

ISSN 2531-2189

Volumen I, Número 4 — Octubre — Diciembre - 2017

Revista de Ingeniería Mecánica

ECORFAN®

Indización



ECORFAN®

- Google Scholar
- Research Gate
- REBID
- Mendeley

ECORFAN-Spain

Directorio Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD.

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC.

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD.

Diseñador de Edición

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC.

Revista de Ingeniería Mecánica, Volumen 1, Número 4, de Octubre a Diciembre - 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Moralzarzal -Madrid. WEB: www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: MIRANDA-GARCÍA, Marta. PhD, ISSN-2531-2189. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 31 de Diciembre de 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Consejo Editorial

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario, PhD

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM-México

ROMAN-KALISCH, Manuel Arturo, PhD

Universidad Autónoma de Yucatán-México

SOUSA-GONZÁLEZ, Eduardo, PhD

Universidad Autónoma de Nuevo León-México

ARANCIBIA-VALVERDE, María Elena, PhD

Universidad Pedagógica Enrique José Varona de la Habana-Cuba

SALINAS-AVILES, Oscar Hilario, PhD

Centro de Investigación en Energía-UNAM-México

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman, PhD

Federal University of Mato Grosso-Brazil

PÉREZ-ROBLES, Juan Francisco, PhD

CINVESTAV-IPN-México

PARTIDA-RUVALCABA, Leopoldo, PhD.

Universidad Tecnológica de Culiacán-México

MARTÍNEZ-RIVERA, María de los Ángeles, PhD

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IP- México

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor PhD

Universidad Central de Venezuela-Venezuela

DE LA FUENTE-SALCIDO, Norma Margarita, PhD

Universidad Autónoma de Coahuila-México

Consejo Arbitral

MPC, PhD

Universidad de Valladolid- Spain

GGO, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana- México

DGS, PhD

Universidad de Guadalajara- México

RLR, PhD

Universidad Autónoma de Sonora-México

CBMT, PhD

Universidad Autónoma de Baja California-México

HGV, BsC

Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología-México

GOH, PhD

Facultad de Química, UNAM-México

EZNG, PhD

Instituto Nacional de Cardiología-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Ingeniería Mecánica.

En Pro de la Investigación, Docencia, y Formación de los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión de la Editora en Jefe.

Es presentado el artículo *Análisis de un generador horizontal de un sistema de refrigeración solar por absorción*, por SÁNCHEZ, Juan , RESÉNDIZ, Celerino, RODRÍGUEZ, Mario y RIVERA, Wilfrido , como siguiente artículo *Análisis y simulación de frecuencia del sistema de suspensión McPherson para un vehículo automotor*, por GOMEZ-MERCADO, Abdiel & GUADARRAMA-MARTINEZ, Emmanuel , con adscripción en el Instituto Tecnológico de Pachuca, como siguiente artículo *Diseño de un prototipo de antebrazo basado en la técnica de procesamiento digital de imagen*, por GARCIA-GOMEZ, Roberto Carlos, BUENO-LÓPEZ, Moisés, VALENCIA SANCHEZ, Hernán y RASGADO-BEZARES, José Manuel, con adscripción en el Instituto Tecnológico Nacional de México e Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, como siguiente artículo está *Análisis termo-estático de una biela de un motor de combustión interna encendido por chispa*, por SERRANO-SERRANO, Arturo, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, LICONA-OLMOS, Jazmín, y RIVERA-GUTIÉRREZ, Lizet , con adscripción en el Instituto Tecnológico de Pachuca, como siguiente capítulo tenemos *Análisis termo-hidráulico del sistema de refrigeración tipo ONAN para un transformador de 5MVA utilizando CFD*, por GOMEZ-MERCADO, Abdiel, HERNÁNDEZ-GARCÍA, Juan Abdel, PIÑÓN-GARCÍA, Óscar, y RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Pachuca. Finalmente, *Construcción de un recuperador de calor utilizando tubos termosifones bifásicos (TTB)*, por ANGELES-MORELOS, Alexis , GOMEZ-MERCADO, Abdiel, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, y SANCHEZ-SILVA, Florencio, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Pachuca, Instituto Politécnico Nacional.

Contenido

Artículo	Página
Análisis de un generador horizontal de un sistema de refrigeración solar por absorción SÁNCHEZ, Juan , RESÉNDIZ, Celerino, RODRÍGUEZ, Mario y RIVERA, Wilfrido	1-9
Análisis y simulación de frecuencia del sistema de suspensión McPherson para un vehículo automotor GOMEZ-MERCADO, Abdiel & GUADARRAMA-MARTINEZ, Emmanuel	10-20
Diseño de un prototipo de antebrazo basado en la técnica de procesamiento digital de imagen GARCIA-GOMEZ, Roberto Carlos, BUENO-LÓPEZ, Moisés, VALENCIA SANCHEZ, Hernán* y RASGADO-BEZARES, José Manuel	21-26
Análisis termo-estático de una biela de un motor de combustión interna encendido por chispa SERRANO-SERRANO, Arturo, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, LICONA-OLMOS, Jazmín, y RIVERA-GUTIÉRREZ, Lizet	27-33
Análisis termo-hidráulico del sistema de refrigeración tipo ONAN para un transformador de 5MVA utilizando CFD GOMEZ-MERCADO, Abdiel, HERNÁNDEZ-GARCÍA, Juan Abdel, PIÑÓN-GARCÍA, Óscar, y RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino	34-42
Construcción de un recuperador de calor utilizando tubos termosifones bifásicos (TTB) ANGELES-MORELOS, Alexis , GOMEZ-MERCADO, Abdiel, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, y SANCHEZ-SILVA, Florencio	43-51

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Análisis de un generador horizontal de un sistema de refrigeración solar por absorción

SÁNCHEZ, Juan * †, RESÉNDIZ, Celerino, RODRÍGUEZ, Mario y RIVERA, Wilfrido

Recibido 10 Julio, 2017; Aceptado 12 Noviembre, 2017

Resumen

En este trabajo se muestra el análisis en tres dimensiones del funcionamiento de un intercambiador de calor de coraza y tubos utilizado en un sistema de refrigeración solar como generador. El equipo está diseñado para trabajar con una mezcla de nitrato de litio-amoniaco ($\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$) y agua caliente como fluidos de trabajo. El intercambiador está configurado de manera horizontal con un total de 20 tubos en un arreglo cuadrado con 4 filas y 5 columnas. El sistema se simplifica en tres geometrías para su estudio: dominio del fluido exterior, tubos, fluido dentro de los tubos. Se genera la geometría, se discretiza y se realiza la simulación de su funcionamiento en estado estable. Los perfiles de temperatura, así como vectores de velocidad obtenidos ayudan a entender el fenómeno interno y a determinar cómo es que las diferentes condiciones de operación afectan su desempeño sin tener que realizar ensayos experimentales. Los resultados obtenidos de perfiles de temperatura se validan con estudios experimentales previos realizados en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

Generador, refrigeración, absorción.

Abstract

This work shows the three-dimensional analysis of the operation of a shell and tube heat exchanger used in a solar cooling system as a generator. The equipment is designed to work with a mixture of lithium nitrate -ammonia ($\text{LiNO}_3\text{-NH}_3$) and hot water as work fluids. The exchanger is horizontally configured with 20 tubes in a square array with 4 rows and 5 columns. The system is simplified into three geometries for study (external fluid domain, tubes, fluid inside the tubes). The geometry and the grid are generated, and the simulation is performed in steady state operation. The temperature profiles as well as velocity vectors obtained help to understand the internal phenomenon and to determine how the different operating conditions affect its performance without having to carry out experimental tests. The results obtained from temperature profiles are validated with previous experimental studies carried out at the Renewable Energy Institute of the UNAM.

Generator, refrigeration, absorption

Citación: SÁNCHEZ, Juan, RESÉNDIZ, Celerino, RODRÍGUEZ, Mario y RIVERA, Wilfrido. Análisis de un generador horizontal de un sistema de refrigeración solar por absorción. Revista de Ingeniería Mecánica. 2017. 1-4: 1-9.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: zauleh@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad, los sistemas de refrigeración por energías renovables toman mayor importancia comercial. Una de las grandes limitantes de esta tecnología incipiente son los coeficientes de desempeño que son bajos comparados con los sistemas de refrigeración tradicionales.

En los últimos años los análisis de los sistemas de refrigeración solar se han basado en el estudio de sistemas más complejos, nuevas combinaciones de sustancias de trabajo y en el desarrollo de componentes más eficientes y de bajo costo (L.A. Domínguez-Inzunza, 2016).

Algunos de los trabajos más relevantes en el tema son los desarrollados por Rivera (W. Rivera, 2011) y Moreno-Quintanar (G. Moreno-Quintanar, 2012). Ellos evaluaron el funcionamiento de un sistema de refrigeración solar por absorción operando con $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ que usa un colector de cilindro parabólico empleado como generador absorbedor.

Con base a los resultados obtenidos se demostró que el sistema propuesto es capaz de producir más de 8 kg de hielo por día. Con un coeficiente de desempeño de hasta 0.8, la temperatura de generación varía entre 75-110 °C y se obtienen temperaturas en el evaporador de hasta -11 °C.

Zamora (M. Zamora, 2015) reportó resultados de un desarrollo preindustrial de un sistema chiller para aire acondicionado operado con amoníaco/nitrato de litio. El sistema fue construido exclusivamente con intercambiadores de calor de placas. Las temperaturas del agua del chiller obtenidas son de 15 °C, temperatura del aire de 32.3 °C y una temperatura en el generador de 90 °C, obteniendo una capacidad de enfriamiento de al menos 12 kW.

Hernández-Magallanes (J. A. Hernández Magallanes, 2014) realizó una evaluación experimental de un sistema de refrigeración por absorción con amoníaco/nitrato de litio como sustancias de trabajo. El generador y el absorbedor son intercambiadores de calor de serpentín, mientras que el condensador, economizador y evaporador son intercambiadores de calor de placas compactos. La temperatura del generador varía entre 85 – 105 °C y en el condensador entre 18- 36 °C.

Resulta importante analizar teóricamente el comportamiento de los componentes del sistema de refrigeración solar. Al realizar el estudio se obtiene una idea precisa de las capacidades teóricas pretendidas sin necesidad de invertir grandes cantidades de tiempo y dinero en prototipos experimentales.

El generador horizontal de coraza y tubos es el principal componente que afecta el desempeño. Con base en lo anterior, caracterizando su comportamiento se obtienen los parámetros de la capacidad del sistema. Mediante el uso de software especializado es posible realizar el análisis integral de este componente.

Este artículo analiza de manera analítica el comportamiento de un Generador de película descendiente en un sistema de refrigeración solar por absorción, con la finalidad de determinar las condiciones que tienen ingerencia en su eficiencia y poder caracterizar el sistema.

Descripción del sistema

Los principales componentes de los cuales está constituido el sistema son: un generador, un absorbedor, tres intercambiadores de placa plana (evaporador, condensador y economizador), tres válvulas de estrangulación y una bomba. (J. A. Hernández Magallanes, 2014).

El sistema se evalúa mediante el uso de un equipo auxiliar, que maneja una resistencia eléctrica de 24 kW, el cual provee al calor necesario para la generación del vapor refrigerante, para evaluar el sistema con condiciones de entrada controladas. (J.V. Herrera, 2010).

Generador

El generador es un intercambiador de calor diseñado como tipo coraza y tubos de cuatro pasos. Cuenta con 20 fluxes de 3/4 pulgada de diámetro exterior y 27 9/16 pulgadas de longitud dispuestos en configuración cuadrada. La coraza es de 8.0 pulgadas de diámetro nominal y 25 9/16 pulgadas de longitud. Las tapas son de 11 5/8 pulgadas de diámetro exterior y espesor de 1 pulgada, las cuales están soldadas y sujetas con tornillos al espejo. Todo lo anterior fabricado en acero al carbón (J.V. Herrera, 2010). En la figura 1 se muestra un esquema general del generador horizontal.

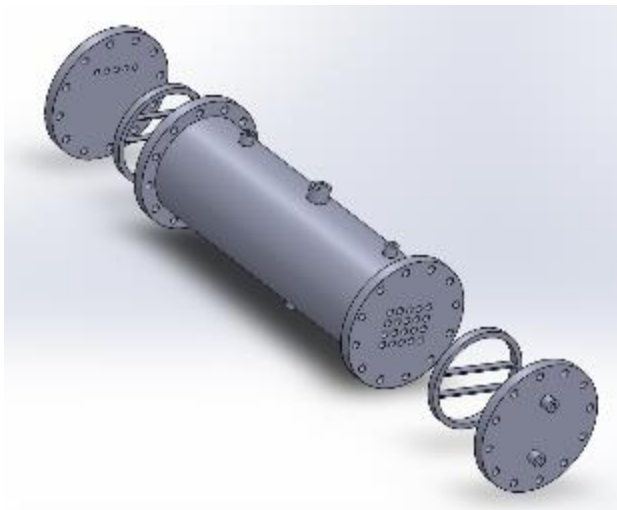


Figura 1 Esquema del Generador horizontal

En el interior de los tubos circula agua caliente, suministrada por un equipo auxiliar o por un colector solar, la cual es la que transfiere el calor necesario para generar la evaporación de la solución.

En la parte superior se encuentra la salida del vapor refrigerante, mientras que por la parte inferior es desalojada la solución que no logra evaporarse, que es pobre en refrigerante y después se dirige hacia el absorbedor. En la figura 2 se muestra una fotografía del generador horizontal que se encuentra localizado en el Instituto de energías renovables de la UNAM en Temixco, Morelos sujeto a estudio.

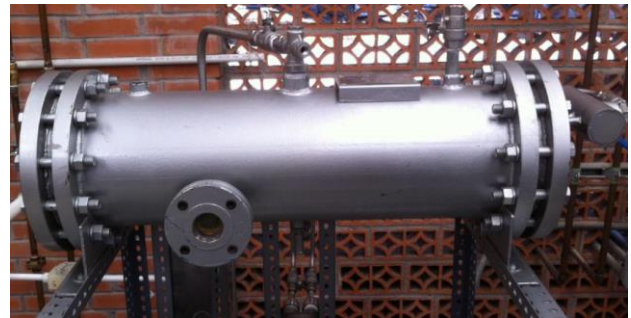


Figura 2 Fotografía del Generador horizontal (J. A. Hernández Magallanes, 2014)

Modelo numérico

El modelo numérico del generador fue desarrollado por Herrera (Herrera, 2006) usando ciclos incrementales que dividen el intercambiador de calor en diferentes elementos. Además simula su comportamiento obteniendo el flujo dentro de los tubos y la transferencia de calor en las paredes de los tubos internos.

Flujo dentro de los tubos internos

Con la finalidad de describir el comportamiento del flujo del fluido dentro del tubo, se utiliza la formulación matemática propuesta por García Valladares (O. García Valladares, 2004), toma en consideración las características físicas del tubo y considera las siguientes simplificaciones:

Flujo unidimensional, comportamiento newtoniano del fluido, carencia de transferencia de calor por radiación, intercambio de calor despreciable entre superficies, tubos de diámetro uniforme, rugosidad superficial uniforme, conducción de calor axial en el fluido para poder integrar las siguientes ecuaciones:

Ecuación de continuidad:

$$0 = [\dot{m}_g + \dot{m}_l] + \frac{\partial(m_g + m_l)}{\partial t} \quad (1)$$

Ecuación de momento:

$$- [p]_i^{i+1} A - \bar{\tau}_w P \Delta z - m g \sin \theta = [\dot{m}_g v_g]_i^{i+1} + [\dot{m}_l v_l]_i^{i+1} + \Delta z \frac{\partial(\bar{m}_g + \bar{m}_l)}{\partial t} \quad (2)$$

Ecuación de la energía:

$$\bar{q}_w P \Delta z = [\dot{m}_l \xi_l + \dot{m}_g \xi_{gl}]_i^{i+1} + \frac{\partial(\bar{m}_l \bar{\xi}_l + \bar{m}_g \bar{\xi}_g)}{\partial t} - A \Delta z \frac{\partial \bar{p}}{\partial t} \quad (3)$$

Las ecuaciones 1, 2 y 3 son llamadas ecuaciones de gobierno del sistema. La evaluación del esfuerzo cortante que el fluido ejerce sobre las paredes de los fluxes se realiza mediante un factor de fricción. La relación de la transferencia de calor entre las paredes de los fluxes y la temperatura del fluido está dada por el coeficiente de transferencia de calor convectivo para regímenes turbulentos (J.V. Herrera, 2010).

Conducción de calor en la pared del tubo

Se considera únicamente la transferencia de calor por conducción en la pared de la tubería. Se asume lo siguiente: distribución transitoria unidimensional de la temperatura, transferencia de calor por radiación despreciable, y sección transversal constante. (J.V. Herrera, 2010).

Metodología de análisis

Para realizar el análisis se consideraron varias acepciones para lograr la convergencia, y aunque la velocidad de entrada de ambos fluidos es baja se considera un modelo de turbulencia k-epsilon realizable. De igual manera se toma en cuenta los coeficientes de conductividad del fluido, así como la transferencia de energía, por consecuencia se mantiene el principio de conservación de masa.

Para asegurar la transferencia de calor en los tubos, se crearon 40 regiones de contacto entre los fluidos y la tubería, dos por cada tubo se genera un contacto de la cara interna del tubo con el fluido interno (agua caliente) y otro para la cara externa del tubo con el fluido dentro del intercambiador (mezcla de nitrato de litio-amoniaco). La figura 3 muestra la disposición interna de los tubos.

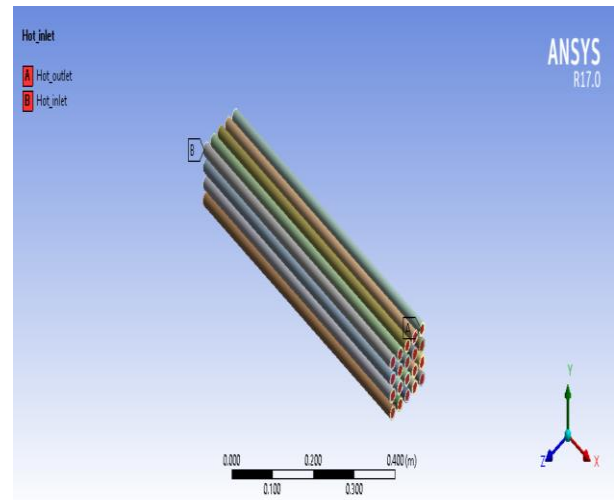


Figura 3 Disposición del arreglo de la tubería

Se considera tratamiento cercano a la pared para un mejor estudio de la turbulencia y su efecto de esta en la transferencia de calor entre los ambos fluidos. La figura 4 muestra el esquema de entrada y salida de la mezcla nitrato de litio-amoniaco.

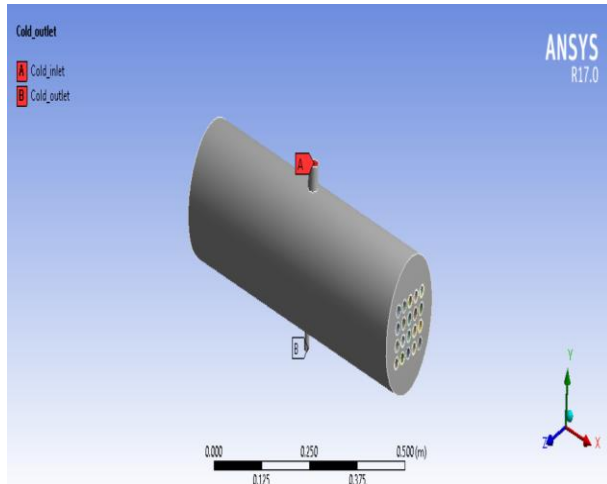


Figura 4 Esquema de entrada y salida de la mezcla (LiNO₃-NH₃)

Para la simulación se fija una temperatura de generación, a través del agua caliente proveniente del sistema auxiliar de calentamiento. Así, la temperatura de generación fue establecida en 80 °C.

Sin embargo, antes de dar inicio a las evaluaciones es necesario determinar las velocidades. Dichas velocidades, se catalogan como internas y externas, siendo los externass aquellos provenientes de los equipos auxiliares en este caso el agua caliente y los internos aquellos relacionados con la mezcla de trabajo. La figura 5 muestra la disposición de las entradas y salidas de los fluidos al generador.

Con la finalidad de no considerar flujos al azar, y condujeran a la incertidumbre, se determinó llevar a cabo una modelación del sistema de refrigeración, con la que se pueda predecir los flujos máscopicos por lo que se determina la velocidad de entrada para ambos fluidos en de 0.0175m/s; correspondiente a la potencia de diseño del sistema de refrigeración.

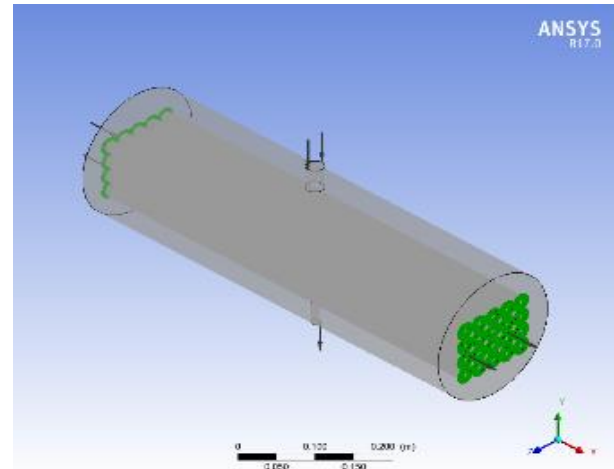


Figura 5 Entrada y salida de los fluidos en el generador

Mallado

Se obtuvieron un total de 2265262 elementos y un total de 985535 nodos. La figura 6 muestra el mallado obtenido y la grafica 1 muestra las estadísticas de los elementos generados.

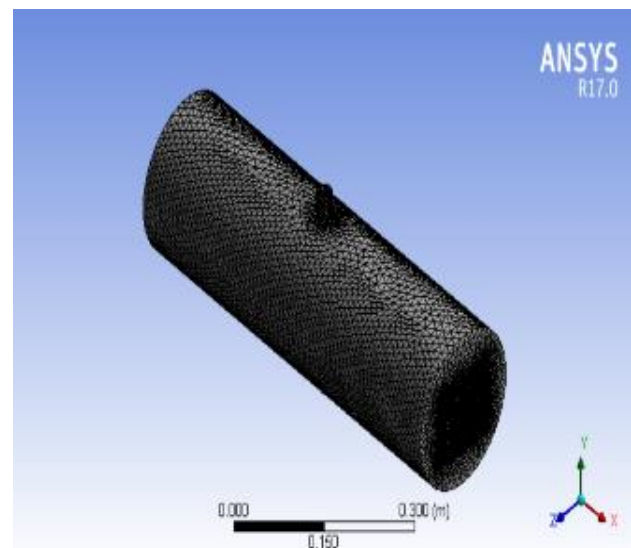
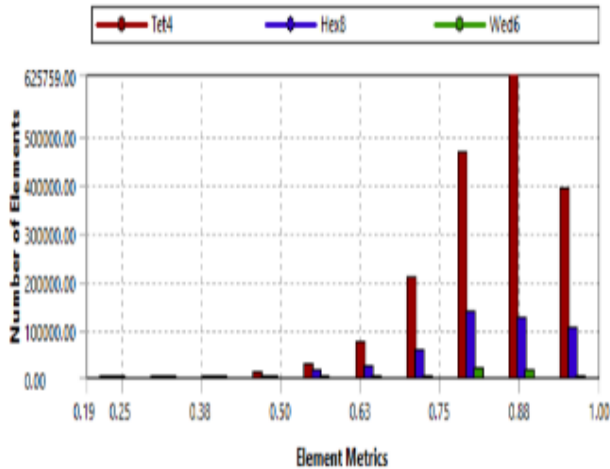


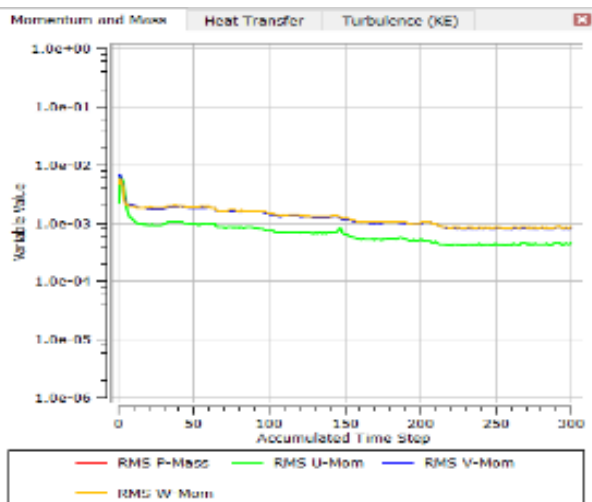
Figura 6 Mallado del generador



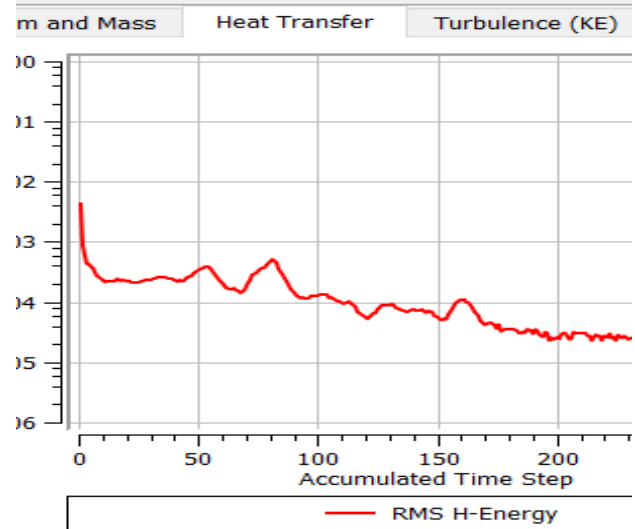
Gráfica 1 Número y tamaño de los elementos de la malla

Resultados obtenidos

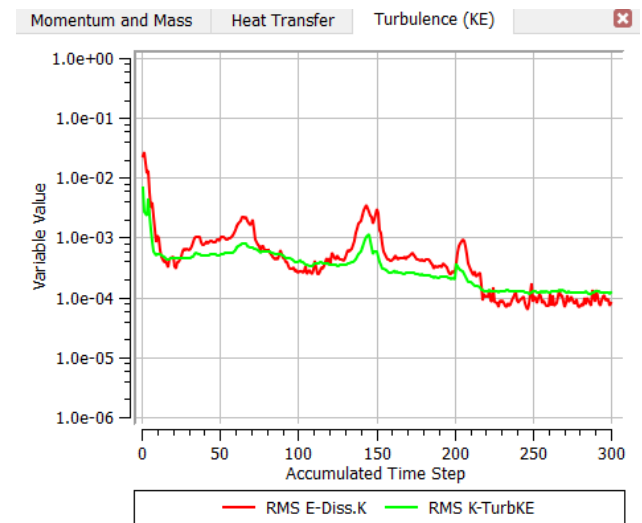
Los resultados obtenidos muestran en general una buena convergencia en cada uno de los ámbitos evaluados. En el caso de masa y momento la convergencia es del orden de 10^{-3} , como se muestra en la grafica 2; para los cálculos obtenidos de transferencia de calor la convergencia es del orden de 10^{-4} tal como se observa en la grafica 3, y por último en el caso de turbulencia se utilizo el modelo k-e donde la convergencia resultante es del orden de 10^{-4} y se puede detallar en la grafica 4.



Gráfica 2 Convergencia de Momento y masa



Gráfica 3 Convergencia de transferencia de calor



Gráfica 4 Convergencia de turbulencia

Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos podemos observar los gradientes de temperatura obtenidos. En el caso del agua caliente la variación fue de 80 a 63 °C, una variación de temperatura de 17 °C, lo cual concuerda con las condiciones de operación del sistema. En el lado de la mezcla existe un gradiente de temperatura de 20 a 71 °C lo cual implica un diferencial de temperatura de 51 °C.

Los contornos de temperatura tanto en la tubería como en la pared del fluido frío en contacto con la pared del intercambiador valida estas consideraciones, y muestra una distribución concordante con lo esperado.

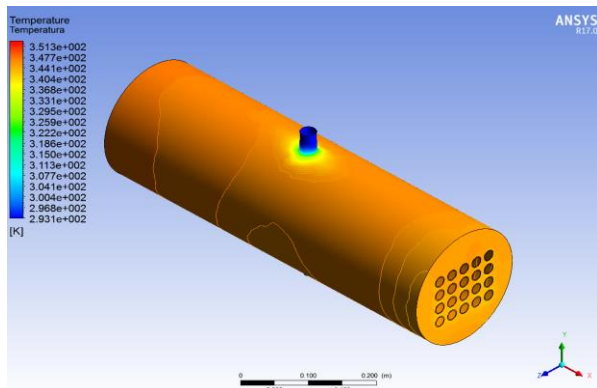


Figura 7 Vista isométrica de contornos de temperatura en el generador

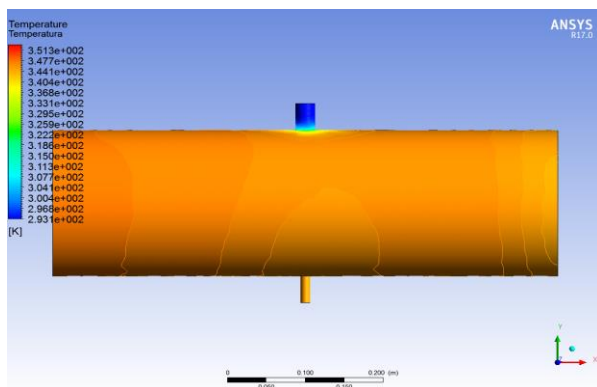


Figura 8 Vista lateral de contornos de temperatura en el generador

Estos resultados concuerdan con la diferencia de temperaturas existentes entre ambos fluidos el cual es de 60°C . Esto aunado a la configuración propia del intercambiador el cual considera una entrada de agua fría por 20 entradas de agua caliente. Las figuras 7 y 8 muestran los contornos de temperatura obtenidos en la pared interna del generador. La temperatura de salida del agua concuerda con lo esperado por las condiciones de operación del equipo, como lo muestra la figura 9.

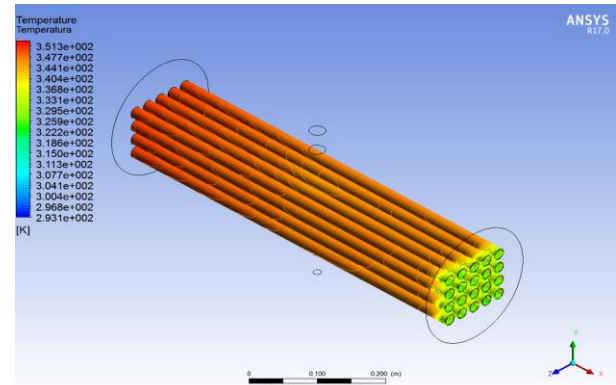


Figura 9 Vista isométrica de contornos de temperatura en la tubería en contacto con la mezcla

En el caso de los vectores de velocidad la dirección de los mismos tanto como su magnitud son similares a los esperados. La mezcla entra al intercambiador a una velocidad de 0.0175 m/s el cual choca contra los tubos de agua caliente y el fluido se dispersa a lo largo del intercambiador. Pasa por el arreglo de tubos donde disminuye su velocidad, pasa sobre las paredes del intercambiador y fluye nuevamente sobre el arreglo de tubos hasta que finalmente sale del intercambiador. Las figuras 10 y 11 muestra diferentes vistas de los vectores de velocidad obtenidos.

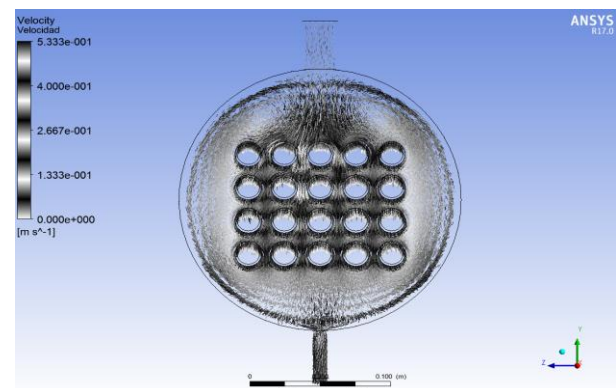


Figura 10 Vista frontal de la distribución de los vectores de velocidad de la mezcla

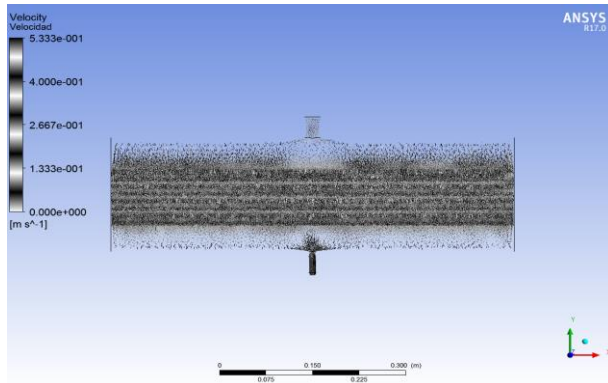


Figura 11 Vista lateral de la distribución de los vectores de velocidad de la mezcla

Agradecimiento

Agradezco al Instituto Tecnológico de Pachuca así como al Instituto de energías renovables de la UNAM, por ser parte fundamental en el desarrollo de este proyecto, así como al CONACYT por su apoyo incondicional al desarrollo de la tecnología en nuestro país.

Conclusiones

Con el uso de esta configuración de intercambiadores con un solo paso pero con un número elevado de tubería, se pueden obtener gradientes de temperaturas elevados, en nuestro caso de alrededor de 51°C , lo que supone una gran eficiencia en estos equipos.

Se puede concluir que dados los resultados obtenidos mediante este análisis, existe concordancia con lo esperado por las condiciones del equipo. Análisis de este tipo pueden pronosticar el funcionamiento de equipos con características similares sin tener que realizar inversiones en equipos experimentales. Al fin de obtener mejores resultados y una mejor convergencia de los mismos es necesario mejorar las condiciones del mallado y realizar un estudio más robusto del efecto de turbulencia presentado, así como sus efectos en la tasa de transferencia de calor.

Referencias

G. Moreno-Quintanar, W. R. (2012). Comparison of the experimental evaluation of a solar intermittent refrigeration system for ice production operating with the mixtures $\text{NH}_3\text{-LiNO}$ and $\text{NH}_3\text{-LiNO-H}$. *Renewable Energy*(38), 62-68.

Herrera, J. (2006). Estudio de transferencia de calor en generador de película descendente en tubos horizontales. Posgrado en ingeniería, UNAM.: Tesis de Maestría.

J. A. Hernández Magallanes, L. A.-I.-U. (2014). Experimental Assessment of an absorption cooling system operating with the ammonia/lithium nitrate mixture. *Energy*(78), 685-692.

J.V. Herrera, O. G.-V. (2010). Numerical simulation and experimental results of horizontal tube falling film generator working in a $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$ absorption refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*(30), 1751-1763.

L.A. Domínguez-Inzunza, J. H.-M.-U. (2016). Experimental assessment of an absorption cooling system utilizing a falling film absorber and generator. *Applied Thermal Engineering*, 1105–1111.

M. Zamora, M. B. (2015). Part-load characteristics of a new ammonia/lithium nitrate mixture. *International Journal of Refrigeration*(56), 46-51.

M. Zamora, M. B. (2015). Pre-industrial development and experimental characterization of new air-cooled and water cooled ammonia/lithium nitrate absorption chiller. *International Journal of Refrigeration*(56), 46-51.

O. García Valladares, C. P.-S. (2004). Numerical solution of double pipe condenser and evaporators. *Int. J. Refrigeration.*, 27(6), 656-670.

W. Rivera, G. M.-Q. (2011). Evaluation of a solar intermittent refrigeration system for ice production operating with ammonia/lithium nitrate. *Solar Energy*(85), 38-45.

Análisis y simulación de frecuencia del sistema de suspensión McPherson para un vehículo automotor

GOMEZ-MERCADO, Abdiel †* & GUADARRAMA-MARTINEZ, Emmanuel

Instituto Tecnológico de Pachuca Carretera México-Pachuca Km 87.5, C.P. 42080, Colonia Venta Prieta Pachuca, Hidalgo, México

Recibido 08 Agosto, 2017; Aceptado 12 Octubre, 2017

Resumen

Se presentan los resultados del análisis vibratorio realizado en un sistema de suspensión del tipo McPherson de un vehículo automotor. El instrumento utilizado en el análisis es un modelo simplificado que contempla tanto los elementos del sistema como las condiciones físicas del camino, de tal manera que los resultados puedan ser validados con pruebas experimentales en un prototipo. La simulación se llevó a cabo utilizando Software comercial como MATLAB® y ANSYS®, obteniéndose la respuesta oscilatoria bajo diferentes condiciones de marcha del vehículo. La técnica incluye el uso de ecuaciones diferenciales y las funciones de transferencia correspondientes, mediante un análisis modal de las vibraciones a las que se encuentra sometido el sistema. Asimismo, se graficaron la frecuencia y la amplitud de vibración, donde La máxima amplitud de los picos de espectro aparece a la frecuencia $f_{\{0\}} = 5$ Hz; Los picos de espectro aparecen en el rango de frecuencias de 1 a 20Hz. El rango de frecuencias de las oscilaciones va de 1Hz a 20Hz, con lo que fue posible determinar la cantidad de energía de vibración que se puede aprovechar por medio de sistemas colectores de energía (recuperadores de energía mecánica).

Vibraciones, Simulación, Suspensiones, Recuperadores de energía mecánica

Abstract

Results of the vibrational analysis performed on a McPherson type suspension system of a motor vehicle are presented. The instrument used in the analysis is a simplified model that considers both the elements of the system and the physical conditions of the road, so that the results can be validated with experimental tests in a prototype. The simulation was carried out using commercial software such as MATLAB® and ANSYS®, obtaining the oscillatory response under different vehicle running conditions. The technique includes the use of differential equations and the corresponding transfer functions, through a modal analysis of the vibrations to which the system is subjected. The frequency and amplitude of vibration were also plotted, Where The maximum amplitude of the spectrum peaks appears at the frequency of $f = 5$ Hz; Spectrum peaks appear in the frequency range of 1 to 20Hz. The frequency range of the oscillations is from 1Hz to 20Hz, so that it was possible to determine the amount of vibration energy that can be harnessed by means of energy collecting systems (mechanical energy recuperators).

Vibrations, Simulation, Suspensions, Recuperators of mechanical energy

Citación: GOMEZ-MERCADO, Abdiel & GUADARRAMA-MARTINEZ, Emmanuel. Análisis y simulación de frecuencia del sistema de suspensión McPherson para un vehículo automotor. Revista de Ingeniería Mecánica. 2017. 1-4: 10-19.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: amerca63@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La vibración afecta la fiabilidad de una estructura o máquina, causa daños o fallas de la estructura o de la máquina. La vibración degrada la comodidad humana e induce la fatiga y los problemas relacionados con la salud. La energía de la vibración se disipa generalmente con la pérdida de amortiguación y se pierde en una forma de energía de calor residual. Dicha energía puede ser calculada y estudiada para que los resultados obtenidos sean utilizados como datos de entrada para diseñar y acoplar sistemas colectores de energía (recuperadores de energía mecánica) y la energía no sea disipada si no que sea almacenada y utilizada.

Para saber la cantidad de energía en forma de vibraciones es necesario hacer un modelado el cual permitirá un cálculo de las vibraciones que generan en la suspensión y un análisis modal para calcular las frecuencias a las que trabaja el sistema de suspensión y además en este estudio pruebas experimentales con un acelerómetro para validar los resultados de la investigación.

La suspensión por estudiar es una del tipo McPherson de un auto de la marca Nissan modelo Sentra. La suspensión McPherson es uno de los sistemas más utilizados en el tren delantero, aunque se puede montar también en el trasero. Dicho sistema ha tenido mucho éxito, fundamentalmente en vehículos modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el bajo costo de producción y el poco espacio que ocupa.

Se han realizado diversos estudios para este tipo de suspensión, entre ellos una caracterización del resorte, neumático y amortiguador los cuales se realizaron en una máquina universal de ensayos. Dichos datos se tomarán como referencia para este estudio.

También se han hecho estudios de modelado en donde se puede mostrar diferentes técnicas o métodos de modelado para hayar la frecuencia de respuesta en el sistema de suspensión. Para el análisis del sistema de suspensión y su interacción con el vehículo se utilizan técnicas gráficas generales para modelado de sistemas dinámicos físicos, las cuales establecen relaciones de unión entre sus elementos. Las más representativas son:

Método de análisis de la transformada de laplace y de la función de transferencia

La transformada de Laplace se utiliza a menudo para calcular la respuesta de sistemas lineales. El método se utiliza para cualquier tipo de excitación de un sistema que incluya historias de tiempos de excitación armónicas, periódicas y no periódicas.

La transformada de Laplace no sólo proporciona un método eficiente para resolver ecuaciones diferenciales lineales de coeficientes constantes, sino que también permite la escritura de una única expresión algebraica que relaciona la entrada de excitación y la respuesta de un sistema.

El método de transformada de Laplace se utiliza para resolver la respuesta de un sistema dinámico a las funciones de forzado discontinuo e incluye las condiciones iniciales. En este método se utiliza la función de transferencia como herramienta para obtener la respuesta del sistema, Ecuación (1):

$$H_{y^z}(s) = \frac{Z(s)}{Y(s)s^2} = \frac{-M}{Ms^2 + cs + K} \quad (1)$$

Método de integración de dominio de tiempo

A partir de la Ecuación (2), la respuesta de aceleración relativa puede escribirse como:

$$\frac{d^2z(t)}{dt^2} = -y''(t) - \frac{c}{M} \frac{dz(t)}{dt} - \frac{K}{M}z \quad (2)$$

La respuesta de desplazamiento relativo puede obtenerse integrando la Ecuación 1 dos veces como se muestra en la Fig. 1. Hay un bloque de suma redonda en la Fig. 2. El bloque de suma tiene tres entradas positivas y una salida.

La salida del bloque de suma es $\frac{d^2z(t)}{dt^2}$ se integra una vez para dar la velocidad relativa $\frac{dz(t)}{dt}$ se integra dos veces para dar el desplazamiento relativo $z(t)$ y $z(t)$ multiplicados por C/M y K/M contribuyen a las dos entradas positivas del bloque suma en la Figura 1.

La otra entrada es la aceleración de excitación de entrada multiplicada por -1 Se utiliza un bloque fuente para proporcionar la señal de excitación de entrada que se muestra por un alcance y se utiliza un ámbito de bloque de sumidero para mostrar la señal de desplazamiento relativo de salida.

La salida $z(t)$ (respuesta de desplazamiento relativo) se puede predecir mediante el método de integración de Matlab Simulink y mostrarse por el alcance del bloque de sumidero.

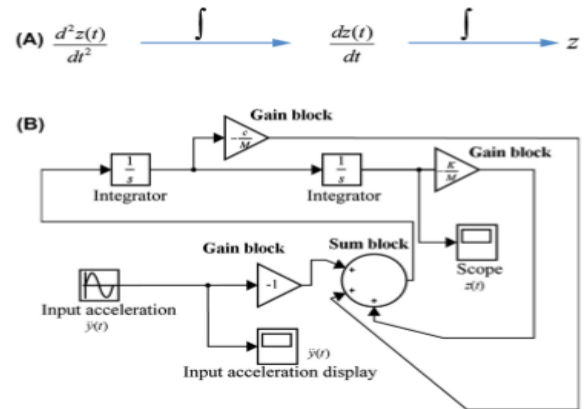


Figura 1 Predicción de la respuesta de desplazamiento relativo de la entrada de excitación de aceleración base usando el método de integración Matlab Simulink: (A) Esquema de integración de la ecuación 2; (B) Matlab Simulink esquema de seguimiento de la ecuación 2.

Los tres términos en el lado derecho de la Ec. (2) son presentados por las tres entradas en el bloque de suma de la Figura 1

La función de respuesta de frecuencia de un sistema mecánico lineal: se define como la transformada de Fourier de la respuesta del dominio del tiempo dividida por la transformada de Fourier de la entrada del dominio del tiempo. Como se mencionó anteriormente, cuando $s=iw$, la ecuación (1) se convierte en la función de respuesta en frecuencia del sistema de masa resorte amortiguador.

La amplitud de la función de respuesta en frecuencia frente a la frecuencia del sistema se puede obtener ejecutando los códigos de programación como se muestra en las Figuras 2 y 3 donde se utiliza una señal sinusoidal de amplitud de excitación fija como entrada.

La frecuencia de excitación de la señal de onda sinusoidal cambia de baja a alta para cubrir la frecuencia de resonancia. Para cada entrada de frecuencia de excitación dada de la señal de onda sinusoidal, se registra la amplitud de respuesta.

La amplitud de respuesta se traza entonces contra la frecuencia de excitación que presenta la respuesta en frecuencia del desplazamiento del oscilador frente a la frecuencia de excitación. La curva de frecuencia de amplitud de respuesta de frecuencia también se puede obtener de trazar el módulo de la Ec. (1.) Frente a la frecuencia f está en Hz donde $s=i2\pi f$.

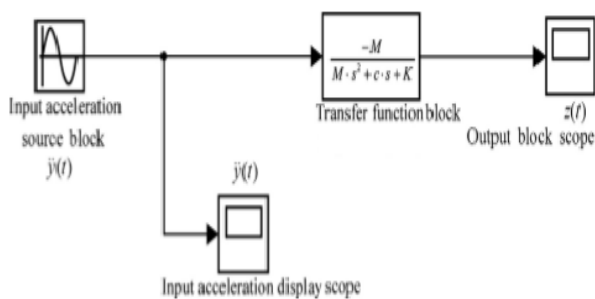


Figura 2 Predicción de la respuesta de desplazamiento relativo masivo de la excitación de desplazamiento base usando el método de la función de transferencia Matlab Simulink.

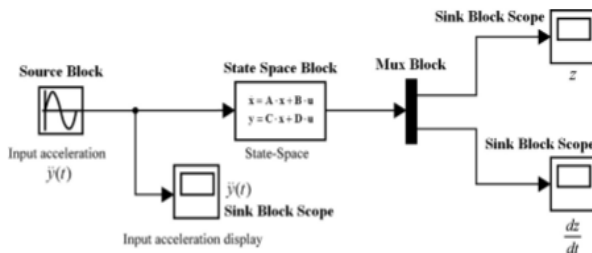


Figura 3 Esquema del método espacial de estado Matlab Simulink para la predicción de la respuesta de desplazamiento relativo de la excitación de desplazamiento base

Análisis modal

El análisis modal es una técnica de análisis dinámico de estructuras. Tiene como objetivo la estimación de propiedades dinámicas como las frecuencias y los modos naturales al igual que el amortiguamiento.

El análisis modal puede ser teórico o experimental. El teórico se basa en técnicas analíticas o simulaciones. El análisis modal permite que el diseño evite vibraciones resonantes o Vibración a una frecuencia especificada y proporciona una idea de cómo el diseño responderá a los diferentes tipos de cargas dinámicas en la suspensión.

Estudios experimentales

En un test de confort en vehículo se analizan elementos comunes al test dinámico en vehículos, ya que se realizan en condiciones parecidas. El objetivo es común en ambos casos: analizar el comportamiento de ciertas partes del vehículo durante el ensayo, bien sea suspensión, estabilidad, rodadura, etc.

Para llevar a cabo este ensayo es necesaria la sensorica especial, que permita analizar ciertos parámetros físicos en partes vitales del automóvil, como el sistema de dirección, sistema de suspensión, sistema de transmisión, etc.

Un enfoque común para los sistemas de suspensión Testing Parámetro (SPT) es tomar el vehículo en posiciones estáticas, y aplicar fuerzas de maneras específicas para registrar la desviación de la componente que se caracteriza, es decir, el neumático, los muelles, o los diversos vínculos. Estas pruebas casi estáticas son excelentes para el diagnóstico suspensión o desarrollar aún más los modelos que han contribuido a hacer avanzar el proceso de diseño de automóviles.

El procedimiento de ensayo se lleva a cabo por la ejecución de la fuerza F con una magnitud constante y una dirección alternativa al eje longitudinal de la rueda (Figura 4).

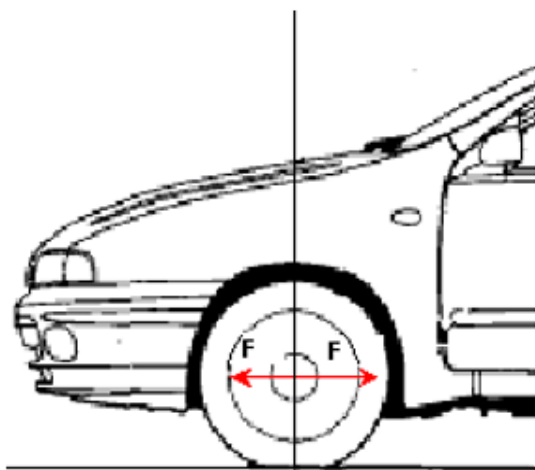


Figura 4 Formulación de la prueba

Hipótesis

Con la simulación numérica en Matlab de frecuencia de respuesta los modos de vibración, del análisis modal de la suspensión en ANSYS y además las pruebas experimentales, es posible determinar la energía que es absorbida por la suspensión y que no es aprovechada para el automóvil.

Planteamiento del problema

Las suspensiones como objeto de estudio han sido utilizadas con diferentes fines, por ejemplo, para mejorar el confort, reducir piezas o elementos, tener más maniobrabilidad y algunos para aumentar la seguridad en el vehículo y este no sufra una volcadura.

Pero hay una parte de estos estudios que son orientados a investigar la cantidad de energía en forma de vibraciones que se genera en este sistema como respuesta a las irregularidades del camino; dichas vibraciones pueden ser aprovechadas para ser recuperadas y almacenadas para su uso posterior.

Los métodos utilizados en diferentes estudios son enfocados al confort, pero muestran resultados de algunas características que corresponden a la frecuencia a la cual opera el sistema, pero necesitan ser más específicos en el área de frecuencias y modo de operación a las cuales trabaja el sistema a estudiar.

Metodología

Modelado: El modelo de un cuarto de automóvil con un solo grado de libertad mostrado en la Figura 5 es utilizado con frecuencia para el análisis de la suspensión; porque es simple y puede representar características importantes del sistema.

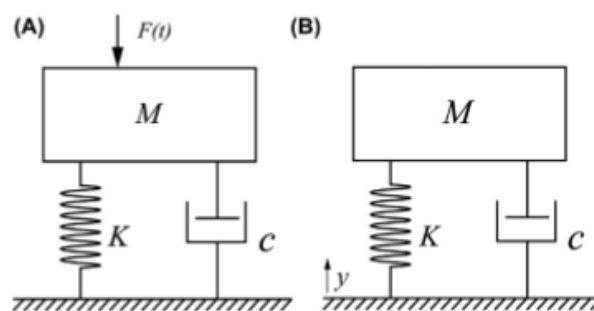


Figura 5 Sistema masa-resorte-amortiguador de un solo grado de libertad impulsado por (A) la fuerza directa y (B) la fuerza de inercia

La ecuación dinámica del movimiento del sistema lineal de un solo grado de libertad como se muestra en la Fig. 5 (A) se puede escribir como:

$$M \frac{d^2x(t)}{dt^2} + c \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = F(t) \quad (3)$$

Tomando la transformada de Laplace en los dos lados de la Ecuación (3), se obtiene:

$$(Ms^2 + cs + K)X(s) = \bar{F}(s) + M\dot{x}(0) + (Ms + c)x(0) \quad (4)$$

Asumiendo que el desplazamiento inicial y la velocidad son iguales a cero, la Ecuación 4 se convierte en:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + cs + K} \quad (5)$$

Si se supone que la excitación es un desplazamiento armónico de la base $y(t)$, el desplazamiento inicial y la velocidad son iguales a cero, suponiendo que $z(t) = x(t) - y(t)$ y la fuerza de excitación externa $F(t) = 0$ para el sistema SDOF como se muestra en la Fig. 5 (B), la ecuación del movimiento del sistema está dada por:

$$M \frac{d^2z(t)}{dt^2} + c \frac{dz(t)}{dt} + kz(t) = -M\ddot{y}(t) \quad (6)$$

La respuesta de $z(t)$ es también armónica, y está dada por:

$$\begin{aligned} y(t) &= Y(s)e^{xt} \\ z(t) &= Z(s)e^{xt} \end{aligned} \quad (7)$$

En donde se supone $s=iu$, u es la frecuencia radial en radianes por segundo. $Y(s)$ y $Z(s)$ son las transformadas de Fourier del desplazamiento de excitación y del desplazamiento relativo de la respuesta, respectivamente. Sustituyendo la ecuación (7) en la ecuación (6) se obtiene:

$$(Ms^2 + cs + K)Z(s)e^{xt} = -Ms^2Y(s)e^{xt} \quad (8)$$

Y la función de transferencia $H_{y\dot{z}}(s)$:

$$H_{y\dot{z}}(s) = \frac{Z(s)}{Y(s)s^2} = \frac{-M}{Ms^2 + cs + K} \quad (9)$$

Una vez teniendo la función de transferencia es posible utilizar un código en Matlab donde se emplea el método de laplace para obtener la frecuencia de respuesta.

Con base en los datos del artículo modelado multicuerpo de un cuarto de vehículo liviano, utilizando el software *VISUALNASTRAN* para ser evaluado, bajo los criterios de la norma eusama en cuanto a la adhesión, el caracterizado de la suspensión McPherson queda representado en la Tabla 1.

Dispositivo	Rigidez(N/m)	Amortiguación(kg/s)
Llanta	127200	0
Resorte	18709	0
Amortiguador	0	1400

Tabla 1 Propiedades del sistema de suspensión.

Código en Matlab

```
'CLEAR ALL';
'CLC';
```

```
K=145709;
M=236;
C=1400;
F=0:.05:10;
```

```
W=2*F*pi;
```

```
for N=1: length(W)
S=1i*W(N);
X=M*S^2+C*S+K;
```

```
AY=-M;
```

```
Z1(N)=AY/X;
```

```
end
```

```
figure (2)
axis auto
plot (F, abs(Z1'))
xlabel('FRECUENCY(HZ)')
ylabel ('DISPLACEMENT RATIO(Z/Y)')
```

Análisis modal

Se creó la geometría en ANSYS© a partir de la medición geométrica de la suspensión McPherson; se toman las medidas más representativas de la suspensión de un vehículo Nissan Sentra. En el esquema de la Figura 6 se muestran las partes que componen a dicho sistema.

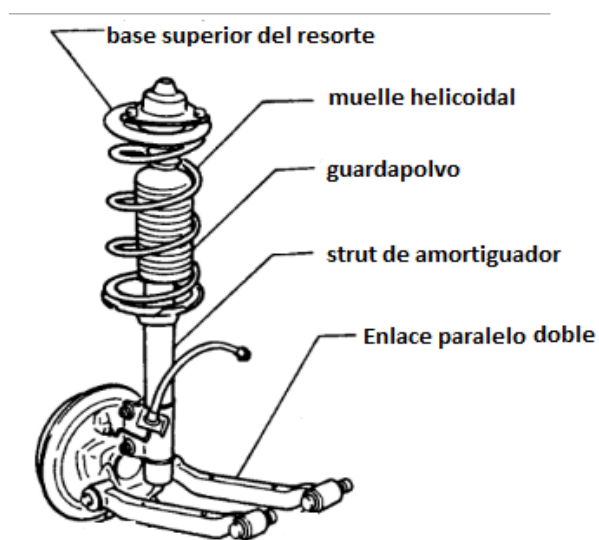


Figura 6 Esquema del sistema de suspensión McPherson

Una vez realizada la medición geométrica de la suspensión McPherson, se construyen y ensamblan cada uno de los componentes enlace paralelo doble, llanta, base superior del resorte y strut del amortiguador que hacen parte del sistema de suspensión McPherson.

El modelado de cada una de las partes fue hecho en el software de CAD llamado Solidworks© y posteriormente exportado al software de CAE llamado ANSYS© tal y como se muestra en la Figura 7.

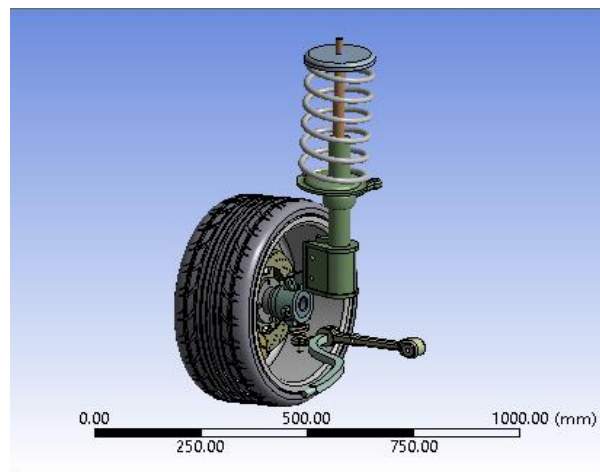


Figura 7 Modelado del sistema de suspensión McPherson

Posteriormente se establecen las restricciones del sistema y las condiciones iniciales, así como el número de modos de vibración requeridos. En este caso, la simulación se llevó a cabo con 6 modos de vibración.

Prueba experimental

Para la prueba experimental se requirió el uso y construcción de un circuito con controladores programados en arduino, conectado a un acelerómetro. Los circuitos fueron realizados y diseñados con controladores tipo PIC 16f628A como el mostrado en la Figura 8 los cuales fueron programados para registrar la frecuencia y desplazamiento proporcionados por el acelerómetro.



Figura 8 Controlador PIC 16f628A

El acelerómetro utilizado para registrar la frecuencia y desplazamiento fue uno del tipo análogo MMA7361 de 3 ejes como el que se muestra en la Figura 9 el cual fue calibrado para registrar la frecuencia en Hertz y el desplazamiento en el eje Z.

Este procedimiento consiste en conectar el acelerómetro a un circuito provisional y orientar dicho dispositivo, desplazándolo en el eje correspondiente y oscilando de arriba hacia abajo, para completar un ciclo, el cual aparecerá registrado en la pantalla.

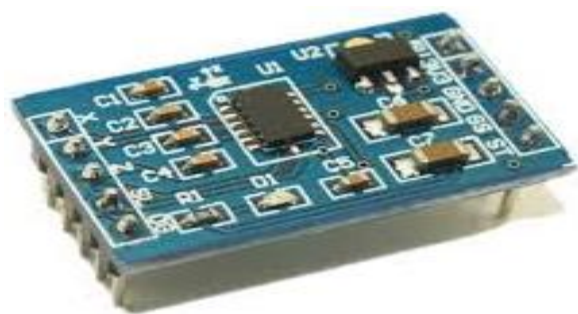


Figura 9 Acelerómetro análogo MMA7361 de 3 ejes

Resultados

Análisis numérico

De los resultados que se obtuvieron del análisis numérico en Matlab de acuerdo con los respectivos valores de las características de la suspensión, se puede observar la frecuencia de respuesta que se genera en el sistema debido a su operación.

En la Figura 10 se puede observar el comportamiento del sistema, tanto en desplazamiento como en frecuencia. La gráfica muestra un desplazamiento máximo de 7 mm y una frecuencia de 4.48 Hz.

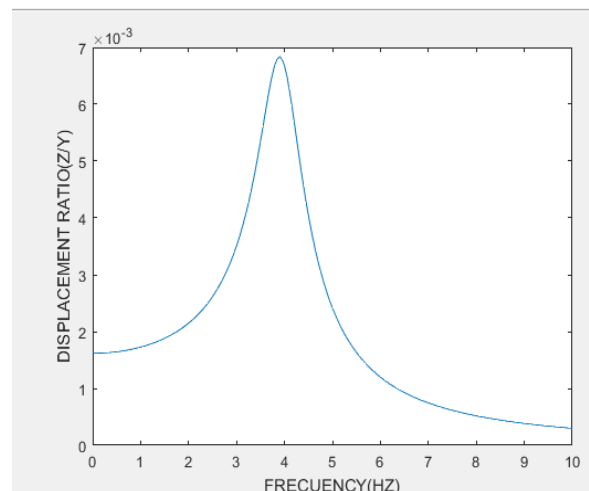


Figura 10 Frecuencia de respuesta del sistema.

Asi como también se puede obtener la amplitud de respuesta mostrada en la Figura 11, que se genera conforme al tiempo, proporcionando una idea de cómo opera el sistema y la cantidad de oscilaciones que tiene en un intervalo de tiempo.

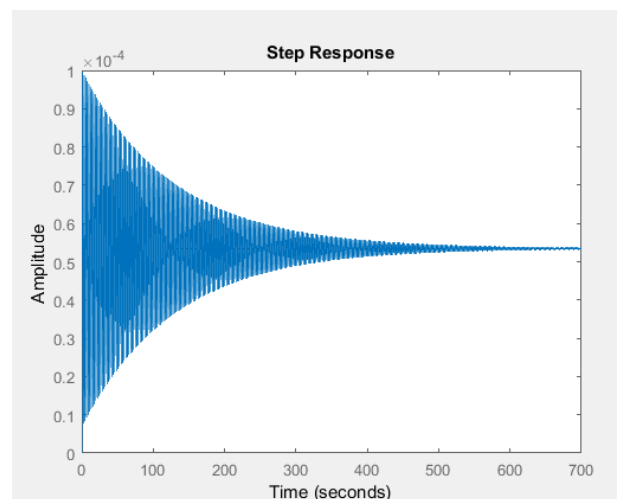


Figura 11 Amplitud de vibración del sistema

Análisis modal

El análisis modal muestra los modos y las frecuencias a las que opera el sistema, los cuales van desde 4.5924 Hz a 40.67 Hz, como se muestra en la Figura 12 y en la Tabla 2.

Los 6 modos van de forma ascendente, comenzando por los 4.5924 Hz hasta llegar al modo 6 donde la frecuencia es de 40.67 Hz, que es la frecuencia que más se acerca a la obtenida del análisis numérico hecho en Matlab y que corresponde al modo de frecuencia 1. Estos resultados son reflejados en el software ANSYS®, como se muestra en la Figura 12.

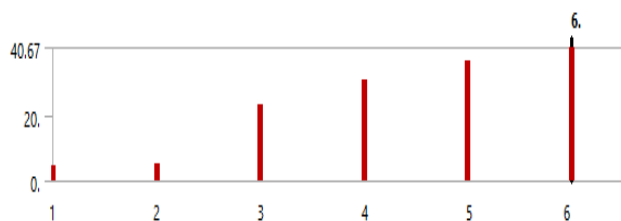


Figura 12 Gráfica de modos de frecuencia del sistema.

En la tabla 2 se observan los valores de frecuencia correspondiente a cada modo de frecuencia realizado en la simulación.

	Modo	Frecuencia [Hz]
1	1.	4.59
2	2.	5.0232
3	3.	23.43
4	4.	30.55
5	5.	36.48
6	6.	40.67

Tabla 2 Modos de frecuencia del sistema

Los seis modos de frecuencia muestran acendentemente las frecuencias a las que opera el sistema de suspensión. Es importante saber la deformación que sufre el sistema en estudio, por lo que dentro del análisis nodal, también se realizó dentro de la solución una simulación de deformación total al sistema correspondiente al primer modo de frecuencia, tal como se observa en la Figura 13.

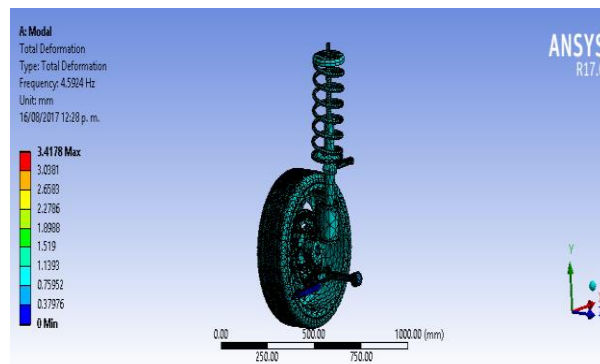


Figura 13 Deformación de los componentes del sistema respecto a los modos de frecuencia

Este análisis permite visualizar la deformación que existe en el sistema de estudio debido a los modos de frecuencia. Dicha deformación toma valores desde los 0.37976 mm hasta los 3.4178 mm donde la deformación máxima se observa en los componentes más cercanos al suelo.

Prueba experimental

La prueba experimental se realizó con el ensamble del circuito y la sujeción de éste al amortiguador, como se muestra en la Figura 14. Asimismo se realizó el análisis de los datos proporcionados por el sensor al display del programa de los controladores (Arduino).



Figura 14 Acoplamiento del sensor al sistema de suspensión

En la Figura 15 se observan las oscilaciones que se generan en el sistema como respuesta de las irregularidades del camino, en donde se presentan datos de los ángulos de giro y los segundos transcurridos durante la prueba.

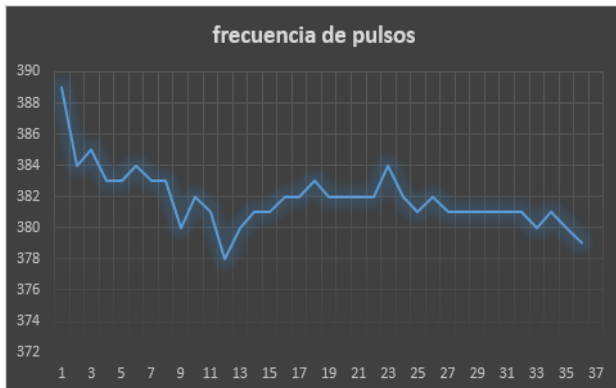


Figura 15 Frecuencia de pulsos obtenida por el sensor de vibración

Los picos más altos corresponden a una frecuencia de 4.5924 Hz, lo que se aproxima a los análisis presentados anteriormente en el presente estudio, durante la prueba realizada durante 40 segundos, en donde se registraron frecuencias entre 1 hasta 20Hz como se muestra en la Figura 16.



Figura 16 Lecturas registradas en el display del circuito ensamblado conectado al acelerómetro

En donde la letra P que aparece en el display representa los pulsos por segundo (Hz).

Conclusiones

Las diferentes técnicas utilizadas y los análisis realizados en estos estudios muestran valores que coinciden cercanamente uno con otro. Por esta razón dichos valores tienen mayor precisión a lo esperado como resultados de este estudio.

La prueba experimental puede ser aún más exacta calibrando el sensor para que este detecte movimientos más finos y sea aún más preciso en las lecturas.

Los resultados obtenidos muestran una frecuencia desde 4.5924 hasta 40.67 Hz lo cual abre la posibilidad de diseñar y acoplar sistemas colectores de energía (recuperadores de energía mecánica).

Referencias

Arbeláez t. Juan José, Marín q Juan Pablo (2007) modelado multicuerpo de un cuarto de vehículo liviano, utilizando el software visualnastran para ser evaluado, bajo los criterios de la norma Eusama en cuanto a la adhesión, Scientia et Technica, paginas 237-241.

Hurel Ezetaa Jorge, Mandowb Anthony, Garcia Cerezob Alfonso (2013) Los Sistemas de Suspensión Activa y Semiactiva: Una Revision, Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica industrial paginas 1-12.

Prof. S.C. Jain, Dr. Pushendra kumar Sharma, Dhara Vadodaria (2014) McPherson suspension system - a review, International Journal For Technological Research In Engineering Volume 1, paginas 1496- 1498.

Rosen Miletiev, Ivaylo Simeonov, Emil Iontchev, Rumen Yorda (2013) Time and frequency analysis of the vehicle suspension dynamics, international journal of systems applications, engineering & development Issue 5, Volume 7 paginas 287- 294.

Wang Xu (2016) Frequency Analysis of Vibration Energy Harvesting Systems. Editorial Project Manager: Edward Payne Production Project Manager: Lisa Jones Designer: María Inés Cruz Typeset by TNQ Books and Journals.

Diseño de un prototipo de antebrazo basado en la técnica de procesamiento digital de imagen

GARCIA-GOMEZ, Roberto Carlos†, BUENO-LÓPEZ, Moisés, VALENCIA SANCHEZ, Hernán* y RASGADO-BEZARES, José Manuel

Instituto Tecnológico Nacional de México e Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Recibido 14 Agosto, 2017; Aceptado 24 Noviembre, 2017

Resumen

Este trabajo propone un diseño de prototipo de antebrazo con efector final que permite una fabricación personalizada económica. Se presenta una metodología de diseño para obtener las características del modelo, hacer un diseño conceptual y realizar un modelado tridimensional con apoyo del software de diseño mecánico Solidworks. El modelado tridimensional es guiado por un procedimiento para la obtención de las medidas de la mano, así como de un procedimiento de diseño tridimensional basado en la técnica de procesamiento digital de imagen para la creación del antebrazo mediante su digitalización.

Software, Diseño, Solidworks

Abstract

This work proposes a prototype design of forearm with end effector that allows its economic and personalized manufacture. A design methodology is presented to obtain the characteristics of the model, make a conceptual design and perform a three-dimensional modeling with the support of the Solidworks software. The three-dimensional modeling is guided by a procedure for obtaining the measurements of the hand as well as a three-dimensional design procedure based on digital image processing for the creation of the forearm by digitization.

Software, Design, Solidworks

Citación: GARCIA-GOMEZ, Roberto Carlos, BUENO-LÓPEZ, Moisés, VALENCIA SANCHEZ, Hernán y RASGADO-BEZARES, José Manuel. Diseño de un prototipo de antebrazo basado en la técnica de procesamiento digital de imagen. *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2017. 1-4: 21-26.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: hvalencia@ittg.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En las presentaciones del 4 de marzo del 2015 de la Academia Nacional de Medicina del tema: “Los amputados, un reto para el estado”, se dio una perspectiva de cuál es el impacto social de las amputaciones en México. Respecto a los datos de incidencia, se mencionó que el INEGI 2014, reporta que el número de amputados es cerca de 780 mil. Por otra parte, se comentó que la Academia Nacional de Cirugía reporta que se amputan en México 75 personas diarias. Los datos a 2014 muestran que hay cerca de 900 mil amputados en México, la mayor parte de ellos tienen alguna incapacidad e incluye personas de todas las edades. Esta es la población que se debe atender para lograr su rehabilitación. (VÁZQUEZ VELA, Eduardo)

En este contexto es necesario hacerse las siguientes preguntas con respecto al Sistema de Salud de México:

- ¿Quién atiende a los amputados?
- ¿Dónde se atienden?
- ¿Quién tiene la responsabilidad de rehabilitarlos?

Se comentó que el IMSS sólo atiende a los amputados por accidente de trabajo, y que son la minoría de los pacientes que sufren amputaciones. En cuanto al DIF Nacional mencionó que tiene un papel importante en la rehabilitación, pero cuenta con sólo 11 unidades en las delegaciones de algunos estados que fabrican prótesis, pero no tiene el presupuesto adecuado, por lo que sólo fabrican alrededor de 400 prótesis al año.

En lo que respecta al Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) mencionó que da prótesis a 120 pacientes al año. El Hospital Militar también participa en la rehabilitación de amputados, pero no proporciona datos sobre el número de pacientes que atiende.

El CRIMAL IAP Querétaro es una institución privada que produce prótesis para 130 pacientes al año. Los CRIT no tienen fabricantes de prótesis, sino que las mandan a hacer a proveedores externos y llegan a producir prótesis para 775 pacientes al año.

Considerando los datos presentados es patente que en el país la producción de prótesis no llega a 1500 en un año. De modo que, si cada año hay más de 27 mil amputados, es aparente que la mayor parte de los pacientes amputados no son atendidos. Esta situación representa un problema tanto de salud como económicos muy importante que no está siendo atendido de manera integral. (DORADOR GONZÁLEZ, Jesús Manuel), (CABÁS, Ramiro.)

Utilizando una técnica de procesamiento digital de imagen así como la metodología para obtener parámetros con los cuales se tendrá un diseño más rápido, personalizado y además económico.

Descripción del Método

Para la creación del modelo tridimensional se siguen 3 metodologías (ver imagen 1). La primera metodología tiene como objetivo desarrollar el modelo conceptual, puntualizando los requerimientos y características que delimitan nuestro modelo. La segunda metodología permite obtener la prótesis de antebrazo, usando la técnica de procesamiento digital de imagen como elemento para describir la geometría a desarrollar. La última metodología expone la forma de obtener las medidas necesarias para que los sólidos correspondan al efector final. (CABÁS, Ramiro.)



Figura 1 Metodología

La metodología de diseño propone un proceso con 7 pasos, en donde las etapas se correlacionan (ver figura 2), las cuales se explican en la tabla 1.

Es importante mencionar que al modelar un brazo se busca que la función principal del mismo sea la de sujetar un objeto (ver figura 3)

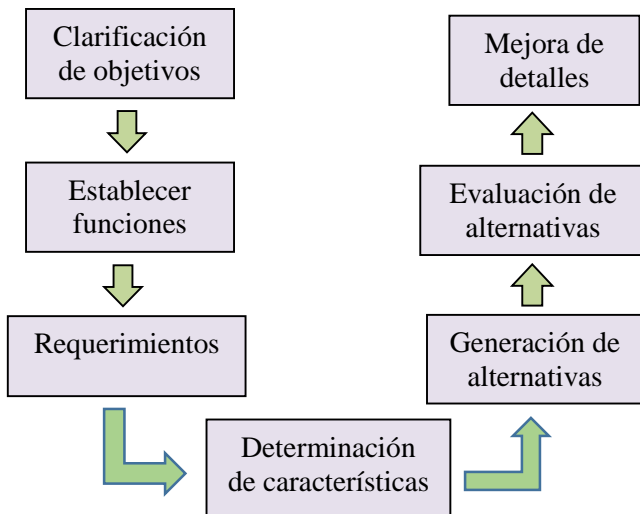


Figura 2 Proceso de diseño general

Etapas	Descripción
Clarificación de objetivos	Establecer los objetivos principales y secundarios del diseño, así como la relación existente entre ellos. Plantear un análisis en el cual se plasmen las funciones y límites que conlleva al nuevo sistema.
Requerimientos	Establecer los requerimientos físicos, así como el rendimiento (esperado) en cada elemento
Determinación de características	Determinar las características de ingeniería que satisfagan los objetivos previamente establecidos
Generación de alternativas	Generar alternativas en forma de diagramas morfológicos con el fin de ampliar las soluciones potenciales y así elegir la opción adecuada.

Evaluación de alternativas	Evaluar las alternativas comparando las propuestas con base en su rendimiento y se obtiene un diseño conceptual (Imagen 3).
Mejora de detalles	Generar la mejora de detalles para aumentar el valor del modelo final.

Tabla 1 Descripción del Proceso de Diseño

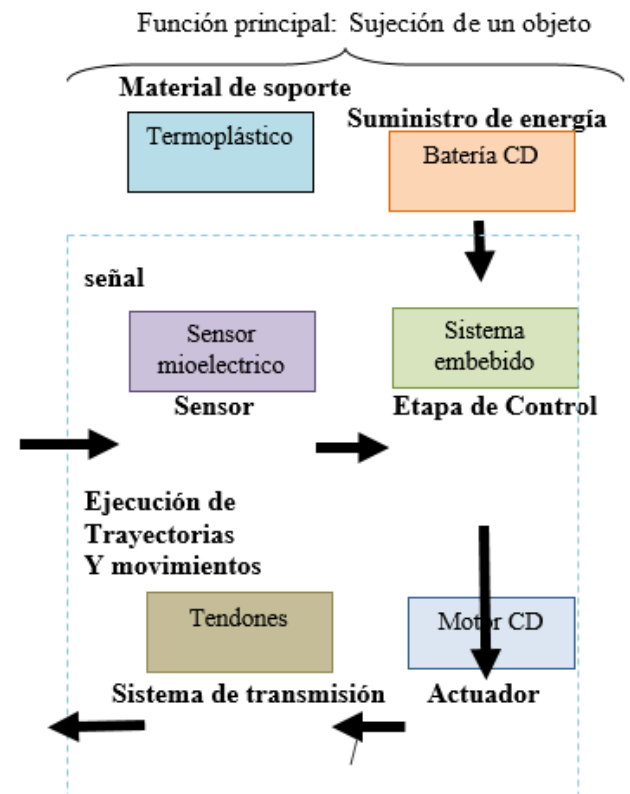


Figura 3 Proceso de diseño para el mecanismo

La Metodología de modelado mediante el procesamiento digital de imagen obtiene el elemento tridimensional correspondiente al antebrazo. Se adquieren imágenes digitales con características específicas, se exportan las imágenes al programa de computo Solidworks, se aplica el proceso de Autotracer para obtener el contorno del antebrazo.

Se debe tomar en cuenta que existen características a cuidar durante el proceso. En la adquisición de las imágenes se debe tener atención en los fondos e iluminación de las imágenes. Es necesario que en las imágenes exista un cambio de tono de color entre la pieza y su alrededor; por lo que se aconseja usar una caja de luz (Imagen 4). (GONZÁLEZ Rafael y WOODS Richard)



Figura 4 Caja de luz, pieza y cámara

Durante la exportación de las imágenes al software y uso del método de Autotrace, se obtienen trazos en cada una de las imágenes, la imagen 5 muestra un ejemplo del trazado de dos curvas guía. En total se obtienen 4 curvas guía y dos perfiles (figura 6a) Para obtener el sólido se utiliza la función de recubrir y se obtiene un sólido (figura 6b). Es importante tener una escala de la imagen, para lo cual el croquis se debe contar con una medida conocida.

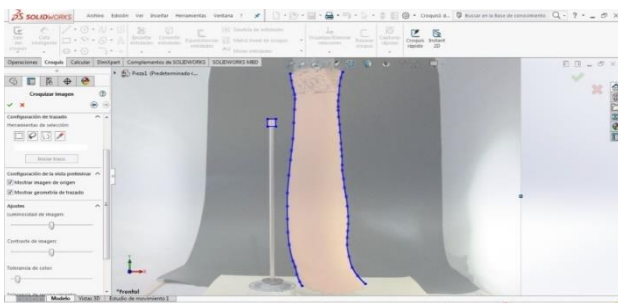
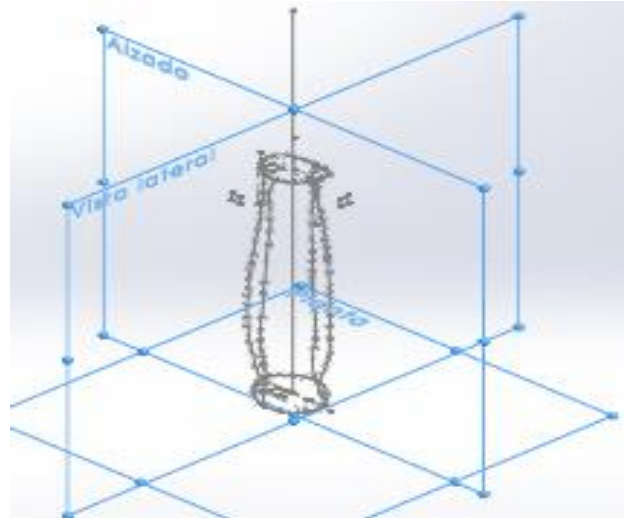


Figura 5 Proceso de Diseño

a)



b)

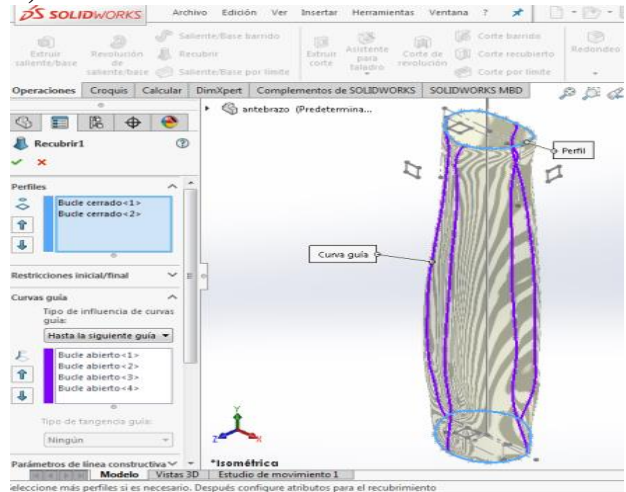


Figura 6 a) Curvas guía y perfiles, b) Operación recubrir

La metodología de medición para el efector final obtiene un sólido antropomórfico personalizado. En esta etapa se adquieren las dimensiones de diversas partes del efector final (mano). Dichas dimensiones se incluyen en el modelo de referencia, de manera específica en los croquis de las falanges distales, medial y proximal, así también en la palma. El proceso se ilustra en la figura 7. (PENISI, Carbone y Ceccarelli)

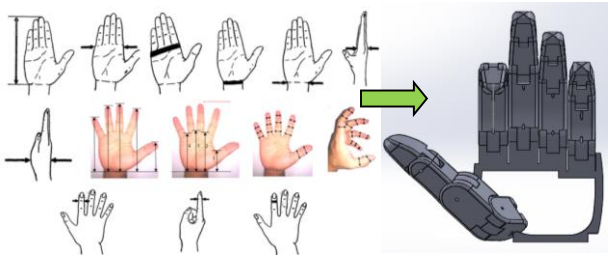


Imagen 7 Las mediciones sobre la mano se incluyen al modelo de referencia

Resultados

En la primera etapa se obtuvo un bosquejo del diseño del proyecto con los requerimientos y especificaciones; este diseño conceptual abarca desde la construcción, selección de actuadores, el tipo de sensor a utilizar y control del sistema robótico.

En la segunda etapa se obtiene un sólido personalizado del antebrazo para esto se toman cuatro imágenes para el modelado. La cámara utilizada fue una cámara portátil Cannon de 16 Megapíxeles. La captura de las imágenes se desarrolló de la siguiente manera: A) Se hizo en posición arbitraria pudiendo elegir entre una visión palmar o dorsal. B) Se rota la pieza (antebrazo o modelo) 90° sobre su eje longitudinal, aproximadamente. C) Se obtiene una vista superior y la cuarta se hizo en vista inferior (Imagen 8). (BOUBEKRI Y CHAKRABORTY)

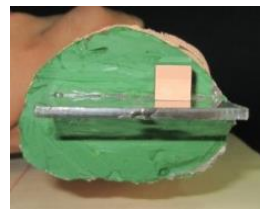
Es importante mencionar que debido a que la superficie del antebrazo presenta una geometría cambiante se deben crear marcas, ejes imaginarios o referencias así como tener cuidado en la inclinación del eje longitudinal de la pieza respecto a la vertical. Después de usar las dos metodologías, uno para el modelado tridimensional del antebrazo y la otra para la obtención de las medidas de la mano, se ensamblan para crear el conjunto. (GROOVER, Werss y Odrey)(HASEGAWA, Murakami y Matsuoka).



Vista arbitraria



Rotada 90°



Vista superior



Vista Inferior

Figura 8 Fotografías del Diseño del Antebrazo

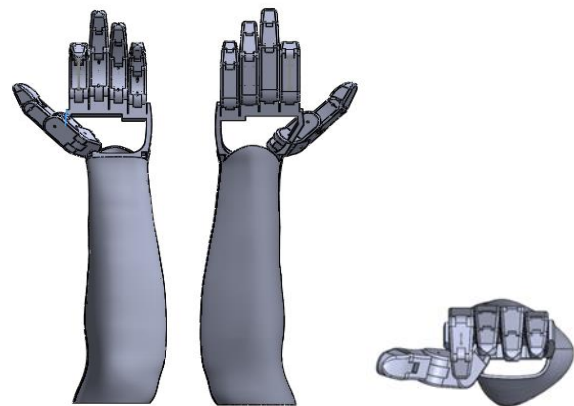


Figura 9 Ensamble de falanges, palma y antebrazo

Conclusiones. Contribución

Para el diseño del antebrazo y el efector final, el proceso descrito reduce a tres etapas la construcción de un modelo sólido, resultando con ello en un método rápido y económico.

En la primera sección del procedimiento, se llevan a cabo todas las actividades necesarias para un diseño conceptual que sirva para delimitar las características del modelo tridimensional, minimizando así los rediseños y con esto reducir tiempo de proceso y gastos. En la segunda sección, se modela el antebrazo con la ayuda de imágenes fijas cuyas características están al alcance de la mayoría de los usuarios CAD, lo que permite obtener un sólido sin la necesidad de utilizar aparatos sofisticados como escáneres 3D o similares. En la última sección, la inclusión de las medidas al modelo estándar, hace un diseño antropomórfico personalizado para el fin que se establezca.

Es importante mencionar que los usuarios de este procedimiento deben de contar con fundamentos teóricos respecto al tema del miembro superior, para que al momento de realizar las medidas en las articulaciones puedan obtenerse un modelo con la mayor cantidad de atributos geométricos que se solicitan.

Referencias

BOUBEKRI Y CHAKRABORTY. (2001) Robotic Grasping: Gripper Designs, control methods and grasp configurations. Department of industrial engineering, University of Miami. Miami CA: s.n.

CABÁS, Ramiro. (2011), Metodología de diseño de manos robóticas basada en los estados de su sistema accionador. Universidad Carlos III de Madrid.

DORADOR GONZÁLEZ, Jesús Manuel. (18 de Enero de 2004), Robótica y prótesis inteligentes, Revista Digital Universitaria, Vol. 6, págs. 1-15.

GONZÁLEZ Rafael y WOODS Richard E. (2012), "Digital image Processing", Ed. Prentice Hall, Usa, 3ra.

GÓMEZ GONZÁLEZ Sergio, (2012). "SolidWorks", Alfaomega México, 12da. GROOVER, Werss y Odrey. (1996), Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones. s.l.: Mc Graw-Hill.

HASEGAWA, Murakami y Matsuoka. (1998), Grasp Planning for Precision manipulations by multifingered robotic hand. Department of electrical engineering, Fukuoka University. Japan: s.n.

PENISI, Carbone y Ceccarelli. (2002), Optimum Design and Testing of Mechanics for two fingers Grippers. International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics.

PRATTICHIZZO Y BICCHI. (1998) Dynamic analysis of mobility and graspability of general manipulation systems. s.l.: IEEE Transactions on robotics and automation.

VÁZQUEZ VELA, Eduardo y HIIAR MEDINA, Martha. (04 de marzo del 2015), Los amputados, un reto para el estado. págs. 1-9.

(GROOVER, Werss y Odrey)(HASEGAWA, Murakami y Matsuoka)(PENISI, Carbone y Ceccarelli.)(VÁZQUEZ VELA, Eduardo)

Análisis termo-estático de una biela de un motor de combustión interna encendido por chispa

SERRANO-SERRANO, Arturo*†, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, LICONA-OLMOS, Jazmín, y RIVERA-GUTIÉRREZ, Lizet

Instituto Tecnológico de Pachuca. Carretera México-Pachuca Km. 87.5, Col. Venta prieta, Pachuca Hidalgo, C.P. 42080

Recibido 23 Septiembre, 2017; Aceptado 15 Noviembre, 2017

Resumen

La presente investigación tiene por objetivo analizar el comportamiento termo-estático de una biela en un motor de combustión interna encendido por chispa (ECH), que es accionado con gasolina como combustible y 100% aire teórico. Con ayuda del diagrama par-motor se determinó la fuerza axial que actúa en la biela, posteriormente se obtuvo la temperatura de combustión adiabática dentro de la cámara del cilindro, aplicando la primera ley de la termodinámica para una reacción de combustión estequiométrica. Se utilizaron algunas aplicaciones de los softwares SolidWorks y Ansys, con el primero se hizo la geometría real de la biela, para posteriormente con el segundo realizar la simulación estática-estructural obteniendo un primer análisis de esfuerzos y deformaciones. Para el análisis térmico, nuevamente se realizó la simulación en Ansys considerando a la vez la carga estructural; obteniendo resultados confiables de esfuerzos y deformaciones. Con base en la información de los resultados se puede hacer un diagnóstico de posible falla y ubicar la zona más vulnerable de la biela, que resultó ser los cojinetes debido a que no soportaron el sobrecalentamiento.

Biela, Ansys, Análisis termo-estático

Abstract

The present investigation is aimed to analyze thermo-static behavior a connecting rod in an internal combustion engine spark ignition, it is powered with oil as fuel and 100 % theoretical air. With the help of the torque diagram was determined axial force that acts in the connecting rod, was obtained subsequently combustion temperature inside the chamber of the cylinder applying the first law of thermodynamics for a stoichiometric combustion reaction. Were used some software applications such as SolidWorks and Ansys, with the first was made geometry, for later, with the second run the simulation static-structural obtaining a first analysis of stresses and deformations. For the thermo analysis, simulation was again held in ansys at the same time considering structural load obtaining reliable results of stresses and deformations. Based on the information of the results can be to get possible failure diagnostics and locate the area more vulnerable connecting rod, that turned out to be the bearing since the did not withstand overheating

Connecting Rod, Ansys, Thermo- static analys

Citación: SERRANO-SERRANO, Arturo, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, LICONA-OLMOS, Jazmín, y RIVERA-GUTIÉRREZ, Lizet. Análisis termo-estático de una biela de un motor de combustión interna encendido por chispa *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2017. 1-4: 27-33

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: artser_imi@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El motor de combustión interna es la unidad energética y motriz de los medios de transporte, máquinas y equipos que se utilizan en actividades de diversas ramas de la economía (Herrera, García, Quintana, & Acevedo, 2001). Un pilar clave de la economía nacional es la industria automotriz (Palacios, 2017), donde la mayoría de los vehículos son accionados, en la actualidad, por motores de combustión interna de cuatro tiempos, (Guerrero, 1999)

Estos motores tienen como principal fuente de energía la gasolina que es el combustible empleado con mayor frecuencia, por lo tanto, es importante la calidad de ella para el óptimo funcionamiento. Entre las características de un buen combustible es que debe reunir un octanaje aceptable (la capacidad de resistir altas temperaturas sin detonar); ya que la gasolina debe explotar dentro del cilindro para generar el movimiento del pistón. (Guerrero, 1999).

Con base en lo anterior se puede afirmar que un motor de combustión interna es un sistema, es decir, un conjunto de elementos que interactúan entre sí para su funcionamiento. Uno de estos elementos es la biela, motivo de esta investigación, la cual recibe el impacto de la fuerza expansión producto de la combustión de la gasolina, que a su vez la transmite en forma de par-motor al cigüeñal.

Por lo tanto, la biela se encuentra sometida a fuerzas compresivas convirtiéndola en el elemento más tensionado dentro del motor, además, está expuesta a cargas, producto de la presión generada en la cámara de combustión y por la alta fricción entre los elementos deslizantes.

Al no tener un adecuado sistema de lubricación en las partes móviles se presentarán desgastes excesivos y prematuros los cuales pueden ocasionar una falla. Es importante considerar un buen sistema de lubricación, durante el funcionamiento del motor, la temperatura en la cámara de combustión es superior a los 2000 °K, esta temperatura es instantánea, pues disminuye durante el tiempo de expansión y escape de gases; por lo tanto, se tendrá que disipar el calor producido en la explosión; y si el sistema no funciona correctamente la resistencia mecánica de la biela se verá afectada teniendo como consecuencia deformaciones importantes por sobrecalentamiento.

El análisis se realizará en el software de Ansys el cual nos ayudara a predecir cómo se comporta y reacciona la biela en su entorno real; previamente a este análisis se utilizó SolidWorks, un software para modelado mecánico en 3D, para posteriormente importar la geometría de la biela con dimensiones reales al software Ansys; y culminar realizando el análisis estático y térmico por medio de la simulación. El objetivo de dicho análisis es conocer la causa de falla de una biela de un motor de combustión interna de 4 tiempos y 4 cilindros encendido por chispa, accionado por gasolina, cuando por diversas causas alcanza temperaturas elevadas, generando esfuerzos y deformaciones superiores a los límites de cedencia del material.

Metodología

Marco Teórico

El funcionamiento de un motor de combustión interna encendido por chispa se basa en el ciclo Otto, ideal el cual tiene 4 tiempos o fases importantes, admisión, compresión, explosión y escape (figura 1), durante estas etapas el mecanismo sufre diferentes cargas y en diferentes ángulos existiendo un punto en donde se tiene una fuerza máxima (figura 2), los datos arrojados ayudaran a su posterior análisis.

SERRANO-SERRANO, Arturo, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, LICONA-OLMOS, Jazmín, y RIVERA-GUTIÉRREZ, Lizet. Análisis termo-estático de una biela de un motor de combustión interna encendido por chispa. *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2017.

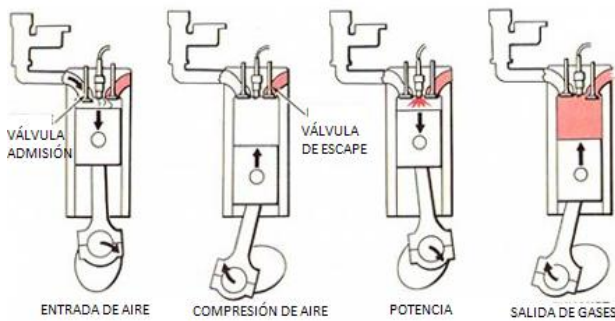


Figura 1 Fases de un motor de 4 tiempos y 4 cilindros (Yunus A, 2015)

El diagrama par motor mostrado en la figura 2, es una representación esquemática de las fuerzas que actúan sobre la biela del motor. Para este análisis, se determinó la fuerza axial generadora del máximo torque aplicado al cigüeñal del motor. Como se trata de un motor alternativo, el movimiento parte desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), recorriendo el pistón una longitud de carrera $C=2r$ por cada vuelta del cigüeñal. Ya que se trata de un motor de 4 tiempos, el cigüeñal dará 2 vueltas por ciclo termodinámico (Giacosa, 1989). En este caso se consideró solamente un punto donde la biela es normal a la manivela que es donde se produce el máximo torque.

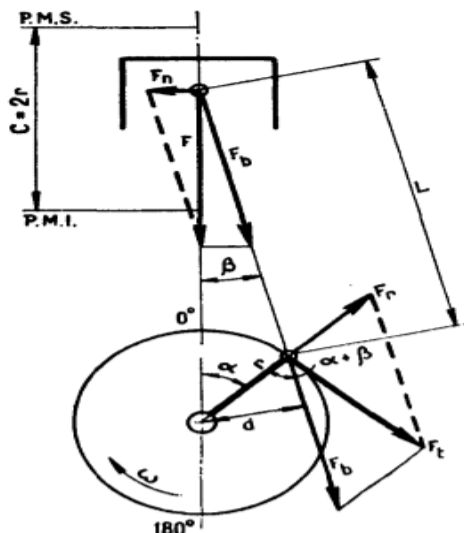


Figura 2 Diagrama par motor (Giacosa, 1989)

La biela tiene una sección transversal de tipo I con las dimensiones estandarizadas, utilizando un acero AISI 4140 (Normalizado) siendo un acero de baja aleación y medio carbono para los siguientes datos técnicos de un auto tipo sedán (ver tabla 1).

Combustible	Gasolina
Lubricación	Wet sump
Líquido Refrigerante	Agua
Cilindrada	1596 cm ³
Diámetro x Carrera	84x72 mm
Válvulas	8 Válvulas
Relación de Compresión	9.0
Potencia	101 hp
Par Máximo	105 lb-ft

Tabla 1 Datos técnicos auto tipo sedán (UltimateSPECS, 2017)

Para determinar la magnitud de la fuerza que se produce durante la combustión estequiométrica (100 % de aire), es importante saber que la fuerza resultante se deriva de diversos factores que contribuyen en magnitud al resultado obtenido:

a) Relación de compresión:

$$R = \frac{(V_{cil})}{V_{cam}} = 9 \tag{1}$$

b) Presión Atmosférica

Se considera $P_a=103,422$ KPa.

c) Área del Pistón

$$A = \pi r^2 = \pi (0.042)^2 = 0.0055 \text{ m}^2 \tag{2}$$

Se debe de calcular la cantidad de veces que se comprime la presión atmosférica dentro de la cámara de combustión con la siguiente ecuación:

$$P_{cam} = P_a \cdot R = 930.798 \text{ KPa} \tag{3}$$

Se prosigue con la presión que detona la mezcla dentro de la cámara de combustión:

$$P_m = P_{cam} \cdot N_c = 3723.192 \text{ KPa} \quad (4)$$

$N_c =$ Número de cilindros

De la ecuación de presión, se obtiene la fuerza

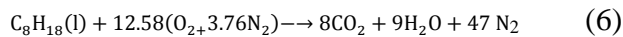
$$F = \frac{P}{A} \rightarrow F = P \cdot A \quad (5)$$

Al realizar las operaciones correspondientes tenemos que la fuerza que actúa sobre la biela es de:

$$F = 20,477.55 \text{ N}$$

Posterior a conocer la fuerza que actúa sobre el elemento, se determina también la temperatura que puede llegar a alcanzarse dentro de la cámara de combustión. Un proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema por completo con aire teórico se conoce como combustión estequiométrica. (Yunus A, 2015)

La ecuación balanceada para este proceso de combustión es:



Se considera que el octano C_8H_{18} es líquido, con una cantidad de aire teórica de 100% constituido por 1 mol de oxígeno (O_2) y 3.76 mol de nitrógeno (N_2)

Aplicando la primera ley de la termodinámica y considerando que el combustible y el aire entran separadamente a una temperatura de 25°C a la cámara de combustión; y puesto que la transferencia de calor es nula por considerarse un sistema adiabático, con datos técnicos de gases ideales y entalpía de formación se determinó la máxima temperatura de combustión adiabática, correspondiente a un valor de 2395°K (Yunus A, 2015).

Esta temperatura es un parámetro ideal, referente para proponer valores inferiores. La segunda ley de la termodinámica establece que las irreversibilidades son inevitables; las más importantes son la fricción y la transferencia de calor a través de la cámara, motivo por el cual se propone una temperatura razonable aplicada en toda la biela, siendo:

$$T_{biela} = 2000^\circ\text{K}$$

Se realizó la geometría de la biela con ayuda de software SolidWorks. Se comenzó realizando el brazo de la biela, la tapa de la biela, cojinete y semi-cojinete para obtener el modelado final de la biela realizando un ensamble entre todas las piezas mencionadas (figura 3).

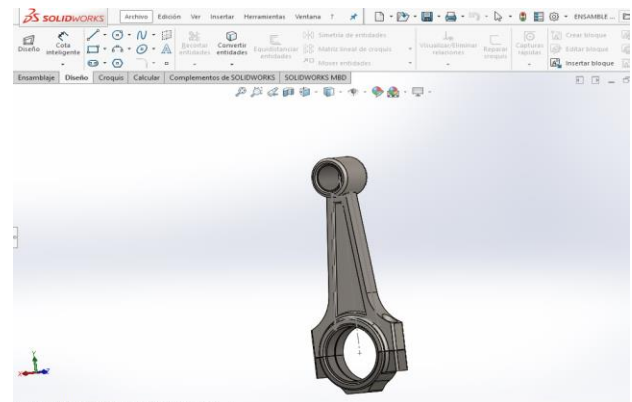


Figura 3 Geometría Final de la Biela

Análisis estático y térmico

Al realizar los estudios de los análisis que se lograron obtener con apoyo del software Ansys el cual se encuentra dentro de la categoría de Análisis del Elemento Finito (FEA), como aquellos que permiten obtener soluciones aproximadas a problemas de ingeniería y obtener productos de calidad a menor costo, mejorar procesos existentes o para estudiar fallos de un componente estructural o un equipo.

El Método del Elemento Finito resume el concepto básico: “la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un número finito de incógnitas relacionadas entre sí por elementos de un tamaño finito. Una vez conocido el software y método a utilizar se procedió a realizar un mallado refinado en la biela, por medio del cual se arrojará resultados confiables donde se tenga más probabilidad de fallar como se observa en la figura 4.

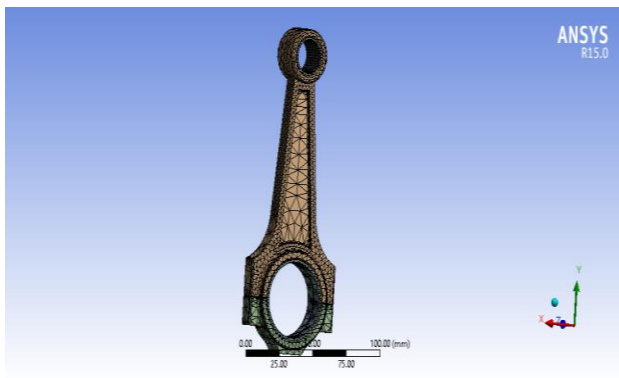


Figura 4 Mallado en Ansys

Análisis de resultados

Se inició el análisis estructural, con el valor de fuerza calculado previamente (20478 N), aplicando dicho valor en forma axial a lo largo del elemento, obteniendo la representación de la Figura 5 mediante el software ansys

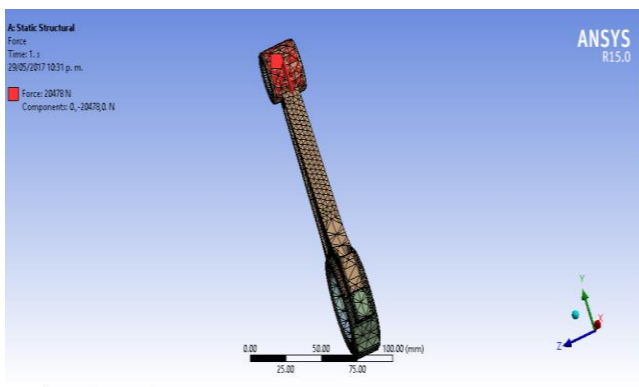


Figura 5 Fuerza aplicada en el Pie de la Biela

Posteriormente se obtuvo un resultado preliminar de los esfuerzos por carga con un rango de valores: mínimo de 0.0033881 MPa y máximo de 309.61 MPa, cabe mencionar que en la parte media de la biela tiene un esfuerzo de 206.41 MPa dichos valores están por de bajo de la resistencia a la cedencia, correspondiente al valor de **655 MPa** (Smith & Hashemi, 2014) para este tipo de acero (Figura 6)

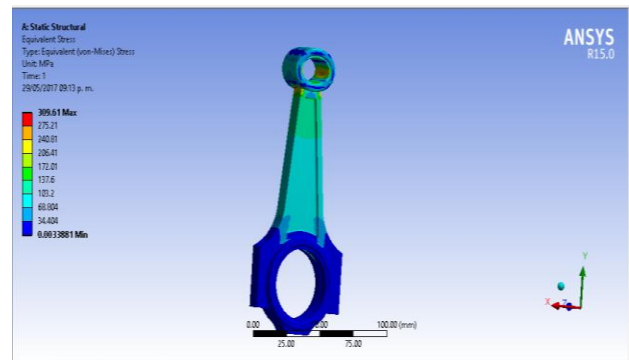


Figura 6 Esfuerzos por carga

Simultáneamente se obtuvo que la deformación máxima es de 0.077 mm, ubicada en la parte superior de la biela como se observa en la Figura 7. Cabe mencionar que para un acero de este tipo el porcentaje de elongación a la ruptura a temperatura ambiente es de 17.7. (Smith & Hashemi, 2014).

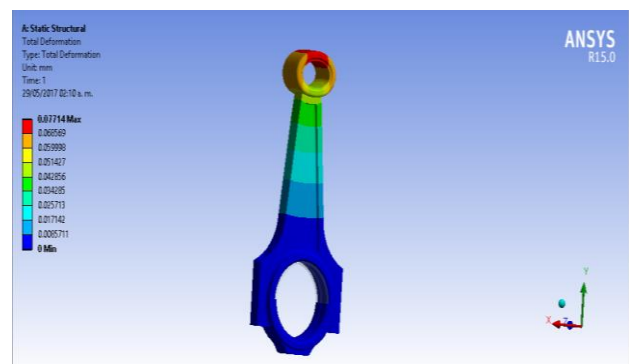


Figura 7 Deformación Tota por carga

Al agregarle la temperatura de trabajo que actúa sobre la biela, dicho valor se determinó anticipadamente en el apartado de marco teórico (figura 8), se obtiene el análisis termo-estático completo, generado por carga y temperatura, obteniendo por simulación en ansys resultados confiables de esfuerzos y deformaciones.

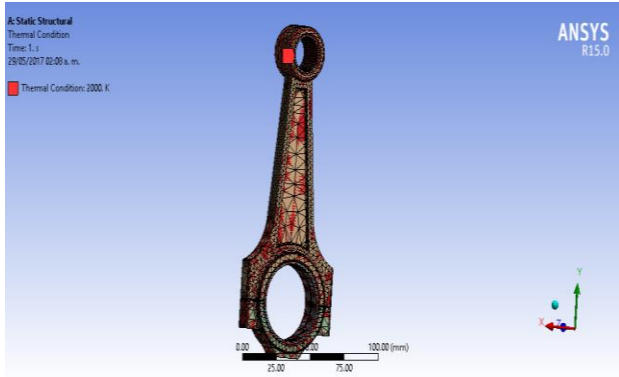


Figura 8 Biela con con análisis térmico

Dichos resultados son los siguientes: el esfuerzo máximo de Von Mises con fuerza y temperatura equivale a **12367 MPa** (Figura 9), con una correspondiente deformación de **2.7273 mm**, (figura 10).

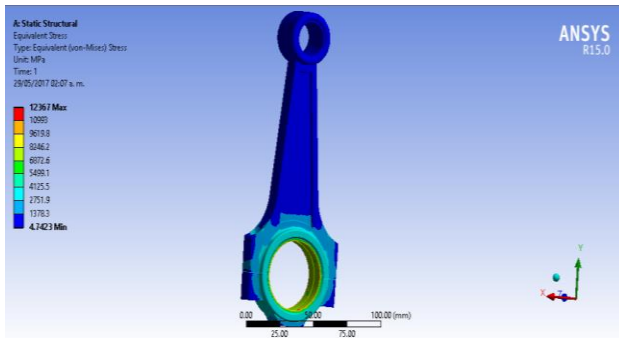


Figura 9 Esfuerzos por temperatura y carga

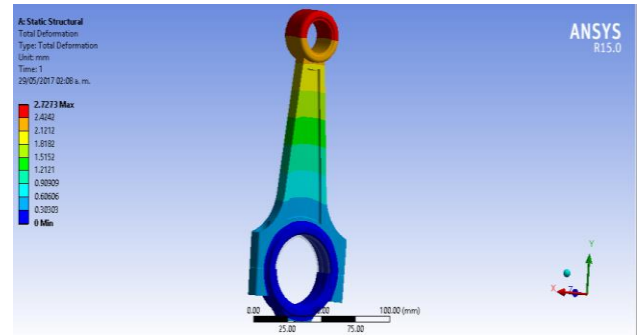


Figura 10 Deformación Total por Temperatura y carga

De acuerdo a estos resultados se infiere que al incrementar la temperatura, tanto el esfuerzo como la deformación se incrementa considerablemente, sobrepasando los valores permisibles de esfuerzo de cedencia y porcentaje de elongación.

Conclusiones

El calentamiento de un motor de combustión interna puede producir daños irremediables. Una de las partes más vulnerables es la biela, motivo por el cual se realizó un análisis termo-estático de la misma, obteniendo con ayuda del software de ansys, los máximos esfuerzos y deformaciones, resultando ser los cojinetes superiores los de mayor riesgo; ya que, durante el tiempo de combustión, la transferencia de calor se transmite directamente por conducción y radiación a lo largo de la biela.

Este análisis refleja resultados confiables para tomar decisiones y precauciones de los riesgos que puede generar el sobrecalentamiento del motor. Seguramente en algún momento hemos escuchado la frase “se me desbieló” mi auto. Simplemente se generó un incremento de temperatura considerable en el motor, que puede ser causada por un deficiente sistema de lubricación y enfriamiento. Aunque también se puede sumar algún defecto en la estructura cristalina de los materiales.

Lo importante y rescatable es seguir las recomendaciones de mantenimiento del fabricante evitando riesgos fatales que pueden extenderse a la destrucción total del motor.

Referencias

- EcuRed. (Agosto de 2017). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Sistemas_de_Lubricaci%C3%B3n_\(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna\)](https://www.ecured.cu/Sistemas_de_Lubricaci%C3%B3n_(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna))
- Emilio, G. Á. (1988). Fallas Prematuras en los Componentes de un Motor de Combustión Interna. IPN Catálogos, 94.
- Giacosa, D. (1989). Motores Endotermicos. México, México: Omega.
- Guerrero, O. (1999). El motor del automóvil. Clara. México: Servicios de Edición Mexico S.A. de C.V. Obtenido de http://go.galegroup.com/ps/i.do?p=IFME&u=p_u&id=GALE|A62683467&v=2.1&it=r&sid=su_mmon&authCount=1
- Herrera, A., García, M., Quintana, R., & Acevedo, M. (Abril - Junio de 2001). Recuperación de árboles cigüeñales de motores de combustión interna. Centro Azúcar, 28(2), 27-32. Obtenido de http://go.galegroup.com/ps/i.do?p=IFME&u=p_u&id=GALE|A146742423&v=2.1&it=r&sid=su_mmon&authCount=1
- Julian, J. F. (1988). Funcionamiento y Mantenimiento de Motores de Combustión Interna Automotriz. IPN Catálogo, 212.
- Palacios, J. (05 de Abril de 2017). El sector del automóvil y la producción agraria: las luces y sombras del TLCAN en México. (E. ecoprensa, Editor) Obtenido de Economíahoy.mx: <http://www.economiahoy.mx/economia-eAm-mexico/noticias/8273853/04/17/El-sector-automotriz-y-la-produccion-agraria-las-luces-y-sombras-del-TLCAN-en-Mexico.html>
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2014). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de MAteriales (Quinta ed.). (G. Nagore, Trad.) Distrito Federal, México: Mc Graw Hill.
- UltimateSPECS. (2017). Obtenido de <https://www.ultimatespecs.com/es/car-specs/BMW/1495/BMW-E30-3-Series-316i.html>
- Yunus A, C. (2015). Termodinámica (Octava ed.). (S. S. Virgilio González y Pozo, Trad.) México: Mc Graw Hill.

Análisis termo-hidráulico del sistema de refrigeración tipo ONAN para un transformador de 5MVA utilizando CFD

GOMEZ-MERCADO, Abdiel†*, HERNÁNDEZ-GARCÍA, Juan Abdel, PIÑÓN-GARCÍA, Óscar, y RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino

Instituto Tecnológico de Pachuca

Recibido 19 Octubre 2017; Aceptado 4 Noviembre, 2017

Resumen

Se presenta un estudio de la capacidad térmica y de flujo del sistema de refrigeración tipo ONAN de un transformador de 5MVA utilizando CFD. La simulación se llevó a cabo con ayuda del software FLUENT ANSYS17© con el propósito de caracterizar el comportamiento del fluido dentro del sistema, utilizando un modelo numérico (3D) modificado, en el cual se realizaron simplificaciones para reducir costos computacionales. El modelo principal se elaboró en el software SolidWorks 2016© y posteriormente se exportó al módulo Desing Modeler de ANSYS©, en donde se efectuó un seccionamiento obteniendo 88 cuerpos, con el fin de lograr un mallado estructurado. Las condiciones para el análisis fueron: estado estable, flujo laminar, velocidad de 0.03 m/s, temperatura constante a la entrada del fluido, solo se tomó en cuenta la transferencia de calor por convección y propiedades del aceite mineral en función de la temperatura. Se logró obtener una aproximación de 5 grados de diferencia contra la temperatura a la salida, medida en el prueba de temperatura. Los resultados de este trabajo aportan datos suficientes para la toma de decisiones sobre la disminución de elementos convectivos en el transformador, sin comprometer la función del sistema, abatiendo así los costos de producción.

Sistemas de refrigeración, transformadores eléctricos, convección natural, simulación

Abstract

A study of the thermal and flow capacity of the ONAN type cooling system of a 5MVA transformer using CFD is presented. The simulation was carried out with the help of software FLUENT ANSYS17 © for the purpose of characterizing the behavior of the fluid inside the system, using a modified numerical model (3D), in which simplifications were made to reduce computational costs. The main model was elaborated in the software SolidWorks 2016 © and later it was exported to the Desing Modeler module of ANSYS ©, where a sectioning was made obtaining 88 bodies, in order to achieve a structured mesh. The conditions for the analysis were steady state, laminar flow, velocity of 0.03 m/s, constant temperature at the inlet of the fluid, only the transfer of heat by convection and mineral oil properties was taken into account as a function of temperature. It was possible to obtain an approximation of 5 degrees of difference against the temperature at the exit, as measured in the temperature test. The results of this work provide sufficient data for decision making on the decrease of convective elements in the transformer, without compromising the function of the system, thus reducing production costs.

Cooling systems, electric transformers, natural convection, simulation

Citación: GOMEZ-MERCADO, Abdiel, HERNÁNDEZ-GARCÍA, Juan Abdel, PIÑÓN-GARCÍA, Óscar, y RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino. Análisis termo-hidráulico del sistema de refrigeración tipo ONAN para un transformador de 5MVA utilizando CFD. Revista de Ingeniería Mecánica. 2017. 1-4: 34-42.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: agmerca63@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los transformadores forman parte vital del suministro de la red eléctrica, son los encargados de convertir la energía eléctrica, otra de sus aplicaciones es en el sector industrial efectuando la transformación eléctrica a valores específicos necesarios para el funcionamiento de equipos empleados en procesos. Durante el cambio que se efectúa en la energía se genera una pérdida, esta pérdida cambia su naturaleza de energía eléctrica a térmica.

Al recibir la carga las partes activas comienzan a calentarse y esto lleva a un incremento de temperatura dentro del transformador. Los transformadores en su gran mayoría están inmersos en aceite mineral este tiene dos propósitos importantes, el primero es mantener las partes activas aisladas y la segunda es proporcionar un medio por el cual disipar calor, las características del transformador determinara el tipo de refrigeración.

Los transformadores de potencia están equipados con radiadores, su objetivo es proveer superficie de transferencia de calor y suministrar refrigeración necesaria. Los radiadores son intercambiadores de calor de placas de acero se instalan junto a los transformadores. Y cada sección consta de siete canales para el paso del aceite (Anishek et al., 2016).

Uno de los valores de gran relevancia es el punto de mayor temperatura (*Hot-Spot*) este limita la carga del transformador. Para efectuar un control sobre la temperatura del *Hot-Spot* y mantenerlo dentro de los valores normados se realiza por medio del sistema de refrigeración.

Los sistemas mayormente empleados son los de flujo no inducido (ONAN, Oil Natural-Air Natural), recibe esta denominación ya que el flujo del aceite tiene lugar gracias al fenómeno físico llamado termosifón o tiro termico, en otras palabras, las propiedades del aceite son sensibles a los cambios de temperatura una de las propiedades afectadas por este cambio; es la densidad, esta decae con el incremento de temperatura y aumenta con el descenso de temperatura, debido a estas diferencias en la densidad, el fluido con mayor densidad desplaza al de menor lo que provoca el flujo del aceite. El aceite se mantiene constante movimiento realizando un ciclo, calentándose al estar en contacto con las partes activas en el interior del transformador y enfriándose al pasar por los radiadores situados en la parte exterior del transformador disipando energía térmica hacia el medio ambiente.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja (Çengel, 2011).

El mecanismo que predomina en los transformadores es la convección, es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.(Çengel, 2011)

El 80-90% de las pérdidas de energía térmica en un transformador se lleva a través de los radiadores y este a su vez la transfiere al aire del medio ambiente por medio de convección y radiación. La transferencia de calor por radiación no influye considerablemente en el sistema por esto no la consideraron en el cálculo (Kim et al., 2013).

El fluido (aceite) en los transformadores refrigerados por aceite, desplaza hacia la parte de arriba y transfiere su calor a la temperatura exterior a través del tanque y los radiadores. El aceite con mayor temperatura es reemplazado por el aceite más frío desde el fondo, y así se produce la circulación continua del aceite (Kulkarni & Khaparde, 2004).

Los análisis numéricos y basados en computacionales en dinámica de fluidos (CFD) son usualmente posibles, se aplican comúnmente, para geometrías complejas. Sin embargo, ciertos aspectos deben especificarse por medios empíricos. Los problemas de convección libre se pueden dividir en tres categorías (Ghiaasiaan, 2011):

1. Externo (es decir, convección libre sobre cuerpos sumergidos).
2. Interna (convección libre en espacio confinado).
3. Circulación natural.

Una ineficiente disipación de calor provocaría un aumento significativo en la temperatura, esto tendría como consecuencia que decaigan las propiedades aislantes del fluido, las consecuencias lógicas son: la reducción de la vida útil del transformador, mal funcionamiento y la disminución en la calidad del aceite, es decir, el aceite se descompone en sustancias inflamables lo que llevaría a un percance.

Por lo anterior, es de suma importancia contar con herramientas de mayor precisión que permitan el cálculo de estas temperaturas.

Los métodos existentes para la estimación de estas temperaturas se realizan por medio de expresiones establecidas en normas, otro de los elementos de aproximación mayormente empleados por los fabricantes son factores o expresiones empíricas.

Para los diseñadores de transformadores es complicado estimar la capacidad térmica adecuadamente o exacta debido a que existe una incertidumbre orillándolos a sobre dimensionar el sistema de refrigeración lo que conduce a un sobre dimensionamiento en el sistema de refrigeración, lo cual tiene una implicación económica fuerte.

La presente investigación se realizó gracias a una vinculación con la empresa *Voltran, WEG Group*. en conjunción con el Tecnológico de Pachuca. La cual tiene como objetivo principal determinar la cantidad de energía disipada, perfiles de temperatura y el comportamiento del flujo usando como referencia los vectores de velocidades con el fin de contar con mayor información que permitan estimar la capacidad térmica de los radiadores de una forma mas acertada, estrechar la incertidumbre que existe entre los valores experimentales y los teóricos, apoyándonos de técnicas numéricas (CFD).

En el proceso de simulación se utilizaron dos softwares, el primero se empleo un software de diseño asistido por computadora (CAD) para la construcción del modelo físico y el segundo para efectuar la simulación numérica (Fluent, ANSYS 17[®]), algunas escalas y valores fueron omitidas debido a la existencia de un documento de confidencialidad

Descripción del sistema físico

El análisis numérico se desarrolló en un transformador de potencia trifásico con capacidad de 5MVA con una disposición en el devanado de alta tensión de 115 kW y 34.5 kW en el devanado de baja tensión (Figura 1).

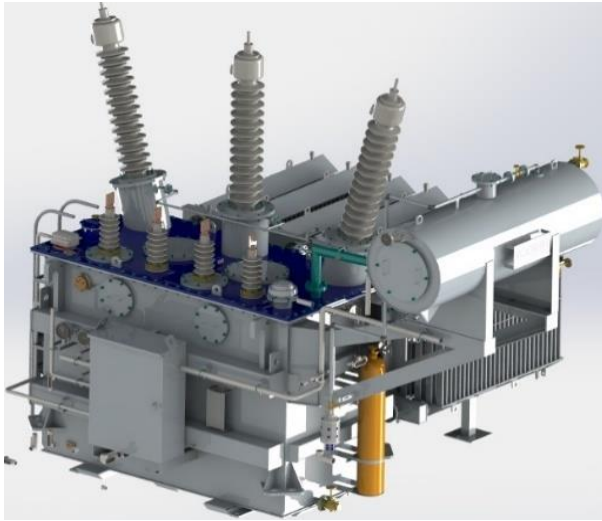


Figura 1 Modelo de transformador completo en SolidWorks 2016 (Group WEG)

El sistema de refrigeración es de tipo ONAN y tiene una configuración en bancos de radiadores (Figura 2).

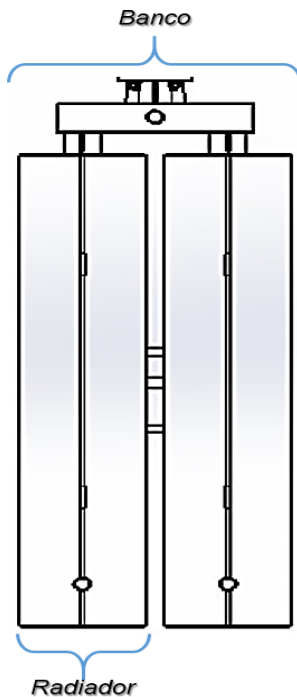


Figura 2 Vista superior sistema completo de refrigeración

Cada radiador esta compuesto por un conjunto de tubos por los cuales fluye el aceite, atreves de estos se da la tranferencia de calor y en consecuencia la temperatura del aceite desiendo para entrar de nuevo al transformador, los comportamientos de los flujos del aceite y el aire se muestran en la Figura 3.

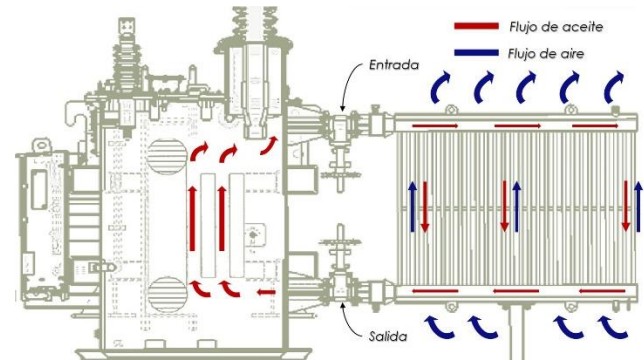


Figura 3 Comportamiento del flujo de fluidos

Metodologia

WEG Group somete a cada transformador a un test de funcionamiento con el fin de garantizar que los equipos estén trabajando dentro de los valores normados y seguros. Los parámetros medidos en el test es la temperatura; el valor relevante es la temperatura en la entrada del colector superior.

Una de las simplificaciones importantes que se realizaron para la elaboración del modelo fue el cambio de la sección transversal, se calcula una geometría equivalente (rectangulo), en secciones posteriores se evidenciará mas claramente la razón de lo anteriores.

Al conservar la configuración geométrica origina, habría implicado un gasto computacional adicional y compromete el cierto grado la solución.

Modelo Físico

En la construcción del modelo 3D se considera únicamente el volumen del aceite contenido en los tubos que integran a un radiador.

Modelo 3D físico

La geometría equivalente se utilizó como punto de partida; como primer paso se elaboró el esquema correspondiente a los cuerpos de los tubos y los colectores, obteniendo un modelo tridimensional en el software *Solid Works 2016* como se puede observar en la Figura 4.

Se modifica el formato del modelo elaborado en parasólido y se exporta a *Desing-Modeler (ANSYS 17)*, y así preparar el modelo 3D para la siguiente etapa que es el mallado. El cambio que se efectúa es una división al cuerpo del fluido que genera múltiples cuerpos; de manera paralela se efectúa una división de caras.



Figura 4 Modelo 3D base

Mallado

Se entiende como mallado a la partición de un volumen mayor en elementos pequeños de análisis, lo que se conoce como volúmenes de control. En el módulo del mallador (*Meshing-Fluent, Ansys 17*) se declarará que el modelo es totalmente un fluido. La división del volumen completo tuvo como propósito lograr un mallado estructurado e híbrido, mejorando su calidad; esta característica tiene un impacto fuerte sobre la solución numérica.

Se asignaron valores para dimensionar los elementos localizados en los tubos, en los tres ejes cartesianos, en el eje $x = 7$ mm, $y = 7.5$ mm y $z = 5$ mm y en los cuerpos de los colectores se asigna un valor de volumen de elemento de 8 mm, el conjunto de todo lo anterior da como resultado una malla de 1 009 710 elementos (Figura 5).

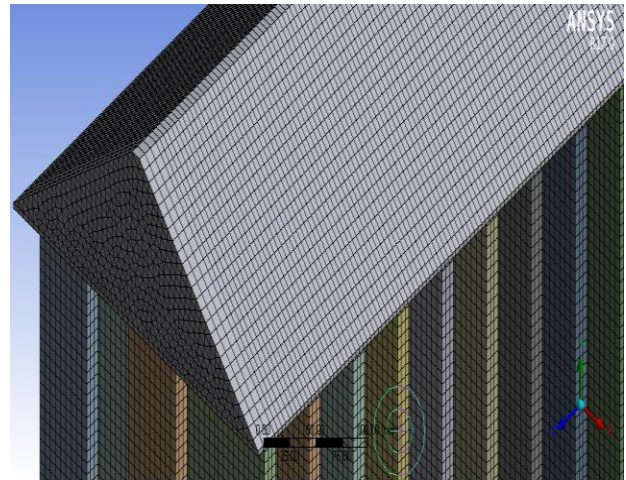


Figura 5 Apariencia malla completa

Ecuaciones de Gobierno

Las ecuaciones de gobierno de fluido que se consideraron para caracterizar el flujo del aceite mineral fueron la ecuación de momento de masa y energía, en estado estacionario del fluido (Campos et al., 2016):

$$\nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho U \times U) = -\nabla p + \mu(\nabla^2 U) + \rho g \beta(\Delta T) \quad (2)$$

Aproximación de Boussinesq.

Debe considerarse la diferencia de densidad

$$\rho - \rho_{\infty} \quad (3)$$

Por ser la diferencia entre el interior y el exterior de la capa límite la que da origen a la fuerza de flotabilidad y mantiene el flujo (Çengel, 2011).

Solución

Para la simulación se consideraron los efectos ejercido por la gravedad y se determinaron las condiciones de frontera:

- Todas las establecieron como paredes convectivas con un coeficiente de $2.95 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$.
- Temperatura del medio ambiente a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Temperatura de entrada constante.
- Se considera una presión de 0 kPa en la salida del flujo.

Suposiciones:

- Estado estable.
- Fluido incompresible
- Flujo Laminar

Propiedades de materiales

Las propiedades del aceite varían con respecto a la temperatura por lo que se requiere funciones que permitan describir este comportamiento (Tsili et al., 2012).

Densidad (kg/m^3):

$$\rho = 1098.72 - 0.712 T \quad (4)$$

Calor específico ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$):

$$C_p = 807.163 + 3.58 T \quad (5)$$

Conductividad térmica ($\text{W/m} \cdot \text{K}$):

$$k = 0.1509 - 7.101 \times 10^{-5} T \quad (6)$$

Viscosidad ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$):

$$\mu = 0.08467 - 4.0 \times 10^{-4} T + 5 \times 10^{-7} T^2 \quad (7)$$

Las propiedades del acero estructural se consideran como constantes (Makeitfrom, 2009) y se muestran en la Tabla 1.

Densidad	7900 (kg/m^3)
Calor específico	480 ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)
Conductividad térmica [$\text{W/m} \cdot \text{k}$]	50 ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)

Tabla 1 Propiedades físicas del acero estructural

Resultados

Los resultados que a continuación se muestran son producto de una simulación compuesta de 6000 iteraciones que demoró alrededor de 4.5 hrs. Se presentan los contornos de temperatura en el radiador en toda la extensión (Figura 6), con un flujo volumétrico de $1.191 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, la máxima diferencia obtenida entre la temperatura de entrada y salida es de $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

La temperatura obtenida se encuentra $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por encima de la prueba de laboratorio realizado por la empresa Voltran, WEG Group.

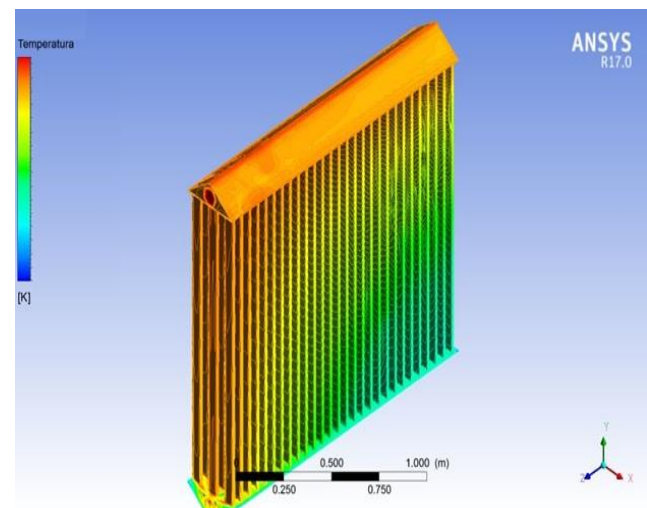


Figura 6 Contorno de temperaturas global

GOMEZ-MERCADO, Abdiel, HERNÁNDEZ-GARCÍA, Juan Abdel, PIÑÓN-GARCÍA, Óscar, y RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino. Análisis termohidráulico del sistema de refrigeración tipo ONAN para un transformador de 5MVA utilizando CFD. Revista de Ingeniería Mecánica. 2017.

La temperatura y la velocidad están estrechamente relacionadas. Debido al cambio de densidad, se consideró prudente ver el comportamiento de velocidad en la entrada y salida del sistema.

En la Figura 7 se puede observar las zonas de concentración de vectores con mayor magnitud, haciendo una comparación con el contorno de temperatura, refiere a los puntos de mayor temperatura.

La cantidad de flujo de calor que disipa este sistema es de gran importancia para hacer una evaluación sobre la capacidad del sistema de refrigeración, que va desde un rango de 2 hasta 86.77 W/m² (Figura 8). El signo negativo se debe a que se trata de flujos de calor que salen del sistema.

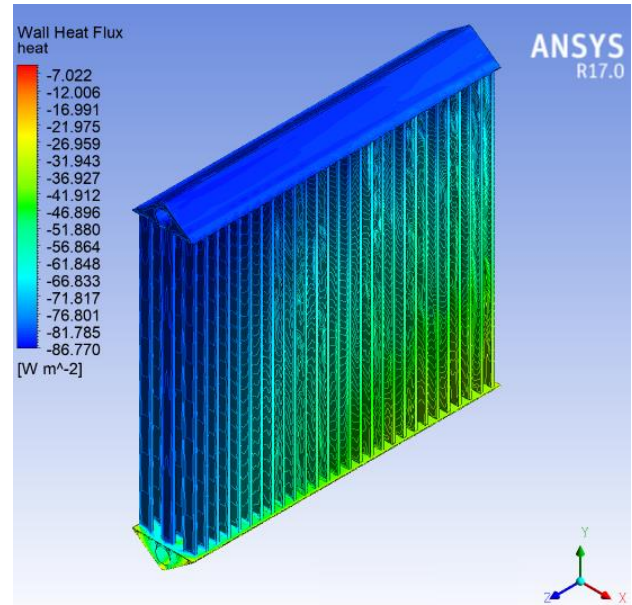


Figura 8 Contornos del Flujo de calor a través de la Superficie

El porcentaje de error entre los valores reales medido y la simulación realizada, representa aproximadamente el 12.5 %.

Este error se atribuye directamente al cambio que sufrió el modelo en los ductos verticales de refrigeración. Otra de las razones de esta variación es debido a los cambios que sufren las propiedades del aire y que como sabemos impacta directamente en la transferencia de calor, siendo más específico en el coeficiente convectivo de calor.

Conclusiones

Con el estudio numérico realizado se pudo calcular la capacidad térmica de refrigeración en un intercambiador de calor donde el mecanismo de transferencia de calor predominante es la convección natural (ONAN) utilizado en transformadores inmersos en aceite mineral.

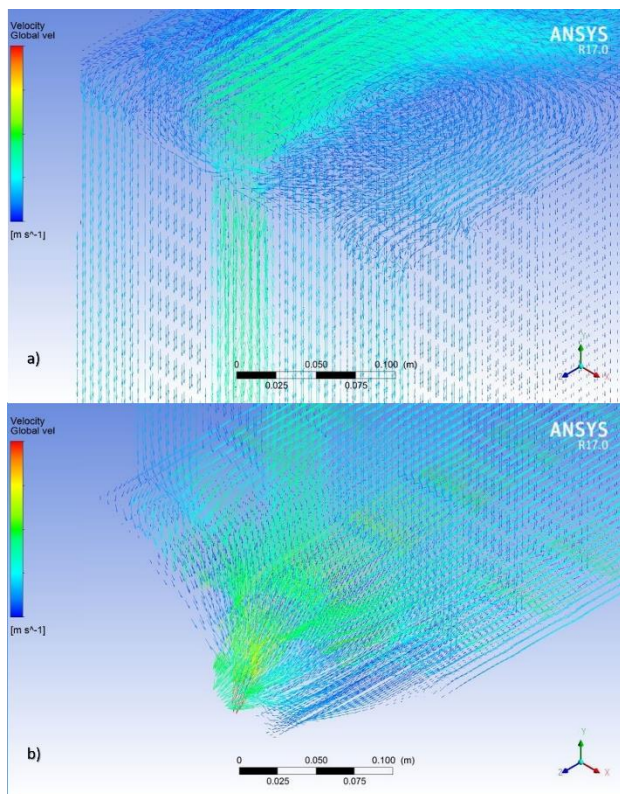


Figura 7 Vectores de velocidad a) Zona de Entrada, b) Zona de Salida

El principal propósito de esta investigación fue aproximar las temperaturas presentes en este sistema y comparándolos con valores medidos en una prueba de temperatura y evaluar las velocidades desarrolladas, de la misma forma observar el comportamiento del flujo. El descenso en la temperatura está directamente relacionada con los campos de velocidad.

La aproximación obtenida en la temperatura con este análisis fue con un 12.5 % de error con un flujo volumétrico propuesto de $1.191 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ y una capacidad de disipación de $7.002 \pm 86.77 \text{ W}/\text{m}^2$. Todos los valores antes mencionados se espera que sean usados como parámetros que influyan de forma importante en la mejora del diseño, con la consecuente disminución en los costos de fabricación.

Los resultados que aquí se presentan establecen un referente. Si bien estos valores son importantes y valiosos, es posible reducir el grado de error con respecto a los reales. Existen algunos factores que impactan en buena manera los resultados de la simulación numérica; uno de ellos es la densidad de malla, por lo que se propone que para trabajos futuros se aumente considerablemente el número de elementos de de la misma.

Otro factor que influye sobre este tipo de análisis es el coeficiente convectivo de transferencia de calor. ANSYS Fluent 17® cuenta con herramientas que permite variar las condiciones del problema para la obtención de dicho coeficiente y realizar así, un cálculo más preciso.

Referencias

- Anishek, S., Sony, R., Jayadeep Kumar, J., & Kamath, P. M. (2016). Performance Analysis and Optimisation of an Oil Natural Air Natural Power Transformer Radiator. *Procedia Technology*, 24, 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.059>
- Campos, R. T., Rodríguez, W. V., & Luis, J. (2016). Thermal simulation of the Effect of Windings Arrangement in a Cooled Power Transformer, *II*(May), 36–48.
- Çengel, A. J. G. (2011). *Transferenciade calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*. (McGraw-Hill/Interamericana Editores, Ed.) (4ta. Ed).
- Ghiaasiaan, S. M. (2011). *Convective heat and mass transfer*. (Cambridge University Press, Ed.) (1ra Ed.). Retrieved from www.cambridge.org
- Kim, M. G., Cho, S. M., & Kim, J. K. (2013). Prediction and evaluation of the cooling performance of radiators used in oil-filled power transformer applications with non-direct and direct-oil-forced flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44, 392–397. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.07.011>
- Kulkarni, S. V., & Khaparde, S. A. (2004). *Transformer Engineering Design and Practice. Power Engineering*. Bombay Mumbai, India: MARCEL DEKKER, INC. <https://doi.org/10.1201/9780203970591>
- Makeitfrom (2009). ASTM A36 Structural Carbon Steel Physics Properties. Retrieved from <http://www.makeitfrom.com/material-properties/ASTM-A36-SS400-S275-Structural-Carbon-Steel>

Tsili, M. A., Amoiralis, E. I., Kladas, A. G., & Souflaris, A. T. (2012). Power transformer thermal analysis by using an advanced coupled 3D heat transfer and fluid flow FEM model. *International Journal of Thermal Sciences*, 53, 188–201.
<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.10.010>

Construcción de un recuperador de calor utilizando tubos termosifones bifásicos (TTB)

ANGELES-MORELOS, Alexis †*, GOMEZ-MERCADO, Abdiel, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, y SANCHEZ-SILVA, Florencio

Instituto Tecnológico de Pachuca, Instituto Politécnico Nacional

Recibido 15 Octubre, 2017; Aceptado 5 Diciembre, 2017

Resumen

En este trabajo se presenta la construcción de un intercambiador de calor compacto con base en el concepto de tubos termosifones bifásicos (TTB), el cual fue proyectado para aprovechar los gases de combustión de una caldera que opera actualmente en la clínica del ISSSTE en Pachuca Hgo., para el diseño del equipo se ocupó el Software Aspen Exchanger Desing & Raiting v8.4-AspenONE ©. Posteriormente se obtienen planos de fabricación en Solidworks ©. Auxiliándose de este Software se logró diseñar y construir un intercambiador de calor utilizando tubos termosifones bifásicos conforme a la norma TEMA (*Standars of the Tubular Exchanger Manufactures Association*). De esta manera se construyó un recuperador de calor compacto, aproximadamente 10 veces más eficiente que uno convencional, pero de menor tamaño, debido a la implementación de los tubos termosifones bifásicos. Además, el equipo diseñado tiene un menor costo de fabricación, comparado con los convencionales. Este recuperador de calor aprovecha eficientemente la energía de desecho de los gases de combustión, disminuyendo el impacto al medio ambiente causado por diversos procesos industriales.

Recuperadores de Calor, Termosifones, Flujo Bifásico, Simulación

Abstract

This work presents the construction of a compact heat exchanger based on the concept of biphasic thermosiphon tubes (TTB), which was designed to take advantage of the combustion gases of a boiler currently operating at the ISSSTE clinic in Pachuca Hgo. The Aspen Exchanger Desing & Raiting v8.4-AspenONE © Software was used to design the equipment. Subsequently, production plans are obtained at Solidworks ©. With the aid of this Software, it was possible to design and construct a heat exchanger using biphasic thermosiphon tubes conforming to the TEMA (*Standars of the Tubular Exchanger Manufactures Association*). In this way a compact heat recuperator was built, approximately 10 times more efficient than a conventional one, but of a smaller size, due to the implementation of the biphasic thermosiphon tubes. In addition, the designed equipment has a lower manufacturing cost compared to conventional ones. This heat recuperator efficiently harvests waste energy from flue gases, reducing the impact on the environment caused by various industrial processes.

Heat recovery, thermosiphones, two phase flow, simulation

Citación: ANGELES-MORELOS, Alexis, GOMEZ-MERCADO, Abdiel, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, y SANCHEZ-SILVA, Florencio. Construcción de un recuperador de calor utilizando tubos termosifones bifásicos (TTB). *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2017. 1-4: 43-51.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ixelangeles@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El incremento en la demanda energética asociado a las restricciones financieras para ampliar la oferta energética, la baja eficiencia en los procesos, el reducir el consumo de combustibles y la necesidad de atenuar el impacto ambiental de las tecnologías energéticas, fundamentan el interés en desarrollar proyectos de aprovechamiento de energías de desecho.

En muchos procesos industriales se requiere de energía térmica para la transformación de los materiales, dicha energía se obtiene de los combustibles fósiles quemados en hornos, generadores de vapor, que por lo general desechan una gran cantidad de energía al medio ambiente en forma de calor.

El aprovechamiento de tal energía disponible en los gases de escape de dichos equipos se puede utilizar mediante recuperadores de calor. Es por ello, que este trabajo describe la construcción de un recuperador de calor compacto, que permite aprovechar la energía de desecho provenientes de una caldera, la cual se encuentra operando en el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) en Pachuca, Hgo. El potencial térmico recuperado será utilizado para calentar el agua destinada para el uso de regaderas, reduciendo el gasto de vapor que actualmente ocupan para este tipo de servicio, por lo cual se optimizan los recursos y se reducen los impactos ambientales.

La innovación de este proyecto es la incorporación de tubos termosifones bifásicos (TTB) capaces de aprovechar una pequeña diferencia de temperatura para transferir energía en proporciones similares a un equipo de tamaño convencional.

Esto permite disminuir las dimensiones del intercambiador de calor, facilitando su construcción y abatir los costos inherentes.

El diseño del recuperador está sustentado mediante herramientas de software, así como los estudios ya desarrollados de los tubos termosifones bifásicos.

Desarrollo

El uso apropiado de conocimientos de transmisión de calor en el diseño de intercambiadores de calor, es un arte. El ingeniero debe ser consciente, constantemente de las diferencias entre las condiciones ideales, por y sobre las cuales se obtiene el conocimiento básico y las condiciones reales de la expresión mecánica de su diseño y su entorno. El resultado debe satisfacer los requerimientos operacionales y de proceso, tales como, disponibilidad, flexibilidad y mantenimiento, además de los económicos.

Uno de los aspectos más importantes en cualquier proceso de diseño es la consideración y la reparación de los errores de los supuestos básicos o su inclusión en el método de diseño subsiguiente, o bien el paso a diseño a ejecución o en la puesta en marcha de los equipos y del proceso. El diseño de cambiadores de calor, en las mejores condiciones no es un arte muy preciso.

A continuación, se describen las actividades desarrolladas para la construcción del intercambiador compacto utilizando tubos termosifones bifásicos diseñado mediante el software Aspen Tech y con planos de construcción de Solid Works.

Metodología

Para la construcción del recuperador de calor, inicialmente se revisó bibliográficamente la caracterización de los tubos termosifones bifásicos, en donde se consultó la geometría, parámetros y materiales de construcción, así como, también para la carcasa de dicho equipo las características fueron otorgadas por la simulación en Aspen© posteriormente se implementó la siguiente metodología:



Grafico 1 Metodología para la construcción del recuperador de calor con TTB

Construcción de TTB

Cuerpo del TTB: Material cobre de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con una longitud de 300 mm, 600 mm y 1000 mm, diámetro interior de 13.4 mm, diámetro exterior de 16.0 mm y un espesor de 1.3 mm.

Tapón inferior: Material cobre tipo L de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con una altura de 11.4 mm, diámetro interior de 16.0 mm y diámetro exterior de 17.2 mm.

Tapón Superior: Material cobre tipo L de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con una altura de 11.4 mm, diámetro exterior de 17.2 mm y un diámetro del orificio concéntrico de 6.5 mm.

Mecha: Material cobre tipo L de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, con una longitud de 120 mm, diámetro interior de 5 mm, diámetro exterior de 6.5 mm.

Válvula de carga: Material bronce de $\frac{1}{4}$ " de diámetro. Válvula Schrader con tapa.

Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo se elige agua destilada debido a que esta es la misma sustancia utilizada para la caracterización previa. [4]

Ensamble

Una vez que se cuenta con todos los elementos que componen el TTB se procederá a su ensamble, como lo muestran la Figura 1. Como primer paso se ensambla y se suelda la mecha con el tapón superior de orificio concéntrico.



Figura 1 Pre ensamble de tubos

A continuación, se ensambla y se suelda este nuevo elemento con el cuerpo del TTB, para concluir con el ensamble del tapón inferior el cual se suelda igualmente al cuerpo del TTB. El material de la soldadura 1, 2 y 3 es estaño (punto de fusión 210°C); debe verificarse que cada una de estas soldaduras queden exentas de algún poro, ya que, si se presentan porosidades debido a la aplicación de la soldadura, no se podría realizar el vacío y en consecuencia el tubo no funcionaría. (Figura 2) [4].

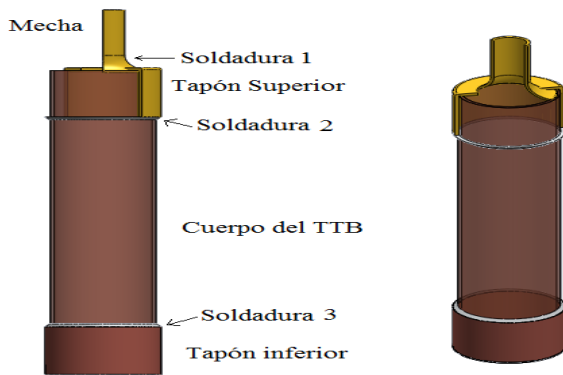


Figura 2 Ensamble de TTB

Para el caso de este proyecto la soldadura se cambió por plata al 35%, debido a que los tubos se someterán a temperaturas más altas a las previstas en estudios previos, además de que se colocó una válvula para facilitar la generación de vacío y carga del fluido de trabajo. (Figura 3).



Figura 3 Ensamble de TTB

Llenado: Para el llenado se tomó como referencia la caracterización previa de los TTB Tubos de ½” de diámetro tenemos lo siguiente:

$$\pi = 3.1416$$

$$D = 1.34 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

Vt = Volumen Total del Tubo

Vf = Volumen del Fluido

Ψ = Porcentaje de llenado

$$Vt = 3.1416 * (0.67 \text{ cm})^2 * (30 \text{ cm}) \tag{1}$$

$$Vt = 42.3078 \text{ cm}^3$$

$$Vf = Vt * \Psi \tag{2}$$

$$Vf = 42.3078 \text{ cm}^3 (0.17) = 7.1923 \text{ cm}^3$$

Presión de vacío: La presión de vacío generada es la recomendable en estudios anteriores, a 23 in Hg, y esta se genera con una bomba de vacío.

Construcción de Espejo

El trazado y corte del espejo se efectuó conforme a planos de fabricación, obtenidos de Solid Works ANEXO 1, (Figura 4)



Figura 4 Trazado, corte y pulido del espejo

Construcción de la Coraza

La construcción de la carcasa se dimensionó conforme a los planos de fabricación de Aspen Tech. Para poder fijar el haz de tubos, la coraza se fabricó en dos partes, se cortan y pulen ambas, posteriormente se barrenan, tres salidas, salida de gases de combustión, entrada de agua fría y salida de agua caliente. (Figura 5).



Figura 5 Carcasa

Ensamble del Recuperador de Calor

El ensamble del intercambiador se realizó de la siguiente manera:

- Una vez sellados los tubos termosifones, se fijan al espejo, para posteriormente hacer el vacío en cada uno de los tubos.
- Listo el haz de tubos se procede a fijarlo en la parte inferior de la carcasa y se le realiza una prueba hidrostática para verificación de fugas en el haz de tubos. (Figura 6).



Figura 6 Ensamble de recuperador de calor con TTB

Tipos de soldadura empleados

- La tapa de la carcasa se soldó con MIG (estaño)
- La unión de la carcasa con MIG (estaño)
- La unión de espejo y tubos de cobre con plata al 35%
- Los tapones y mechas para los TTB con plata al 35%
- Los coples para entrada y salida de agua y salida de gases con arco. (estaño)

Resultados

Con la previa simulación en Aspen Exchanger Design & Rating v8.4, Aspen © y basándose en estudios ya desarrollados se obtuvieron las características mostradas en la Tabla 1:

Característica	Dimensión /especificación
Longitud coraza	450 mm
Longitud tubos	300 mm
Diámetro coraza	100 mm
Diámetro exterior tubos	15.9 mm
Numero de tubos	10
Arreglo de tubos	Triangular
Material de construcción	Acero al carbón, cobre
Transferencia de calor	2.8 Kw
Clasificación TEMA	C-BEM

Tabla 1 Datos de Diseño Intercambiador con 10 TTB en cobre y carcasa de acero al carbón

Además, se obtuvo la Hoja Tema que se muestra en el Anexo 2.El simulador empleado no permite la manipulación de los planos de fabricación y para facilitar la comprensión de los mismos se hizo uso de Solid Works, un software de diseño que permite dibujar y realizar acercamientos necesarios, para posteriormente imprimir como planos de fabricación, tales que se observan en el Anexo 3

Para poder hacer la verificación del equipo, se utilizó agua caliente para sustituir los gases de combustión. Se sumergió la parte que estará en contacto con dichos gases como se observa en la (Figura 7).



Figura 7 Prueba de verificación

Se monitoreo la temperatura del agua que se simula los gases de combustión (agua en el recipiente fuera del recuperador de calor y en contacto con los TTB en la parte inferior) y la temperatura del flujo de agua interno (agua que pasa por el interior superior del equipo) cabe mencionar que los fluidos que pasan por la parte superior e inferior se encuentran perfectamente separados mediante el espejo del dispositivo.El Grafico 2 muestra la temperatura exterior e interior al paso del tiempo.

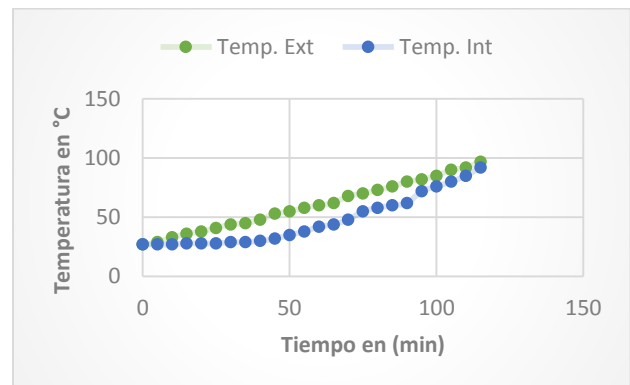


Grafico 2 Temperaturas vs Tiempo del recuperador de calor compacto utilizando TTB

Además de la prueba anterior se, realizó otra:

- Consistió en mantener constante el agua exterior.
- Posteriormente sumergir el intercambiador.
- Llenarlo de la parte superior con agua a temperatura Ambiente.

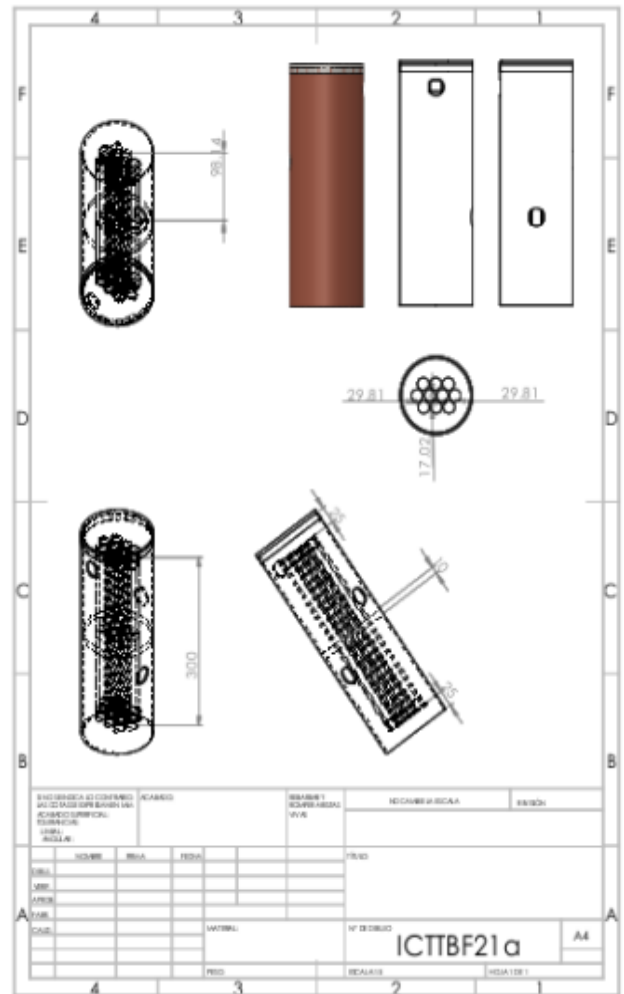
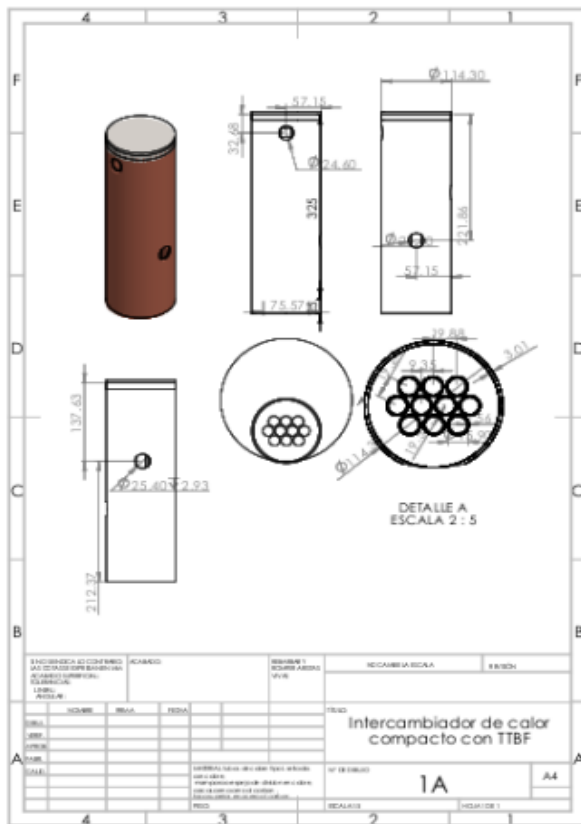
Y estas son las temperaturas obtenidas:

- Temp. Agua exterior inicial = 77 °C
- Temp. Agua exterior final = 68 °C
- Temp. Agua interior inicial = 28 °C
- Temp. Agua interior final = 48 °C

@ 12 min temperaturas constantes.

Anexos

Anexo 1 Planos de fabricación



Anexo 2 Hoja Tema

Conclusiones y Recomendaciones

Heat Exchanger Specification Sheet					
1 DISEÑO DE UN RECUPERADOR DE CALOR					
2					
3					
4					
5					
6 Size	254-300	mm	Type: RFM	View Connected in 1 parallel 1 series	
7 Surface (shell)	0.1	m ²	Shell/Alph 1	Shell/shell(shell)	
8 PERFORMANCE OF ONE UNIT					
9 Fluid allocation		Shell Side		Tube Side	
10 Fluid name	GASES		AGUA		
11 Fluid quantity, Total	0.05		1.5652		
12 Vapor (In/Out)	kg/s	0.05	0	0	
13 Liquid	kg/s	0	1.5652	1.5652	
14 Noncondensable	kg/s	0	0	0	
15					
16 Temperature (In/Out)	°C	100	85.99	24.51 / 67.61	
17 Dew / Bubble point	°C			67.61 / 67.61	
18 Density	Vapor/Liquid	kg/m ³	0.69 / 0.92	/ 999.34 / 999.32	
19 Viscosity		mPa.s	0.0202 / 0.0197	/ 0.9061 / 0.9067	
20 Molecular wt. Vap.			27.2		
21 Molecular wt. MC					
22 Specific heat		kJ/kg.K	1.126 / 1.121	/ 4.192 / 4.192	
23 Thermal conductivity		W/m.K	0.0288 / 0.028	/ 0.5988 / 0.5989	
24 Latent heat		kJ/kg			
25 Pressure (abs)		bar	1.01325	1.00794 / 0.47817 / 0.08889	
26 Velocity		m/s	4.52	0.12	
27 Pressure drop, allow./calc.		bar	0.06885	0.00531 / 0.25166 / 0.38128	
28 Fouling resistance (min)		m ² .K/W	0	0 / 0 / 0.00000	
29 Heat exchanger	2.8	kW		MTD connected 32.04 °C	
30 Transfer rate Service	96.4	Duty	96.4	Clean 96.4	
31 CONSTRUCTION OF ONE SHELL					
32 Design pressure (maximum)		Shell Side	Tube Side	Sketch	
33 Design temperature	144.700	°C	101.267		
34 Design thickness	132.76	mm	132.76		
35 Number passes (per shell)	1		1		
36 Corrosion allowance	1.00	mm	0		
37 Connections	In	303.72	15.8		
38 Sealing	Cut	30.5	77.93		
39 ID	Hexaculute				
40 Tube No.	10	Ø 19.0	1.25		mm Length 300 mm Pitch 19.05 mm
41 Tube type	Fin				Tube pattern 30
42 Shell	Carbon steel	10.250	Ø 254.00		Shell cover Channel cover
43 Channel or baffle	Carbon steel			Channel cover	
44 Tube sheet material	Copper			Tube sheet-bonding	
45 Flange head				Employment protection	
46 Bolt circle	2.275 (IM cover)	Type: Single segment	Size (in)	4.512 M. Spacing (in)	
47 Bolt circle		Shell side		Tube side	
48 Spacing tube	U bend	0	Type	118.54 mm	
49 Bypass port			Tube offset (mm)	Exp. 2.00	
50 Expansion joint			Exp. 1.00		
51 Thermal expansion	2	Bundled expansion	2	Bundled offset 190	
52 Bundled offset		Tube side		IM Head jacket tube	
53 Flange head					
54 Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class	E - carbon steel	
55 Weight (shell)	174.3	kg	Weight (tube)	10.3	
56 Finishes					
57					
58					

Los resultados de la simulación del intercambiador compacto utilizando tubos termosifones bifásicos son satisfactorios comparado con un intercambiador convencional, el cual de igual manera fue simulado en el mismo software y con mismas condiciones de operación, pero con la variante de que no se usaron tubos termosifones bifásicos, se indicó el diseño de un equipo convencional de tubos y coraza; la Tabla 2 muestra el comparativo en dimensiones y eficiencia. [10].

	Intercambiador convencional	Intercambiador con TTB
Característica		
Longitud coraza	450 mm	450 mm
Longitud tubos	300 mm	300 mm
Diámetro coraza	348 mm	100 mm
Diámetro exterior tubos	15.9 mm	15.9 mm
Numero de tubos	93	9
Arreglo de tubos	Triangular	Triangular
Material de construcción	Cobre comercial	Cobre comercial
Transferencia de calor	0.5 Kw	2.5 Kw
Clasificación TEMA	C-BEM	C-BEM

Agradecimientos

Se agradece a Conacyt por la beca para desarrollar dentro del programa de posgrado este trabajo y a la colaboración del ISSSTE del estado de Hidalgo.

Tabla 2 Comparación entre un intercambia convencional y uno con TTB

Fue lo anterior la base para la construcción del recuperador de calor compacto con TTB. Se obtuvo un equipo conforme a las Normas TEMA, que superó las expectativas de eficiencia simuladas, pues la temperatura máxima alcanzada en flujo a calentar era de 35°C y realmente se alcanzó una temperatura de 48 °C. Un tubo termosifón común tiene la capacidad de transferir alrededor de diez veces el calor que transporta una varilla de cobre convencional de las mismas dimensiones [5].

En general las dimensiones del intercambiador con TTB son menores a las de un equipo convencional. Logrando aprovechar los gases de escape de una caldera con bajo flujo y 100°C de temperatura de salida, pero con el suficiente poder calorífico para emplear tubos termosifones y disminuir su impacto ambiental.

El recuperador permitirá aprovechar los gases de combustión de casi cualquier equipo que genere energías de desecho producto de la quema de combustibles, generando una disminución en gasto de combustible empleado para la generación de energía térmica, además de ser un equipo de menor tamaño comparado con los recuperadores de calor actuales, más seguro debido a que está libre de partes móviles, fácil instalación y menor costo de construcción, cabe mencionar que los gases de combustión son contaminantes debido al alto potencial contenido desechado a la atmosfera y con la implementación de este equipo ese impacto se reduce.

Se recomienda probar con otros arreglos de tubos, con mayor flujo de gases de escape, el ISSSTE cuenta con cuatro unidades generadoras de vapor y se podrían captar todos los gases de combustión. También se puede simular con otros materiales de construcción, e introducir datos actualizados de costo y obtener un análisis económico.

Referencias

- [1] Kern Q. Donald, Procesos de transferencia de calor, trigésima primera reimpresión, Continental, Reg. Núm. 43, ISBN 9682610400, Pag. 169,1999.
- [2] Gómez Mercado A., Padilla Sánchez S., Caracterización Análisis experimental de un tubo termosifón bifásico. XVIII Congreso Internacional de la SOMIM, Salamanca Gto., 19 al 21 de septiembre 2012
- [3] Salvi Giuliano, La combustión Teoría y Aplicaciones, Dossat ISBN 9788423704255, pag. 282,1975.
- [4] Gómez Mercado A., Diaz Flores J.A. Estudio analítico- experimental de operación de un tubo termosifón bifásico TTB. XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. San Luis Potosí, SLP del 21 al 23 de septiembre, 2011.
- [5] Álvarez Morales, Alejandro., Investigación experimental para la determinación de fluido interno en termosifones bifásicos, IPN, Tesis de Maestría, D. F., Julio 2009.
- [6] Ye. Pysmennyy1, A. Gershuni1, G. Polupan, F. Sánchez-Silva, I. Carvajal Mariscal, E. L. Ayala-Tapia. Desarrollo de recuperadores de energía de gases de escape de calderas basados en elementos bifásicos. 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Cusco, 23 al 25 de octubre de 2007. octubre de 2007.
- [7] Robert H. Perry. “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”. 7th Edition, Mc Graw-Hill 1999. ISBN 0-07-049841-5. “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”. 7th Edition, Mc Graw-Hill 1999. ISBN 0-07-049841-5.
- [8] Yunus A. Çengel, Michael A. Boles “Termodinámica”. Sexta edición, Mc Graw Hill. ISBN 978-970-10-7286-8.
- [9] Iglesias O., Carmen N. Paniagua “Conceptos Básicos de Simulación de Procesos en simuladores modulares” 1ª. Edición, Universidad Nacional De La Plata, 2013, ISBN-978950341000-4, pag.130-135.
- [10] Gómez Mercado A., Angeles Morelos A., Caracterización de un Recuperador de Calor con tubos termosifones bifásicos mediante ASPEN . XXII Congreso Internacional de la SOMIM, Mérida Yucatán., 27 al 29 de septiembre 2016.

Instrucciones para autores

[Título en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman
y Negritas No.11**

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Título del Paper.
Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para autores

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

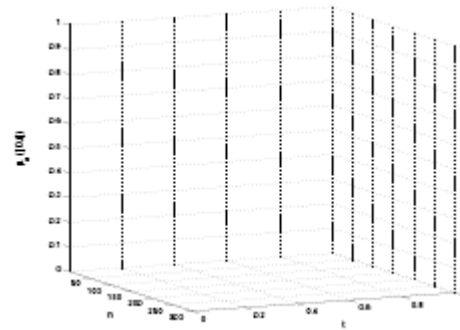


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

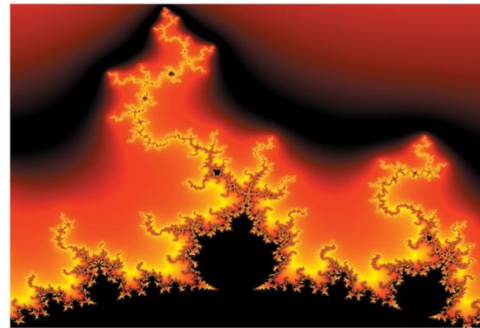


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Instrucciones para autores

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

Ficha Técnica

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Formato de Originalidad



Madrid, España a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Madrid, España a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-España a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-España to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Ingeniería Mecánica

“Análisis de un generador horizontal de un sistema de refrigeración solar por absorción”

SÁNCHEZ, Juan , RESÉNDIZ, Celerino, RODRÍGUEZ, Mario y RIVERA, Wilfrido

“Análisis y simulación de frecuencia del sistema de suspensión McPherson para un vehículo automotor”

GOMEZ-MERCADO, Abdiel & GUADARRAMA-MARTINEZ, Emmanuel

Instituto Tecnológico de Pachuca

“Diseño de un prototipo de antebrazo basado en la técnica de procesamiento digital de imagen”

GARCIA-GOMEZ, Roberto Carlos, BUENO-LÓPEZ, Moisés, VALENCIA SANCHEZ, Hernán* y RASGADO-BEZARES, José Manuel

Instituto Tecnológico Nacional de Mexico

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez

“Análisis termo-estático de una biela de un motor de combustión interna encendido por chispa”

SERRANO-SERRANO, Arturo, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, LICONA-OLMOS, Jazmín, y RIVERA-GUTIÉRREZ, Lizet

Instituto Tecnológico de Pachuca

“Análisis termo-hidráulico del sistema de refrigeración tipo ONAN para un transformador de 5MVA utilizando CFD”

GOMEZ-MERCADO, Abdiel, HERNÁNDEZ-GARCÍA, Juan Abdel, PIÑÓN-GARCÍA, Óscar, y RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino

Instituto Tecnológico de Pachuca

“Construcción de un recuperador de calor utilizando tubos termosifones bifásicos (TTB) ”

ANGELES-MORELOS, Alexis , GOMEZ-MERCADO, Abdiel, RESÉNDIZ-ROSAS, Celerino, y SANCHEZ-SILVA, Florencio

Instituto Tecnológico de Pachuca

