

Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Morelia 2020

Elibro Online con ISSN
1946-5351, Volumen 12, No. 1, 2020



Morelia, Michoacán, México
13 al 15 de mayo, 2020

www.AcademiaJournals.com



DIAGNÓSTICO DE FACTORES GEOMÉTRICOS QUE INFLUENCIAN EN LA CAÍDA DE PRESIÓN Y GENERADORES DE RUIDO EN DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO

Ing. Carlos Ivan Delgado Meléndez¹, Mtro. Ivan Juarez Sosa²,
Mtro. Jorge Francisco Guzman de Leon³

Resumen— Este artículo tiene como objetivos cuales los factores geométricos que tienen una mayor influencia en los ductos de aire acondicionado de un automóvil, se presentan dos casos simplificados en el que cada uno tiene cuatro ductos y se simula un módulo de aire como fuente. Como herramienta de simulación se utiliza el software ANSYS 2019 R2 con la paquetería de Fluent para realizar simulaciones de CFD (Computational Fluid Dynamics). En el estudio se analizaron tres propiedades físicas clave para el desarrollo de fluidos: velocidad, caída de presión y ruido, se busca determinar la correlación con la geometría por la que viaja el aire.

Palabras clave—Factores geométricos, aire acondicionado, CFD, caída de presión, ruido.

Introducción

El sistema de aire acondicionado o sistema de HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning, “calefacción, ventilación y aire acondicionado”) es uno de los principales contribuidores para el confort, dentro de este confort se encuentra el nivel de ruido, siendo este un agente que deteriora el confort de los espacios en general, La industria automotriz ha hecho diversos estudios para reducir el ruido ya sea desde la fuente o el medio de propagación. En la ingeniería de desarrollo del producto existen dos grandes herramientas para la creación de nuevos conceptos el CAD y el CAE (Computer Aided Design “diseño asistido por computadora” y Computer Aided Engineering, o “Ingeniería Asistida por Computadora”). El CAD es un conjunto de interpretaciones matemáticas en forma gráfica, la cual ayuda a crear modelos visuales de un componente o producto. “El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido” [1]. Por otro lado, el CAE es un software de simulación para diferentes fenómenos físicos, el cual nos ayudara a entender el comportamiento de los modelos CAD, y validar su confiabilidad.

Dentro del CAE existen tres pasos fundamentales para el modelado y solución de cualquier sistema físico: 1. Definición del problema, 2. Modelado matemático 3. Simulación por computadora. Este artículo está enfocado en el paso dos que es el modelado y simulación de CFD para determinar los factores geométricos que afectan el flujo de aire en un sistema de aire acondicionado, también se abarca como crear un modelo robusto y simplificado para el análisis computacional.

Cuando se están desarrollando nuevos productos en nuestro caso ductos de aire acondicionado, hay una fuerte interacción entre las herramientas de CAD y CAE esto para entender el comportamiento del aire y saber de qué maneras es posible mejorar el diseño, la subherramienta del CAE utilizada es el CFD (Computational Fluid Dynamic o dinámica de fluidos computacional). Como toda herramienta de CAE esta utiliza el método de elemento finito para captar los fenómenos físicos que suceden en el modelo generado por el CAD.

Descripción del método

Diferencias y similitudes del FEA y FVA

El método de elemento finito es un método de cálculo en el cual se subdivide un modelo de CAD en elementos muy pequeños de geometrías simples. El conjunto de estas formas simples constituye la llamada malla de elementos finitos. Al tener esta malla, esta se debe de traducir a un sistema matemático que describirá la física a analizar de los elementos y los fenómenos a analizar buscando solucionarlas de una manera sencilla como numéricos. Sin embargo, en el caso de análisis de fluidos se utiliza un método más complejo, este se conoce como Volumen Finito, el método de volúmenes finitos que a diferencia del elemento finito las geometrías simples son en tres dimensiones como cubos o tetraedros, de igual manera los métodos de solución cambian, el volumen finito o

¹ Carlos Ivan Delgado Meléndez es alumno del posgrado en Maestría en Manufactura Avanzada en CIATEQ A.C. (autor corresponsal) delgado.carlivan@gmail.com

² El Mtro. Ivan Juarez Sosa es Encargado de la Gerencia de Manufactura Virtual, Lean y CAD CAE/IVM CIATEQ A.C, Av. Manantiales No. 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, CP 76246, El Marqués, Querétaro ivan.juarez@ciateq.mx

³ El Mtro. Jorge Francisco Guzman de Leon es Gerente de Liberación de componentes en General Motors de México S. de R.L. de C.V. Calle Industria Minera 9, Delegación Sta. Ana Tlapaltitlan, 50160 Toluca de Lerdo, México jorgef.guzmandeleon@gm.com

mejor dicho el CFD utiliza leyes físicas de conservación (conservación de masa, de movimiento y de energía), en palabras simples lo que entra en una célula en un lado tiene que salir por la misma célula en otro lado.

La formación de una malla depende de dos factores, la fidelidad de la solución y el tiempo de procesamiento, son estas las razones por las que el tipo de análisis para resolver problemas de flujos utiliza el método del volumen finito.



Figura 1. Tipos de elementos/volúmenes finitos.

CFD

El CFD es el estudio de fluidos desde el punto de vista físico y matemático usando como apoyo herramientas computacionales, el CFD está diseñado para estudiar fluidos que están en movimiento y como su comportamiento influye en proceso que involucren transferencia de calor y posibles reacciones químicas. Los análisis de CFD son utilizados para predecir el comportamiento hidrodinámico, térmico, etc., en un sistema bajo la solución de un modelo matemático el cual utiliza las leyes fundamentales de movimiento y transferencia de calor o ecuaciones gobernantes.

Creación de modelo

Para el desarrollo de cualquier análisis de CAE (en este caso CFD) se requiere tener un modelo CAD con las condiciones de frontera bien establecidas para observar el desarrollo de los fenómenos físicos dentro del sistema, pero lo suficientemente simple para optimizar los tiempos de proceso de la máquina. El CAE consta de tres pasos básicos para su desarrollo, preproceso es la preparación de la geometría y la física a analizar, proceso en este se evalúan los fenómenos bajo las condiciones de frontera establecidas y el postproceso que se refiere a la interpretación de los resultados.

El sistema de aire acondicionado a estudiar constara de dos partes principales, 1. Módulo de AC o fuente y 2. Ductos de AC, lo cuales transportaran el aire de la fuente a los registros o ventilas. EL primero es el encargado de transportar y generar el aire desde la entrada del vehículo hasta los ductos que estos son los que envían el aire a las ventilas las cuales son la interfaz con el usuario. En la figura uno y dos se muestra un ejemplo de un módulo de aire, así como un set de ductos, estas son las imágenes reales y por lo tanto tienen todos los detalles necesarios para manufacturarse y ensamblarse, en los análisis de CFD en ocasiones hay ciertas características que no afectan o son transparentes para los procesos a ser simulados en los softwares de CAE.



Figura 2. Módulo de aire acondicionado.



Figura 3. Ducto de aire acondicionado.

Después de entender las partes principales a ser analizadas, es necesario entender el funcionamiento de los diferentes componentes, los ductos de aire acondicionado son componentes “pasivos” debido a que estos solo son el camino del aire y no generan ningún tipo de reacción que altere las propiedades del aire, sin embargo, la influencia de estos es estudiada debido a que los cambios geométricos de los ductos, y que estos pueden favorecer al incremento del ruido.

Por otro lado, el módulo de aire es un subsistema que consta de diferentes componentes y mecanismos como: levas, intercambiadores de calor, soplador, válvulas, aletas, etc. Este componente (módulo de HVAC). La figura tres es un diagrama esquemático del funcionamiento básico de un módulo, las flechas verdes representan el flujo del refrigerante para el intercambio de calor, la flecha azul es el aire de entrada que pasa hacia el soplador para que el aire alcance el volumen y la velocidad requerida, después el aire en flechas azul oscuro ya con la característica físicas pasa por los intercambiadores de calor, para poder llegar a los ocupantes.

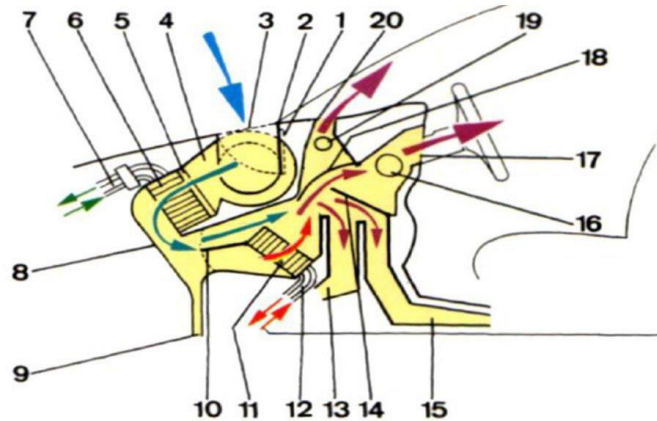


Figura 4. - 1. Entrada de aire - 2. Aleta de entrada de aire - 3. Aire fresco del exterior - 4. Soplador - 5. Filtro de aire - 6. Evaporador - 7. Refrigerante de AC - 8. Estructura del módulo de HVAC - 9. Dispositivo de drenado - 10. Aleta de mezcla de aire - 11. Núcleo calentador - 12. Drenado de agua caliente - 13, 15, 16, 17, 19, 20. Salidas de aire - 14. Aleta de distribución de aire - 18. Aleta de desempañ y deshielo.

Preprocesamiento

En la parte del preproceso se encuentra el modelado CAD, la cual consiste en crear las geometrías a ser utilizadas, los ductos de aire acondicionado de un vehículo tienen distintos requerimientos geométricos a considerar como área transversal o volumen, este se determina por la cantidad de aire que va a pasar por el ducto, radios de curvatura, compresiones y expansiones, etc. Lo anterior para ser integrado dentro de un ambiente y formar parte del producto final. Al tener completa la geometría se procede con la simplificación del modelo CAD, lo cual tiene como objetivo reducir la cantidad de información a ser leída por el solucionador.

El primer paso para un modelo CFD es la extracción de la geometría interna es decir “el camino” del aire, ya que es en esta parte donde los fluidos tienen interacción, en el siguiente diagrama se observa cual es flujo de trabajo para un análisis de CFD en general.

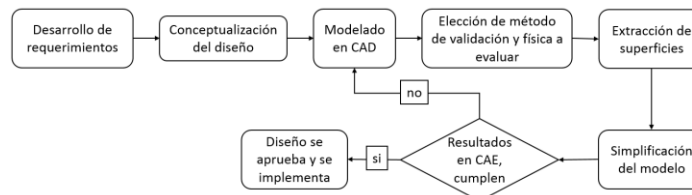


Figura 5. Diagrama de flujo de CFD.

En el paso de la extracción de geometría del módulo encontramos todos los detalles de todos los “modos” en los que la unidad puede funcionar, los modos de funcionamiento principales son: calefacción, binivel, deshielo y aire acondicionado en panel de instrumentos. Cada uno de estos utiliza diferentes cantidades de aire y múltiples

salidas dependiendo del uso. Para este estudio usaremos el que es de mayor flujo con mayor impacto al cliente que es el aire acondicionado en panel de instrumentos. Es necesario mencionar que el módulo tiene diferentes cámaras dependiendo del modo en el que se use, como parte de la simplificación del modelo se eliminarán las cámaras no deseadas, dicho de otra manera, para este estudio la única cámara en uso será la de aire acondicionado.

Al analizar la geometría interna de las cámaras, fueron descartadas las cámaras y salidas de los modos de calefacción, binivel y deshielo, así como la eliminación de redondeos, y esquinas que tienen una influencia mínima en el desarrollo del flujo de aire, estas acciones ayudan a reducir el tiempo de mallado y procesamiento de los fenómenos en los análisis de CAE.

El sistema consta otra parte fundamental que son los ductos, estos son los encargados de llevar el aire desde la fuente (módulo de AC) a las rejillas que el ocupante utiliza para controlar la dirección del aire, al igual que en el caso del módulo se trabaja con la geometría interna del ducto que es en la que el fluido se transporta. Del lado izquierdo la figura 7 son distinguidos los ductos de la manera en que son modelados para la integración CAD, y del lado derecho la forma “solida” en la que se trabajaron el software de CFD.



Figura 6. Modelado CAD y geometría interna para CFD. En la izquierda el modelado CAD y la derecha geometría preparada para CFD.

Solucionador

En esta sección se encuentra la parte de la solución de las ecuaciones gobernantes del sistema físico.

Postprocesamiento

En esta sección el modelo terminó de ser resuelto por el software y se procede a interpretar los resultados buscado de acuerdo con los dominios determinados en el preprocesamiento, velocidad, densidad, presión.

Casos de estudios

Para esta fase se definieron dos modelos de estudio los cuales tienen como variantes los ductos (con esto podemos tener una comparación geométrica para determinar factores que incrementan ruido) y la parte constante es el módulo de AC. El estudio busca evaluar la relación entre la caída de presión y el ruido, pero para alcanzar este nivel de análisis es necesario entender los fenómenos que ocurren en fluidos turbulentos, con algunas de las siguientes propiedades físicas: Irregularidad, tridimensionalidad, difusividad, dispersión, altos números de Reynolds.

Detalles de simulación y experimentación

Se tomaron dos sistemas de aire acondicionado los cuales tienen el mismo sistema de entrada los cuales tienen cuatro salidas al exterior, los cuales son los ductos mostrados en la figura 6, una vez terminada la simplificación del modelo CAD en el software de diseño, se importa geometría a un módulo del simulador de CAE para llevarlo a volumen finito, establecer las condiciones de frontera, darle solución al modelo y visualizar los resultados. El software utilizado es ANSYS 2019 R2 (versión de estudiante) el cual tiene como solucionador de flujos Fluent, este tiene una interfaz amigable para el usuario, la cual ayuda a la construcción y desarrollo del modelo.

En el submódulo de geometría se exporta la geometría externa, donde se reducen el número de caras adyacentes para tener continuidad geométrica, como se muestra en la siguiente figura tomada del primer caso.

Al terminar la corrección de geometría, se define el mallado, en Fluent hay ordenes de elemento en flujos turbulentos se elige lineal, así como el mejor tamaño de elemento para consistencia en este caso 5 mm debido a la restricción de los 500,000 como máximo por la licencia de estudiante. Dentro de la configuración los valores son de alta calidad, así como el tamaño mínimo de elemento.

En el submódulo de set up, la definición de las condiciones de frontera para el modelo, así como el cambio de elementos de piramidales a hexagonales de mayor tamaño. El modelo debe de cumplir con las condiciones de iniciales mostradas en la tabla 1.

Ajustes generales	Tipo	Basado en presión
	Velocidad y formulación	Absoluta
	Tiempo	Estado estable
	Gravedad	-9.81 m/s
Modelo de viscosidad	Modelo	K-epsilon
	K-epsilon	Factibilidad
	Tratamiento de pared	Mejoramiento de pared
	Opciones	Corrección de curvatura
Acústica	Modelo	Fuentes de ruido de banda ancha
Materiales	Fluido	Aire
Condiciones de frontera	Inlet	5.4 m/s
	Outlet	Outlet.left
		Outlet.right
		Outlet.center
Wall.solid		
Métodos de solución	Sistema	SIMPLEC
	Gradiente	Basado en nodo Green-Gauss
	Presión	Segundo orden
	Momentum	Segundo orden contraviento
	Energía cinética turbulenta	Segundo orden contraviento
	Tasa de disipación turbulenta	Segundo orden contraviento
Solución de inicialización	Método de inicialización	Estándar
	Marco de referencia	Relativo a la zona celular

Tabla 1. Tabal de condiciones iniciales.

Resultados y conclusión.

Las pruebas de ruido mostraron un comportamiento relacionado directamente con la geometría de los ductos. A continuación, se muestra el comportamiento de los diferentes componentes en los campos de velocidad, caída de presión y ruido.

Caso 1			Caso 2		
Presión entrada	Presión salida	Caída de presión	Presión entrada	Presión salida	Caída de presión
2.80	0.01	2.79	2.87	0.02	2.85
21.40	0.15	21.25	28.20	0.06	28.14
22.50	0.18	22.32	24.70	0.03	24.67
8.24	0.02	8.22	9.68	0.02	9.66

Tabla 2. Resultados de caída de presión.

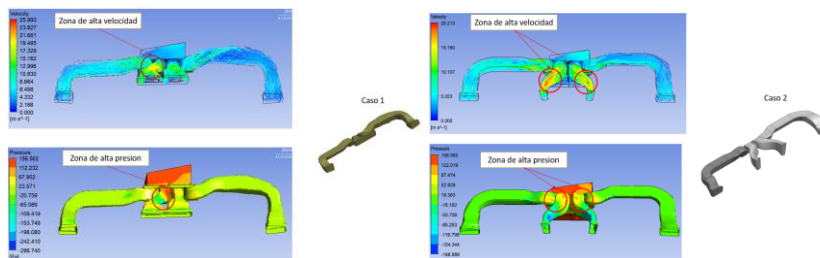


Figura 7. Escala de colores en caída de presión y velocidad de los dos casos.

En ambos casos los ductos en los que hay una mayor velocidad son los centrales, hay dos características a resaltar la longitud que aire recorre es menor, pero son los que muestran una mayor caída de presión debido a la liberación del aire a la atmosfera.

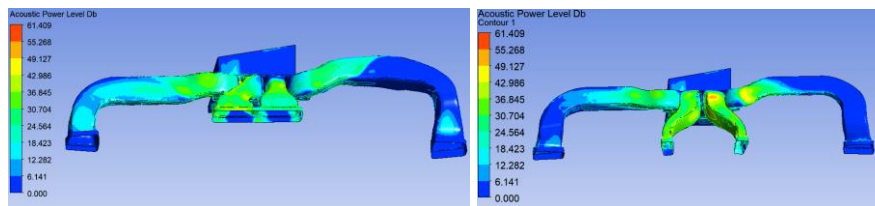


Figura 8. Escala de colores en ruido de los dos casos.

Los ductos que tienen una mayor caída de presión tienen una mayor contribución al ruido en ambos casos los ductos centrales son los que tienen este comportamiento, ya que la longitud de los ductos externos ayuda a la disipación del sonido. Es importante resaltar que la forma rectangular de los ductos centrales en el caso 2 no está afectando de manera significativa el desempeño de estos, se puede entender que el principal factor de para la propagación de ruido en los ductos es la longitud.

Referencias

- [1] Diseño asistido por computador. Oswaldo Rojas Lazo y Luis Rojas Rojas. Industrial Data, vol. 9, núm. 2006, pp. 7-15 Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- [2] Research on CAD and CAE Integration Technology in Driving Axle Design System. Fengyuan Wang, Ruifeng Sun y Chuanyuan Wang. July 2011, pp 4. School of Automobile and Transportation Qingdao Technological University
- [3] <https://naviers.xyz/cfd/cual-es-la-diferencia-entre-fem-fvm-y-fdm/>
- [4] Finite difference, finite element and finite volume methods for partial differential equations. Joaquim Peiro y Spencer Sherwin. Department of Aeronautics, Imperial College, London, UK.
- [5] Xaman J, Gijon-Rivera M. Dinámica de Fluidos Computacional Para Ingenieros (Hardback). Palibrio, 2016.
- [6] <https://www.esss.co/blog/es/ingenieria-asistida-por-computadora-que-es-y-como-funciona/>
- [7] EQSM: An efficient high-quality surface grid generation method based on remeshing. Desheng Wang, Oubay Hassan, Kenneth Morgan, y Nigel Weatherill. Civil and Computational Engineering Centre, School of Engineering, University of Wales Swansea, Singleton Park, Swansea SA2 8PP, UK. October 2005
- [8] <https://probench.gm.com/AutoReverse/default.asp?c=73&p=2#/product/213/part/6694>
- [9] <https://probench.gm.com/AutoReverse/default.asp?c=73&p=2#/product/-640/part/1975>
- [10] Automotive HVAC Noise Reduction. Bennouna, S., Matharan, T., and Cheriaux, O. SAE Technical Paper 2018-01-1519, 2018.
- [11] Computational Aeroacoustics Prediction of Propeller Noise Using Grid-Based and Grid-Free CFD Methods. Hambrey J. Carleton University Ottawa, Ontario, 2016.
- [12] TURBULENCIA. Rafael Ballesteros Tajadura. Universidad de Oviedo, Mecánica de fluidos, 2005.
- [13] Numerical Flow Simulation using Star CCM+. Upendra Rajak, Ruchi Khare, and Vishnu Prasad. Dept. of Civil Engineering, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India.
- [14] Calibración y parametrización del modelo matemático para evaluar la adherencia entre las barras de polímero Reforzadas con fibras de vidrio y el hormigón. Laura Forcada, Isel del Carmen Díaz Pérez, Nelson Fundora Sautié, Ernesto de la O Nibot4. 4 Centro de investigación y desarrollo de la construcción, 2016