



# Title: Evaluation of a Refrigerated Container using Photovoltaic Solar Energy for Implementation on the Mayan Train

**Authors:** VALLE-HERNANDEZ, Julio, CANSECO-SANDOVAL, Karen, APARICIO-BURGOS, José Esteban and YLLESCAS-ZAPOTITLA, Sandra

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2022-01

BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 19

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](http://www.ecorfan.org)

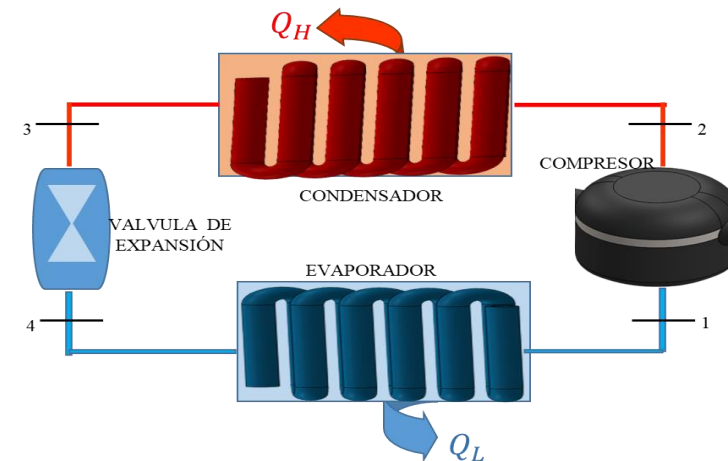
### Holdings

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



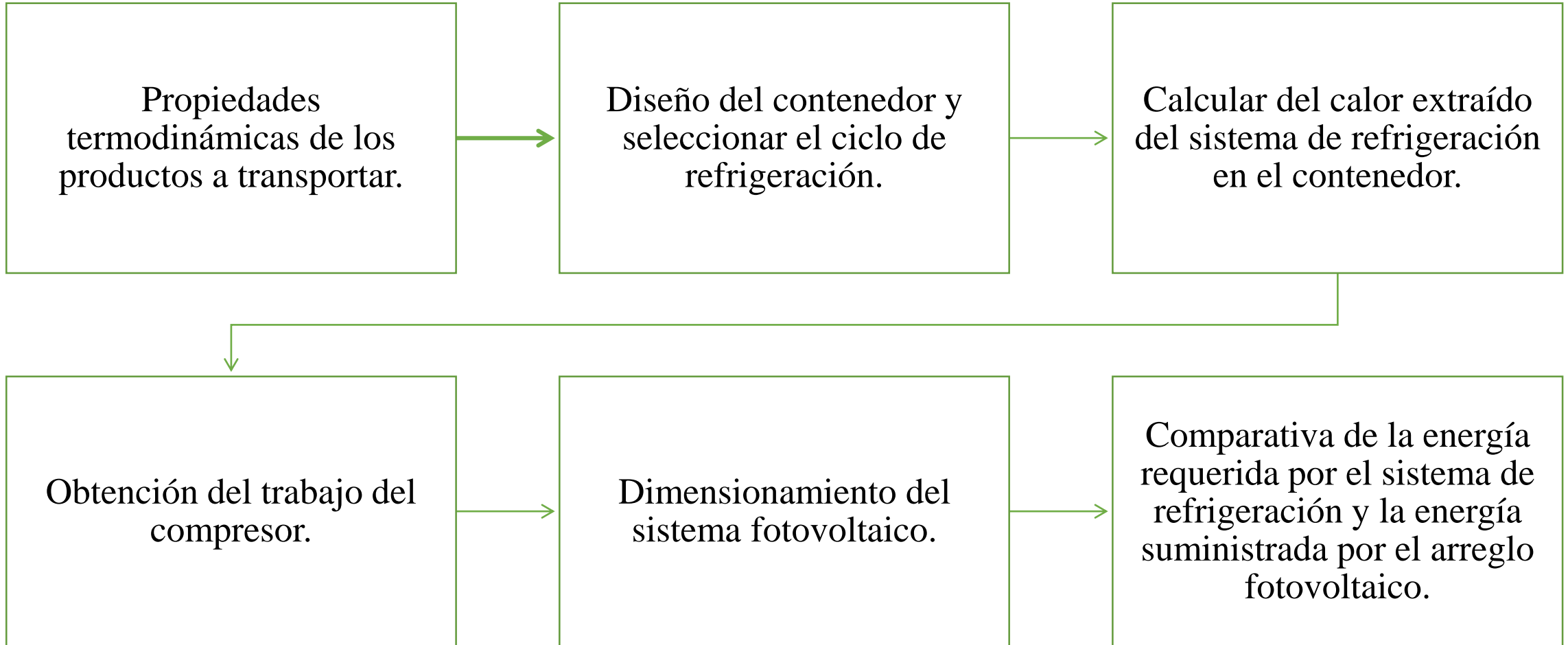
# INTRODUCCIÓN

- El Tren Maya es un proyecto que pretende impulsar el crecimiento de la economía en el sureste mexicano.
- La ruta propuesta a cubrir por el tren contempla los estados Tabasco, Chiapas, Quintana Roo, Campeche y Yucatán.
- Los sistemas de refrigeración de compresión a vapor tienen buenas eficiencias pero requieren gran cantidad de energía para su operación, una alternativa para reducir estos costos podría ser el uso de la energía solar, mediante sistemas fotovoltaicos, que permita satisfacer de forma parcial o total la energía eléctrica.
- El objetivo del presente trabajo es estimar la cantidad de energía que podría generar un sistema fotovoltaico instalado sobre un contenedor refrigerado, para suministrar la potencia requerida por el compresor, y analizar si se logra satisfacer la demanda de energía eléctrica requerida por el sistema de refrigeración a lo largo de la ruta.





# METODOLOGÍA





# Desarrollo de la metodología

- *Propiedades termodinámicas de los productos a conservar*

Los productos a conservar son los producidos en el sureste de México los cuales se muestran en la tabla 1

**Tabla 1** Propiedades termodinámicas de los distintos tipos de cárnicos

Carnes	Temperatura (°C)	Humedad relativa(%)	C.P (KJ/KgK)
Ave	0	85	3.01
Cerdo	-1.1	85	2.72
Bovino	-0.5	95	3.01
Pescado	-0.50	80	3.42

- *Selección de la estructura del contenedor.*

Las dimensiones del contenedor se seleccionaron a partir de la norma ISO 668 para contenedores refrigerados

**Tabla 2** Dimensiones del contenedor

	Puerta (m)	Medida (m)
Largo	2.28	13.71
Ancho	-----	2.556
Alto	2.195	2.896



# Desarrollo de la metodología

- *Selección de los materiales a emplear.*

De acuerdo con el uso rudo del transporte ferroviario se seleccionaron los materiales de construcción que resistan las condiciones a las que viaja el tren (160 km/h).

**Tabla 3** Propiedades de los materiales de construcción.

Material	Espesor (m)	Conductividad [W/mK]
Aluminio.	0.003	152
Espuma de poliuretano.	0.0762	0.28
Madera.	0.0508	0.12



# Desarrollo de la metodología

- *Calculo de las cargas térmicas.*

1. Carga térmica a través de los muros.

$$Q_{a.m} = U * A * \Delta T \quad (1)$$

2. Carga térmica por alumbrado.

$$Q_{lamp} = \#_{lamparas} * P \quad (2)$$

3. Carga térmica por infiltración.

$$Q_{inf} = Q_1 + Q_2 \quad (3)$$



# Desarrollo de la metodología

- *Calculo de las cargas térmicas.*
4. Carga térmica por producto.

$$Q_{sensible} = \frac{m * Cp * \Delta T}{t} \quad (4)$$

5. Carga térmica total.

Debido a que en un mismo contenedor no se pueden transportar más de un producto, la carga térmica total se hace para cada tipo de carne a transportar, y la sumatoria de las cargas térmicas descritas anteriormente.



# Desarrollo de la metodología

- *Potencia requerida por el ciclo de refrigeración.*

El ciclo seleccionado para este diseño es el ciclo simple de compresión a vapor, se propone el refrigerante R-152 a.

**Tabla 4** Estados termodinámicos del ciclo de refrigeración.

Estado	T(°C)	P(kPa)	h(KJ/Kg)	s(KJ/Kg K)	Fase
1	-8	196.14	501.56	0.5107	Vapor saturado
2	49	909.26	543.54	0.5107	Vapor sobre- calentado
3	40	909.26	271.35		Líquido saturado
4	-8	196.14	271.35		Mezcla





# Desarrollo de la metodología

- *Potencia requerida por el ciclo de refrigeración.*
- Cálculo del flujo másico del refrigerante.

$$\dot{m} = \frac{Q_L}{(h_1 - h_4)} \quad (5)$$

- Cálculo del calor transferido

$$Q_H = Q_L + W \quad (6)$$

- Cálculo de la potencia del compresor

$$W = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (7)$$

- Cálculo del COP

$$COP = \frac{Q_L}{W} \quad (8)$$



# Desarrollo de la metodología

- *Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.*

Se realiza un análisis de la radiación durante 10 años (2010-2020) de los estados que comprende la ruta del Tren Maya.

- *Selección del panel propuesto.*

Se consideraron las dimensiones del contenedor (largo y ancho) para proponer el panel solar a utilizar en el sistema, con el objetivo de cubrir la mayor parte del techo del contenedor, donde se instalarán los mismos.

**Tabla 5** Características del panel solar.

Características	
Potencia máxima	540 W
Eficiencia del modulo	20.90%
Dimensiones (mm)	2279 x 1134 x35
Peso	28.6 kg
Voltaje máximo del sistema	1250 V



## Sistema de Generación

Modulo fotovoltaico



## Sistema de Regulación

Regulador



Consumo DC



## Sistema de Acumulación

Baterías



## Sistema de Adaptación de corriente

Inversor



Consumo AC





# Desarrollo de la metodología

- *Energía suministrada por el panel.*

La energía diaria suministrada depende de la potencia eléctrica del panel, y del recurso solar promedio en la ruta del tren.

$$E_s = P * R.S \quad (9)$$

$$\text{Energía eléctrica} = \frac{P_c * H_T}{\eta_{\text{eléctrica}}} \quad (10)$$

- *Energía requerida por el sistema*

Para este diseño se propone que el tiempo de operación del compresor es del 66% de tiempo de trabajo, lo que equivale a 6 horas con 30 minutos de una ruta de 9 horas con 52 minutos.



# Resultados

- *Cargas térmicas totales*

En la tabla se observa que la mayor carga térmica se tiene en el mes de mayo, ya que en este mes se tiene las condiciones climáticas más extremas.

**Tabla 6** Cargas térmicas totales por mes y por cada producto

Meses	Cargas térmicas totales [Watts]			
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Ene	31377.50	45336.67	32533.087	40993.74
Feb	31661.29	45620.47	32816.88	41277.53
Mar	32552.88	46512.06	33708.47	42169.13
Abr	31321.08	45280.26	32476.67	40937.32
May	32353.40	46312.57	33508.99	41969.64
Jun	31610.63	45569.81	32766.23	41226.88
Jul	32132.46	46091.64	33288.05	41748.70
Ago	30406.24	44365.43	31561.84	40022.49
Sept	31548.33	45507.50	32703.92	41164.57
Oct	30176.98	44136.16	31332.57	39793.22
Nov	30962.35	44921.53	32117.94	40578.60
Dic	32014.07	45973.25	33169.66	41630.32



# Resultados

- *Potencia requerida por el compresor*

En la tabla se observa que el contenedor que requiere mayor potencia del compresor es para el que transportará carne de bovino ya que es el contenedor con mayor peso.

**Tabla 7** Potencia del compresor.

Parámetros	Ave	Cerdo	Bovino	Pescado
Flujo másico (Kg/s)	0.15	0.14	0.20	0.18
Potencia del compresor [KW]	6.11	5.90	8.45	7.65
QH [KW]	39.62	38.25	54.76	49.62
QL [KW]	33.51	32.35	46.31	41.97
COP	5.48	5.48	5.48	5.49



# Resultados

- *Estimación de la energía generada por el sistema fotovoltaico.*

Para este análisis se consideraron 12 paneles fotovoltaicos, con las características descritas anteriormente, y un recurso solar promedio de 4.76 horas.

**Tabla 8** Energía eléctrica requerida y suministrada

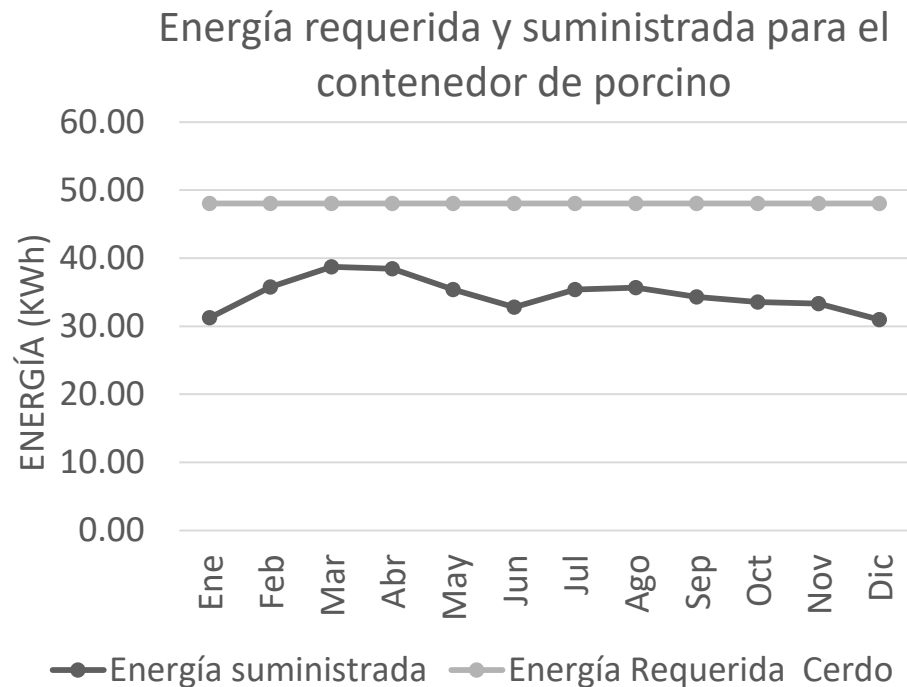
Producto en contenedor	Energía eléctrica requerida (KWh)	Energía eléctrica suministrada (KWh)	Horas de abastecimiento
Carne de Cerdo	48.04	30.56	5.2
Carne de Bovino	68.81	30.56	3.6
Carne de Ave	49.75	30.65	5.0
Carne de Pescado	62.29	30.56	4.0



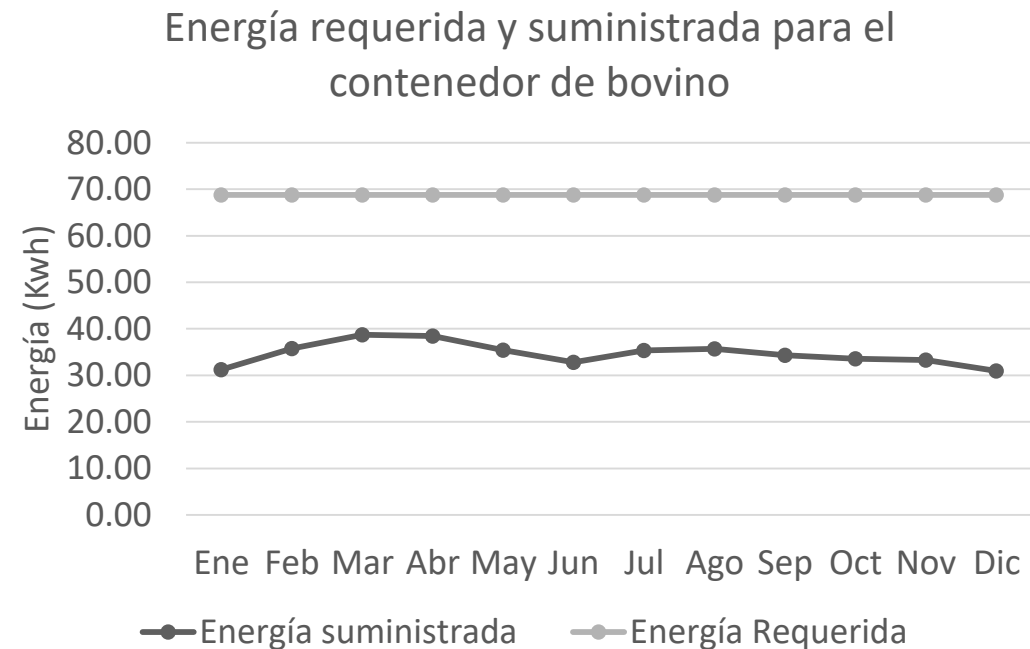
# Resultados

- *Estimación de la energía generada por el sistema fotovoltaico.*

En las gráficas siguientes se muestra la cantidad de energía suministrada por los doce paneles durante el año, para cada uno de los contenedores, haciendo una comparación con la energía requerida por el sistema.



**Gráfica 1** Energía requerida y suministrada para el contenedor de carne de porcino



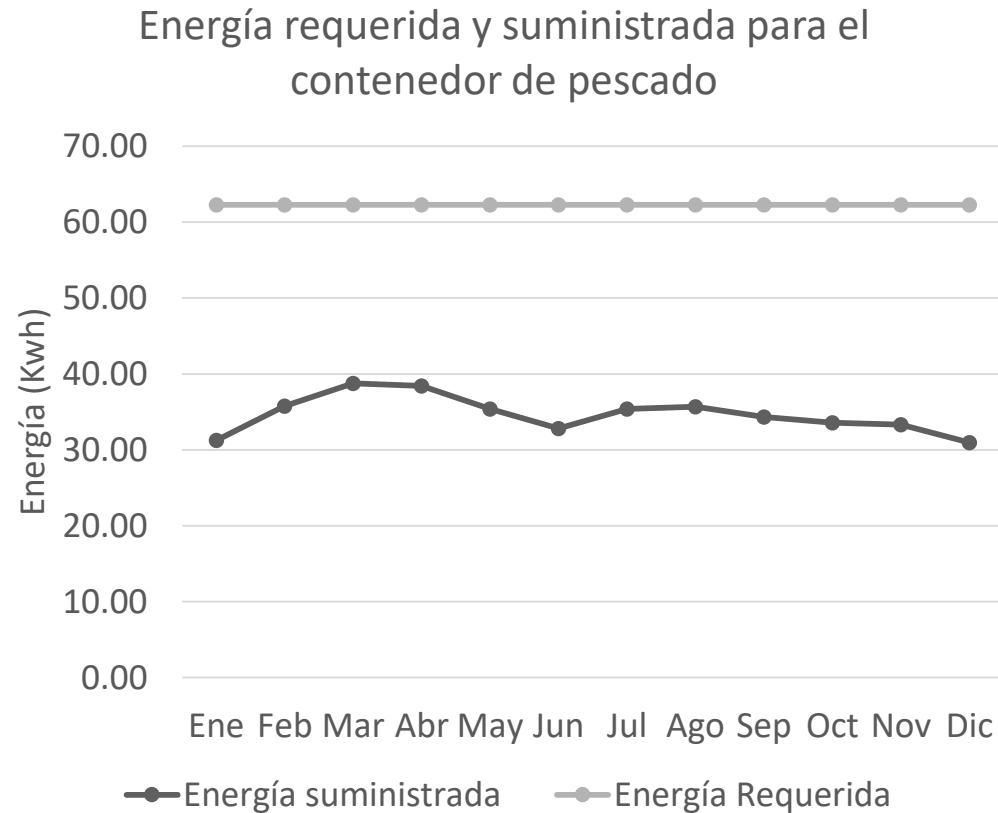
**Gráfica 2** Energía requerida y suministrada para el contenedor de carne de bovino



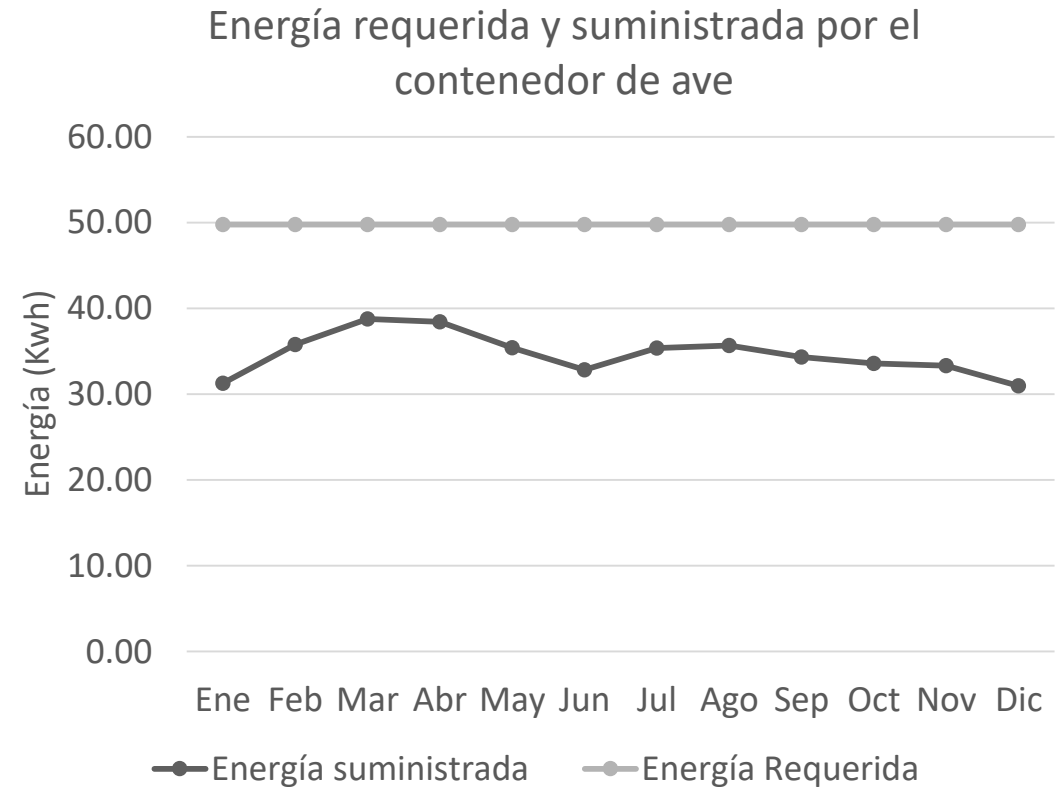


# Resultados

- *Estimación de la energía generada por el sistema fotovoltaico.*



**Gráfica 3** Energía requerida y suministrada para el contenedor de carne de Pescado



**Gráfica 4** Energía requerida y suministrada para el contenedor de carne de Ave



# Conclusiones

- En este trabajo se muestra una propuesta de diseño de un contenedor frigorífico para el Ten Maya, que permita transportar cuatro tipos de cárnicos, para lo cual se consideraron las condiciones climáticas promedio de la ruta del tren. En los resultados se observa que el contenedor refrigerado que requiere un compresor de mayor tamaño es el de la carne de bovino de 10.92 KW, esto debido a su mayor peso, el COP para todos los casos es el mismo ya que el sistema de refrigeración es equivalente en todos los casos.
- Del mismo modo, se observa que la energía suministrada por el sistema fotovoltaico a los diferentes contenedores, en ninguno de los casos satisface la demanda de energía en un 100% sin embargo se puede satisfacer aproximadamente un 50 % de la ruta del tren. El contenedor que se abastece mayor parte de la ruta es el de carne de cerdo, debido a que es el compresor que requiere menor potencia, 5.90 KW, por ser el de menor peso a refrigerar.
- En general, el uso de un sistema fotovoltaico como fuente de energía eléctrica al proceso de refrigeración del contenedor ferroviario es factible y viable, considerando tanto el ahorro económico en combustible, como la reducción de gases de efecto invernadero al ambiente.



# Referencias

Pereira, V. D. F., Doria, E. C. B., Carvalho Júnior, B. D. C., Neves Filho, L. D. C., & Silveira Júnior, V. (2010). Evaluation of temperatures in a refrigerated container for chilled and frozen food transport. *Food Science and Technology*, 30, 158-165. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000100024>

Filina-Dawidowicz, L., & Filin, S. (2019). Innovative energy-saving technology in refrigerated containers transportation. *Energy efficiency*, 12(5), 1151-1165. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9729-2>

Vázquez, A. S. (2022). III. 3. Oportunidades de inversión extranjera en el sector energético cubano. *FUTURO ENERGÉTICO EN CUBA*, 196.

Zhang, Y., Mao, Y., Li, K., Luo, X., & Hopkins, D. L. (2019). Effect of carcass chilling on the palatability traits and safety of fresh red meat. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1676-1704. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12497>

Cengel y & Boles, M. (2001) Termodinámica, México. Libro impreso

Power | Data Access Viewer NASA (2022) <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>



# Referencias

Covarrubias Cuevas, Pérez Moreno et al. (2019) Diseño de una cámara frigorífica. México. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22946/PFC\\_david\\_torres\\_cicuendez\\_2014.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22946/PFC_david_torres_cicuendez_2014.pdf). (23-08-2022=

Alonso Albella (2019), Sistemas fotovoltaicos. Colombia <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45335.pdf>, Recuperado 19/03/2022

Cengel Y.A (2016) Transferencia de calor y masa. México. Libro impreso

ISO 668 (2013) Series 1 freight containers – Clasificación, dimensiones and ratings. <https://www.sis.se/api/document/preview/916460/> (23-08-2022)

Sánchez T (2009) Ingeniería del frío, teoría y práctica. España. Libro impreso

National Institute of Standards and Technology (2022), Libro del Web de Química del NIST, SRD 69. <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>

Comisión del Codex Alimentarius (2005, marzo). Composición de la carne. Nuevo León, México. <https://www.fao.org/3/a0369s/a0369s.pdf>



**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](http://www.ecorfan.org/booklets))