

# ALGORITMOS BIOINSPIRADOS

## PROYECTO 4

### INTRODUCCIÓN

En ingeniería térmica, los intercambiadores de calor son dispositivos diseñados para transferir energía térmica entre dos fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas. El diseño óptimo de un intercambiador es un problema de gran relevancia industrial, pues una configuración ineficiente puede incrementar los costos de operación o reducir la eficacia de transferencia de calor.

En esta proyecto se abordará el diseño óptimo de un intercambiador de calor de tubos concéntricos mediante el algoritmo de evolución diferencial (DE), un método de optimización bioinspirado basado en la evolución natural.

El **objetivo es maximizar la eficiencia térmica** del dispositivo o minimizar el costo total, considerando restricciones físicas y de operación.

### FUNDAMENTOS FÍSICOS

Consideremos un intercambiador de calor de tubos concéntricos:

- El fluido caliente circula por el tubo interior.
- El fluido frío circula en contracorriente por el anillo exterior.

El intercambio de energía térmica se rige por el balance de energía entre ambos fluidos:

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_c = \dot{Q}$$

donde:

- $\dot{Q}_h = \dot{m}_h c_h (T_{h,in} - T_{h,out})$
- $\dot{Q}_c = \dot{m}_c c_c (T_{c,out} - T_{c,in})$

y  $\dot{m}$  es el flujo másico (kg/s),  $c$  es el calor específico (J/kgK) y  $T$  la temperatura (°C).

El calor total intercambiado también puede expresarse como:

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{lm}$$

donde:

- $U$ : coeficiente global de transferencia de calor (W/m²K)
- $A$ : área de intercambio térmico ( $A = \pi D_i L$ ).
- $\Delta T_{lm}$ : diferencia media logarítmica de temperatura, definida como:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln \left( \frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{c,in}} \right)}$$

## ALGORITMOS BIOINSPIRADOS

### PROYECTO 4

El valor  $U$  depende de las resistencias térmicas individuales en el lado del tubo y del anillo, así como del material del tubo.

La eficiencia térmica ( $\eta$ ) se define como el cociente entre el calor transferido realmente y el máximo posible:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\dot{Q}}{C_{min}(T_{h,in} - T_{c,int})}$$

con

$$C_{min} = \min(\dot{m}_h c_h, \dot{m}_c c_c), \quad C_{max} = \max(\dot{m}_h c_h, \dot{m}_c c_c)$$

y su razón

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

El método  $\varepsilon - NTU$  (Number of Transfer Units) permite calcular la eficiencia sin conocer las temperaturas de salida directamente:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

Para un intercambiador en contracorriente:

$$\eta = \frac{1 - e^{-NTU(1-C_r)}}{1 - C_r e^{-NTU(1-C_r)}}$$

Con esto se pueden determinar las temperaturas de salida:

$$T_{c,out} = T_{c,in} + \eta \frac{C_{min}}{C_c} (T_{h,in} - T_{c,in})$$
$$T_{h,out} = T_{h,in} - \eta \frac{C_{min}}{C_h} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

Las variables de decisión serán  $X = [D_i, D_o, L, \dot{m}_h, \dot{m}_c]$ , donde:

- $D_i$ : diámetro interior del tubo (m).
- $D_o$ : diámetro exterior del tubo (m).
- $L$ : longitud del intercambiador de calor (m).
- $\dot{m}_h, \dot{m}_c$ : flujos másicos de los fluidos (kg/s).

Las restricciones del problema son:

$$0.01 \leq D_i \leq 0.05$$

## ALGORITMOS BIOINSPIRADOS

### PROYECTO 4

$$\begin{aligned}0.015 &\leq D_o \leq 0.06 \\1 &\leq L \leq 10 \\0.05 &\leq \dot{m}_h, \dot{m}_c \leq 0.5 \\T_{h,out} &> T_{c,in} \\\eta &< 1\end{aligned}$$

Se sugiere utilizar los siguientes parámetros:  $U = 500 \frac{W}{m^2}$ ,  $c_c = c_h = 4180 \frac{J}{kgK}$ ,  $T_{h,in} = 80^\circ C$ ,  $T_{c,in} = 20^\circ C$ . Y para el algoritmo: Tamaño de población  $N_p = 30$ , Factor de mutación  $F = 0.8$ , Tasa de cruzamiento  $C_r = 0.7$  y Generaciones máximas  $G_{max} = 100$ .