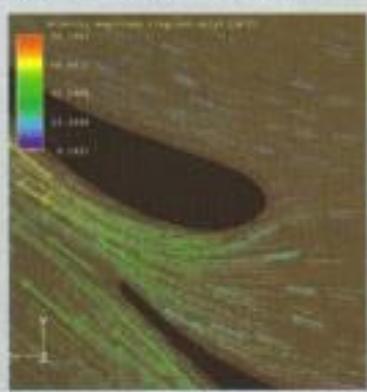


Figure 12
Same set up again, but here you can see how the velocity vectors differed through the second slot gap on the triple-element wing

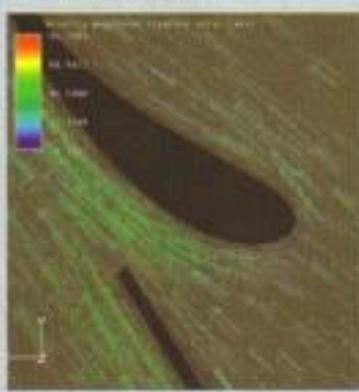


Figure 13
Velocity vectors at the leading edge of the triple-element mainplane showed the stagnation point had moved aft

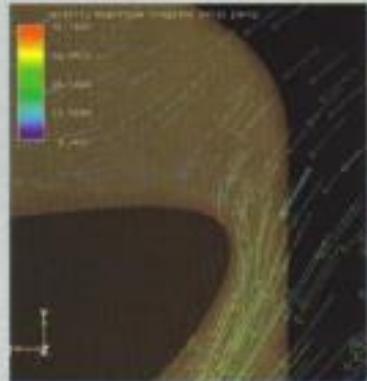
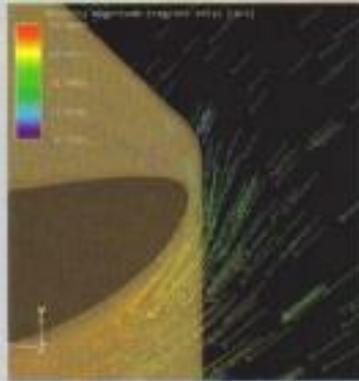


Figure 14
And when the fourth element was added the stagnation point moved still further aft



wing generated 25 per cent more downforce than the two-element variant, but also a lot more drag, with the lift-to-drag ratio (L/D) down from 3.8:1 to around 2.8:1.

Next, a third flap element was added, at a slightly steeper installation angle again than the second flap and, as a first iteration, at an overlap and separation based on the slot gap between the lower pair of

flaps. The first Flowizard run showed a further nine per cent increase in downforce over the three-element wing, but with a drop in L/D to 2.2:1. However, one change was becoming increasingly apparent with each step up and that was the movement of the stagnation point on the mainplane leading edge. In the case of the dual-element wing the stagnation point, where the flow divides between upper and lower surfaces (and where the velocity is actually zero), was shown by Flowizard to be ideally located, just above the leading edge. With

the quad-element wing this had moved significantly aft, meaning the air had to turn sharply around the leading edge. This is a potential cause of stall, and later trials attempted to address this issue (see figs 11 to 14).

SLOT GAP REFINEMENTS

As one of the aims here was to use Flowizard to visualise the flows in the slot gaps and to try to improve performance using this visual information, iterations involving widening one or more of the slot gaps by a few millimetres at a time were carried out, resulting in a gain of over

VISUALISE THE FLOWS BEFORE MAKING ANYTHING SOLID

Rear wing rudiments

We've used to seeing rear wings on high-end single seaters incorporating complex features - but what about the fundamentals? We use CFD to go back to basics

By SIMON MASEBATH

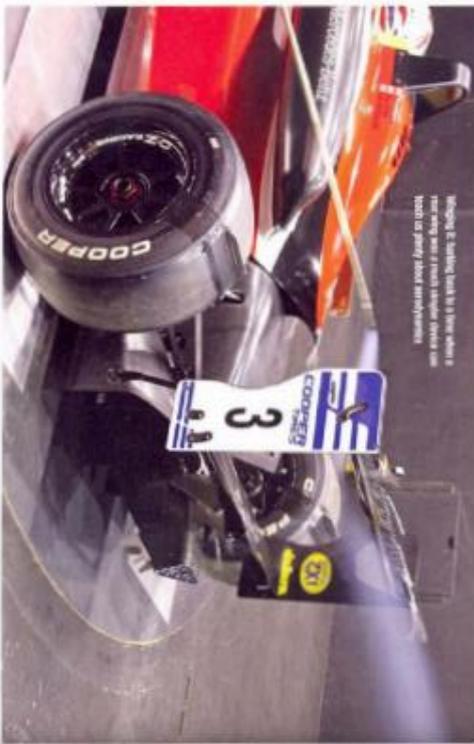


Figure 1: A single seat car with a rear wing. The wing is a high-end single seater. The car is a high-end single seater.

Physics one of the most important aspects of a race car's performance is its aerodynamics. The rear wing is a key component of this, and its design is a complex task. This article explores the fundamentals of rear wing design, from the basic principles to the advanced techniques used in modern single seaters.

Our model

Figure 1 shows a rear wing model used in a CFD simulation. The model is a high-end single seater, and the wing is a complex structure. The simulation results show the flow field around the wing, with streamlines indicating the flow direction. The wing is designed to generate downforce, which is essential for the car's performance. The simulation also shows the pressure distribution on the wing, which is a key factor in its design. The results of the simulation are used to optimize the wing's design, ensuring it provides the maximum downforce while minimizing drag.

Wing data

The performance of a rear wing is measured in terms of downforce and drag. Downforce is the force that acts downwards on the wing, while drag is the force that acts in the direction of the flow. The ratio of downforce to drag is a key performance indicator, and it is used to compare different wing designs. The simulation results show that the wing in Figure 1 has a high downforce-to-drag ratio, which is a sign of a well-designed wing.



Figure 1: The basic CFD model with simple shaped, 1000mm span, 300mm chord wing. The model has been modified for the purpose of the aerodynamic study.

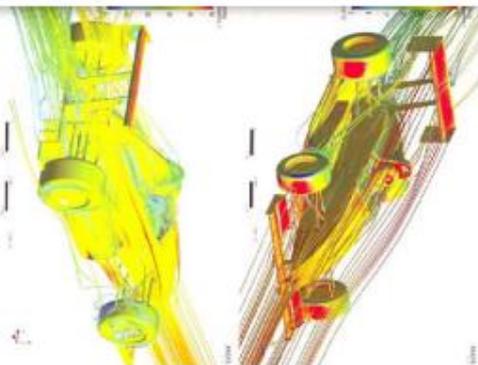


Figure 2: Flow wings operate in a highly compressed environment and all four wheels are spaced around 1.1m apart. The flow field is highly complex, and the wing is a key component of this. The simulation results show the flow field around the wing, with streamlines indicating the flow direction. The wing is designed to generate downforce, which is essential for the car's performance.

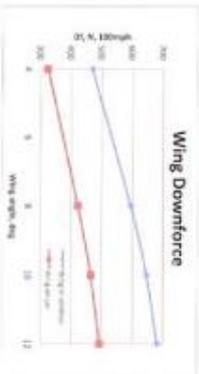


Figure 3: Wing downforce is highest across the performance when lead on the car

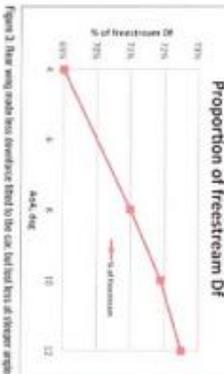


Figure 4: How the rear wing downforce increased as its angle was steepened

The wing is a key component of the car's aerodynamics, and its design is a complex task. The simulation results show the flow field around the wing, with streamlines indicating the flow direction. The wing is designed to generate downforce, which is essential for the car's performance. The simulation also shows the pressure distribution on the wing, which is a key factor in its design. The results of the simulation are used to optimize the wing's design, ensuring it provides the maximum downforce while minimizing drag.

Angles

The angle of the rear wing is a key design parameter, and it has a significant impact on the car's performance. A larger angle increases the downforce, but it also increases the drag. The optimal angle depends on the car's speed and the track conditions. The simulation results show that the wing in Figure 1 has a high downforce-to-drag ratio, which is a sign of a well-designed wing. The angle of the wing is a key factor in its design, and it is used to optimize the wing's performance.

The performance of a wing changes once it is affixed to a racecar

Ian Gibson · David Rosen
Brent Stucker

Additive Manufacturing Technologies

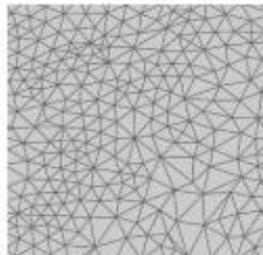
3D Printing, Rapid Prototyping, and
Direct Digital Manufacturing

Second Edition

 Springer

Anexo 50. Ferrandiz, S y Cornejo, A. (2019). Puesta en marcha de una escaner 3d y aplicación de ingeniería inversa y fabricación aditiva.

PUESTA EN MARCHA DE UN ESCÁNER 3D Y APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA Y FABRICACIÓN ADITIVA



Máster en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Ordenador

Tutores:

Santiago Ferrándiz Bou

Andrés Conejero Rodilla

Alumno:

Mario Martínez Cenicerros



Anexo 51. Torres, E y otros. (2012). Sistema de posicionamiento aplicado a la técnica de impresión 3d modelado por deposición fundida.

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO APLICADO A LA TÉCNICA DE IMPRESIÓN 3D MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

POSITIONING SYSTEM APPLIED TO THE 3D PRINTING TECHNIQUE: MODELING BY FUSED DEPOSITION.

Edgar Absalón Torres Barahona¹
Jersson Xavier León Medina²
Edwin Torres Díaz³

Recibido: Junio 22 de 2012
Aceptado: Diciembre 06 de 2012

Resumen

Este artículo presenta el diseño y construcción de un sistema mecánico de posicionamiento, el cual hace parte de un prototipo mecatrónico que integra las áreas de electrónica, mecánica, control e informática, formando una sinergia conducente a crear una máquina automatizada que responde a las necesidades técnicas y requerimientos de una impresora 3D, aplicando la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida (FDM), para fabricar una pieza diseñada en un software CAD, a través del posicionamiento y la acción de una herramienta extrusora de plástico en tres dimensiones.

La metodología planteada explica paso a paso el diseño y construcción del sistema mecánico de posicionamiento cartesiano tridimensional, en el cual se tienen en cuenta las variables y procesos necesarios para la óptima respuesta de la máquina, en lo concerniente al acabado superficial de la pieza, tiempo de impresión, paradas de emergencia, entre otras.

Palabras Claves: Control de movimiento, impresión 3D, prototipado rápido, sistema mecánico.

Abstract

This paper presents the design and construction of a mechanical positioning system, which is part of a mechatronic prototype that integrates the areas of electronics, mechanics, control and computing, forming a synergy leading to create an automated machine that meets the technical requirements and requirements for a 3D printer, using a rapid prototyping technology (Fused Deposition Modeling: FDM), to produce a part designed on a CAD software, through the positioning and the action of a plastic extruder tool in three dimensions.

The proposed methodology provides, step by step, the design and construction of the mechanical system of three-dimensional Cartesian positioning, which takes into account the variables and processes necessary for optimal response of the machine, with regard to surface finishing, printing time, emergency stops, and so forth.

Key words: Motion Control, 3D printing, rapid prototyping, mechanical system.

¹Ingeniero electromecánico. Msc. Ingeniería mecánica. Profesor asistente, UPTC. E-mail: edgar.torres@uptc.edu.co

²Estudiante de ingeniería electromecánica. E-mail: jerssonjeon@uptc.edu.co

³Estudiante de ingeniería electromecánica. E-mail: edwinetd@hotmail.com

^{1,2,3}Grupo en Energía y Nuevas Tecnologías "GENTE". Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama. Carrera 18 Calle 22, Duitama, Boyacá, Colombia.

Anexo 51. Gebhardt, A. (2018). Understanding additive manufacturing.

Andreas Gebhardt

Understanding Additive Manufacturing

Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing

Sample Chapter 1.3: Application Levels – Indirect Processes

Sample Chapter 1.4: Classes of Machines for Additive Manufacturing

ISBNs
978-1-56990-507-4
1-56990-507-X

HANSER
Hanser Publishers, Munich • Hanser Publications, Cincinnati

Anexo 52. Ortizz, A. P. (2019). Diseño aerodinámico del alerón trasero para el Chevrolet Sail S3. Quito: Universidad Intenacional SEK.

Diseño aerodinámico del alerón trasero para el Chevrolet Sail S3

Universidad Internacional SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículo

Diseño aerodinámico del alerón trasero para el Chevrolet Sail S3

Andrea Patricia Ortiz Páez

Nota del autor

Andrea Patricia Ortiz Páez, Facultad de ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK

Tutor Ing. Jaime Molina, M.S.c

Cualquier correspondencia a este trabajo puede dirigirse a:

aortiz.mdm@uisek.edu.ec

Anexo 53. Gil, G. J. (2013). Diseño conceptual y análisis CFD del alerón trasero de un automovil tipo sedan. Mexico, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL TICOMAN



“DISEÑO CONCEPTUAL Y ANALISIS CFD DEL ALERON TRASERO DE UN AUTOMOVIL TIPO SEDAN”

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO EN AERONAUTICA

PRESENTAN

GIL GARDUÑO JOSE MANUEL

RENERIA ALVARADO ISMAEL

ASESOR

M. EN C. ARMANDO OROPEZA OSORNIO

MEXICO, D.F.

FEBRERO 2013

Anexo 54. Martínez, A. C. (2019). Diseño y cálculo estructural del alerón trasero de un vehículo deportivo. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO Y DISEÑO AERODINÁMICOS DE UN ALERÓN
TRASERO PARA UN COCHE DEPORTIVO**



Memoria y Anexos

Autor: Julen Martínez Cuello
Directora: Tània Torm Obradors
Departamento: Mecánica de Fluidos
Convocatoria: Junio 2021

Anexo 55. Campos, L. R. (2008). Diseño de un alerón de un vehículo de competición.



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: Diseño de un alerón de un vehículo de competición:
comparación de la simulación aerodinámica numérica y la simulación
aerodinámica experimental

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Aeronáutica, especialidad
Aeronavegación

AUTOR: Rubén Emilio Campos López

DIRECTOR: Adeline de Villardi de Montlaur
Daniel Crespo Artiaga

FECHA: 28 de julio de 2008

Anexo 56. Imagen 1.

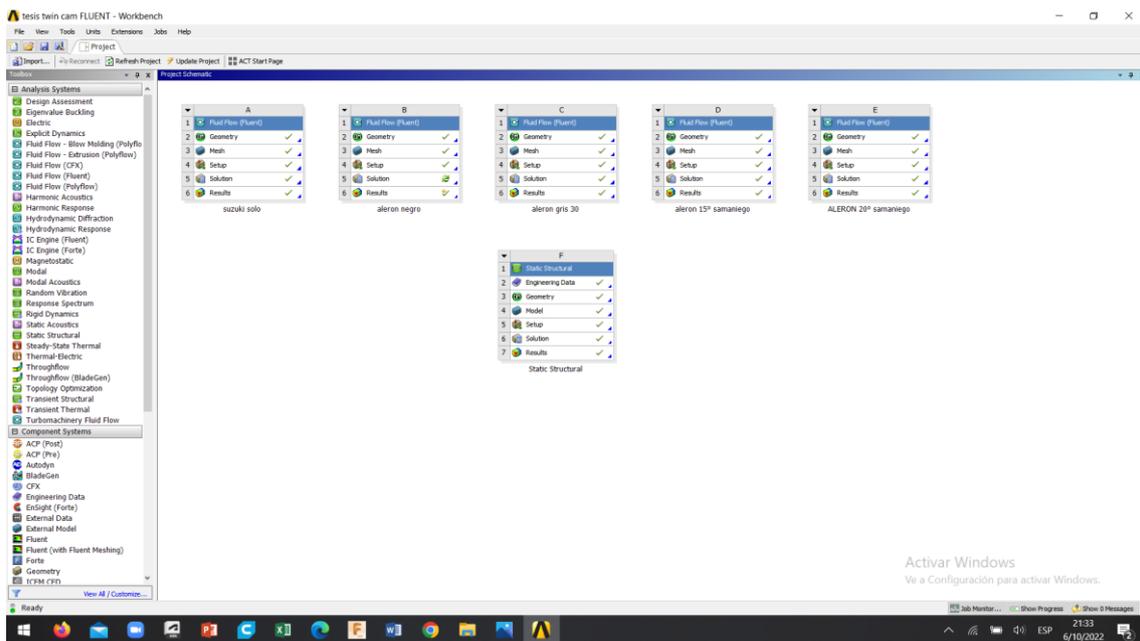
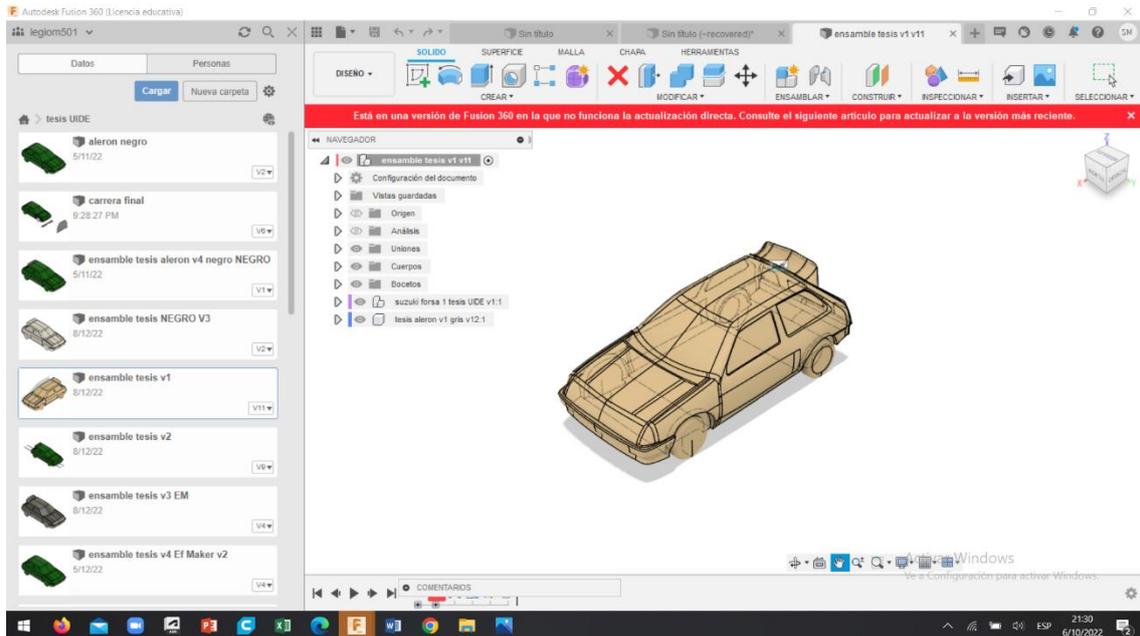
Experimentando nuevas técnicas de escaneo 3d.



Nota: digitalizando los alerones comerciales para el vehículo Suzuki forsa 1. Tomada de autor, 2022.

Anexo 57. Imágenes 2 y 3.

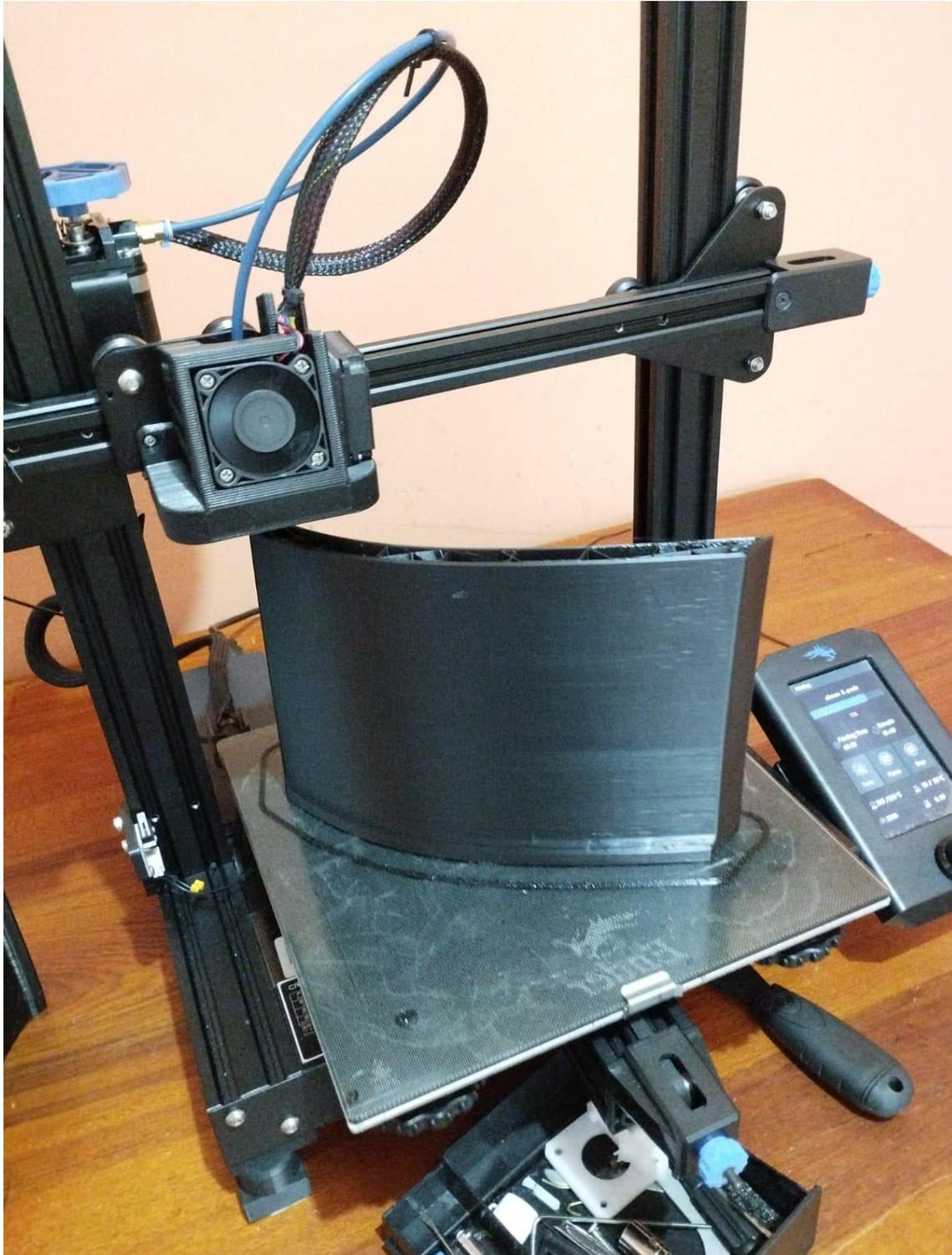
Programas CAD y CAE utilizados en la realización de este trabajo.



Nota: en el programa CAD “Fusión 360” (primera imagen) se creó una carpeta con todas las variables de los alerones con el vehículo y algunos diseños propios. Y en el programa CAE “Ansys Fluent y Análisis estructural” (segunda imagen) se encuentran todas las simulaciones realizadas. Tomada de autor, 2022.

Anexo 58. Imagen 4.

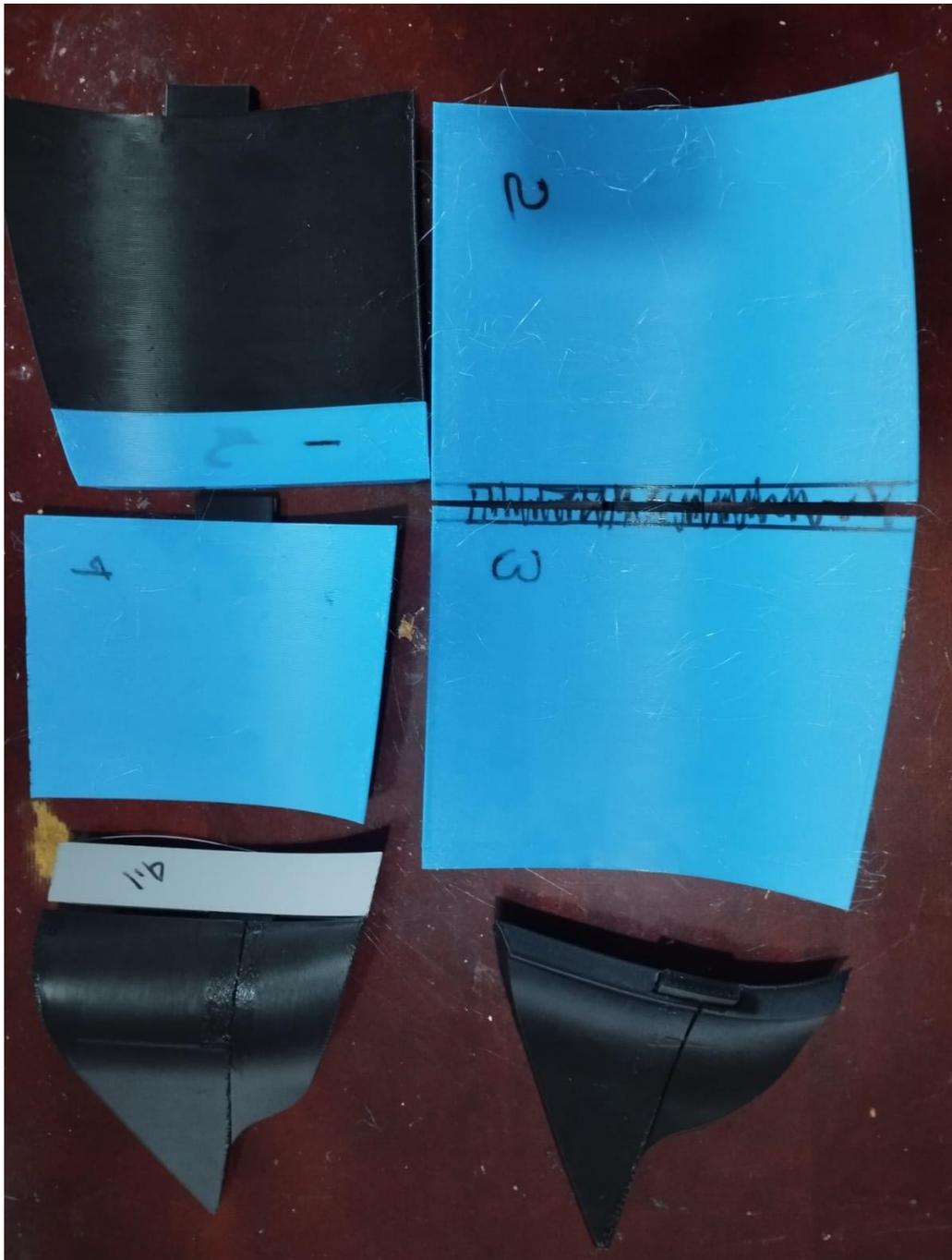
Impresora 3d y Manufactura aditiva.



Nota: impresión en 3d de las partes del alerón que obtuvo mejor eficiencia aerodinámica. Tomada de autor, 2022.

Anexo 59. Imágenes 5 y 6.

Partes del alerón impresas en 3d





Nota: todas las partes impresas están identificadas con números para facilitar el ensamble. Tomada de autor, 2022.

Anexo 60. Imagen 7.

Alerón impreso por partes y ensamblado con resina poliéster y tiras de fibra de vidrio en las uniones.



Nota: alerón en el post procesado (lijado, fondeado y pintado). Tomado de autor 2022.