

Organiza:



V ENCUESTRO
Ingeniería de la Energía

Patrocinadores:



Asociación Nacional
de Profesores
de Ingeniería y Tecnología



Cátedra
Takasago Industria y
Mantenimiento 4.0



CÁTEDRA DEL AGUA
Y LA SOSTENIBILIDAD



ACTAS DEL CONGRESO

V ENCUESTRO DE INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE NOSTRUM



Editores:

Mariano Alarcón García (Editor)

Manuel Seco Nicolás (Co-editor)

© Mariano Alarcón García

ISBN: 978-84-09-29971-3

Dirección web de congreso: V-EIECMN

Universidad de Murcia

Campus Mare Nostrum

**Del 23 al 26 de
noviembre de 2020**

Quinta edición del Encuentro orientado a servir de espacio de reunión para tratar las distintas facetas de las aplicaciones de la Energía en los ámbitos académico y profesional, así como de instituciones y empresas en el que compartir trabajos, se muestren avances creando un espacio virtual de debate y reflexión en el que plantear soluciones a los importantes retos que la Sociedad tiene en el ámbito de la Energía, englobado en el ODS-7, *Energía asequible y no contaminante*, desde una vocación tecnológica pero a la vez con sensibilidad social.



ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CORRUGACIÓN EN EL LADO DE CARCASA EN UN INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO.



MOYA RICO, JOSÉ DOMINGO MOYA RICO ⁽¹⁾;

MOLINA NAVARRO, ANTONIO ⁽¹⁾ ⁽²⁾;

CÓRCOLES TENDERO, JUAN IGNACIO ⁽¹⁾ ⁽²⁾;

BELMONTE TOLEDO, JUAN FRANCISCO ⁽¹⁾ ⁽²⁾

DÍAZ HERAS, MINERVA ⁽¹⁾ ⁽²⁾

ALMENDROS IBÁÑEZ, JOSÉ ANTONIO ⁽¹⁾ ⁽²⁾

JOSEDOMINGO.MOYA@UCLM.ES

⁽¹⁾INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES DE ALBACETE

⁽²⁾ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE ALBACETE

ÍNDICE



1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL
4. METODOLOGÍA
5. ENSAYOS EXPERIMENTALES
6. RESULTADOS
7. CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN



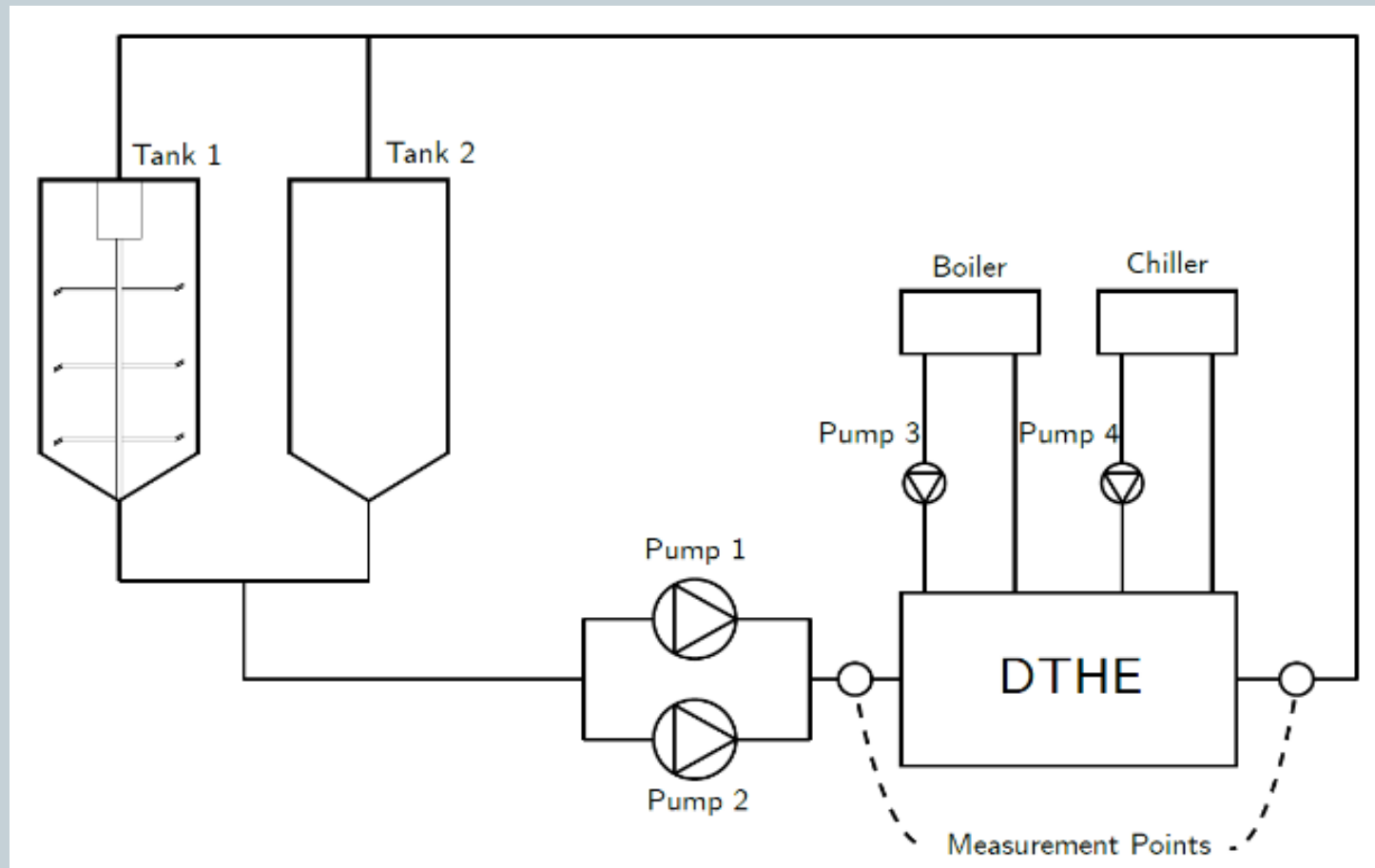
- Los intercambiadores tubulares reemplazan a los de placas en un 20% de los procesos de la industria de la alimentación.
- Son fundamentales para el tratamiento de productos viscosos y de comportamiento no newtoniano.
- El régimen laminar domina en el tratamiento de estos productos, provocando bajos coeficientes convectivos.
- La transferencia de energía puede mejorarse mediante técnicas pasivas.

OBJETIVOS



- Caracterizar un intercambiador de doble tubo con diferente corrugado tanto en el tubo interior como en la carcasa.
- Analizar y comparar la influencia de los diferentes corrugados en la potencia intercambiada y en las pérdidas de carga.

INSTALACIÓN EXPERIMENTAL



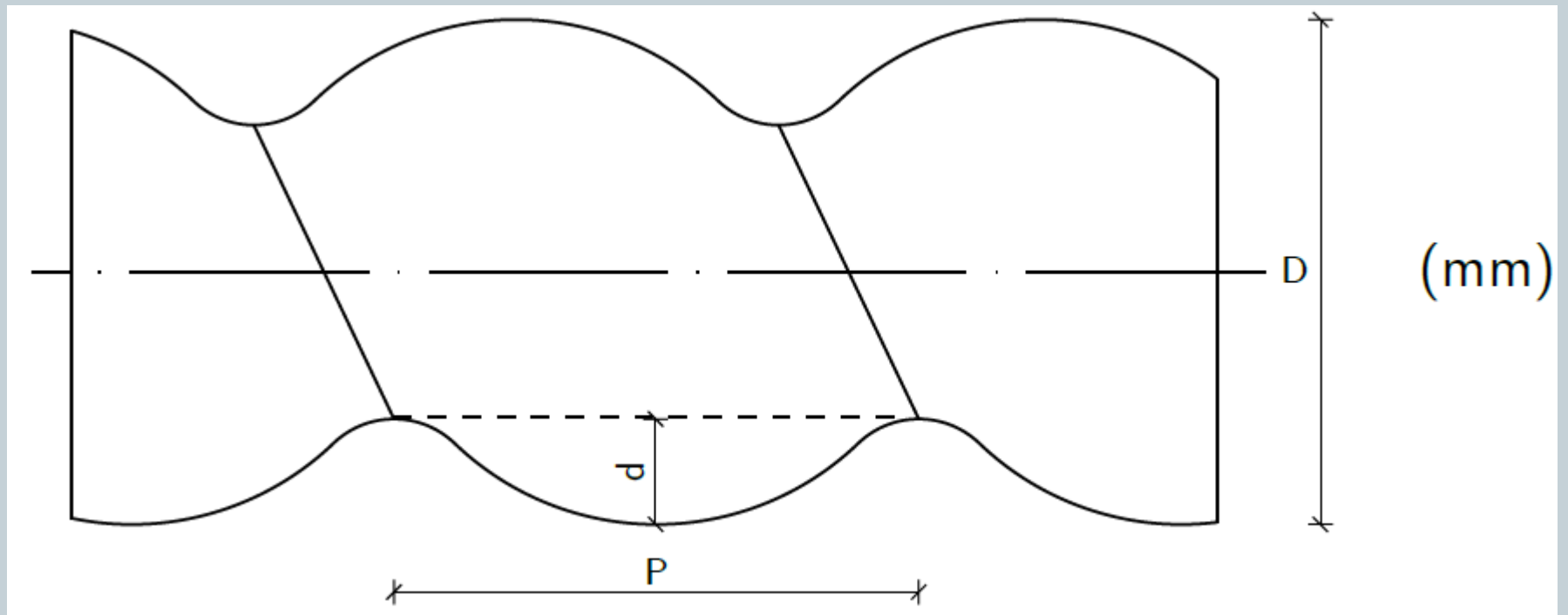
INSTALACIÓN EXPERIMENTAL



INSTALACIÓN EXPERIMENTAL



INSTALACIÓN EXPERIMENTAL



INSTALACIÓN EXPERIMENTAL



Tipo de Tubo	Diámetro (mm)	Paso (mm)	Altura de paso (mm)
Tubo liso	18	15	-
Tubo corrugado 05	18	15	0.5
Tubo corrugado 06	18	15	0.6
Tubo corrugado 07	18	15	0.7
Tubo corrugado 09	18	15	0.9
Tubo corrugado 11	18	15	1.1
Tubo corrugado 12	18	15	1.2

Tipo de Carcasa	Diámetro (mm)	Paso (mm)	Altura de paso (mm)
Carcasa lisa (C1-C4)	38	25	-
Carcasa corrugada 1 (H1-H4)	38	25	0.6
Carcasa corrugada 2 (P1-P4)	38	25	0.7

METODOLOGÍA



- Varianza mínima (Leng 2016)

$$Nu = C Re^m Pr^n$$

METODOLOGÍA



$$Nu = \textcircled{C} Re^{\textcircled{m}} Pr^n$$

→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$R_{ov} = R_0 + R_{f,o} + R_t + R_{f,i} + R_i$$

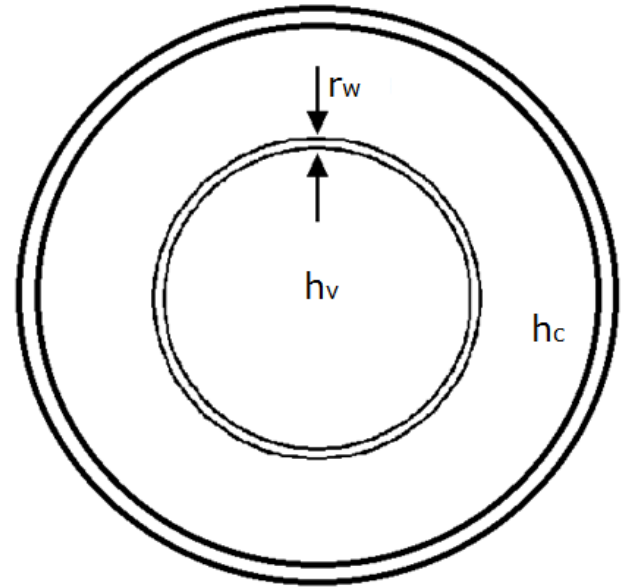
→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$R_{ov} = R_0 + \underbrace{R_{f,o} + R_t + R_{f,i}} + R_i$$

↑
 h_c

↑
 r_w

↑
 h_v



→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

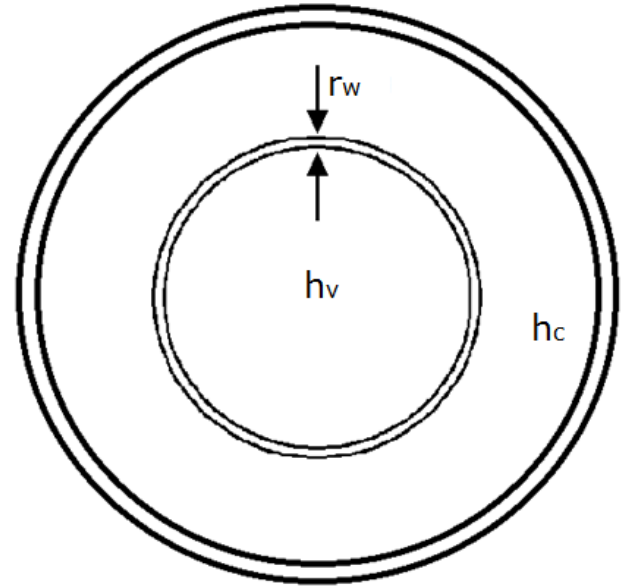
$$R_{ov} = R_0 + \underbrace{R_{f,o} + R_t + R_{f,i}} + R_i$$

↑
 h_c

↑
 r_w

↑
 h_v

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + r_w + \frac{1}{h_v}$$



$$\begin{cases} Nu = C Re^m Pr^n \\ h_v = \frac{Nu \cdot k}{l} = \frac{C Re^m Pr^n k}{l} \end{cases}$$

→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

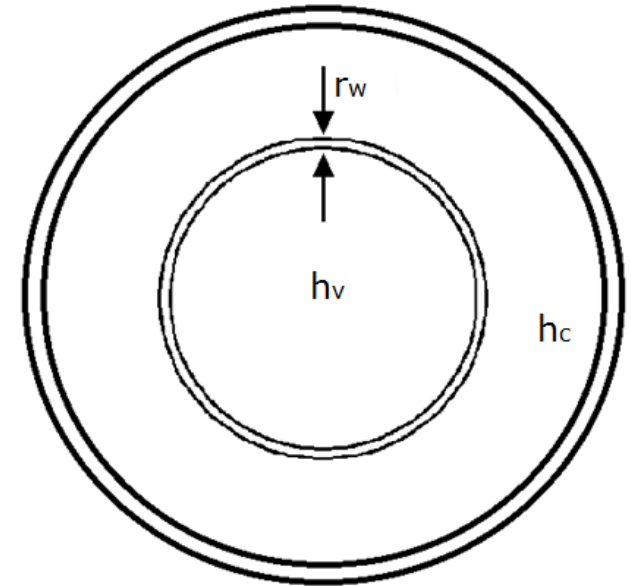
$$R_{ov} = R_0 + \cancel{R_{f,o} + R_t + R_{f,i}} + R_i$$

↑
 h_c

↑
 r_w

↑
 h_v

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + r_w + \frac{1}{h_v}$$



$$\begin{cases} Nu = C Re^m Pr^n \\ h_v = \frac{Nu \cdot k}{l} = \frac{C Re^m Pr^n k}{l} \end{cases}$$

Definimos constantes:

$$\begin{cases} B = \frac{Pr^n k}{l} \\ \frac{1}{h_g} = r_w + \frac{1}{h_c} \end{cases}$$

→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

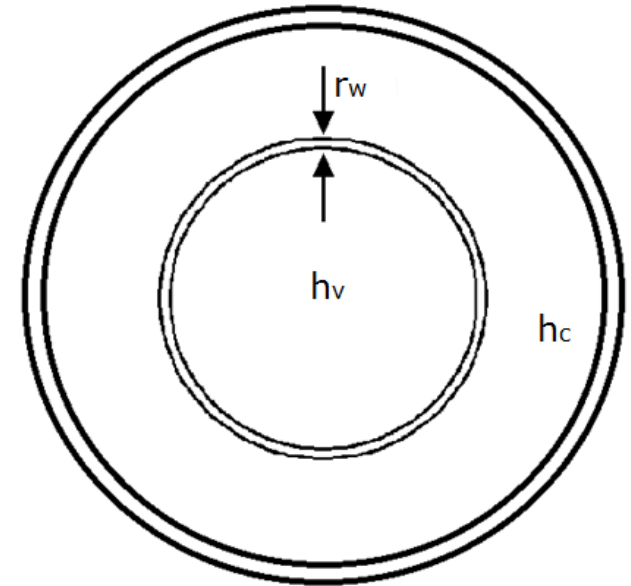
$$R_{ov} = R_0 + \underbrace{R_{f,o} + R_t + R_{f,i}} + R_i$$

↑
 h_c

↑
 r_w

↑
 h_v

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + r_w + \frac{1}{h_v}$$



$$\begin{cases} Nu = C Re^m Pr^n \\ h_v = \frac{Nu \cdot k}{l} = \frac{C Re^m Pr^n k}{l} \end{cases}$$

Definimos constantes:

$$\begin{cases} B = \frac{Pr^n k}{l} \\ \frac{1}{h_g} = r_w + \frac{1}{h_c} \end{cases} \longrightarrow \frac{h_g \cdot U}{h_g - U} = C Re^m \cdot B$$

→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

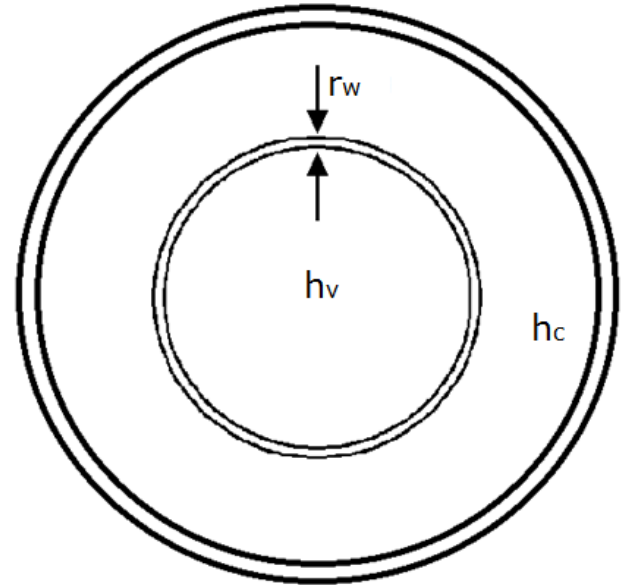
$$R_{ov} = R_0 + \underbrace{R_{f,o} + R_t + R_{f,i}} + R_i$$

↑
 h_c

↑
 r_w

↑
 h_v

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + r_w + \frac{1}{h_v}$$



$$\begin{cases} Nu = C Re^m Pr^n \\ h_v = \frac{Nu \cdot k}{l} = \frac{C Re^m Pr^n k}{l} \end{cases}$$

Definimos constantes:

$$\begin{cases} B = \frac{Pr^n k}{l} \\ \frac{1}{h_g} = r_w + \frac{1}{h_c} \end{cases} \rightarrow \frac{h_g \cdot U}{h_g - U} = C Re^m \cdot B$$

Experimental Correlacionar

→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$R_{ov} = R_0 + \underbrace{R_{f,o} + R_t + R_{f,i}} + R_i$$

↑
 h_c

↑
 r_w

↑
 h_v

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + r_w + \frac{1}{h_v}$$

$$\begin{cases} Nu = C Re^m Pr^n \\ h_v = \frac{Nu \cdot k}{l} = \frac{C Re^m Pr^n k}{l} \end{cases}$$

Definimos
constantes:

$$\begin{cases} B = \frac{Pr^n k}{l} \\ \frac{1}{h_g} = r_w + \frac{1}{h_c} \end{cases}$$

$$\frac{h_g \cdot U}{h_g - U} = C Re^m \cdot B$$

Experimental Correlacionar

$$\varepsilon = \frac{h_g \cdot U}{h_g - U} - C Re^m \cdot B$$

→ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$R_{ov} = R_0 + \underbrace{(R_{f,o} + R_t + R_{f,i})}_{\substack{\uparrow h_c \\ \uparrow r_w \\ \uparrow h_v}} + R_i$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + r_w + \frac{1}{h_v}$$

$$\begin{cases} Nu = C Re^m Pr^n \\ h_v = \frac{Nu \cdot k}{l} = \frac{C Re^m Pr^n k}{l} \end{cases}$$

Definimos constantes:

$$\begin{cases} B = \frac{Pr^n k}{l} \\ \frac{1}{h_g} = r_w + \frac{1}{h_c} \end{cases} \rightarrow \underbrace{\frac{h_g \cdot U}{h_g - U}}_{\text{Experimental}} = \underbrace{C Re^m \cdot B}_{\text{Correlacionar}}$$

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - C Re^m \cdot B \right)^2$$

$$\varepsilon = \frac{h_g \cdot U}{h_g - U} - C Re^m \cdot B$$


 Se determinan
C y m

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\varepsilon^2}{dm} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - CRe^m \cdot B \right)^2 \cdot CRe_i^m \cdot B \cdot \ln(Re_i) = 0 \\ \frac{d\varepsilon^2}{dc} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - CRe^m \cdot B \right)^2 \cdot Re_i^m \cdot B = 0 \end{array} \right.$$

 Se determinan C y m

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\varepsilon^2}{dm} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - CRe^m \cdot B \right)^2 \cdot CRe_i^m \cdot B \cdot \ln(Re_i) = 0 \\ \frac{d\varepsilon^2}{dc} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - CRe^m \cdot B \right)^2 \cdot Re_i^m \cdot B = 0 \end{array} \right.$$

→ Para cada combinación de h_g , C and m calculamos el coeficiente global de transferencia de calor:

$$U_c = \frac{CRe^m Pr^n k h_g}{h_g \cdot l + CRe^m Pr^n k}$$

 Se determinan C y m

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\varepsilon^2}{dm} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - CRe^m \cdot B \right)^2 \cdot CRe_i^m \cdot B \cdot \ln(Re_i) = 0 \\ \frac{d\varepsilon^2}{dc} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{h_g \cdot U_i}{h_g - U_i} - CRe^m \cdot B \right)^2 \cdot Re_i^m \cdot B = 0 \end{array} \right.$$

→ Para cada combinación de h_g , C and m calculamos el coeficiente global de transferencia de calor:

$$U_c = \frac{CRe^m Pr^n k h_g}{h_g \cdot l + CRe^m Pr^n k}$$

→ Varianza entre los valores calculados (U_c) y los experimentales (U_i)

$$E^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(U_{ci} - U_i)^2}{n}$$

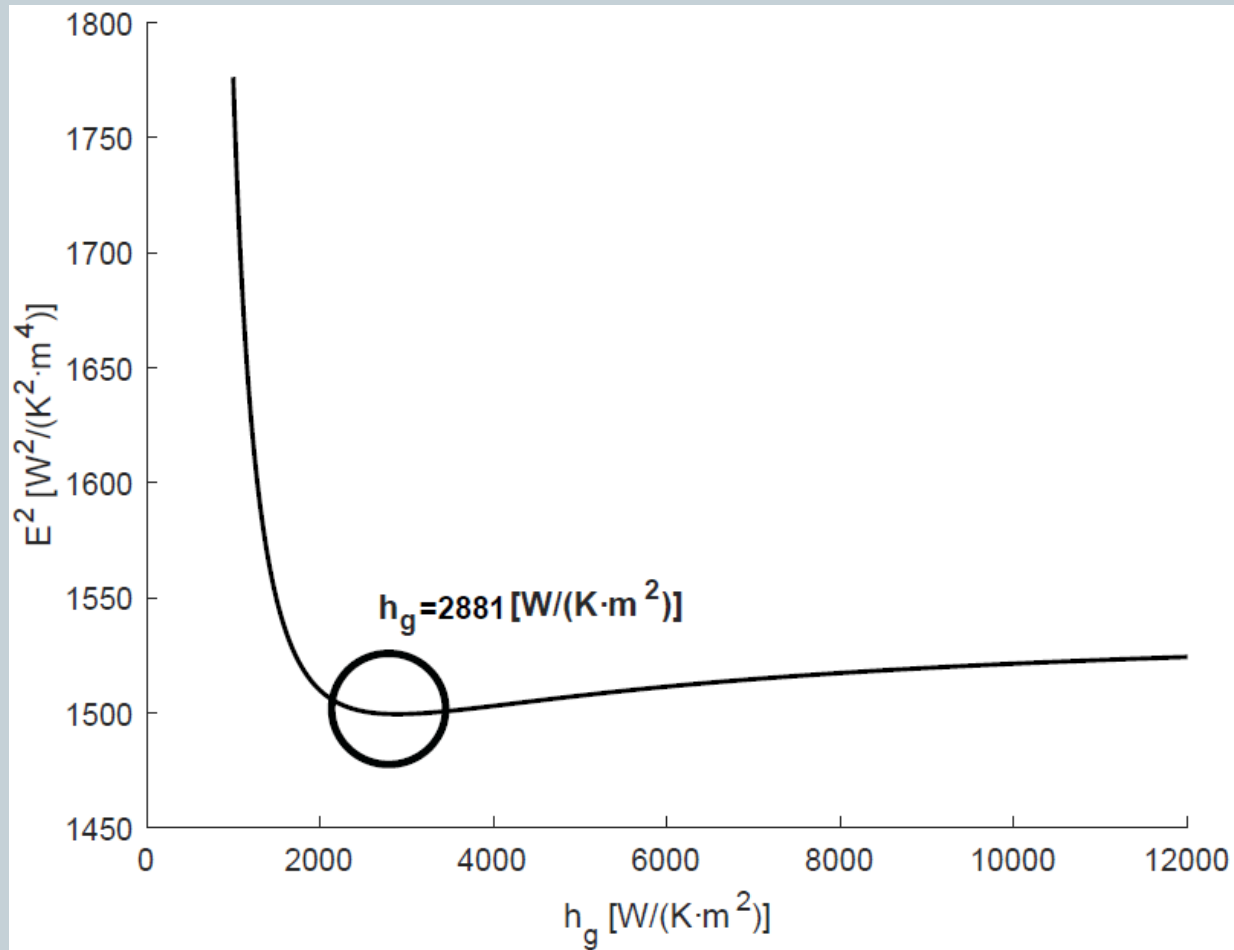
→ Combinación de h_g , C y “m” que minimice la diferencia entre U_c y U_i

ENSAYOS EXPERIMENTALES

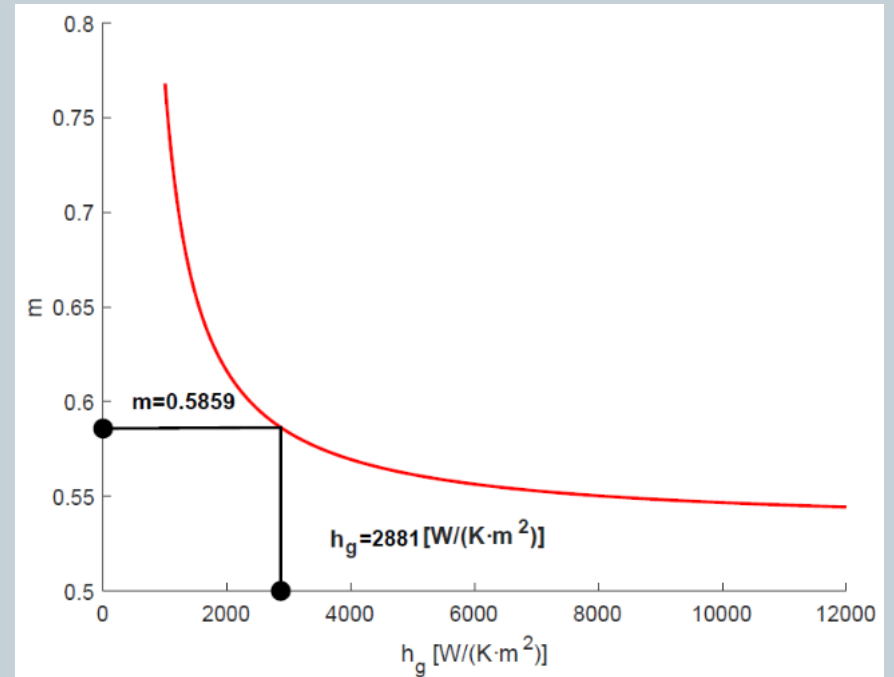
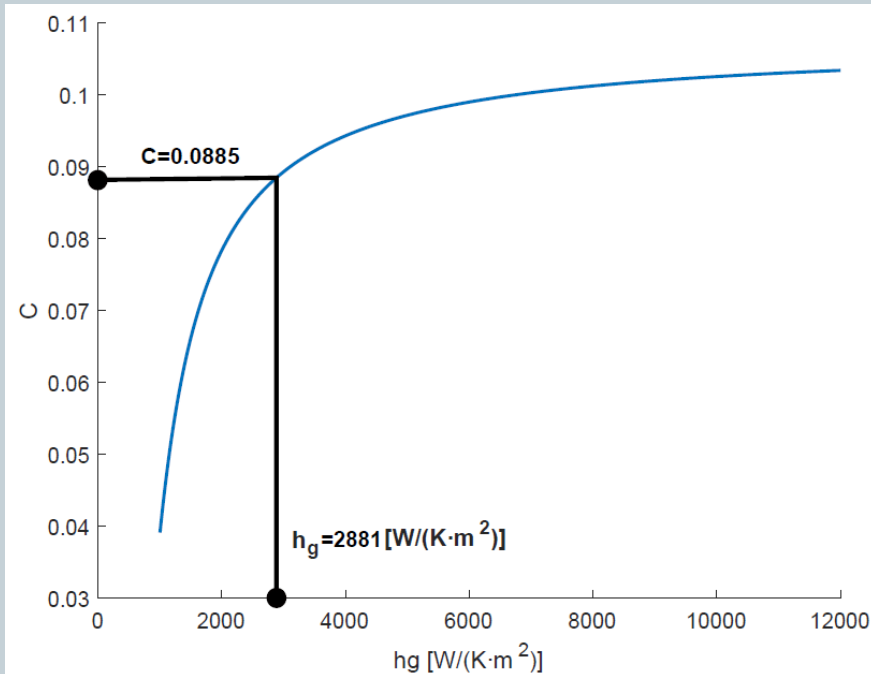


- Ensayos de calentamiento, T^a caldera $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ y caudal 45 l/min
- Producto: disolución agua-azúcar 60° brix
- Caudal producto $4\text{-}18\text{ l/min}$ en intervalos de 2 l/min
- T^a entrada producto: $25, 40, 52\text{ }^{\circ}\text{C}$

RESULTADOS



RESULTADOS



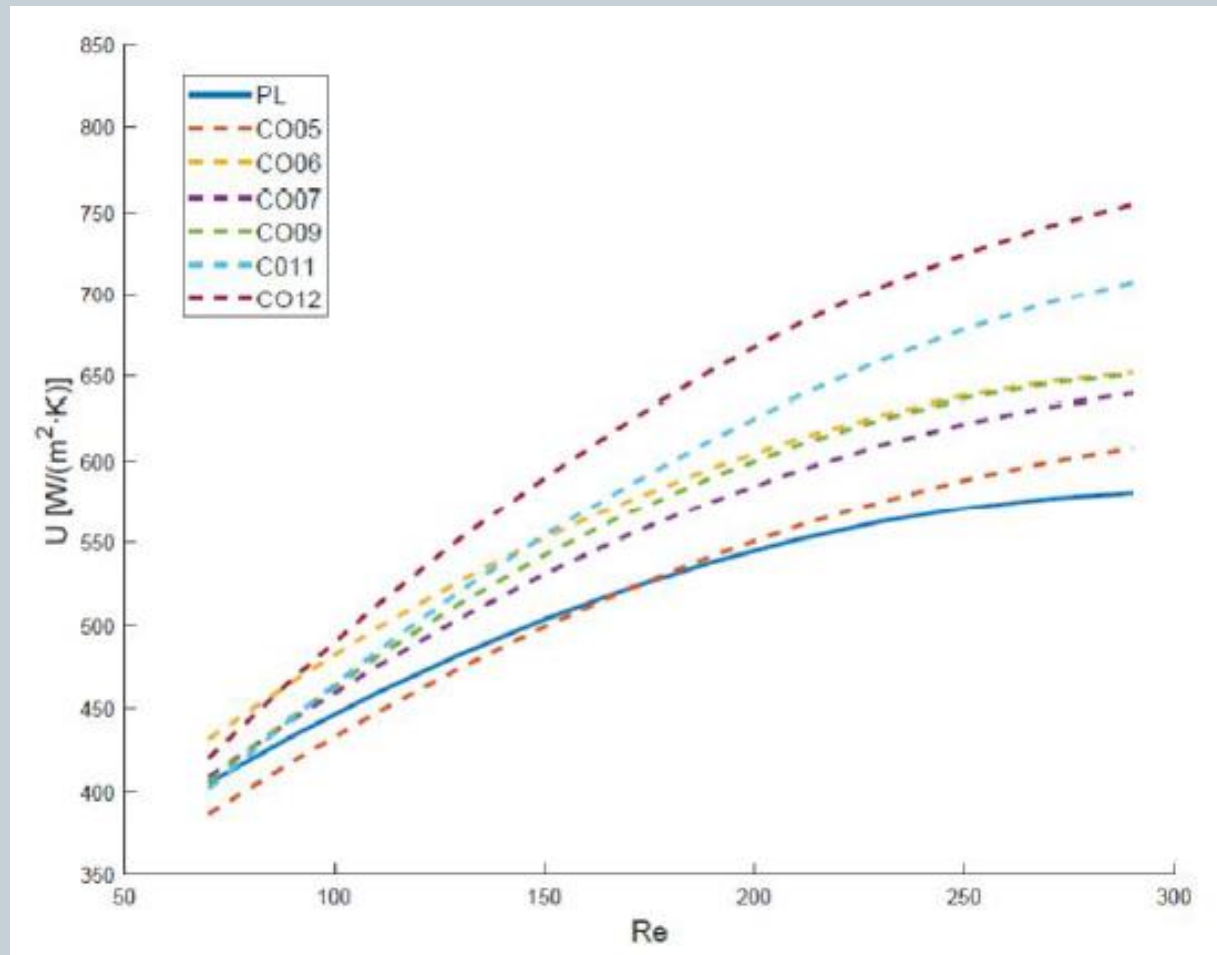
RESULTADOS



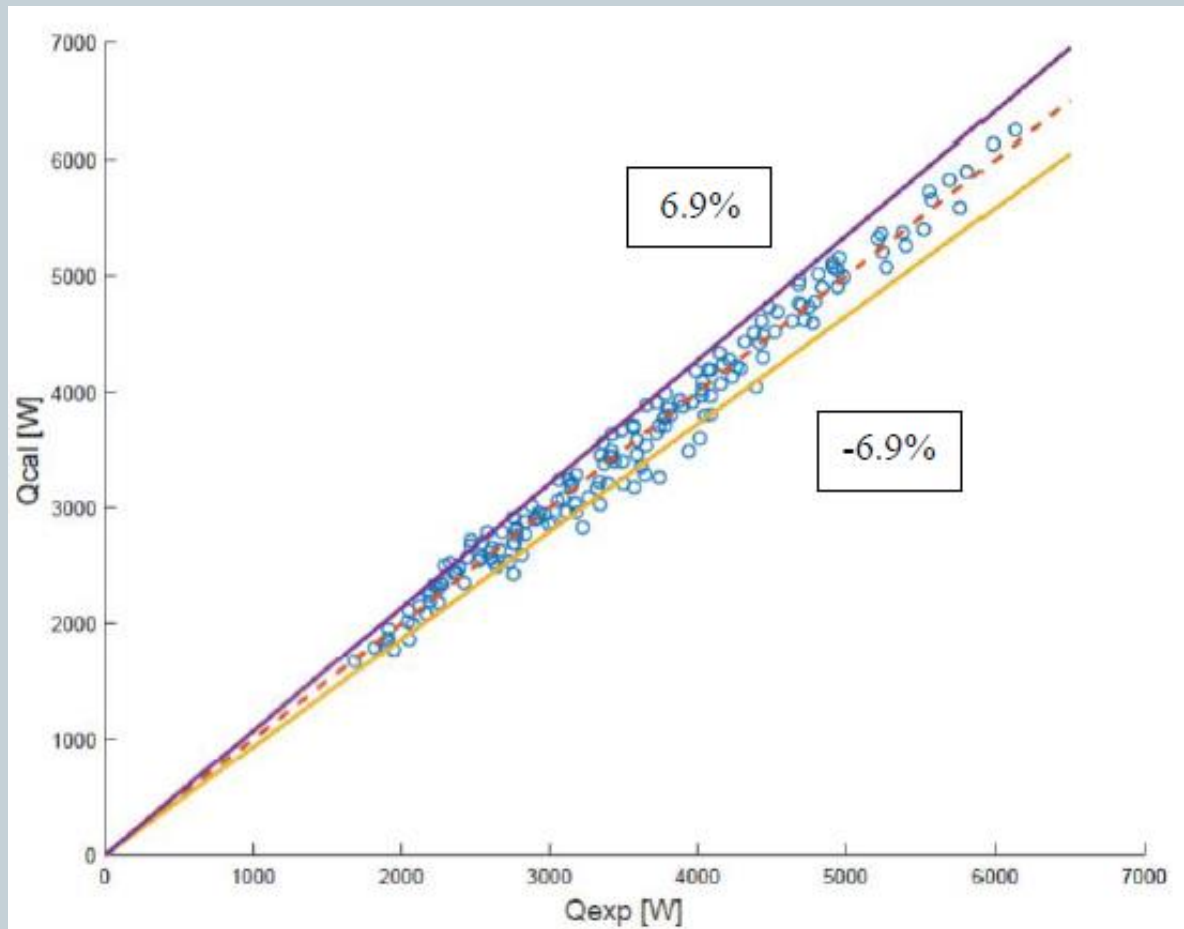
Tubo liso	$Nu_{liso} = 0.4227 * Re^{0.4221} * Pr^{1/3}$
Tubo Corrugado 05	$Nu_{05} = 0.3567 * Re^{0.3951} * Pr^{1/3}$
Tubo Corrugado 06	$Nu_{06} = 0.5198 * Re^{0.3196} * Pr^{1/3}$
Tubo Corrugado 07	$Nu_{07} = 0.3859 * Re^{0.4031} * Pr^{1/3}$
Tubo Corrugado 09	$Nu_{09} = 0.3162 * Re^{0.4431} * Pr^{1/3}$
Tubo Corrugado 11	$Nu_{11} = 0.2773 * Re^{0.4561} * Pr^{1/3}$
Tubo Corrugado 12	$Nu_{12} = 0.2825 * Re^{0.4485} * Pr^{1/3}$

Carcasa lisa	$Nu_{liso} = 0.4227 * Re^{0.4221} * Pr^{1/3}$
Carcasa corrugada 1	$Nu_{cc1} = 0.6209 * Re^{0.3653} * Pr^{1/3}$
Carcasa corrugada 2	$Nu_{cc2} = 0.3352 * Re^{0.4781} * Pr^{1/3}$

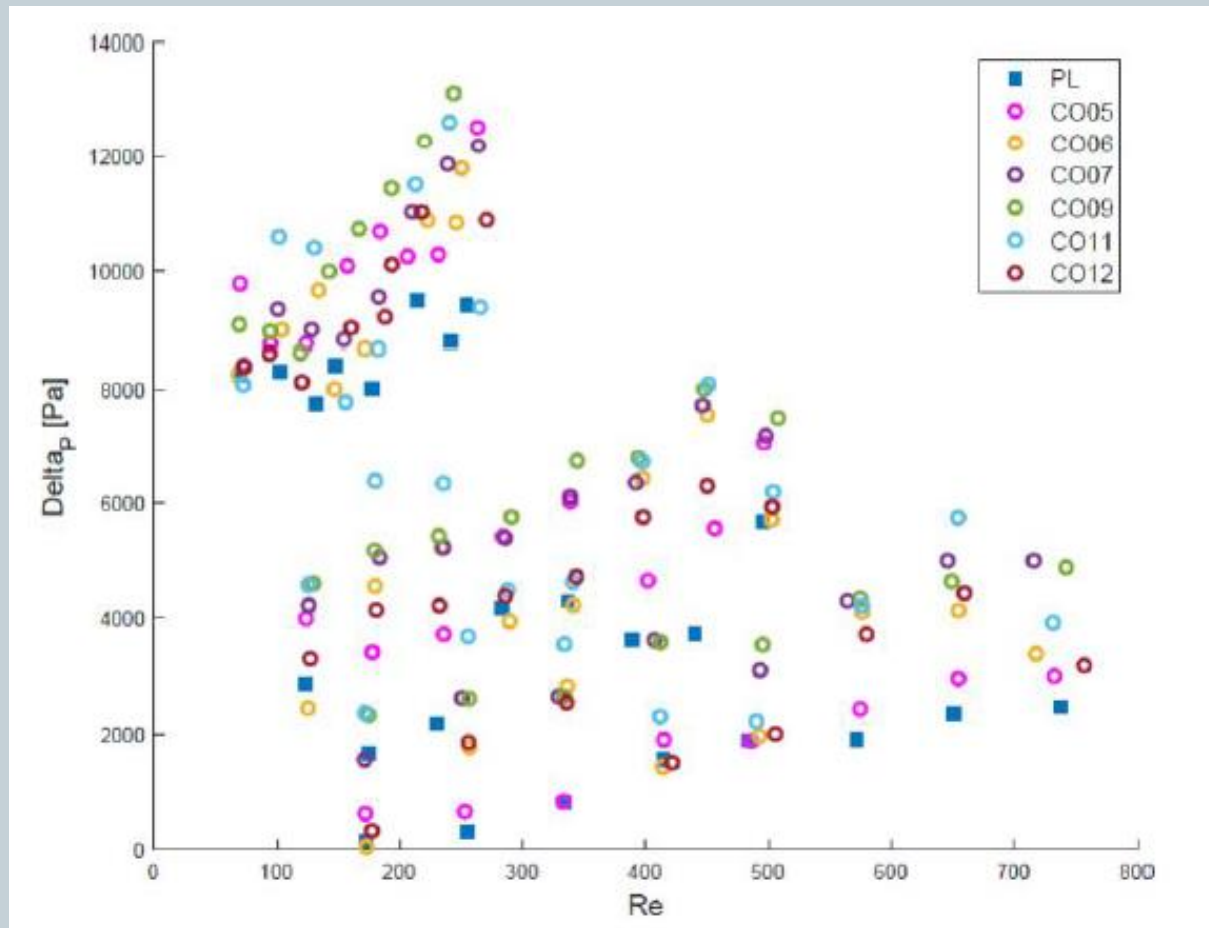
RESULTADOS



RESULTADOS



RESULTADOS

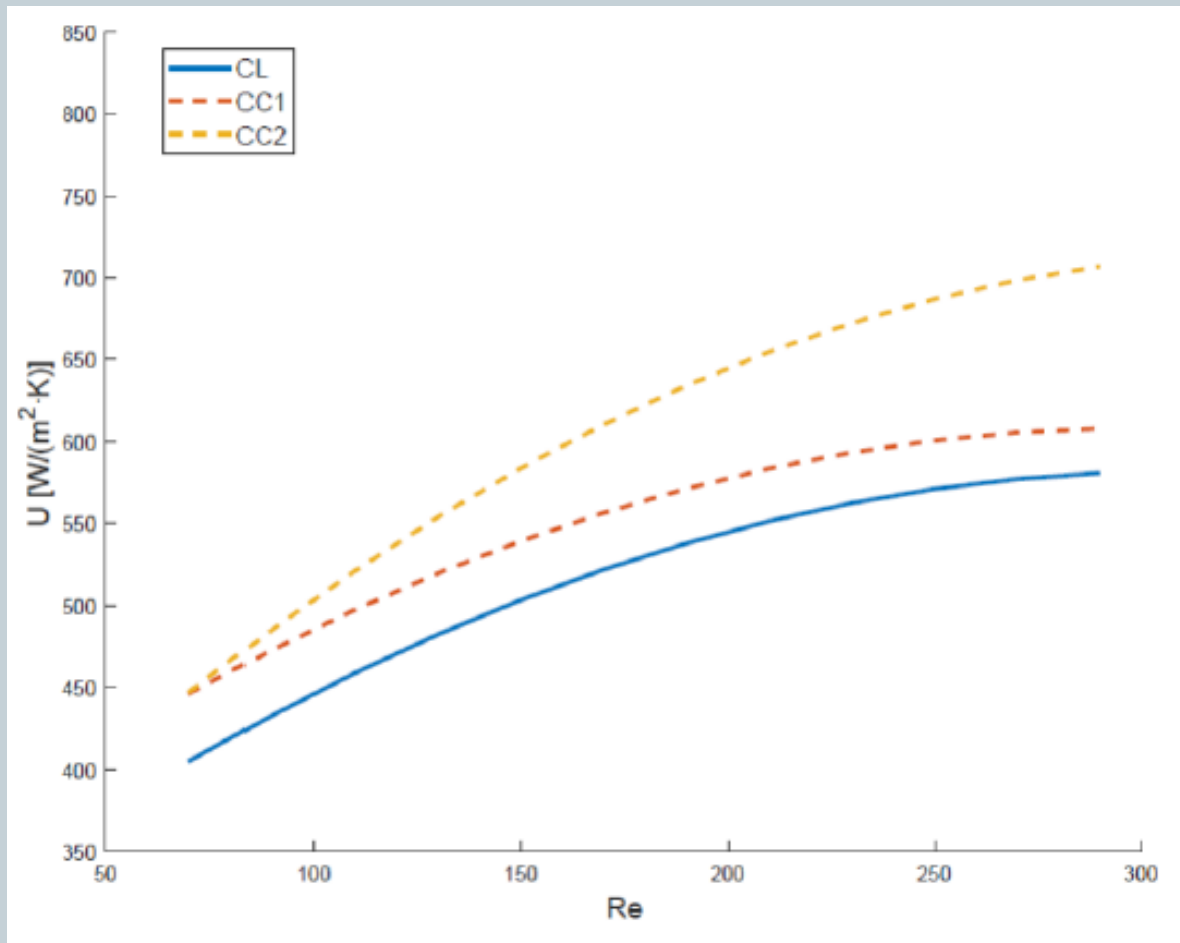


RESULTADOS

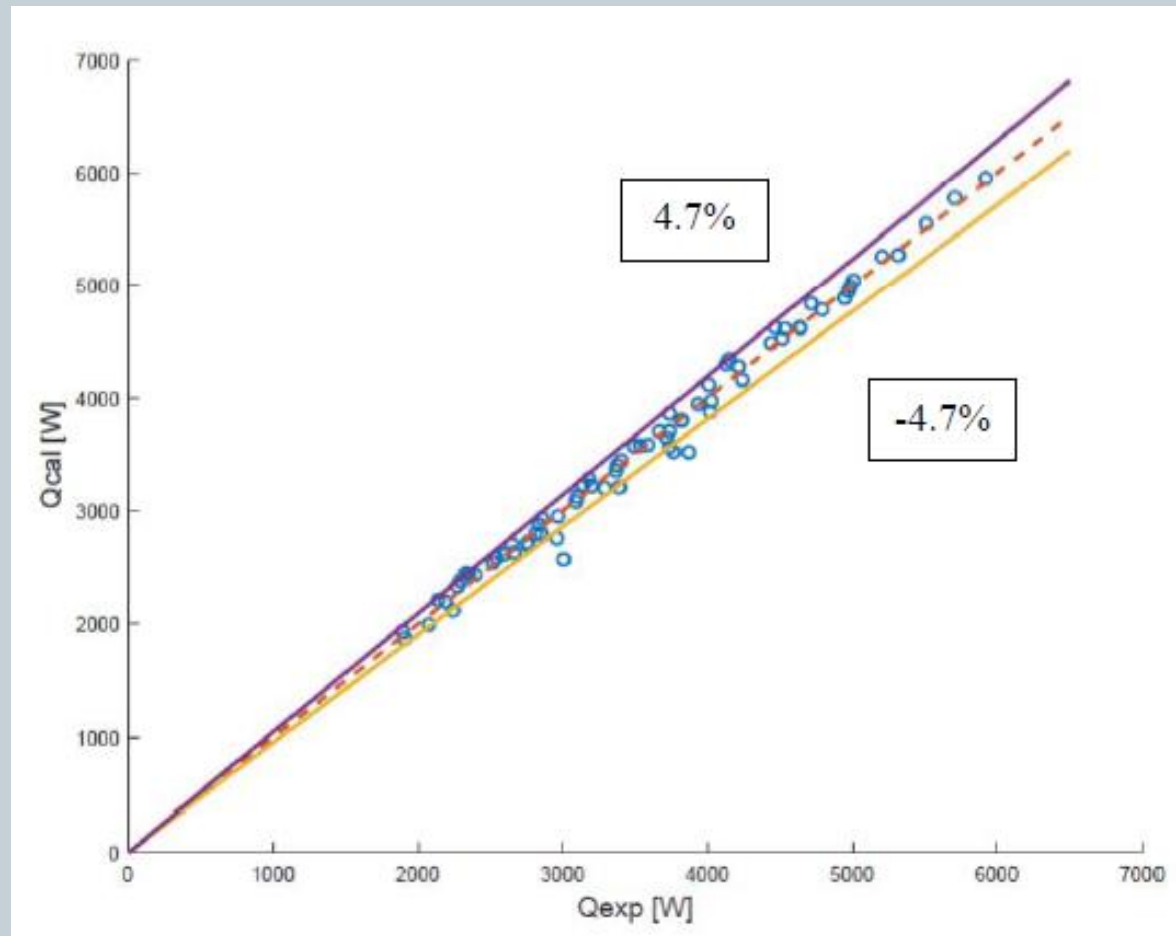


Tipo de tubo	Incremento de las pérdidas de carga [%]
Tubo liso	-
Tubo corrugado 05	45.81
Tubo corrugado 06	60.71
Tubo corrugado 07	52.69
Tubo corrugado 09	58.51
Tubo corrugado 11	51.74
Tubo corrugado 12	37.91

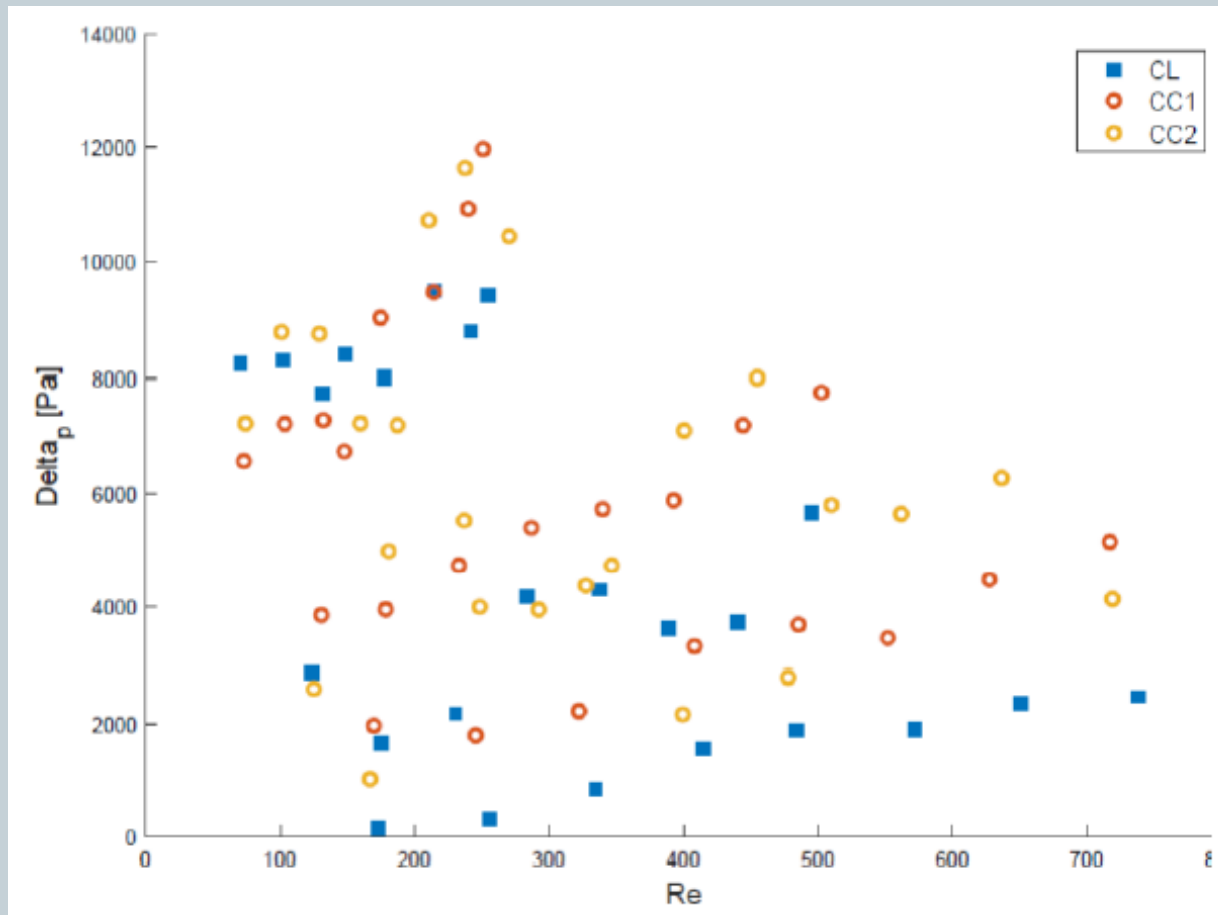
RESULTADOS



RESULTADOS



RESULTADOS



RESULTADOS



Tipo de carcasa	Incremento de las pérdidas de carga [%]
Carcasa lisa	-
Carcasa Corrugada 1	49.50
Carcasa Corrugada 2	47.79

CONCLUSIONES



- El corrugado incrementa la potencia intercambiada y las pérdidas de carga en todos los casos.
- El tubo y la carcasa que ofrecen mejores resultados son CO12 y CC2, respectivamente.
- Se proponen 10 correlaciones actualizadas con errores inferiores al 7% y válidas en un rango de Re 0-800 y de Pr 50-350.



¡Gracias!

¿Alguna pregunta?
Podéis contactar conmigo:
JoseDOMINGO.moya@uclm.es



Comités del V Congreso Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum

Comité organizador

Mariano Alarcón García (Presidente)
Manuel Seco Nicolás
Francisco del Cerro Velázquez
Juan Pedro Luna Abad
Alfonso P. Ramallo González
Fernando Lozano Rivas

Comité científico

Alfonso P. Ramallo González (UM)
Antonia Baeza Caracena (UM)
Antonio González Carpena (UM)
Antonio Urbina Yeregui (UPCT)
Antonio Viedma Robles (UPCT)
Félix Cesáreo Gómez de León Hijes (UM)
Fernando Illán Gómez (UPCT)
Francisco del Cerro Velázquez (UM)
Francisco Vera García (UPCT)
Gloria Alarcón García (UM)
Gloria Villora Cano (UM)
Joaquín Zueco Jordán (UPCT)
José A. Almendros Ibáñez (UCLM)
José Miguel Martínez Paz (UM)
José Ramón García Cascales (UPCT)
Juan Pedro Luna Abad (UPCT)
Juan Pedro Montávez Gómez (UM)
Manuel Lucas Miralles (UMH)
Manuel Seco Nicolás (UM)
Mariano Alarcón García (UM)
Miguel Ángel Zamora Izquierdo (UM)
Pedro J. Vicente Quiles (UMH)
Teresa Maria Navarro Caballero (UM)
Teresa Vicente Vicente (UM)

ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

ACTAS DEL CONGRESO V ENCUENTRO DE INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE NOSTRUM

PROCEEDINGS OF THE V MEETING OF ENERGY ENGINEERING OF CAMPUS MARE NOSTRUM

Editor

Mariano Alarcón García

Co-editor

Manuel Seco Nicolás

Murcia 2021