

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	DIEGO ENRIQUE
Apellido (s):	DIAZ OVIEDO
Código:	2006127009
E-mail:	silverghost542@hotmail.com
Teléfono fijo:	2501295
Celular:	3132883524



Ejecutor 2

Nombre (s):	FREDY LEANDRO
Apellido (s):	DAZA NOVOA
Código:	20062275006
E-mail:	heratles1@yahoo.com
Teléfono fijo:	7773555
Celular:	3143843491



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	MEJORA AERODINAMICA PARA CARROCERIA DE BUS POR MEDIO DE SOFTWARE CFD ANSYS FLUENT	
Duración (estimada):	6 MESES	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	MONOGRAFIA	
Línea de Investigación de la Facultad*:	OPTIMIZACION DE PROCESOS INDUSTRIALES	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	MECANICA DE FLUIDOS	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	LUINI HURTADO

MEJORA AERODINAMICA PARA CARROCERIA DE BUS MEDIANTE
SOFTWARE CFD ANSYS FLUENT

DIEGO ENRIQUE DIAZ OVIEDO
FREDY LEANDRO DAZA NOVOA

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSE DE CALDAS"
FACULTAD TECNOLOGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA
2014

MEJORA AERODINAMICA PARA CARROCERIA DE BUS MEDIANTE
SOFTWARE CFD ANSYS FLUENT

DIEGO ENRIQUE DIAZ OVIEDO
FREDY LEANDRO DAZA NOVOA

Anteproyecto presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSE DE CALDAS"
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA
2014

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
2. JUSTIFICACION.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
4. DELIMITACION.....	8
5. MARCO TEORICO.....	9
5.1 PRINCIPIOS Y PROPIEDADES BASICAS.....	9
5.1.1 Introducción.....	9
5.1.2 Definiciones y propiedades del aire.....	9
5.1.3 Fluido.....	10
5.1.4 Densidad.....	10
5.1.5 Presión.....	10
5.1.6 Viscosidad.....	11
5.1.7 Leyes de aerodinámica.....	12
5.1.8 Efectos venturi/Bernoulli.....	12
5.1.9 Flujo laminar y flujo turbulento.....	12
5.1.10 Estela.....	13
5.1.11 Numero de Reynolds.....	13
5.1.12 Efecto Coanda.....	14
5.2 FUERZAS IMPLICADAS.....	14
5.2.1 Sustentación.....	14
5.2.2 Resistencia aerodinámica.....	14
5.3 POTENCIA.....	15
5.4 CARGA AERODINAMICA Y AGARRE.....	17
5.5 CONSIDERACIONES DEL ARRASTRE Y EFECTO DEL SUELO.....	17
5.5.1 Consideraciones del arrastre para automóviles.....	18
5.5.2 Consideraciones del arrastre para camiones.....	18
5.6 FLUIDODINAMICA COMPUTACIONAL.....	19
5.6.1 Método de los volúmenes finitos.....	20
6. METODOLOGIA.....	22
7. CRONOGRAMA.....	23
8. PRESUPUESTO.....	24
9. BIBLIOGRAFIA.....	25

INTRODUCCIÓN

A través de la historia y el desarrollo de los medios de transporte, siempre se ha visto que estos mejoran continuamente en cuanto a tecnología y eficiencia. Cada vez los visionarios y fabricantes de vehículos tanto de pasajeros como de carga innovan en mejoras técnicas que repercuten en mayor seguridad, eficiencia, confort, y trato amigable con el medio ambiente. Podemos ver como las firmas más importantes a nivel automotriz y las empresas relacionadas con esta enorme industria, unen esfuerzos en pro de disminuir e incluso eliminar los agentes contaminantes que los vehículos con motores de combustión interna generan hacia el ambiente y que son nocivos para los seres humanos y el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Además de estos beneficios, se busca también mejorar la economía y disminuir los costos de operación de los vehículos, sobre todo en la industria del transporte de carga y pasajeros, ya que esto conlleva a una reducción de gastos para los clientes y la maximización de las ganancias de las empresas que prestan este tipo de servicios.

Dadas estas condiciones, las empresas que fabrican carrocerías para los vehículos utilizados en el servicio de transporte público en nuestro país, estarían más que interesadas en optimizar y mejorar las características técnicas de sus productos, y para ello se les plantea la posibilidad de desarrollar la optimización en el diseño de ingeniería de sus carrocerías, ya que en el momento, se diseñan y fabrican sin tener en cuenta parámetros importantes a la hora de la eficiencia aerodinámica, que repercuten en costos más altos de combustible y la disminución de la seguridad activa y pasiva de los pasajeros dentro de un vehículo de servicio público.

Este proyecto pretende, a partir del estudio y la investigación de los métodos actuales con que se fabrican y diseñan estas carrocerías en el mercado local, optimizarlas, partiendo del uso de herramientas de software de ingeniería tipo CAD, con aplicaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD).

La empresa de transporte DIINBUS, con la cual se ha tratado el tema, está dispuesta en colaborar con la realización de este proyecto, suministrando toda la información técnica de procesos, planos, recursos físicos y tecnológicos, para desarrollar exitosamente la optimización en el diseño de la carrocería, obteniendo beneficios ambientales y económicos, como la disminución de emisiones de contaminantes, ahorro de combustible y mayores ingresos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el transporte público en el país, genera gran parte de la contaminación por polución. Aparte de este tema, vemos que el diseño de las carrocerías que se ensamblan en los chasis de producción nacional tiene graves falencias en cuanto a estructura y su aerodinámica. A pesar de los esfuerzos de las autoridades respectivas, aun no se ha logrado un estándar en cuanto a la fabricación y diseño de las carrocerías, lo que ha desembocado en un alto índice de accidentalidad y de ineficiencia de los vehículos de servicio público (buses, busetas, colectivos, transporte intermunicipal, etc.).

En cuanto a la indagación preliminar realizada, en las empresas que fabrican carrocerías en fibra de vidrio para los vehículos de servicio público en Bogotá, y otras regiones, se encuentra que en su gran mayoría copian diseños hechos en otros países, sin tener un estricto criterio técnico ni de ingeniería, o solamente desarrollan sus productos sin usar las herramientas de diseño y comprobación que ofrecen, en nuestro caso, los programas de dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés).

Además, estas compañías no cuentan con un departamento de ingeniería como tal, donde se comprueben los resultados obtenidos empíricamente, ya que generalmente si estos funcionan y no se generan inconvenientes graves, se prosigue con la fabricación en serie de las carrocerías y su puesta en servicio en las calles y carreteras del país, sin tener en cuenta las mejoras en cuanto a diseño y a seguridad que se pueden obtener al hacer un diseño más refinado, comprobado experimental y prácticamente, por un equipo de ingenieros idóneos para esta labor.

En algunas empresas del ámbito nacional se han hecho intentos de aplicar en el diseño de sus carrocerías el análisis de ingenieros mecánicos y de diseñadores industriales, con el fin de hallar el equilibrio entre la forma y la función, necesario para hacerlo atractivo, desde el punto de vista de los usuarios del servicio público que van a utilizar este medio de transporte.

1.1 ANTECEDENTES

Anteriormente, en el desarrollo de los medios de transporte público, poco se prestó atención a la comodidad y a la seguridad de los pasajeros, ya que estos veían a los vehículos como un aparato de alta tecnología en sus inicios y no exigían demasiado, solo se tenía en cuenta la rapidez con que llegara a su destino, cosa que las bicicletas y carretas no podían hacer a principios del siglo

XX. A medida que se fueron desarrollando las grandes autopistas a mediados del siglo pasado, y se fueron haciendo cada vez más grandes, cómodos y rápidos los buses de transporte de pasajeros, se fue evidenciando que la tecnología de los vehículos debería estar a la par con estos avances en la movilidad. Esto llevo a los fabricantes e ingenieros a idear mejoras para hacer cada vez más económicos, accesibles y confortables los viajes a los pasajeros que aumentaban en número, a pesar de que ya para este periodo histórico el automóvil particular estaba en pleno auge en la mayor parte del primer mundo, como por ejemplo en EUA.

Los ingenieros automotrices llegaron a la conclusión de que la fórmula de la resistencia aerodinámica total creada por un vehículo en movimiento es idéntica a la utilizada en aeronáutica, y que la utilización de coeficientes es mucho más cómoda que la utilización de fuerzas. En cuanto los factores que afectan a la aerodinámica de un automóvil o bus, se encontró que los bajos carenados son una solución poco utilizada, pero efectiva. Además, se pueden utilizar para pegar más un vehículo a la carretera, con muy poca penalización en la resistencia; y que la cantidad de superficie que se enfrenta al viento es junto con el coeficiente aerodinámico, los dos factores que determinan la resistencia aerodinámica final

Como ejemplos a través de la historia del diseño automotriz, podemos tomar dos referencias, de lo que algunos ingenieros llaman "aerodinámica engañosa"; el que un vehículo terrestre sea más o menos aerodinámico depende más de detalles tales como la inclinación de los parabrisas que de formas espectaculares (Citroën CX, Lamborghini Countach).¹



Figura 1.Lamborghini Countach lanzado en 1974.Su forma agresiva posee un coeficiente aerodinámico de 0.42 esto fue pensado para que el viento empujara el coche hacia abajo,

¹ Extraído el 1 de mayo del sitio web http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_aerodin%C3%A1mica

logrando mayor tracción a altas velocidades. En este caso, el de un automóvil súper deportivo, la fuerza del viento se utiliza para dar estabilidad y agarre en las maniobras. Tomado de http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_aerodin%C3%A1mica

En consecuencia, los departamentos de ingeniería de los fabricantes de autobuses y de vehículos de transporte buscaron optimizar tanto en los materiales como en el diseño de las carrocerías para que estas fueran estéticamente llamativas y aerodinámicas, para mejorar el rendimiento del combustible y así hacer rentable la operación.

En el caso de nuestro país, pocas fábricas y solo en determinados momentos, han logrado aplicar de manera esporádica, estudios hechos por ingenieros mecánicos y diseñadores industriales para la fabricación de sus carrocerías², lo que produjo excelentes resultados, pero debido a los altos costos y la poca ayuda estatal en cuanto a normatividad, hicieron que se dejaran estos avances a un lado.

Actualmente, las empresas carroceras han hecho esfuerzos para modernizar sus productos, tratando de aplicar los nuevos conocimientos y herramientas que se utilizan ya hace bastante tiempo en otros países para el desarrollo de estos. Para ello se ha profundizado en el conocimiento y la capacitación de los empleados dedicados al departamento de diseño e ingeniería (si lo hay), en el uso de herramientas de software especializado en la optimización del diseño de las nuevas carrocerías, ahorrando tiempo y costos que en otros casos serían prohibitivos; para obtener óptimos resultados que satisfagan las expectativas de los clientes.

Para ello, se utilizara el software de la compañía ANSYS, que desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real. ANSYS continuamente desarrolla tecnología enfocada en la simulación y a través del tiempo ha adquirido otros software para ofrecer un paquete de aplicaciones que pueden ser unificadas para los problemas más complejos. Además presta soporte a la industria. ANSYS, es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elementos finitos para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

La solución de dinámica de fluidos de ANSYS es una completa gama de productos que permite predecir, con confianza, el impacto de los flujos de fluidos en el producto durante el diseño y fabricación, así como durante la fase de uso. Las incomparables capacidades de análisis de flujo de fluidos del

² Currea, Max. Las carrocerías de los buses y el diseño industrial 1ª parte. Extraído el 5 de octubre ,2011 de <http://www.busesdecolombia.com/>

software se pueden utilizar para diseñar y optimizar nuevos equipos y para descubrir imperfecciones en instalaciones ya existentes. Cualquiera que sea el fenómeno de flujo de fluidos que se esté estudiando –simple o multi-fase, isotérmico o reactivo, comprimible o no –la solución de dinámica de fluidos de ANSYS da información valiosa sobre el rendimiento del producto.

Las reconocidas herramientas de análisis de fluidos de ANSYS incluyen los ampliamente utilizados y validados ANSYS FLUENT y ANSYS CFX, disponibles por separado o conjuntamente en el paquete ANSYS CFD. Dada la robustez y rapidez de sus solvers, el conocimiento y experiencia de los equipos de desarrollo y las capacidades de modelado avanzado, las soluciones de dinámica de fluidos de ANSYS ofrecen resultados totalmente fiables. La tecnología es altamente escalable, lo que posibilita realizar eficientes cálculos en paralelo sobre infraestructuras que van desde unos pocos a cientos de cores de procesamiento. Combinar FLUENT o CFX con ANSYS CFD-Post para el post-procesamiento de flujo de fluidos permite realizar análisis cuantitativos avanzados o crear visualizaciones y animaciones de alta calidad³.

A grandes rasgos las capacidades generales de simulación de estas herramientas son las siguientes⁴:

- Simulaciones 3D, 2D plano, 2D axisimétrica, 2D axisimétrica con swirl.
- Mallado no estructurado (triángulos y cuadriláteros en 2D; tetraedros, prismas y pirámides en 3D).
- Simulaciones de flujo estacionario o transitorio.
- Cualquier régimen de velocidad (subsónico, transónico, supersónico e hipersónico)
- Flujos laminares, turbulentos, no viscosos.
- Flujos newtonianos y no newtonianos.
- Amplia variedad de modelos de turbulencia, incluyendo k-épsilon, k-omega, RSM, DES, y LES.
- Transferencia de calor incluyendo convección natural, forzada o mezclada; transferencia de calor conjugada sólido/fluido; radiación incluyendo radiación solar.
- Mezclado y reacción de especies químicas, incluyendo modelos de combustión homogénea y heterogénea y modelos de reacción/deposición en superficies.
- Modelos multifase y de superficie libre, incluyendo transferencia de calor y reacciones químicas.
- Cálculos de trayectorias Lagrangianas para fase dispersa (partículas, gotas, burbujas), incluyendo modelos para sprays y películas delgadas.

²ANSYS, (2014). Soluciones de dinámica de fluidos. Extraído el 10 de Marzo de http://www.ansys.com/es_es/Productos/Simulation+Technology/Soluciones+de+din%C3%A1mica+de+fluidos

³ANSYS, (2011). Catalogo aplicación FLUENT, extraído el 7 de octubre de <http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/brochure/ansys-fluent-brochure.pdf>

- Modelos de cambio de fase para aplicaciones de solidificación y fundición, modelo de cavitación y modelo de vapor húmedo.
- Medio poroso con permeabilidad no isotrópica, resistencia inercial, conducción de calor en sólidos, y opción para calcular velocidades intersticiales.
- Modelos para ventiladores, radiadores e intercambiadores de calor.
- Capacidad de mallado dinámico para modelar flujo alrededor de objetos que se mueven durante la simulación.
- Marcos de referencia inercial (estacionario) o no inerciales (rotación o aceleración).
- Modelo de mezclado en planos para interacciones rotor-estator.

Un ejemplo de la implementación de estas herramientas de software en el diseño de autobuses, lo podemos apreciar aquí⁵:

La aerodinámica externa de un autobús, se rige por las líneas de corriente de aire alrededor de este. Podemos apreciar en la imagen como estas fluyen a una velocidad de 100Km/h y con sus ruedas girando.

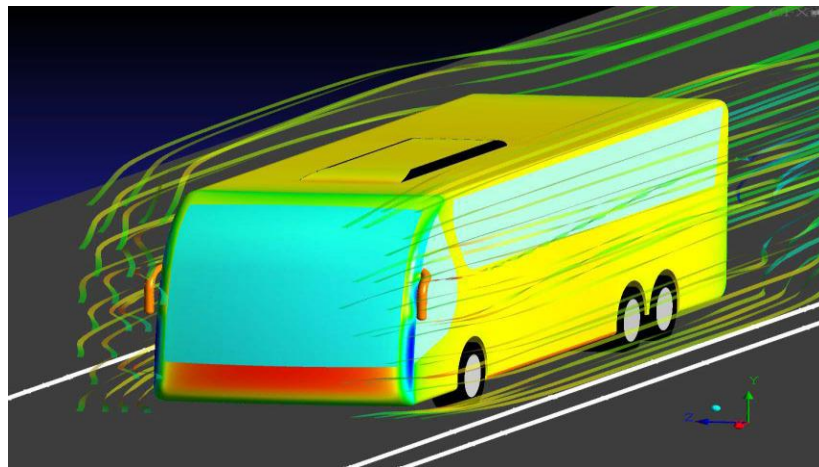


Figura 2. líneas de flujo sobre un autobús a 100 Km/h. Tomado de http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/191280/Optimiz_climatiz_a_utobus.pdf

⁵ Análisis DSC, servicios de ingeniería para el sector del transporte, tomado el 7 de octubre de http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/191280/Optimiz_climatiz_autobus.pdf

2. JUSTIFICACIÓN

La mecánica de fluidos computacional (CFD) es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de sustancias. Los ordenadores son utilizados para realizar millones de cálculos requeridos para simular la interacción de los líquidos y los gases con superficies complejas proyectadas por la ingeniería. Aun con ecuaciones simplificadas y superordenadores de alto rendimiento, solo se pueden alcanzar resultados aproximados en muchos casos. La continua investigación, sin embargo, permite la incorporación de software que reduce la velocidad de cálculo como así también el margen de error al tiempo que permite analizar situaciones cada vez más complejas como los fluidos transónicos y los flujos turbulentos. La verificación de los datos obtenidos por los CFD suele ser realizada en túneles de viento u otros modelos físicos a escala.

La dinámica de fluidos computacional o CFD es el arte, más que la técnica, que intenta utilizar los computadores para la simulación del movimiento de los fluidos y, en ocasiones, de otros fenómenos asociados: transferencia de calor, reacciones químicas, arrastre de sólidos, etc. Los paquetes de CFD existentes en el mercado son lo suficientemente potentes y fáciles de utilizar como para que resulte rentable su utilización a nivel industrial. Sus beneficios vienen principalmente de la reducción del número de ensayos experimentales necesarios y del tiempo de desarrollo. También pueden proporcionar bastante información complementaria del comportamiento detallado, que resulta muy difícil conocer experimentalmente. Un valor añadido es la facilidad para generar dibujos espectaculares, que estimulan la "compra" del producto.

Con la proliferación de programas comerciales, un número creciente de técnicos ha entrado en contacto con estos métodos. Sin embargo, frecuentemente no se conocen bien las características que tiene el CFD, y por ello, los resultados a los que se llegan pueden no ser correctos, ni útiles. Por ello, se ha hecho muy importante para el manejo de CFD, la formación en dinámica de fluidos y el conocimiento de la filosofía, capacidades y limitaciones del sistema.

Al implementar las herramientas CFD de ANSYS en el diseño de carrocería de la empresa DIINBUS, se reducirán de manera sustancial los tiempos y los costos en sus nuevos diseños, y se tendrá la posibilidad de analizar condiciones muy difíciles de simular experimentalmente, como por ejemplo, el flujo de aire a través de la carrocería, sin poseer la infraestructura de un túnel de viento. Además de que el nivel de detalle de los resultados es prácticamente ilimitado, ya que los métodos experimentales para llegar a estos son mucho más costosos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el diseño aerodinámico de una carrocería de bus de servicio público por medio del software ANSYS FLUENT, para la empresa DIINBUS, dedicada al diseño y fabricación de carrocerías.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de los planos de la carrocería que será objeto del análisis aerodinámico.
- Elaborar el modelo 3D de la carrocería y hacerlo compatible con el software ANSYS FLUENT para realizar el análisis aerodinámico inicial.
- Evaluar los parámetros más adecuados para realizar la optimización aerodinámica de la carrocería de bus, como son: costos de fabricación, disminución del consumo de combustible y estabilidad del vehículo.
- Realizar el proceso de optimización aerodinámica de la carrocería, y validación del diseño a través del software ANSYS.
- Evaluar, contrastar y exponer los resultados y mejoras obtenidas mediante la simulación y la optimización aerodinámica de la carrocería.

4. DELIMITACIÓN.

El enfoque de este proyecto se remite al análisis y mejora aerodinámica del diseño de la carrocería de bus por medio del software de dinámica de fluidos asistida por computador (CFD), iniciando por conocer qué tipo de procesos o software se utiliza en la empresa para diseñar los planos y/o construir cada carrocería, para llegar a un objetivo común entre los diseñadores de la empresa, estandarizando conocimientos; implementado el software ANSYS, teniendo una base técnica sólida, para poder llegar al análisis y mejora aerodinámica del producto, y poder contrastar, cuantificar y documentar los resultados obtenidos.

En cuanto a los datos específicos del entorno en que se va a simular las condiciones aerodinámicas de la carrocería de bus, debemos aclarar que este es de uso intermunicipal, por lo que las variables de altura sobre el nivel del mar, presión atmosférica, temperatura y densidad del aire se usaran, tomando valores maximos,minimos y promedio en el territorio nacional.

5. MARCO TEÓRICO

En el marco conceptual y teórico incluido en este trabajo, se busca referenciar y utilizar todas las fuentes posibles de conocimiento acerca del uso de los principios físicos que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar el análisis y mejoras aerodinámicas de un autobús, por medio de las herramientas CFD que nos proporciona el software ANSYS.

5.1 PRINCIPIOS Y PROPIEDADES BÁSICAS

5.1.1 Introducción

La dinámica de cualquier fluido, viene determinada básicamente, por dos aspectos:

- Las propiedades de dicho fluido.
- Las leyes o principios que regulan y marcan la dinámica.

El estudio de los flujos externos tiene especial importancia para el ingeniero en aeronáutica que analiza el flujo del aire alrededor de diversos componentes de un avión. De hecho gran parte de lo que ahora sabemos acerca de los flujos externos se ha obtenido de estudios motivados por tales problemas de aerodinámica. Sin embargo, existe un interés considerable en los flujos externos por parte de otros ingenieros; el flujo de fluidos alrededor de aspas de turbinas, automóviles, edificios, estadios deportivos, chimeneas, goteo por rociado, contrafuertes de puentes, tuberías submarinas, sedimentos fluviales y glóbulos rojos sugiere una gran variedad de fenómenos que solo pueden entenderse desde la perspectiva de los flujos externos.

Muchas personas creen que el hecho de observar el vehículo atentamente, diese la capacidad extrasensorial de calcular mentalmente, resolver ecuaciones complejas y sistemas sin ordenador alguno, etc. Todo diseño o actividad, como en este caso, conlleva un proceso, que no es posible omitir: la simulación por medio de programas CFD, (Computational Fluid Dynamics, por sus siglas en inglés), que no es posible realizar, si no se tiene el modelo del vehículo en formato CAD, apto para este tipo de software.

5.1.2 Definición

Partiendo de esta última premisa o condición, empezaremos definiendo y analizando, las distintas propiedades del aire, puesto que este es el fluido

donde nos vamos a mover; de todas maneras, las propiedades son aplicables, a todos los fluidos, en general.

Por definición, el aire es un conjunto de gases, los cuales constituyen la atmósfera. La atmósfera es un fluido que raramente se encuentra en reposo. Debido a la distribución irregular de la temperatura, las masas de aire se mueven en todas direcciones y sentidos. Este fenómeno es conocido como viento.

5.1.3 Fluido

Un fluido es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o esfuerzo cortante sin importar la magnitud de esta⁶.

Algunas características de los fluidos:

- Los fluidos son sustancias capaces de fluir.
- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar continuamente.
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad

5.1.4 Densidad

Todos los fluidos, incluido el aire, están formados por un número extremadamente grande de moléculas; todas ellas están ligadas entre sí, y separadas ciertas distancias (no todas iguales); cuanto más unidas están todas las moléculas, decimos que el fluido posee más densidad que otro. Se define densidad, como la cantidad de moléculas por unidad de volumen. Sea V el volumen y m , la masa; la densidad se define como (ecuación 1.1):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

Dónde:

ρ = Densidad [Kg. / m³].

m = masa [Kg.].

V = volumen [m³].

5.1.5 Presión

Esta característica, está muy unida a la densidad. Existen, podríamos decir, dos tipos de presiones: la atmosférica y la no atmosférica⁷.

⁶ Para conocer más acerca de algunas características de los tipos de Fluidos, referirse al Capítulo 2 páginas 26 y 27 del Libro Mecánica de Fluidos Aplicada 4a Edición de Robert L. Mott.

- La presión atmosférica: Es la fuerza (o peso) que hay sobre cierto punto o cuerpo, debida a la cantidad de moléculas de aire que hay sobre dicho punto o cuerpo.
- La presión no atmosférica: Es la presión relativa; es aquella presión que no tiene en cuenta la presión atmosférica; la suma de ambas, se denomina presión absoluta; la presión relativa, por ejemplo, es la causada por la propia dinámica del aire, y es básica, para poder diseñar un vehículo de competición, entre otras cosas, porque la presión atmosférica, hagamos lo que hagamos, siempre va estar presente y no podemos prescindir de ella.

Ambas presiones, son las que se encargan de mantener más o menos unidas a las moléculas de aire; de esta forma, al aumentar la presión, aumenta la densidad y viceversa.

5.1.6 Viscosidad

La viscosidad es la resistencia que posee todo fluido a deformarse por la acción de una fuerza cualquiera, según como se muestra en la figura 6.1

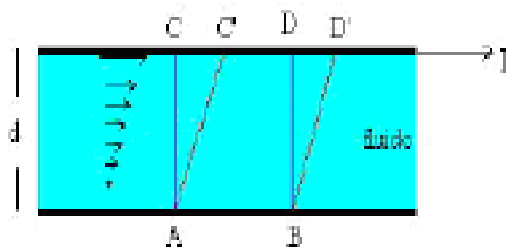


Fig. 6.1 Viscosidad, tomado del libro mecánica de fluidos 6ta edición, Robert I. Mott.

- Viscosidad Dinámica: Cuando un fluido se mueve, se desarrolla en él una tensión de corte cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. La tensión de corte se denota con la letra griega ζ (tao), puede definirse como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra capa de la misma sustancia.
- Viscosidad Cinemática: Muchos cálculos en mecánica de fluidos implican el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido, como una convención, la viscosidad cinemática ν , ecuación 1.2, (letra griega nu), se define como:

⁷ La presión actúa de manera uniforme en todas las direcciones sobre un pequeño volumen de fluido. Para conocer más acerca de la presión y sus tipos ver las paginas 9-11, y el Capítulo 3 del Libro Mecánica de Fluidos Aplicada 4ª Edición de Robert L. Mott.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.2)$$

En donde:

ν = Viscosidad Cinemática [m^2/s]

μ = Viscosidad dinámica del fluido [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$]

ρ = Densidad [$\text{Kg.}/\text{m}^3$]

Puesto que μ y ρ son propiedades del fluido, ν también lo es.

5.1.7 Leyes de la Aerodinámica

Repasando las propiedades más importantes del aire, enumeraremos las leyes o principios que rigen toda dinámica o evolución temporal. En un principio, cabe decir que existe una ley universal que rige toda dinámica; de hecho, con tan sólo una ley o principio, se puede definir la aerodinámica, sea de vehículos terrestres, Aeronaves, barcos, etc. Esta ley dice: "Todas las partículas tienden a situarse en un estado de mínima energía".

Por ejemplo, el aire siempre circula desde una zona de alta presión hacia otra de baja presión. Esta dinámica y su modelización, conlleva a una serie de efectos, los cuales se deben tener en cuenta para diseñar un vehículo.

5.1.8 Efectos Venturi / Bernoulli

El efecto Venturi, (Fig. 6.2) también es una consecuencia directa: si en cierto objeto por donde pasa el aire, hay un cambio de sección, por ejemplo, de mayor a menor, la cantidad de aire que entra debe ser la misma que sale, con lo que en la sección mayor, la velocidad del aire será menor que la velocidad del mismo aire al pasar por la sección menor. Esto es el efecto Venturi: al aumentar la velocidad, la presión disminuye y viceversa.

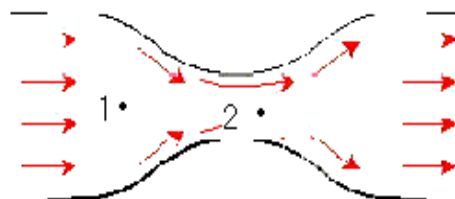


Fig.6. 2 Efecto Venturi, tomado del libro mecánica de fluidos 6ta edición, Robert I. Mott.

5.1.9 Flujo Laminar y Flujo Turbulento

A bajas velocidades, los fluidos fluyen con un movimiento suave llamado laminar. A velocidades altas, el movimiento de los fluidos se complica y se hace

turbulento. En los fluidos que fluyen por tubos, la transición del movimiento laminar al turbulento depende del diámetro del tubo y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido. Cuanto mayores son el diámetro, la velocidad y la densidad, y cuanto menor es la viscosidad, más probable es que el flujo sea turbulento.

El que un flujo sea laminar o turbulento depende de las propiedades del caso. Así, por ejemplo, la naturaleza del flujo (laminar o turbulento) a través de un tubo se puede establecer teniendo en cuenta el valor de un parámetro adimensional, el número de Reynolds.

5.1.10 Estela

La estela, que se caracteriza por un defecto de velocidad (velocidades menores que la velocidad de corriente libre) es una región de difusión creciente, que está detrás del cuerpo como se indica. Los límites de la estela, la región separada y la capa límite turbulenta depende mucho del tiempo, la posición promedia temporalmente de la estela se indica con líneas interrumpidas. Los esfuerzos cortantes causados por la viscosidad se encuentra en la delgada capa límite, la región separada y la estela; fuera de estas regiones el flujo se aproxima con un flujo no viscoso.

5.1.11 Numero de Reynolds

El número de Reynolds, (ecuación 1.3), es el cociente de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido, entre la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se deriva de la segunda ley de Newton del movimiento, $F = ma$.

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (1.3)$$

Dónde:

R= Numero de Reynolds (Valor Adimensional)

ρ = Densidad del Fluido [Kg. /m³]

V= Velocidad del Fluido [m/s]

D= Diámetro del Cuerpo [m]

μ = Viscosidad dinámica del fluido [N*s/m²]

Los flujos que tienen un número de Reynolds grande, típicamente debido a una alta velocidad o a una baja viscosidad, o ambas, tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos que poseen una alta viscosidad y/o se mueven a bajas velocidades tendrán un numero de Reynolds pequeño y tendrán a ser laminares.

Si NR < 2000, el flujo es laminar

Si NR > 4000, el flujo es turbulento

Los flujos con número de Reynolds alto se pueden subdividir en tres categorías principales:

Flujos Sumergidos no Compresibles en los que intervienen objetos tales como: automóviles, helicópteros, submarinos, aviones de baja velocidad edificios y aspas de turbina.

Flujos de Líquidos en los que interviene una Superficie Libre; como los que experimenta un barco o el contrafuerte de un puente; y

Flujos Compresibles en los que intervienen Objetos que Viajan a Gran Velocidad ($v > 100 \text{ m/s.}$) como: aviones, proyectiles y balas.

Concentraremos nuestra atención en la primera categoría de flujos. Los flujos sumergidos incompresibles con alto número de Reynolds se dividen en dos categorías:

- Flujos alrededor de cuerpos rombos.
- Flujos alrededor de objetos aerodinámicos.

5.1.12 Efecto Coanda

Todo fluido, tiende a pegarse sobre una superficie; este es el efecto Coanda; parece simple, y de hecho hasta lo es, pero también es extremadamente importante y decisivo en todo diseño, por cuanto podemos, en cierta forma, canalizar aire allí donde queramos o necesitemos.

5.2. FUERZAS IMPLICADAS

5.2.1 Sustentación

Fuerza generada por un cuerpo que se desplaza por un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente.

5.2.2 Resistencia Aerodinámica (Arrastre)

Se denomina resistencia aerodinámica, o simplemente resistencia, a la componente de la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo. La resistencia es siempre de sentido opuesto a dicha velocidad, por lo que habitualmente se dice de ella que es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

5.3. POTENCIA

La potencia se define como la rapidez, con la que se realiza, el trabajo. Ahora examinaremos las necesidades de potencia para vencer la fricción del camino y la resistencia del aire. La contribución principal a la fricción del camino es el aplastamiento de los neumáticos.

El coeficiente de rozamiento por rodadura, μ , entre los neumáticos y el camino es aproximadamente 0.016, para un automóvil de 1450 Kg, el peso es de 14200 N y la fuerza de fricción por rodadura es $\mu \cdot N = \mu \cdot W = 227$ N.

$$f_a = \frac{1}{2} C_A \rho v^2 \quad (1.4)$$

En donde:

f_a = Fuerza de Fricción por Rodadura [N]

C = Coeficiente de Sustentación (Adimensional)

A = Superficie Frontal del Cuerpo perpendicular al movimiento del Fluido. [m²]

ρ = Densidad del Fluido [Kg. /m³]

v = Velocidad [m/s]

La magnitud total de la fuerza total de fricción f_t , (ecuación 1.5), se obtiene de la suma de la fuerza de fricción por rodadura y la fuerza de resistencia al aire:

$$f_t = f_r + f_a \approx k_{te} + \frac{1}{2} C_A \rho v^2 \quad (1.5)$$

Donde:

f_t = Fuerza Total de Fricción [N]

f_r = Fuerza de Resistencia al Aire [N]

k_{te} = Una Constante

A bajas velocidades la resistencia del camino y la del aire son comparables, pero a altas velocidades la resistencia del aire es la fuerza resistiva predominante. Es posible reducir la fricción del camino, reduciendo el aplastamiento de los neumáticos. Existe la posibilidad de reducir la resistencia del aire, utilizando un área menor de la sección transversal y automóviles con una mejor forma aerodinámica. Aunque conducir un automóvil con las ventanas abiertas crea más resistencia del aire, lo que conduce a una disminución del 3% en el kilometraje por litro, conducir con las ventanas cerradas y el aire acondicionado funcionando produce una disminución del 12% en ese kilometraje. La potencia total necesaria, (ecuación 1.6) para conservar una rapidez constante V es igual al producto $f_t \cdot V$; esto debe ser igual a la potencia entregada a las ruedas, así:

$$P = f_t \cdot v \quad (1.6)$$

En donde:

P = Potencia [W]

f_t = Fuerza Total de Fricción [N]

v = Velocidad [m/s]

Esto puede dividirse en dos partes:

1. La potencia necesaria para vencer la fricción del camino:

$$P = f_t \cdot v$$

2. La potencia necesaria para vencer la resistencia del aire:

$$P_a = f_a \cdot v \quad (1.7)$$

Reemplazando f_a , tenemos:

$$P_a = \frac{1}{2} C_A \rho v^2$$

$$P_a = \frac{1}{2} C_A \rho v^3$$

C = C_x (coeficiente a la penetración)⁸

Entonces tenemos:

$$P_a = \frac{1}{2} C_x A \rho v^3 \quad (1.8)$$

En donde:

P_a = Potencia necesaria para vencer la resistencia del aire [W]

C_p = Coeficiente de Penetración (Adimensional)

A = Superficie Frontal del Cuerpo perpendicular al movimiento del Fluido. [m²]

ρ = Densidad del Fluido [kg/m³]

v = Velocidad del Fluido [m/s]

Entonces la potencia absorbida por la resistencia, (ecuación 1.9) es:

⁸ El coeficiente de Penetración (C_x) es un valor adimensional, que permite la comparación de la resistencia inducida por cuerpos de diferentes formas y tamaños. Extracto tomado del Libro Aerodinámica del Automóvil de Competición de Simón McBeath pagina 244.

$$CV_{\text{absorbida por la reaccion}} = \frac{C_p A v^3}{1.225} \quad (1.9)$$

Donde:

CV = Potencia Absorbida por la Resistencia [W]

Cp = Coeficiente de Penetración (Adimensional)

A = Superficie Frontal del Cuerpo perpendicular al movimiento del Fluido. [m²]

v = Velocidad [m/s]

La velocidad de punta y la potencia disponible de un motor, está basada en la formula anterior.

5.4. CARGA AERODINAMICA Y AGARRE

Un vehículo crea fuerzas verticales sustanciales cuando viaja a través del aire y estas se suman o se restan para modificar la fuerza normal N y por ello, se altera la fuerza de rozamiento máxima que los neumáticos del vehículo pueden generar. Si un vehículo crea sustentación positiva, entonces las fuerzas de rozamiento máximas, que se pueden crear se ven reducidas, mientras que si el vehículo crea carga aerodinámica o sustentación negativa, las fuerzas de rozamiento máximas se ven aumentadas, de esta manera con todos los demás factores sin alterar, un vehículo con carga aerodinámica puede acelerar, frenar o girar con una fuerza mayor que un vehículo sin carga o con sustentación positiva.

5.5. CONSIDERACIONES DEL ARRASTRE Y EFECTO DEL SUELO

Disminuir el arrastre⁹ es un objetivo primordial en el diseño de la mayoría de los vehículos, debido a la gran cantidad de energía que se requiere para contrarrestar el arrastre conforme los vehículos se mueven a través de fluidos.

Los autos de carreras y deportivos han tenido por característica poseer un arrastre aerodinámico bajo. En décadas recientes, los carros de pasajeros y los camiones de carretera han sido rediseñados para disminuir el arrastre.

Muchos factores afectan el coeficiente de arrastre total de los vehículos incluyendo los siguientes:

⁹ El arrastre es la fuerza sobre un cuerpo provocado por un fluido que resiste el movimiento en la dirección del recorrido del cuerpo. Para conocer más acerca de este tema referirse al capítulo 17 del libro Mecánica de Fluidos Aplicada 4a Edición de Robert L. Mott.

- La forma del extremo delantero, o nariz, del vehículo.
- Lo alisado de las superficies del cuerpo.
- Accesorios como espejos, manijas de puertas, antenas, etc.
- La forma de la sección de la cola del vehículo.
- El efecto de superficies alrededor del vehículo, tales como el piso del automóvil.
- Discontinuidades, tales como las ruedas y rines.
- El efecto de otros vehículos alrededor.
- La dirección del vehículo con respecto de los vientos dominantes.
- Las entradas de aire para proporcionar al motor ventilación y enfriamiento.
- El propósito final del vehículo (crítico en camiones comerciales)
- El espacio de los pasajeros
- La visibilidad a los pasajeros y operadores.
- Estabilidad y control del vehículo.
- Estética (lo atractivo del diseño)

5.5.1. Consideraciones del Arrastre para Automóviles

Se tiene un valor medio nominal de 0.45, en un rango que varía entre 0.30 y 0.60. Las formas experimentales para carros han mostrado tener valores tan bajos como 0.175. Un valor aproximado de 0.25 es práctico para un diseño de “bajo arrastre”.

Los principios básicos de la reducción del arrastre para automóviles incluyen el proveer contornos lisos y redondeados para la parte de adelante; eliminación o adelgazamiento de los accesorios; mezcla de cambios en el contorno (tales como en la interfaz parabrisas/cofre); y redondeo de las esquinas traseras.

5.5.2. Consideraciones del Arrastre para Camiones

Las formas comúnmente utilizadas en los camiones caen en la categoría llamada “cuerpos ásperos”. La contribución aproximada de las diferentes partes de un camión a su arrastre total es de:

70% el diseño del frente

20% el diseño de la parte trasera

10% la fricción de arrastre sobre las superficies del cuerpo

Así como en los automóviles, los contornos lisos redondeados ofrecen una gran mejora. Para los camiones con contenedores para carga en forma de caja, el diseño de esquinas con grandes radios puede ayudar para mantener la capa del contorno sin separarse de las esquinas, reduciendo en consecuencia el tamaño de la excitación turbulenta detrás del vehículo y reduciendo el arrastre. En teoría, proporcionar una cola adelgazada y larga, similar a la forma del fuselaje de un avión reduciría el arrastre. Sin embargo, tal vehículo sería

demasiado largo para que fuera práctico y útil. Los camiones de carretera largos más recientes tienen coeficientes de arrastre en el rango desde 0.55 hasta 0.75.

5.6 FLUIDODINÁMICA COMPUTACIONAL

La Fluidodinámica computacional, o CFD por sus siglas en inglés, es una rama de la mecánica de fluidos que se basa en la resolución mediante métodos numéricos de las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el flujo fluido con el fin de poder aplicarlas a problemas reales y de utilidad práctica. Estas ecuaciones tienen la forma general:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi V \cdot dA = \oint_A \Gamma \nabla \phi \cdot dA + \int_v S_\phi dV$$

Donde ϕ es la variable transportada, t es el tiempo, A es el área superficial, V el volumen, Γ es la difusividad de la variable, y S_ϕ es la fuente de ϕ

El primer término en la ecuación representa el transporte transitorio de ϕ , el segundo término el transporte por convección, el tercer término representa el transporte de ϕ por difusión, y el cuarto término representa la fuente (o sumidero) de ϕ .

Las diferentes ecuaciones de transporte se obtienen utilizando las variables correspondientes, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Ecuaciones de transporte de Navier-Stokes: principales ecuaciones y variables.

Ecuación	Variable ϕ
Continuidad	1
x-cantidad de movimiento	u (velocidad en dirección x)
y-cantidad de movimiento	v (velocidad en dirección y)
z-cantidad de movimiento	w (velocidad en dirección z)
Energía	h (entalpía)
Especie química i	γ_i (fracción molar de i)

La ecuación de continuidad gobierna la conservación de la masa, mientras que las tres ecuaciones de cantidad de movimiento gobiernan la conservación de cantidad de movimiento. Estas cuatro ecuaciones acopladas describen la Fluidodinámica del sistema.

Para la realización de nuestro proyecto, se utilizarán las herramientas CFD del software ANSYS, en la Figura 6.3 se muestra una simulación mediante la

aplicación Fluent de ANSYS realizada por los ingenieros de Ferrari en la cual se ve el comportamiento de un F-1 en un túnel de viento.¹⁰

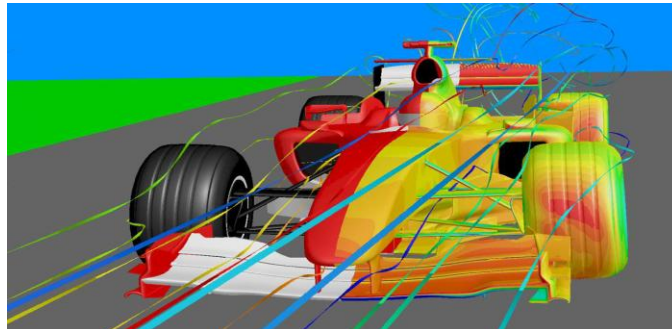


Figura 6.3. Simulación mediante software ANSYS FLUENT realizada por ingenieros de Ferrari.

Los programas de fluidodinámica computacional de ANSYS utilizan el método de los volúmenes finitos para resolver las ecuaciones que gobiernan el flujo fluido.

5.6.1. Método de los volúmenes finitos

El primer paso en la aplicación de la fluidodinámica computacional consiste en la desratización espacial del dominio para posteriormente calcular sobre la misma la aproximación numérica de los flujos convectivos y difusivos, así como las fuentes.

El método de los volúmenes finitos, como método general para la resolución de las ecuaciones de Euler/Navier-Stokes, comienza con una división del dominio en elementos triangulares o quad en 2-D o tetraédricos, hexas, prismas y otras en 3-D, generando una malla. Dependiendo del tipo de elemento, de la capacidad de computación disponible y de la precisión que se quiera en la resolución del flujo, se tendrá que definir una malla más o menos fina de elementos. El número total de nodos multiplicando por el número de variables del problema es el número de grados de libertad del problema.

La ventaja de realizar un análisis de seguridad mediante esta herramienta informática es que, además de obtener resultados numéricos, también se puede visualizar las características del flujo para conocer donde se concentra la mayor parte de la masa contaminante y actuar directamente sobre ella.

Otro aspecto importante que presenta la realización de un análisis de seguridad mediante fluidodinámica computacional se debe a la facilidad relativa de resolver un mismo problema con diferentes condiciones de contorno. Esto

¹⁰Extraído el 10 de octubre de la página

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4877/fichero/PROYECTO+FINAL+DE+CARRERA+DE+JOS%C3%89+ANTONIO+SALVA+AGUIRRE+44969085Z%252F3.+Fluidodinamica+computacional.pdf>

permite la realización de análisis de sensibilidad sin tener que resolver el problema de nuevo y de una manera bastante rápida, permitiendo una gran cantidad de escenarios posibles.

El software de CFD busca el cálculo detallado del movimiento de los fluidos por medio de la utilización del ordenador para la resolución de las ecuaciones matemáticas que expresan las leyes por las que se rigen.

En los resultados de estas técnicas, junto con el movimiento y la presión, pueden obtenerse las variaciones de las propiedades, las fuerzas que ejercen sobre los sólidos adyacentes, los intercambios de energía, etc.

En general, son casos en los que resulta necesario entrar en los detalles de la dinámica de fluidos para obtener los resultados que se buscan.

Las ecuaciones que definen en cualquier punto del espacio la velocidad y presión de un fluido fueron descubiertas hace más de siglo y medio por el ingeniero francés Claude Navier y el matemático irlandés George Stokes. Estas ecuaciones se derivan directamente de las leyes del movimiento de Newton, y son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Las ecuaciones son las mismas para cualquier situación de flujo de fluidos. La particularización a los casos concretos viene definida por las condiciones de contorno y los valores iniciales. Por ejemplo, los cuerpos sólidos sumergidos en una corriente, o actuando como contornos exteriores van a definir por exclusión la zona del espacio en la que hay que resolver las ecuaciones, y van a introducir condiciones de contorno en la variable velocidad (velocidad nula en las paredes).

Estas ecuaciones son lo suficientemente complicadas como para que su solución analítica sólo sea posible en casos muy elementales. La utilización del ordenador para su resolución numérica es lo que ha dado origen a la dinámica de fluidos computacional o CFD.

Incluso hoy día, la complejidad del cálculo y las limitaciones de los superordenadores más potentes, hacen que sea absurdo intentar utilizar las técnicas de CFD en los casos en los que otras técnicas han logrado simplificaciones adecuadas, como el cálculo de pérdidas de carga en tuberías y canales, golpe de ariete, diseño de sistemas oleohidráulicos y neumáticos, etc. También resultan impracticables para procesos muy extensos, como puede ser la simulación global de una planta química, una depuradora, o incluso un motor de explosión o una turbina de gas en su conjunto (que sí se pueden estudiar por partes).

6. METODOLOGIA

Como primera medida se recopilara y analizara la información sobre el diseño y el análisis aerodinámico de carrocerías de autobuses, considerando que los resultados que se generan de este análisis se utilizaran para optimizar los procesos y el funcionamiento de los vehículos de transporte público, todo ello soportado en normativas y estándares tanto nacionales como internacionales, como la Norma Técnica Colombiana NTC 4901-3, y norma SAE J-1321 de la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices, entre otras.

Se profundizara en el conocimiento y manejo de las herramientas de software que se utilizan para el análisis por medio de la dinámica de fluidos computacional (CFD). Posterior a esto se analizara las características propias de diseño y fabricación de la carrocería, para poder parametrizar y generar las medidas y planos correspondientes, para en base a estos datos, poder llevar a cabo el modelamiento virtual en el software ANSYS FLUENT.

Luego se establecerá que tipo de malla es la más pertinente para realizar el análisis dinámico del flujo del aire sobre la carrocería, y los parámetros físicos que el software solicita para crear un entorno lo más cercano al ambiente real donde trabaja el vehículo.

Se revisaran y analizaran los resultados que arroje el paso del flujo del aire en el túnel de viento virtual, y de las zonas de presión y de turbulencia generadas sobre la carrocería del vehículo, para poder determinar con exactitud que partes o aditamentos aerodinámicos pueden implementarse o desecharse en la carrocería, para mejorar su coeficiente de penetración aerodinámica y disminuir el arrastre.

Se desarrollarán, optimizaran e implementaran las soluciones pertinentes para mejorar la penetración aerodinámica y se revisaran los resultados, para comparar y contrastar las mejoras respecto al diseño de partida. Todo lo anterior se documentara para la respectiva retroalimentación con la empresa fabricante de la carrocería, teniendo en cuenta información técnica como planos, mediciones, graficas, etc. Se generaran planos del modelo optimizado para su posterior fabricación o implementación por parte de la empresa.

7. CRONOGRAMA

ACTIVIDAD A REALIZAR		MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
1	Recopilación y análisis de información sobre desarrollos aerodinámicos en carrocerías de autobuses, mediante software ANSYS						
2	Análisis y adquisición de información técnica acerca del manejo del software ANSYS						
3	Análisis de la parte constructiva de la carrocería a optimizar						
4	Mediciones y generación de planos de la carrocería de autobús						
5	Modelamiento virtual de la carrocería en ANSYS						
6	Enmallado de la carrocería en ANSYS para verificar el flujo del aire sobre esta.						
7	Revisión y análisis del comportamiento aerodinámico de la carrocería de autobús en el túnel de viento virtual.						
8	Análisis de aditamentos aerodinámicos en la carrocería de autobús						
9	Optimización apéndices aerodinámicos y forma general de la carrocería						
10	Resultado final del análisis aerodinámico y generación de la carrocería de bus optimizada						
11	Revisión, comparación y contraste de resultados de la optimización aerodinámica, respecto al diseño de partida						
12	Generación de planos de la carrocería optimizada						
13	Elaboración de documentación definitiva						

8. PRESUPUESTO

El presupuesto para efectuar las labores planteadas será asumido con recursos propios y con la colaboración de la universidad en cuanto asesoría y préstamo de equipos con licencias académicas de los programas a ser utilizados en el análisis. Se coloca a título informativo el costo comercial de las licencias del software, ya que por costos no es viable para nosotros adquirirlas comercialmente.

COSTOS DE PERSONAL Y ASESORIAS

CONCEPTO	VALOR UNITARIO HORA	HORAS TOTALES	VALOR
Investigador 1	\$10.000	250	\$ 2.500.000
Investigador 2	\$10.000	250	\$ 2.500.000
Aseorías	\$50.000	40	\$ 2.000.000
SUBTOTAL:			\$ 7.000.000

COSTOS OPERACIONALES:

CONCEPTO	VALOR
Computador portátil marca TOSHIBA de 8GB de memoria RAM	\$ 2.800.000
Fotocopias	\$40.000
Impresiones	\$60.000
Servicio de internet	\$100.000
Licencia programa ANSYS FLUENT	\$10.000.000
Licencia Solid Edge básico	\$7.000.000
Elaboración de planos	\$200.000
Modelado	\$100.000
Documentación	\$350.000
SUBTOTAL	\$20.650.000

TOTAL	\$27.650.000
--------------	---------------------

9. BIBLIOGRAFÍA

BLUNDELL, MICHAEL; HARTY, DAMIAN, Multibody systems approach to vehicle dynamics, Editorial Elsevier, 2004.

BROWAND, FRED; MCCALLEN, ROSE; ROSS, JAMES. Aerodynamics of heavy vehicles II: trucks, buses, and trains, Volumen 2, Springer, 2008 - 483 páginas

CABSTAR, Nissan. Normas de carroceros para el montaje de carrocerías, equipamientos y transformaciones. Julio 2007. Págs. 13-16.

FENOLLOSA, CARLOS. Modelado fenomenológico del proceso de combustión por difusión diesel. Editorial Reverte, 2005 - 133 páginas

GÓMEZ LOZANO; BARRIOS, OSCAR; FORIGUA, JOHN. Diseño aerodinámico de una carrocería para un automóvil con energía alternativa para uso urbano en la ciudad de Bogotá. Universidad Libre – Colombia. Octubre 2007.

RONALD GAGNON, Richard. Auto body certification program. Department of Environmental Management. 2007.

SÁENZ PÉREZ, ANDRÉS Método de los elementos finitos: introducción a ANSYS. Universidad de Sevilla, 1999 - 141 páginas.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, Vehicle aerodynamics: wind tunnels, CFD, aeroacoustics, and ground transportation systems. Society of Automotive Engineers, 1996. - 281 páginas.

VIZÁN, GREGORIO Elementos estructurales del vehículo. Editex, 2006 - 288 páginas.