

Análisis Térmico por el Método del Elemento Finito Para Determinar las Temperaturas Internas de las Capas Aislantes en el Enclosure de una Turbina de Gas

A. Serrano-Hernández¹, D.A. Roman-Landeros¹, F. Huerta-Valenzuela¹

Resumen—El presente artículo tiene el objetivo de analizar y observar el comportamiento de los aislantes térmicos dentro de un enclosure de una turbina de gas, el alcance del estudio realizado es la simulación de la carga térmica en una lámina de acero perforada AISI 409ss, fibra de vidrio, polímero buna vinyl, pintura epoxica rica en zinc, y lamina de acero A36. Para el análisis de elemento finito se requirió de un modelo 3D simplificado al cual se le asignaron los materiales correspondientes, se mayó o generó una serie de nodos en la geometría donde se colocaron de las cargas térmicas y restricciones, con los resultados se mostró que los materiales si realizan el efecto aislante deseado, también se demostró la ineficiencia de aumentar la fibra de vidrio de a 2 a 4 pulgadas.

Palabras claves—aislantes térmicos, conducción, convección, flujo de calor, temperatura.

Abstract—This paper aims to analyze and observe the behavior of thermal insulation within a gas turbine enclosure, the scope of the study carried out is the simulation of the thermal load in a perforated steel sheet AISI 409ss, glass fiber, Buna vinyl polymer, zinc rich epoxy paint, and A36 steel sheet. For the finite element analysis, a 3D model is required, materials assignment, grid or generation of nodes in the geometry, placement of the thermal loads and restrictions, with the results it was shown that the materials if they perform the desired insulating effect also Demonstrated the inefficiency of increasing fiberglass by 2 to 4 inches.

Keywords— Thermal insulation, Thermal conduction, convection, Heat flow, temperature.

XXXII. INTRODUCCIÓN

Los análisis térmicos son de gran importancia en una amplia gama de productos para su control, en donde se necesita mantener una temperatura dentro de un rango para su correcto funcionamiento.

Los sistemas de generación de energía por turbina gas (GTPG) han desplazado en los 5 años recientes a otros sistemas con mayor índice de contaminación

(termoeléctricos combustóleo), sin embargo están y seguirán estando seriamente competidos por sistema eólicos y fotovoltaicos, para mantenerse y mejorar su desempeño, GTPG debe innovar significativamente los siguientes atributos: Ciclo de fabricación del equipo, Ciclo de pruebas en campo, costos de fabricación, ciclo de instalación en sitio, precio de venta, eficiencia en %, seguridad y emisiones a la atmósfera. (Equinox Grupo ACV, 2016)

En la actualidad existen distintos sistemas para la generación eléctrica, las turbinas de gas son parte de estos sistemas. Estas turbinas de gas presentan distintos problemas en su funcionamiento, algunos de los que están presentes en estos sistemas es la contaminación atmosférica y la baja eficiencia debido a distintos factores como lo pueden ser la perdida de calor en el sistema, la cual trae como consecuencia la perdida de eficiencia en la cámara de combustión y la turbina de gas.

El presente proyecto consiste en analizar las condiciones actuales de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica para evaluar posibles adecuaciones al mismo sistema en pro de su mejoramiento, siendo la parte central del análisis lo correspondiente al área del enclosure, la cual se encuentra a la mitad del sistema con el objetivo de aislar y disminuir la perdida de calor.

XXXIII. METODOLOGÍA

Mediante lo conocido teóricamente y lo proporcionado por la empresa acerca la generación de energía y la forma de eficientar el proceso se comenzó una previa investigación, siendo las turbinas de gas, los aislantes térmicos y la transferencia de calor los temas principales de esta. Una vez obtenida toda la información necesaria referente a estos temas, se prosiguió a escoger los temas principales, los subtemas y la adición de información relevante en un orden lógico y coherente.

Concluyendo con el ensamblaje de los sistemas principales de la planta generadora se comenzó a realizar los cálculos de los flujos térmicos considerando conducción y convección, esto tomando en cuenta el coeficiente de transferencia térmica de los distintos materiales y las temperaturas a las que se encontraba el sistema. Una vez obtenidos estos datos se realizaron dos distintos análisis térmicos, uno tomando en cuenta los espesores de las capas térmicas obtenidos por la empresa y

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Subdirección de investigación y desarrollo tecnológico, Av. Tecnológico N1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km 14.5, Colonia, C.P. 35150, Lerdo, Durango, México. aserrano@itslerdo.edu.mx.

otro considerando una modificación a estos espesores, seccionando el enclosure en tres secciones haciendo alusión al compresor, la cámara de combustión y a la turbina de expansión.

Para la realización de dichos análisis se estableció la siguiente metodología.

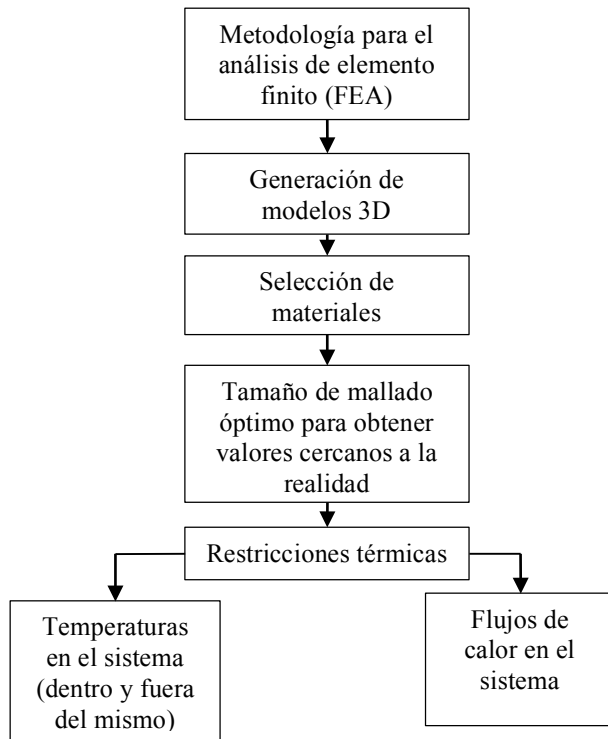


Figura 1. Diagrama metodología FEA

Mediante los resultados obtenidos de los dos análisis térmicos se capturo los resultados en las distintas secciones del enclosure para analizar si las modificaciones benefician a la eficiencia térmica de la turbina y si esta modificación es costeable.

A. ANÁLISIS TÉRMICO

El análisis térmico es un conjunto de técnicas analíticas que estudian el comportamiento térmico de los materiales. Cuando un material se calienta o se enfría, su estructura y su composición química pueden sufrir cambios tales como fusión, sublimación, solidificación, cristalización, descomposición, oxidación térmica o sinterización. En general estos cambios se pueden estudiar midiendo la variación de distintas propiedades de la

materia en función de la temperatura, el tiempo y una atmósfera determinada.

B. AISLANTES TÉRMICOS

Un material termoaislante es aquel que posee baja conductividad térmica y evita la pérdida o ganancia de calor de un equipo determinado (horno, caldera, refrigerador, entre otros), porque está compuesto de materiales básicos con un coeficiente de transmisión de calor bajo, conformado de tal forma, que quedan atrapadas celdillas de aire en reposo, rodeadas de paredes sólidas.

También un aislante térmico va a representar eficiencia de los equipos, porque al evitar pérdidas o ganancias de calor, se evita que los motores de los equipos trabajen a una mayor capacidad mayor a la de la operación. Lo anterior se puede observar fácilmente en un sistema de refrigeración, en el cual se busca conservar una determinada temperatura. Si el sistema no está aislado térmicamente se tendrá una ganancia de calor y para contrarrestar este fenómeno el compresor tendrá que estar trabajando continuamente para poder mantener la temperatura que se requiere. Por lo tanto, si se aísla térmicamente el sistema, se evitará la ganancia de calor y el trabajo continuo o forzado del equipo.

Asimismo, un aislamiento térmico va a representar una protección para el personal que pudiera estar en contacto accidentalmente con las superficies calientes.

XXXIV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

TABLA I
PARÁMETROS DE ENTRADA

Restricciones	Convección. Temperatura ambiente a 35°C
Cargas	Flujo de calor: 1218W/m2 Compresor
	4531 W/m2 Quemadores
	3313 W/m2 Turbina
Materiales	Lamina perforada AISI 409SS
	Fibra de Vidrio
	Polímero buna vinyl
	Pintura Epoxica rica en Zinc
	Lamina de acero A36 3/16

TABLA II
TEMPERATURA EN MATERIALES DE COMPRESOR A PARED

Resultados Impacto de temperatura de compresor a paredes		
Material	Temperatura Alcanzada	Temperatura de deformación
Primera Capa lamina ranurada acero 409 SS Calibre 11	160.30°C	1480°C
Segunda Capa Fibra de Vidrio	149°C a 75.46 °C	648°C
Tercera Capa Vinyl	64.85 °C	224°C a 750°C
Cuarta Capa Pintura Epoxica rica en zinc	54.24 °C	204°C
Quinta Capa Lamina acero A36 3/16	43.64 °C	1480°C

TABLA III
TEMPERATURA EN MATERIALES DE QUEMADORES A PARED

Resultados Impacto de temperatura de Quemadores a paredes		
Material	Temperatura Alcanzada	Temperatura de deformación
Primera Capa lamina ranurada acero 409 SS Calibre 11	498.79°C	1480°C
Segunda Capa Fibra de Vidrio	420.31°C a 184.87 °C	648°C
Tercera Capa Vinyl	145.63 °C a	224°C a 750°C
Cuarta Capa Pintura Epoxica rica en zinc	106.39 °C	204°C
Quinta Capa Lamina acero A36 3/16	67.14 °C	1480°C

TABLA IV
TEMPERATURA EN MATERIALES DE TURBINA A PARED

Resultados Impacto de temperatura de Turbina a paredes		
Material	Temperatura Alcanzada	Temperatura de deformación
Primera Capa lamina ranurada acero 409 SS Calibre 11	374.71°C	1480°C
Segunda Capa Fibra de Vidrio	345.96°C a 144.74 °C	648°C
Tercera Capa Vinyl	115.99 °C	224°C a 750°C
Cuarta Capa Pintura Epoxica rica en zinc	87.25 °C	204°C
Quinta Capa Lamina acero A36 3/16	58.50 °C	1480°C

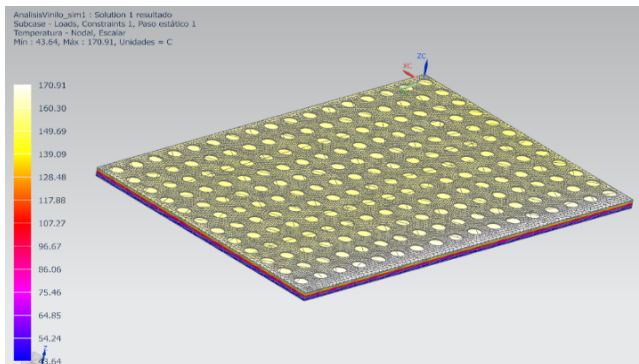


Figura 2. Colorimetría temperaturas de compresor a pared

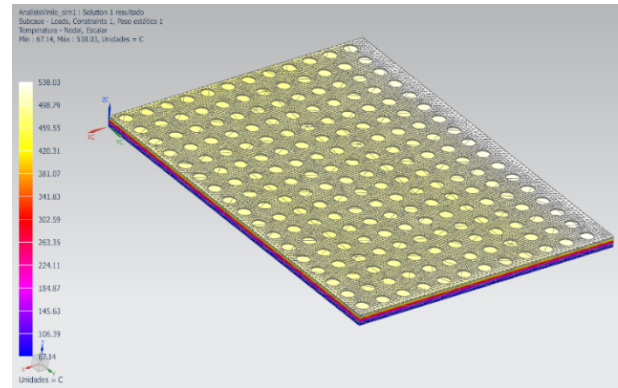


Figura 3. Colorimetría temperaturas de quemadores a pared

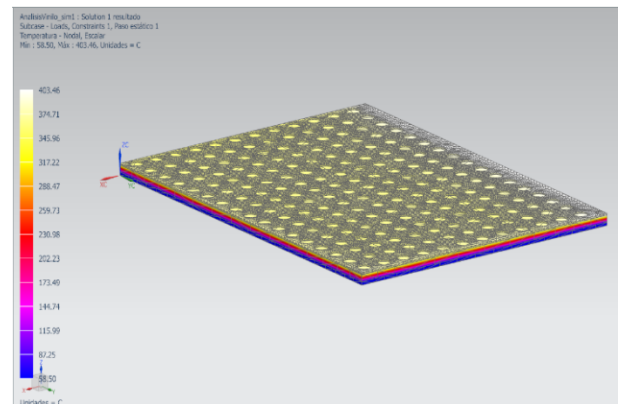


Figura 4. Colorimetría temperaturas de turbina a pared

XXXV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Dentro del análisis térmico aplicado al enclosure en el cual se encuentra una turbina se analizaron los principios de la conducción, en este caso se aplicó flujo de calor emitido por las partes que conforman la turbina (Compresor, Cámara de combustión, y salida de la turbina), de igual forma se empleó la convección en este análisis. De igual forma se utilizó el software NX 10.0 de Siemens para la validación del diseño para de esta forma simular las condiciones térmicas presentadas en los diferentes materiales que conforman las paredes del enclosure.

Los efectos del calor sobre los materiales pueden ser varios y producir cambios en muchas de sus propiedades. El procesado y las propiedades de

plásticos reforzados con fibras de vidrio dependen de la estabilidad térmica de los recubrimientos de las fibras. Normalmente los recubrimientos de las fibras de vidrio curan a temperaturas por encima de los 100 °C.

Se concluye que en el análisis térmico realizado al enclosure se tiene que la cantidad de calor transferido es proporcional a la diferencia de temperatura entre el lado caliente es decir el primer material el cual es la lámina ranurada AISI 409 SS y el lado frío (Temperatura ambiente) de la pared. El comportamiento del flujo de calor en los materiales (Lamina ranurada, fibra de vidrio, vinyl, pintura epoxica y lamina de acero) fue impactando en estos de manera decremental, siendo la lámina ranurada la más afectada por las temperaturas, por su parte en la lámina exterior se presentaron temperaturas que van desde los 43.64 °C, 67.14 °C y 58.50 °C. Estas temperaturas al exterior de la pared del enclosure se pueden disminuir aumentando los calibres o espesores de los materiales para que estos opongan mayor resistencia al flujo de calor emitido por la turbina, sin embargo por el alto costo de los materiales hacen inviable esta solución por lo que se determina que los espesores utilizados son los más eficientes desde el punto de vista económico de la instalaciones de las turbinas de gas de generación eléctrica.

XXXVI. REFERENCIAS

- [1] Editorial Explorando México. (2016). "Principales Plantas de Energía en México". Recuperado el 05 de 10 de 2016, de Explorando México: <http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/106/>
- [2] Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J. Mazurek, D. (2009). "Mecánica de materiales". Quinta edición, Mc Graw Hill, México. Recuperado el 05 del 10 del 2016.
- [3] Equinox Grupo ACV. (26 de 04 de 2016). Reingeniería de los sistemas "plug and play" de enfriamiento y filtración de gases generados por turbina en un generador de 337MW para exportación. Gómez Palacio, Durango, México. Recuperado el 05 de 10 de 2016.
- [4] Koncagül, E., Connor, R., & Tran, M. (2014). "Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo". Secretaría del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, División de Ciencias del Agua. Perugia, Italia: UNESCO. Recuperado el 05 de 10 de 2016, de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>

- Carlos Abdiel Orlando, L. I. (Septiembre de 1987). *Turbinas de Gas*. Monterrey, N.L.: Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- Cengel, Y. A. (2001). *Transferencia de Calor y Masa, tercera edición*. México: Mc Graw Hill.
- IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems, IEEE Std 421.2 -2014*. (27 March 2014).
- IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specification, IEEE Std 421.4™-2014*. (27 March 2014).
- IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005*. (21 April 2006).
- IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, IEEE Std 421.1™-2007*. (15 July 2007).
- Jerkovic, V., Miklosevic, K., & Spoljaric, Z. "Excitation System Models of Synchronous Generator". Croatia: Faculty of Electrical Engineering Osijek.
- Krause, P. C., Wasynczuk, O., & Sudhoff, S. D. (2002). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems* (2da ed.). John Wiley & Sons, IEEE Press.
- Kundur, P. (1994). "Power System Stability and Control". McGraw Hill.
- Mataix, C. (1991). *Turbomáquinas Térmicas, tercera edición*. Dossat.
- Rangel, J. S. (2001). *Turbinas de gas*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica, sexta edición*. México: Pearson Educación.
- Yunes A Cengel, M. A. (2011). *Termodinámica, séptima edición*. México: Mc Graw Hill.

XXXVII. BIOGRAFÍA



Arturo Serrano Hernández nacido en Torreón Coah. Méx. El 21 de agosto de 1988. Habiendo obtenido el título de ingeniero mecánico con especialidad en diseño industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en la ciudad de Torreón Coah. Méx en abril del 2012. Actualmente cursando la maestría en Planeación estratégica y dirección de tecnología en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla ubicada en la ciudad de Puebla, Pue. Méx.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como Profesor Investigador en la Subdirección de Investigación y desarrollo Tecnológico como responsable del área de diseño, así como en el área de Electromecánica, en la ciudad de Lerdo, Dgo. Méx. Las líneas de investigación de interés son en relación la automatización de procesos industriales y a la mecatrónica.

El Ing. Serrano perteneció a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) en el 2010, tomó un diplomado en Tecnomatix, software de SIEMENS en la Universidad del Valle de Puebla, en la ciudad del Puebla, Pue. México a finales del 2013. Participo como coautor del artículo Ingeniería de Procesos Administrativos para la Mejora del Desempeño Organizacional: Caso de estudio, ponencia presentada en el congreso Internacional de Investigación Ciencias y

Sustentabilidad de Academia Journals en la Univerisidad Veracruzana en la ciudad de Tuxpan, Veracruz.



Diego Alberto Román Landeros nacido en Gómez Palacio Durango el 9 de junio de 1990. Actualmente realiza un estudio de posgrado en Especialización en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad Lerdo Durango, México.

El actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo localizado en la ciudad de Lerdo Durango, México como Docente e investigador, teniendo como temas de interés el control electrónico de sistemas, la automatización y la mecatrónica en el ramo automotriz.



M.C. Francisco Huerta Valenzuela.

Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 5 de agosto de 1979. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en comunicaciones en el año 2002. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año

de 2004, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores.

Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electromecánica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, diseño de controladores lineales y no lineales para sistemas electromecánicos, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.