

Evaluación de la incidencia del uso del diésel en la geometría variable del turbo compresor en un MEC

Carlos Alberto Gallardo-Naula¹

carlosa.gallardo@espoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5421-6075>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
(ESPOCH)
Riobamba, Ecuador

Diana Carolina Abarca Guilcapi

dcag1988@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3599-2041>

Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros
Riobamba, Ecuador

Diego Fernando Rodríguez Martínez

fernandorodriguez2455@gmail.com

Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros
Riobamba, Ecuador

Martha Cecilia Martinez Rojas

Marthaceciliamartinez1959@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9706-1330>

Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros
Riobamba, Ecuador

RESUMEN

Para el desarrollo de esta tesis se presentan dos softwares que van a permitir progresar en el estudio de los turbocompresores y en especial en las turbinas de geometría variable. En el primer caso, se muestra el diseño original de los álabes, que permite un conocimiento más amplio, a partir de medidas y sobre los fenómenos físicos que ocurren en una turbina tanto en condiciones de diseño como fuera de ellas. Por lo cual para la segunda parte del proyecto se presenta un modelo unidimensional fluidodinámico para los álabes de geometría variable. Se realiza el análisis desde tres estudios o métodos distintos: analítico, experimental y a través de métodos CFD. A través de los métodos experimental y CFD se identifican el fluido del combustible que pasa a través de los álabes, luego a través de la modificación CAD de la geometría de los álabes se realizará la validación a través de la simulación digital CFD se optimiza el diseño, minimizando las dimensiones de los álabes. En el procedimiento se tomará en cuenta el número de segmentos de los perfiles, que provocarán que la operación de recubrir generará una envolvente distorsionada, para lo cual será necesario garantizar los perfiles que tuvieran el mismo número de segmentos; además de garantizar que algunos segmentos que eran comunes para todos los perfiles, tuvieran las mismas dimensiones. El software ANSYS FLUENT contiene las amplias capacidades de modelado físico necesarias para modelar flujo, turbulencia, transferencia de calor y reacciones para aplicaciones industriales que van desde flujo de aire sobre un ala de avión hasta combustión en un horno, desde columnas de burbujas hasta plataformas petroleras, desde flujo sanguíneo hasta semiconductor fabricación, y desde el diseño de salas limpias hasta plantas de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: turbina; geometría variable; álabes; CAD; CFD.

¹ Autor principal.

Correspondencia: carlosa.gallardo@espoch.edu.ec

Evaluation of the incidence of the use of diesel in the variable geometry of the turbo compressor in a MEC

ABSTRACT

For the development of this thesis, two softwares are presented that will allow progress in the study of turbochargers and especially in variable geometry turbines. In the first case, the original design of the blades is shown, which allows a broader knowledge, based on measurements and on the physical phenomena that occur in a turbine both under design conditions and outside of them. Therefore, for the second part of the project, a one-dimensional fluid dynamic model for variable geometry blades is presented. The analysis is carried out from three different studies or methods: analytical, experimental and through CFD methods. Through the experimental and CFD methods, the fuel fluid that passes through the blades is identified, then through the CAD modification of the geometry of the blades, the validation will be carried out through CFD digital simulation, the design is optimized, minimizing the dimensions of the blades. In the procedure, the number of segments of the profiles will be taken into account, which will cause the covering operation to generate a distorted envelope, for which it will be necessary to guarantee the profiles that have the same number of segments; in addition to guaranteeing that some segments that were common to all profiles had the same dimensions. ANSYS FLUENT software contains the extensive physical modeling capabilities needed to model flow, turbulence, heat transfer, and reactions for industrial applications ranging from airflow over an aircraft wing to combustion in a furnace, from bubble columns to oil platforms, from blood flow to semiconductor manufacturing, and from clean room design to wastewater treatment plants.

Keywords: *turbine; variable geometry; blades; DAC; CFDs.*

Artículo recibido 20 mayo 2023

Aceptado para publicación: 20 junio 2023

RESUMO

Para o desenvolvimento desta tese, são apresentados dois softwares que permitirão avançar no estudo de turbocompressores e principalmente em turbinas de geometria variável. No primeiro caso, é apresentado o projeto original das pás, o que permite um conhecimento mais amplo, baseado em medições e nos fenômenos físicos que ocorrem em uma turbina tanto nas condições de projeto quanto fora delas. Portanto, para a segunda parte do projeto, é apresentado um modelo fluidodinâmico unidimensional para pás de geometria variável. A análise é realizada a partir de três estudos ou métodos distintos: analítico, experimental e por meio de métodos CFD. Através dos métodos experimental e CFD, é identificado o fluido combustível que passa pelas pás, então através da modificação CAD da geometria das pás, a validação será realizada através de simulação digital CFD, o projeto é otimizado, minimizando as dimensões das lâminas. No procedimento será considerado o número de segmentos dos perfis, o que fará com que a operação de cobertura gere um envelope distorcido, para o qual será necessário garantir os perfis que possuam o mesmo número de segmentos; além de garantir que alguns segmentos comuns a todos os perfis tivessem as mesmas dimensões. O software ANSYS FLUENT contém os extensos recursos de modelamento física necessários para modelar fluxo, turbulência, transferência de calor e reações para aplicações industriais, desde fluxo de ar sobre uma asa de aeronave até combustão em um forno, de colunas de bolhas a plataformas de petróleo, de fluxo sanguíneo a semicondutores fabricação e desde o design de salas limpas até estações de tratamento de águas residuais.

Palavras-chave: turbina; geometria variável; lâminas; DAC; CFDs.

INTRODUCCIÓN

En el campo automotriz en el Ecuador se caracteriza por no generar investigaciones ni se produce tecnología propia, básicamente esto genera que los países desarrollados y países en vías de desarrollo sean aún más grandes.

El entorno globalizado en el que se desenvuelve la industria automotriz obliga a las empresas fabricantes de vehículos a operar con un enfoque de mejora continua de sus procesos y a buscar generar/mantener un nivel de tecnología e innovación que le permita enfrentar de forma satisfactoria los desafíos de un mercado con carácter fuertemente internacional. Estas exigencias se trasladan a su vez al segmento de fabricación de autopartes, cuyas empresas requieren importantes inversiones para contar con el capital humano y tecnológico que le permita satisfacer los requerimientos de las plantas ensambladoras.

Los automóviles que utilizan turbos convencionales tienen el inconveniente de que, a bajas revoluciones del motor, el rodete de la turbina apenas es impulsada por los gases de escape, por lo que el motor se comporta como si fuera atmosférico. Para corregir este inconveniente se ha buscado la solución de dotar a una misma máquina sobre la capacidad de comprimir el aire con eficacia tanto a bajas como a altas revoluciones, para ello se han desarrollado los turbocompresores de geometría variable.

Con el propósito de estudiar este problema en el presente estudio se usan herramientas de última generación métodos utilizados en CFD, efectuando una variación de la medida estándar de los álabes con una disminución de 10 mm, al efectuar la simulación utilizando los datos en las pruebas de ciclo urbano y de carrera que se realizará en la camioneta Amaro 2014 realizando las respectivas medidas en el biturbo.

METODOLOGÍA

Se realizó en SolidWorks para generar las espirales envolventes de las carcasas.

En el procedimiento se tomará en cuenta el número de segmentos de los perfiles, que provocarán que la operación de recubrir generará una envolvente distorsionada, para lo cual será necesario garantizar los perfiles que tuvieran el mismo número de segmentos; además de garantizar que algunos segmentos que eran comunes para todos los perfiles, tuvieran las mismas dimensiones.

- a) Turbina
- b) Compresor

En esta investigación el modelado en 3D como se prestar atención en la figura 18 se efectuará en el software SolidWorks 2017, mediante el cual obtendremos el volumen del turbocompresor como se observa en la figura 26 y para el proceso siguiente se utiliza como el dominio para el estudio en ANSYS.

Figura 1: Diseño de turbocompresor en solidwork



Software ANSYS Estudiantil

El software ANSYS FLUENT contiene las amplias capacidades de modelado físico necesarias para modelar flujo, turbulencia, transferencia de calor y reacciones para aplicaciones industriales que van desde flujo de aire sobre un ala de avión hasta combustión en un horno, desde columnas de burbujas hasta plataformas petroleras, desde flujo sanguíneo hasta semiconductor fabricación, y desde el diseño de salas limpias hasta plantas de tratamiento de aguas residuales.

Simulación Turbocompresor

En la modelación del turbo compresor se tomará en cuenta los fenómenos físicos que ocurren e interactúan simultáneamente; como, turbulencia, reacciones químicas, transferencia de calor, radiación, etc. Nos permitirá que el programa computacional modele el flujo de fluidos, combustión y transferencia de calor en geometrías complejas.

Cuando se habla de combustión al interior de cámaras de combustión, generalmente, la reacción

química entre el aire y el combustible que a la postre va a generar calor tiene la connotación de turbulenta, adicional a eso, el aire y el combustible no se mezclan previamente; por tanto, dicha combustión también se define como no premezclada.

El interior de la cámara la distribución de temperaturas no es homogénea, las propiedades termodinámicas como el calor específico, la conductividad térmica y viscosidad del gas de escape cambian una manera vertiginosa de un punto a otro y deberá calcular de una manera confiable en cada sector, de acuerdo al grado de precisión que se desee.

Con los valores obtenidos se desarrollará el respectivo análisis para obtener los valores de frontera para realizar la simulación del flujo del turbo, para lo cual se va a dibujar la geometría del turbo en el software SOLID Works y la simulación de flujo en CFD.

Con el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) permitirá una simulación rápida y eficaz del flujo de fluidos y de la transferencia de calor, se puede calcular fácilmente las fuerzas de fluidos y comprender el impacto de un líquido en el rendimiento del turbocompresor.

CFD simulará el paso de fluidos líquidos en el turbocompresor. La investigación que se realizará será compleja, se va a obtener el cálculo de transferencia de calor, mezclas, y flujos inestables y compresibles para lograr el diseño del turbocompresor.

Por medio de software especializado para dibujo asistido por computadora se realiza el modelado en 3 dimensiones de los componentes del turbocompresor, detallando los álabes de tanto del compresor y del turbo, mirar la figura 19.

Figura 21: Modelo 3D del turbocompresor, derecha turbo, izquierda compresora



Para realizar el análisis computacional por medio de dinámica de fluidos CFD, se debe generar el volumen finito por donde el aire va fluir tanto en el compresor como en la turbina, en la figura 20 se puede visualizar los volúmenes finitos de los dos componentes representados como elementos sólidos. Para poder generar el movimiento de los álabes se generan 2 elementos independientes en cual se debe distinguir entre el volumen estático y el volumen rotatorio.

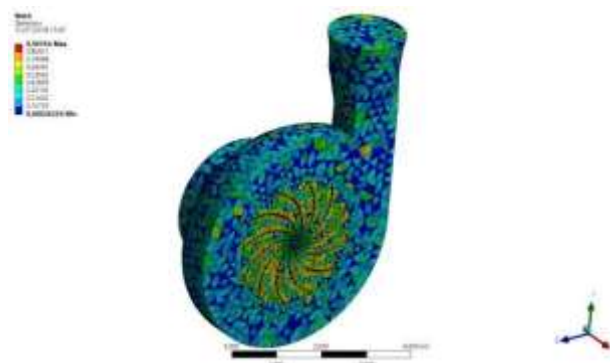
Figura 3: Volúmenes finitos, superior aire-turbo, inferior-compresor



Utilizando el software de ingeniería asistida por computadora CAE se genera llama de elementos finitos, para este estudio tenemos una malla tetraédrica de elementos de tipo 3D. Para controlar la calidad de malla se utiliza el índice Skewness, el cual nos indica que cuando tenemos para elementos de mala calidad son los valores aproximados a 1, y valores buena calidad con valores se aproximan a 0.

En la figura 04 se puede observar que para la simulación se ha creado una calidad de malla Skewness en rojo max 0.96

Figura 4: Índice de calidad de malla Skewness en rojo max 0.96



Creamos un set de nodos para asignar la entrada y la salida de fluido para este caso aire, como se indica en la figura 05.

Figura 5: En rojo entrada y salida de fluido



Ejecución de las pruebas

Para realizar las pruebas se establecen en un ciclo de conducción con variaciones de velocidades, las que determinan una diferenciación del flujo de entrada de aire y salida del turbocompresor. Se establecerán las condiciones que determinan la ruta de prueba y el modo de manejo Eco-Driving se determinará la geometría variable de los álabes en el turbo que nos servirán para realizar esta investigación. Se efectúa la preparación del vehículo para las pruebas

Ejecución de pruebas

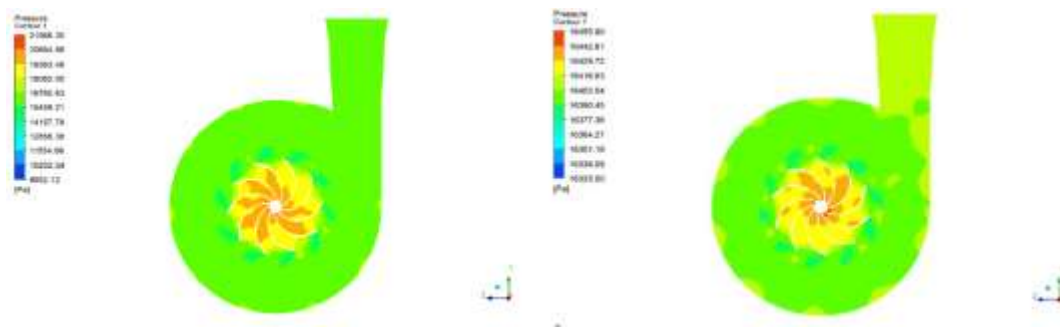
Se efectuaron cinco pruebas en las cuales se realizó todo el ciclo de prueba que se estableció y se obtuvieron los datos que son necesarios de las variaciones de flujo de aire en diferentes velocidades y aplicando la técnica de conducción Eco-Driving.

RESULTADOS

Caso 1 Carretera

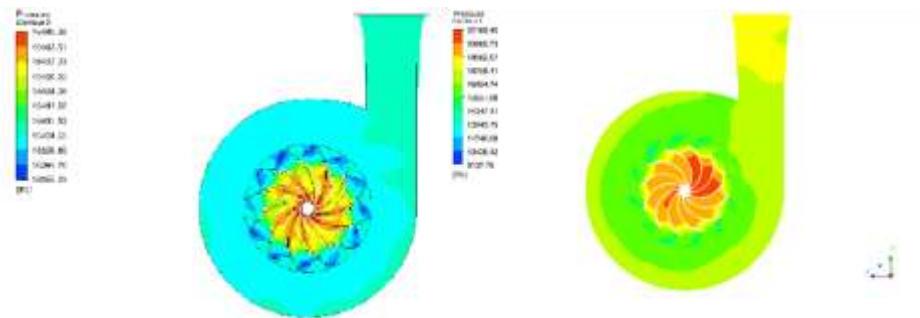
Como se puede observar en el gráfico se realiza una comparación entre los álabes, existe un margen de diferencia del punto máximo con 55.10%, el trabajo realizado en la presión se efectuó en el alabede 10 y con un mínimo del 73.72% que actúa una menor presión en el álabe de 10, observar en la figura 36.

Figura 6: Análisis de presión alabe de 10 y reducción de 10 mm de profundidad



Comparación de la presión en el turbo con una máxima del 57.10% de diferencia actuando una mayor presión en el alabe de 12 con reducción de 10 mm y una mínima presión del 72.52% existente presión mínima en el alabe de 12 con reducción de 10 mm, observe en la figura 37.

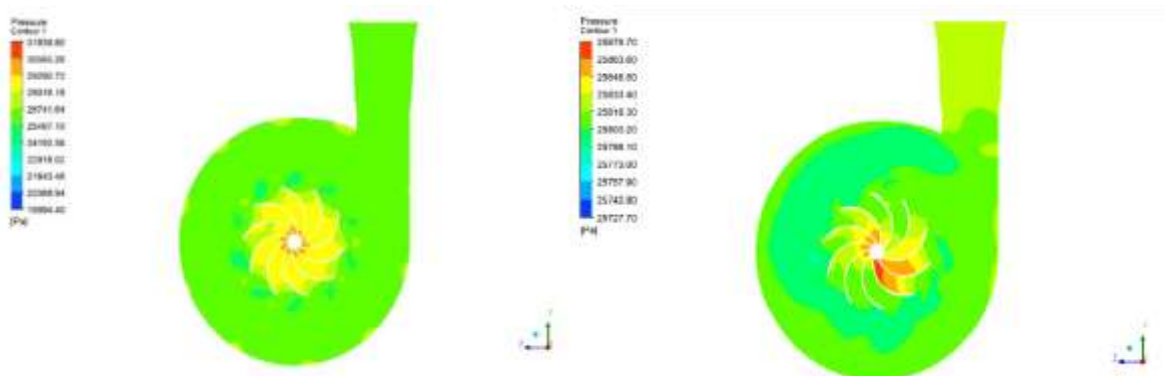
Figura 7: Analizar la presión del álabe de 10 y reducción de 10 mm de profundidad



Caso 2. Carretera

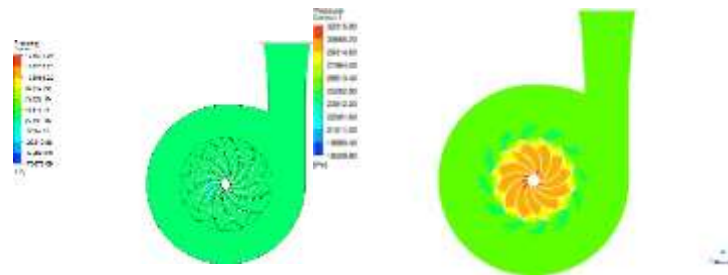
Existe una diferencia en presiones de máxima que se observe en la simulación con un porcentaje de diferencia del 59.61% con un trabajo mayor en el alabe de 10, una mínima presión de 66.33% que se hace presente en el alabe de 10, como se observa en la figura 38.

Figura 8: Observar la presión del álabe de 10 y reducción de 10 mm de profundidad



El grafico siguiente se realiza un trabajo de presión entre los álabes de 12 y con una reducción de 10mm de profundidad existe una diferencia en la máxima del 65% con mayor presencia en el alabe de 12, como una mínima presión del 60.16% que actúa en el alabe de 12, figura 39.

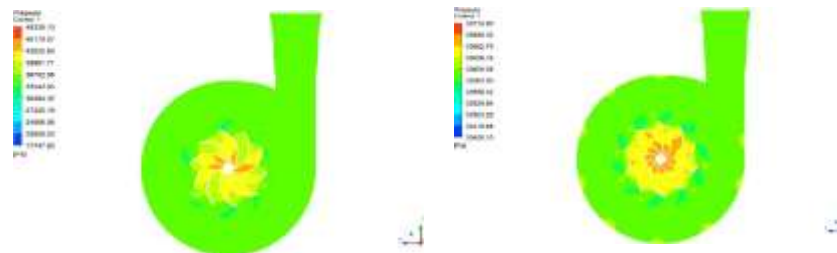
Figura 9: Análisis de presión del álabe de 12 y reducción de 10 mm de profundidad



Caso 1. Urbano

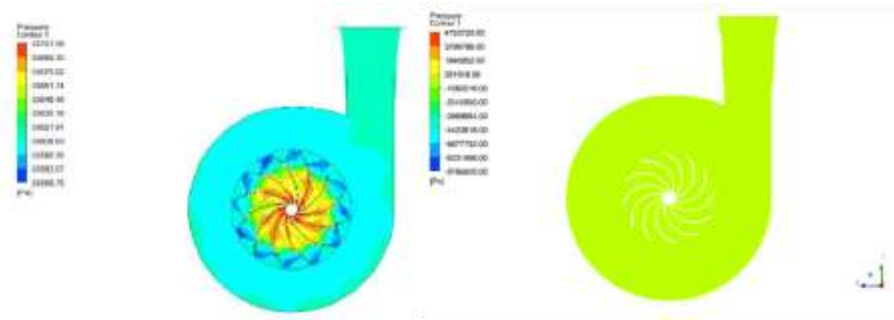
Se obtiene los datos en los álabes de 10 y reducción con una máxima de 49.33910 Pa en la simulación de 10 álabes, mínima de 17.74780Pa, en la simulación de reducción de 10mm se obtienelos siguientes datos máxima presión de 33.71590Pa, mínima 33.45010Pa. Observar la figura 42.

Figura 10: Simulación álabes de 12 y reducción de 10 mm



Como se observa en la gráfica 43 tenemos un máximo de 33.70158 Pa, mínima 33.56970Pa estos datos se consiguen en los álabes de 12, en el álabe de 12 con reducción máximo 47.53720 Pa y actuando una mínima de -97.85620Pa.

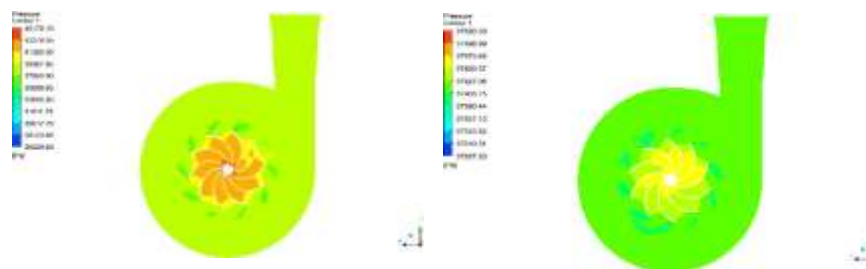
Figura 11: Observar álabes de 12 y reducción de 10 mm



Caso 2. Urbano

En la simulación de 10 álabes se consigue un máximo de 45.17010Pa, mínima 26.22960, en la reducción de 10 mm se logra los datos siguientes máximo 37.520Pa, mínima de 37. 28720Pa. Comose mira en la figura 12.

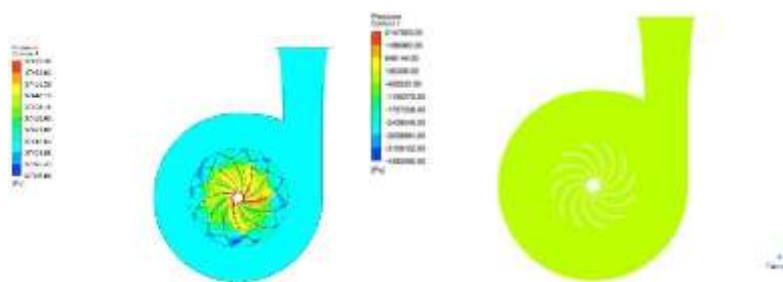
Figura 12: Estudio de álabes de 10 y reducción de 10 mm



Se obtienen los datos máximos en los álabes de 12. 3747238Pa, mínima 37.36668Pa y en la reducción de 10 mm se consigue máximo

21.4782000Pa, mínimo -43.6056000Pa. Observar la figura 13.

Figura 13: Observar los álabes de 12 y reducción de 10 mm



DISCUSIÓN

Comparación de resultados de velocidad ciclo urbano

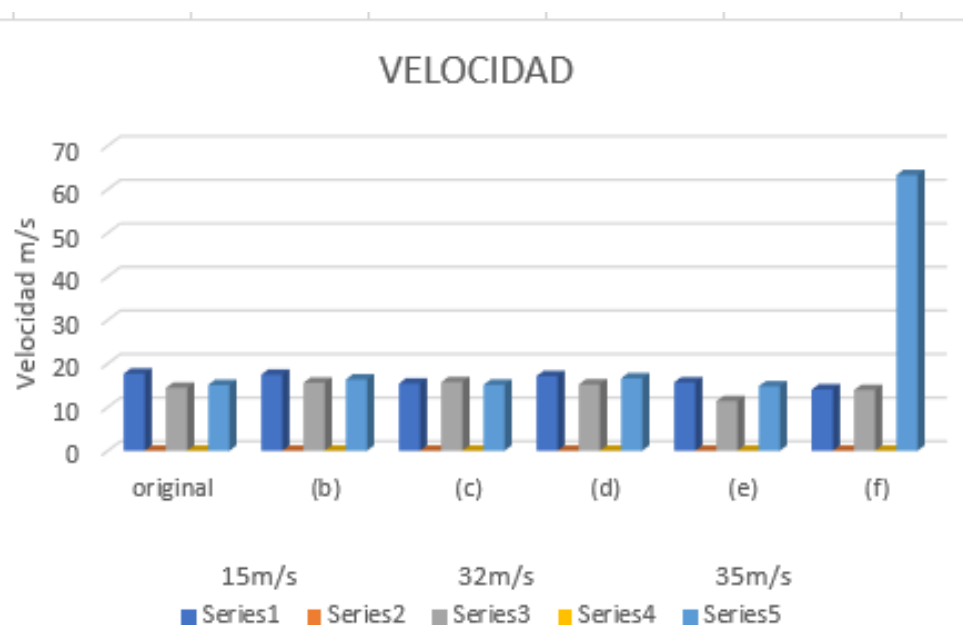
Turbo con 8 álabes, reducción de 10 mm, 10 álabes, reducción de 10 mm, 12 álabes y reducción de 10mm.

Observar en la figura 108 se ejecuta un balance con el álabe original teniendo como resultado una velocidad máxima en el rediseño del turbo (f) se obtiene una mayor velocidad en ciclo urbano, desarrollando el turbo sus rpm en forma que el motor mec ejecuta su evolución según la distancia recorrida.

Figura 14: Designación al turbo con diferentes geometrías

Denominación	Descripción	Número de álabes	Medida del Álabe
(a)	Turbo original	8	33mm
(b)	Turbo 1	8	23mm
(c)	Turbo 2	10	33mm
(d)	Turbo 3	10	23mm
(e)	Turbo 4	12	33mm
(f)	Turbo 5	12	23mm

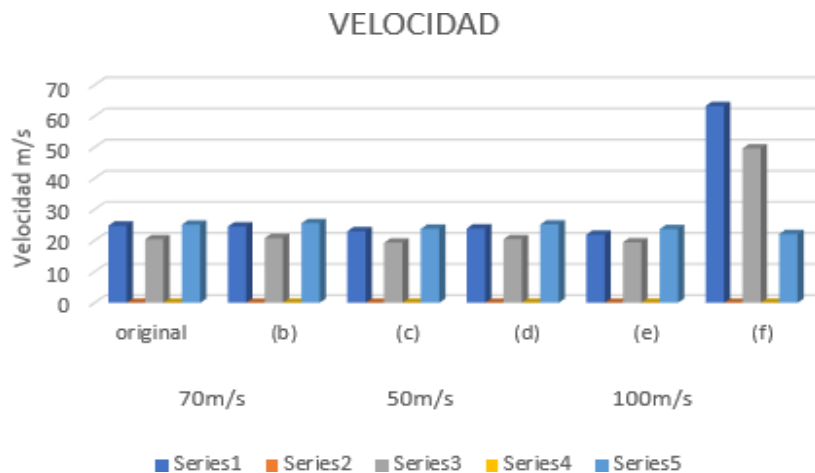
Figura 15: Promedio de velocidad en ciclo urbano



Comparación de resultados de velocidad ciclo carretera

Se realiza una comparación con el turbo original en ciclo de carretera y se presta atención a un valor máximo de velocidad que actúa sobre el álabe (f).

Figura 16: Promedio de velocidad en ciclo carretera



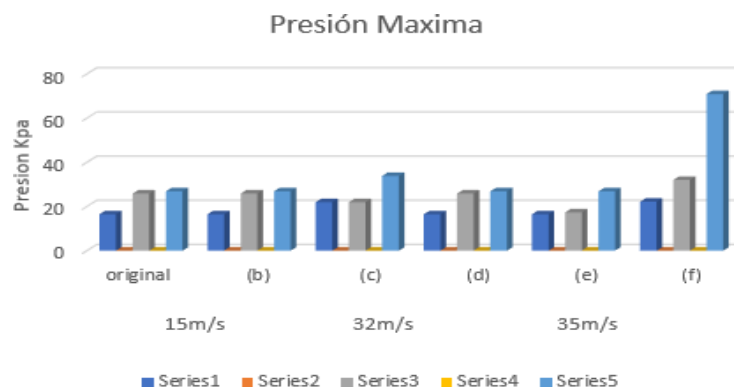
Se analizó los datos logrados en los distintos rediseños de álabe con respuesta a la simulación se puede observar a simple vista que el álabe que mejor ha contribuido con la investigación fue el rediseño del álabe (f) dando como resultado un máximo en los ciclos urbano y carretera reaccionando a los datos obtenidos en las pruebas dinámicas.

Comparación de resultados de presión ciclo urbano

Presión máxima

Se obtiene en la simulación de los álabe una presión máxima de salida del turbo que corresponde al rediseño del alabe (f), actuando de mejor manera en el ciclo de manejo. Con una presión mínima que ejerce en el turbo original en comparación con el máximo se obtiene un excelente funcionamiento del turbo en la presión de salida.

Figura 17: Promedio de presión máxima ciclo urbano

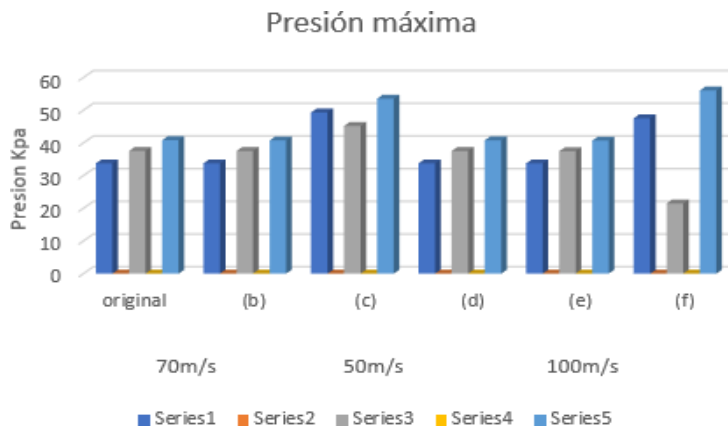


Comparación de resultados de presión ciclo carretera

Presión máxima

Se observa una máxima en comparación con el turbo original su rendimiento es eficiente para optar en el ciclo en carretera, es decir que el álabe de rediseño (f) es eficaz al momento de incrementar el rpm del turbo obteniendo una presión de salida adecuada.

Figura 18: Promedio de presión máxima de ciclo carretera

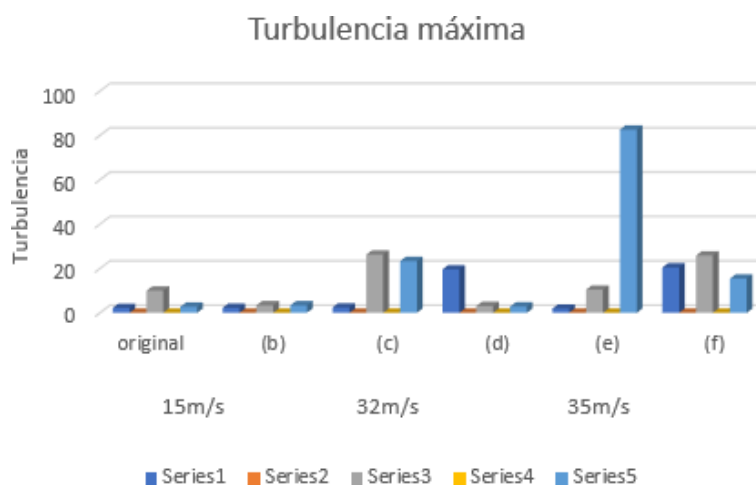


Comparación de resultados de la turbulencia ciclo urbano

Turbulencia máxima

Se encuentra una turbulencia en el turbo en comparación con el diseño original existe un máximo que corresponde al turbo (e), esto quiere decir que el turbo mencionado desarrolla un trabajo del flujo de aire en la turbina y por ende existe un incremento en la turbulencia.

Figura 19: Promedio de turbulencia máxima ciclo urbano

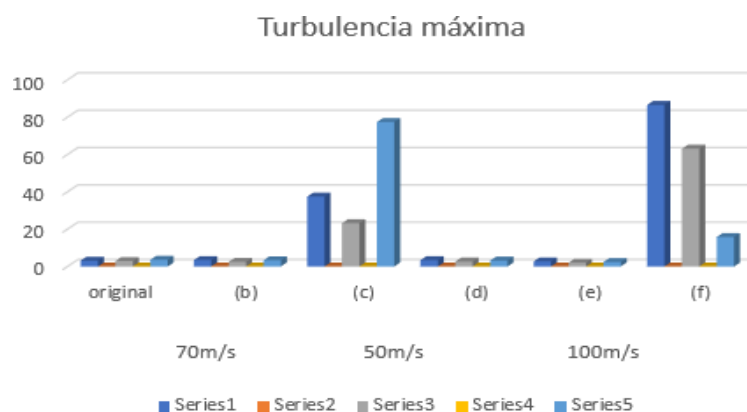


Comparación de resultados de la turbulencia ciclo carretera

Turbulencia máxima

Se determinan valores máximos y mínimos. Un balance entre el diseño original del turbo se encontró un valor máximo de turbulencia correspondiente al rediseño del turbo (f), existe una variación de álabes y diámetro ocasionando un mayor flujo de aire dentro de la turbina ocasionando un aumento en las rpm.

Figura 20: Promedio de turbulencia máxima ciclo carretera



CONCLUSIONES

Se evaluó la incidencia del uso del diésel en la geometría variable del turbocompresor en un MEC, mediante un ciclo de prueba dinámico y el software de simulación de fluidos ANSYS determinado que la variación de la geometría del turbo incide directamente en los parámetros de velocidad, flujo y turbulenta para la recopilación de información y la sustentación del proceso de la simulación.

Mediante la simulación de fluido se pudo obtener datos mayores de la simulación en la velocidad actuó en los álabes de 12 con reducción de 10 mm, mientras que en la presión se salida se consideró un máximo en los álabes de 12 con reducción de 10 mm, para la turbulencia un rango superior en el álabe de 12 con reducción a 10 mm, con estos resultados servirán para realizar la comparación de los diferentes diseños de álabes mediante el software ANSYS.

Se realizó un nuevo diseño variando la geometría original de los álabes donde se redujo tanto el número con las dimensiones de los álabes obteniendo como mejor propuesta de rediseño el aumento de álabes y disminución de longitud.

Conflicto de Interés

El desarrollo de este proyecto de investigación surgió con idea del autor principal y luego con los colaboradores en la cual consideramos que dentro del grupo no existe ningún tipo de conflicto e interés. Se asume la auditoría de esta investigación al grupo con la dirección de la persona encargada en la resolución de todo el proyecto.

REFERENCIAS

- Actuate. (2015). Proyecto para optimizar la conducción con el objetivo de reducir el consumo energético. Obtenido de https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/actuate_acutate_brochure_sp_es.pdf
- Alam, S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. ELSEVIER, 42.
- Alonso. (2000). Técnicas del automóvil.
- Alvite, J. (2012). Inyección Diesel 1. España: Editex.
- Ammann, Fekete, Guzzella, & Glattfelder. (2003). Model-Based Control of the VGT and EGR in a Turbocharged Common-Rail Diesel Engine: Theory and Passenger Car Implementation. SAE INTERNATIONAL, 14.
- Arias-Paz. (2003). Manual de Automóviles.
- Armas, O. (2012). Effect of diesel injection parameters on instantaneous fuel delivery using a solenoid-operated injector with different fuels. Scielo, 13.
- B., E. (2010). Combustible Alternativos.
- Bainchi, G., Pelloni, P., Corcione, & Matarelli. (2000). Numerical Study of the Combustion Chamber Shape for Common Rail H.S.D.I. Diesel Engines. SAE INTERNATIONAL, 19.
- Barrios, M., Maggi, P., Ocampo, D., & Silva, G. (2017). Sistema de Inyección Common Rail. Obtenido de https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/168555/mod_resource/content/0/Common%20Rail%20%282017%29.pdf