CIENCIAMATRIA
Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología
Año X. Vol. X. N°2. Edición Especial II. 2024
Hecho el depósito de ley: pp201602FA4721
ISSN-L: 2542-3029; ISSN: 2610-802X
Instituto de Investigación y Estudios Avanzados Koinonía. (IIEAK). Santa Ana de Coro. Venezuela

DOI 10.35381/cm.v10i2.1439

Simulación de transferencia de calor de un turbocargador

Simulation of turbocharger heat transfer

Esteban Fernando López-Espinel
ua.estebanle84@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua
Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-0758-6660

Christian Iván Sánchez-Sánchez
christianss24@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua
Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-5116-8052

Steve Alexander Acosta-Núñez
stevean68@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua
Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-1298-2692

Joel Andrés Jiménez-Cañar
joeljc90@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua
Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-1298-2692

Recibido: 15 de mayo 2024
Revisado: 15 de junio 2024
Aprobado: 15 de septiembre 2024
Publicado: 01 de octubre 2024

CIENCIAMATRIA
Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología
Año X. Vol. X. N°2. Edición Especial II. 2024
Hecho el depósito de ley: pp201602FA4721
ISSN-L: 2542-3029; ISSN: 2610-802X
Instituto de Investigación y Estudios Avanzados Koinonía. (IIEAK). Santa Ana de Coro. Venezuela

Esteban Fernando López-Espinel; Christian Iván Sánchez-Sánchez; Steve Alexander Acosta-Núñez; Joel Andrés Jiménez-Cañar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar la transferencia de calor de un turbocargador, mediante una simulación en el programa SimSolid, obteniendo la temperatura de trabajo de un turbocargador en sus diferentes partes. Se acudió al enfoque mixto empleando técnicas cualitativas y cuantitativas. El nivel investigativo del proyecto fue expermiental. Los resultados permitieron comparar la temperatura del turbo cargador entre dos o más fenómenos, situaciones o estructuras y explicar cómo este pasa de 20 grados centígrados (temperatura ambiente) en un tiempo de 180 minutos. Por lo tanto, como conclusión, se mostró el comportamiento de un turbocargador como un sistema rotatorio de sobrealimentación de aire a presión y su cambio de temperatura matemáticamente y mediante la simulación en software.

Descriptores: Turbo cargador; temperatura; tiempo; simulación; software. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the heat transfer of a turbocharger by means of a simulation in the SimSolid program, obtaining the working temperature of a turbocharger in its different parts. A mixed approach was used, employing qualitative and quantitative techniques. The research level of the project was expermiental. The results made it possible to compare the temperature of the turbo charger between two or more phenomena, situations or structures and to explain how it passes 20 degrees Celsius (ambient temperature) in a time of 180 minutes. Therefore, as a conclusion, the behavior of a turbocharger as a rotating system of pressurized air supercharging and its temperature change was shown mathematically and by means of software simulation.

Descriptors: Turbo charger; temperature; time; simulation; software. (UNESCO Thesaurus).

INTRODUCCIÓN

Varios estudios han investigado acerca de la transferencia de calor en un turbo compresor de geometría variable. Estos se han basado en simulaciones numéricas para analizar la transferencia de calor en diferentes partes del turbo compresor, incluyendo la carcasa, la geometría variable, la rueda del compresor y la rueda de la turbina. Cabe agregar que los resultados de estos estudios mostraron que la transferencia de calor en la carcasa del turbo compresor eras bajas, mientras que la transferencia de calor en la rueda del compresor y la rueda de la turbina eran significativamente mayores. Para Romero & Monroy (2014):

> Dentro del contexto permanente y creciente del parque automotor, el modelado de los intercambios térmicos en los motores constituye una herramienta imprescindible para predecir el impacto de soluciones alternativas que permitan acelerar el aumento de la temperatura, y, subsecuentemente, la reducción de emisiones durante el calentamiento de los motores. (p. 52)

Como ilustración, cabe citar a Romero et al. (2001) quienes destacan que “la configuración de intercambiadores de calor de tubos y placas–aleta es muy utilizada en intercambiadores de calor compactos” (p. 321). En este sentido, los estudios encontraron que la transferencia de calor en la geometría variable tenía un impacto significativo en el rendimiento de un turbo compresor, con una disminución en la eficiencia del compresor a medida que aumentaba la transferencia de calor en esta área. Villa et al. (2015), por su parte, comprobó la efectividad del uso de aletas en el proceso de la soldadura para el incremento de calor mediante una simulación computacional de la geometría. Para Guamán et al. (2019):

> Los vehículos modernos se fabrican en su mayoría con motores turboalimentados, esto permite la inducción de la masa máxima de aire con la mayor eficiencia volumétrica posible y mediante el diseño de puerto

> apropiado de la entrada de aire, se logran los niveles de remolino requeridos para un mejor desempeño del motor. (p. 256)

Según Castro & Cendales (2019) “con la revolución industrial de hace casi tres siglos atrás en Gran Bretaña, la humanidad ha implementado máquinas con el fin de optimizar el tiempo de fabricación, normalizar los procesos e implementar el consumo masivo” (p. 97). Estrada (2007) expresa que “en el mercado hay disponibilidad de varios programas computacionales diseñados para realizar simulaciones de dinámica de fluidos y combustión” (p. 257). Los autores Velázquez et al. (2022), aunque trabajaron con alimentos también acudieron a simulaciones que les permitió estudiar el proceso de calentamiento. En el presente documento se toman los datos experimentales correspondientes a los estudios realizados en relación con los motores de reacción construido a partir de un turbocargador de un motor (Motor de Encendido por Compresión) MEC. Según Bermúdez et al. (2024):

> Los turbocargadores en la actualidad han demostrado ser imprescindibles en el campo automotriz por ser máquinas que se encargan de aumentar la potencia, reducir el consumo de combustible y generar menos dióxido de carbono en un motor de combustión interna. (p. 1)

El objetivo que presentamos fue analizar la transferencia de calor de un turbocargador, mediante una simulación en el programa SimSolid, obteniendo la temperatura de trabajo de un turbocargador en sus diferentes partes. De este modo, se buscó determinar el empuje que genera este tipo de motor a diferentes presiones de combustible, en este caso GLP (Gas Licuado de Petróleo). Escobar et al. (2010) manifiestan que “en los últimos años la necesidad de generar energía eléctrica a pequeña escala a partir de turbinas de gas de baja potencia ha llevado a la industria y la academia a desarrollar productos con elevada eficiencia y performance” (p. 28).

Desde esta perspectiva, como primer paso, se utilizó el diseño de la cámara de combustión y tobera de escape con ayuda del software SIMSOLID y SOLIDSWORKS,

tomando en cuenta las medidas para su fabricación de manera experimental, mismas que están basadas en las previas investigaciones bibliográficas.

Los materiales que se usaron para la construcción de la cámara de combustión fueron seleccionados con el fin de soportar las elevadas temperaturas que generaba la cámara de combustión. El turbo compresor usado fue de geometría variable, por lo que se consideró necesario instalar los sistemas de lubricación y de refrigeración para evitar el desgaste prematuro de los elementos y un sobrecalentamiento de este. Finalmente, el motor de reacción generó un empuje de 9,57 N, mismo que no fue suficiente para obtener un movimiento del vehículo de prueba, por lo que se consideró idóneo usar un turbo compresor de dimensiones mayores con presiones máximas de trabajo superiores a 20 psi. Todo ello, se realizó con el fin de conocer matemáticamente el cambio de temperatura máxima a temperatura ambiente mediante la simulación en software.

MÉTODO

El estudio se fundamentó en el enfoque mixto, empleando técnicas cualitativas y cuantitativas. El nivel investigativo del proyecto fue experimental, en vista de que el objetivo fue establecer relaciones causales entre variables específicas. En este caso, se llevaron a cabo experimentos donde se manipularon ciertas variables para determinar su efecto en otras variables.

Después de la revisión de la literatura, los pasos para realizar la repetición del experimento fueron los siguientes:

1. Se abrió el archivo del modelo en el software SimSolid, obteniéndose una imagen similar a la mostrada a continuación en la figura 1.

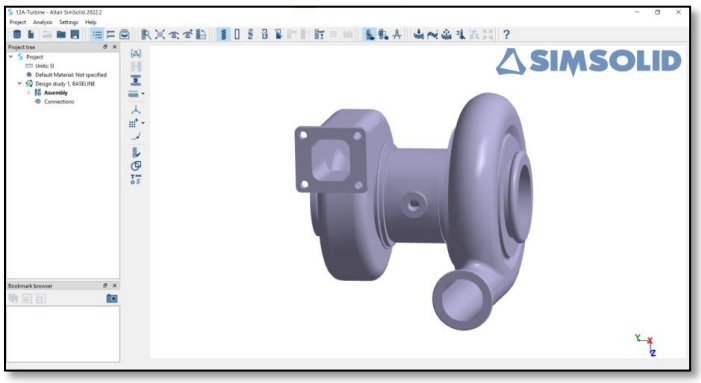

Figura 1. Modelado 3D.
Elaboración: Los autores.

2. Se eligió el material “Steel” para convertir la pieza o componente en un modelo que contuviera ese material. Luego procedimos a presionar cilck en “Apply to all parts” para aceptar. A continuación, se ubicó la opción “connections” y se hizo click en la opción “Automatic connections”. Así lo muestra la figura 2.

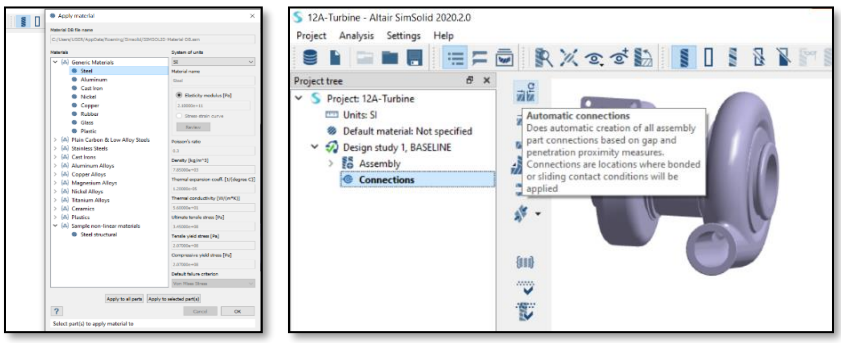

Figura 2. Aplicación del material.
Elaboración: Los autores.

3. Realizado el paso anterior se abrió una “ventana” pequeña, la cual trató sobre las Tolerancias de la pieza, donde se introdujeron los siguientes datos:

- Gap: 1.18 (mm)

- Penetration: 0.6 (mm)
- Lo siguiente es dar OK

4. Luego se verificaron en la parte “connections”, para asegurar que todas las partes de la pieza estuviesen unidas y listas para poder trabajar. Así se señala en la figura 3.

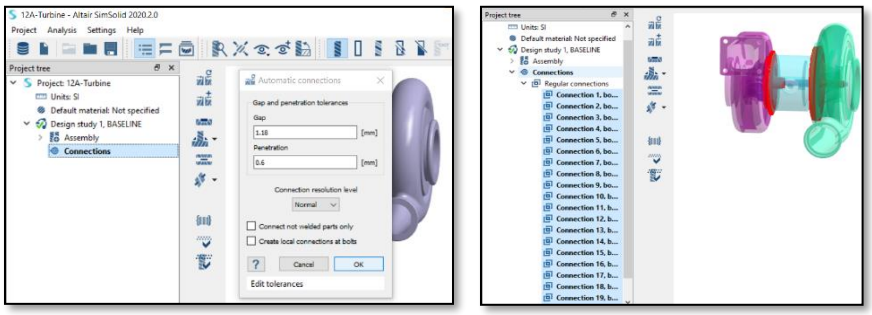

Figura 3. Aplicación de conexiones.
Elaboración: Los autores.

5. A continuación, en la figura 4, se realizó un cateo de análisis térmico, donde se ubicó el “Thermal analysis” y luego se seleccionó la opción “siguiente”. Luego apareció una opción llamada “Thermal 1” debajo de “connections” adjunto a una opción con el nombre de “Solution settings“.

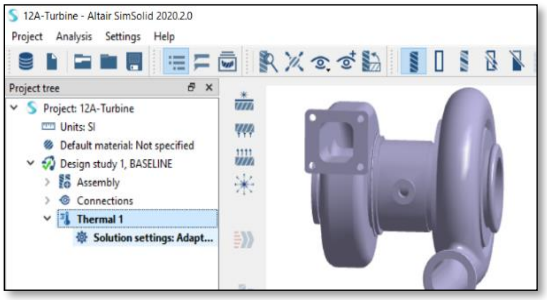

Figura 4. Preparación para análisis térmico.
Elaboración: Los autores.

6. Se abrió una ventana donde se seleccionaron todos los orificios de entrada y en la opción “Addtangent faces” haciendo click en ellos, como se muestra en la figura 5. Como siguiente, en la opción “Temperature”, se percibió una temperatura de 800°C para luego seleccionar OK.

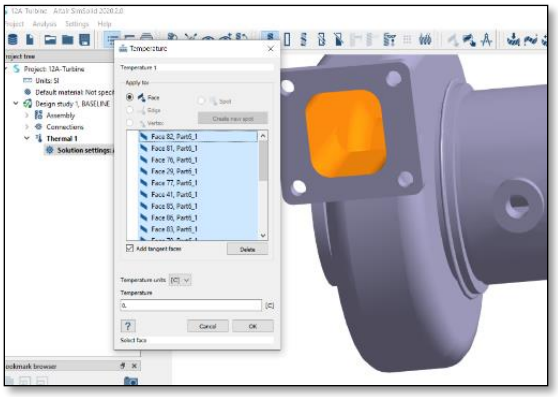

Figura 5. Condiciones de borne de simulación.
Elaboración: Los autores.

7. Como siguiente paso, se realizó el fenómeno de convección. Para realizar este paso, se seleccionó la opción “convetion”, como se muestra en la siguiente figura 6.

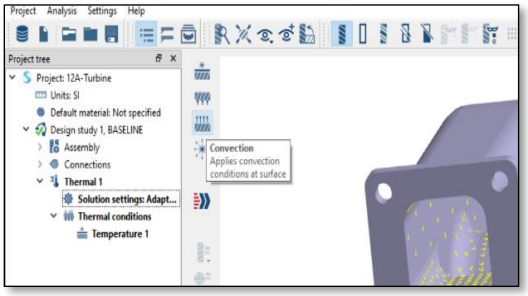

Figura 6. Selección de simulación por convección.
Elaboración: Los autores.

8. Se seleccionaron todos los orificios de salida y la opción “Addtangent faces”. A continuación, se colocaron los siguientes valores:
   - Ambient temperature: 30°C
   - Convective heat transfer coefficient: 200 [W/(m^2*K)]
9. Como último paso de dio una Condición de Convección al eje interno del Turbo cargador. Así lo muestra la figura 7.

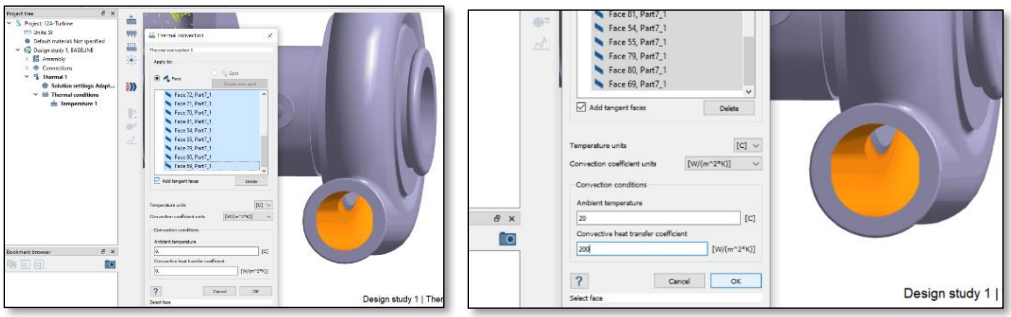

Figura 7. Seteo de valores de convección eje interno.
Elaboración: Los autores.

10. Se seleccionaron una por una las partes con un click, como se verá en las imágenes de la figura 8, dando click en la letra H del computador.

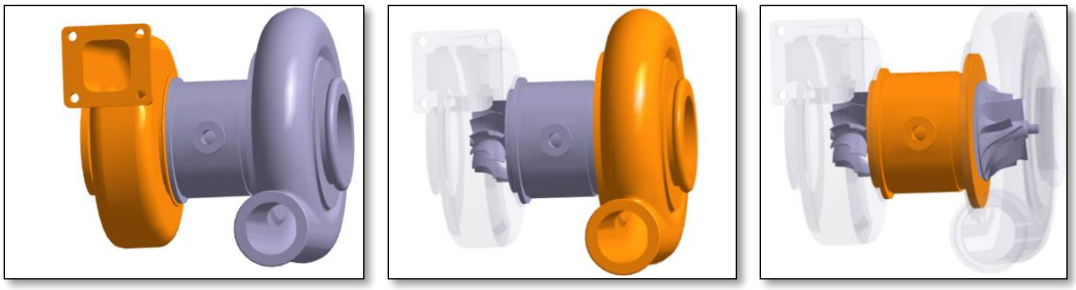

Figura 8. Visualización imágenes de interés.
Elaboración: Los autores.

11. Nuevamente nos dirigimos a la opción de “convection” para luego seleccionar todas las caras externas del eje interno dando click a una por una.
12. Como siguiente paso, se mostraron los siguientes valores:
    - Ambient temperatura: 120
    - Convective heat transfer coefficient: 1000 [W/(m^2*K)]
13. A continuación, nos dirigimos a la opción “Thermal 1” y seleccionamos la opción “Solve” (figura 9). En este paso permite que el programa corra.

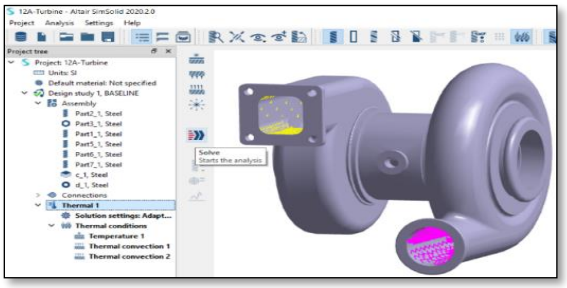

Figura 9. Visualización imágenes de interés.
Elaboración: Los autores.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la *Simulación de la temperatura.* Se encontró que la temperatura a la que se encuentran expuestas las partes externas del turbocargador corresponde a lo establecido en la tabla 1.

Tabla 1.
Resultados de temperaturas de partes del turbocargador.

Partes externas de la Turbina	Grados °C
Sección de la Turbina	805
Eje externo del Rotor	544
Eje externo del Rotor	349
Sección Compresor	228

Elaboración: Los autores.

Los resultados de la simulación con los cuales se obtuvieron los datos mostrados se presentan a continuación en la figura 10:

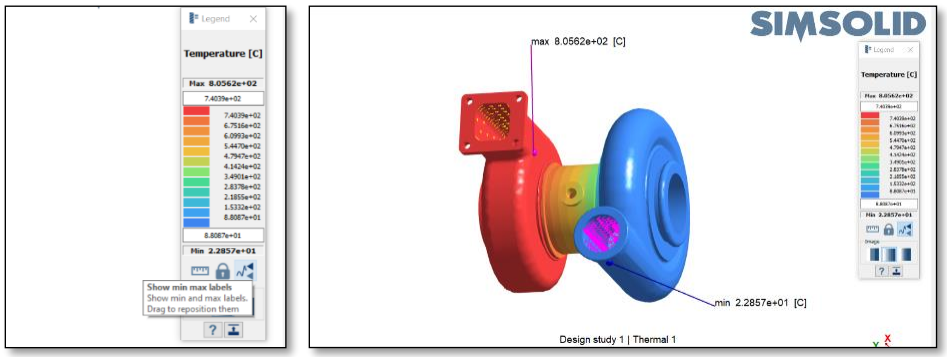

Figura 10. Resultados de la simulación.
Elaboración: Los autores.

Para Agudelo et al. (2013) “fue posible experimentar, mediante simulaciones el efecto que generaron algunos cambios en la geometría de los componentes del microgenerador” (p. 193). De este modo, realizados los cálculos matemáticos donde se utilizó la Ley de enfriamiento de Newton para saber en qué tiempo el turbo cargador volvía a su temperatura ambiente, estos fueron los resultados:

A una temperatura ambiente de 20°C con una temperatura de inicio de 800°C del turbocargador, se obtuvo un resultado de 208°C pasado los 10min.

Como resultado final se obtuvo que, a una temperatura ambiente de 20°C con una temperatura de inicio de 800°C del turbocargador, el componente estaría a 20°C en exactamente 180 min.

DISCUSIÓN

Los datos ocupados en el anterior proceso de la simulación serán los que se tomen en cuenta para realizar el siguiente cálculo mediante la siguiente interrogante:

Se tiene un turbocargador que está a una temperatura máxima inicial de 800°C en un ambiente de temperatura de 20°C ¿En qué tiempo la temperatura máxima de ese turbo cargador volverá a su temperatura ambiente de 20°C?

Para responder la interrogante mediante cálculos matemáticos se ocupó la Ley de enfriamiento de Newton, la cual menciona que "La razón de cambio de temperatura de un objeto, es proporcional a la diferencia de su temperatura y del ambiente".

Para esto ocupamos los siguientes datos de entrada:

- $T(t)$= temperatura del objeto en t
- T_A= temperatura ambiente (constante)
- $T'(t)$= razón de cambio de la temperatura
- Temperatura máxima del turbo cargador: 800°C
- Temperatura Ambiente (T_A): 20°C
- Temperatura 2 asumida máxima: 208°C

En base a todo lo mencionado anteriormente se plantea y resuelve el ejercicio mediante ecuaciones diferenciales, integrales y cálculos matemáticos básicos. A continuación se muestran las figuras 11 y 12.

$t = 0\,\text{min}$	800 °C	$t = 45\,\text{min}$	21 °C
$t = 10\,\text{min}$	208 °C	$t = 50\,\text{min}$	20,6 °C
$t = 15\,\text{min}$	112,30 °C	$t = 60\,\text{min}$	20,1 °C
$t = 20\,\text{min}$	65 °C	$t = 70\,\text{min}$	20,03 °C
$t = 30\,\text{min}$	30 °C	$t = 180\,\text{min}$	20 °C
$t = 35\,\text{min}$	25 °C		

Figura 11. Datos obtenidos en series de tiempo.
Elaboración: Los autores.

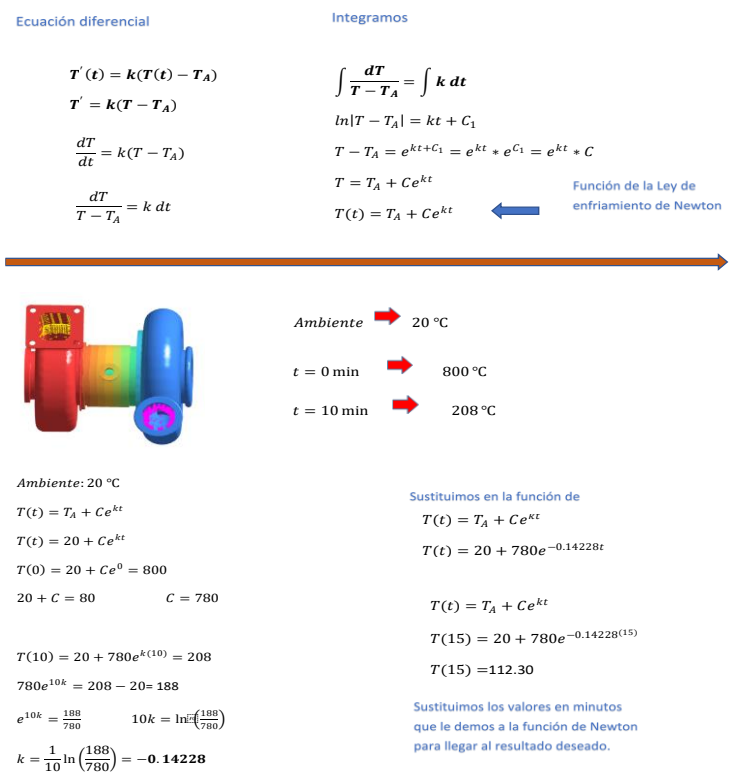

Figura 12. Análisis de resultados por cálculo.
Elaboración: Los autores.

CONCLUSIONES

Luego de la realización del presente trabajo se puede concluir que el turbocargador es un sistema rotatorio de sobrealimentación de aire a presión, su principal función dentro del vehículo es la de aumentar la potencia de los motores de combustión interna mediante la energía de los gases de escape.

Además, con el software de simulación llamado SimSolid, se obtuvieron los valores de la temperatura de trabajo en sus diferentes partes, lo cual dio paso a los cálculos de los tiempos que tardaría en volver a su temperatura ambiente.

Por último, calculados los diferentes tiempos, se llegó a la conclusión de que, a los 180 minutos, el turbocargador volverá a su temperatura ambiente de 20°C, una vez

apagada la simulación, obteniéndose datos numéricos dados por el software donde muestra dos temperaturas, una máxima y una mínima. El programa refleja una temperatura máxima de 8.0562e °C del componente y muestra una temperatura mínima de 2.2857e °C del componente.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTOS

A todos los autores por sus relevantes aportes en el análisis documental del presente estudio.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Agudelo, S., Chica, E., Obando, F., Sierra, N., Velásquez, L., & Enríquez, W. (2013). Diseño, simulación, fabricación y caracterización de una turbina tipo Pelton de 5 kW. [Design, simulation, construction and characterization of a 5 kW hydraulic Pelton turbine]. *Ingeniería y competitividad, 15(*1), 183-193. https://n9.cl/gcwpy

Bermúdez, J., Suárez, O. & Cabello, J. (2024). Modelo matemático de un plenum para obtener las características dinámicas del flujo másico de un turbocargador. [Mathematical model of a plenum to obtain the dynamic characteristics of the mass flow of a turbo-charger]. *Matéria (rio De Janeiro), 29*(1), 1-20. https://n9.cl/jlibhb

Castro, J. & Cendales, E. (2019). Casos aplicados del análisis de causa raíz: revisión. [Cases applied to root cause analysis: a review]. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 29*(1), 95-134. https://n9.cl/7nep8

Escobar, A., Cerpa, R., Mondragón, C., & Pachón, D. (2010). Diseño y construcción de una turbina de gas para generación de baja potencia (TGBP) con ciclo regenerativo a partir de un turbocargador. [Design and construction of a gas turbine for low power generation (TGBP) with regenerative cycle from a turbocharger]. *Ciencia y Poder Aéreo*, *5*(1), 27-42. https://n9.cl/86xz3

Estrada, C. (2007). Simulación de una cámara de combustión para una microturbina de gas utilizando el programa de dinámica de fluidos Fluent. [Simulation of a combustion chamber for a micro gas turbine using the gas microturbine using the fluid dynamics program fluent]. *Scientia Et Technica, XIII*(34), 255-260. https://n9.cl/d9gld

Guamán, E., Llanes, E., Celi, S., & Rocha, J. (2019). Parámetros del múltiple de escape para su diseño computacional: una revisión. [Parameters of an exhaust manifold for its computational design: a review]. *Información tecnológica*, *30*(6), 255-268. https://n9.cl/llbjq

Romero, C., & Monroy, M. (2014). Modelado térmico de los motores de combustión. [Thermal modeling of combustión engines]. *El Hombre y la Máquina*, (44), 51-58. https://n9.cl/6wbvh

Romero, R., Adame, R. & Sen, M. (2001). Estudio de los parámetros que afectan la transferencia de calor conjugada en intercambiador de calor de tubos y placas-aleta. [Study of parameters affecting conjugate heat transfer in tube and plate-fin heat exchangers]. *Interciencia*, *26*(8), 321-326. https://n9.cl/7twxj

Velázquez, J., López, J., & Cruz, P. (2022). Simulación con FEA de la transferencia de calor a través de un trozo de carne emulado, con geometría rectangular, en una cámara de termoencogido. [FEA simulation of heat transfer through an emulated piece of meat with rectangular geometry in a dip shrink tank]. *Acta universitaria*, 32, 1-20. https://n9.cl/m0bwm

Villa, D., Hincapié, D. & Torres, E. (2015). Simulación computacional de la transferencia de calor en herramientas usadas en soldadura por fricción-agitación. [Computer simulation of heat transfer on tools used in friction stir welding]. *Revista UIS Ingenierías*, *14*(2), 19-26. https://n9.cl/x7jr7

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)