



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Análisis energético de un sistema termoeléctrico para el aprovechamiento del calor residual en un motor turbofan mediante dinámica de fluidos computacional

Authors: ROJAS-AVILA, Apolo, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, CASTILLO-JIMÉNEZ, Víctor y ROMÁN-AGUILAR Raúl.

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2019-306
BCIERMMI Classification (2019): 241019-306

Pages: 17
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua



Universidad
Politécnica
Metropolitana de
Hidalgo

ORGANISMO DESCENTRALIZADO DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA ESTATAL

4^{TO}
CIERMMI
2019

Contenido

Introducción

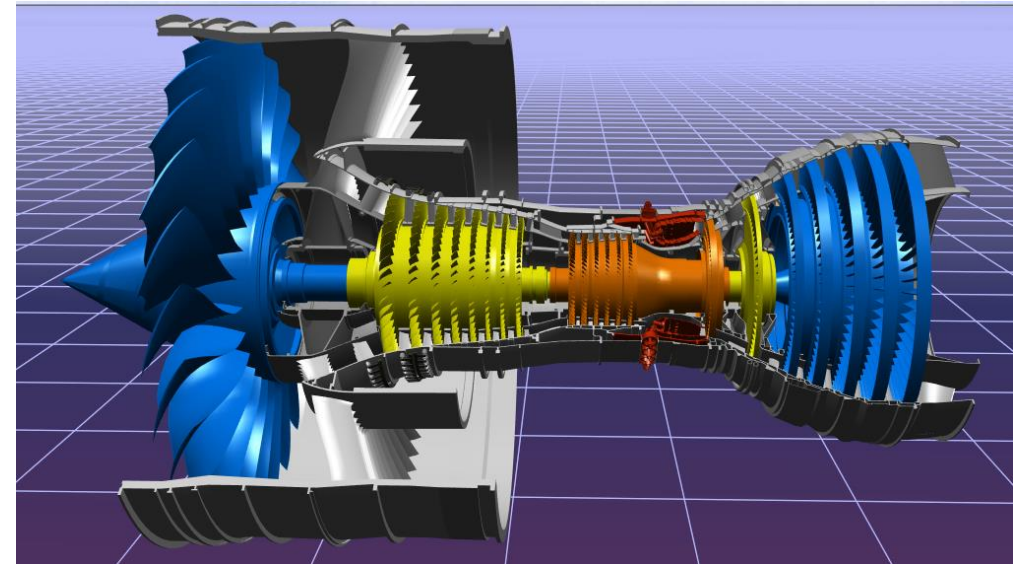
Metodología

Desarrollo

Resultados

Conclusiones

Referencias

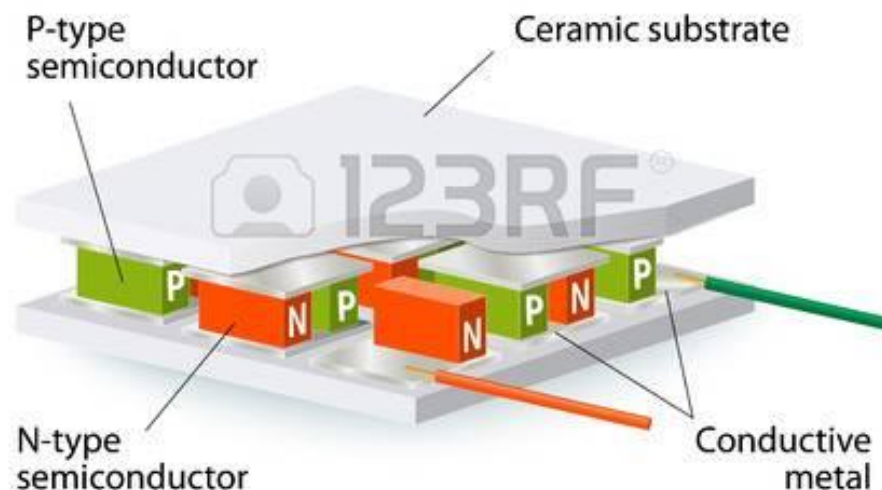


Introducción

Una área de oportunidad en el sector aeronáutico y aeroespacial es el **consumo energético y de combustible, por ello en el presente trabajo se propone el aprovechar calor residual generado en los motores.**

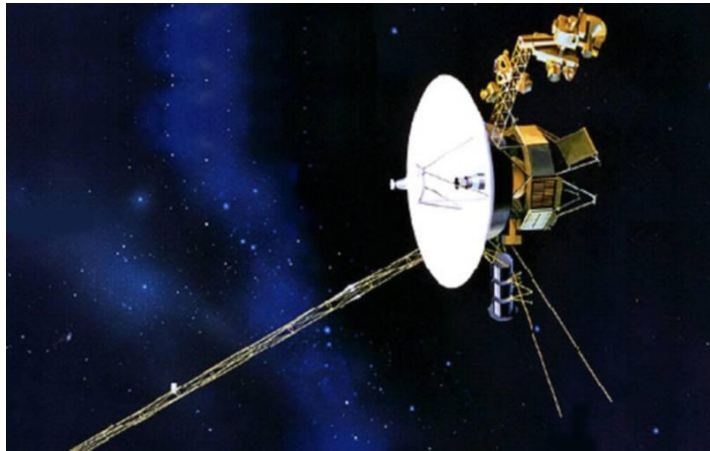
Se propone la implementación de **TEGs (Termoelectric Generators) en un motor tipo turbo-fan, los TEGs** son dispositivos que a partir de un gradiente de temperatura generan una corriente eléctrica, para el aprovechamiento del calor residual en este caso.

THERMOELECTRIC MODULE

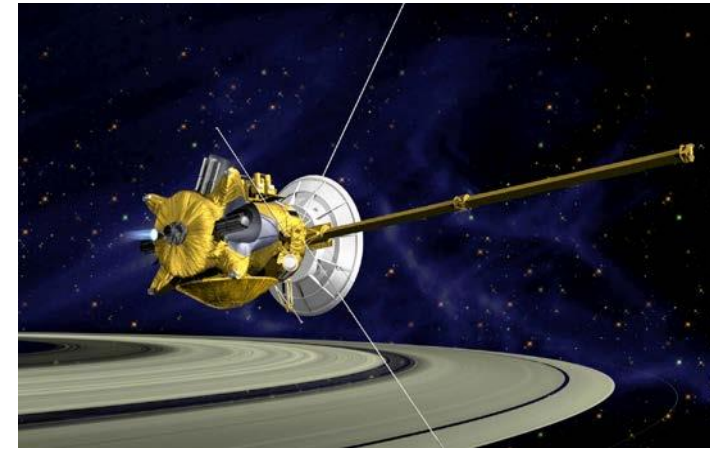


Introducción

Los módulos termoeléctricos pueden aprovechar el calor residual de **motores Diésel y escapes de los vehículos**, lo cual permite reducir el tamaño del alternador que implica reducir el consumo de combustible; En **sondas como la Voyager de la NASA**, los generadores termoeléctricos han estado **en uso por más de 30 años sin necesidad de mantenimiento**; En helicópteros de tobera cónica; Sonda Voyager; Así como muchas otras potenciales aplicaciones en el sector; **aeronáutico y aeroespacial**.



Sonda Voyager



Sonda Cassini

El motor de referencia para el análisis es el **Trent 900** de **Rolls Royce**, utilizado en aeronaves como el **A380** de **Airbus** el cual cuenta con una autonomía de **15,400 Km** con una **velocidad máxima** de **945 Km/h** lo cual equivale a un vuelo de poco mas de **16 horas**, potencia consumida entre **800 y 900 KW** [8].



- 1.- Elección del motor turbofan para su análisis termodinámico.
- 2.- Selección de la sección del motor en la que se instalaran los generadores termoeléctricos.
- 3.- Modelado de la transferencia de calor de la sección del motor turbofan acoplado al generador termoeléctrico.
- 4.- Estimación de la energía térmica aprovechable por el sistema termoeléctrico.
- 5.- Calculo de la energía eléctrica generada por el sistema termoeléctrico.
- 6.-Determinar los sistemas de la aeronave en los cuales puede ser aprovechada la energía generada.
- 7.- Resultados y discusión.

Características del motor turbofan

A partir de los datos del motor Trent 900, que se muestran en la tabla, se determinaron las condiciones de operación en cada punto del ciclo de propulsión para el motor Trent 900.

Longitud	4.93 m
Diámetro del fan	2.94 m
Bypass Ratio	8.4
Mac de vuelo	0.83
Relación general de presión	39
Compresor intermedio	8 etapas
Compresor de alta	6 etapas
Turbina de alta presión	1 etapa
Turbina de baja presión	5 etapas
Empuje	70,000-72,000 lbf
Temperatura máxima (T_{max})	1800 K
Altura de referencia (vuelo crucero)	11,000 m
Velocidad de crucero	900 km/h

Desarrollo

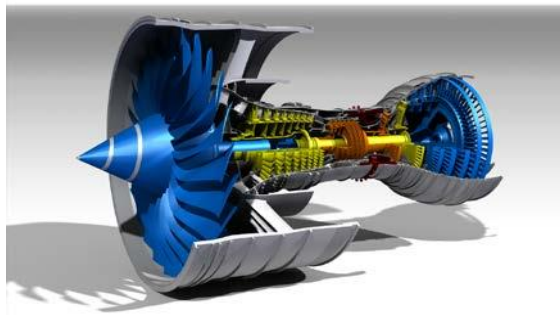
Simulación CFD de la sección de interés del motor turbofan.

En estas secciones se tiene un área disponible de alrededor de 8 m² para la colocación de termoelectrónicos, así como temperaturas que van desde los 200 hasta los 600 °C.

Para la elaboración del modelo se tomó como temperatura de flujo primario, a la entrada de la cámara de combustión, una temperatura de alrededor de 620 K.

A partir de la distribución de temperaturas obtenida se realiza el modelado del sistema termoelectrónico, para determinar el potencial eléctrico generado a partir de la diferencia de temperaturas.

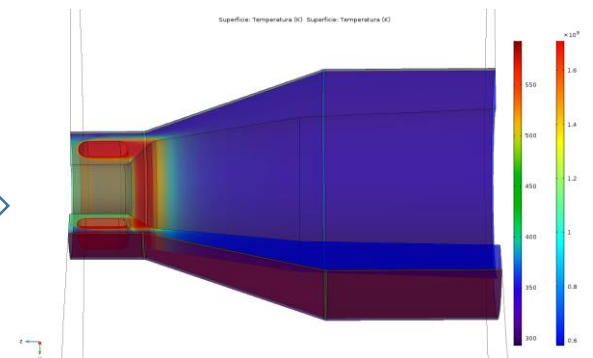
Motor Turbofan seleccionado



Sección del motor a analizar



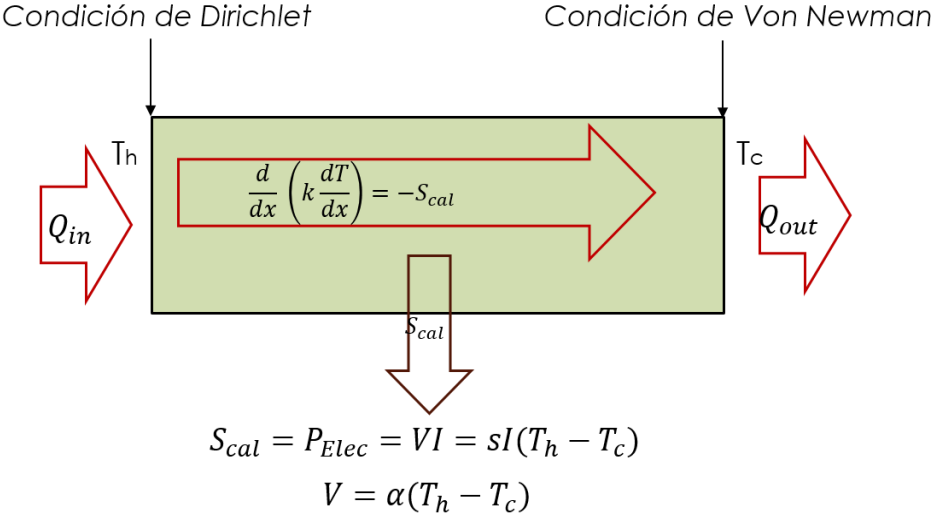
Modelo de la sección de interés



Desarrollo

Modelado de la transferencia de calor de la sección del motor turbofan acoplado al generador termoeléctrico.

A partir de las condiciones de frontera en la cual se conoce en el extremo caliente, la temperatura (T_h) y en extremo con menor temperatura se conoce el flujo de calor.



Modelado de la transferencia de calor de la sección del motor turbofan acoplado al generador termoeléctrico.

A partir del análisis en estado estacionario de la transferencia de calor a través del termoeléctrico y considerando la potencia eléctrica como sumidero de calor (\dot{S}_{cal}), la ecuación en tres dimensiones queda como:

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) - \frac{\dot{S}_{cal}}{k} = 0$$

La discretización se realizó para una sola dimensión ya que para las demás dimensiones se discretiza de la misma manera. La ecuación discretizada por el método de volúmenes finitos es:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_W T_W + b$$

Donde:

$$a_E = \frac{k_{j+1}}{(\delta x_i)_{j+1}} \quad a_W = \frac{k_{j-1}}{(\delta x_i)_{j-1}} \quad a_p = a_E + a_W \quad b = \dot{S}_{cal} \Delta x_i$$

Desarrollo

Modelado de la transferencia de calor de la sección del motor turbofan acoplado al generador termoeléctrico.

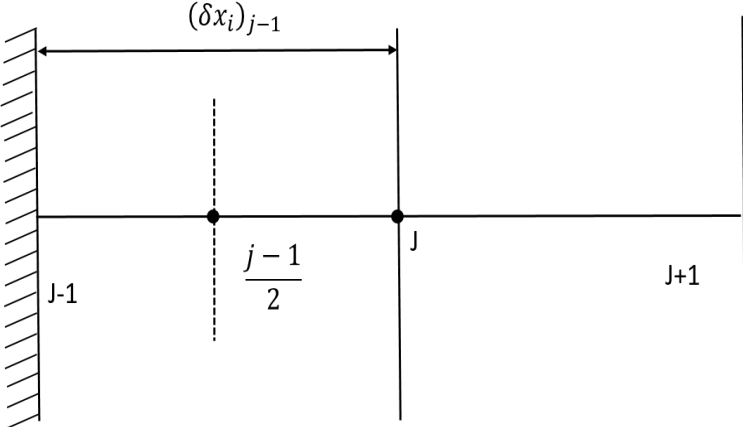
La discretización para la condición de Von Newman se obtiene la siguiente ecuación discretizada, en la cual se busca conocer la temperatura en el borde.

$$a_{j-1}T_{j-1} = a_jT_j + b$$

Donde:

$$a_j = \frac{k_{j-1}}{(\delta x)_{j-1}} \quad b = S_0\Delta x + q_{j-1} \quad a_{j-1} = a_j - S_1\Delta x$$

En este caso b representa la discretización del sumidero de calor.



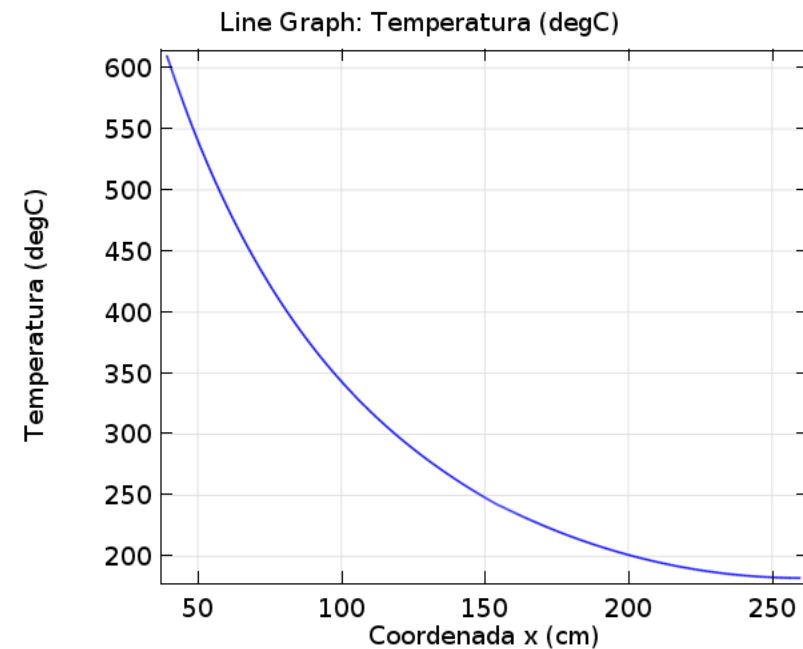
Parámetros de operación del motor turbofan

A partir de las características conocidas del motor turbofan Trent 900 se determinaron las propiedades de estancamiento en cada punto.

Punto	T_T [K]	P_T [Kpa]	T [K]	w [KJ/Kg]
0	250.3116	36.05	220	0
1	250.3116	35.019	220	0
2	776.03	1364.922	621.99	-432
3	1800	1337.62	1800	-528
4	987.545	119.0062	670	960
5	987.545	-----	670	0
6	301.487	64.654	222.45	0
7	301.487	-----	222.45	0

Distribución de temperaturas de la sección de interés del motor

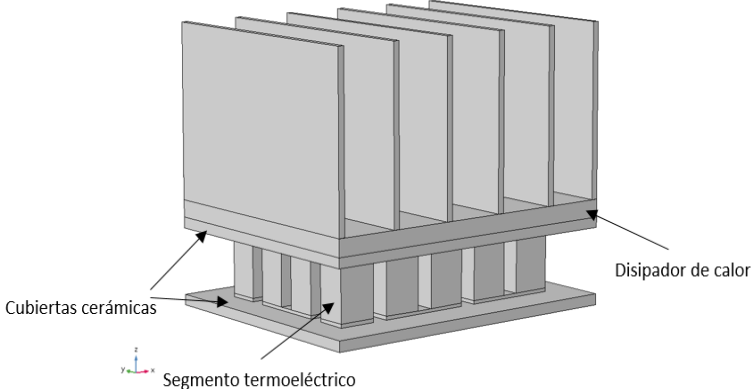
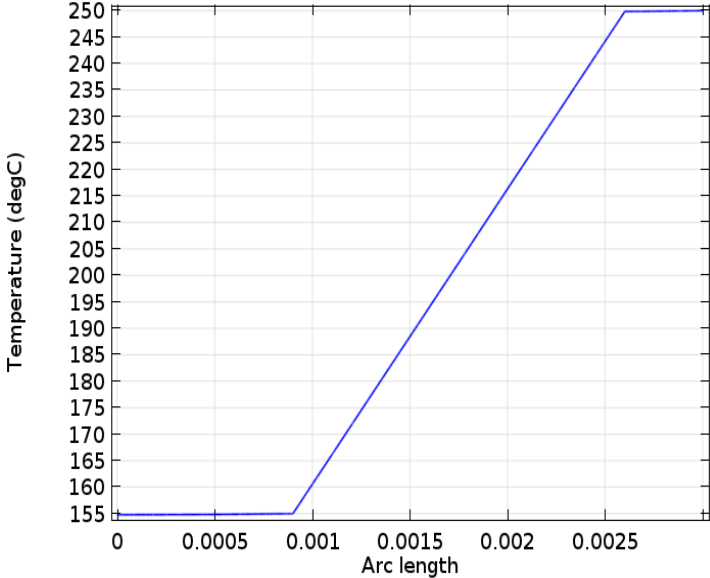
A partir de la simulación de la sección que recubre las turbinas y la tobera se obtiene la siguiente distribución de temperaturas a partir de la cual es posible proponer la temperatura en la cara caliente del termoelectrónico, dentro del rango de 200 a 600 °C.



Resultados

Gradiente de temperaturas en un TEG

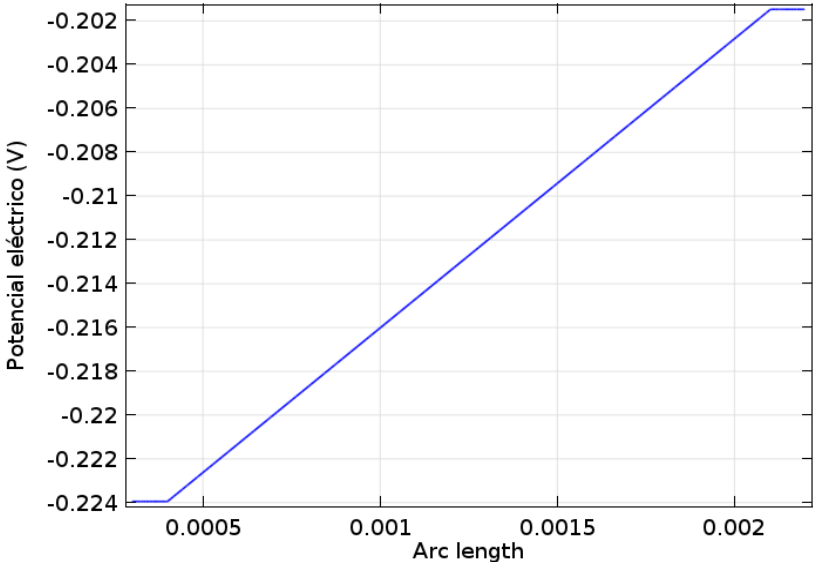
Como se observa en el gráfico, el gradiente de temperatura obtenido en el termoeléctrico es de 100 °C. El cual es obtenido con la implementación de un disipador de calor.



Resultados

Potencial eléctrico en un TEG

El potencial eléctrico generado con el gradiente de temperaturas obtenido es de 22 mV por cada segmento termoelectrico obteniendo alrededor de 7 V por cada modulo de 16 cm².



Resultados

Potencia eléctrica generada

Para determinar la potencia eléctrica se determina la corriente eléctrica a partir del voltaje de Seebeck y la resistencia eléctrica del semiconductor.

$$I = V_0/2R$$

La potencia eléctrica obtenida mediante

es de **8.7 W** por cada TEG de 16 cm^2 .

$$P_{El} = I^2 * R_T * n$$

Conclusiones

Para obtener el gradiente de temperaturas se utiliza un disipador de calor ya que se mejora considerablemente la diferencia de temperaturas, de 40 °C a 100°C.

La energía eléctrica generada puede ser aprovechada en sistemas de la aeronave tales como la iluminación en secciones de pasajeros ya que el consumo de potencia es de alrededor de 5.6 KW.

Referencias

Fraisse, G., Ramousse, J., Sgorlon, D., & Goupil, C. (2013). Comparison of different modeling approaches for thermoelectric elements. *Energy Conversion and Management*, 65, 351–356.

Chen, J., Yan, Z., & Wu, L. (1996). The influence of Thomson effect on the maximum power output and maximum efficiency of a thermoelectric generator. *Journal of Applied Physics*, 79(11), 8823–8828.

Navarro, P. M. (2017). Análisis por elementos finitos de los generadores termoeléctricos y sus aplicaciones aeroespaciales (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Temizer, I., & Ilkiliç, C. (2016). The performance and analysis of the thermoelectric generator system used in diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 141–151.

Kousksou, T., Bédécarrats, J. P., Champier, D., Pignolet, P., & Brillet, C. (2011). Numerical study of thermoelectric power generation for a helicopter conical nozzle. *Journal of Power Sources*, 196(8), 4026–4032.

Champier, D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and Management*, 140, 167–181.

Janak, L., Ancik, Z., Vetiska, J., & Hadas, Z. (2015). Thermoelectric Generator Based on MEMS Module as an Electric Power Backup in Aerospace Applications. *Materials Today: Proceedings*, 2(2), 865–870.

Samson, D., Kluge, M., Becker, T., & Schmid, U. (2011). Wireless sensor node powered by aircraft specific thermoelectric energy harvesting. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 172(1), 240–244.

Hernández, V., Alejandro, O., & Rojas-Avila, R. (2018). Análisis energético de un sistema de generación termoeléctrica utilizando calor residual de celdas de combustible. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 2(6), 20–27.

Undurraga Almaraz, A. (2014). Viabilidad de los materiales termoeléctricos (tesis de maestría). Universidad de Barcelona, España.

Y. Niño. (2012) Método de los volúmenes finitos. Universidad de Chile, departamento de ingeniería civil.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)