



Title: Research Analysis of the electrical power generated by a thermoelectric system for application in the Ingenuity Drone from a nuclear heat source

Authors: RODRIGUEZ-AVILA, Jesus, VALLE-HERNANDEZ, Julio and GALLARDO-VILLARREAL, José Manuel

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2022-01
BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 18
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

Introducción

Metodología

Resultados

Conclusiones

Referencias

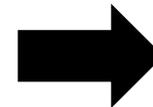
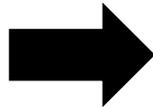
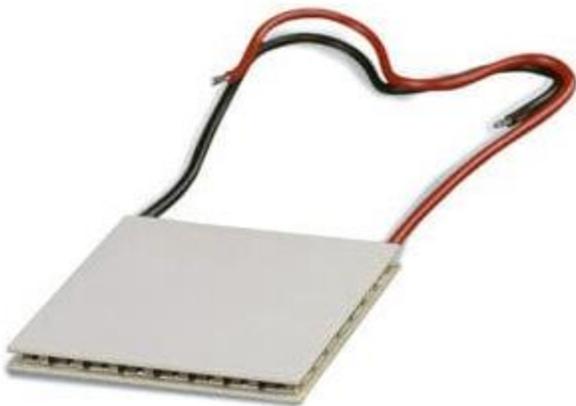
Introduction



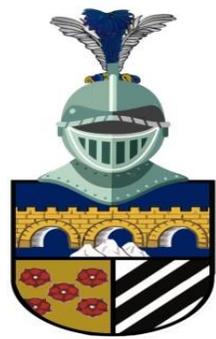
Los materiales termoeléctricos son utilizados para la generación de energía eléctrica mediante un diferencial de temperatura, este fenómeno físico se conoce como efecto Seebeck.

El uso de termoeléctricos en misiones espaciales tiene su aplicación en el Generador Termoeléctrico de Radioisótopo Multimisión

Los termoeléctricos seleccionados son Bi_2Te_3 , $PbTe$ y SiG por lo que se convierten en candidatos viables para la implementación en el Dron Ingenuity.



Metodología



ECORFAN®

Características de vuelo en las condiciones del planeta Marte para el Dron Ingenuity.

Calcular la potencia mecánica de los rotores y obtener la energía eléctrica consumida.

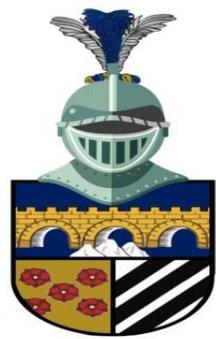
Tipos de termoelectrónicos para convertir la potencia térmica de la fuente de calor nuclear en electricidad.

Calcular el coeficiente de Seebeck, la resistividad eléctrica y la conductividad.

Calcular la potencia eléctrica generada por cada tipo de termoelectrónico.

Obtener la potencia térmica de la fuente de calor nuclear para cada uno de los tipos de termoelectrónicos.

Desarrollo de Metodología



ECORFAN®

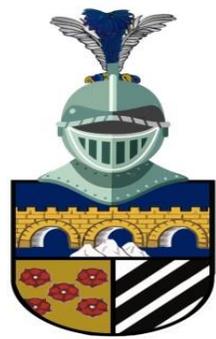
Condiciones de vuelo en el planeta Marte y Principales características de operación del Dron Ingenuity

La dinámica de vuelo del Dron Ingenuity se ve afectada de manera significativa debido a la baja densidad atmosférica y la baja gravedad

Condiciones del Planeta Marte	
Densidad	0.017 kg/m ³
Gravedad	3.711 m/s ²
Temperatura	-50 °C

Características del Dron Ingenuity	
Masa del Dron	1.8 Kg
Diámetro del rotor	1.21 m
Masa de las baterías	273 g
Capacidad de la batería	2Ah a 4.25V

Desarrollo de Metodología



ECORFAN®

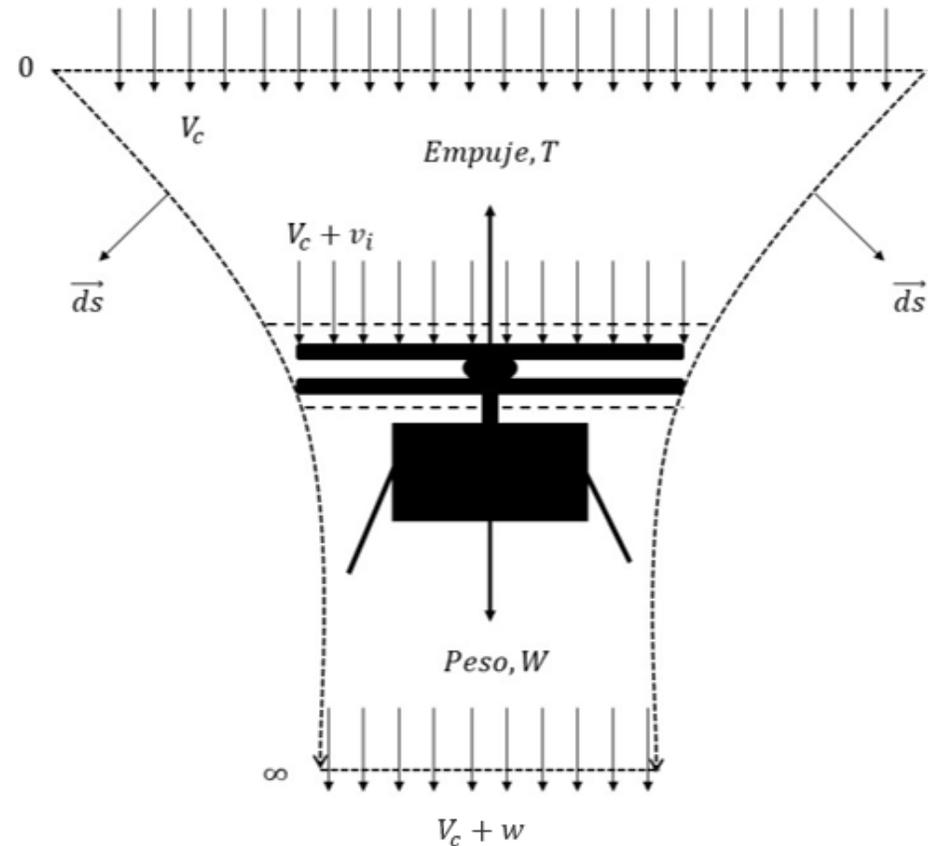
Cálculo de potencia requerida para el dron.

$$T = m * g$$

$$T = 2 * \rho * A * v_i^2$$

$$v_i = \sqrt{\frac{m * g}{2 * \rho * A}}$$

$$P = 2 * \rho * A * v_i^3$$



Desarrollo de Metodología



Cálculo de potencia eléctrica de los termoeléctricos.

El termoeléctrico Bi_2Te_3 se encuentra en función del rango de temperatura que se encuentra de 300K a 570K

$$S(z) = -1.9 * 10^{-6}z^5 - 0.12 * 10^{-6}z^4 + 4.1 * 10^{-6}z^3 - 3.4 * 10^{-6}z^2 + 11 * 10^{-6}z + 1.5 * 10^{-6} \left(\frac{V}{K} \right)$$

$$\rho(z) = 2.5 * 10^{-7}z^2 + 2.7 * 10^{-6}z + 4.1 * 10^{-5} (\Omega * m)$$

$$z = \frac{T - 4.1 * 10^2}{76}$$

$$k = 0.85 \frac{W}{m * K}$$

Desarrollo de Metodología



Cálculo de potencia eléctrica de los termoeléctricos.

Para el material PbTe de acuerdo a un rango de temperatura de 500K a 800K

$$S(z) = -8.2 * 10^{-6} z_s^4 - 7.3 * 10^{-6} z_s^3 - 7.9 * 10^{-6} z_s^2 + 54 * 10^{-6} z_s + 2.8 * 10^{-4}$$

$$\rho(z) = 6.4 * 10^{-5} z_r + 5.5 * 10^{-5} (\Omega * m)$$

$$k(z_k) = 0.23 * z_k^2 - 0.28 * z_k + 1.2 \frac{W}{m * K}$$

$$z_s = \frac{T - 5.3 * 10^2}{150}$$

$$z_r = \frac{T - 5.3 * 10^2}{350}$$

$$z_k = \frac{T - 5.3 * 10^2}{170}$$

Desarrollo de Metodología



Cálculo de potencia eléctrica de los termoeléctricos.

Para el termoeléctrico *SiGe*, el cual se encuentra en un rango de temperatura de operación más alta que va de 750K a 1000K, los polinomios correspondientes

$$S(z_s) = -4.5 * 10^{-6} z_s^3 - 9.6 * 10^{-6} z_s^2 + 6 * 10^{-5} z_s + 0.0002 \left(\frac{V}{K} \right)$$

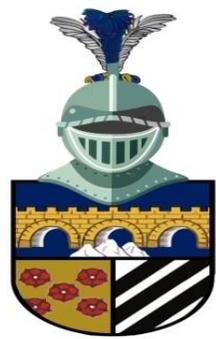
$$\rho(z_r) = \frac{1}{8.7 * 10^3 z_r^2 - 2.5 * 10^4 z_r + 6.7 * 10^4} (\Omega * m)$$

$$z_s = \frac{T - 6.5 * 10^2}{240}$$

$$z_r = \frac{T - 6.5 * 10^2}{240}$$

$$k = 4.5 \frac{W}{m * K}$$

Desarrollo de Metodología



ECORFAN®

Cálculo de potencia eléctrica de los termoelectrónicos.

Para determinar la potencia eléctrica generada se calcula el voltaje producido por el diferencial de temperatura, la resistencia eléctrica y la corriente eléctrica. Para obtener la corriente máxima, se deriva parcialmente la potencia eléctrica con respecto a la corriente

$$V = S * (T_c - T_f)$$

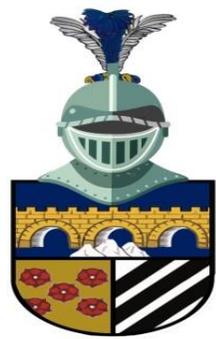
$$R = \rho \frac{e}{A}$$

$$P = S * I * (T_c - T_f) - R * I^2$$

$$\frac{\partial P}{\partial I} = 0 = S(T_c - T_f) - 2RI$$

$$I_{max} = \frac{V}{2R}$$

Desarrollo de Metodología

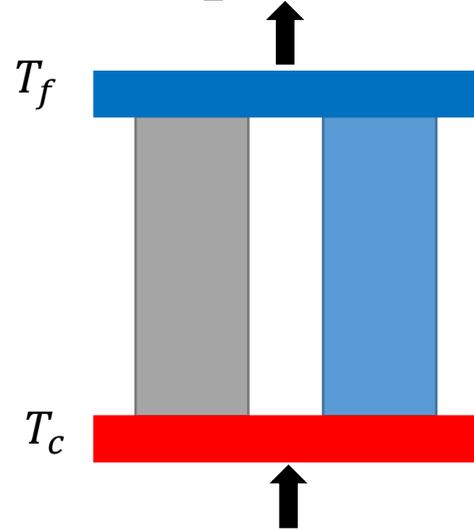


ECORFAN®

Potencia térmica requerida para fuente de calor nuclear

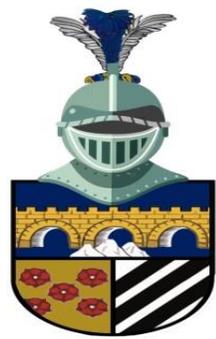
Para determinar el calor de entrada (Q_{in}), en la cara caliente (T_c), en un generador termoeléctrico, se considera la conducción de calor, el efecto Joule y la generación de potencia mediante el efecto Seebeck

$$Q_{sal} = S * T_f * I - \frac{1}{2} * R * I^2 + \frac{K * (T_c - T_f)}{e}$$



$$Q_{ent} = S * T_c * I - \frac{1}{2} * R * I^2 + \frac{K * (T_c - T_f)}{e}$$

Resultados



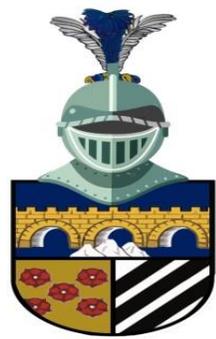
ECORFAN®

Potencia requerida para vuelo axial

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para un vuelo axial de acuerdo a las características del Dron Ingenuity y las condiciones del planeta Marte.

Resultados de vuelo Axial	
Masa distribuida por rotor	0.9 <i>kg</i>
Área de disco del Rotor	1.1499 <i>m</i>
Velocidad de inducción	9.2426 $\frac{m}{s}$
Flujo masico	0.1806 $\frac{kg}{s}$
Potencia por Rotor	30.869 W
Potencia total en vuelo axial	61.74 W
Potencia de despegue	370.44W

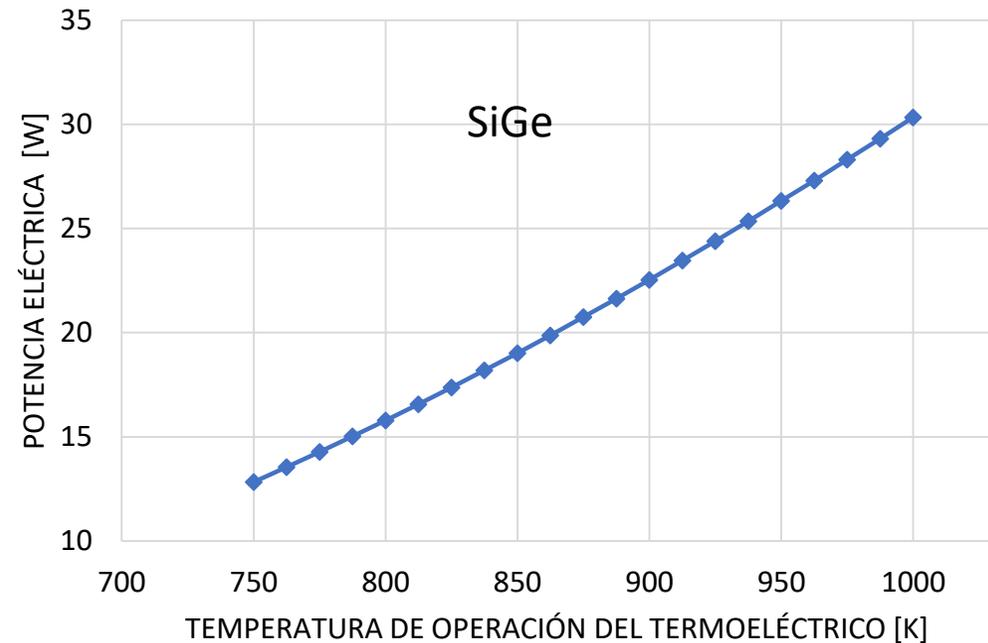
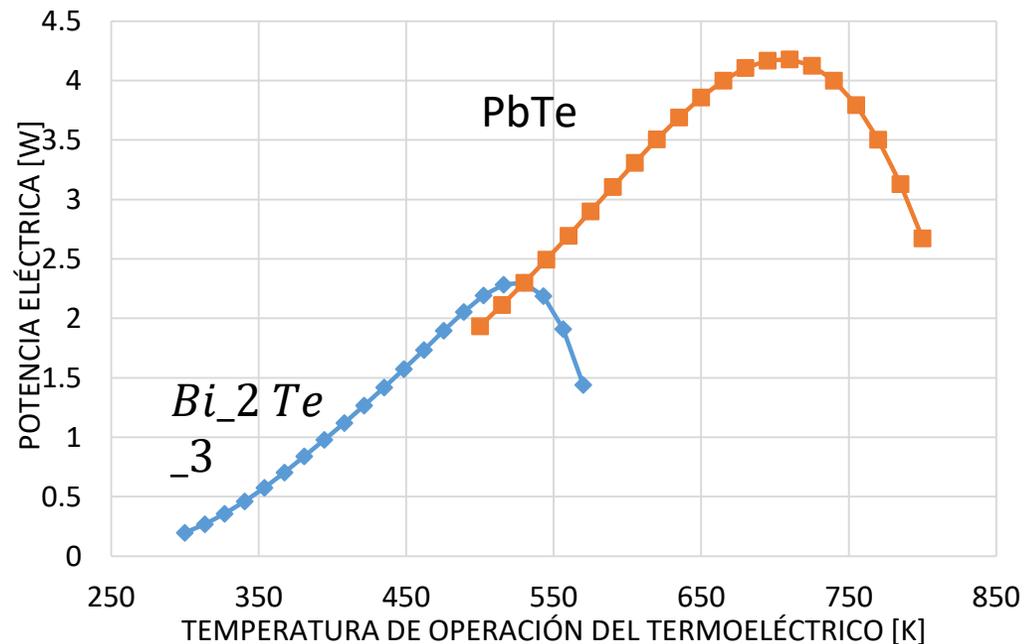
Resultados



ECORFAN®

Potencia eléctrica de los termoelectricos

Con los valores del coeficiente de Seebeck, el voltaje, la resistencia eléctrica, la corriente eléctrica y la conductividad eléctrica de cada uno de los termoelectricos se calculó la potencia eléctrica generada por los termoelectricos tomando la temperatura ambiente de marte que es de -50°C para generar el diferencial de temperatura, que se puede representar en las siguientes graficas.



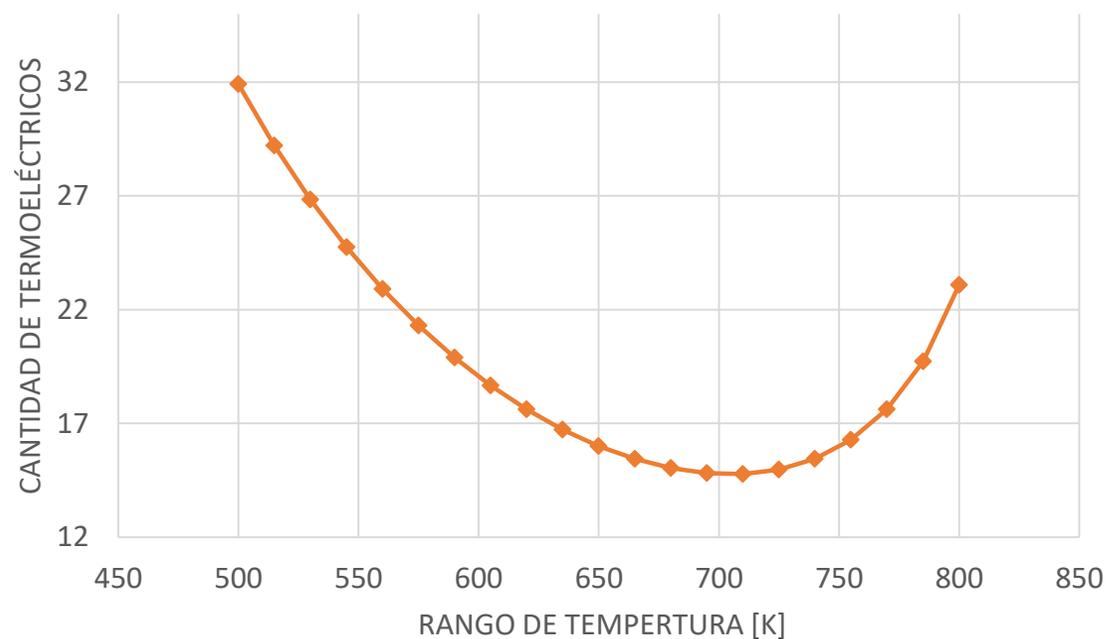
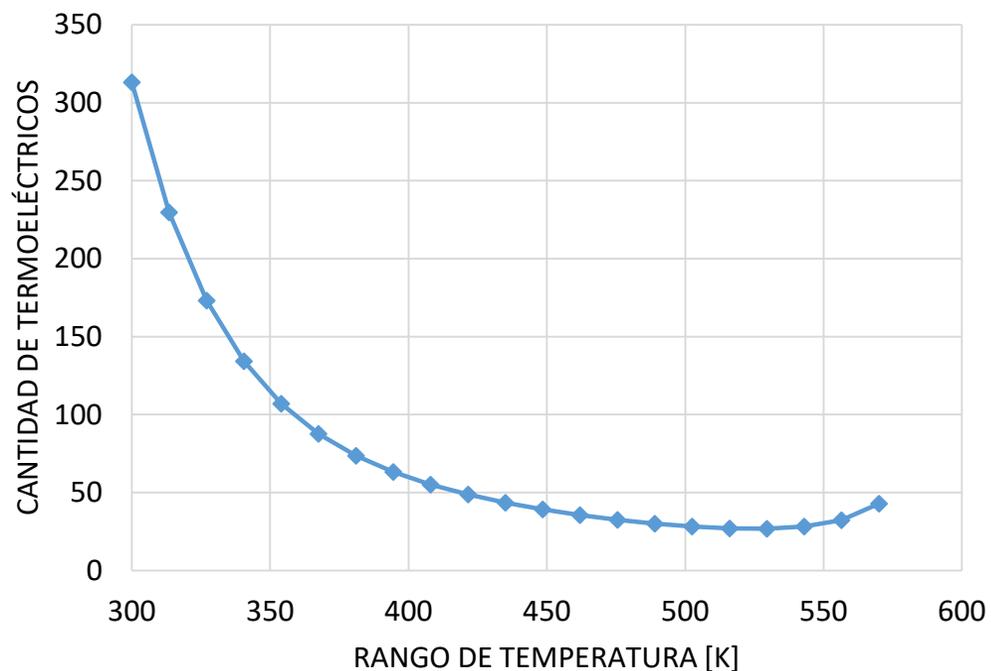
Resultados



ECORFAN®

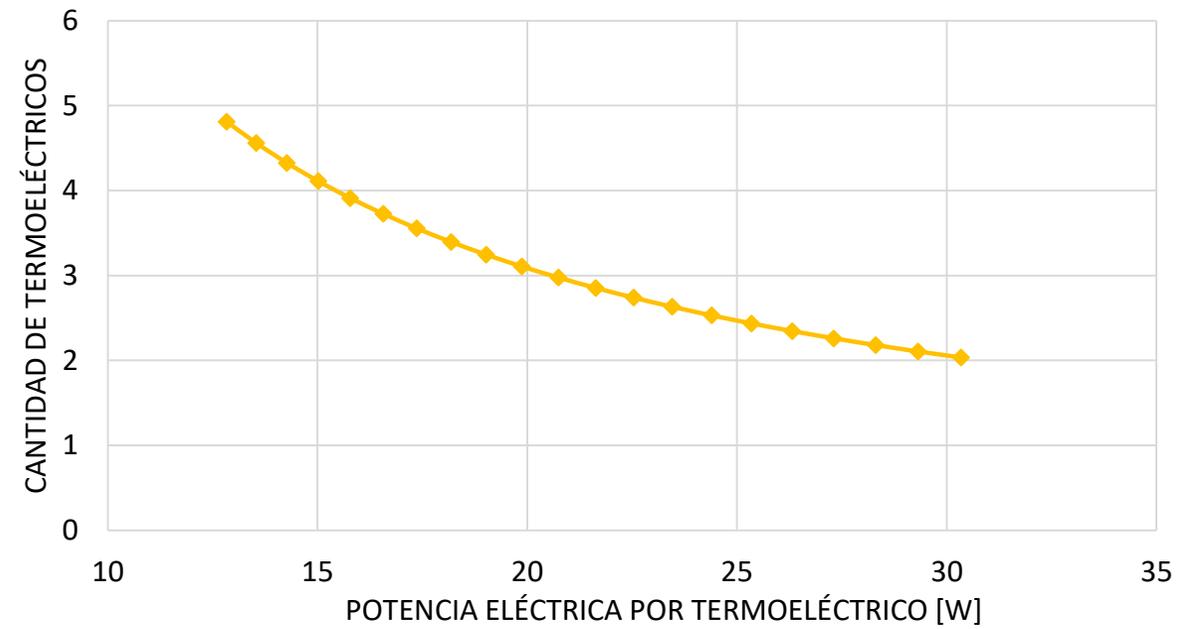
Cantidad de Termoeléctricos

Teniendo conocimiento de la potencia eléctrica generada por los termoeléctricos se estima la cantidad necesaria para generar la potencia de vuelo para el Dron Ingenuity 62 Watts.

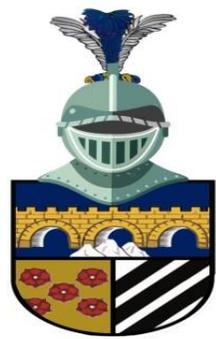


Resultados

Cantidad de Termoeléctricos



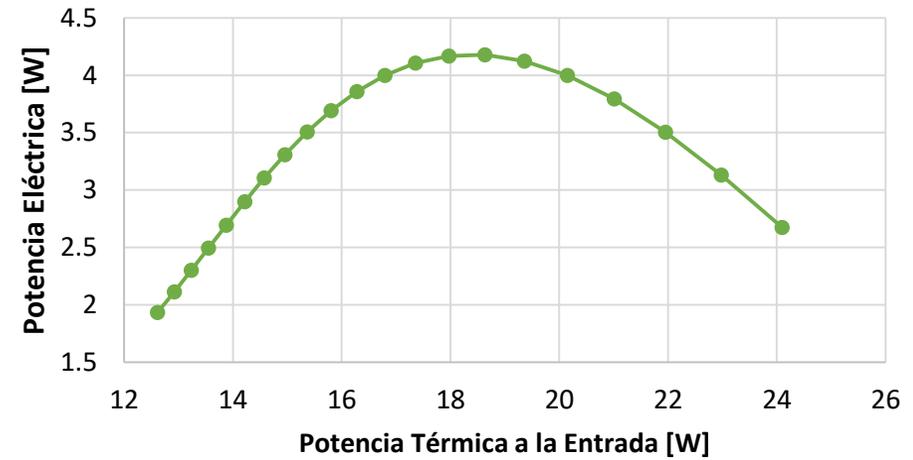
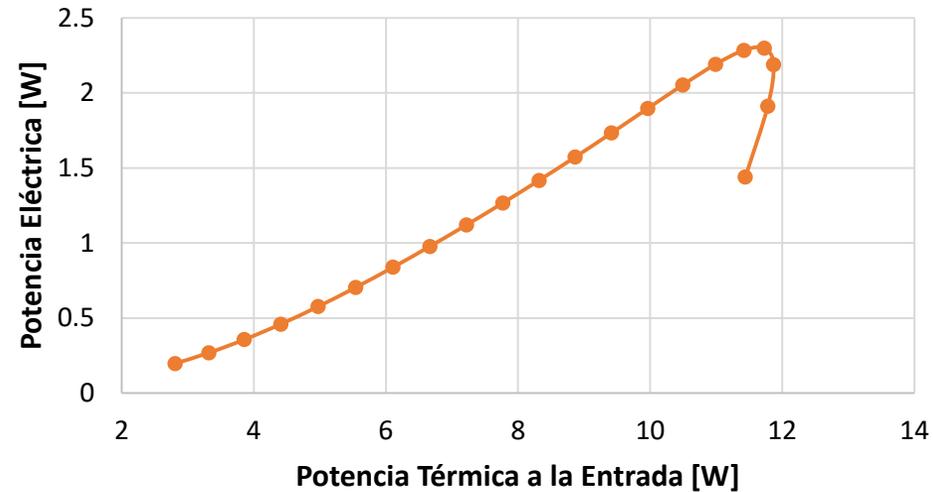
Resultados



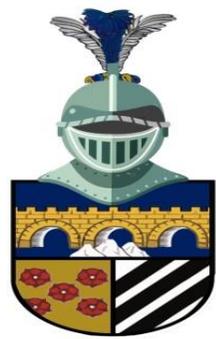
ECORFAN®

Potencia térmica para la fuente calor nuclear

En los siguientes resultados se muestra la potencia térmica a la entrada del termoelectrico pues de esta forma se estima la potencia térmica de operación de la fuente de calor nuclear en conjunto con los termoelectricos.

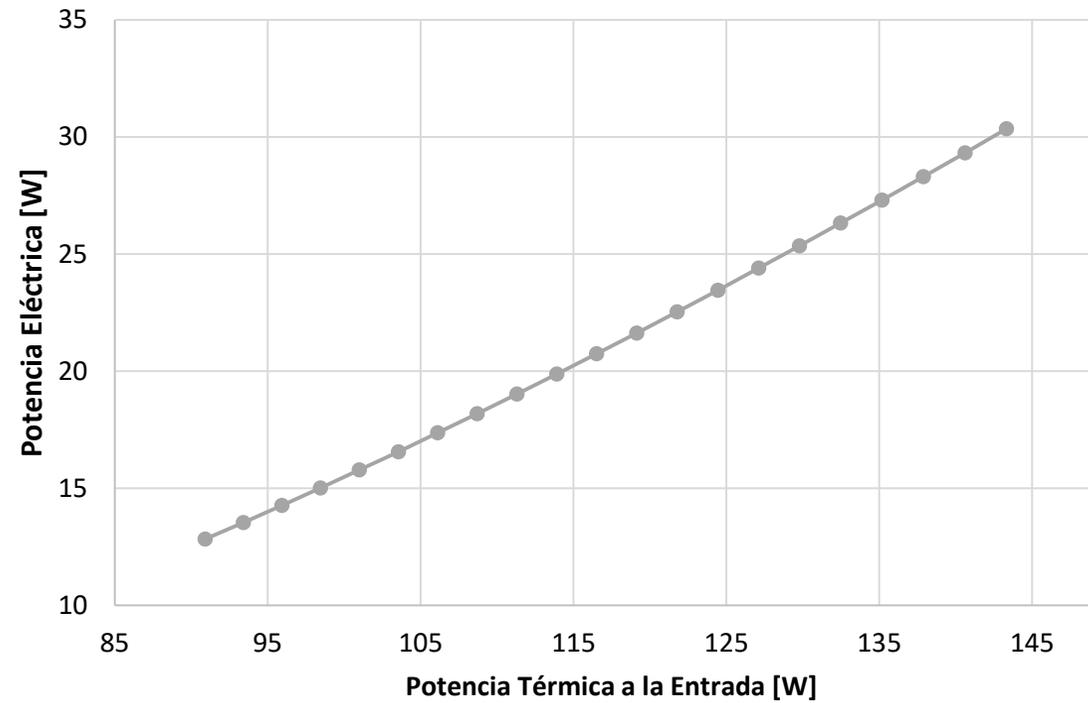


Resultados



ECORFAN®

Potencia térmica para la fuente calor nuclear



Conclusión

El Bi_2Te_3 requiere de una gran cantidad para producir la potencia requerida, a pesar de tener un número alto en la gráfica de mérito no podría ser posible su implementación en el dron, mientras que $PbTe$ requiere de una cantidad moderada pero aún sigue alta, el $SiGe$ no requiere de grandes cantidades en comparación de los demás termoeléctricos. En conclusión, para la implementación en el Dron Ingenuity, él $SiGe$ es el mejor candidato para suministrar la potencia eléctrica requerida en su vuelo, con la menor cantidad de termoeléctricos, además es el mejor candidato para una fuente de calor nuclear ya que suelen trabajar a altas temperaturas.



Referencias



- [I]. Johnson, W., Withrow-Maser, S., Young, L., Malpica, C., Koning, WJ, Kuang, W., ... & Grip, HF (2020). Diseño conceptual del helicóptero científico de Marte (No. ARC-E-DAA-TN78199).
- [II]. Balaram, B., Canham, T., Duncan, C., Grip, HF, Johnson, W., Maki, J., ... y Zhu, D. (2018). Demostrador de tecnología de helicópteros de Marte. En la Conferencia de Mecánica de Vuelo Atmosférico AIAA de 2018 (p. 0023).
- [III]. Rojas Avila, A. (2020). Estimación de la Energía Eléctrica Aprovechable del Calor Residual de Un Motor Turbofán Mediante un Sistema Termoeléctrico de Efecto Seebeck
- [IV]. Wu, F., Song, H., Jia, J., & Hu, X. (2013). Effects of Ce, Y, and Sm doping on the thermoelectric properties of Bi₂Te₃ alloy. *Progress in Natural Science: Materials International*, 23(4), 408-412.
- [V]. Zhu, P., Imai, Y., Isoda, Y., Shinohara, Y., Jia, X., & Zou, G. (2005). Enhanced thermoelectric properties of PbTe alloyed with Sb₂Te₃. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 17(46), 7319.
- [VI]. Minnich, A. J., Lee, H., Wang, X. W., Joshi, G., Dresselhaus, M. S., Ren, Z. F., ... & Vashaee, D. (2009). Modeling study of thermoelectric SiGe nanocomposites. *Physical Review B*, 80(15), 155327.



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)