



# 2<sup>nd</sup> International Symposium on Master Engineering *Booklets*



RENIECYT - LATINDEXT - EBSCO - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

## **Title:** Use of Nanofluids to Improve Heat Transfer

**Author:** ZÚÑIGA-CERROBLANCO, José Luis

**Editorial label ECORFAN:** 607-8695  
**BIMES Control Number:** 2022-12  
**BIMES Classification (2022):** 231122-0012

**Pages:** 20  
**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

# Contenido

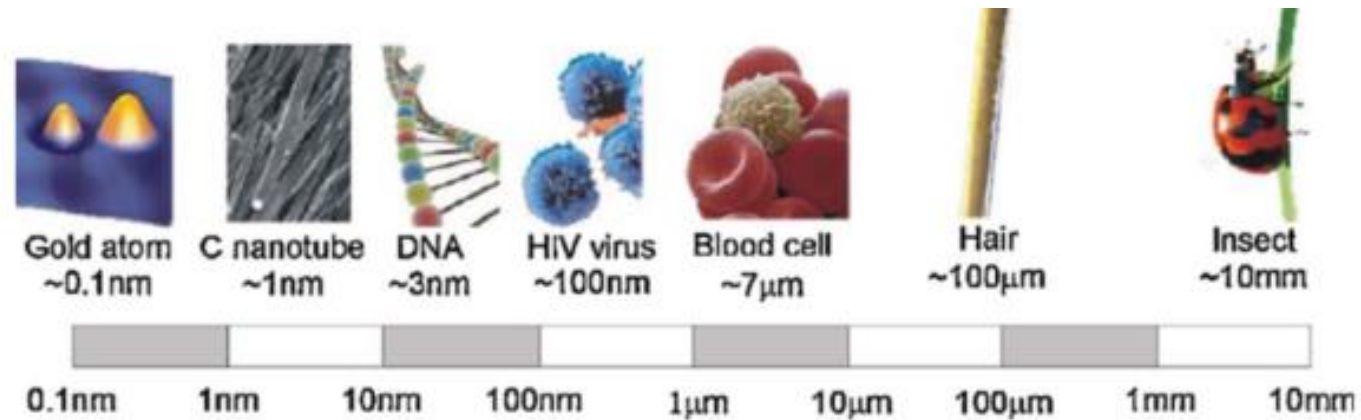


- Introducción.
- Definición.
- Aplicaciones.
- Propiedades.
- Casos de estudio.
- Optimización.
- Conclusiones.

- Los sistemas energéticos que consumen, generan o disipan energía, se han convertido en el problema singular y más importante que los científicos e ingenieros del mundo deben enfrentar en los próximos 50 años.
- Ya sea utilizando recursos energéticos tradicionales o nuevos, mejorar la transferencia de calor y reducir las pérdidas de energía son siempre los medios más eficientes para abordar los problemas del no aprovechamiento y remoción de energía.
- Las tecnologías de control térmico de superficie extendida, como las aletas y los microcanales, se están llevando al límite.
- Por lo tanto, las nuevas tecnologías con potencial para mejorar las propiedades térmicas de los fluidos refrigerantes son de gran interés para los investigadores.

# Introducción

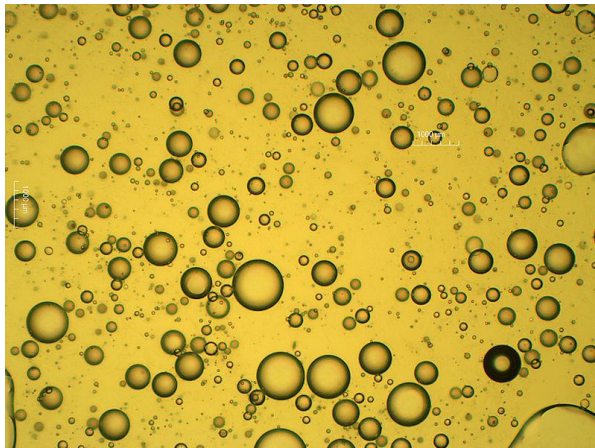
- Choi (1995) propuso una alternativa, el uso de los nanofluidos como una estrategia novedosa para mejorar las características de transferencia de calor de los fluidos mediante la adición de partículas sólidas con diámetros inferiores a 100 nm.
- Los nanofluidos son una clase de fluidos que consisten en un fluido base con partículas de tamaño nanométrico (1 a 100 nm) suspendidas en su interior.
- Estas partículas, generalmente un metal u óxido de metal, aumentan la conducción y el coeficiente de convección, lo que permite una mayor transferencia de calor fuera del refrigerante.



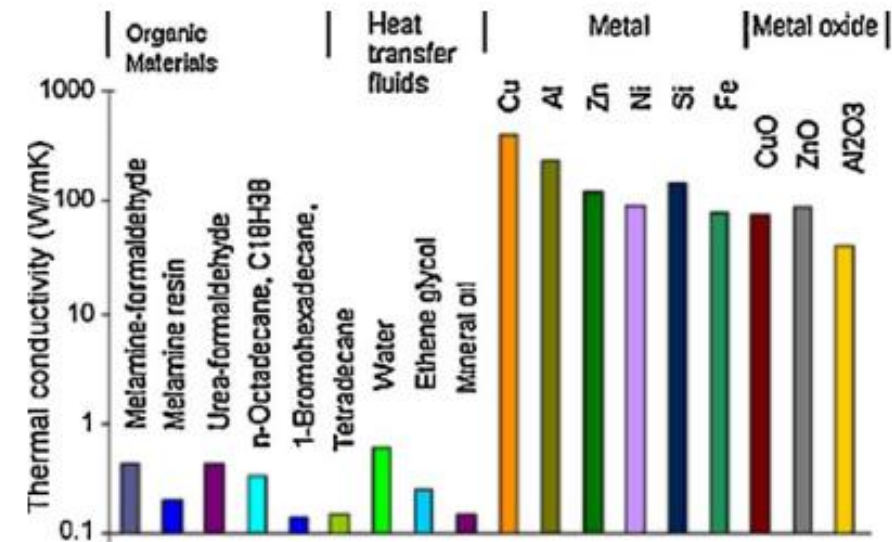
Escala y algunos ejemplos relacionados.

# Definición

- Un nanofluido es una mezcla de nanopartículas y un fluido base, diferentes tipos de elementos metálicos son usados como nanopartículas, los usados más comúnmente son: **oro, plata, alúmina y dióxido de titanio.**
- Las nanopartículas mejoran las propiedades termofísicas del fluido base, tales como: la conductividad térmica, la densidad, la viscosidad y el coeficiente convectivo de transferencia de calor.

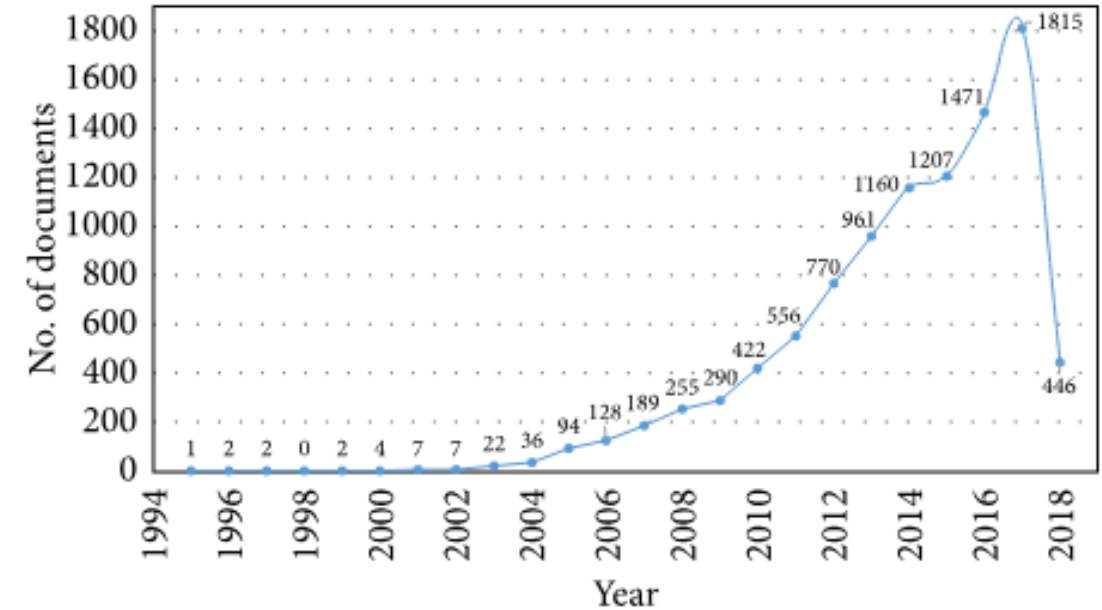


<http://agenciadenoticias.unal.edu.co>



# Definición

- Algunos investigadores reconocen a los nanofluidos como una nueva generación de refrigerantes para vehículos, esto debido a su alta conductividad térmica y a que son amigables con el medio ambiente.
- Los nanofluidos permiten tener altas temperaturas en el fluido refrigerante y una mayor transferencia de calor.



Naser Ali, Joao A. Teixeira, and Abdulmajid Addali, "A Review on Nanofluids: Fabrication, Stability, and Thermophysical Properties," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2018, Article ID 6978130, 33 pages, 2018

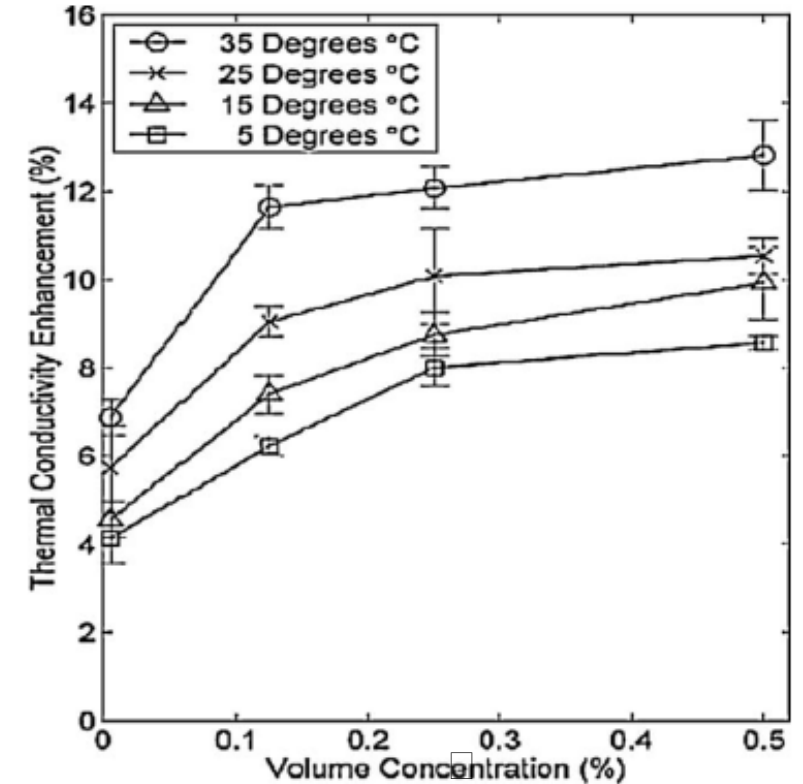
# Aplicaciones



- Los nanofluidos se pueden utilizar para una amplia variedad de industrias:
  - Transporte y producción de energía
  - Sistemas electrónicos como microprocesadores,
  - Sistemas microelectromecánicos (MEMS)
  - Biotecnología.
- Recientemente, está aumentando el número de empresas que observan el potencial de la tecnología de nanofluidos y su enfoque para aplicaciones industriales específicas.
- En la industria automotriz, algunas compañías como GM y Ford, se están centrando en proyectos de investigación de nanofluidos.

# Propiedades termofísicas

- Dentro de las propiedades termofísicas se cuenta con la conductividad térmica. La cual resulta atractiva para muchas de las aplicaciones antes mencionadas, ya que representa la habilidad para conducir y transmitir calor.
- Una gran variedad de investigadores han llevado a cabo estudios de la conductividad térmica.
- Por ejemplo, Eastman (1996), encontró que la conductividad térmica de un nanofluido de partículas de cobre en etilenglicol a una concentración del 3% incrementa hasta en un 40 % la conductividad térmica comparada con la del fluido base.



Mejoramiento de la conductividad térmica de nanopartículas de oro en agua, para diferentes concentraciones.



# Propiedades termofísicas

- El cálculo de las propiedades termofísicas se realiza con las siguientes ecuaciones:

Densidad

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p$$

Conductividad térmica

$$k_{ef} = k_{bf} + 3\varphi \frac{k_p + k_{bf}}{2k_{bf} + k_p - \varphi_p(k_p - k_{bf})} k_{bf}$$

Calor específico

$$Cp_{nf} = (1 - \varphi)Cp_f + \varphi Cp_p$$

Viscosidad

$$\mu_{ef} = \mu_{bf} (1 + 2.5\mu_p + 6.5\mu_p^2)$$

$\rho$ : densidad

$k$ : conductividad térmica

$Cp$ : calor específico

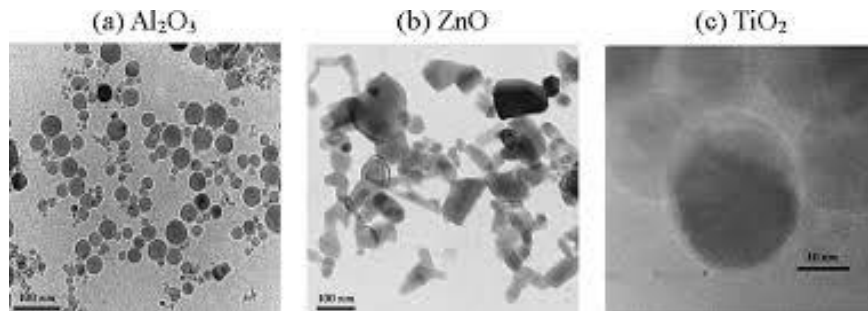
$\mu$ : viscosidad

$\varphi$ : concentración

$bf$ : fluido base

$p$ : partícula

$ef$ : efectiva



- Yimin Xuan, Wilfried Roetzel. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 43, pp. 3701- 3707.
- Maxwell JC. (1873). Treatise on electricity and magnetism. Oxford: Clarendon Press.
- Batchelor, G.K. (1977). The Effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles. Journal of Fluid Mechanics, V.83, pp. 97-117.doi:10.1017/S0022112077001062

# Propiedades termofísicas

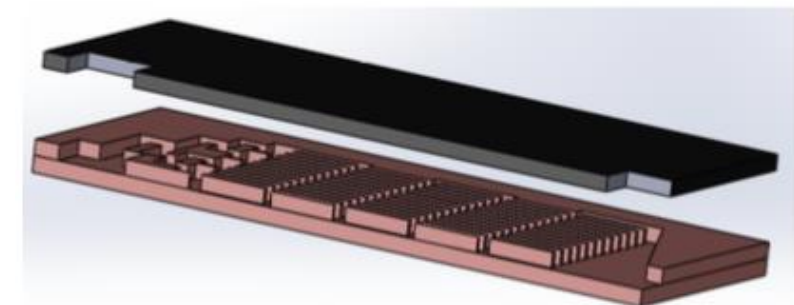
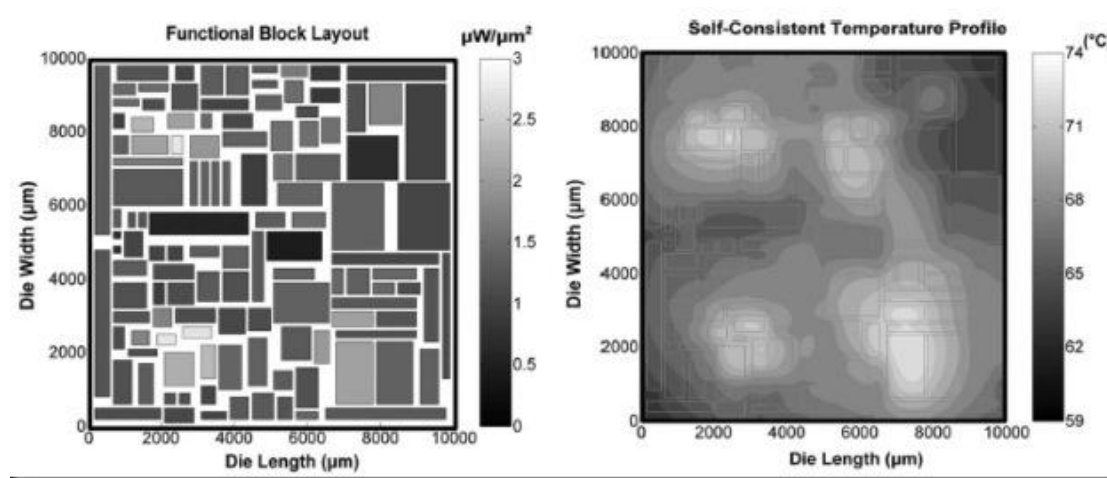
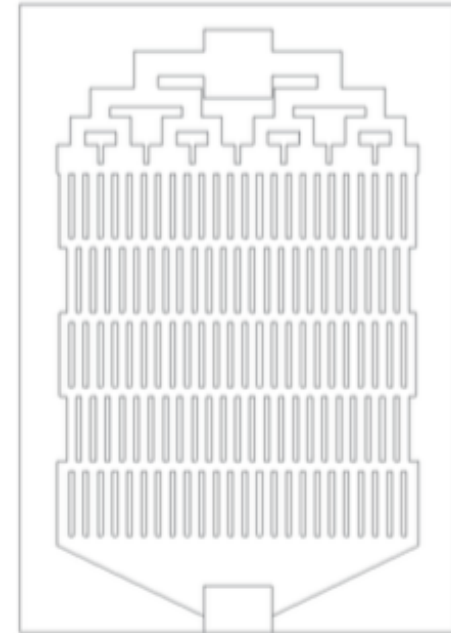
- Propiedades termofísicas del nanofluido a diferentes concentraciones.

Propiedad	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Agua	Nanofluido		
			φ=0.5 %	φ=1 %	φ=3 %
$k (Wm^{-1}K^{-1})$	40	0.5948	0.6034	0.612	0.6475
$\rho (kgm^3)$	3860	997.1	1011.41	1025.73	1082.98
$Cp (Jkg^{-1}K^{-1})$	849	4183.1	4166.43	4149.759	4083.07
$\mu (mPa - s)$		8.905	9.018	9.133	9.625

# Casos de estudio

## Propuesta de disipador de calor con distribuidor de flujo.

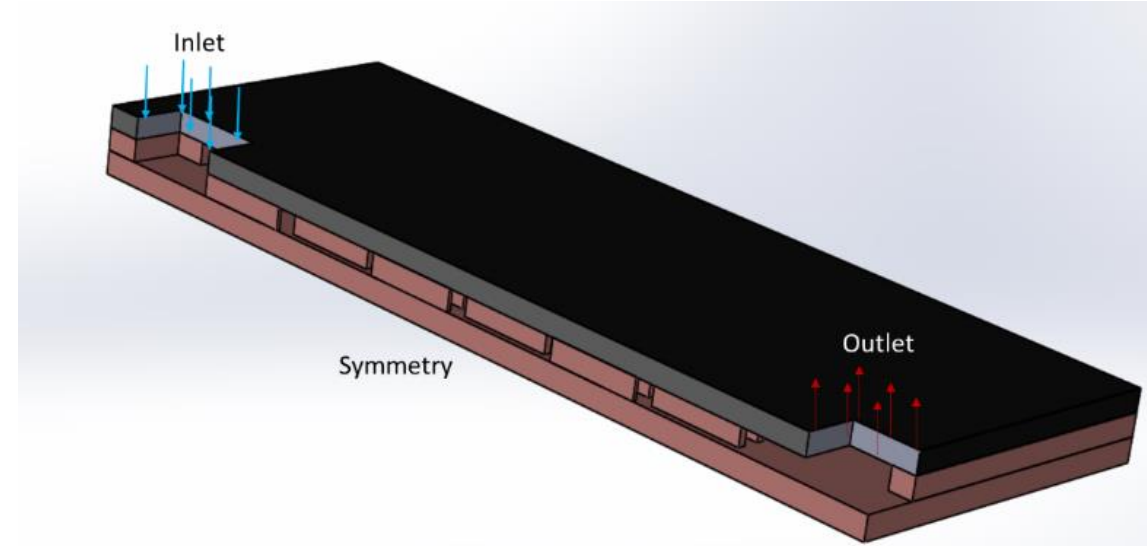
- Propuesta de geometría con un distribuidor de flujo.
- Disipadores para el enfriamiento electrónico requieren un flujo uniforme para una mejor desempeño térmico e hidrodinámico.



# Casos de estudio

Consideraciones :

- Estado estable.
- Flujo laminar e incompresible.
- Propiedades termofísicas constantes.
- La temperatura del agua en la entrada del canal del disipador es de 293 K.
- El flujo de calor en la base del disipador es de  $100 \text{ kW}/\text{m}^2$ .
- El modo de transferencia de calor por radiación es despreciado.



# Casos de estudio

## Ecuaciones Gobernantes.

Dominio del Fluido.

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

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

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

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

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

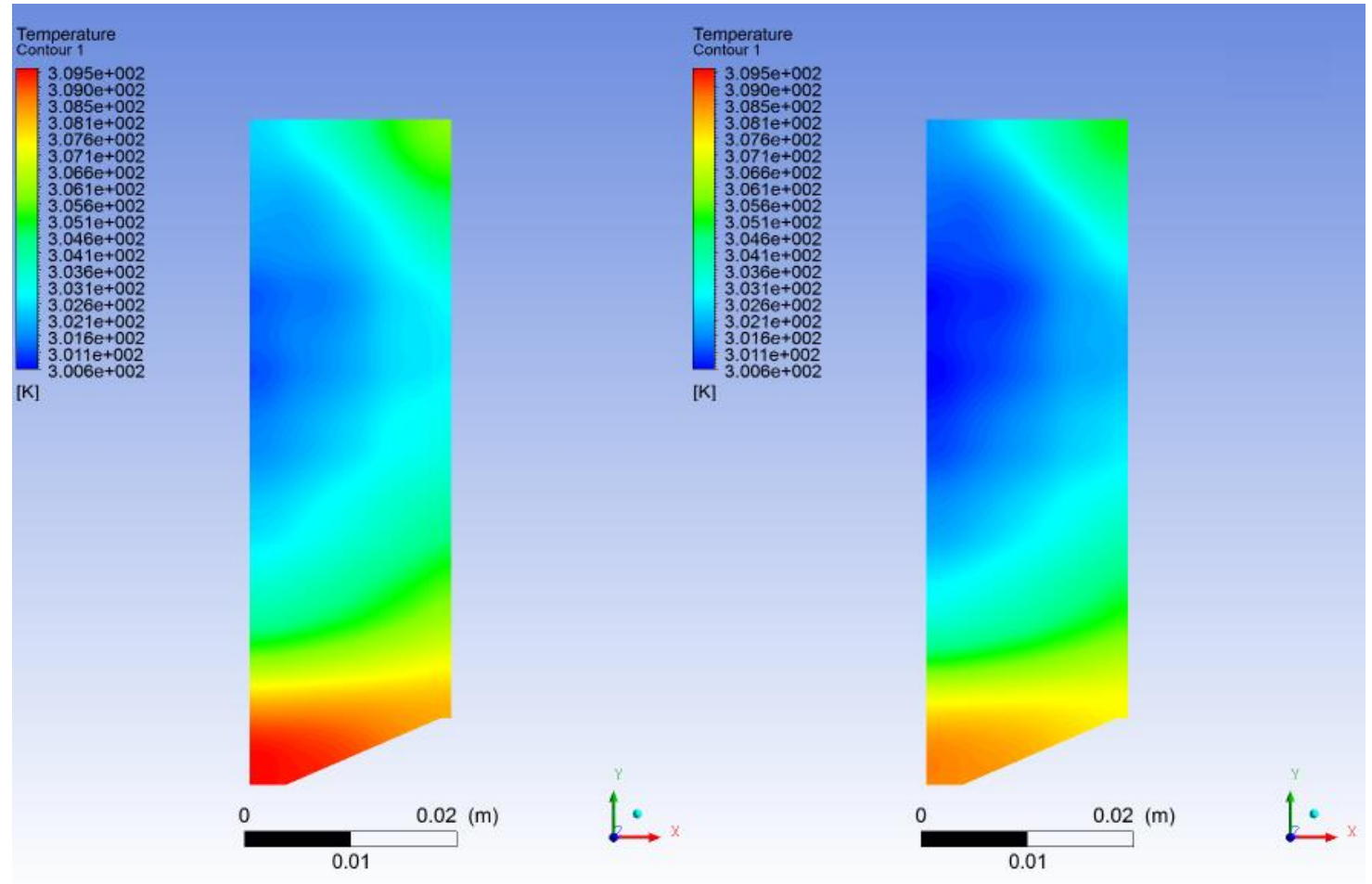
Dominio del Sólido.

$$\nabla^2 T = 0$$

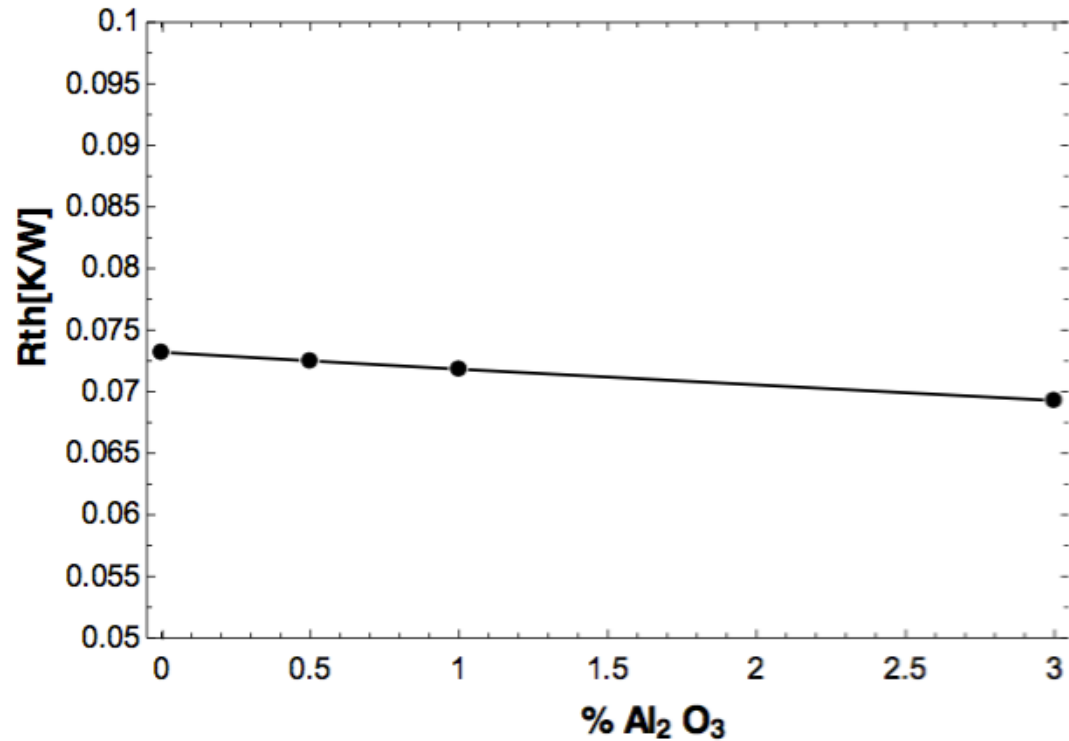
# Casos de estudio

## Contornos de temperatura.

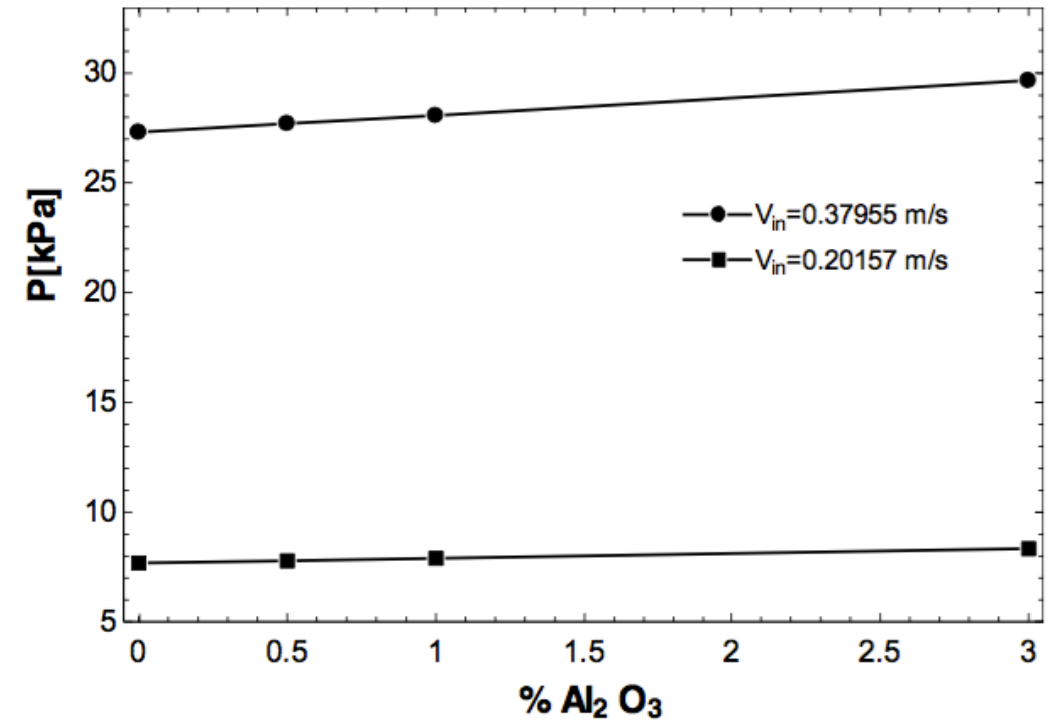
Comparación de los contornos de temperatura de la basa del disipador de calor. Usando agua y el nanofluido. Velocidad de entrada del fluido de  $0.20157 \text{ ms}^{-1}$ , and  $q'' = 100 \text{ kWm}^{-2}$ .



# Casos de estudio

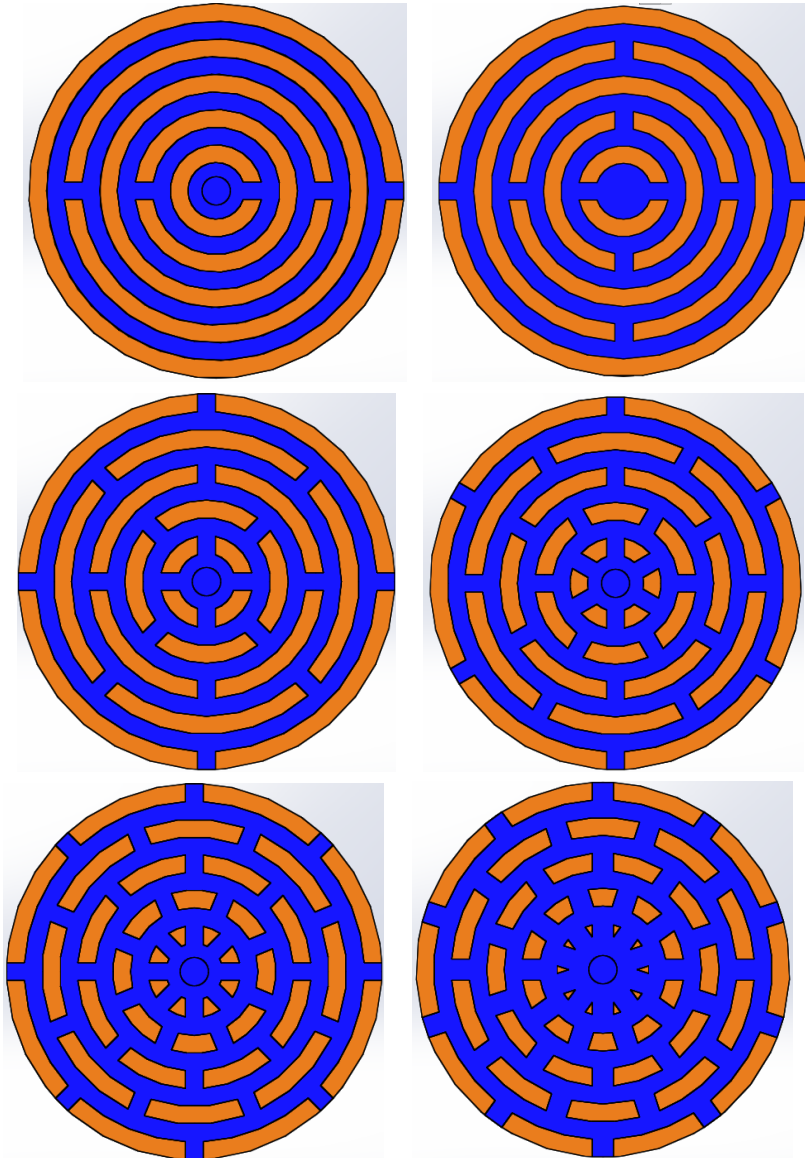


Resistencia térmica contra concentración. Velocidad de entrada del fluido de  $0.20157 \text{ ms}^{-1}$ .



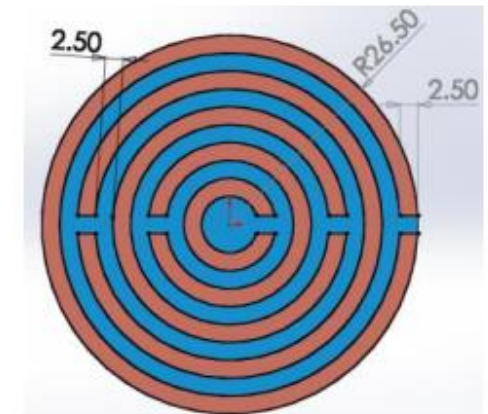
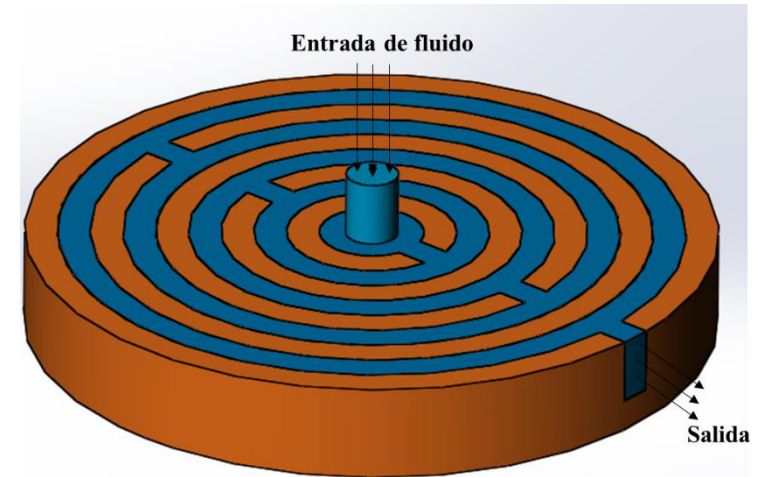
Comparación de la caída de presión contra concentración.  $V_{in} = 0.20157 \text{ ms}^{-1}$ ,  $V_{in} = 0.37955 \text{ ms}^{-1}$ .

# Disipadores de calor.



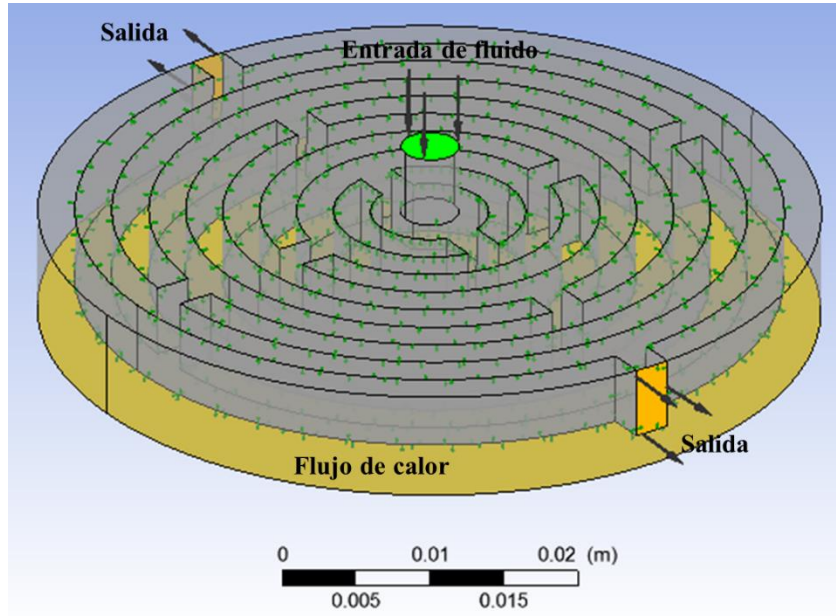
-Los disipadores requieren flujo uniforme para que no se generen puntos calientes en la base del disipador.

Caso	Número de conexiones entre el canal.
1	1
2	2
3	4
4	6
5	8
6	10





# Casos de estudio

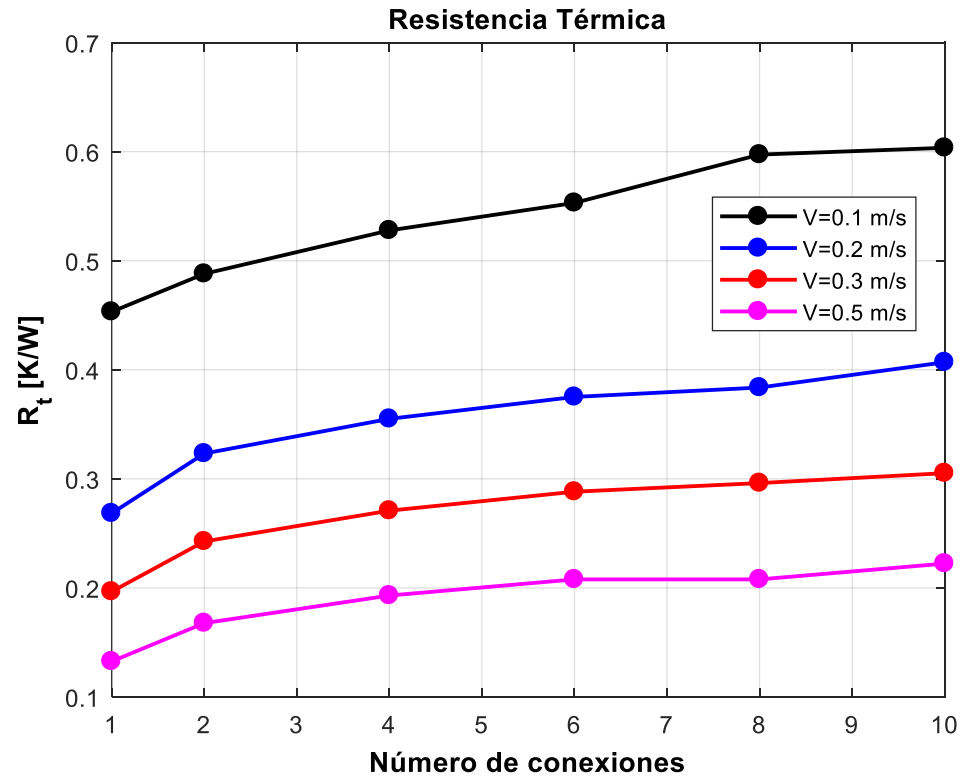


## Consideraciones :

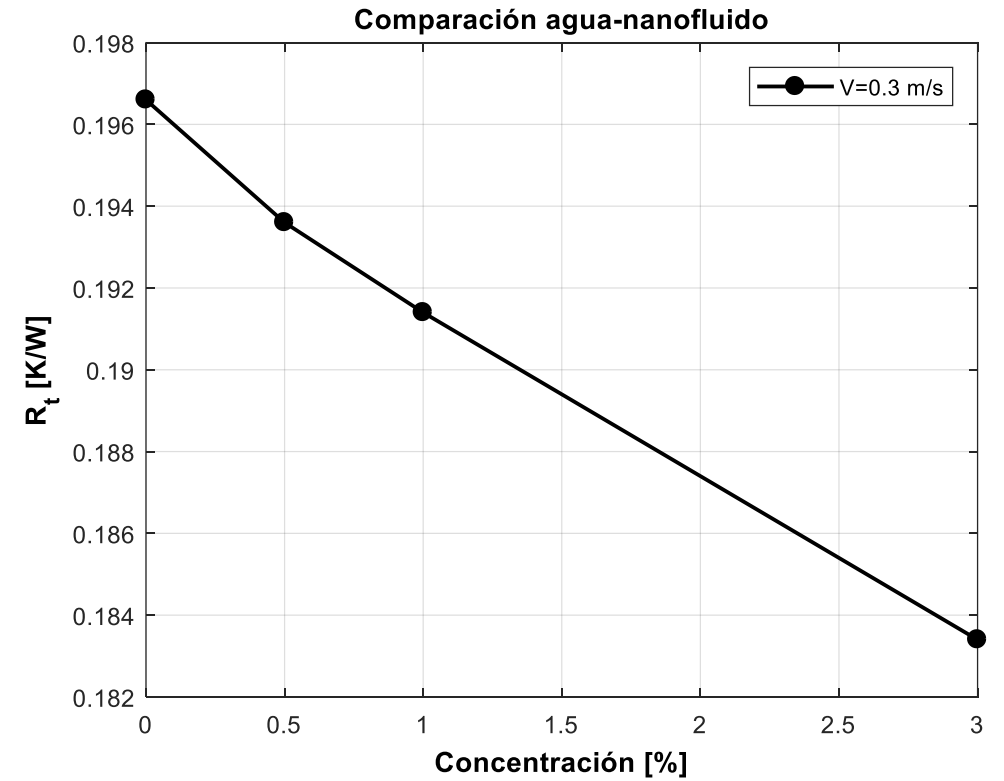
- Estado estable.
- Flujo incompresible.
- Propiedades termofísicas constantes.
- La temperatura del agua en la entrada del canal del disipador es de 293 K.
- El flujo de calor en la base del disipador es de 35 W.
- Flujo turbulento.
- Modelo de Turbulencia k- $\epsilon$  (RNG).
- El modo de transferencia de calor por radiación es despreciado.

Propiedad	Valor
Agua	
Conductividad térmica (W/m-K)	0.5948
Calor específico (kJ/kg-K)	4.183
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	997.1
Viscosidad (kg/m-s)	0.0008905
Cobre	
Conductividad térmica (W/m-K)	387.6
Calor específico (kJ/kg-K)	0.381
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	8978

# Casos de estudio

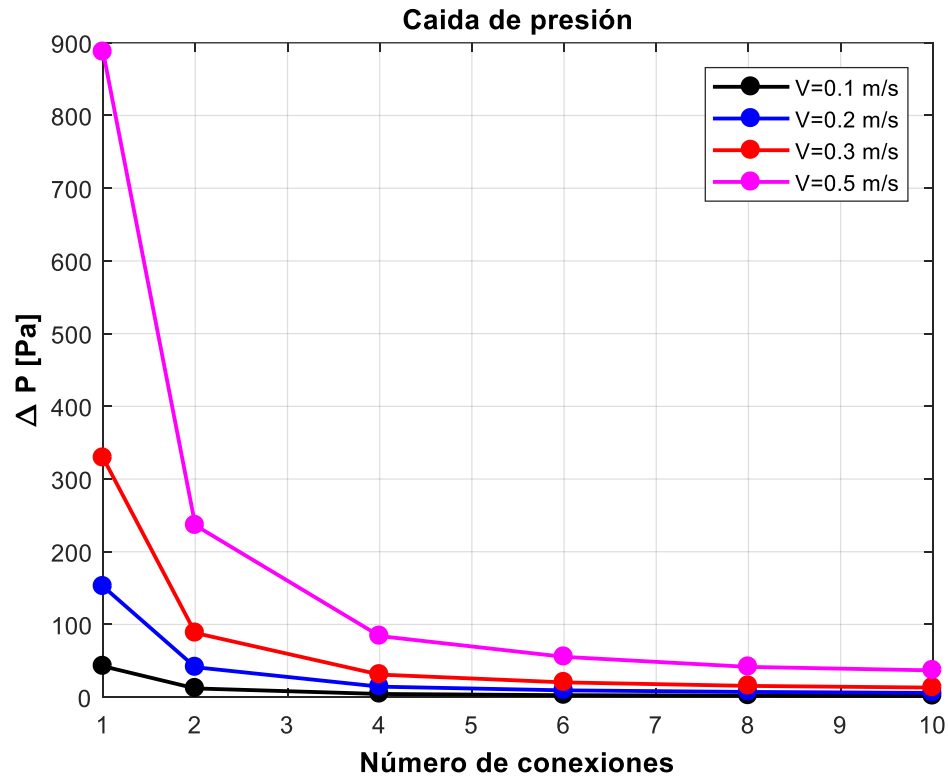


Resistencia térmica vs el número de conexiones entre los canales, para las diferentes velocidades de entrada de fluido.

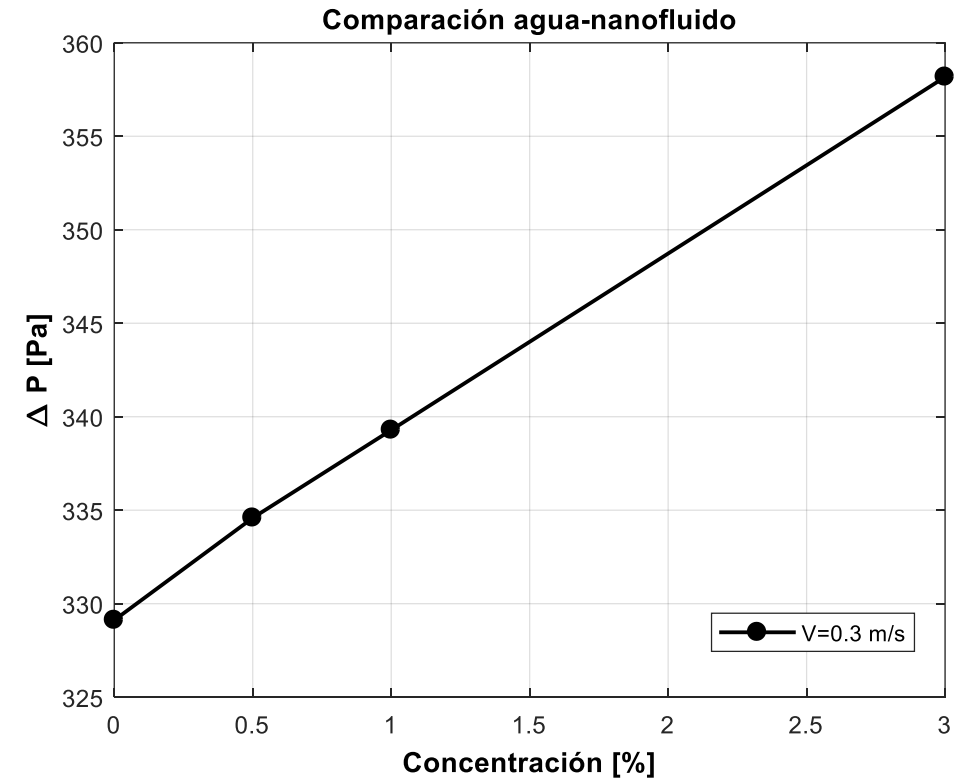


Comparación de la resistencia térmica del agua y del nanofluido a diferentes concentraciones y una velocidad de entrada de 0.3 m/s.

# Casos de estudio



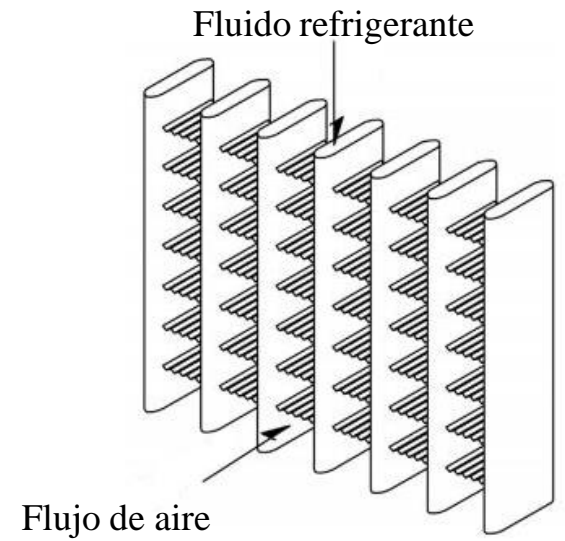
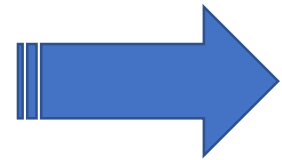
Caída de presión vs el número de conexiones entre los canales, para las diferentes velocidades de entrada de fluido.



Comparación de la caída de presión entre el agua y el nanofluido a diferentes concentraciones y una velocidad de entrada de 0.3 m/s.

# Casos de estudio

## Radiador automotriz.

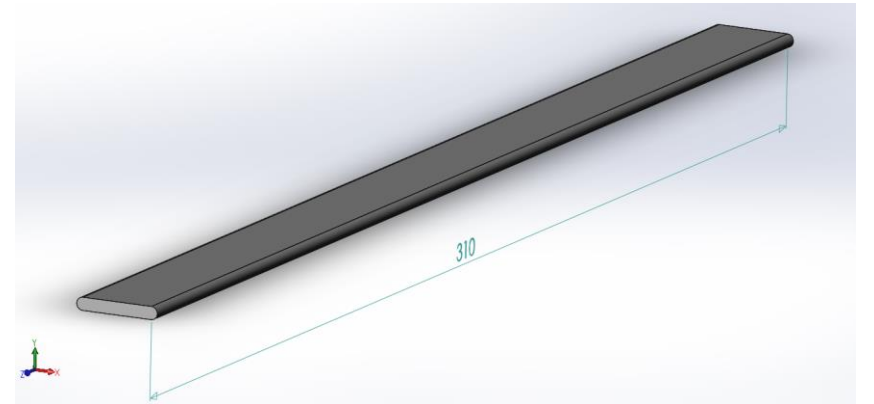
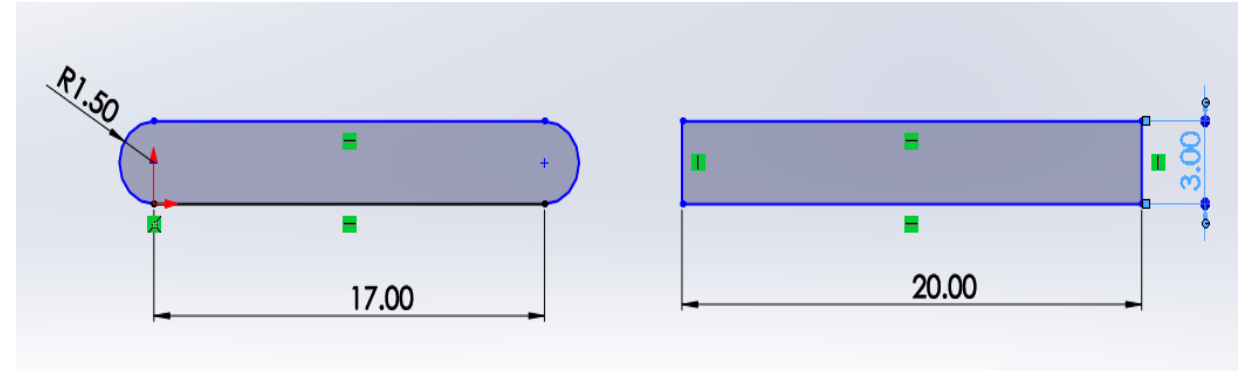
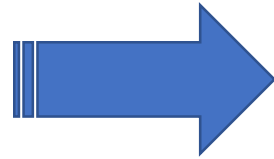
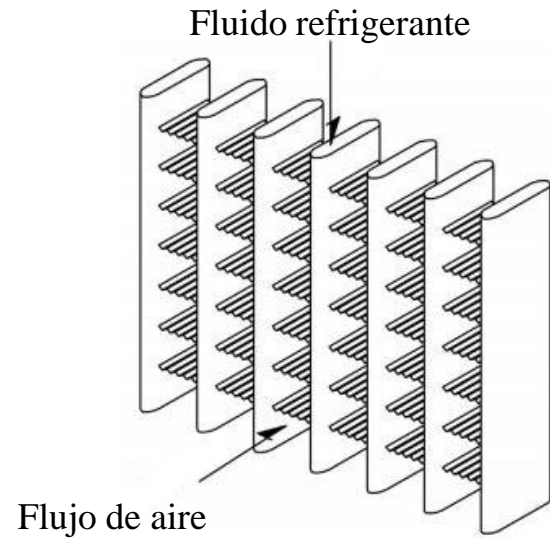


- En 1900, Franz Sauerbier desarrolla y construye un radiador de tubos con aletas.

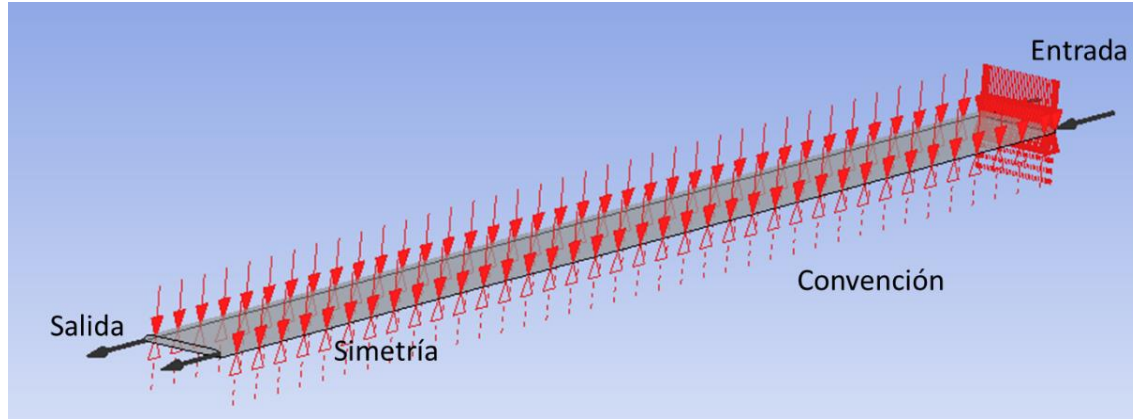


# Casos de estudio

## Radiador automotriz.



# Casos de estudio



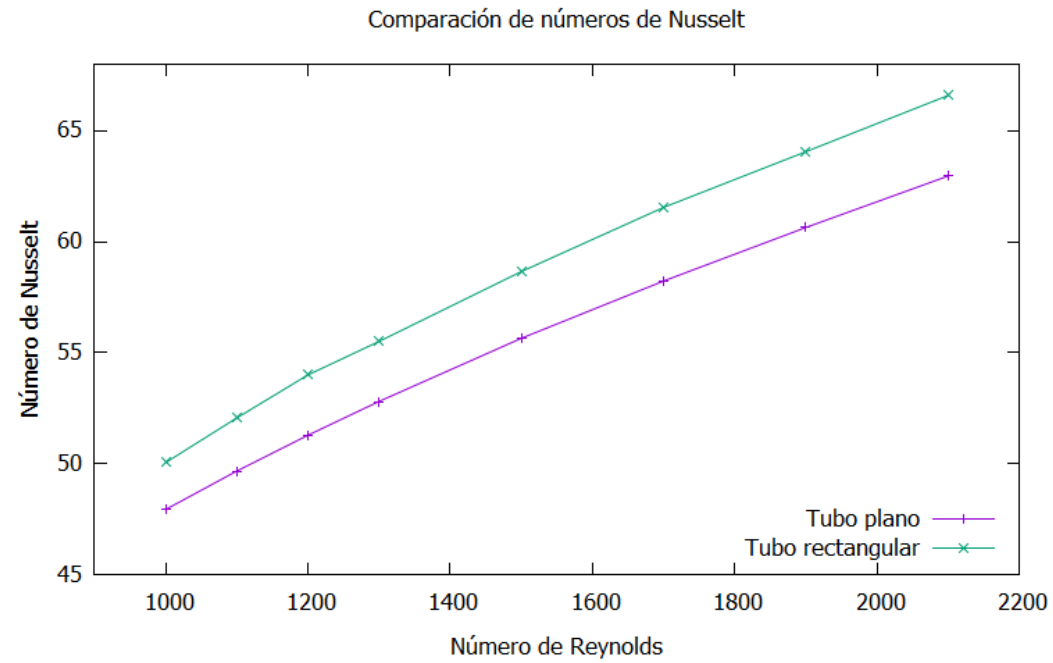
## Consideraciones :

- 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.

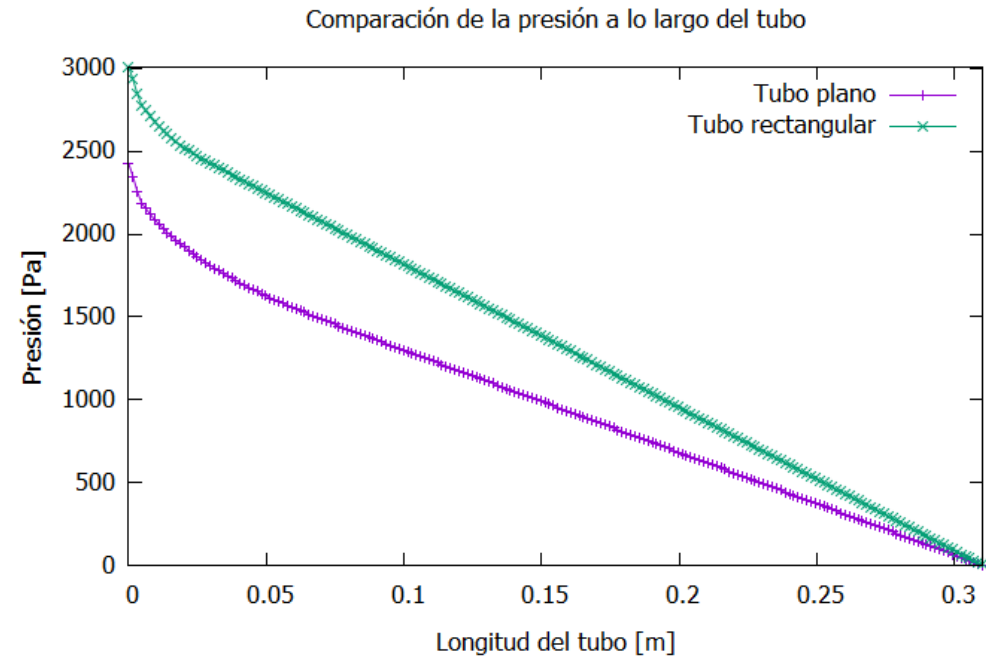
Propiedad	Valor
Agua	
Conductividad térmica (W/m-K)	0.6069
Calor específico (kJ/kg-K)	997
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	4181.7
Viscosidad (kg/m-s)	0.0008899

# Casos de estudio

## Térmicos.

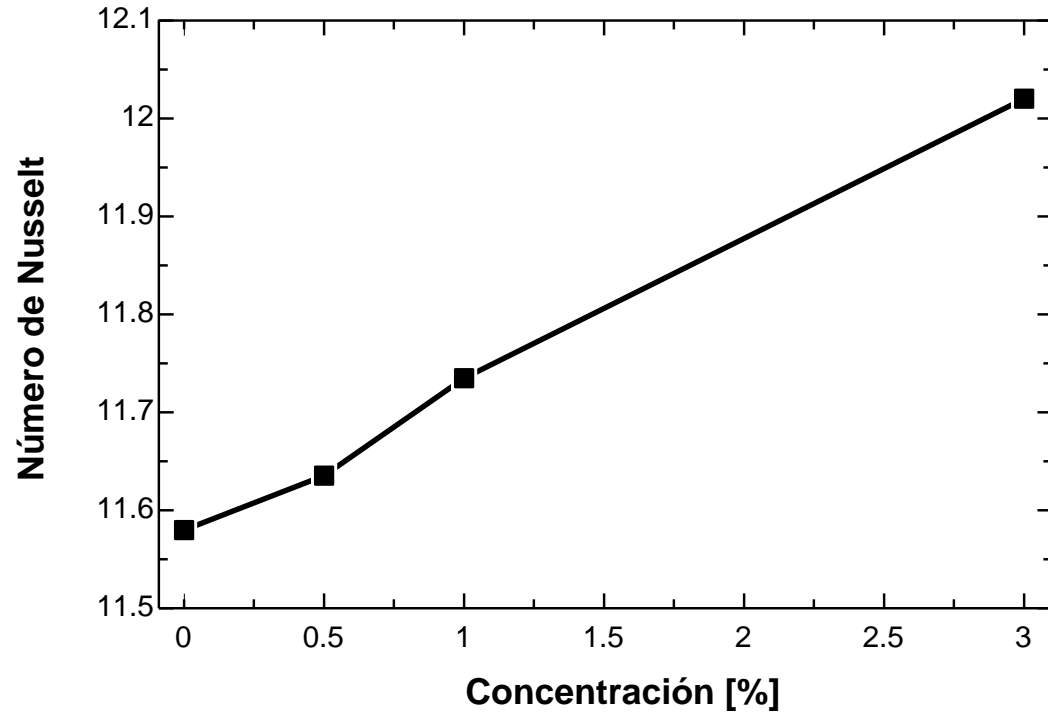


## Hidrodinámicos.

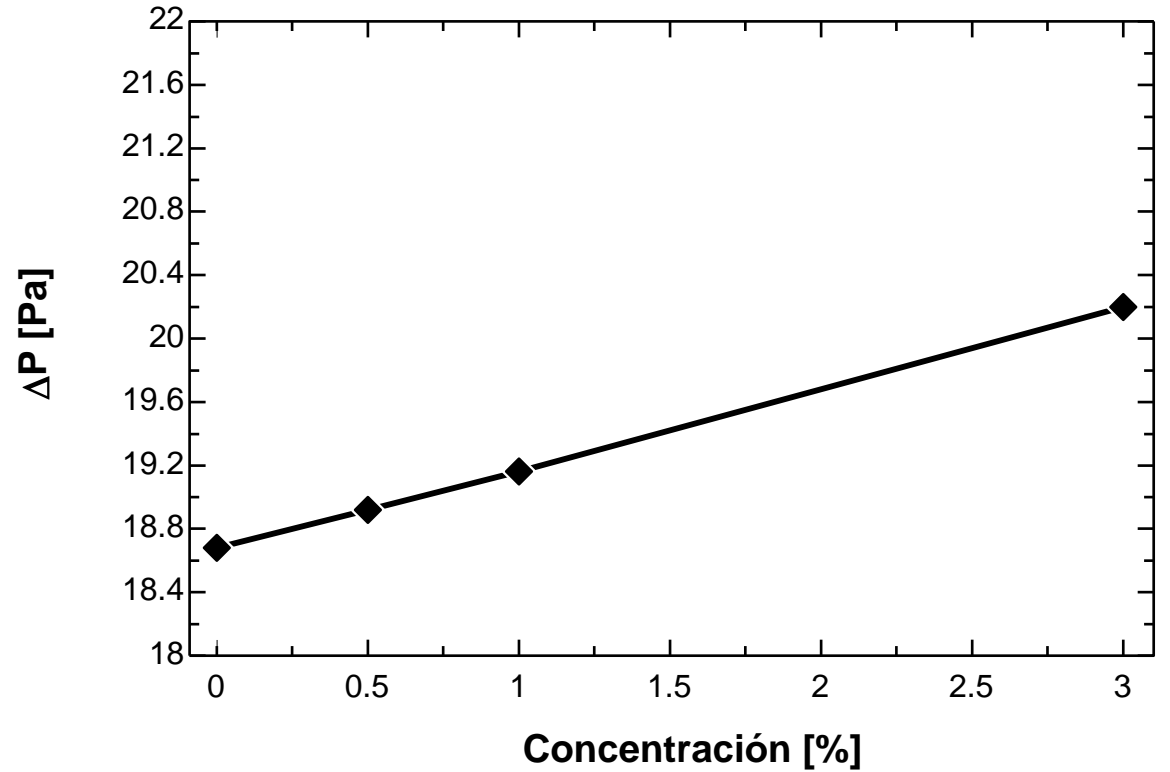


# Casos de estudio.

## Térmicos.



## Hidrodinámicos.





# Optimización

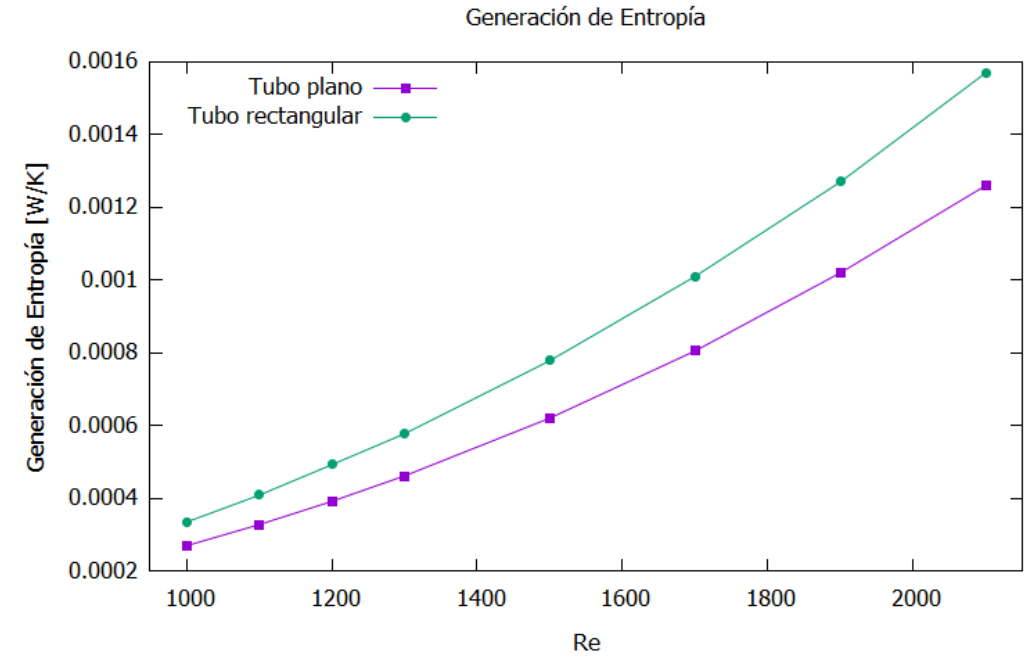
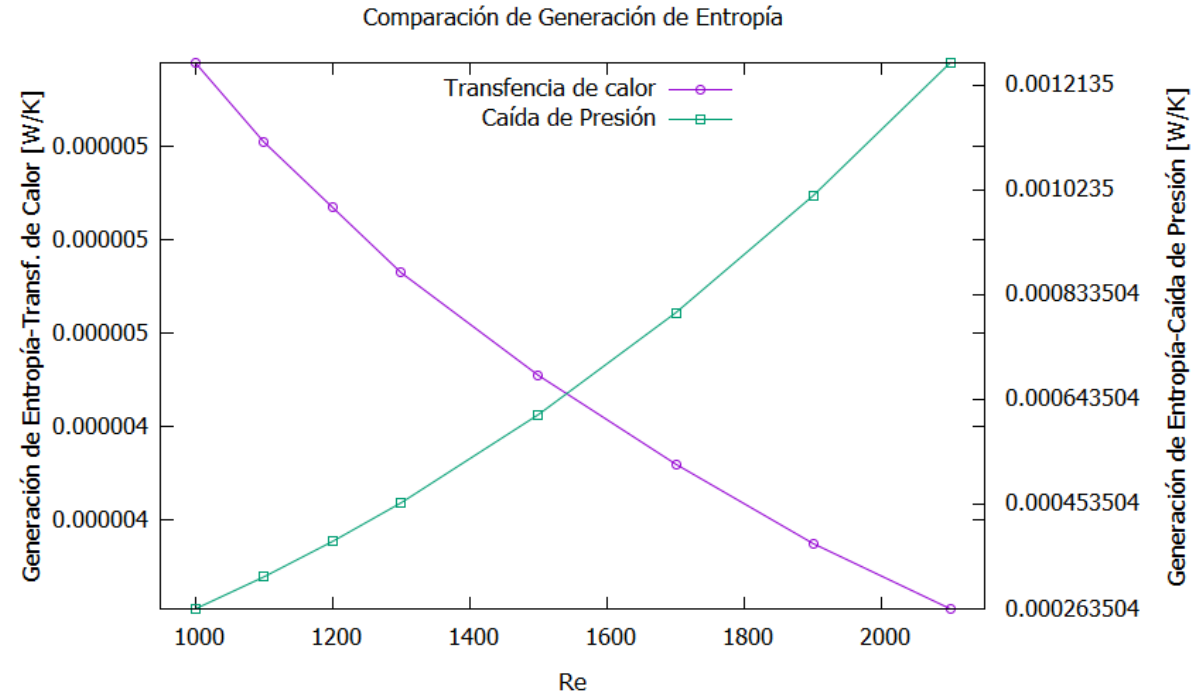
## Generación de entropía.

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

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

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

# Resultados de optimización



# Conclusiones



- Se obtiene que la mejora en las propiedades termofísicas permite que los nanofluidos mejoren el desempeño térmico en diferentes aplicaciones. □
- Los dispositivos de intercambio de calor se pueden hacer más eficientes y compactos.
- La forma reducida o compacta puede dar como resultado una resistencia aerodinámica reducida, por ejemplo, en automóviles y aplicaciones similares.
- Es necesario identificar y superar muchos desafíos para diferentes aplicaciones.
- La estabilidad de los nanofluidos y su costo de producción son factores importantes que dificultan la comercialización de nanofluidos.



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