



**Title: Análisis térmico e hidráulico de diferentes geometrías de tubos para mejorar el desempeño de un radiador de automóvil**

**Authors: ZUÑIGA-CERROBLANCO, José Luis, COLLAZO-BARRIENTOS, Juan Carlos, HORTELANO-CAPETILLO, Juan Gregorio y HERNANDEZ-GUERRERO, Abel**

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
BCONIMI Control Number: 2020-23  
BCONIMI Classification (2020): 120320-0023

Pages: 15  
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

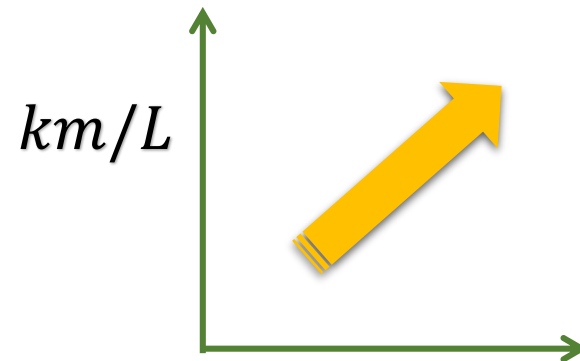
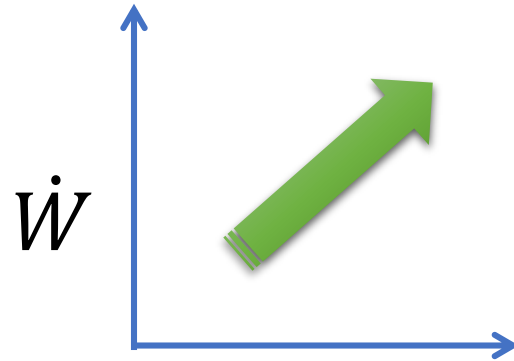
[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

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

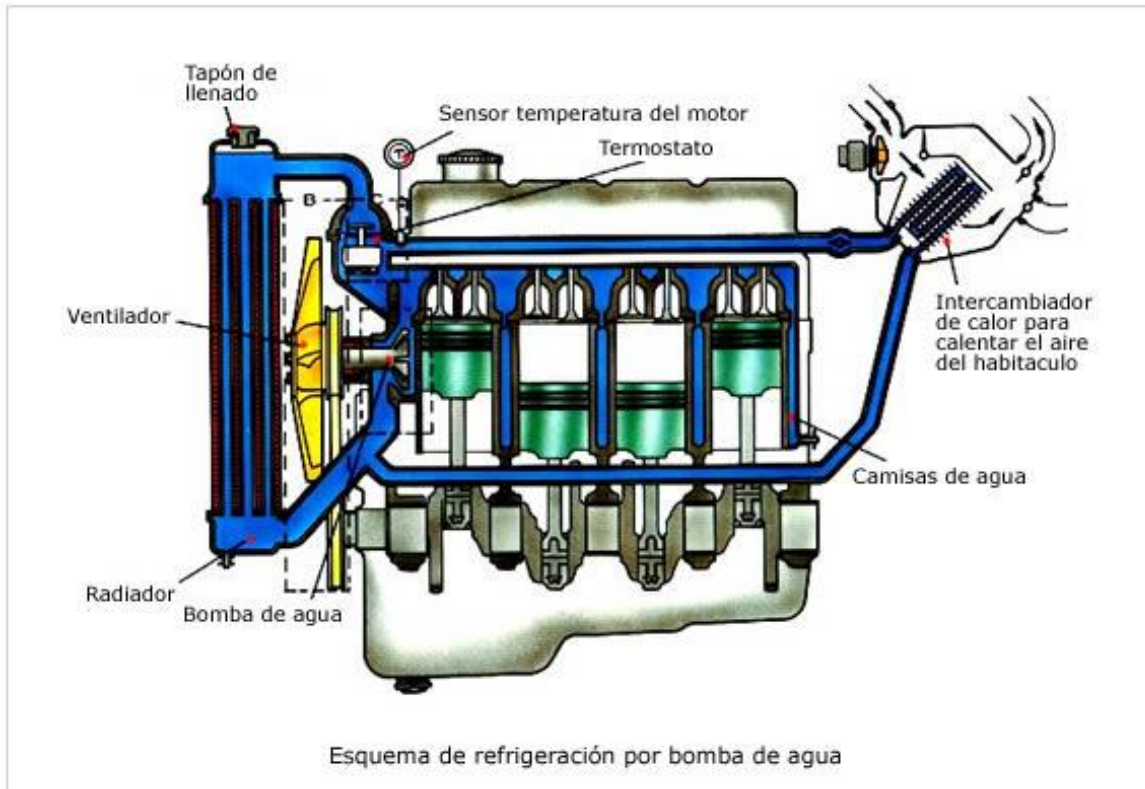
# Introducción



[www.diarimotor.com](http://www.diarimotor.com)



# Introducción



www.ro-des.com

Porcentaje de EG en el agua	Punto de congelación (°C)	Punto de ebullición (°C)
0	0	100
10	-4	102
20	-7	102
30	-15	104
40	-23	104
50	-34	107
60	-48	110
70	-51	116
80	-45	124
90	-29	140
100	-12	197

Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. W. M., & Mamat, R. (2015). A review on the application of nanofluids in vehicle engine cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 68, 85-90.

# Problemática

- El sistema del control térmico de un automóvil es un tema tecnológico transversal, porque afecta directa o indirectamente el **desempeño del motor, economía del combustible, seguridad y confiabilidad, la aerodinámica, el confort del conductor y pasajeros, selección de materiales, emisiones, mantenimiento y vida de los componentes.**
- Por lo anterior se deduce que un sistema de control térmico eficaz y con capacidad de respuesta es crítico para el diseño y la operación de automóviles que ahorran combustible y que cumplen con **estándares de emisiones cada vez más estrictos.**
- Los vehículos híbridos, requieren de nuevos radiadores que sean mas pequeños y sigan cumpliendo con mismo desempeño térmico que los convencionales.



<http://www.electriccarblogging.com/2011/11/toyota-prius-plug-in-hybrid-review/>

# Geometría

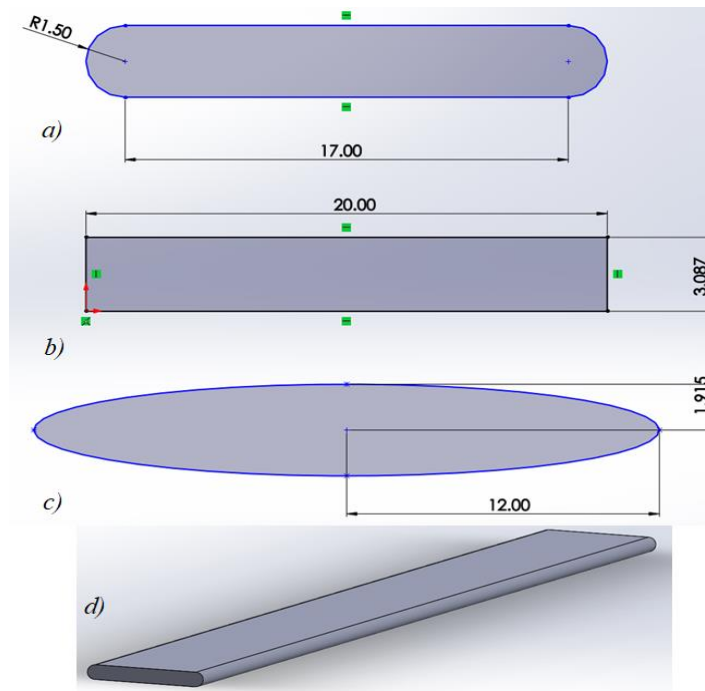
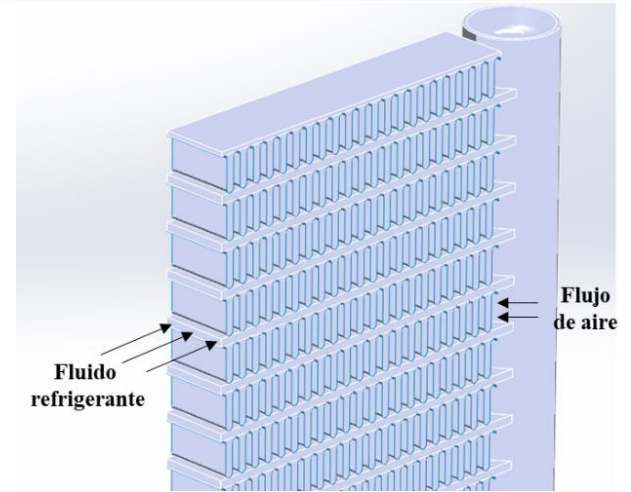
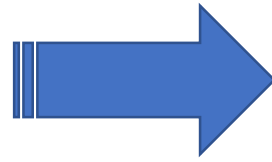
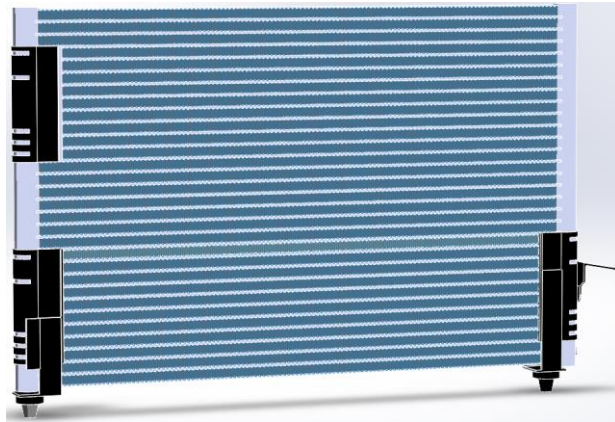
•En 1886, Karl Benz creó el primer automóvil con un sistema de enfriamiento por agua para su motor, rodeando los cilindros y dirigiendo agua a través de una estructura de tubos paralelos, conocida como radiador.

•En 1897 Wilhem Maybach, diseñó el actual radiador en forma de panel y fue introducido por Gottlieb Daimler en el mismo año. Ese radiador consistía de 400 o 500 tubos cuadrados de  $\frac{1}{4}$  " y 12 cm de largo unidos juntos horizontalmente.

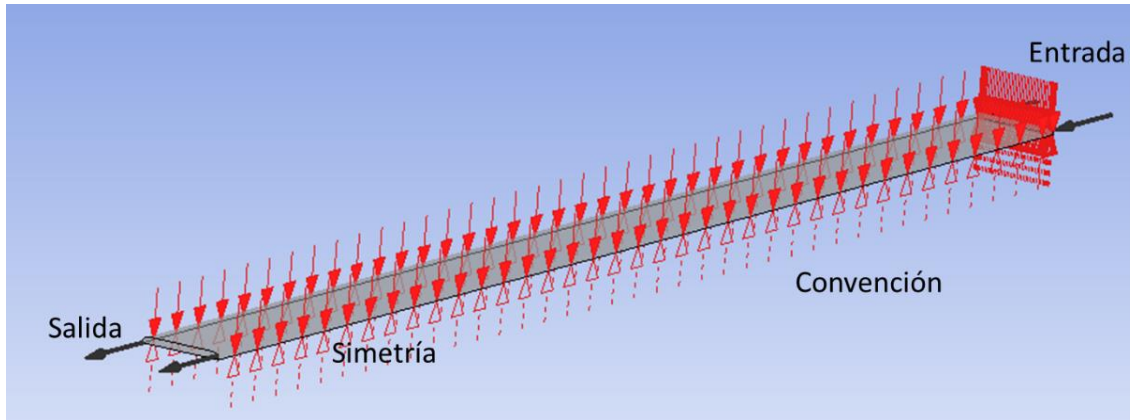
•En 1900, Franz Sauerbier desarrolla y construye un radiador de tubos con aletas.



# Geometría



# Análisis computacional



## Consideraciones :

- Estado estable
- Flujo incompresible
- Propiedades termofísicas constantes.
- La temperatura del agua en la entrada del canal del radiador es de 323 K.
- Flujo laminar.
- El modo de transferencia de calor por radiación es despreciado.
- Convección en la superficie,  $h=150 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Temperatura del aire 303 K.

Propiedad	Valor
Agua	
Conductividad térmica (W/m-K)	0.6069
Calor específico (kJ/kg-K)	997
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	4181.7
Viscosidad (kg/m-s)	0.0008899

## Ecuaciones Gobernantes.

Dominio del Fluido.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w$$

$$\rho_f \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_f \nabla^2 T$$

Dominio del Sólido.

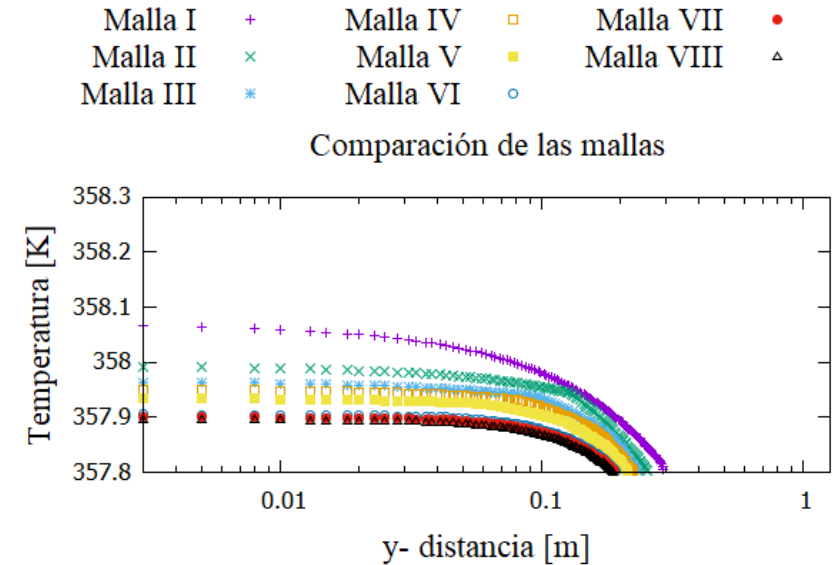
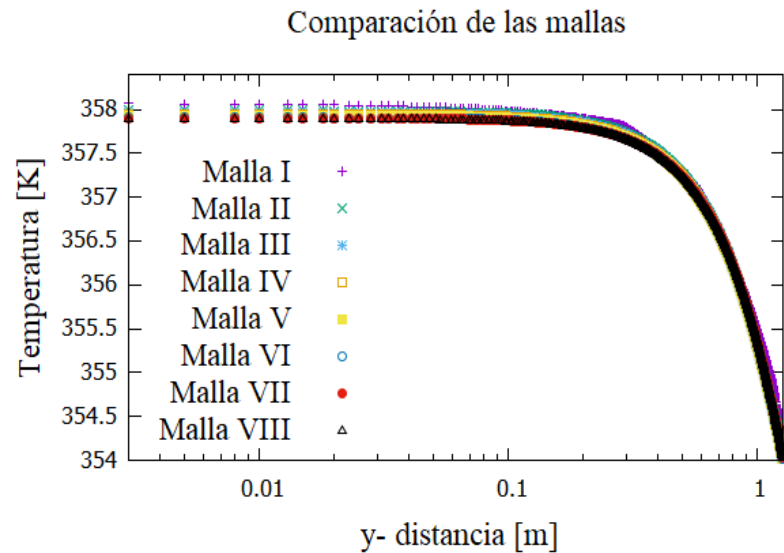
$$\nabla^2 T = 0$$



# Análisis computacional

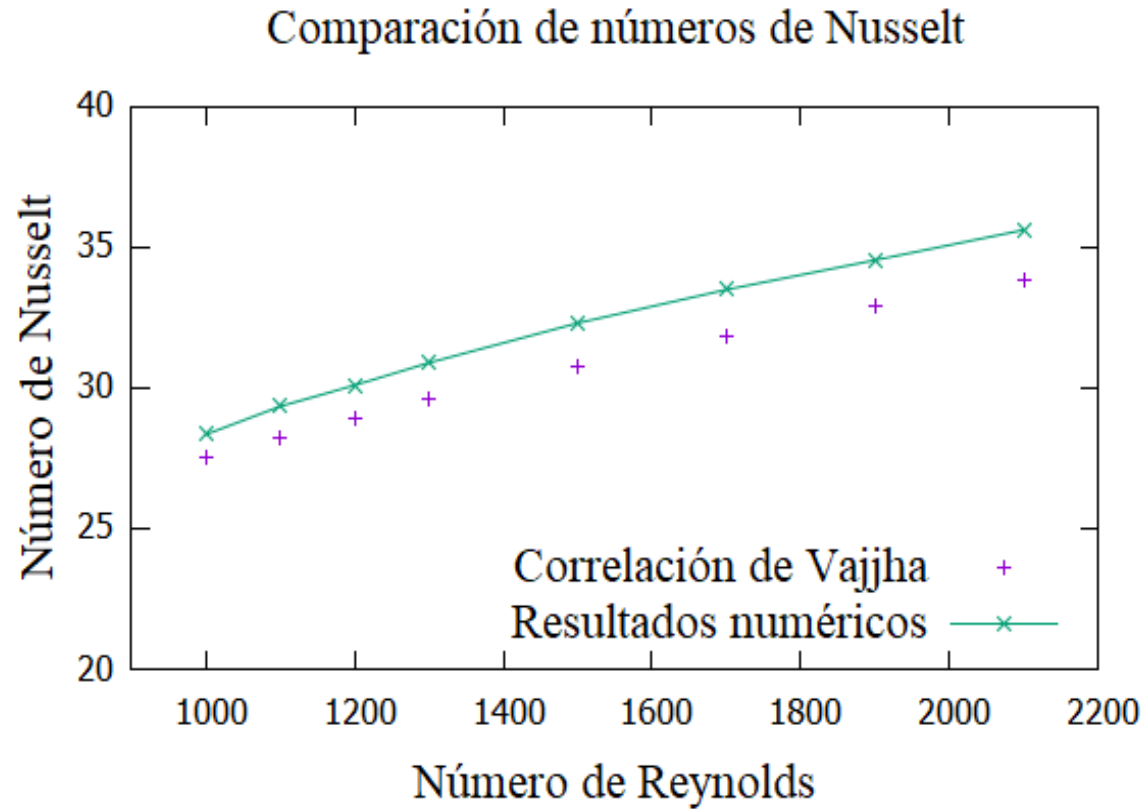
## Análisis de malla.

Malla	Nodos
I	17 400
II	51 200
III	87 000
IV	177 750
V	590 400
VI	896 000
VII	1 208 400
VIII	1 274 200



# Validación

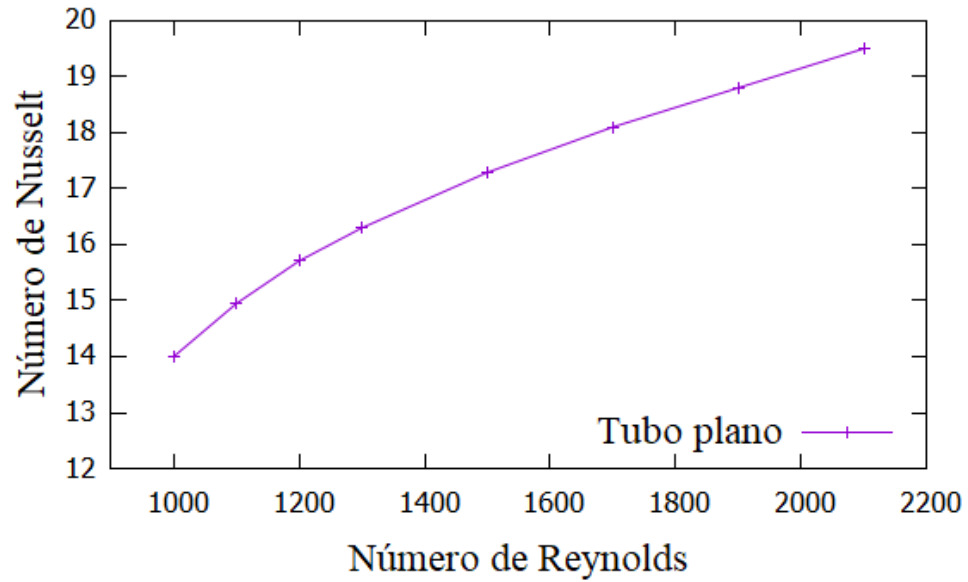
## Validación de resultados.



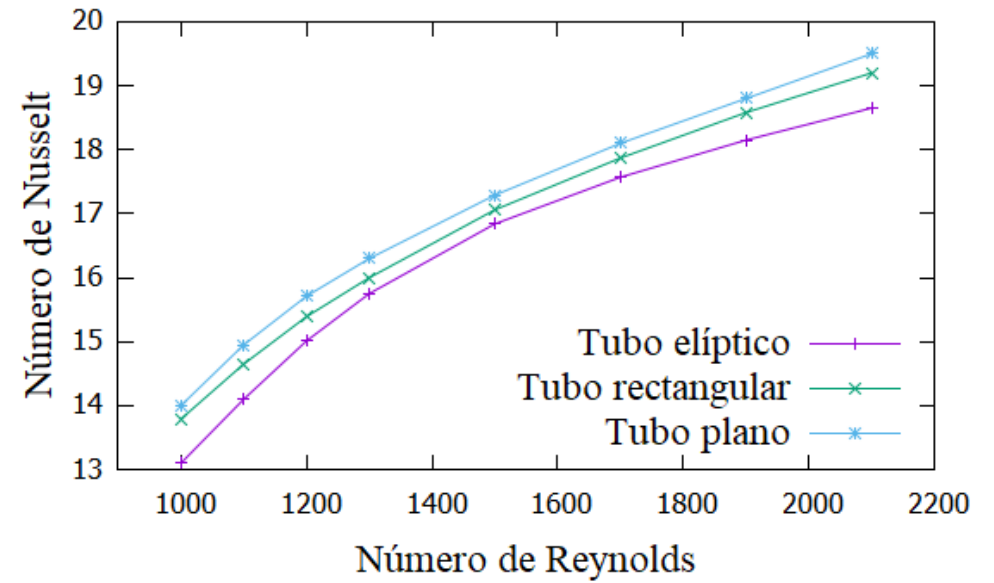
# Resultados

## Térmicos.

Número de Nusselt para un tubo plano



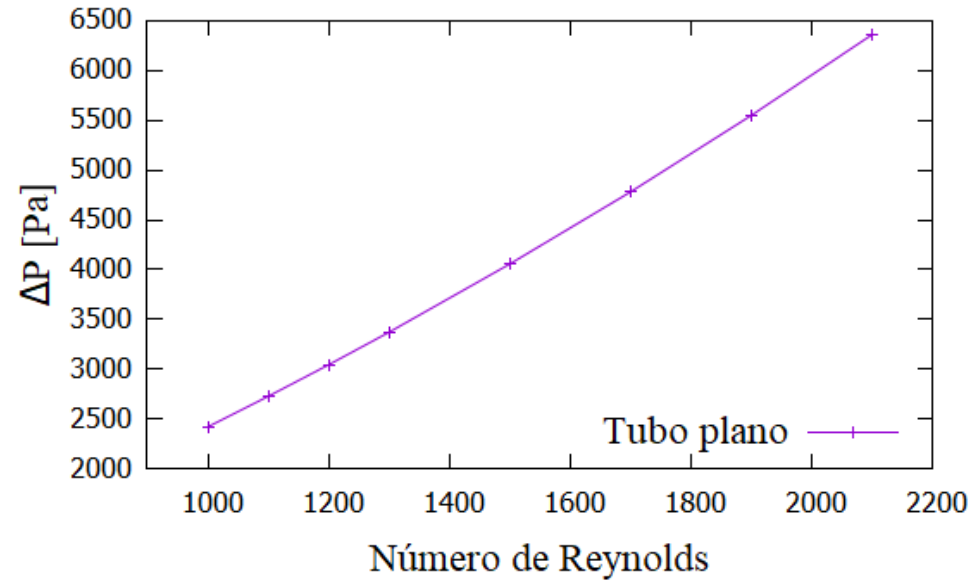
Comparación de números de Nusselt



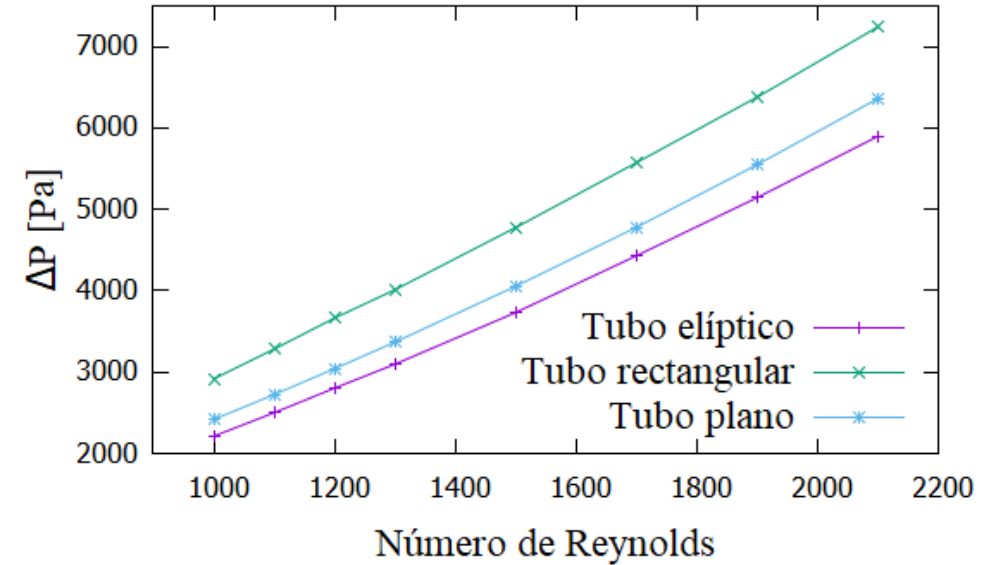
# Resultados

## Hidrodinámicos.

Caida de presión para un tubo plano



Comparación de la caída de presión



# Análisis de Generación de Entropía

$$\dot{S}_{gen}''' = \frac{k}{T^2} \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{\mu}{T} \left\{ \left[ \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_y}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right)^2 \right\}$$

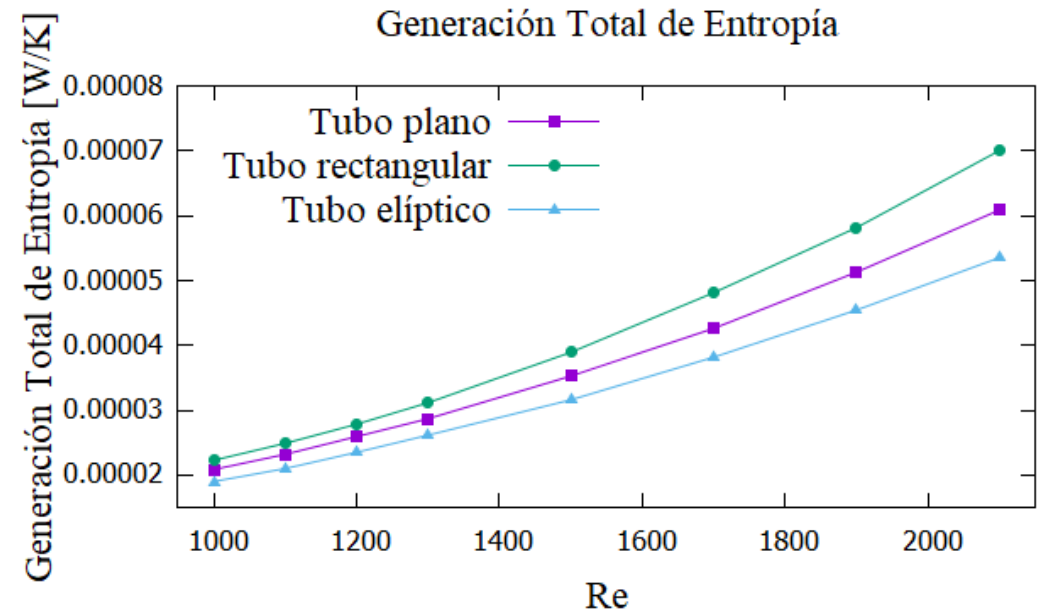
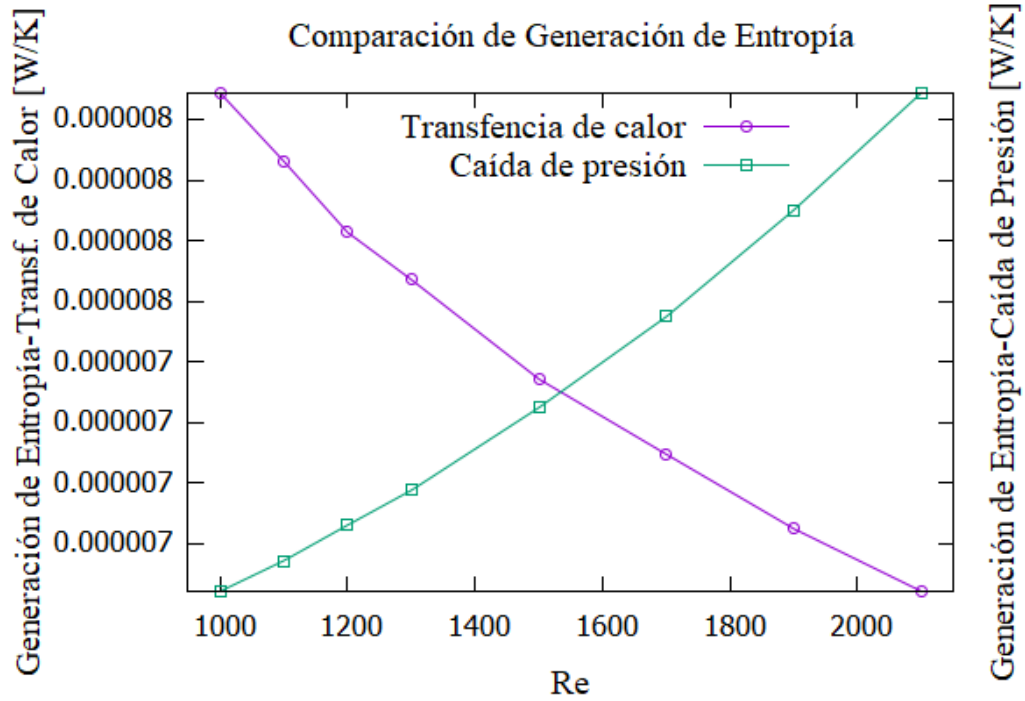
$$\frac{k}{T^2} \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] \quad \longrightarrow \quad \text{Térmica}$$

$$\frac{\mu}{T} \left\{ \left[ \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_y}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \right)^2 \right\} \quad \longrightarrow \quad \text{Caída de presión}$$

A. Bejan, Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow, Wiley, New York, 1982.



# Resultados



# Conclusiones

- Se analizan un radiador de calor para el enfriamiento de un automóvil.
- Diferentes geometrías de la sección transversal de un tubo de radiador de automóvil son estudiadas y comparadas.
- Se compara el modelo numérico usado con las correlaciones encontradas en la bibliografía, teniendo que el modelo numérico tiene una muy buena exactitud de acuerdo a las correlaciones, esto nos sirve para poder usar el modelo numérico en este y en futuros trabajos.
- De los resultados obtenidos se tiene que la geometría del tubo plano ofrece una mayor transferencia de calor, esto debido que los números de Nusselt encontrados son mayores para esta geometría.
- Por otro lado, la caída de presión para la geometría elíptica es la menor, es decir, esta geometría ofrece la mayor transferencia de calor, pero también se requiere menor energía para mover el fluido de enfriamiento.

# Conclusiones

- Considerando solamente la transferencia de calor, la geometría del tubo plano se debería de usar en los tubos que componen un radiador de automóvil, ya que con esto se puede obtener una mayor transferencia de calor.
- Por otro lado, se realiza un análisis de generación de entropía, el cual nos indica que la geometría elíptica es la que genera una menor cantidad de entropía, por lo tanto, es la que tiene un mejor balance entre la transferencia de calor y la caída de presión.
- En futuros trabajos se propondrá una configuración completa del radiador de calor en base a los resultados aquí obtenidos, esto para comprobar que el radiador cumple con su objetivo de mantener el motor a la temperatura adecuada y obtener una configuración completa del radiador.



**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. BCONIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)