

ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TIPO TUBOS PULSANTES, UTILIZANDO UNA MEZCLA DE AGUA CON ETILENGLICOL Y NANOPARTÍCULAS DE Al_2O_3 , CuO , Fe_3O_4 Y NANOTUBOS DE CARBONO.

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

DEFAZ VILEMA, JEFFERSON ENRIQUE

SORIA SORIA, HENRY PAÚL

DIRECTOR: ING. CARRIÓN MATAMOROS LUIS MIGUEL

Jueves 01 de Septiembre de 2022



CONTENIDO

- Antecedentes
- Justificación e Importancia
- Objetivos
- Conceptos
- Diseño y Construcción
- Ensayos
- Cálculos
- Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas

Antecedentes

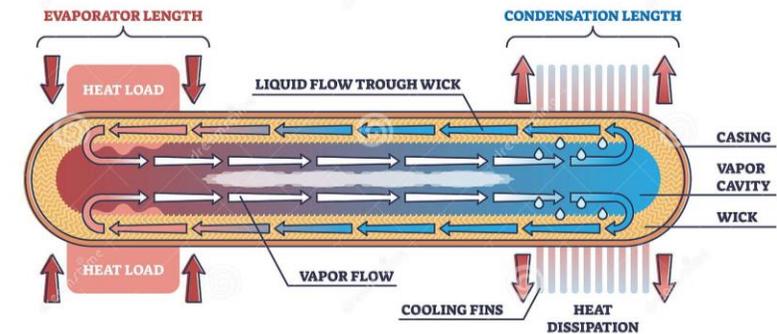


Fig. 1. (Khandekar, Kern, Aubin, ACNUR)



Antecedentes

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

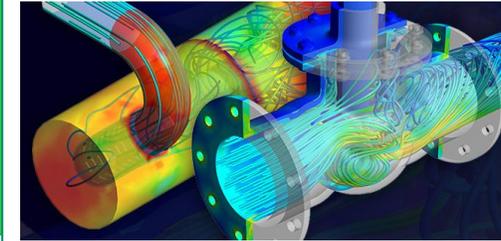
Optimización



Fluidos caloportadores



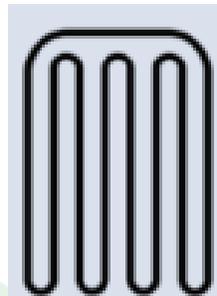
Eficiencia Térmica



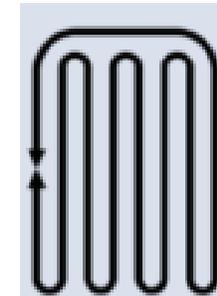
Configuraciones de un TCP



a) Sistema de
circuito abierto



b) Sistema de
circuito cerrado



c) Sistema cerrado con
válvula de retención.

Fig. 2. (Cornelio, Khandekar, SACOME, Kumar)

Justificación e Importancia

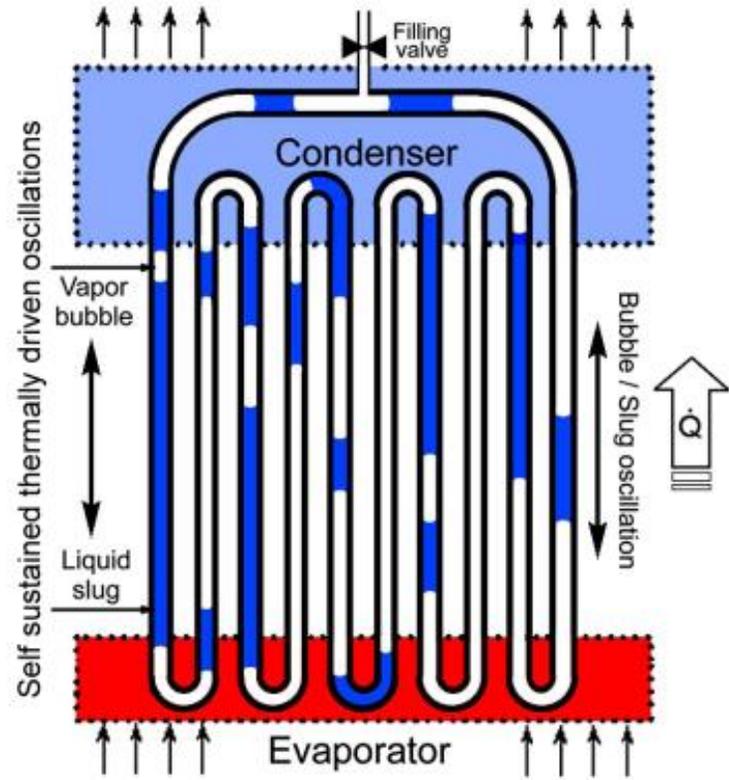


Fig. 3. (TVL CO. LTD, 2020)

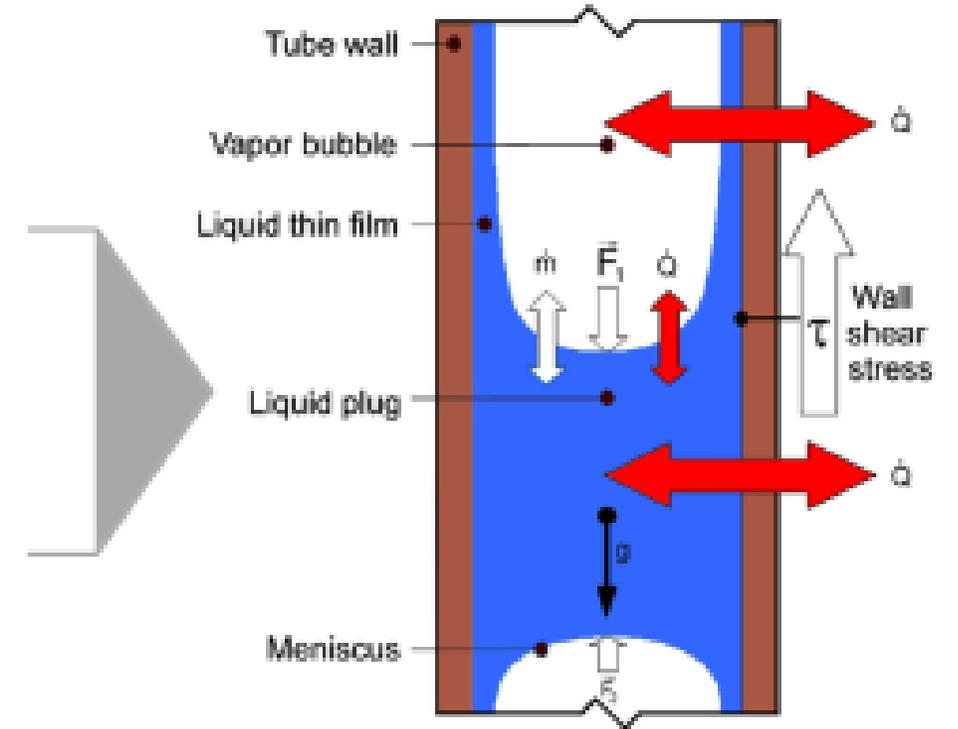


Fig. 4. (Khandekar, 2010)



Antecedentes

**Justificación e
Importancia**

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

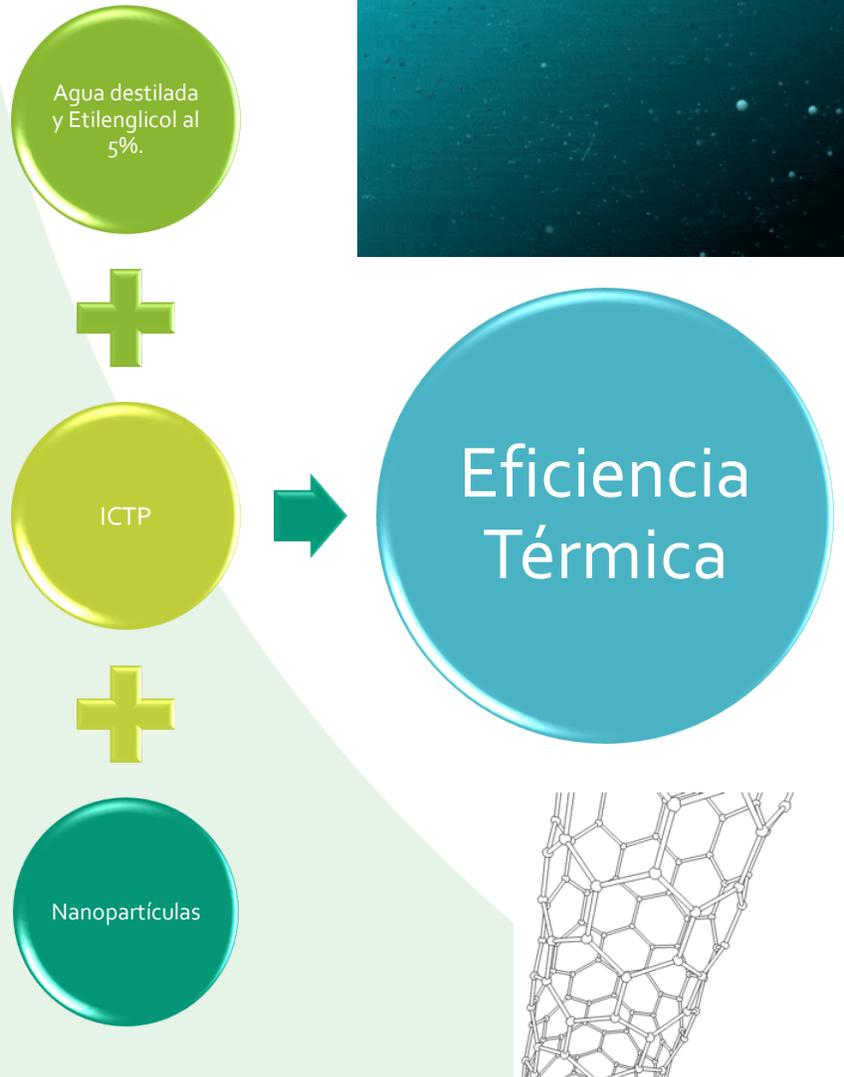


Fig. 5. (Galaz, 2018; GFYCAT, 2022).

Justificación e Importancia

Eficiencias del agua destilada y los nanofluidos al 1,5% de concentración

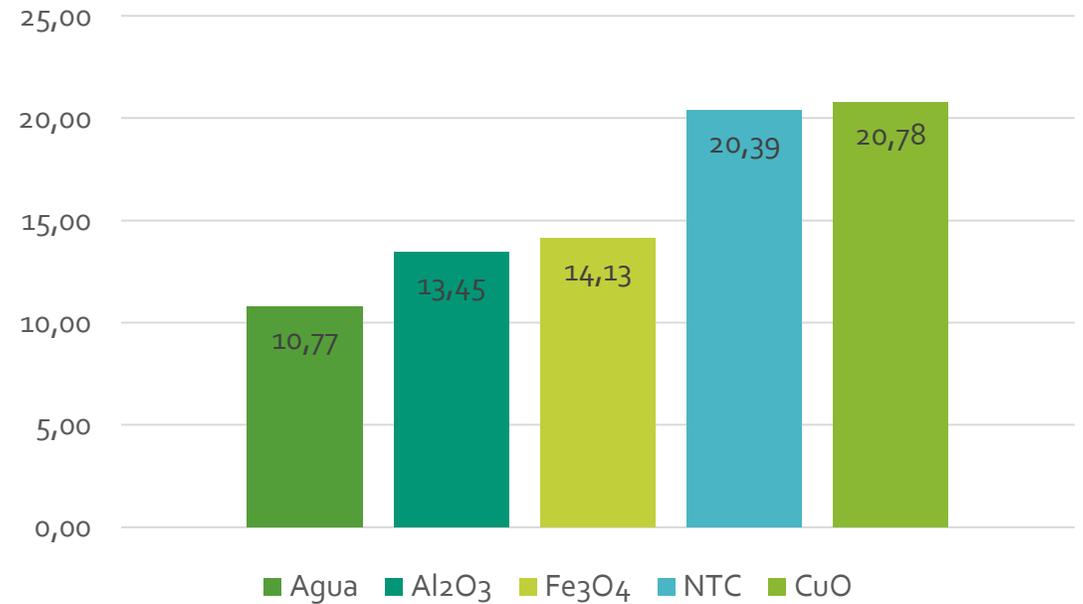


Fig. 6. (Fuente propia, 2022)



Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Objetivo General

Estudiar teórica y experimentalmente la eficiencia térmica de un intercambiador de calor de tipo tubos pulsantes, utilizando una mezcla de agua con etilenglicol y nanopartículas de Alúmina (Al_2O_3), Tenorita (CuO), Magnetita (Fe_3O_4) y Nanotubos de Carbono (NTC).



Objetivos Específicos

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas



<p>Diseñar y construir los tubos de calor pulsantes mediante especificaciones a detalle.</p>
<p>Generar una mezcla homogénea de nanofluidos mediante la utilización métodos como la agitación magnética y vibraciones ultrasónicas.</p>
<p>Registrar datos de la experimentación utilizando una mezcla de agua con etilenglicol y nanopartículas de Alúmina (Al_2O_3), Tenorita (CuO), Magnetita (Fe_3O_4) y Nanotubos de Carbono (NTC), con cuatro diferentes caudales la entrada de aire frío.</p>
<p>Analizar e interpretar los resultados obtenidos con el fin de determinar el calor transferido y la eficiencia térmica del intercambiador de calor de tubos pulsantes.</p>



Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Nanotecnología

Escala nanométrica

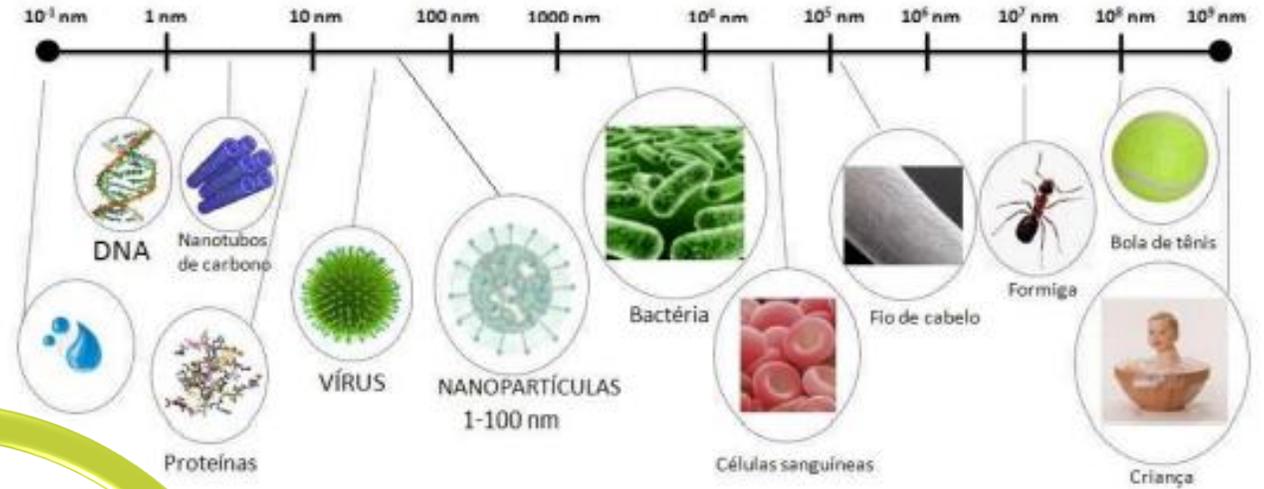
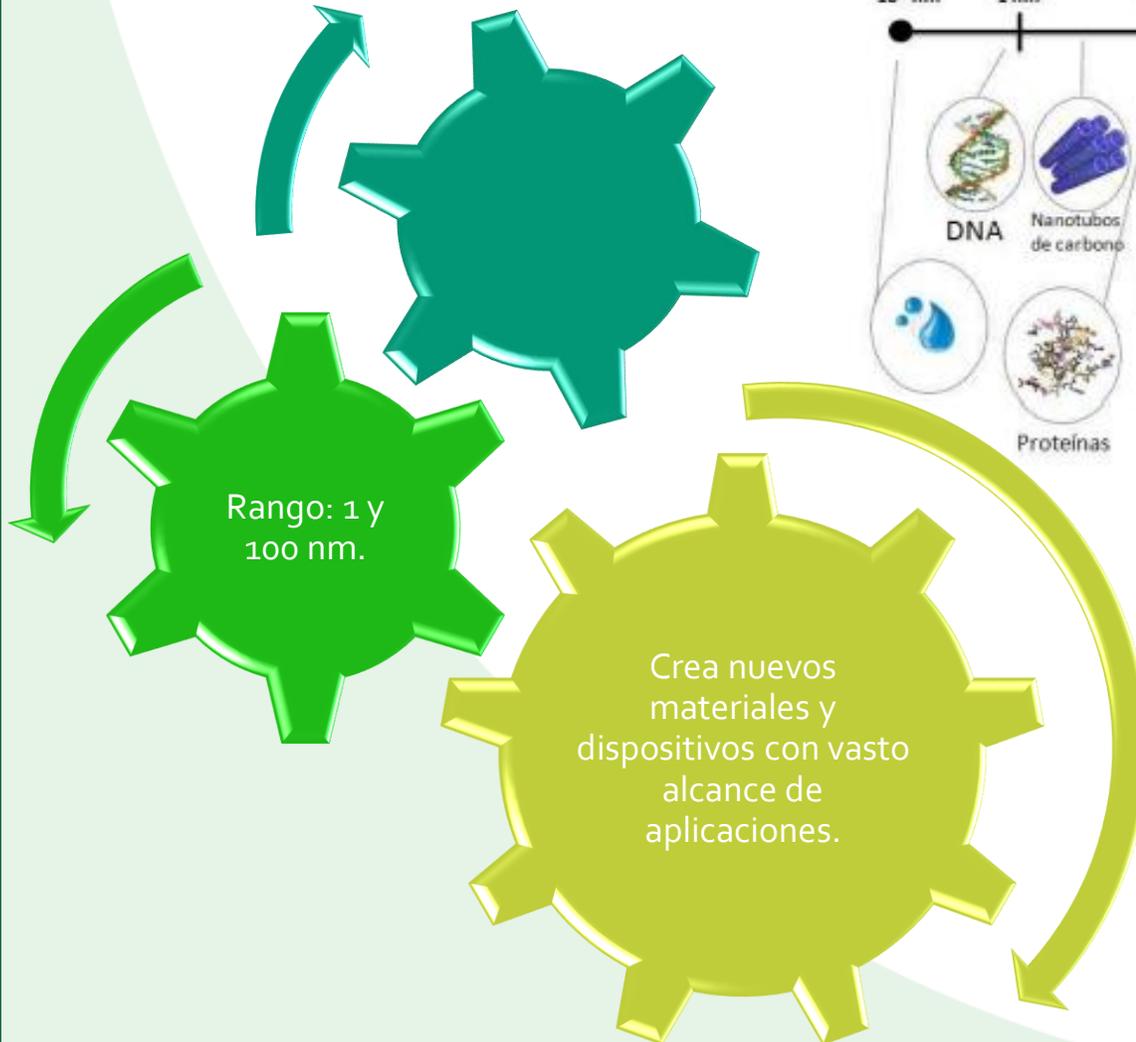


Fig. 7. (Ouahid ,2016)





Nanopartículas

- Antecedentes
- Justificación e Importancia
- Objetivos
- Conceptos**
- Diseño y Construcción
- Pruebas
- Cálculos
- Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas

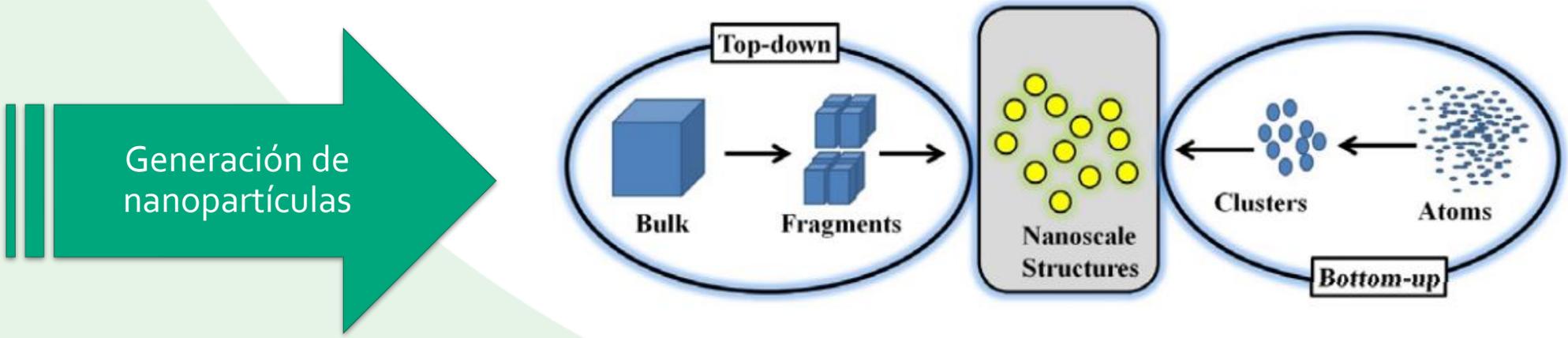


Fig. 8. (Neto ,2019)

Nanopartículas de Análisis



*Magnetita -
 Fe_3O_4*



Tenorita - CuO



*Nanotubos de
Carbono - NTC*



*Alúmina -
 Al_2O_3*

Características de las nanopartículas utilizadas

	Unidades	CuO	Fe_3O_4	Al_2O_3	NTC
DENSIDAD (ρ)	kg/m ³	6310	5175	3961	1400
CALOR ESPECIFICO (Cp)	J/kg*°K	550.5	619.4	875	711
CONDUCTIVIDAD TERMICA (k)	w/m*°K	76.5	6	40	6000
SUPERFICIE ESPECIFICA (ssa)	m ² /g	30 a 40	10 a 40	9	150-210
FABRICANTE:	Compañía Química Kunshan Yosoar New Materials Co. ltd - CHINA				

Fig. 9.(Van Bochove et al., 2016)

Diseño y Construcción

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

**Diseño y
Construcción**

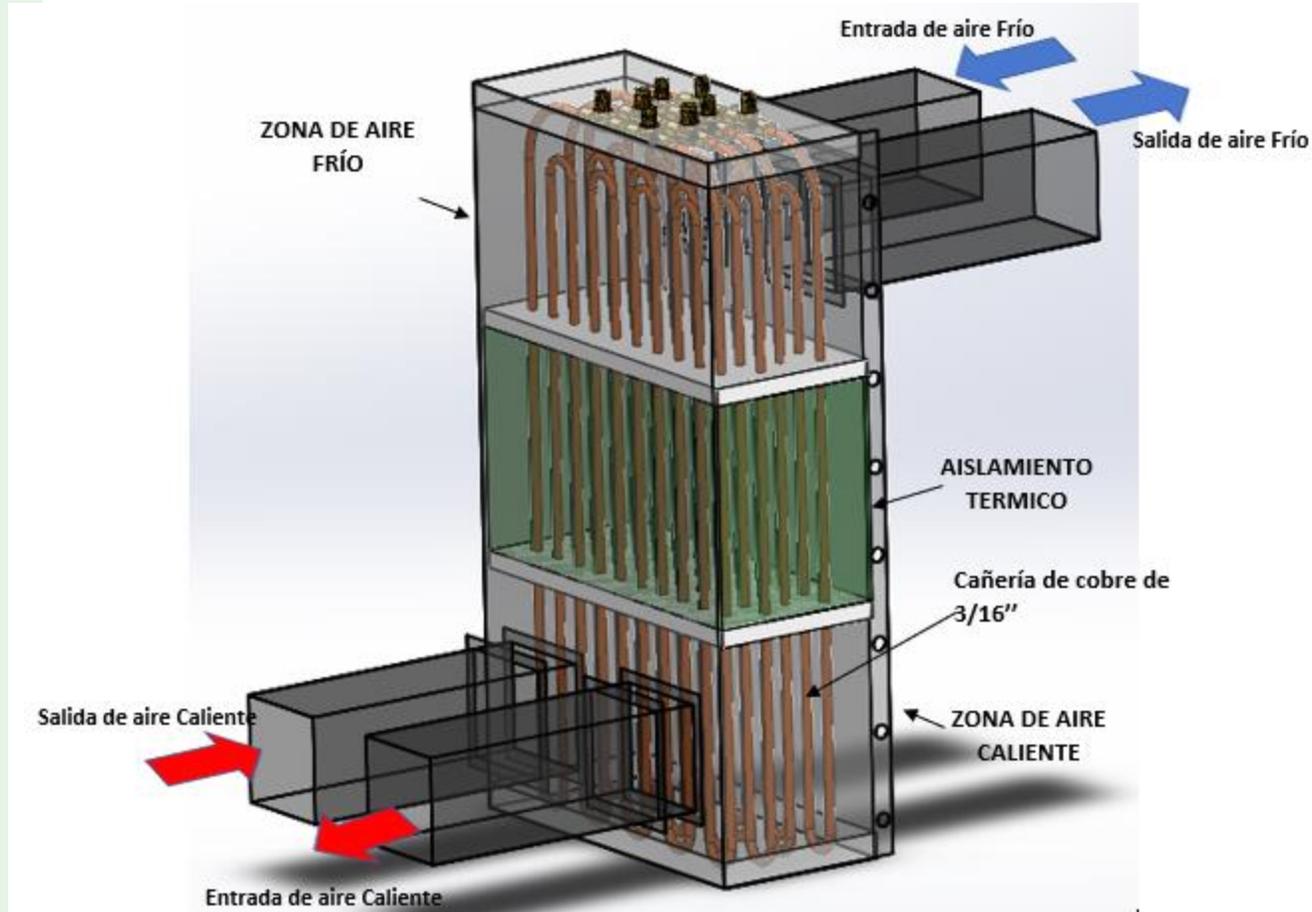
Pruebas

Cálculos

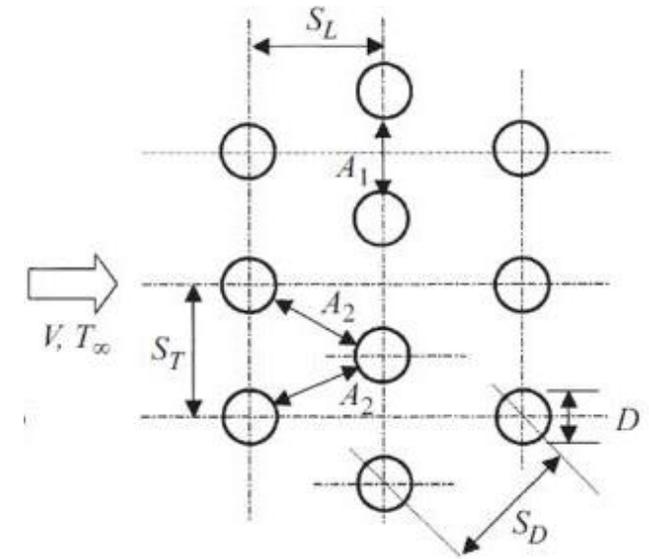
Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas



Dimensiones :
22 X 10 X 40 cm



Datos	
SL	19,7
ST	19,7
SD	22,03
D	4,7
AT	15
AD	17,33

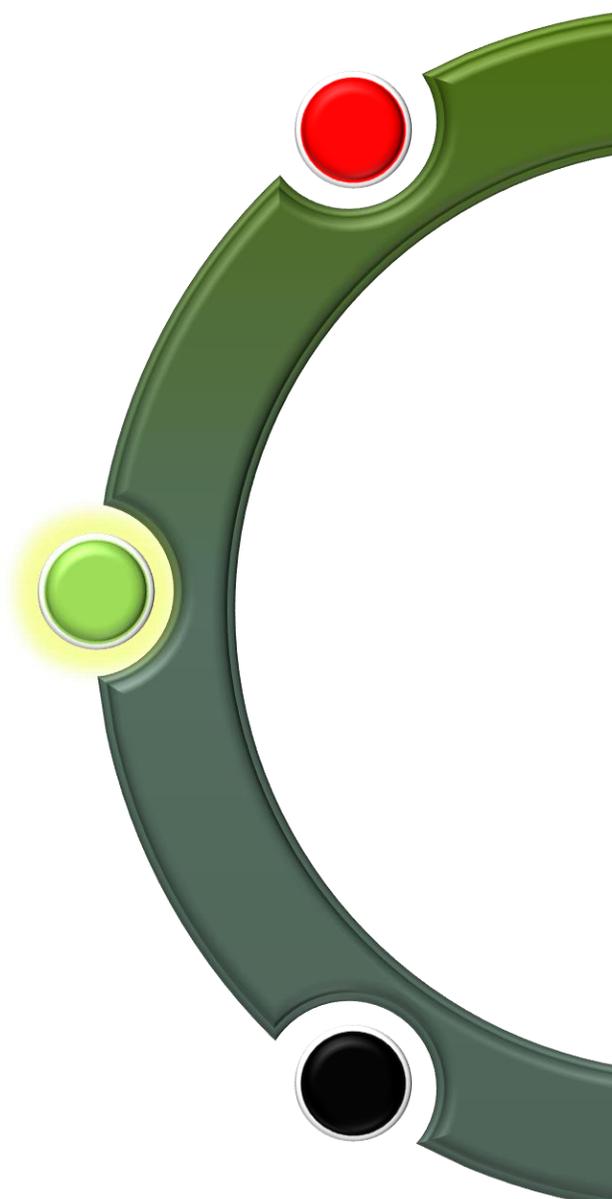
Fig. 10.(Fuente propia, 2022)

Tubería de Cobre

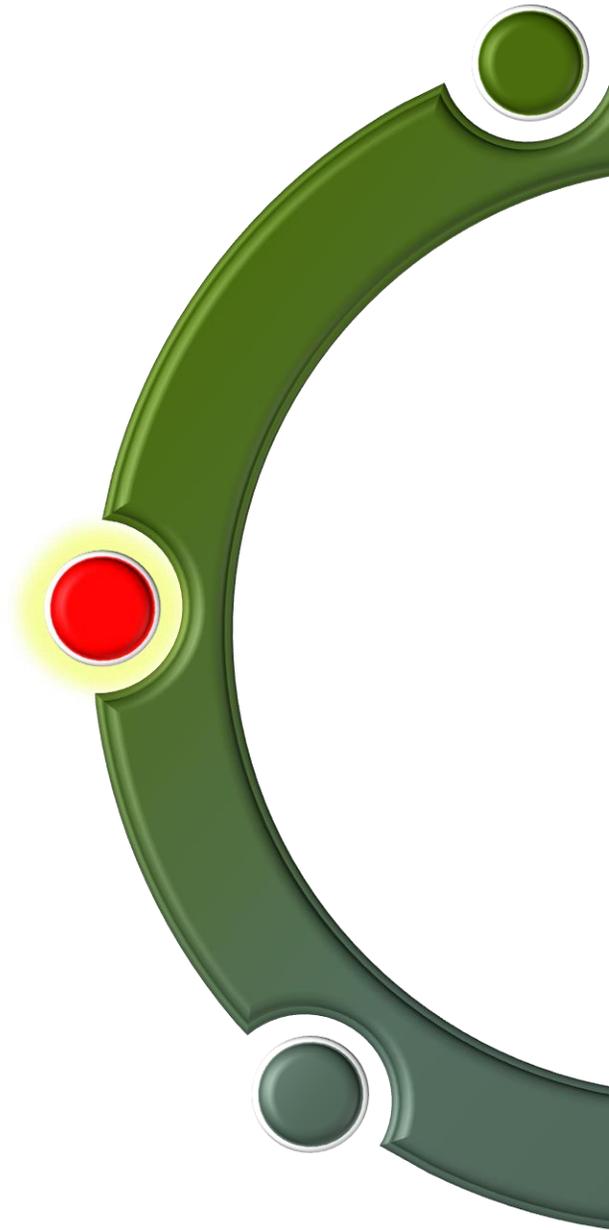
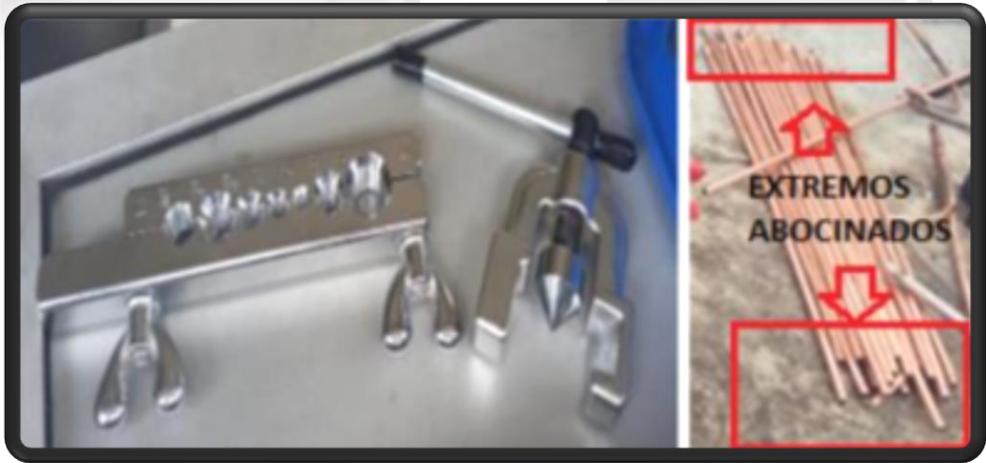
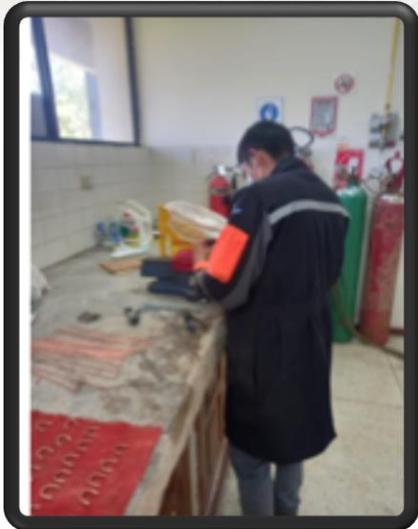
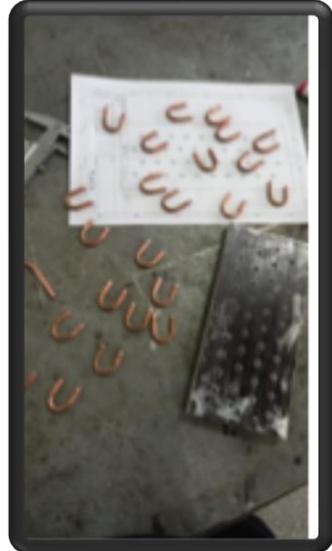
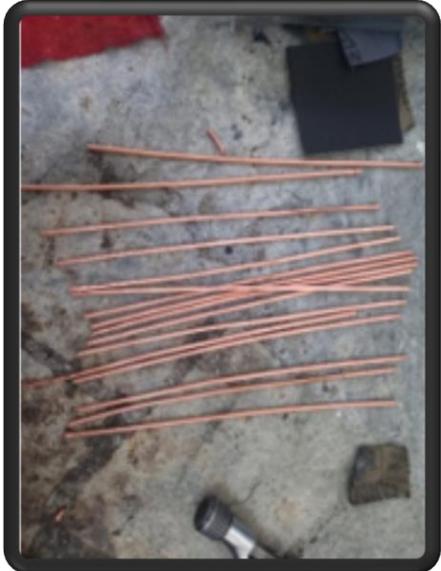


Rollo de Tubería de Cobre
Norma ASTM B280

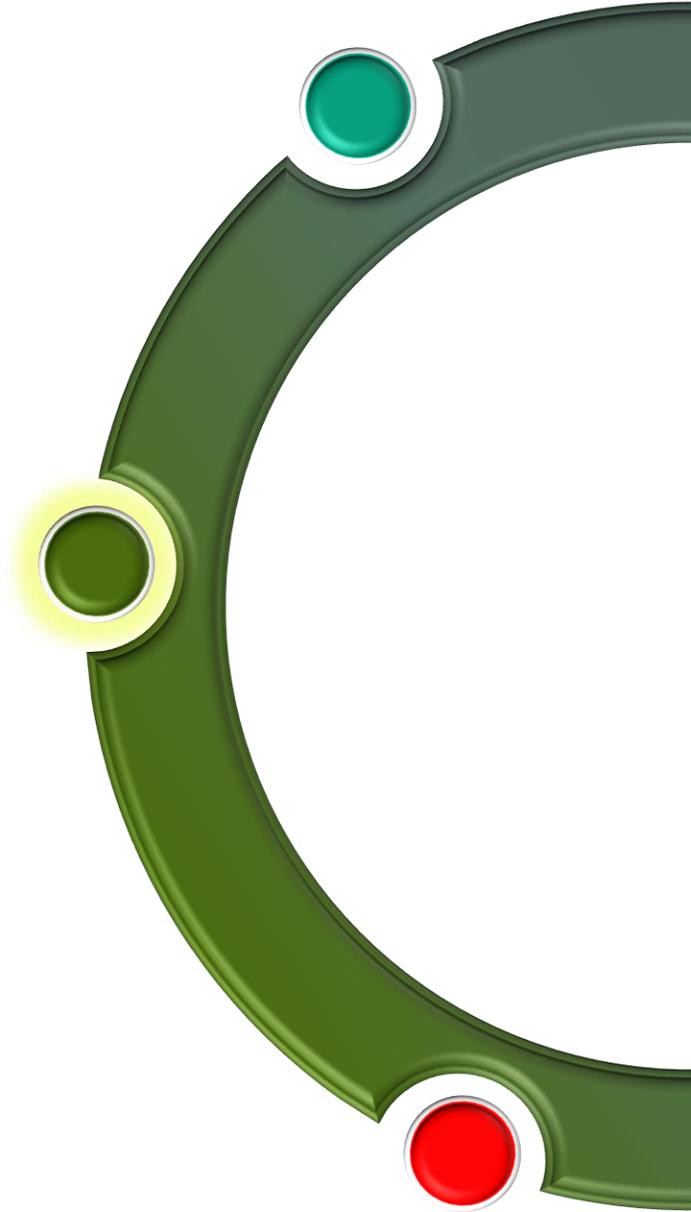
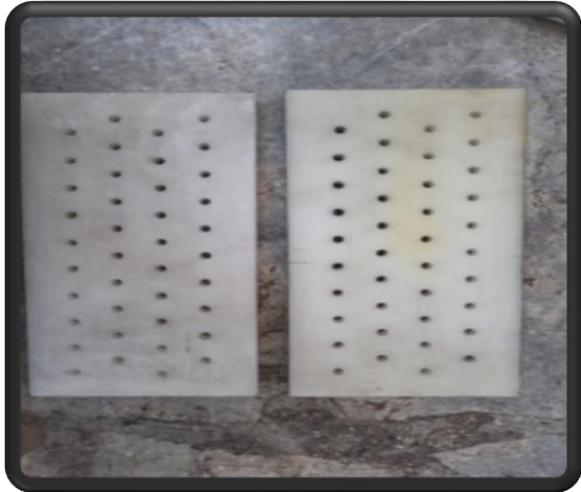
MEDIDA ESTÁNDAR	DIÁMETRO EXTERNO		ESPESOR DE PARED		PESO TEÓRICO		PRESIÓN DE TRABAJO		LARGO DE LA BOBINA	
	(in)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(lb/ft)	(kg/m)	050 (psi)	050 (MPa)	(ft)
3/16	0,187	4,75	0,030	0,762	0,0575	0,0856	2.188,06	15,09		
1/4	0,250	6,35	0,030	0,762	0,0804	0,120	1.578,19	10,88		
5/16	0,312	7,92	0,032	0,813	0,1090	0,162	1.329,62	9,17		
3/8	0,375	9,52	0,032	0,813	0,1340	0,199	1.089,77	7,51	50	15,2
1/2	0,500	12,7	0,032	0,813	0,1820	0,271	802,17	5,53		
5/8	0,625	15,9	0,035	0,889	0,2510	0,373	695,86	4,80		
3/4	0,750	19,1	0,035	0,889	0,3050	0,454	574,77	3,96		



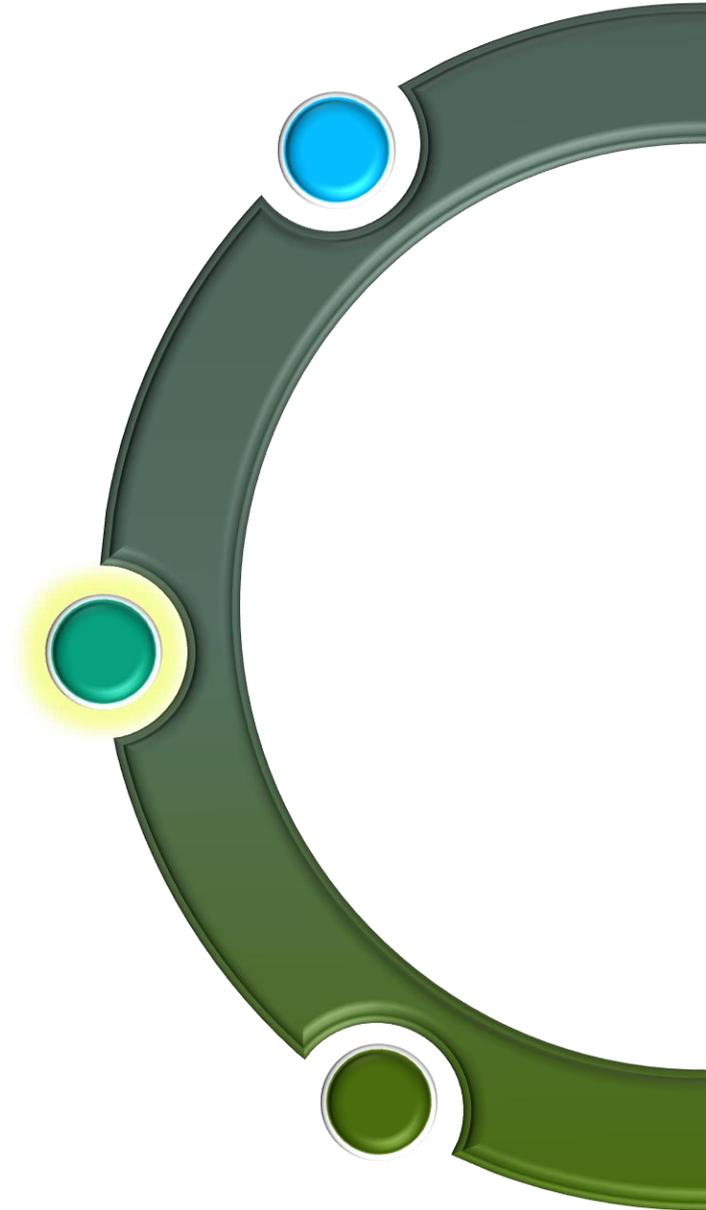
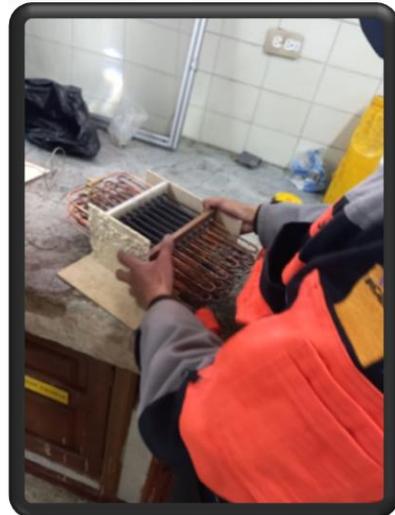
Construcción de Tubos Pulsantes del IC



Placas de Duralón



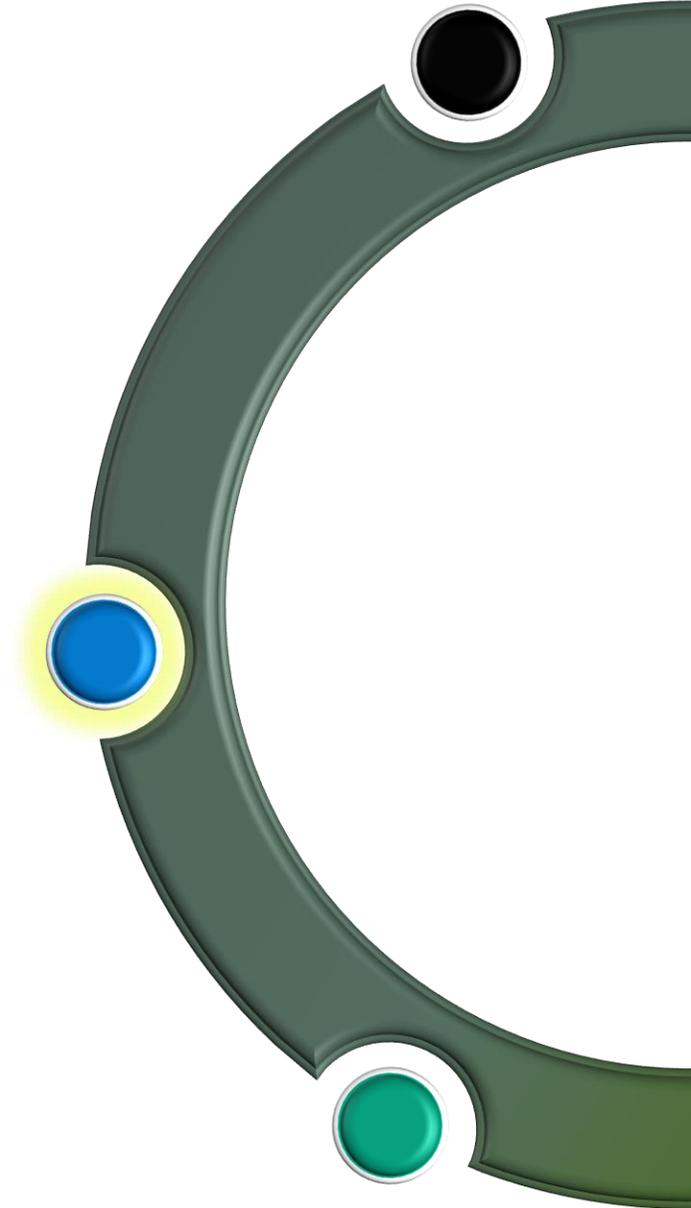
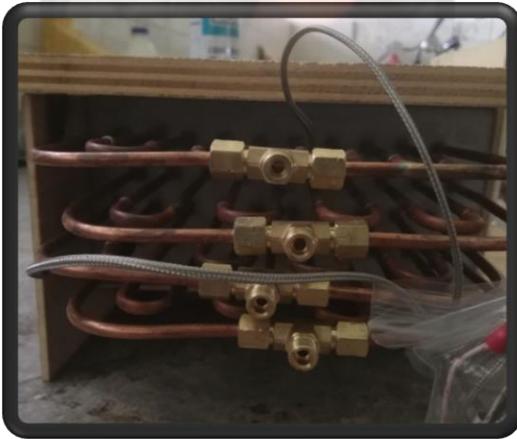
Estructura Interna IC



Termocuplas



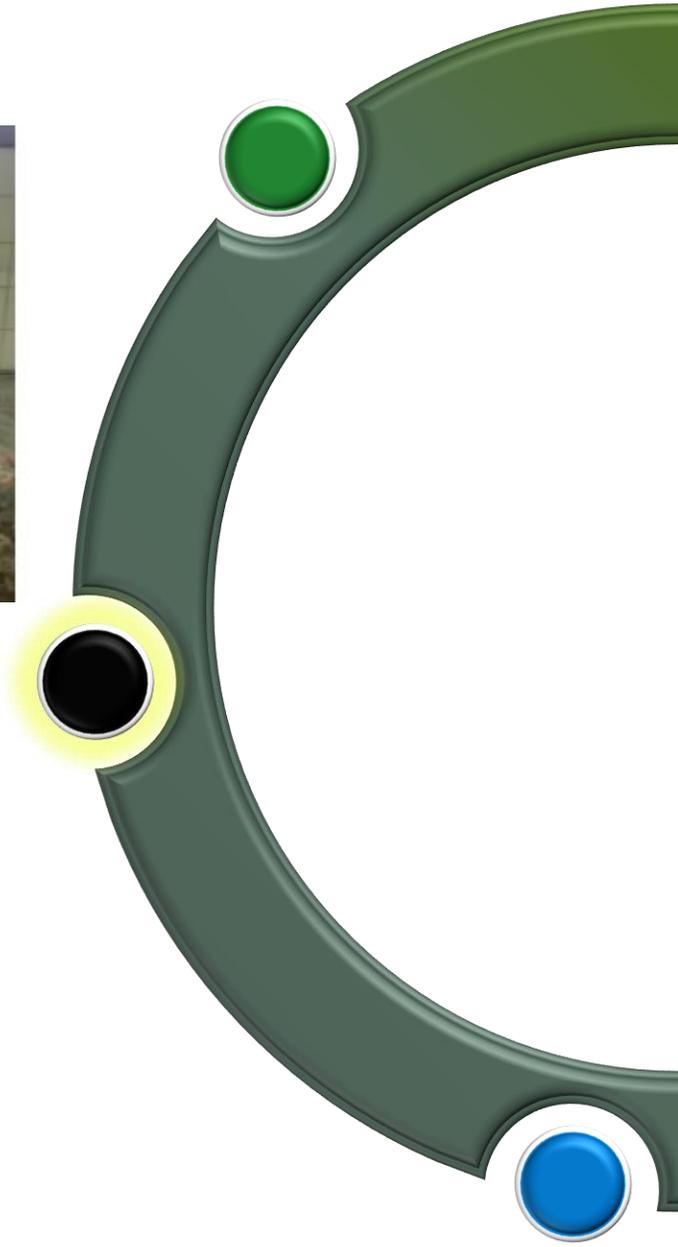
Accesorios Tipo T



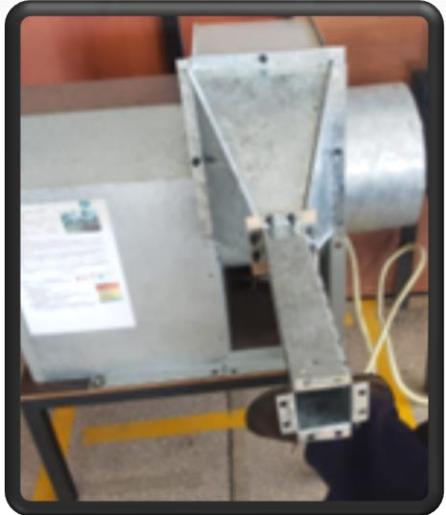
Verificación de fugas



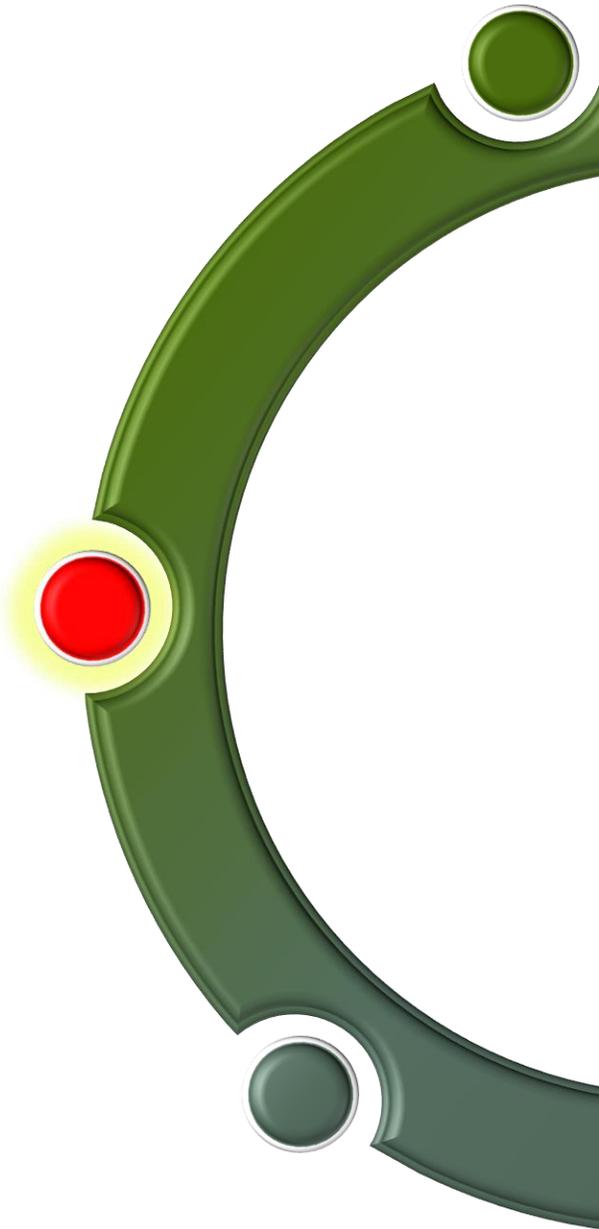
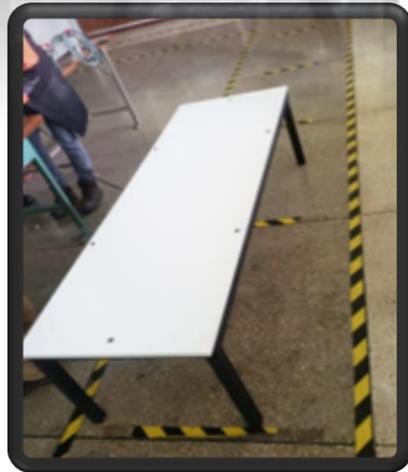
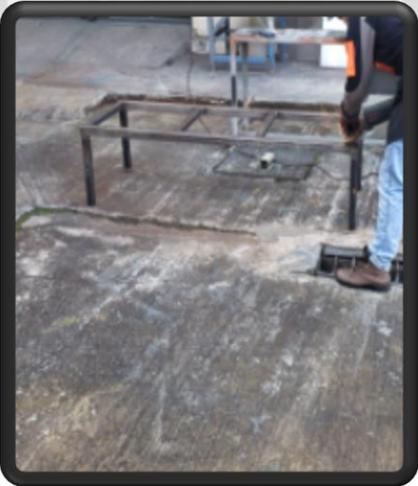
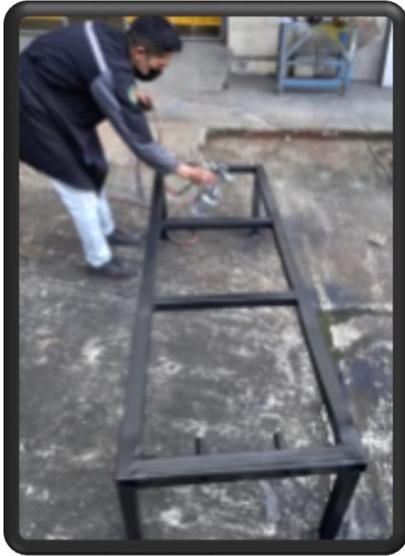
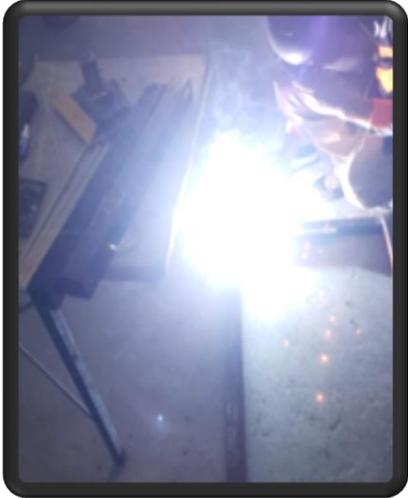
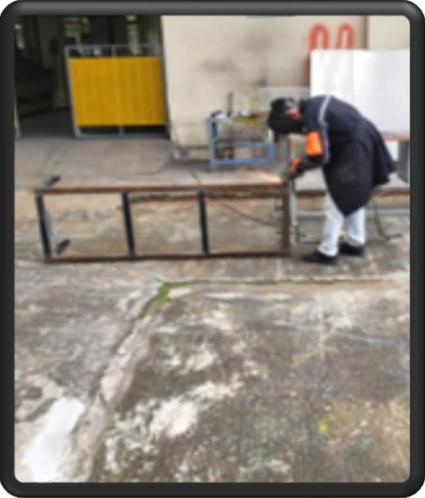
Sellado del IC



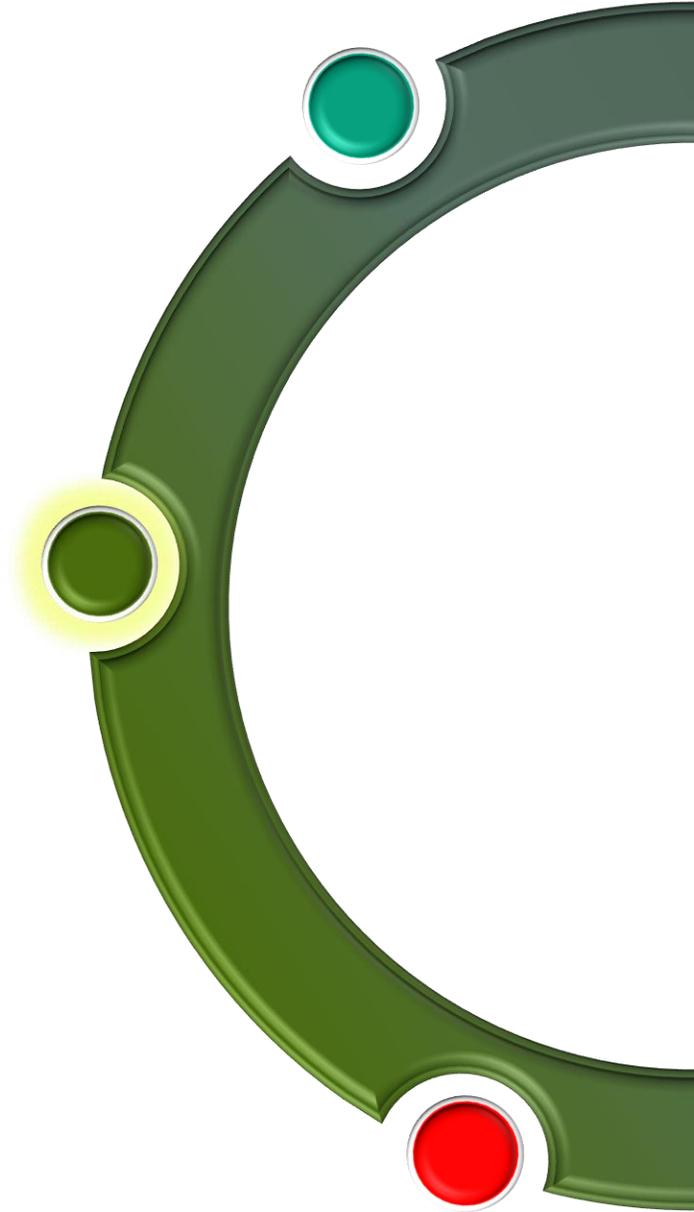
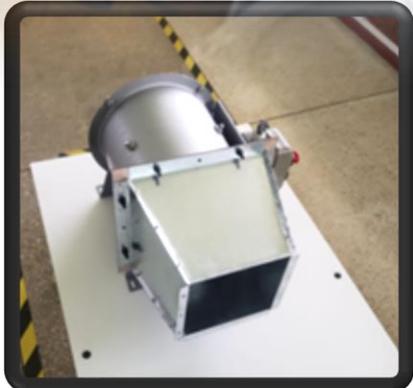
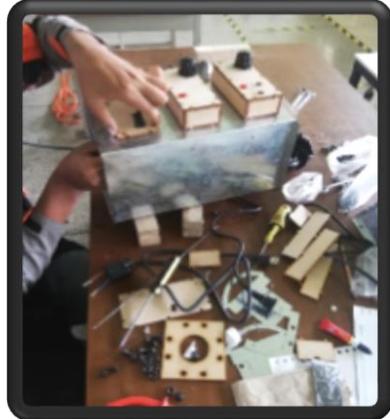
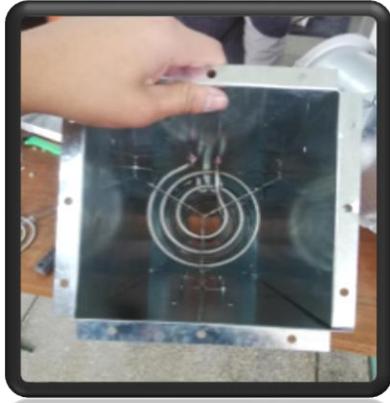
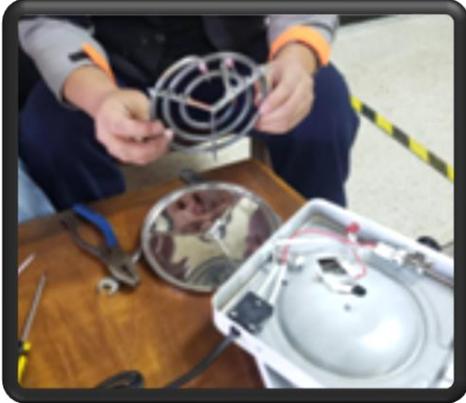
Reducciones y Ductos



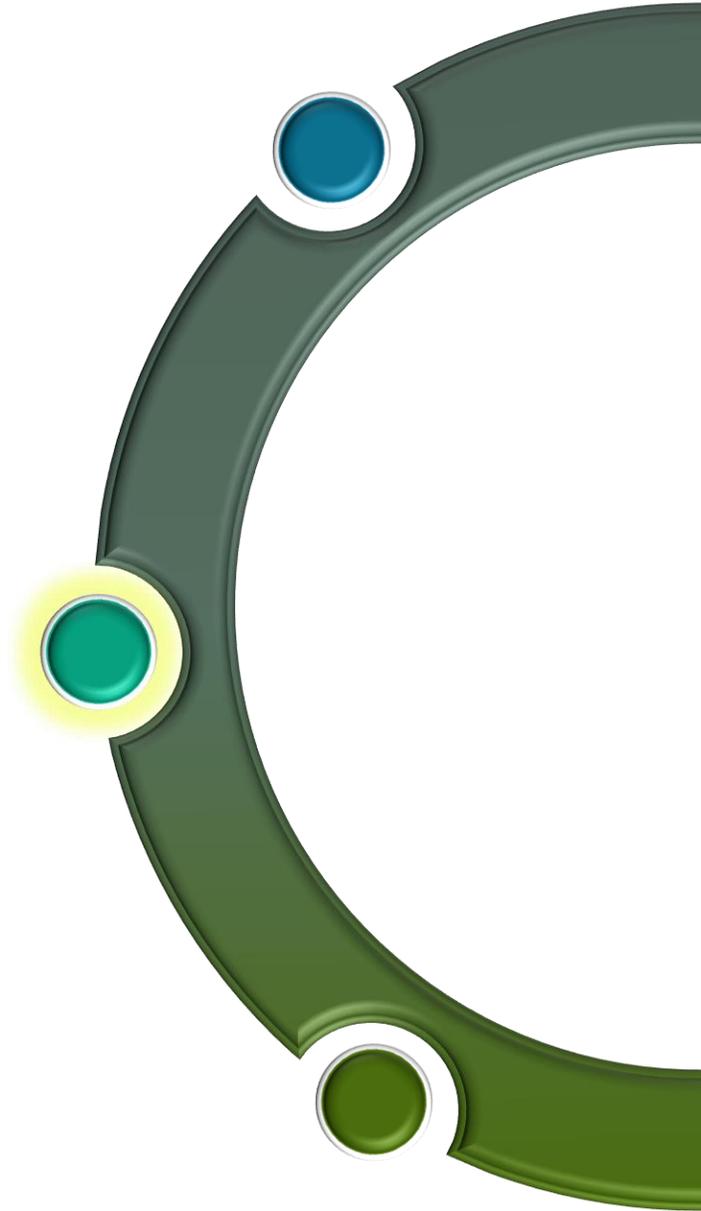
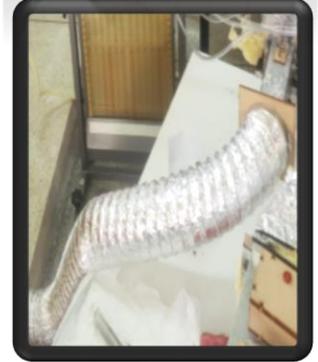
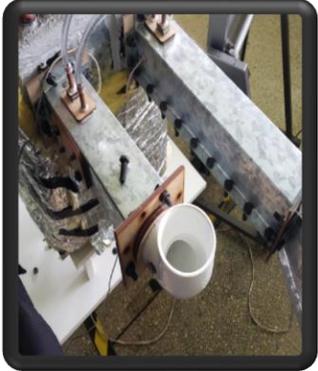
Mesa de Trabajo



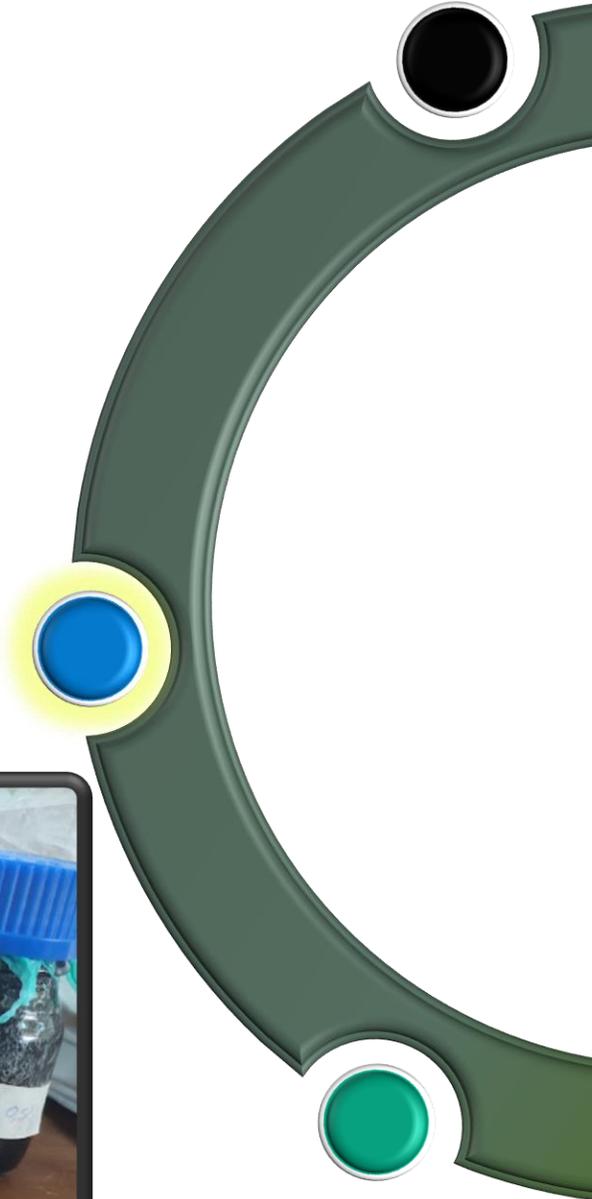
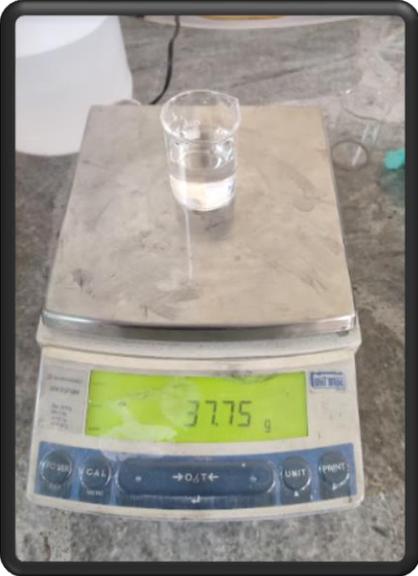
Caja de resistencias y Montaje LC



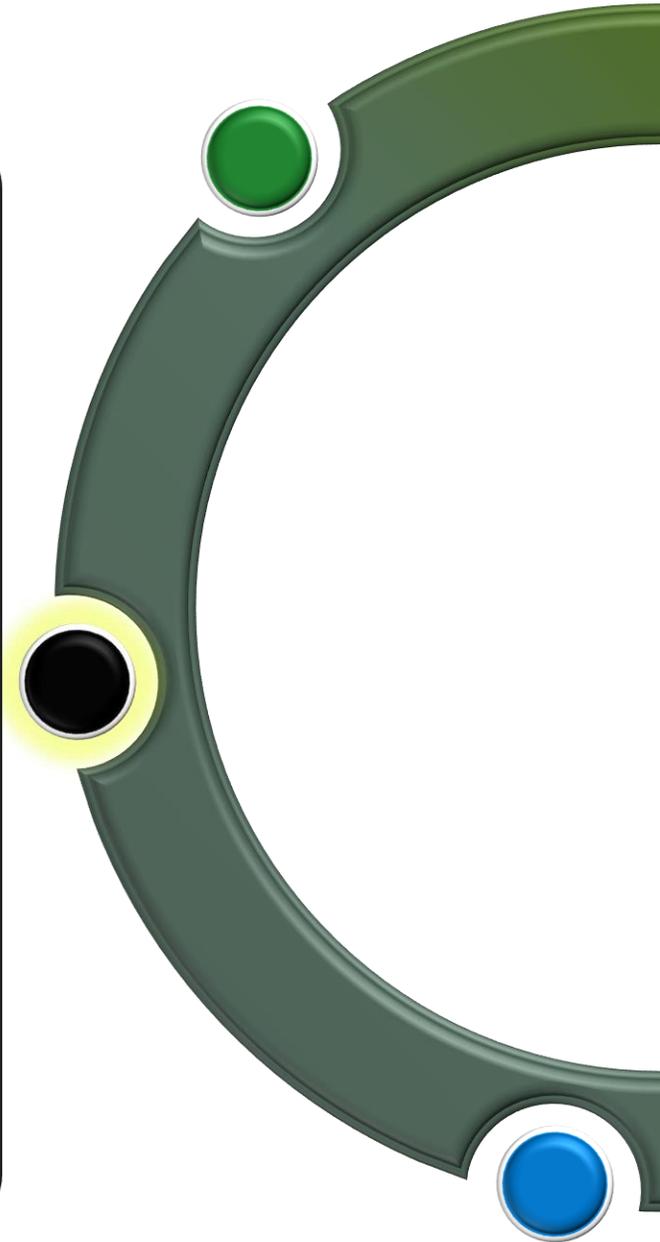
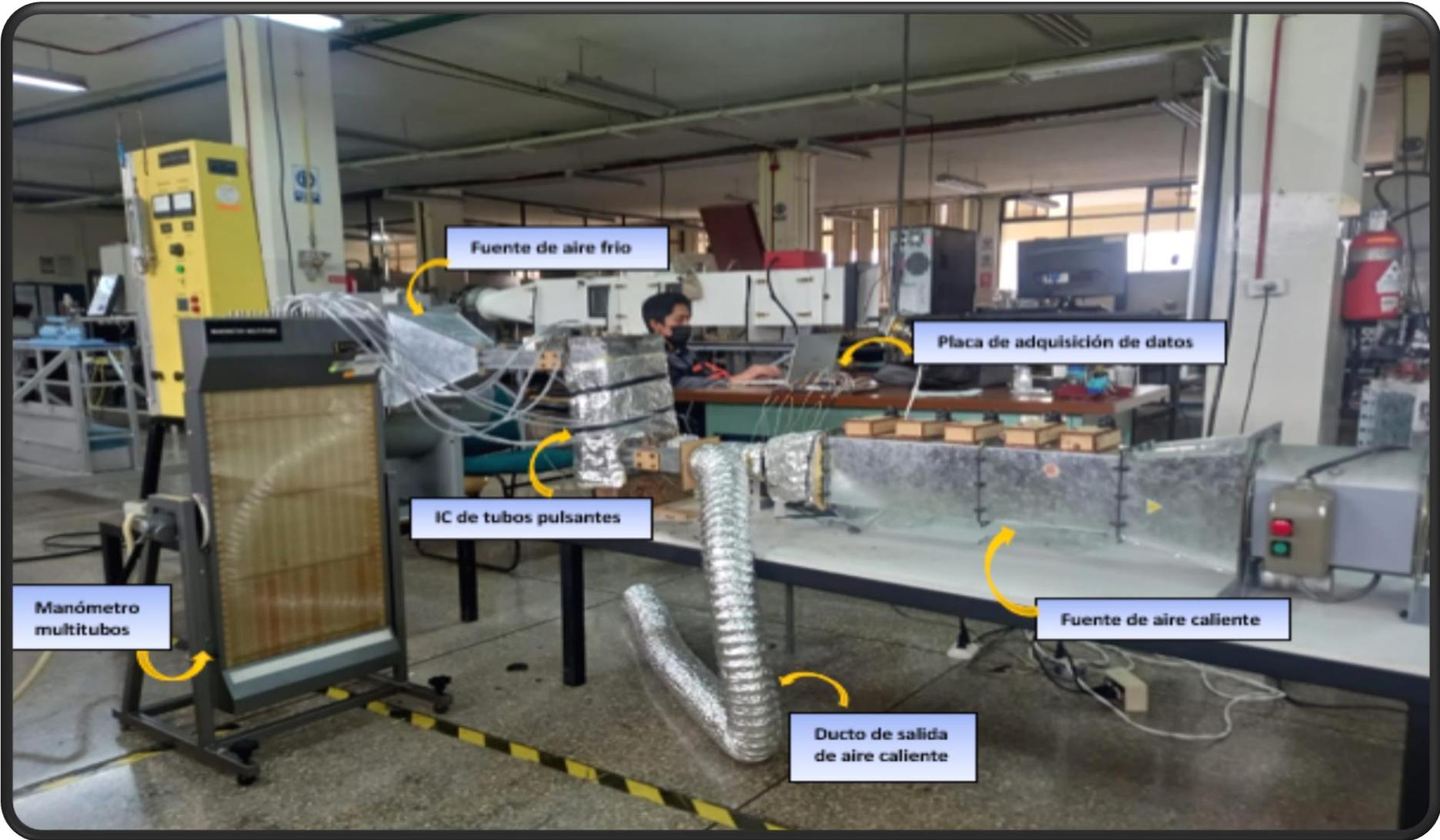
Instrumentación



Preparación de Nanofluido



Equipos utilizados





Incertidumbre

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Common Thermocouple Temperature Ranges

Calibration	Temp Range	Std. Limits of Error	Spec. Limits of Error
J	0°C to 750°C (32°F to 1382°F)	Greater of 2.2°C or 0.75%	Greater of 1.1°C or 0.4%
K	-200°C to 1250°C (-328°F to 2282°F)	Greater of 2.2°C or 0.75%	Greater of 1.1°C or 0.4%

	Rango	Resolución	Exactitud
Velocidad del viento	0~30m/s	0.1m/s	±5%rdg+0.5
Temperatura	-10~50°C	0.1°C	±2°C
	14~122°F	0.2°F	±4°F

Length	5m
tape measure width/specification	19mm / 70mm x 70mm x 35mm
Accuracy	0,1mm
Shell meteria	Polycarbonate
battery	CR2032 Lithium
deviation range	±1,0mm

$$\delta T = \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2} = 2,52\%$$

$$\delta V = \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2} = 2,16\%$$

$$\delta L = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2} = 1,34\%$$

Pruebas realizadas

AGUA (destilada)

ENSAYO EN AGUA - DATOS DE TERMOCUPLAS										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
96,25	92,75	102,5	88,25	82,5	50,25	55,75	49,5	22	30	25%
99,5	95	98,75	86,25	87,25	43,25	50,75	48	22,25	29,25	50%
97,75	93,75	98,25	84	86	40	49	46	22,5	28	75%
98	93,25	96	84,25	86,5	39	41,5	37,25	22	26	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
24,3	16,9	8,9	4,5
24,3	16,9	11,8	6,8
24,3	16,9	12,5	7,4
24,3	16,9	12	7,8

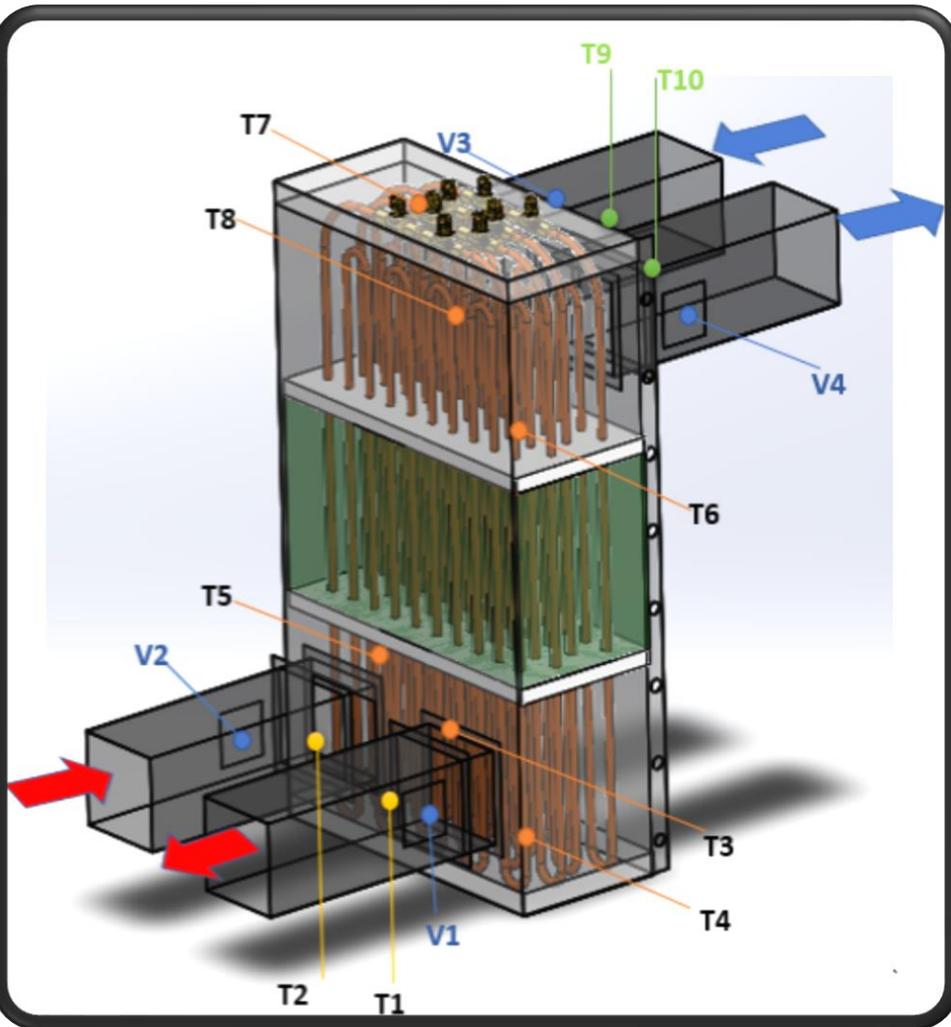
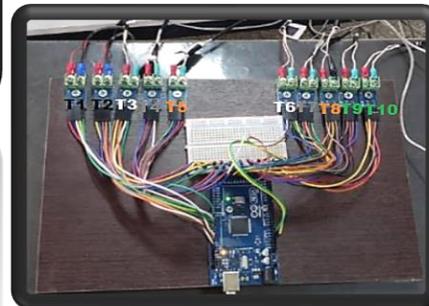


Fig. 11. (Fuente propia, 2022)



Nanofluido de Fe₃O₄

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

AGUA + Fe ₃ O ₄ 0,1% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
98,50	96,25	106,25	90,25	86,25	60,00	62,50	63,25	22,50	32,50	25%
99,00	95,75	105,00	83,50	81,25	43,25	45,25	44,25	22,25	30,00	50%
99,00	95,75	105,00	83,75	80,25	41,75	44,75	42,00	22,50	28,75	75%
98,75	95,25	104,75	82,50	81,00	42,50	42,75	42,00	22,00	28,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fría	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
24,3	16,9	8,9	4,5
24,3	16,9	11,8	6,8
24,3	16,9	12,5	7,8
24,3	16,9	12,0	8,2

AGUA + Fe ₃ O ₄ 0,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
97,00	93,75	107,00	89,00	83,00	54,75	60,50	57,25	22,00	33,00	25%
96,75	93,75	104,75	86,25	83,25	46,00	50,75	41,75	22,00	31,75	50%
97,00	93,75	104,75	85,75	82,00	43,75	48,25	38,25	22,25	29,50	75%
98,00	93,25	96,00	84,25	86,50	39,00	41,50	37,25	22,00	26,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fría	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
28,0	20,1	6,3	4,4
28,0	20,1	14,2	7,6
28,0	20,1	15,1	8,0
28,0	20,1	15,6	8,4

AGUA + Fe ₃ O ₄ 1,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
92,75	91,50	99,25	85,25	80,50	53,50	57,25	56,25	22,00	32,00	25%
93,25	91,50	98,50	82,75	78,25	43,00	47,75	44,25	22,25	31,25	50%
93,75	92,00	98,75	81,75	77,25	39,75	44,00	40,25	22,50	29,00	75%
93,75	91,75	98,00	80,25	76,50	39,00	42,75	39,50	22,00	27,50	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fría	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
27,3	19,5	7,4	4,5
27,3	19,5	13,6	9,0
27,3	19,5	15,8	9,5
27,3	19,5	16,3	10,0



Nanofluido de Al₂O₃

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

AGUA + Al ₂ O ₃ 0,1% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
99,75	96,25	108,75	91,75	87,00	51,50	63,50	56,25	22,50	33,00	25%
98,25	95,00	104,75	84,75	82,50	39,50	49,50	44,25	22,00	30,75	50%
98,25	95,50	103,50	83,20	82,00	38,00	47,60	42,75	22,25	28,00	75%
97,00	94,00	100,20	82,00	81,20	37,50	45,75	40,00	22,00	27,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
24,3	16,9	8,9	4,5
24,3	16,9	11,8	6,8
24,3	16,9	12,5	7,8
24,3	16,9	12,0	8,2

AGUA + Al ₂ O ₃ 0,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
95,75	92,25	105,00	88,5	82,25	54,25	60,50	44,50	22,00	32,50	25%
96,75	93,25	104,25	86,75	83,75	47,25	52,50	43,50	22,25	31,50	50%
96,25	92,25	104,00	85,25	83,50	45,25	48,75	37,50	22,25	28,50	75%
96,00	92,75	103,50	85,00	82,50	43,50	47,50	34,25	22,75	28,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
28,0	20,1	6,5	4,6
28,0	20,1	11,8	8,2
28,0	20,1	15,5	8,8
28,0	20,1	16,0	9,0

AGUA + Al ₂ O ₃ 1,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
92,75	91,50	99,25	85,25	80,50	53,50	57,25	56,25	20,25	30,00	25%
92,50	88,75	98,00	81,00	75,50	40,75	44,50	42,75	20,00	28,75	50%
92,75	89,50	97,50	80,50	74,50	38,75	42,75	40,25	20,25	26,50	75%
92,50	89,50	98,00	80,25	74,75	38,00	41,50	39,75	20,75	26,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
29,1	19,2	6,4	4,2
29,1	19,2	11,2	7,0
29,1	19,2	12,0	9,0
29,1	19,2	13,1	9,2



Nanofluido de CuO

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

AGUA + CuO 0,1% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
100,50	94,50	106,75	90,25	88,00	66,25	66,50	62,75	22,00	33,50	25%
101,00	95,25	106,75	86,50	80,50	50,25	53,25	47,25	22,00	31,00	50%
100,25	94,50	105,75	85,00	79,75	45,75	50,00	46,25	22,75	30,25	75%
99,75	94,25	104,50	82,00	79,00	43,00	50,50	45,75	22,25	29,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
28,0	20,1	9,2	4,3
28,0	20,1	9,6	6,3
28,0	20,1	12,7	8,1
28,0	20,1	13,1	8,5

AGUA + CuO 0,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
96,25	92,75	102,50	88,25	82,50	50,25	55,75	49,50	22,50	34,00	25%
96,75	93,25	102,25	86,75	83,75	47,25	52,50	43,50	22,25	32,50	50%
96,25	92,75	100,00	85,00	81,25	43,25	47,00	36,50	22,00	31,25	75%
96,75	93,50	99,25	84,00	79,00	39,25	46,00	38,00	22,25	29,75	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
26,3	21,0	6,3	4,3
26,3	21,0	10,3	7,1
26,3	21,0	11,9	9,0
26,3	21,0	16,0	9,6

AGUA + CuO 1,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
96,25	92,75	102,50	88,25	82,50	51,25	56,75	50,50	19,25	35,25	25%
99,50	95,00	98,75	86,25	87,25	44,25	50,75	48,00	19,00	31,75	50%
97,75	93,75	98,25	84,00	86,00	40,00	49,00	46,00	19,25	28,50	75%
98,00	93,25	96,00	84,25	86,50	39,00	41,50	37,25	19,25	26,75	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
28,0	20,1	6,1	4,8
28,0	20,1	10,2	8,2
28,0	20,1	12,8	8,5
28,0	20,1	13,6	9,7



Nanofluido de NTC

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

AGUA + NTC 0,1% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
100,25	96,00	109,50	91,25	86,75	48,25	58,00	50,75	22,00	34,50	25%
99,50	96,00	106,50	88,25	85,00	42,25	52,00	47,75	22,75	34,00	50%
99,00	95,50	105,50	87,25	84,25	38,75	49,25	40,00	22,50	31,00	75%
98,75	95,00	104,75	86,75	84,25	39,50	48,25	39,25	22,25	29,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
28	20,1	9,2	4,3
28	20,1	9,6	6,3
28	20,1	12,7	8,1
28	20,1	13,1	8,6

AGUA + NTC 0,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
100,75	96,50	100,75	86,25	88,50	42,75	53,00	50,50	22,00	37,00	25%
96,75	93,25	102,25	86,75	83,75	47,25	52,50	43,50	22,25	34,00	50%
97,75	95,25	102,00	85,50	81,25	42,75	48,25	46,00	22,00	31,50	75%
98,00	95,25	101,75	85,00	81,25	41,25	47,75	43,75	22,75	30,25	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
27,3	19,5	7,4	4,5
27,3	19,5	11,8	7,6
27,3	19,5	15,8	9,8
27,3	19,5	16,3	10,3

AGUA + NTC 1,5% + Etilenglicol										LADO FRIO
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	ABERTURA
96,25	92,75	102,50	88,25	82,50	51,25	56,75	51,50	19,00	34,75	25%
99,50	95,00	98,75	86,25	87,25	43,25	50,75	48,00	19,25	32,25	50%
97,75	93,75	98,25	84,00	86,00	40,00	49,00	46,00	19,25	30,25	75%
98,00	93,25	96,00	84,25	86,50	39,00	41,50	37,25	19,00	29,00	100%

VELOCIDAD (m/s)			
Caliente		Fria	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
27,3	19,5	7,4	4,5
27,3	19,5	13,6	9,2
27,3	19,5	15,8	9,8
27,3	19,5	16,3	10,3



Cálculos

EJEMPLO CÁLCULOS PARA NANOFUIDO DE NTC Y AGUA

	AGUA			0,1			0,5			1,5		
CAUDAL (%)	FLUJOS MASICOS	TCT (W)	Eficiencia	FLUJO MASICOS	TCT (W)	Eficiencia	FLUJO MASICO	TCT (W)	Eficiencia	FLUJO MASICO	TCT (W)	Eficiencia
25,00	0,0036	538,02	10,77	0,0034	554,74	15,97	0,0036	555,35	19,05	0,0036	543,91	20,39
50,00	0,0055	658,31	9,06	0,0050	642,71	14,66	0,0061	661,08	15,77	0,0074	757,73	16,20
75,00	0,0060	669,70	7,31	0,0065	718,89	11,11	0,0079	755,89	12,54	0,0079	770,01	14,01
100,00	0,0063	693,43	5,26	0,0069	743,08	8,82	0,0083	773,48	9,97	0,0083	790,51	12,66

Antecedentes

Justificación e Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Referencias Bibliográficas

EJEMPLO DE CALCULOS

Ejemplo de cálculo del Calor Total Transferido (Q) y Eficiencia para el caso del agua destilada con una apertura del 25%

Se verifica la correlación:

$$2A_D > A_T$$
$$2(17,33) > 15$$

Los siguientes cálculos pasan a realizarse en la sección del evaporador y del condensador.

Cálculo de velocidad máxima (V_{max}).

$V_{máx}$ Evaporador

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V = 22,19 \text{ m/s}$$

V_{max} Condensador

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V = 5,91 \text{ m/s}$$

Se procede a realizar el cálculo de la temperatura media (T_m)

T_m Evaporador

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2} = 97,25 \text{ }^\circ\text{C}$$

T_m Condensador

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2} = 26,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se realiza el cálculo de las propiedades termo físicas al Tm por medio de interpolación a partir de la Tabla:

Propiedades termofísicas del aire a presión atmosférica								
	T	ρ	Cp	μ.10 ⁻⁷	v.10 ⁻⁶	k.10 ⁻³	α.10 ⁻⁶	Pr
(°K)	(°C)	(kg/m ³)	(kJ/kg.K)	(N.s/m ²)	(m ² /s)	(W/m.K)	(m ² /s)	
250	-25	1,3947	1,006	159,6	11,44	22,3	15,9	0,72
300	24,85	1,1614	1,007	184,6	15,89	26,3	22,5	0,707
350	74,85	0,995	1,009	208,2	20,92	30	29,9	0,7
400	124,85	0,8711	1,014	230,1	26,41	33,8	38,3	0,69
450	174,85	0,774	1,021	250,7	32,39	37,3	47,2	0,686

Obteniendo los siguientes resultados:

Zona de Evaporización

Zona de Condensación

T	Cp	ρ	μ.10 ⁻⁷	v.10 ⁻⁶	k.10 ⁻³	α.10 ⁻⁶	Pr
97,25	1,0112	0,93949	218,0112	23,3795	31,7024	33,6632	0,6955

T	Cp	ρ	μ.10 ⁻⁷	v.10 ⁻⁶	k.10 ⁻³	α.10 ⁻⁶	Pr
26,00	1,007	1,15757	185,1428	16,0057	26,3851	22,6702	0,7068

Se realiza el cálculo del Número de Reynolds Máximo:

Zona de Evaporación

$$Re_{Dmax} = \frac{\rho V_{m\acute{a}x} D}{\mu} = 4553,22$$

Zona de Condensación

$$Re_{Dmax} = \frac{\rho V_{m\acute{a}x} D}{\mu} = 1736,71$$

Para determinar el valor del número de Nusselt, se selecciona el criterio de Zukauskas.

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = C Re_{D,max}^m Pr^{0,38} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad \left[\begin{array}{l} N_L > 20 \\ 0,7 < Pr < 500 \\ 1000 < Re_{D,max} < 2 \times 10^6 \end{array} \right]$$

Tomando en cuenta que para determinar las propiedades termo físicas del aire deben ser calculados con T_m a excepción del Pr_s en el cual se tomara en cuenta la temperatura superficial del tubo que se está analizando.

Al interpolar los valores de Pr_s



Para obtener el valor de las constantes C y m son tomados de la siguiente tabla:

Configuración	$Re_{D,max}$	C	m
Alineado ($S_T/S_L > 0,7$) ^e	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.27	0.63
Escalonado ($S_T/S_L < 2$)	$10^3 - 2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
Escalonado	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.40	0.60

De aquí se obtiene el valor de las constantes C y m

Con los datos ya obtenidos anteriormente se procede a calcular el número de Nusselt, de la siguiente manera:

Zona de Evaporización

$$Nu_D = CRe_{D,max}^m Pr^{0,38} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} = 136,18$$

Zona de Condensación

$$Nu_D = CRe_{D,max}^m Pr^{0,38} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} = 62,93$$

Debido a la ecuación de Zukauskas se aplica para un número mayor de 20 filas, existe un factor de corrección para obtener el valor real de Nusselt.

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13
Alineados	0.70	0.80	0.86	0.90	0.93	0.96	0.98	0.99
Escalonados	0.64	0.76	0.84	0.89	0.93	0.96	0.98	0.99

Zona de Evaporización

$$Nu_{D,NL < 20} = F Nu_{D,NL > 20}$$

$$Nu_{D,NL=10} = 133,46$$

Zona de Condensación

$$Nu_{D,NL < 20} = F Nu_{D,NL > 20}$$

$$Nu_{D,NL=10} = 61,68$$

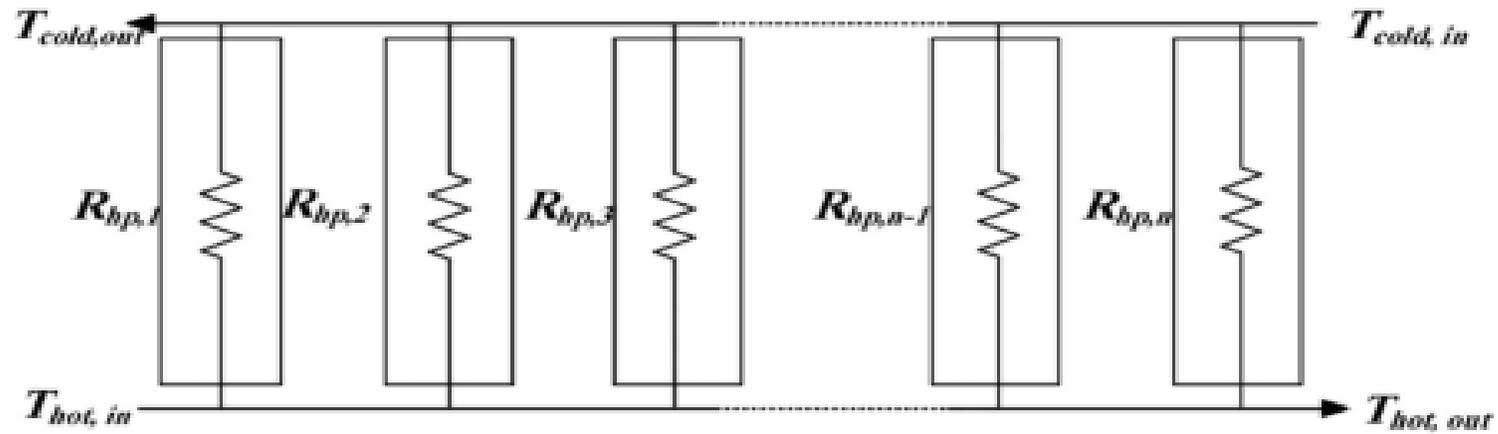
Posteriormente se calcula el coeficiente de convección h.

Zona de Evaporización

$$h_e = \frac{Nu_D k}{D} = 894,3134 \left(\frac{W}{m^2 \circ K} \right)$$

Zona de Condensación

$$h_c = \frac{Nu_D k}{D} = 452,5675 \left(\frac{W}{m^2 \circ K} \right)$$



Una vez calculado el coeficiente de convección se realiza el cálculo de la resistencia térmica a la convección.

Zona de Evaporación

$$R = \frac{1}{hA} = 1,61 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

Zona de Condensación

$$R = \frac{1}{hA} = 3,41 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

Se calcula el valor de la resistencia a la conducción en el tubo de cobre:

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} = 0,035 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

Se calcula el valor de la resistencia térmica total para 1 tubo, relacionado la resistencia térmica a la convección y la resistencia a la conducción en las dos secciones de experimentación (evaporación, condensación).

$$R_{hp} = R_{e,out} + R_{e,cond} + R_{c,cond} + R_{c,out} = 5,09 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

Se calcula el valor de la resistencia térmica total del IC tipo tubos pulsantes (n=40 tubos)

$$R_{HPHE} = \frac{R_{hp}}{n} = 0,12725 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

Es necesario obtener el resultado de la temperatura media logarítmica para calcular el calor total trasferido (Q), ya que relaciona las temperaturas de entrada y salida tanto de sección tanto de evaporación y condensación en una sola ecuación.

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{air\ in,LC} - T_{air\ out,LF}) - (T_{air\ out,LC} - T_{air\ in,LF})}{\ln \left(\frac{(T_{air\ in,LC} - T_{air\ out,LF})}{(T_{air\ out,LC} - T_{air\ in,LF})} \right)} = 68,47\ ^{\circ}C$$

Cálculo del Calor Total Transferido (Q)

Para finalizar, se obtiene el valor del calor total transferido desde la sección del evaporador hasta la zona del condensador, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\Delta T_{ML}}{R_{HPHE}} = 538,02\ (W)$$

Se inicia con el cálculo del valor de Q absorbido en la sección del evaporador

$$\dot{m}_e = \rho AV$$

$$Q_{abs, evp} = \dot{m}_e C_{pe} (T_{salida, e} - T_{entrada, e}) = 0,02912 \text{ (W)}$$

También es necesario calcular el valor Q_{max}

$$C_{min} = \dot{m}_e C_{pe} = 0,00364$$

$$Q_{max} = C_{min} (T_{aire, in, evp} - T_{aire, in, cond}) = 0,2703 \text{ (W)}$$

Cálculo de la eficiencia (ε)

Finalmente, se aplica la ecuación

$$\varepsilon = \frac{Q_{abs, evp}}{Q_{max}} * 100$$

$$\varepsilon = 10,77$$



Resultados - *al 0,1% de concentración*

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

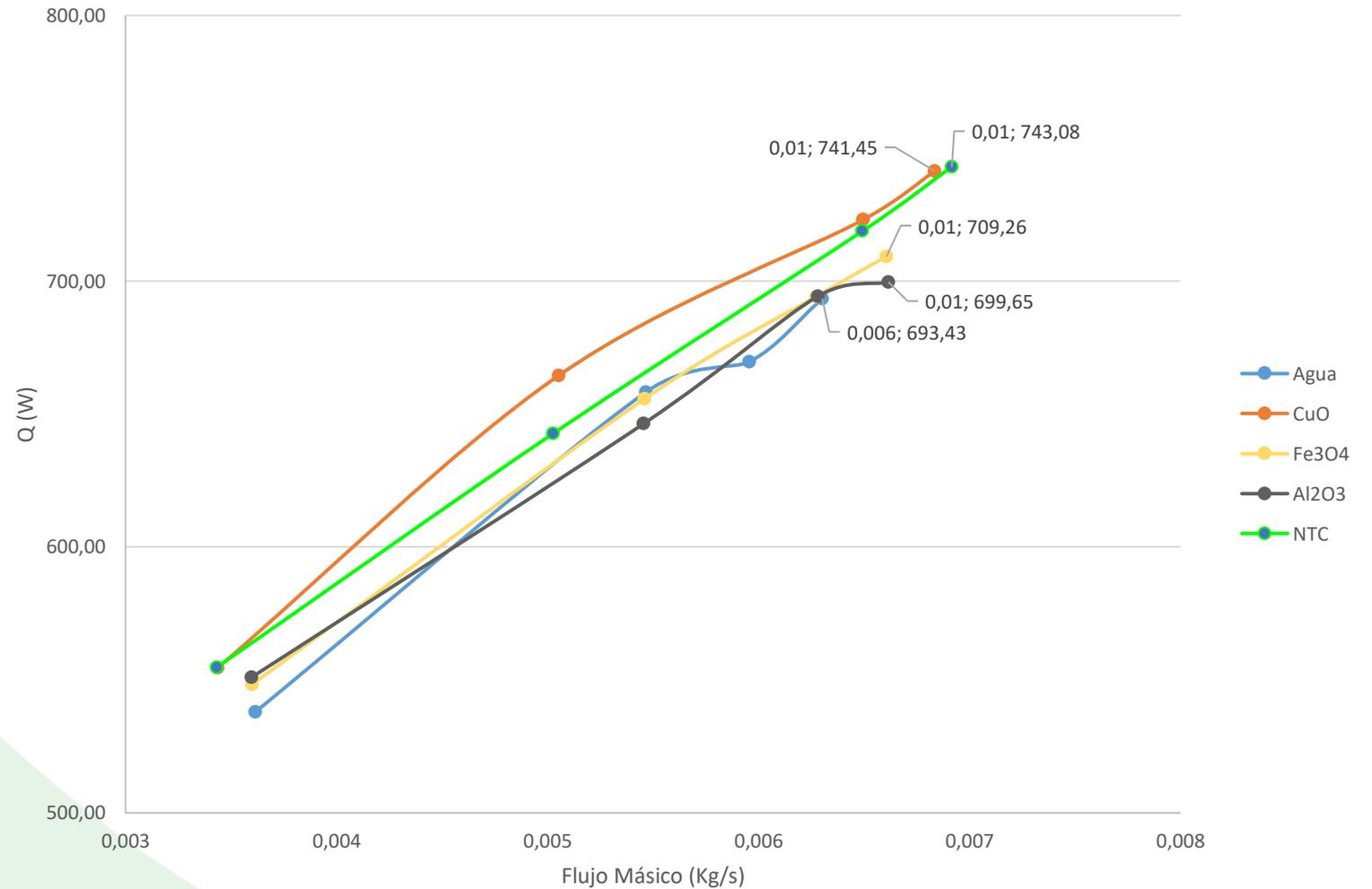
Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Calor
Transferido

*Curvas de calor Q
(W) vs Flujo másico
(Kg/s) para los
diferentes
nanofluidos al 0,1%
de concentración*

Q (W) vs Flujo Másico





Resultados - *al 0,1% de concentración*

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

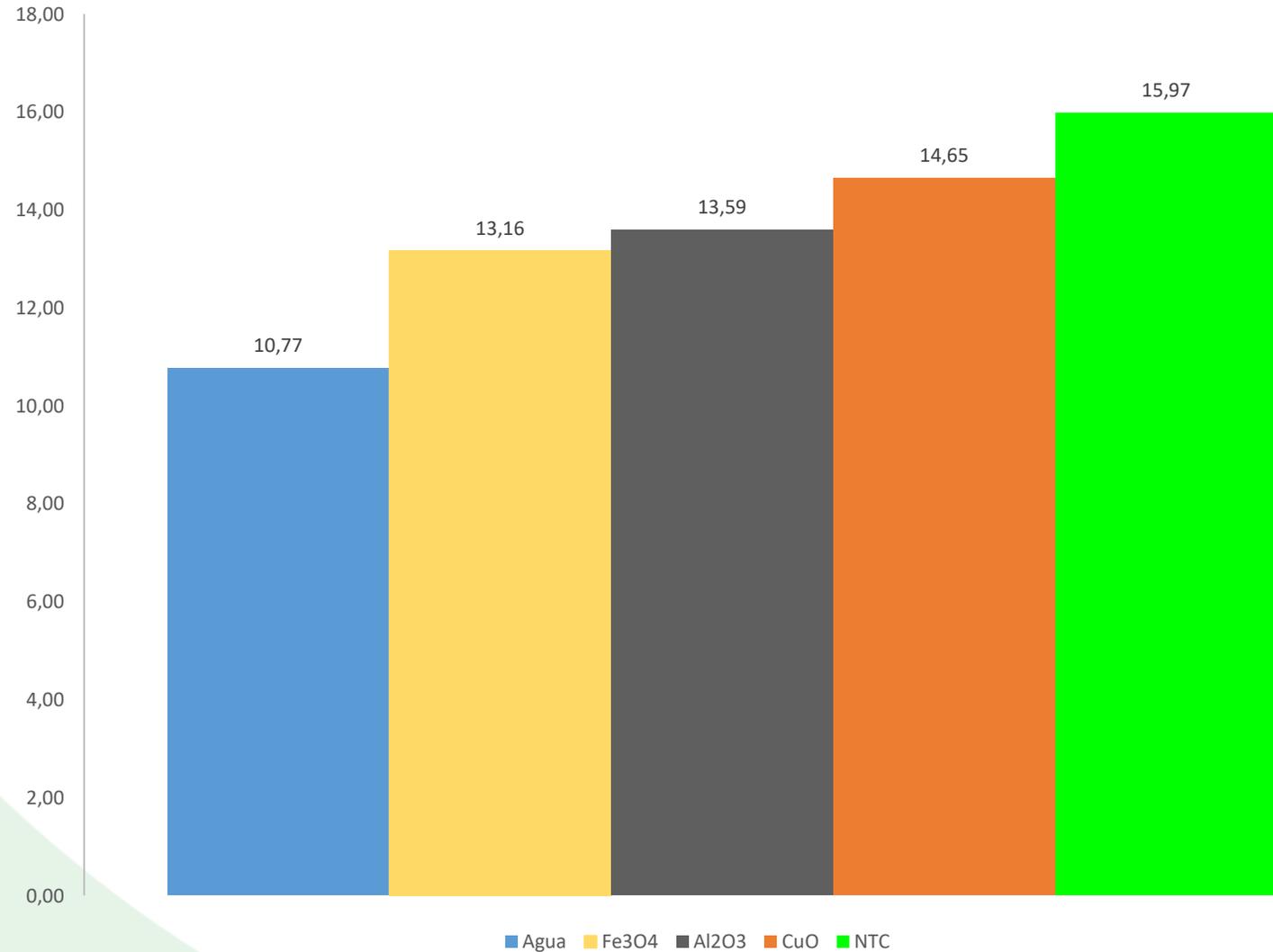
Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Eficiencia

*Curvas de eficiencia
vs Flujo másico para
los diferentes
nanofluidos al 0,1%
de concentración*





Resultados - al 0,5% de concentración

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

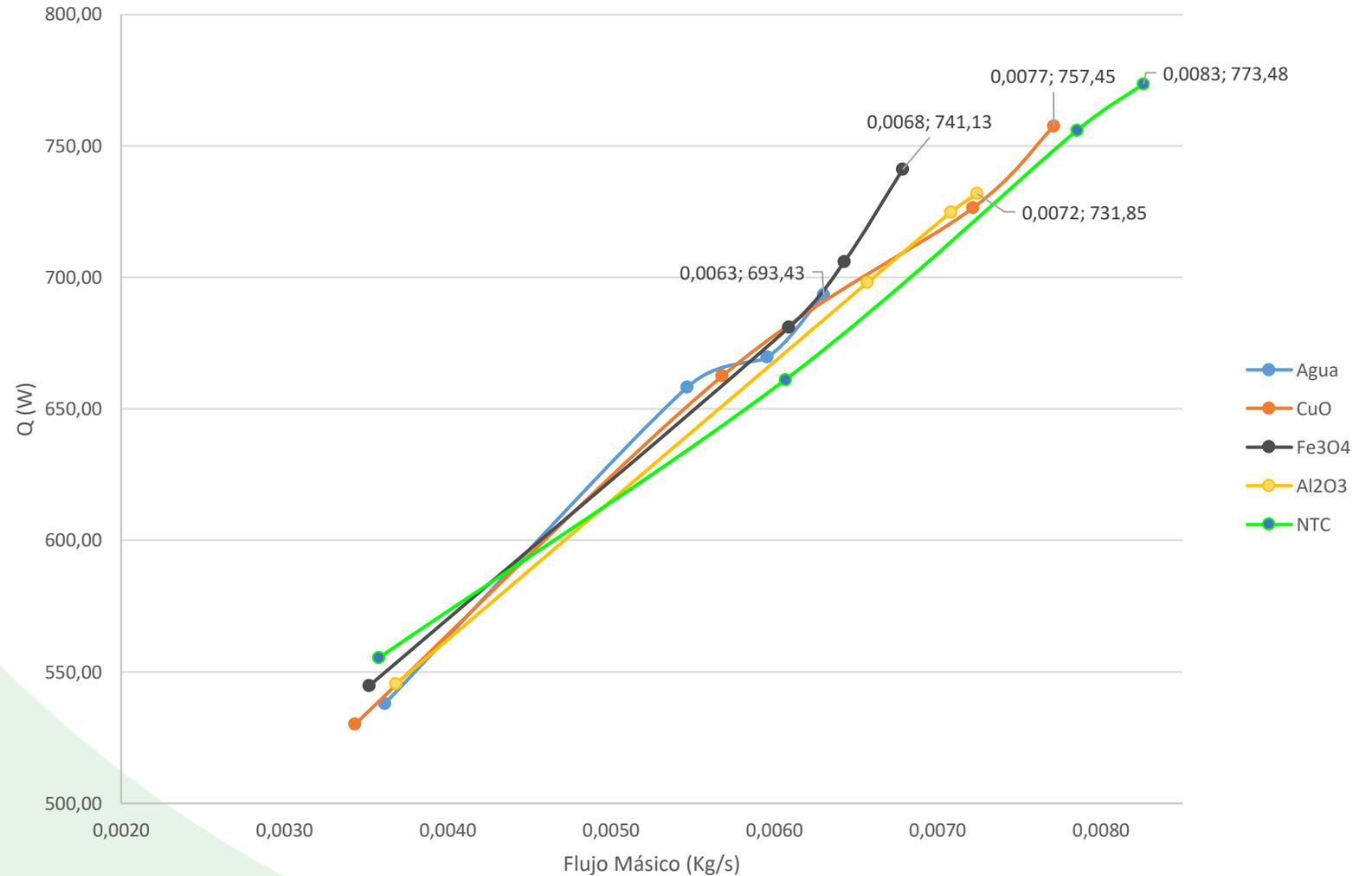
Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Calor
Transferido

*Curvas de calor Q (W)
vs Flujo másico (Kg/s)
de caudal para los
diferentes
nanofluidos al 0,5%
de concentración*

Q (W) vs Flujo Másico





Resultados - al 0,5% de concentración

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

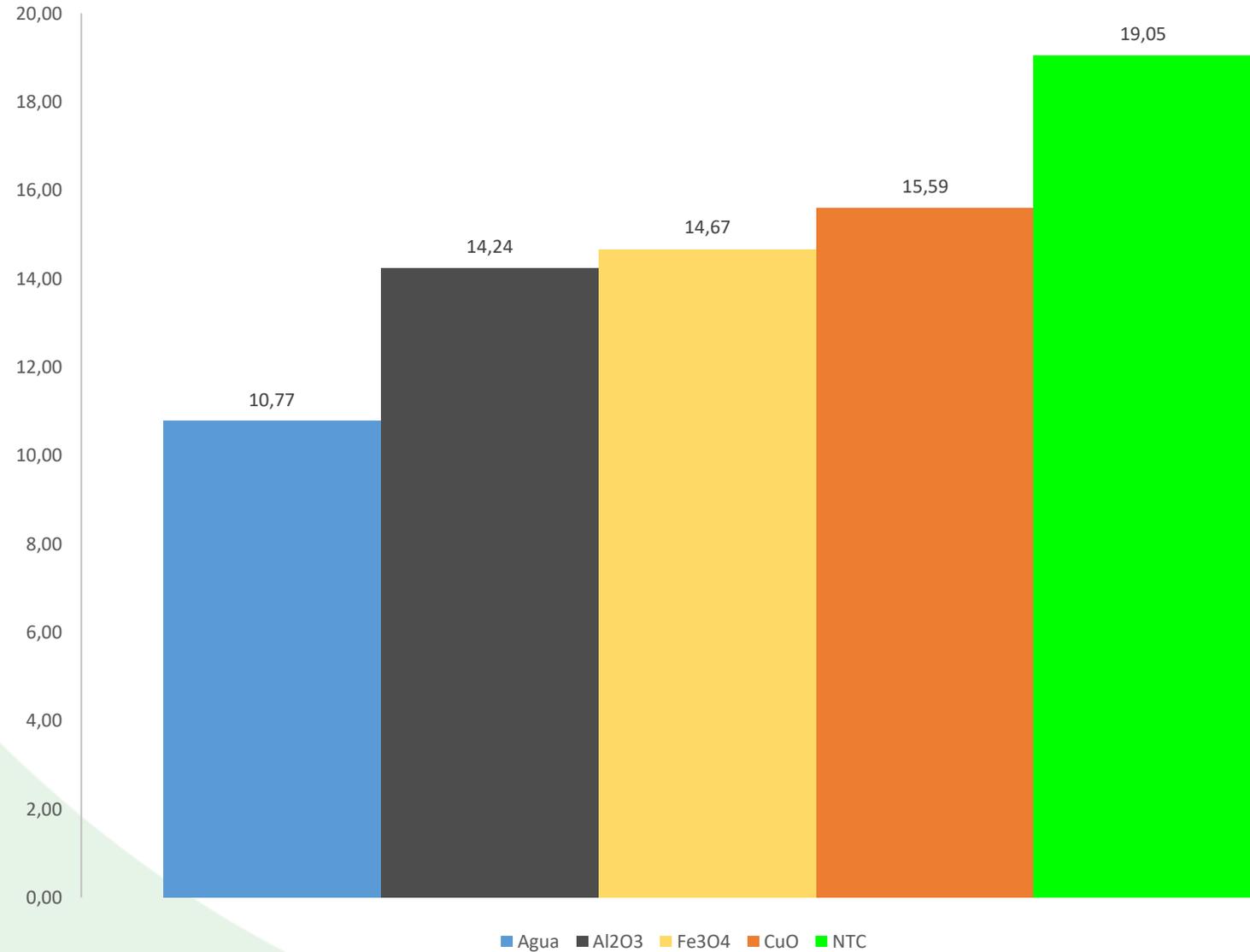
Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Eficiencia

*Curvas de eficiencia
vs Flujo másico para
los diferentes
nanofluidos al 0,5%
de concentración*





Resultados al 1,5% de concentración

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

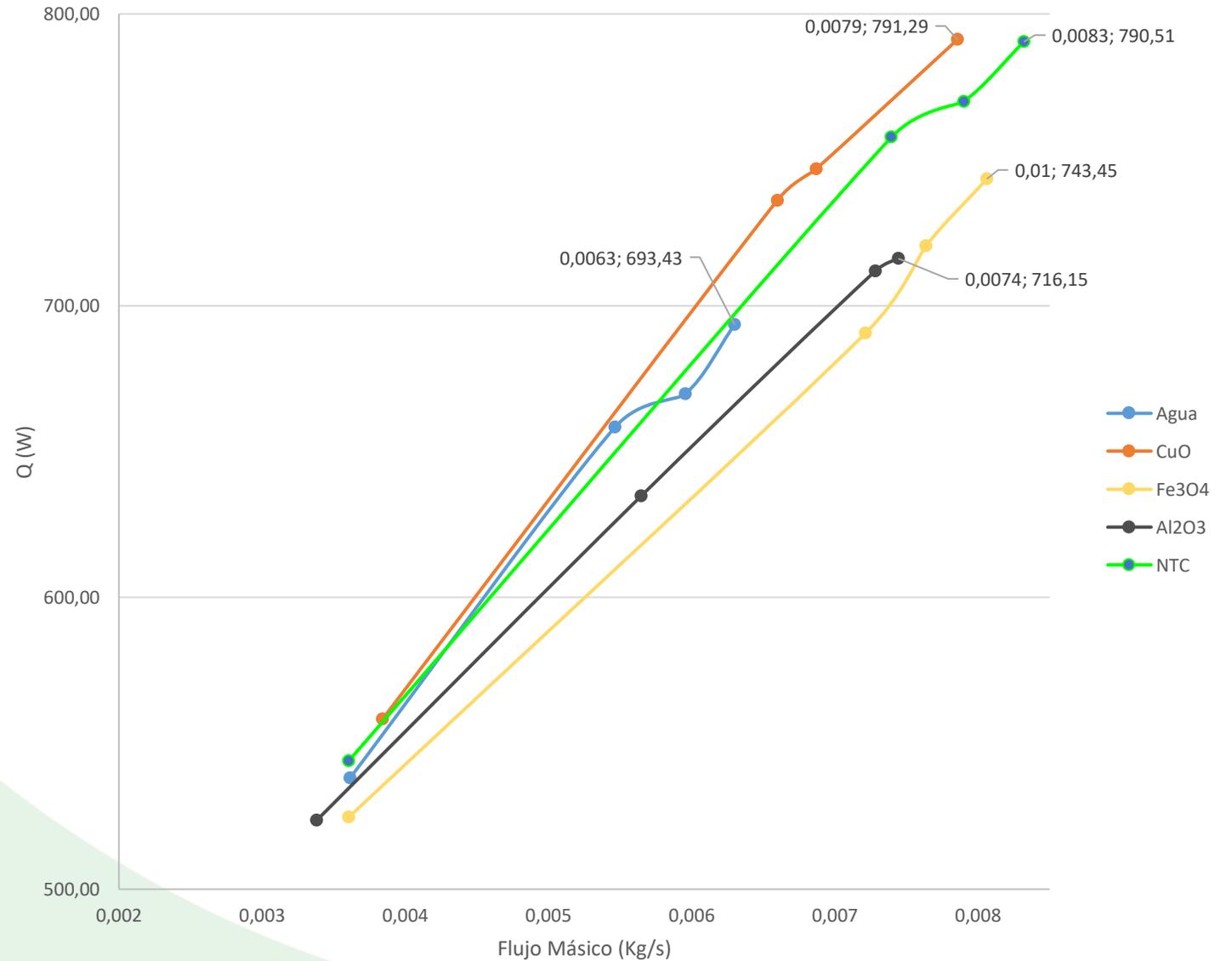
Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Calor
Transferido

Curvas de calor Q (W)
vs Flujo másico (Kg/s)
para los diferentes
nanofluidos al 1,5%
de concentración

Q (W) vs Flujo Másico





Resultados al 1,5% de concentración

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

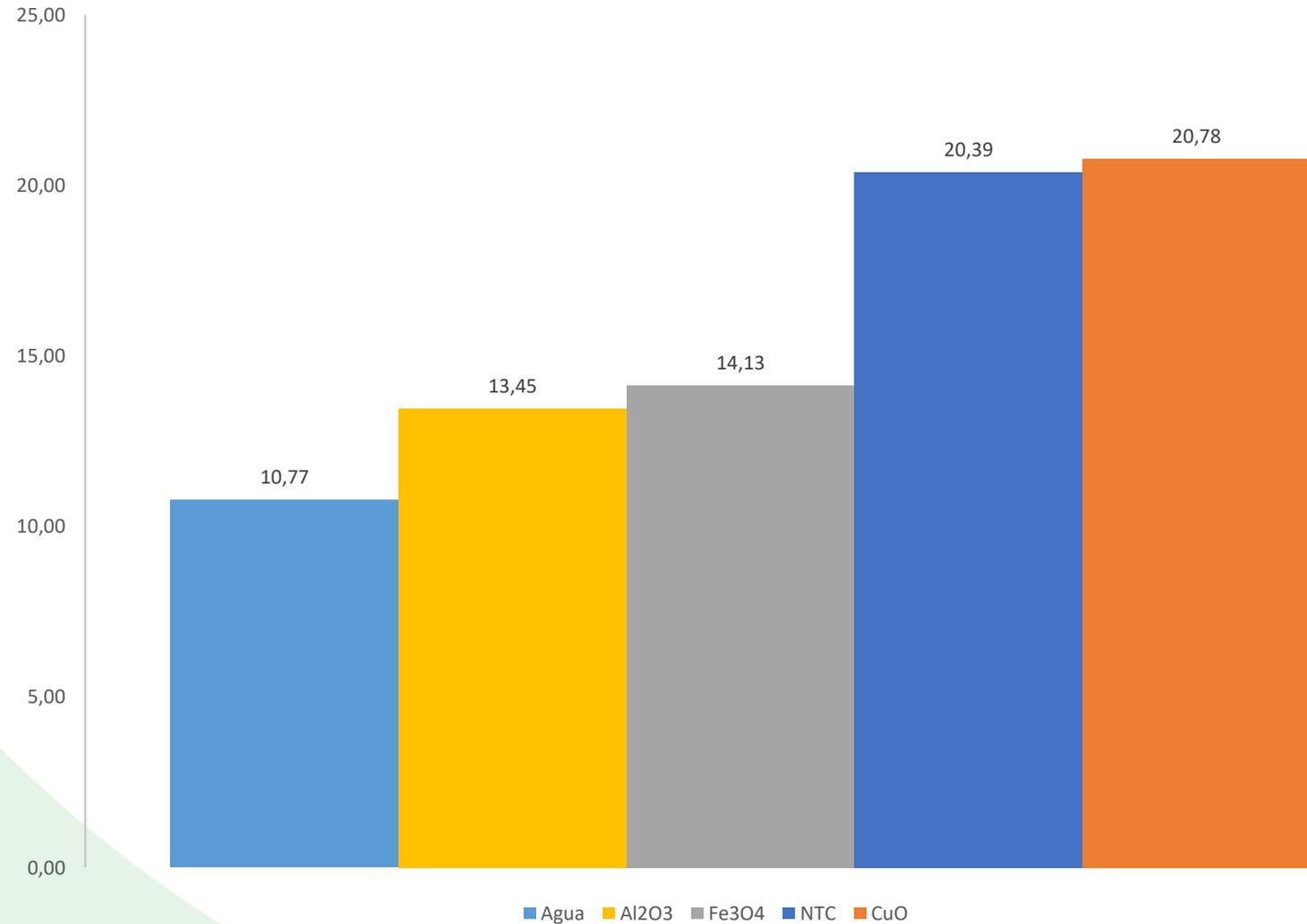
Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

Eficiencia

*Curvas de eficiencia
vs Flujo másico para
los diferentes
nanofluidos al 1,5%
de concentración*





Mejor Resultado (1) – Nanofluido de Cobre (CuO)

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

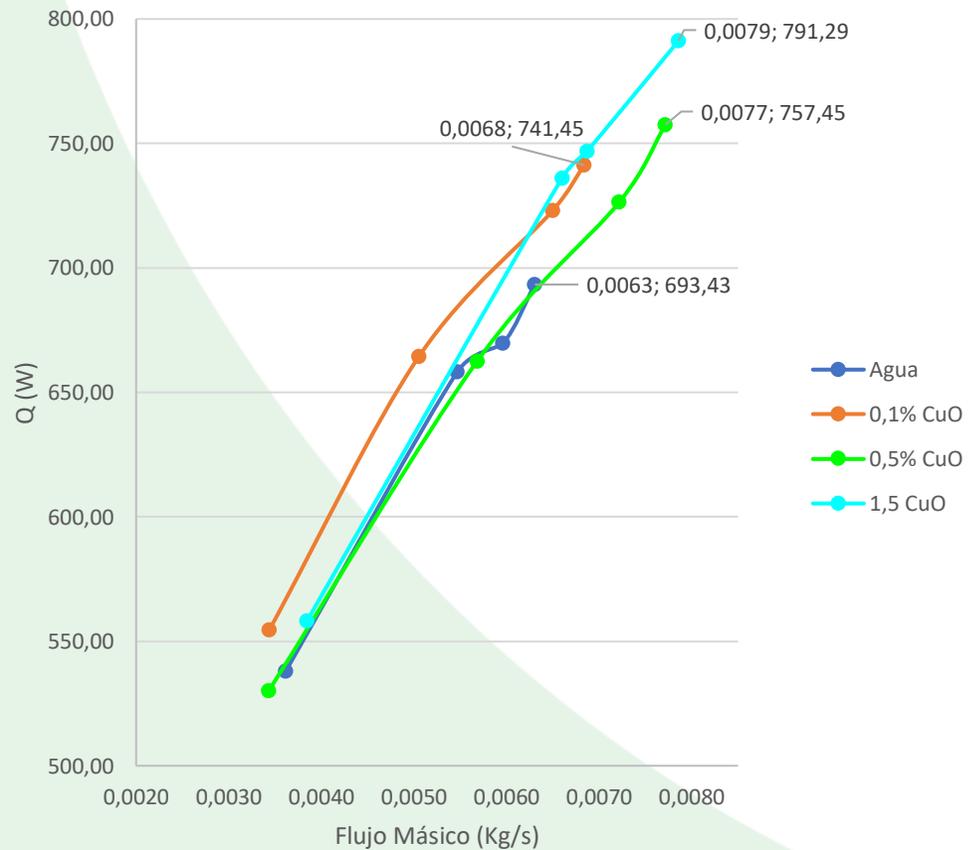
Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

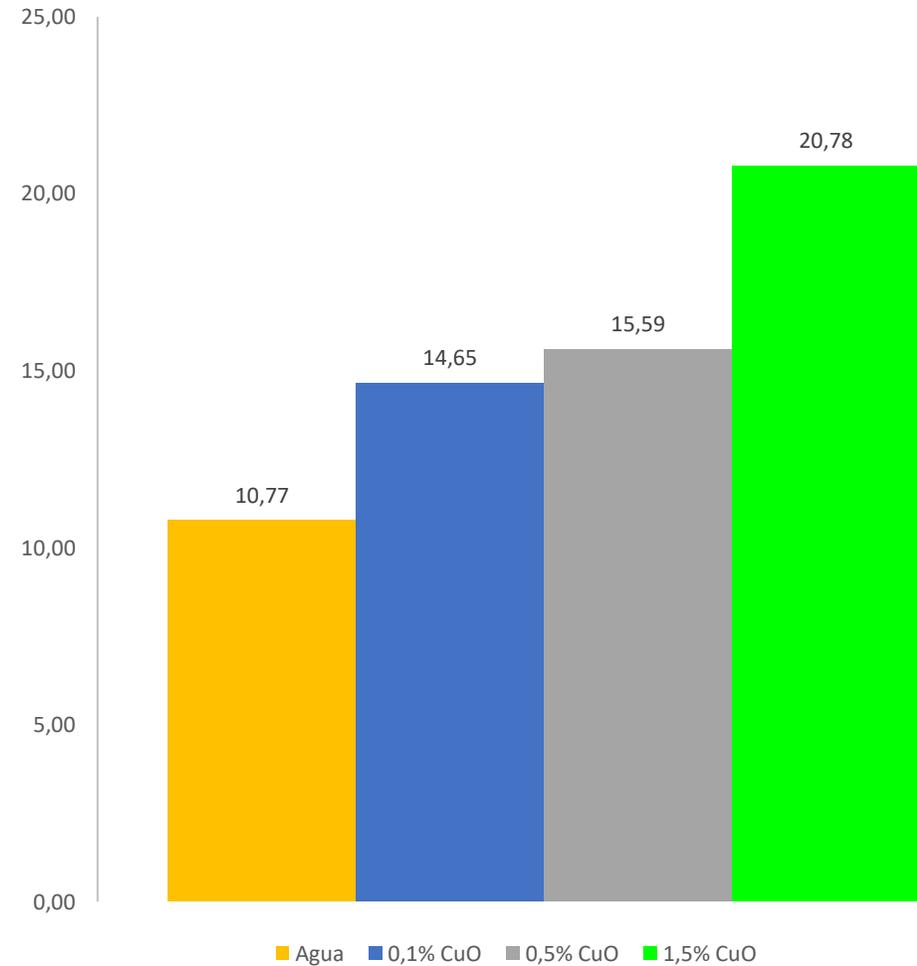
Referencias
Bibliográficas

Calor Transferido

Q (W) vs. Flujo Másico del Agua y Nanofluido de Cobre (CuO)



Eficiencia

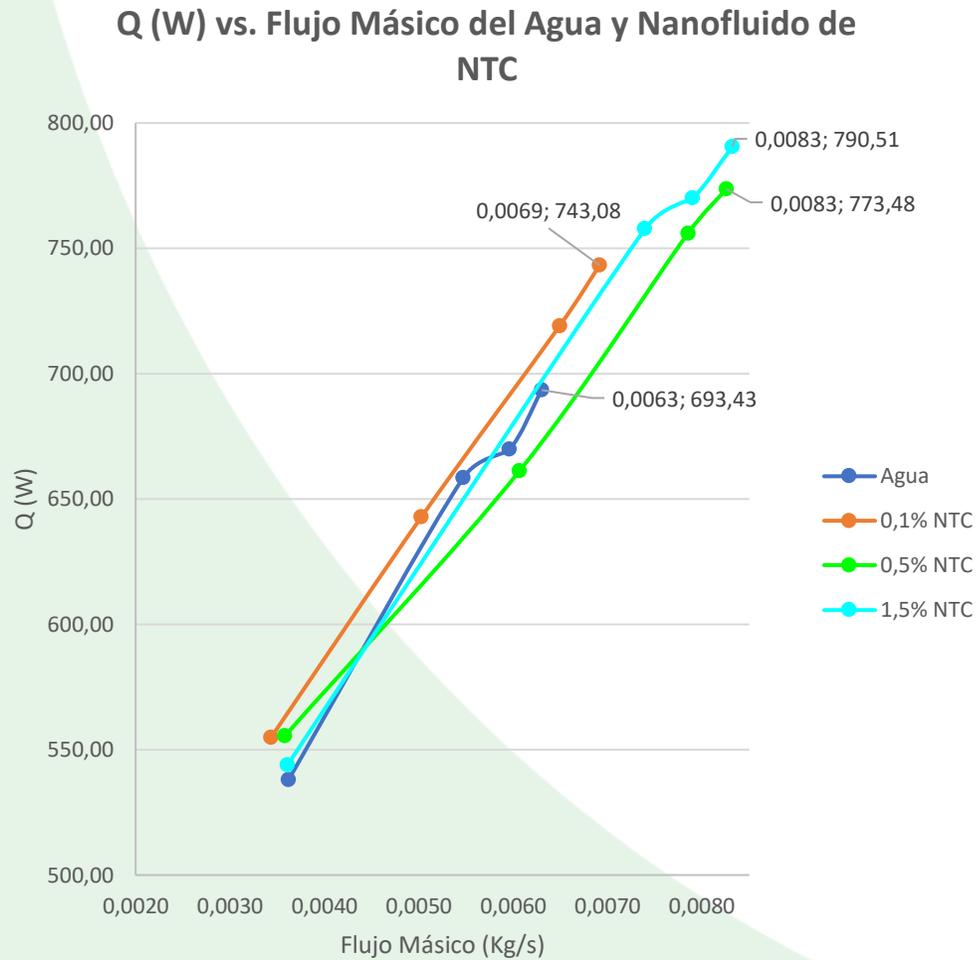




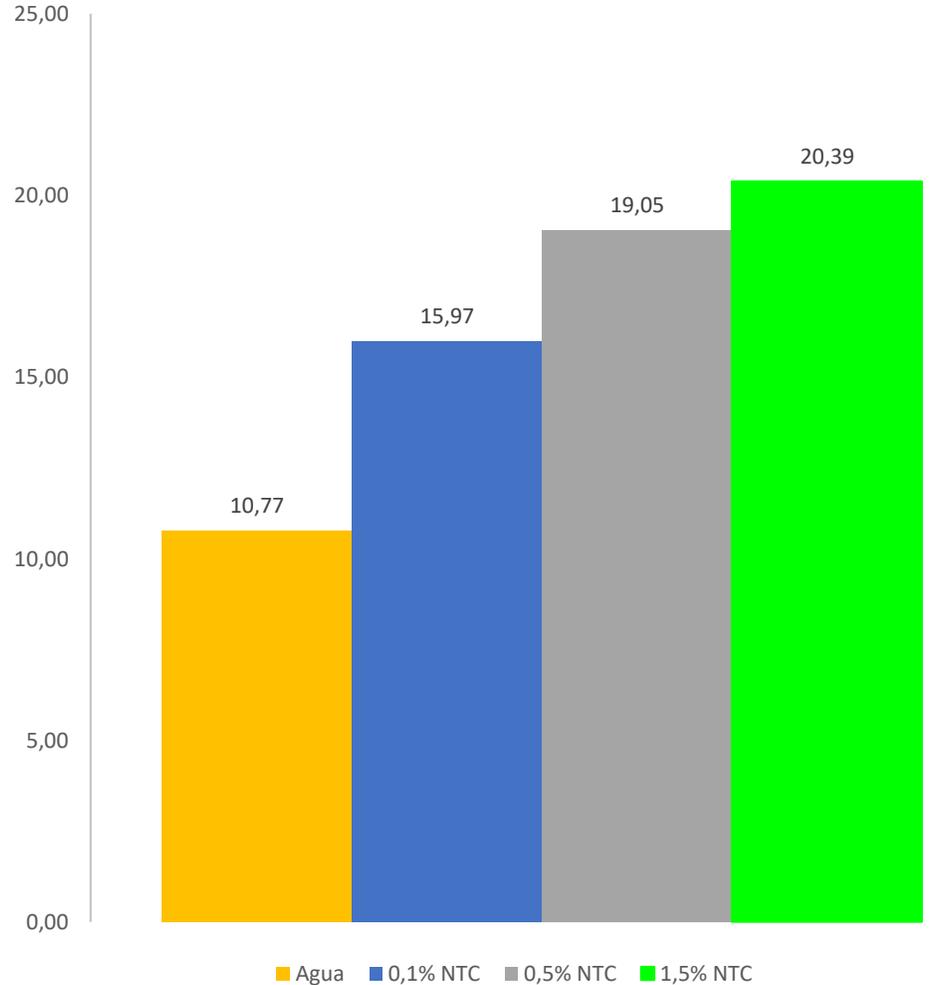
Mejor Resultado (2)– Nanofluido de NTC

- Antecedentes
- Justificación e Importancia
- Objetivos
- Conceptos
- Diseño y Construcción
- Pruebas
- Cálculos
- Resultados**
- Conclusiones y Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas

Calor Transferido



Eficiencia



Análisis Financiero

Descripción	Total (USD)
Costos indirectos	345,00
Costos de materiales	480,09
Costos de herramientas	26,00
Costos de remuneración	2150,00
TOTAL	3001,09

Retorno de la Inversión

NANOFLUIDO	Valor de retorno de inversión	Valor final del proyecto	Tiempo de retorno de capital (meses)
Nanofluido Cobre (CuO) al 1,5%	\$101,16	\$3.001,09	30
Nanofluido NTC al 0,5%	\$98,88	\$3.001,09	30
Nanofluido NTC al 0,1%	\$95,00	\$3.001,09	32

$$\text{Tiempo de retorno de capital} = \frac{\text{Valor final del proyecto}}{\text{Valor mensualmente recuperado}}$$

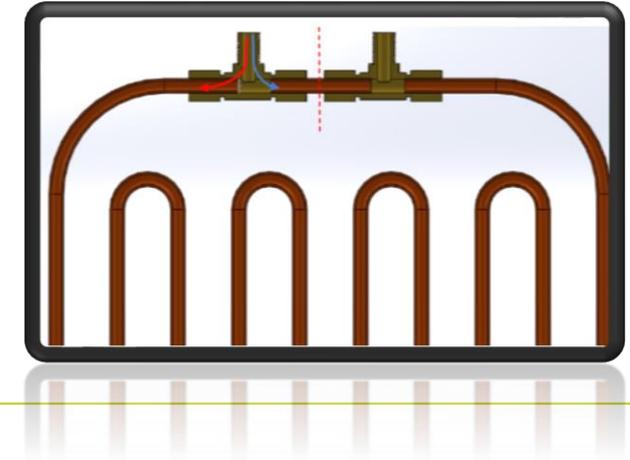


Conclusiones

Diseño final, se encontró problemas al momento de introducir el nanofluido:

Presión dentro de los tubos es mayor. a la presión atmosférica, esto como resultado de la Configuración serpenteantes

Diámetro interno 3,2 mm .



Para el estudio teórico realizado, se pudo encontrar diversas fórmulas para determinar las diferentes variables térmicas.

La fuente de aire caliente construida incrementa la temperatura del fluido (aire) a 105,5 °C obteniendo así un valor mayor a los 100 °C.



Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

**Conclusiones y
Recomendaciones**

Referencias
Bibliográficas



Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

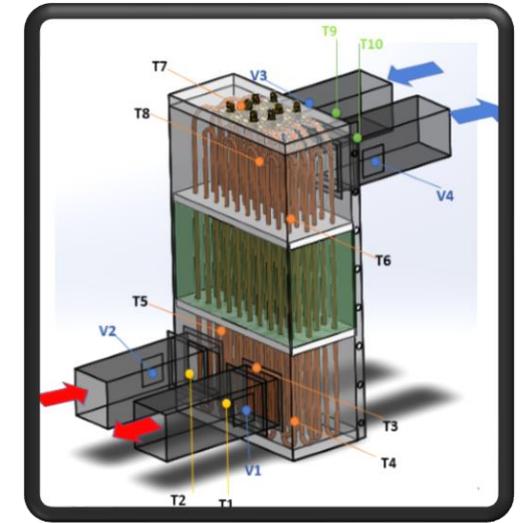
Cálculos

Resultados

**Conclusiones y
Recomendaciones**

Referencias
Bibliográficas

Concentración de temperatura en puntos específicos como en el ensayo del nanofluido de NTC que se tiene en la zona de evaporización una temperatura de entrada de $100,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura de $104,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el punto medio y en la salida $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la zona de evaporización.



Incremento no significativo del calor transferido en comparación al agua destilada, esto se debe a su bajo coeficiente de conductividad térmica.

Descripción	Al_2O_3	Fe_3O_4
Calor Transferido	731,85 W	743,85 W
Concentración	0,5%	1,5%
Mejora	5%	6%



Los nanofluidos que mostraron un incremento muy significativo, en comparación al agua destilada.

Descripción	CuO	NTC
Calor Transferido	791,29 W	790,41 W
Concentración	1,5%	1,5%
Mejora	12,4%	12,3%

El equipo presenta una eficiencia máxima cuando trabaja con nanopartículas de CuO.

Descripción	CuO	CuO
Concentración		1,5%
A. Destilada	10,77%	48,14%
Al ₂ O ₃	13,45%	35,28%
Fe ₃ O ₄	14,13%	31,97%
NTC	18,8%	20,39%

Por lo que se considera importante utilizar como prioridad nanopartículas de CuO y NTC cuando se requiera aprovechar al máximo el calor de fluidos que en la mayoría de aplicaciones industriales son desechados y desperdiciados.

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas



Recomendaciones

La fuente de aire caliente consta de 5 resistencias eléctricas de 1 kW, por lo que es recomendable evitar conectar de manera simultánea las 5 resistencias en una sola entrada o línea eléctrica.

Obstruir el paso del canal de uno los accesorios tipo T que conecta al otro accesorio y el líquido base o nanofluido solo tenga un solo canal por donde pasar.

Realizar un estudio y análisis previo de ecuaciones matemáticas para el cálculo del calor transferido y eficiencia térmica de tal manera que se aproximen a las condiciones presentes en el diseño propuesto.

Se recomienda practicar el proceso de soldadura oxiacetilénica en tubos de cobre del mismo diámetro (3/16").

Datos confiables es necesario esperar un transcurso de 20 a 25 minutos y de ahí encender el sistema de enfriamiento.

Evacuar completamente su contenido de la configuración de tubos serpenteantes con aire comprimido.

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas



Referencias Bibliográficas

- Andrade, M. L., López, L. I., & Sáenz, A. (Septiembre de 2012). *Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000300002
- Angeli, P., & Gavriilidis, A. (2008). *Hydrodynamics of Taylor Flow in Small Channels: A Review* (Vol. 222). Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engg. Sci.
- Aubin, P., D'Entremont, B., Cataldo, F., Marcinichen, J., Amalfi, R., & Thome, J. (11 de julio de 2019). Numerical Simulations of Pulsating Heat Pipes, Part 1: Modeling. *Energy Conversion and Management*, 151, 232-242.
- Bai, L., Zhang, L., He, J., & Wen Dongsheng. (Octubre de 2015). Development of cryogenic loop heat pipes: A review and comparative analysis. 89, 180-191. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.06.010>
- Carriazo, J. (2017). Magnetita (Fe₃O₄): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea. *Revista Colombiana de Química*, 46, 1-42. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n1.62831>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Transferencia de calor y masa* (Cuarta edición ed.). Mc Graw Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2014). *Transferencia de calor y masa* (Octava edición ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- Chan, C., Siqueiros, E., Ling.Chin, J., Royapoor, M., & Roskilly, A. (2015). Heat utilisation technologies: A critical review of heat pipes. *ELSEVIER*, 50, 615-627. Obtenido de Heat utilisation technologies: A critical review of heat pipes
- Cornelio, J. A., Cuervo, P. A., Ardila, M. I., Orozco, W., Jaramillo, L., Hoyos, L., . . . Toro, A. (2016). Rheological properties of carbon nanotubes as additive in a lubricating fluid. 83, 229-236. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n199.54900>
- ECURED. (07 de Junio de 2022). *Óxido de cobre (II)*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/%C3%93xido_de_cobre_\(II\)#:-:text=Es%20un%20%C3%B3xido%20met%C3%A1lico%2C%20de,Su%20%C3%B3rmula%20qu%C3%ADmica%20es%20CuO.](https://www.ecured.cu/%C3%93xido_de_cobre_(II)#:-:text=Es%20un%20%C3%B3xido%20met%C3%A1lico%2C%20de,Su%20%C3%B3rmula%20qu%C3%ADmica%20es%20CuO.)
- El Universo. (30 de Junio de 2021). *EKOS: Ecuador tiene tarifas eléctricas más económicas que Colombia y Perú*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/ecuador-tiene-tarifas-electricas-mas-economicas-que-colombia-y-peru#:~:text=Las%20tarifas%20promedio%20de%20consumo,de%20todo%20el%20sector%20el%C3%A9ctrico.>
- Kern, D. (2001). *Procesos de transferencia de calor* (Trigésima primera edición ed.). Mexico: CECSA.
- Khandekar, S. (2004). Obtenido de Thermo-Hydrodynamics of Closed Loop Pulsating Heat Pipes: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/>

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas



Referencias Bibliográficas

Antecedentes

Justificación e
Importancia

Objetivos

Conceptos

Diseño y
Construcción

Pruebas

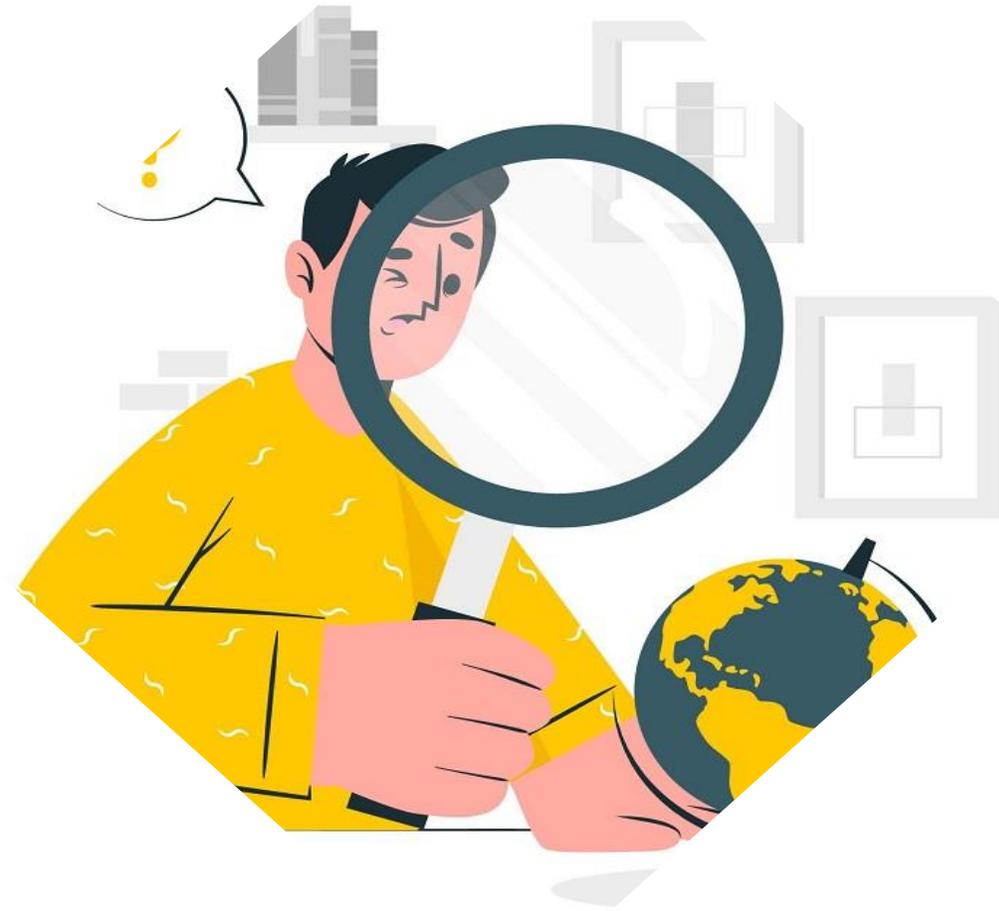
Cálculos

Resultados

Conclusiones y
Recomendaciones

Referencias
Bibliográficas

- Friebel, T., Haber, R., & Schmitz, U. (2017). Lifetime estimation of heat exchangers with consideration of on-line cleaning. *18th International Conference on Process Control.*, 434-439. Obtenido de <https://www.uiam.sk/pc11/data/papers/062.pdf>
- Gómez, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. 27, págs. 75-80. Obtenido de <https://www.fucsalud.edu.co/sites/default/files/2018-08/Art-1.pdf>
- Groll, M., Khandekar, S., & Dollinger, N. (Abril de 2003). Understanding operational regimes of closed loop pulsating heat pipes: an experimental study. 23, 707-719. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00237-5](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00237-5)
- Guozhong, C. (2004). *Nanostructures and Nanomaterials, Síntesis, Propiedades and Aplicaciones*. Imperial College Press.
- Gusman, A. (Mayo de 2014). *Síntesis de nanopartículas de óxido de aluminio mediante la técnica de micro-ondas*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17333/1/25-1-16734.pdf>
- Gutiérrez, C. (2006). Las nanopartículas: pequeñas estructuras con gran potencial. *Contacto Nuclear*, 24-29.
- Holley, B., & Faghri, A. (Junio de 2005). Análisis de tubería de calor pulsante con mecha capilar y diámetro de canal variable. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 2635-2651.
- Holman, J. (2002). *Heat Transfer*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Horikoshi, S., & Serpone, N. (24 de Abril de 2013). Microwaves in Nanoparticle Synthesis: Fundamentals and Applications. *Weinheim: Wiley Verlag Chemie*, págs. 1-24.
- Huamán, A. (Noviembre de 2014). *PRODUCCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO POR MOLIENDA HÚMEDA: CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN A CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS CON COLORANTE*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/350291267_PRODUCION_DE_NANOPARTICULAS_DE_DIOXIDO_DE_TITANIO_POR_MOLIENDA_HUMEDA_CHARACTERIZACION_Y_APLICACION_A_CELDAS_SOLARES_SENSIBILIZADAS_CON_COLORANTE
- Huminic, G., & Huminic, A. (Octubre de 2018). Hybrid nanofluids for heat transfer applications – A state-of-the-art review. 125, 82-103. Obtenido de [doi:https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.059](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.059)
- Incropera, F., & De Witt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta edición ed.). Pearson Education.
- Jouhara, H., Almahmoud, S., Brough, D., & Guichet, V. (11 de Diciembre de 2020). *Experimental and theoretical investigation of the performance of an air to water multi-pass heat pipe-based heat exchange*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/347424700_Experimental_and_theoretical_investigation_of_the_performance_of_an_air_to_water_multi-pass_heat_pipe-based_heat_exchanger



GRACIAS