

## 5.- INTRODUCCIÓN.

Al gas contenido en el sistema se le aplica calor mediante el calentador, al aumentar la temperatura del gas se expande y producirá trabajo ya que al aumentar la presión desplazará el émbolo que está asociado al sistema biela-manivela. Como el número de revoluciones es un dato de entrada, habrá que considerar éste.

Por lo expuesto para el desarrollo del problema que se nos plantea, se puede estimar y sin carácter limitativo:

- 5.1.- Datos de partidas, condiciones iniciales.
- 5.2.- Descripción geométrica.
- 5.3.- Volúmenes de control.
- 5.4.- Propiedades del fluido de trabajo y del sólido.
- 5.5.- Estimación de resistencias térmicas.
- 5.6.- Cálculo de estabilidad.
- 5.7.- Estimación del campo de temperaturas.
- 5.8.- Desplazamiento de los émbolos.
- 5.9.- Ángulo de giro y/o número de vueltas
- 5.10.- Cálculo del coeficiente de convección.
- 5.11.- Estimación de resistencias térmicas.
- 5.12.- Cálculo de estabilidad.
- 5.13.- Cálculo del nuevo campo temperaturas.
- 5.14.- Desplazamiento de los émbolos.
- 5.15.- Ángulo de giro y/o número de vueltas.
- 5.16.- Comparación del campo de temperaturas en función al número de vueltas.
- 5.17.- Cálculo del calor transferido a lo largo del ciclo.
- 5.18.- Presión media efectiva.
- 5.19.- Rendimiento térmico del ciclo directo.
- 5.20.- Eficiencia del ciclo reversible.

En este estudio, trataremos de llegar hasta el punto 5.15, si bien, en relación a los demás puntos, al disponer de la temperatura, el resto de puntos es directo, y por tanto, se indica, una forma de estimar estos últimos puntos.

El modelo que se estudia es el de uno de los sistemas de trabajo el sistema está formado por un espacio de expansión, espacio de compresión, calentador, enfriador, regenerador y conductos de conexiones, y el ambiente, en caso de haber más de un sistema se multiplica la potencia estimada del sistema de trabajo por el número de sistemas.

## 5.1. DATOS DE PARTIDA. CONDICIONES INICIALES.

Para cualquier cálculo de transferencia de calor, necesitamos establecer y según la definición de la transferencia de calor o calor (“La transferencia de calor o calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas”, según Frank P. Incropera, David P. De Witt, Fundamentos de transferencia de calor, ISBN:970-17-0170-4, en su capítulo 1 de introducción), los modos de transferencia de calor, y siempre que exista una diferencia de temperatura:

- Conducción: A través del medio.
- Convección: Entre una superficie y un fluido en movimiento.
- Radiación: Toda superficie con temperatura finita emite energía en forma de ondas electromagnética. Esta no se considera, si bien, el método desarrollado se puede incluir.

En nuestro sistema la transferencia de calor depende del tiempo, este sistema no estable o transitorio, es debido a que cambian las condiciones de frontera con el tiempo, en nuestro caso cambian los coeficientes de convección, Al someter a un aumento de temperatura al fluido de trabajo mediante el calentador y reducir la temperatura en dicho fluido mediante el enfriador, la temperatura de cada punto del sistema también comenzará a cambiar en el paso del tiempo, los cambios ocurrirán hasta que se alcance una distribución de estado estable.

Por ello como datos de partidas consideraremos temperaturas iniciales y condiciones de contorno en un intervalo de tiempo estable que al pasar este intervalo de tiempo, cambiarán las condiciones de contorno. Como los émbolos en el sistema se desplazan las superficies interiores del sistema estarán sometidas a la convección.

Por lo expuesto debemos de partir de una temperaturas iniciales y unos coeficientes de convección.

Por otra parte como las condiciones del régimen de funcionamiento son distintas al exterior del sistema, se establecen unos coeficientes de convección referidos a la posible transferencia entre el sistema de estudio y su ambiente exterior. Dicho ambiente exterior en nuestro caso es la atmósfera.

Por lo expuesto debemos de partir de una temperaturas iniciales y unos coeficientes de convección tanto para el fluido de trabajo como para el ambiente exterior.

Como valores iniciales se toma un coeficiente de convección dado según [NASA TM-82960, DOE/NASA/51040-42, For Stirling engine performance calculations, Roy C. Tew, Jr. National Aeronautics and Space administration, Lewis Research center, January 1983, U.S. Department of energy conservation and renewable energy, office of vehicle and engine R&D) de  $28.4 \frac{W}{m^2K}$ , y como coeficientes de convección ambiental

se toma y en aproximación, la siguiente expresión, que dependiendo de la configuración del sistema, horizontal o vertical, toma los siguientes valores respectivos:  
[Transferencia de calor J.P. Holman, Mc Graw Hill, ISBN:84-481-2040-X]

$$h = 1.24\Delta T^{1/3}$$

$$h = 1.31\Delta T^{1/3}$$

En este caso no establecemos régimen de laminar o turbulento, considerando en todo momento un ambiente turbulento, ya que este valor será corregido a lo largo del transcurso del desarrollo de los cálculos. Estos coeficientes de convección pueden ser modificados a petición de las condiciones iniciales establecidas para el régimen de partida.

También serán datos de partida la geometría del sistema de estudio, y su material, el fluido de trabajo, y las temperaturas superficiales a las que están sometidos el calentador y el enfriador, los números de nodos en los que se dividen los distintos subsistemas de estudios, la porosidad del regenerador así como su material, el número de revoluciones, las dimensiones del sistema biela manivela y la presión media efectiva del sistema de estudio.

## 5.2- DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA.

a) Longitudes de las bielas. Radios de manivela. Índices de inclinación.

- $l_c$  = Longitud de la biela de compresión. [m].
- $l_e$  = Longitud de la biela de expansión. [m].
- $r_c$  = Radio de la manivela de compresión. [m].
- $r_e$  = Radio de la manivela de expansión. [m].
- $\lambda_c = r_c/l_c$  = Índice de inclinación máxima de la manivela de compresión.
- $\lambda_e = r_e/l_e$  = Índice de inclinación máxima de la manivela de expansión.

b) Desplazamiento de los pistones en función del ángulo de la manivela.

b.1)  $\alpha$  = Ángulo de giro. [rad]

b.2)  $\gamma$  = Ángulo de desface. [ $\frac{\pi}{2}$  rad].

c) Volúmenes de compresión y expansión.

$C_c$  = Calibre de compresión. [m].

$C_e$  = Calibre de expansión. [m].

$CR_c$  = Carrera de compresión. [m].

$CR_e$  = Carrera de expansión. [m].

$A_c$  = Área de la sección transversal del pistón de compresión. [m<sup>2</sup>]

$$A_c = \pi \left( \frac{C_c}{2} \right)^2$$

$A_e$  = Área de la sección transversal del pistón del pistón de expansión. [m<sup>2</sup>]

$$A_e = \pi \left( \frac{C_e}{2} \right)^2$$

$V_{\text{intcoen}}$  = Volumen de interconexión cilindro de compresión-enfriador. [m<sup>3</sup>]

$V_{\text{intcaex}}$  = Volumen de interconexión cilindro de calentador-expansión. [m<sup>3</sup>]

$l_{\text{intcoen}}$  = Longitud del ducto de interconexión cilindro de compresión-enfriador. [m].

$l_{\text{intcaex}}$  = Longitud del ducto de interconexión cilindro de calentador-expansión. [m].

$D_{\text{intintcoen}}$  = Diámetro interior del ducto de interconexión cilindro de compresión-enfriador [m].

$D_{\text{intintcaex}}$  = Diámetro interior del ducto de interconexión cilindro de calentador-expansión [m].

Los diámetros exteriores respectivos son,  $D_{\text{ext intcoen}}$ ,  $D_{\text{ext intcaex}}$

$A_{\text{tintcoen}}$  = Área de la sección transversal del ducto de interconexión cilindro de compresión-enfriador. [m<sup>2</sup>]

$A_{\text{tintcaex}}$  = Área de la sección transversal del ducto de interconexión cilindro de calentador-expansión. [m<sup>2</sup>]

$V_c$  = Volumen de compresión. [m<sup>3</sup>]

$V_e$  = Volumen de expansión. [m<sup>3</sup>]

$$A_{c,\text{interc}} = \pi \left( \frac{D_{c,\text{interc}}}{2} \right)^2 = \pi \frac{D_{c,\text{interc}}^2}{4}$$

$$A_{e,interc} = \pi \left( \frac{D_{e,interc}}{2} \right)^2 = \pi \frac{D_{e,interc}^2}{4}$$

$$V_{C,interc.} = A_{c,interc} l_{c,interc.}$$

$$V_{e,interc.} = A_{e,interc} l_{e,interc.}$$

Enfriador - Regenerador:

$$D_{ext\ intere} = \text{Diámetro exterior de la interconexión enfriador-regenerador. [m]}$$

$$D_{int\ intere} = \text{Diámetro interior de la interconexión enfriador-regenerador. [m]}$$

$$l_{intere} = \text{Longitud de la interconexión enfriador-regenerador. [m]}$$

$$A_{t\ intere} = \text{Área de la sección transversal interconexión enfriador-regenerador. [m}^2\text{]}$$

$$V_{intere} = \text{volumen de la interconexión enfriador-regenerador. [m}^3\text{]}$$

Regenerador-Calentador:

$$D_{ext\ intreca} = \text{Diámetro exterior de la interconexión regenerador-calentador. [m]}$$

$$D_{int\ intreca} = \text{Diámetro interior de la interconexión regenerador-calentador. [m]}$$

$$l_{intreca} = \text{Longitud de la interconexión regenerador-calentador. [m]}$$

$$A_{t\ intreca} = \text{Área de la sección transversal de la interconexión regenerador-calentador. [m}^2\text{]}$$

$$V_{intreca} = \text{Volumen de la interconexión regenerador-calentador. [m}^3\text{]}$$

### 5.2.1. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL CALENTADOR Y ENFRIADOR.

Una disposición de los tubos se describe físicamente mediante el diámetro del tubo, su separación transversal  $S_T$  y la separación longitudinal  $S_L$ , siendo estas distancias a centros de los tubos.

Dentro del banco de tubo el flujo está sujeto a los efectos de separación de capa límite y las interacciones de estelas, influyendo esto en la convección.

El coeficiente de transferencia de calor para un tubo de primera línea es aproximadamente igual al de un solo tubo en flujo cruzado. Las líneas internas de tubo presentan coeficientes de transferencia más grandes debido a que los tubos de las líneas anteriores actúan como una rejilla de turbulencia, aumentándose así el coeficiente de transferencia de calor para los tubos de las líneas siguientes. En estas condiciones la transferencia de calor se estabiliza dándose pocos cambios en el coeficiente de

convección para un tubo más allá de la cuarta o quinta línea. Esto hará que estimemos el coeficiente de transferencia de calor promedio para todo el haz de tubos.

Las filas del banco de tubo pueden ser escalonadas o alineadas en la dirección del fluido que circula normal al banco de tubos. Todos los tubos del banco de tubos son iguales.

a) Arreglo de tubos.

Se deberá de dar la opción del arreglo de tubos escalonados o alineados tanto para enfriador como para calentador.

a.1) Enfriador

Banco de tubos enfriador escalonados, o alineados.

a.2) Calentador.

Banco de tubos calentador escalonados, o alineados.

b) Diámetro exterior del tubo.

b.1) Enfriador

$D_{\text{exttubo en}}$  = Diámetro exterior de un tubo del enfriador.

b.2) Calentador.

$D_{\text{exttuboca}}$  = Diámetro exterior de un tubo del calentador.

c) Diámetro interior del tubo.

c.1) Enfriador.

$D_{\text{exttubo en}}$  = Diámetro interior de un tubo del enfriador.

c.2) Calentador.

$D_{\text{exttuboca}}$  = Diámetro interior de un tubo del calentador.

d) Separación longitudinal de tubos.

d.1) Enfriador.

$S_{\text{lontubosen}}$  = Separación longitudinal entre tubos del enfriador.

d.2) Calentador.

$S_{\text{longitudinal}} =$  Separación longitudinal entre tubos del calentador.

e) Separación transversal.

e.1) Enfriador.

$S_{\text{transversal}} =$  Separación transversal entre tubos del enfriador.

e.2) Calentador.

$S_{\text{transversal}} =$  Separación transversal entre tubos del calentador.

f) Número de líneas de tubos.

f.1) Enfriador.

$n_{\text{lineas}} =$  Número de líneas de tubos en el enfriador.

f.2) calentador.

$n_{\text{lineas}} =$  Número de líneas de tubos en el calentador.

g) Número de tubos por líneas.

g.1) Enfriador.

$n_{\text{tubos}} =$  Número tubos por líneas en el enfriador.

g.2) calentador.

$n_{\text{tubos}} =$  Número tubos por líneas en el calentador.

h) Condicionante.

La relación:

$$\frac{\text{Separación transversal}}{\text{separación longitudinal}} < 0.7$$

Para la disposición alineada.

i ) Longitudes de tubos.

i.1) Calentador

$$l_{ca} = \text{Longitud del tubo del calentador [m].}$$

i.2) Enfriador

$$l_{en} = \text{Longitud del tubo del enfriador [m].}$$

Se describió un subsistema formado por un banco de tubos, en nuestro sistema, la temperatura superficial del banco de tubos es un dato, por lo que tan sólo de éste apartado tomaremos el número de tubos y los datos concernientes a estos.

### 5.2.2.-DESCRIPCIÓN GEOMETRICA REGENERADOR.

El regenerador queda definido mediante su porosidad, su diámetro exterior y su diámetro interior.

Las piezas de relleno para lechos fijos se fabrican con formas artificiales como pueden ser anillos, por ejemplo, y con materiales diversos considerando sus propiedades mecánicas, térmicas o químicas adecuadas. Los rellenos presentan un volumen y superficie definido por dos parámetros.

Fracción vacía (porosidad), o parte no ocupada del volumen aparente.

$$\varepsilon = \frac{V_{apa} - nV_p}{V_{apa}}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Porosidad.

$V_{apa}$  = Volumen aparente.

$n$  = Número de partículas.

$V_p$  = Volumen de una partícula.

a) Número de regeneradores por cilindro.

$n_{rc}$  = número de regeneradores por cilindros.

b) Diámetro interior del regenerador.

$D_{intre}$  = Diámetro interior regenerador.[m]

c) Longitud del regenerador.

$l_r$  = Longitud del regenerador. [m]

- Volumen del regenerador:

$$v_r = \pi \left( \frac{D_{\text{intre}}}{2} \right)^2 l_r$$

d) Diámetro exterior del regenerador.

$D_{\text{extre}}$  = Diámetro exterior del regenerador.

### 5.3.- VOLÚMENES DE CONTROL.

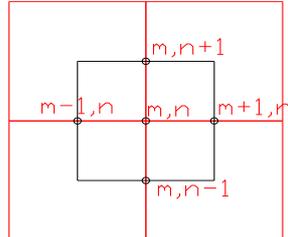
Para los volúmenes de control dividimos el sistema de estudio en un número de pequeñas regiones y asignamos a cada una un punto de referencia en su centro. A este punto lo llamaremos nodo, y al conjunto de puntos lo llamaremos red nodal. Las posiciones  $x$  e  $y$  las designamos por los subíndices  $m$  y  $n$ , respectivamente.

Cada nodo representa cierta región, y sus propiedades es una media de las promedias de la región. Así la temperatura del nodo  $m,n$  es la temperatura promedio de la región.

La selección del número de volúmenes de control se deja a criterios de diseño, excepto los espacios de expansión y de compresión, ya que estos se consideran adiabáticos.

- a) Numero de volúmenes de control.

Como designación para los nodos tenemos:



Donde el subíndice  $m$  denota la posición  $x$ , y el subíndice  $n$  la posición  $y$ , las distancias entre el punto  $(m,n)$  y los puntos  $(m+1,n)$  y  $(m-1,n)$  es  $\Delta x$  y la distancia entre el punto  $(m,n)$  y los puntos  $(m,n-1)$  y  $(m,n+1)$  es  $\Delta y$ .

$$\Delta x = \frac{L}{M-1} \quad \Delta y = \frac{L}{N-1}$$

Donde  $M$  indica el número de nodos.

Las coordenadas serán:

$$(x_m, y_n) = (m\Delta x, n\Delta y)$$

La temperatura será:

$$T(x_m, y_n) = T_{m,n}$$

Con la idea de identificar los elementos de la matriz con el modelo propuesto, tomamos la siguiente designación para formar la matriz:

- Geometría:

$$(x_m, y_n) = (m\Delta x, n\Delta y)$$

La matriz asociada a esta temperatura será de la forma:

$$\begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} & T_{15} & \dots & \dots & \dots & \dots & T_{1n} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & T_{2n} \\ T_{31} & \dots \\ T_{41} & \dots \\ T_{51} & \dots \\ T_{61} & T_{62} & T_{63} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & T_{6n} \end{pmatrix}$$

El espaciamiento lineal longitudinal en la dirección x del modelo propuesto se establece en la figura adjunta, el número de estos, se pueden establecer a criterio de las necesidades y de certidumbre de resultados.

Los espaciamientos transversales quedan establecidos de la siguiente forma:

- Cilindros de compresión y expansión:

En el cilindro de compresión tendremos un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior, uno en el cilindro y otro en la superficie interior. Lo que hacen 4 nodos.

- Interconexión compresión enfriador:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior de la interconexión, uno en el sólido de la interconexión, otro en la superficie interior y otro en el fluido de trabajo. Lo que hacen 5 nodos.

- Enfriador:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior, uno en el sólido, otro en la superficie interior y otro en el fluido de trabajo. Lo que hacen 5 nodos.

- Interconexión enfriador regenerador:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior de la interconexión, uno en el sólido de la interconexión, otro en la superficie interior y otro en el fluido de trabajo. Lo que hacen 5 nodos.

- Regenerador:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior, uno en el sólido, otro en la superficie interior, en la matriz-fluido. Lo que hacen 5 nodos igualmente.

- Interconexión regenerador-calentador:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior de la interconexión, uno en el sólido de la interconexión, otro en la superficie interior y otro en el fluido de trabajo. Lo que hacen 5 nodos.

- Calentador:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior, uno en el sólido, otro en la superficie interior y otro en el fluido de trabajo. Lo que hacen 5 nodos.

- Interconexión calentador-expansión:

Un nodo en ambiente exterior, uno en la superficie exterior de la interconexión, uno en el sólido de la interconexión, otro en la superficie interior y otro en el fluido de trabajo. Lo que hacen 5 nodos.

- Expansión y compresión.

En el interior de los cilindros de compresión y expansión tendremos un nodo referente al fluido de trabajo para cada espacio.

Como condiciones de fronteras estarían los nodos referentes al fluido de trabajo y los nodos referidos al ambiente exterior al modelo de trabajo.

Las fronteras serán las siguientes:

- Los nodos que están en contacto con el fluido de trabajo.
- Los nodos ubicados en la superficie del sólido y están en contacto con el ambiente exterior.

Con estas consideraciones plantearemos los datos de partida.

El volumen que ocupará el fluido de trabajo en cada volumen de control será:

a) Compresión.

Para un ángulo dado, tenemos:

$$V_c = A_c [r_c * (1 - \cos(\alpha_{1 \rightarrow 2})) + l_c * (1 - \sqrt{1 - \lambda_c * \lambda_c * \sin(\alpha_{1 \rightarrow 2})^2})] + V_{C,interc.}$$

Valor, asociado al desplazamiento del cilindro de compresión que se comenta en su apartado correspondiente.

En nuestro caso,  $V_{C,interc.}$ , corresponde al volumen de espacio libre, que en nuestro sistema se ha considerado nulo, formando este parte de la interconexión compresión enfriador.

b) Interconexión compresión-enfriador.

Su volumen será:

$$V_{intcoen} = \pi \left( \frac{D_{intintcoen}}{2} \right)^2 l_{intcoen}$$

Para cada volumen de control considerado tendremos:

$$AVC_{\text{intcoen}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intintcoen}}}{2} \right)^2$$

$$VC_{\text{intcoen}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intintcoen}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{intcoen}}$$

c) Enfriador.

$$AVC_{\text{en}} = \pi \left( \frac{D_{\text{inttubo en}}}{2} \right)^2$$

$$VC_{\text{en}} = \pi \left( \frac{D_{\text{inttubo en}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{en}}$$

d) Interconexión enfriador regenerador.

$$AVC_{\text{intenre}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intintenre}}}{2} \right)^2$$

$$VC_{\text{intenre}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intintenre}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{intenre}}$$

e) Regenerador.

$$AVC_{\text{re}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intre}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{re}}$$

$$VC_{\text{re}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intre}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{re}}$$

f) Interconexión regenerador-calentador

$$AVC_{\text{intreca}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intintreca}}}{2} \right)^2$$

$$VC_{\text{intreca}} = \pi \left( \frac{D_{\text{intintreca}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{intreca}}$$

g) Calentador.

$$AVC_{\text{ca}} = \pi \left( \frac{D_{\text{inttuboca}}}{2} \right)^2$$

$$VC_{\text{ca}} = \pi \left( \frac{D_{\text{inttuboca}}}{2} \right)^2 \Delta X_{\text{intca}}$$

h) Interconexión calentador-expansión.

$$AVC_{intcaex} = \pi \left( \frac{D_{intintcaex}}{2} \right)^2$$

$$VC_{intcaex} = \pi \left( \frac{D_{intenre}}{2} \right)^2 \Delta x_{intcaex}$$

i) Expansión.

$$V_e = A_c [r_c * (1 - \cos(\alpha_{1 \rightarrow 2} + \frac{\pi}{2})) + l_c * (1 - \sqrt{1 - \lambda_{c1} * \lambda_{c2} * \sin(\alpha_{1 \rightarrow 2} + \frac{\pi}{2})^2})] + V_{e,interc.}$$

Análogamente, como en la compresión, Valor, asociado al desplazamiento del cilindro de expansión que se comenta en su apartado correspondiente.

En nuestro caso,  $V_{e,interc.}$ , corresponde al volumen de espacio libre, que en nuestro sistema se ha considerado nulo, formando este parte de la interconexión calentador expansión.

#### 5.4. PROPIEDADES DEL FLUIDO DE TRABAJO Y DEL SÓLIDO.

En nuestro sistema de estudio y no considerando la radiación, se dan dos leyes básicas:

- La Ley de Fourier.
- La Ley de enfriamiento de Newton.

La Ley de Fourier, establece que la medida de la transferencia de calor por conducción depende del comportamiento del material, este comportamiento lo establecemos en función de la temperatura mediante la conductividad térmica del material, para cada valor de temperatura, se estima su respectiva conductividad.

La Ley de enfriamiento de Newton, también establece una proporcionalidad en función del coeficiente de convección, y este es función del número de Nusselt y las correlaciones de este número están establecidas en función del número de Reynolds, y este es variable en nuestro sistema por estar sometido al empuje de los cilindros, por lo que para cada cambio en función de la temperatura se establece un nuevo valor del coeficiente de convección, en función de las correlaciones que comentaremos en su respectivo apartado.

Cómo las propiedades están dadas, en las tablas, para 1 atm de presión, los valores de  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$ , y  $Pr$ , se consideran independientes de la presión. (gas ideal). Las

propiedades  $\rho, \nu, \alpha$  a una presión distinta de de 1 atm, las estimamos multiplicando los valores de  $\rho$  a la temperatura dada por P (atm) y  $\nu, \alpha$  se dividen entre P(atm).

Siendo:

$$c_p = \text{Calor específico. } \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$$

$$k = \text{Conductividad térmica. } \left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$$

$$\mu = \text{Viscosidad dinámica. } \left[ \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right]$$

Pr = Número de Prandtl.

$$\rho = \text{Densidad. } \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática. } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\alpha = \text{Difusividad térmica. } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

Todas la unidades se establecen en el SI.

Por lo expuesto, tanto las propiedades del sólido, como las propiedades del fluido, son función de la temperatura, datos que es de estado inicial, en nuestro sistema de estudio.

### 5.5.- ESTIMACIÓN DE RESISTENCIAS TÉRMICAS.

Tanto las resistencias térmicas como las capacidades térmicas asociadas a cada no se estima mediante la siguiente expresión:

$$R_{i,j} = \frac{\delta_{i,j}}{KA_{K_{i,j}}}, \text{ para la conducción.}$$

$$R_{i,j} = \frac{1}{h_{i,j}A_{c_{i,j}}}, \text{ para la convección.}$$

$$C_i = V_i \rho c_p$$

$\delta_{i,j}$  = Distancia entre nodos i y j para conducción.

$A_{K_{i,j}}$  = Área para la conducción normal a  $\delta_{i,j}$

i = Nodo de estudio al cual se le aplica el balance de energía.

$j$  = Todos los nodos próximos al nodo  $i$ .

$K$  = Conductividad térmica del material para los nodos  $i$  y  $j$ .

$h_{i,j}$  = Coeficiente de convección para los nodos  $i$  y  $j$ .

$V_i$  = Volumen de control de nodo  $i$ .

$C_p$  = Calor específico del nodo  $i$ .

$\rho$  = Densidad del nodo  $i$ .

### 5.6.- CÁLCULO DE ESTABILIDAD.

La condición de estabilidad se soluciona resolviendo la siguiente expresión:

$$T_i^{p+1} = (q_i + \sum_j \frac{T_j^p}{R_{ij}}) \frac{\Delta t}{C_i} + (1 - \frac{\Delta t}{C_i} \sum_j \frac{1}{R_{ij}}) T_i^p$$

El valor de  $q_i$  puede influir en la estabilidad pero se puede tomar un límite seguro al observar la ecuación con  $q_i=0$ .

$$(1 - \frac{\Delta t}{C_i} \sum_j \frac{1}{R_{ij}}) \geq 0$$

$$\Delta t \leq (\frac{C_i}{\sum_j \frac{1}{R_{ij}}})_{\text{mín.}}$$

Este valor de  $\Delta t$ , para la estabilidad se empleará y con el fin de evitar los errores de redondeo, se toma un valor seguro inferior a este y se toma la siguiente expresión:

$$T_i^{p+1} = \frac{\Delta t}{C_i} (q_i + \sum_j \frac{T_j^p - T_i^p}{R_{ij}}) + T_i^p$$

Como hemos comentado, y con la idea de establecer los valores apropiados de las propiedades las cuales varían con la temperatura, para esta nueva temperatura se estiman nuevamente las propiedades y su nuevo correspondiente intervalo de tiempo, es decir, su estabilidad.

El tiempo transcurrido será la suma de todos los intervalos de tiempo transcurridos.

### **5.7. ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS.**

Para la estimación de las temperaturas tomaremos la expresión anterior establecida.

Dichas expresión tomada para este sistema de estudio queda planteada como se refleja en su correspondiente anexo.

### **5.8.- ECUACIÓN DEL MOVIMIENTO. DESPLAZAMIENTO DE LOS PISTONES-MOVIMIENTO CIRCULAR.**

El modelo que se idealiza es sencillo correspondiendo a un movimiento periódico. Este movimiento alternativo del pistón produce un movimiento circular continuo del eje mediante el sistema biela-manivela. Esto se realiza de forma que el pie de biela en su unión con el pistón es sometido a un movimiento rectilíneo alterno, y la cabeza de la biela es obligada a describir un movimiento circular con el perno de la manivela. A efectos de cálculo, el movimiento circular de la manivela se considera uniforme, sin error apreciable.

Si llamamos:

$L$  = Longitud de biela.

$r$  = Radio de la manivela.

$C$  = Carrera del pistón.

$x$  = desplazamiento del pistón referido al P.M.S. (Punto Muerto Superior) e inferior a C.

$\alpha$  = desplazamiento angular de la manivela respecto a la posición correspondiente al P.M.S.

$\beta$  = Ángulo que forma el eje de la biela con el cilindro.

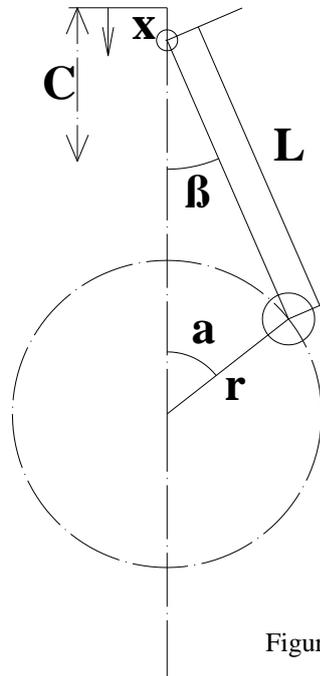


Figura 5.1. Sistema biela manivela

Obtenemos pues:

$$x = r(1 - \cos \alpha) + L(1 - \cos \beta)$$

Expresando  $x$  sólo en función de  $\alpha$  tenemos:

$$r \sin \alpha = L \sin \beta$$

$$\sin \beta = \frac{r \sin \alpha}{L}$$

Llamando

$$\lambda = \frac{r}{L}$$

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha$$

Expresión mediante la cual obtenemos el ángulo  $\beta$  para cada posición de la manivela.  
Para  $\alpha = 90^\circ$  el  $\sin \alpha = 1$ , por lo que el ángulo  $\beta$  adquiere su máximo valor:

$$\text{sen}\beta = \lambda$$

Por lo que la relación  $\lambda$  es el índice de inclinación máxima de la biela.

Por otra parte como:

$$\cos\beta = \sqrt{(1 - \text{sen}^2\beta)}$$

Tenemos:

$$\cos\beta = \sqrt{(1 - \lambda^2 \text{sen}^2\alpha)}$$

Que sustituyendo, obtenemos el valor de x en función del desplazamiento de la manivela en relación al P.M.S.  $\alpha$ , el índice de inclinación  $\lambda$ , y de la longitud de biela L.

$$x = r(1 - \cos\alpha) + L(1 - \sqrt{(1 - \lambda^2 \text{sen}^2\alpha)})$$

Si la biela fuese infinita,  $\lambda = 0$ , se desplazaría manteniéndose siempre paralela a sí misma, por lo que obtendríamos el primer término de la ecuación anterior.

Se detalla la programación a continuación:

Este valor lo tomaremos la compresión, para la expansión, a dicho ángulo lo aumentaremos en  $90^\circ$ .

Estos valores multiplicados por su área respectiva nos dará el volumen de desplazamiento de los émbolos.

### 5.9.- ÁNGULO DE GIRO Y/O NÚMERO DE VUELTAS.

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ devueltas} &= \frac{\Phi}{2\pi} \\ \Phi &= \frac{2\pi\omega\Delta t}{60} \end{aligned}$$

Donde  $\Phi$ , es el espacio angular recorrido por la manivela, y  $\Delta t$ , el intervalo de tiempo establecido según el criterio de estabilidad.

El ángulo de giro vendrá dado por el resto del cociente de la expresión del número de vueltas.

### 5.10. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN.

En consideración a la situación que se nos puede presentar, al existir un gradiente de temperatura en el fluido de trabajo y al estar sometido al campo gravitacional, estas consideraciones, darán lugar a la existencia de corrientes por convección natural, y por tanto a transferencia de calor por convección natural.

Un número de Reynolds grande implica una velocidad grande de flujo forzado y una menor influencia de las corrientes de convección natural. Cuanto mayor sea el producto Grashof-Prandtl, más cabría esperar que predominasen los efectos de la convección natural.

Como criterio para establecer la convección natural o forzada tomamos el parámetro  $\frac{Gr}{Re^2}$ , donde Gr es el número de Grashof y Re el número de Reynolds. El número de Reynolds proporciona una medida de la razón de fuerzas inerciales a las viscosas que actúan sobre el elemento de fluido y el número de Grashof indica la razón de las fuerzas de empuje a las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido.

No se suele considerar la convección libre si  $\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$ , La convección libre y forzada se considera cuando  $\frac{Gr}{Re^2} \approx 1$ , y no se considera la convección forzada si  $\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$

Para limitar el intervalo de valores, se puede considerar que:

$$\begin{array}{ll} \frac{Gr}{Re^2} < 0.1 & \text{Convección natural despreciable.} \\ 0.1 < \frac{Gr}{Re^2} < 10 & \text{Convección natural y forzada.} \\ \frac{Gr}{Re^2} > 10 & \text{Convección forzada despreciable.} \end{array}$$

Donde:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L}{u_0^2} \left(\frac{u_0 L}{\nu}\right)^2 = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

$$Re = \frac{u_0 L}{\nu}$$

$g$  = Aceleración local de la gravedad. [ $m/s^2$ ]

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión térmica. [ $K^{-1}$ ]

$\nu$  = Viscosidad cinemática. [ $\frac{m^2}{s}$ ]

$T_s$  = Temperatura de la superficie. [K]

$T_\infty$  = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. [K]

$L$  = Longitud característica de la configuración geométrica. [m]

$u_0$  = Velocidad promedio de flujo [ $\frac{m}{s}$ ]

La convección natural puede ayudar o perjudicar a la transferencia de calor por convección forzada, dependiendo de las direcciones relativas de los movimientos inducido por la flotación y la convección forzada.

En el flujo de apoyo el movimiento de flotación tienen la misma dirección que el movimiento forzado, la convección natural apoya a la forzada y mejora la transferencia de calor. (flujo forzado hacia arriba sobre una superficie caliente).

En el flujo en oposición, la dirección del movimiento de flotación es opuesta a la del movimiento forzado, la convección natural opone resistencia a la forzada y hace disminuir la transferencia de calor. (flujo forzado hacia arriba sobre superficie fría). En el movimiento transversal el movimiento de flotación es perpendicular al movimiento forzado. El flujo transversal mejora el mezclado del fluido y con ello la transferencia de calor. (flujo forzado horizontal sobre un cilindro frío o caliente).

Para las condiciones de convección forzada y natural combinadas:

$$Nu_{combinadas} = (Nu_{forzada}^n \pm Nu_{natural}^n)^{1/n}$$

Donde  $Nu_{forzada}$  y  $Nu_{natural}$ , se determinan basándose en las correlaciones para la convección forzada pura y la natural pura, respectivamente. Para flujos de apoyo y transversal el signo positivo, y el signo negativo para flujos en oposición.

El valor del exponente será  $n=3$ , para superficies verticales.

Por otra parte con el fin de establecer el límite entre la convección y conducción, se puede establecer, que se da conducción y no convección cuando:

$$\begin{aligned} Ra_L &\leq 1000 && \text{para disposición vertical.} \\ Ra_L &\leq 1708 && \text{para disposición horizontal.} \end{aligned}$$

Donde:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{\alpha\nu}$$

Siendo  $\alpha$ , la difusividad térmica [ $\frac{m^2}{s}$ ].

Para nuestro sistema de estudio tomaremos las siguientes expresiones:

Consideraremos para régimen laminar y tubo corto la correlación de Sieder Tate que comprende las longitudes iniciales térmicas e hidrodinámica:

$$Nu_D = 1.86 \left[ \left( \frac{D}{L} \right) Re_D Pr \right]^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad \begin{array}{l} Re_D < 2300 \\ 0.48 < Pr < 16700 \\ \frac{D}{L} Re_D Pr > 10 \end{array}$$

En donde  $\mu_s$  se evalúa a la temperatura de la superficie y el resto de propiedades a la temperatura media de la masa del fluido.

Si el número de Graetz,

$$\begin{aligned} Re_D &< 2300 \\ Gz = Re Pr \frac{D}{L} &< 10 \end{aligned}$$

Tomaremos como valor del coeficiente de convección:

$$h = 28.4 \frac{W}{m^2K}$$

Como correlación para flujo turbulento, tomaremos la relación de Gnielinskil, la cual su expresión es válida para un amplio rango del número de  $Re_D$ .

$$Nu_D = \frac{\frac{f}{8}(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)} \quad \begin{array}{l} 0.5 < Pr < 2000 \\ 3000 \leq Re_D \leq 5 * 10^6 \end{array}$$

Por lo que aplicaremos estas expresiones para estimar el coeficiente de convección en los distintos subsistemas que componen el sistema de estudio.

### 5.10.1. DIÁMETRO DEL REGENERADOR.

Para la estimación del diámetro del regenerador consideramos lo siguiente:

$$\dot{m} = \rho \frac{V}{L} \varepsilon u_m \quad V=AL$$

Donde:

$\dot{m}$  = Flujo másico.

$\rho$  = Densidad del fluido.

$A$  = Área de la sección transversal.

$\varepsilon$  = Porosidad de regenerador.

$u_m$  = La velocidad media del fluido de trabajo.

$L$  = Longitud del regenerador.

$V$  = Volumen de regenerador.

Considerando que el volumen del regenerador es área por longitud, despejando la velocidad tenemos:

$$u_m = \frac{\dot{m}L}{\rho\varepsilon V}$$

Donde el valor de  $\dot{m}$ , lo podemos obtener del balance de materia.

### 5.10.1.1. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA.

Para estimar el flujo másico tendremos en consideración este principio de conservación. la ecuación de la conservación de la masa, para su forma temporal toma la forma:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e - \sum_s \dot{m}_s$$

Donde  $\dot{m}$  es el flujo másico y representa la rapidez a la que la masa atraviesa una frontera. Los subíndices e y s representan los estados de entrada y salida y los sumatorios representan el flujo total que entran y salen en el volumen de control considerado.

Para su estimación, son conocidos los volúmenes de los volúmenes de control y estos al multiplicarlos por sus respectivas densidades, las cuales son conocidas en el intervalo de tiempo t, tenemos pues:

$$\frac{m_2\rho_2 - m_1\rho_1}{\Delta t} = \dot{m}_{neto}$$

Para el resto del sistema estableceremos esta expresión con fin de poder estimar los flujos netos y el Reynolds para el coeficiente de convección.

Donde nuevamente el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , es valor estimado para la estabilidad.

### 5.10.1.2.- NÚMERO DE REYNOLDS.

Para la estimación del número de Reynolds, el cual su expresión es:

$$R_{eD} = \frac{\rho u_m D}{\mu}$$

Consideramos lo siguiente:

$$\dot{m} = \frac{\rho V}{L} \epsilon u_m = \frac{\rho AL}{L} \epsilon u_m = \rho A \epsilon u_m = \rho \pi \frac{D^2}{4} u_m$$

Despejando D, obtenemos el diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\rho \pi u_m}}$$

Donde:

$R_{eD}$  = Número de Reynolds.

$\rho$  = Densidad.

$u_m$  = Velocidad media.

D = Diámetro.

$\mu$  = Viscosidad dinámica.

V=Volumen.

L=Longitud.

$\varepsilon$  = Porosidad.

$\dot{m}$  = Fujo másico.

Valores, referidos al fluido de trabajo en el regenerador y del regenerador.

### **5.11. ESTIMACIÓN DE RESISTENCIAS TÉRMICAS.**

Con las nuevas propiedades estimadas con las nuevas temperaturas y con el nuevo valor del coeficiente de convección, se estiman nuevamente las resistencias térmicas.

### **5.12. CÁLCULO DE ESTABILIDAD.**

Al estimar nuevamente las propiedades para el nuevo campo de temperatura, los valores de las resistencias térmicas cambian, así como las capacidades de los nodos, por lo que el intervalo de estabilidad cambiará, por lo que se estima un nuevo intervalo de tiempo.

### **5.13. CÁLCULO DEL NUEVO CAMPO DE TEMPERATURAS.**

Con los nuevos valores de las capacitancias, el intervalo de tiempo y las resistencias térmicas estimamos el nuevo campo de temperaturas futuras.

### **5.14. DESPLAZAMIENTO DE LOS ÉMBOLOS.**

Nuevamente, se estiman el desplazamiento de los émbolos en función de sus expresiones al igual que sus volúmenes de desplazamiento.

### **5.15. ÁNGULO DE GIRO Y/O NÚMERO DE VUELTAS.**

Análogamente y siguiendo este procedimiento se estima el número de vueltas.

### **5.16. COMPARACIÓN DEL CAMPO DE TEMPERATURAS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE VUELTAS.**

Una vez establecido el número de vueltas, se compara el campo de temperaturas actual en el ángulo de la manivela respectivo con el campo de temperaturas anterior en el ángulo de la manivela respectivo y si el error estimado es apreciable podremos dar por concluido el régimen transitorio y el sistema habrá alcanzado su régimen permanente.

### **5.17. CÁLCULO DEL CALOR TRANSFERIDO A LO LARGO DEL CICLO.**

El calor transferido a lo largo del ciclo será por una parte el aportado al fluido de trabajo y el liberado por éste así como por la interacción del sistema con su ambiente.

El calor aportado al sistema se establece mediante el calentador, y el cedido por el sistema será principalmente por el enfriador y por el resto del sistema.

El valor de estos calores es estimado mediante la transferencia de calor. Siendo su valor la suma de toda la cantidad de calor aportada al ciclo mediante el calentador y la suma de los calores cedidos de los diferentes subsistemas a lo largo del ciclo.

La diferencia entre estos calores dará el calor neto del ciclo.

### **5.18.- PRESIÓN MEDIA EFECTIVA.**

Para la presión media efectiva procederemos a estimarla de la siguiente forma:

$$PME = \frac{W_{\text{neto}}}{V_1 - V_2}$$

Donde  $w_{\text{neto}}$  es el trabajo neto realizado por el sistema, cuyo valor será igual al calor neto.

### **5.19.- RENDIMIENTO TÉRMICO DEL CICLO DIRECTO.**

Para su estimación tomamos la siguiente expresión:

$$\eta_t = \frac{w_n}{Q_a} = \frac{Q_a - Q_c}{Q_a} = 1 - \frac{Q_c}{Q_a}$$

### **5.20. EFICIENCIA DEL CICLO REVERSIBLE.**

Tomaremos las siguientes expresiones:

$$W' = Q_a - T_c \Delta S$$

Donde  $\Delta S$ , es la variación de entropía,  $Q_a$  es el calor aportado,  $T_c$ , la temperatura más baja y  $W'$  la exergía.









### 5.4.5. RADIACIÓN

La radiación térmica emitida por la superficie interior incide sobre el gas, el límite máximo para la potencia emisiva se establece por la ley de Stefan-Boltzmann

$$E_b = \sigma T_s^4$$

Siendo  $T_s$  la temperatura absoluta de la superficie y  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzmann cuyo valor de la constante es  $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K}$ , en este caso la superficie sería considerada como cuerpo negro o como radiador ideal.

Al ser una superficie real, el calor emitido será menor que el del radiador ideal a la misma temperatura y la expresión sería:

$$E_b = \varepsilon \sigma T_s^4$$

Donde  $\varepsilon$  es la propiedad radiativa de la superficie llamada emisividad. Los valores de esta propiedad están comprendidos en:

$$0 < \varepsilon < 1$$

Una parte la radiación emitida, irradiación, por esta superficie interior que alberga el fluido de trabajo o toda, puede ser absorbida por el fluido de trabajo y la velocidad a la que es absorbida por un área superficial depende de otra propiedad radiativa que será la absorptividad  $\alpha$ , otra propiedad radiativa cuyo valores están comprendidos en:

$$0 < \alpha < 1$$

Denominado  $G$  a la irradiación, tenemos:

$$G_{abs} = \alpha G$$

Este valor de  $\alpha$ , depende de la naturaleza de la irradiación así como de la superficie misma.

Si suponemos un comportamiento de superficie gris,  $\alpha = \varepsilon$ , tendremos:

$$\frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{gas}^4)$$

Teniendo conveniencia de expresar el intercambio neto de radiación de la forma:

$$q_{\text{rad}} = h_r A (T_s - T_{\text{gas}})$$

Podemos expresar

$$h_r = \frac{q_{\text{rad}}}{A(T_s - T_{\text{gas}})}$$

Pudiendo expresarse este coeficiente de transferencia de calor por radiación:

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{\text{gas}})(T_s^2 + T_{\text{gas}}^2)$$

La radiación sólo se contemplará en el calentador, ya que el calor transferido al fluido de trabajo será la combinación de la convección y la radiación. En cuanto al resto de las partes que forman el sistema de estudio se considera sólo la convección con el fluido de trabajo ya que el calor aportado por el calentador al fluido de trabajo será liberado por convección y por conducción en el mismo fluido.

Por lo expuesto tendremos para el calentador:

$$q_{\text{radca}} = h_{\text{rca}} A_{\Delta x_{\text{ca}}} (T_{\text{sca}} - T_{\text{gasca}})$$

$$h_{\text{rca}} = \varepsilon \sigma (T_{\text{sca}} + T_{\text{gasca}})(T_{\text{sca}}^2 + T_{\text{gasca}}^2)$$

$$\varepsilon = 0.7 \quad \sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

#### 5.4.6. ANÁLISIS DE LOS VOLÚMENES DE CONTROL.

Para ello tendremos en consideración las ecuaciones de la conservación de la masa y de la energía. Para su forma temporal tomamos la forma:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e - \sum_s \dot{m}_s$$
$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} + \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_s$$

Donde  $\dot{m}$  es el flujo másico y representa la rapidez a la que la masa atraviesa una frontera. Los subíndices e y s representan los estados de entrada y salida.  $\dot{Q}$  y  $\dot{W}$  son el flujo neto de energía que atraviesa la frontera como calor y trabajo y los sumatorios representan el flujo total de energía que entra y sale con la masa en el volumen de control considerado.

El procedimiento para que seguiremos para su aplicación será el siguiente:

- Condiciones iniciales, para  $t = 0$  segundos, serán las condiciones exteriores al fluido de trabajo, como son la velocidad del fluido y la temperatura sobre los bancos de tubos calentador y enfriador, las temperaturas y los coeficientes de convección del ambiente exterior a las partes sólidas que confinan el fluido de trabajo. Para el fluido de trabajo tendremos la ecuación de estado de dicho fluido.
- para cada intervalo de tiempo adecuado,  $t = p\Delta t$  se estiman las nuevas temperaturas y estiman las nuevas propiedades del fluido de trabajo. Con estas dos ecuaciones de la conservación de la masa y de la energía y la ecuación de estado, estimamos la nueva presión, si la nueva presión es distinta a la anterior, se estima el desplazamiento del émbolo y con este desplazamiento se estima el ángulo de la manivela, reflejando todas sus propiedades y datos del proceso para este ángulo. Esta estimación se hace bajo las hipótesis del ciclo Stirling.
- Se repite el procedimiento hasta finalizar el ciclo y hasta que se alcance el régimen permanente.

Detallaremos a continuación de forma más rigurosa el procedimiento a seguir par el estudio que pretendemos.

#### 5.4.7. RESISTENCIAS TÉRMICAS Y CAPACIDADES TÉRMICAS DEL VOLUMEN DE LA CELDA QUE RODEA AL NODO.

Como valores de las resistencia térmicas tomaremos:

Para la conducción:

$$R_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{kA_{ij}}$$

Enfriador:

Para la convección:

$$R_{ij} = \frac{1}{h_{ij}A_{cij}}$$

Como valores de las capacidades térmicas:

$$C_i = V_i \rho c_p$$

a) Compresión.

Cómo las propiedades están dadas para 1 atm de presión, los valores de  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$ , y  $Pr$ , se consideran independientes de la presión. (gas ideal). Las propiedades  $\rho, \nu, \alpha$  a una presión distinta de de 1 atm, las estimamos multiplicando los valores de  $\rho$  a la temperatura dada por  $P$  (atm) y  $\nu, \alpha$  se dividen entre  $P$ (atm).

Siendo:

$$c_p = \text{Calor específico. } \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$$

$$k = \text{Conductividad térmica. } \left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$$

$$\mu = \text{Viscosidad dinámica. } \left[ \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right]$$

Pr = Número de Prandtl.

$$\rho = \text{Densidad. } \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática. } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\alpha = \text{Difusividad térmica. } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

Todas la unidades se establecen el S.

Para estimar el Reynolds se define una velocidad, que para la circulación turbulenta, la velocidad media efectiva es:

$$V_{\text{media,efec}} = \frac{\dot{V}}{\varepsilon S}$$

Donde  $\dot{V}$  es el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$  y S el área de la sección recta en  $\text{m}^2$ .

La relación  $\frac{\dot{V}}{S}$  se denomina velocidad superficial,  $V_s$ , y se emplea en la mayoría de las correlaciones.

Con estas correlaciones se establece el número de Reynolds de la partícula.

$$\text{Re}_{D_p} = \frac{\left(\rho \frac{\dot{V}}{\varepsilon S}\right) \left(\frac{D_p \varepsilon}{1-\varepsilon}\right)}{\mu} = \frac{\rho \dot{V} D_p}{\mu S (1-\varepsilon)} = \frac{G_s D_p}{\mu (1-\varepsilon)}$$

Siendo  $G_s$  la velocidad másica superficial, basada en la sección del recipiente.

La expresión propuesta por Ergun en 1952, se da la pérdida de carga  $\Delta P$  a través de un lecho de altura  $L$ .

$$\text{Eu}_{D_p} = \frac{\Delta P}{\rho V_{s_m}^2} = \frac{L(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 D_p} \left( \frac{150}{\text{Re}_{D_p}} + 1.75 \right)$$

Donde  $V_{s_m}$  es la velocidad superficial estimada como la media entre el inicial (entrada) y su valor final (salida). (NO TERMINA AQUÍ).

Según Frank P. Incropera, David P. DeWitt, en Fundamentos de transferencia de calor (cuarta edición) Editorial Prentice Hall, recomiendan la siguiente correlación para un flujo de gas en lecho de esferas.

$$\begin{aligned} \varepsilon \bar{J}_H &= \varepsilon \bar{J}_m = 2.06 \text{Re}_D^{-0.575} \\ \text{Pr} &= 0.7 \\ 90 &\leq \text{Re}_D \leq 4000 \end{aligned}$$

Donde  $\bar{J}_H, \bar{J}_m$  son los factores  $J$  de Colburn que se definen a continuación.

$$\begin{aligned} \frac{C_f}{2} &= \text{St Pr}^{2/3} = j_H \\ 0.6 &< \text{Pr} < 60 \end{aligned}$$

$$\text{St} = \frac{h}{\rho V C_p} = \frac{\text{Nu}}{\text{Re Pr}}$$

Para la transferencia de calor.

El número de  $R_{ed} = \frac{VD}{\nu}$ , se define en términos de la esfera y la velocidad contra corriente que existiría en el canal vacío sin el compactado y  $\epsilon$  la porosidad, o fracción de vacío del lecho (volumen de espacio vacío por unidad de volumen de lecho).

$Nu$  y  $St$  son el número de Nusselt y el de Stanton para la transferencia de calor respectivamente,  $h$  el coeficiente de convección y  $C_f$  el coeficiente de fricción.

El número de Reynolds también se puede definir en términos del diámetro de la esfera y la velocidad contracorriente que existiría en el canal vacío sin el compactado.

Las propiedades se deben de evaluar en la media aritmética de las temperaturas del fluido que entra y sale del lecho.

Si las partículas están a una temperatura uniforme  $T_s$ , la transferencia para el lecho se estima:

$$q = \bar{h}A_{p,t}\Delta T_{ml}$$

Siendo  $A_{p,t}$  el área superficial total de las partículas y  $\Delta T_{ml}$  es la diferencia de temperatura media logarítmica definida por la ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)}$$

El valor de la temperatura de salida que se necesita para estimar  $\Delta T_{ml}$  se puede estimar con:

$$\frac{T_s - T_0}{T_s - T_i} = \exp\left[-\frac{\pi A_{p,t}}{\rho V_{ent} A_{c,b} C_p}\right]$$

Donde  $\rho$  y  $V_{ent}$  son la densidad y velocidad de entrada, respectivamente, y  $A_{c,b}$  es el área de la sección transversal del lecho.

A continuación se detalla la programación de

Para mostrar como varía los desplazamientos así como los volúmenes de cada uno de los volúmenes de compresión y expansión en función del ángulo de la manivela, se ha trazado un sistema cartesiano, el eje de abscisas correspondiente al ángulo de la manivela y el de ordenadas el desplazamiento del pistón. Esta representación cartesiana se observa en la figura \_\_\_\_\_. Se han tomado valores para  $r = 40\text{mm}$  y  $L = 150\text{mm}$  para su representación.

En la representación se observa que para un movimiento angular de la manivela  $\alpha = 90^\circ$ , el pistón recorre un trayecto superior a la mitad de la carrera. Esto significa que para recorrer la primera mitad de la carrera invierte un tiempo menor que para recorrer la segunda mitad.

Por otra parte la representación se realiza considerando el funcionamiento del ciclo Stirling.

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

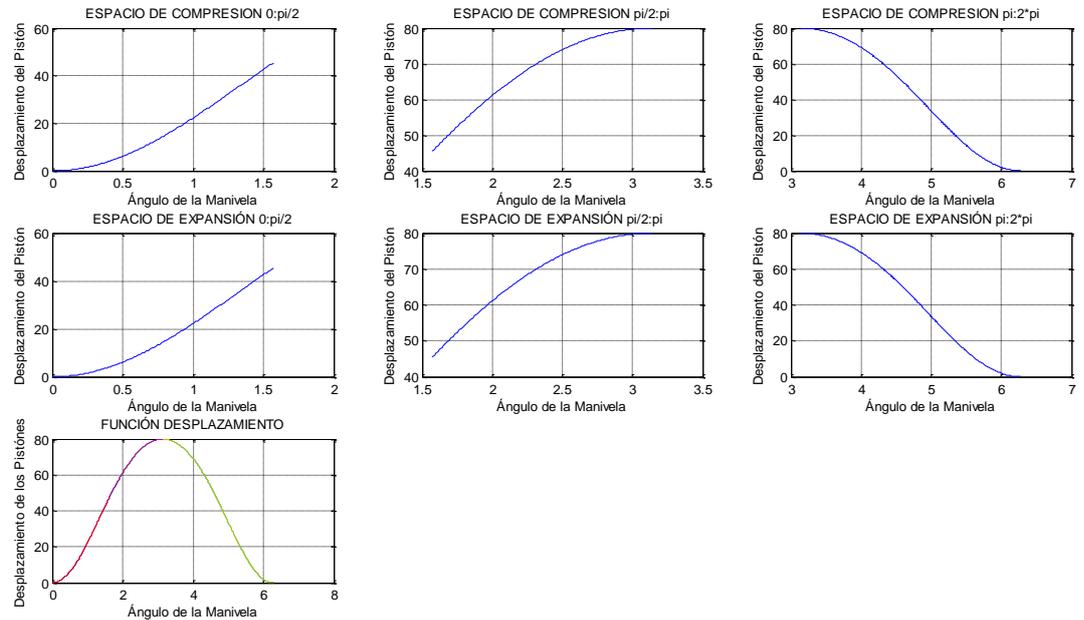


Figura 9.2 Representación del desplazamiento de los pistones en función del ángulo de la manivela

A continuación se detalla la programación referente a esta transformación del desplazamiento lineal de los pistones en movimiento circular.

## % TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO ALTERNATIVO EN MOVIMIENTO CIRCULAR CONTINUO

### %ESPACIO DE COMPRESIÓN

```
%LONGITUD DE BIELA
lc=input('¿LONGITUD DE LA BIELA DE COMPRESIÓN?:')

%RADIO DE LA MANIVELA
rc=input('¿Radio DE LA MANIVELA DE COMPRESIÓN?:')

%ESPACIO DE EXPANSIÓN

%LONGITUD DE BIELA
le=input('¿LONGITUD DE LA BIELA DE EXPANSIÓN?:')

%RADIO DE LA MANIVELA
re=input('¿Radio DE LA MANIVELA DE EXPANSIÓN?:')

%DESPLAZAMIENTO ANGULAR DE LA MANIVELA
format long g

%ÍNDICE DE INCLINACIÓN MÁXIMA DE LA MANIVELA COMPRESIÓN
lamdac=rc/lc

%ÍNDICE DE INCLINACIÓN MÁXIMA DE LA MANIVELA EXPANSIÓN
lamdae=re/le

%DESPLAZAMIENTO DEL PISTÓN EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE LA
MANIVELA

%PROCESO DE COMPRESIÓN: DEL ESTADO 1 AL 2:

%CILINDRO DE COMPRESIÓN:
alphac1=0:0.01:pi/2
xc1=rc*(1-cos(alphac1))+lc*(1-sqrt(1-lamdac*lamdac*sin(alphac1).^2))

%PROCESO DEL ESTADO 2 AL 3:

%CILINDRO DE COMPRESIÓN:
alphac2=pi/2:0.01:pi
xc2=rc*(1-cos(alphac2))+lc*(1-sqrt(1-lamdac*lamdac*sin(alphac2).^2))

%CILINDRO DE EXPANSIÓN:
alphae2=0:0.01:pi/2
xe2=re*(1-cos(alphae2))+le*(1-sqrt(1-lamdae*lamdae*sin(alphae2).^2))

%PROCESO DEL ESTADO 3 AL 4:
```

### %CILINDRO DE EXPANSIÓN

```
alphae3=pi/2:0.01:pi  
xe3=re*(1-cos(alphae3))+le*(1-sqrt(1-lamdae*lamdae*sin(alphae3).^2))
```

### %PROCESO DEL ESTADO 4 AL 1:

### %CILINDRO DE COMPRESIÓN:

```
alphac4=pi:0.01:2*pi  
xc4=rc*(1-cos(alphac4))+lc*(1-sqrt(1-lamdac*lamdac*sin(alphac4).^2))
```

### %CILINDRO DE EXPANSIÓN:

```
alphae4=pi:0.01:2*pi  
xe4=re*(1-cos(alphae4))+le*(1-sqrt(1-lamdae*lamdae*sin(alphae4).^2))
```

### %DESPLAZAMIENTO DE PISTONES

### %REPRESENTACIÓN GRÁFICA

```
subplot(4,3,1), plot(alphac1,xc1), grid, title('ESPACIO DE COMPRESION 0:pi/2'),  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento del Pistón')  
subplot(4,3,2), plot(alphac2,xc2), grid, title('ESPACIO DE COMPRESION pi/2:pi')  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento del Pistón')  
subplot(4,3,3), plot(alphac4,xc4), grid, title('ESPACIO DE COMPRESION pi:2*pi')  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento del Pistón')  
subplot(4,3,4), plot(alphae2,xe2), grid, title('ESPACIO DE EXPANSIÓN 0:pi/2')  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento del Pistón')  
subplot(4,3,5), plot(alphae3,xe3), grid, title('ESPACIO DE EXPANSIÓN pi/2:pi')  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento del Pistón')  
subplot(4,3,6), plot(alphae4,xe4), grid, title('ESPACIO DE EXPANSIÓN pi:2*pi')  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento del Pistón')  
subplot(4,3,7), plot(alphac1,xc1, alphac2,xc2, alphae2,xe2, ...  
    alphac4,xc4, alphae3,xe3, alphae4,xe4), grid, title('FUNCIÓN  
DESPLAZAMIENTO')  
xlabel('Ángulo de la Manivela')  
ylabel('Desplazamiento de los Pistones')
```

### 5.2. Geometría del modelo.

El modelo que se estudia es el de uno de los sistemas de trabajo (El sistema está formado por un espacio de expansión, espacio de compresión, calentador, enfriador,

regenerador, y conductos de conexiones) y se multiplica la potencia estimada del sistema de trabajo por el número de sistemas.

La geometría del modelo es necesaria para proceder a su estudio. Por lo que necesitaremos:

- Número de cilindros.
- Número de calentadores.
- Número de enfriadores.
- Número de regeneradores.
- Conductos de conexión.

#### 5.2.1. Número de cilindros:

$n_{cil}$  = Número de cilindros [ud].

$C$  = Carrera [m].

$D$  = Calibre [m].

$A_s$  = Área de la sección [ $m^2$ ].

$V$  = Volumen del cilindro [ $m^3$ ].

$V_{con}$  = Volumen de conexión [ $m^3$ ].

$\beta$  = Ángulo de desface entre cilindro de compresión y cilindro de expansión.

$$V = A_s \times$$

$$V_e = A_s[r(1 - \cos \alpha) + L(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha})] + V_{e,con}$$

$$V_c = A_s[r(1 - \cos(\alpha + \beta)) + L(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\alpha + \beta)})] + V_{c,con}$$

Donde los subíndices e y c se refieren a los espacios de compresión y expansión respectivamente.

#### 5.2.2. Número de calentadores y enfriadores.

Se dispone un banco de tubos por el cual circula el fluido de trabajo.

La transferencia de calor hacia o desde el banco de tubos se establece en flujo cruzado.

La disposición geométrica se dispone según figura XXXX.

La disposición de los flujos es la siguiente, se dispone del fluido de trabajo por su interior de los tubos y otro fluido a otra temperatura se desplaza sobre los tubos.

Los tubos se disponen de forma escalonada, o bien, alineada. En la dirección de la velocidad del fluido  $v$ .

La disposición de los tubos se describe físicamente mediante el diámetro  $D$  del tubo, su separación transversal  $S_T$  y la separación transversal  $S_L$  distancias entre los centros de los tubos.

Dentro del banco de tubo el flujo está sujeto a los efectos de separación de capa límite y las interacciones de estelas, influyendo esto en la convección.

El coeficiente de transferencia de calor para un tubo de primera línea es aproximadamente igual al de un solo tubo en flujo cruzado. Las líneas internas de tubo presentan coeficientes de transferencia más grandes debido a que los tubos de las líneas anteriores actúan como una rejilla de turbulencia, aumentándose así el coeficiente de transferencia de calor para los tubos de las líneas siguientes. En estas condiciones la transferencia de calor se estabiliza dándose pocos cambios en el coeficiente de convección para un tubo más allá de la cuarta o quinta línea. Esto hará que estimemos el coeficiente de transferencia de calor promedio para todo el haz de tubos.

Para un flujo de aire a través de haces de tubos compuestos de 10 o más líneas  $N_L \geq 10$ , se puede tomar la correlación de Grimison [20] y evaluando las propiedades a la temperatura de película.

$$\bar{Nu}_D = C_1 Re_{D,max}^m ,$$

Donde:

$$\begin{aligned} N_L &\geq 10 \\ 2000 &< Re_{D,max} < 40000 \\ Pr &= 0.7 \end{aligned}$$

$C_1$  y  $m$  se toma de la tabla -----(7.5 del incropera).

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

Esta expresión se puede extender a otros fluidos aplicándole el factor  $1.13Pr^{1/3}$  con  $Pr \geq 0.7$ .

Para  $N_L < 10$  se aplica el factor de corrección  $C_2$  de la tabla -----(7.6) del incropera.

$$\bar{Nu}_{D(N_L < 10)} = C_2 \bar{Nu}_{D(N_L \geq 10)}$$

Como el valor anterior se basa en la velocidad máxima del fluido que ocurre en el banco de tubos, para el arreglo alineado,  $V_{m\acute{a}x}$  ocurre en el plano A1 de la figura XXX y en consideración a la conservación de la masa para un fluido incompresible se tiene:

$$V_{\text{máx}} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

Si la configuración es escalonada, la velocidad máxima ocurre en el plano transversal A1 o en el plano diagonal A2 del figura XXXX.

Para que ocurra en A2, se dará la condición:

$$2(S_D - D) < (S_T - D)$$

El coeficiente 2 resulta de la bifurcación experimentada por el fluido que se mueve del plano A1 al A2.  $V_{\text{máx}}$  ocurre en A2 si:

$$S_D = [S_L^2 + (\frac{S_T}{2})^2] < \frac{S_T + D}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} V$$

Si  $V_{\text{máx}}$  ocurre en A1 para la configuración escalonada, se calcula de nuevo con la ecuación:

$$V_{\text{máx}} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

Zhukauskas [16] propone la siguiente correlación:

$$\bar{Nu}_D = C Re_{D,\text{máx}}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$$

$$N_L \geq 20$$

$$0.7 < Pr < 500$$

$$1000 < Re_{D,\text{máx}} < 2E10$$

Evaluando las propiedades excepto  $Pr_s$  se evalúan en la media aritmética de las temperaturas de entrada y salida del fluido, y las constantes C y m se presenta en la tabla XXXX

Si  $N_L < 20$  se aplica un factor de corrección el cual es:

$$\bar{Nu}_{D(N_L < 20)} = C_2 \bar{Nu}_{D(N_L \geq 20)}$$

Donde  $C_2$  está en la tabla 7.8 (incropera).

Los tubos alineados más allá de la primera línea están en las estelas turbulentas de los tubos y para valores moderados de  $S_L$  los coeficientes de convección asociado con la línea de corriente abajo aumentan por la turbulencia del flujo. El coeficiente de convección aumenta al aumentar el número de líneas hasta aproximadamente la quinta línea, después de la cual hay poco cambio de turbulencia y por tanto en el coeficiente de convección.

Para valores pequeños de  $\frac{S_T}{S_L}$  las líneas de corriente, protegen a las líneas de corrientes debajo de gran parte del flujo, donde la transferencia de calor se afectada.

Por ello para disposiciones de  $\frac{S_T}{S_L} < 0.7$  la tabla para estimar los coeficientes C y m no es apropiada y por consiguiente estableceremos esta condición en el cálculo para restringir estos valores estando del lado de la aceptación de la tabla.

Como diferencia de temperaturas tomaremos la diferencia de temperaturas media logarítmica cuya expresión es:

$$\Delta T_m = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)}$$

Donde  $T_s$  es la temperatura superficial,  $T_i$  y  $T_0$  son las temperaturas del fluido a medida que entra y sale del banco de tubos respectivamente.

La temperatura de salida se estima por:

$$\frac{T_s - T_0}{T_s - T_i} = \exp\left[-\frac{\pi DN \bar{h}}{\rho V N_T S_T C_p}\right]$$

Siendo N el número de tubos totales y  $N_T$  el número de tubos transversales,  $\bar{h}$  el coeficiente de transferencia de calor por convección promedio,  $\rho$  la densidad y  $C_p$  el calor específico del fluido que atraviesa el banco de tubos. El valor de la transferencia de calor por unidad de longitud de tubos se puede estimar por:

$$q' = N(\bar{h}\pi D\Delta T_{ml})$$

La caída de presión a través del banco de tubos es:

$$\Delta P = N_L \chi \left( \frac{\rho V_{m\acute{a}x}^2}{2} \right) f$$

Según factor de fricción  $f$  y factor de correlación  $\chi$ . Se adjunta gráfica XXX para la estimación de dicho valor.

$n_{tcal}$  = Número de tubos del calentador [ud]

$n_{tenf}$  = Número de tubos del enfriador [ud]

$L_{tcal}$  = Longitud de tubo del calentador [m]

$L_{tenf}$  = Longitud de tubo del enfriador [m]

$d_{tcalext}$  = Diámetro exterior del tubo del calentador. [m]

$d_{tenfext}$  = Diámetro exterior de tubo del enfriador. [m]

$d_{tcalint}$  = Diámetro interior de tubo del calentador. [m]

$d_{tenfint}$  = Diámetro interior de tubo del enfriador. [m]

Geometría del calentador = Alineado [Alical], o bien, escalonado [Escalcal].

Geometría del enfriador = Alineado [Alienf], o bien, escalonado [Escalenf].

$SL_{cal}$  = Espacio longitudinal calentador [m]

$SL_{enf}$  = Espacio longitudinal enfriador [m]

$ST_{cal}$  = Espacio transversal calentador [m]

$ST_{enf}$  = Espacio transversal calentador [m]

$n_{ltcal}$  = Número de líneas de tubos calentador. [ud].

$n_{ltenf}$  = Número de líneas de tubos enfriador. [ud].

$n_{tubolincal}$  = Número de tubos por líneas calentador [ud].

$n_{tubolinenf}$  = Número de tubos por líneas enfriador [ud].

$T_{sccal}$  = Temperatura superficial del cilindro calentador [K]

$T_{scenf}$  = Temperatura superficial del cilindro enfriador [K]

$T_{fcal}$  = Temperatura de flujo caliente exterior normal a los tubos del calentador [K]

$T_{fenf}$  = Temperatura de flujo frío exterior normal a los tubos del enfriador [K]

$v_{fcal}$  = Velocidad de flujo caliente normal a los tubos del calentador [m/s].

$v_{fenf}$  = Velocidad de flujo frío normal a los tubos del enfriador [m/s].

### 5.2.3. Regenerador.

Se estima como un flujo de gas a través de un lecho compactado de partículas sólidas. El término lecho compactado se refiere a una condición en la posición de las partículas es fija. (Lecho fluidificado, las partículas están en movimiento debido a la advección con el fluido).

Para un lecho compactado se obtiene una cantidad grande de área superficial de transferencia de calor en un volumen pequeño, y el flujo irregular que se dará en los vacío del lecho aumentará el transporte debido a la mezcla turbulenta.

Para un recipiente esbelto la aglomeración puede ser de esferas, gránulos o piezas de dimensiones que varíen, (perdigones, cantos rodados).

Las piezas de relleno para lechos fijos se fabrican con forman artificiales como pueden ser anillos, por ejemplo, y con materiales diversos considerando sus propiedades mecánicas, térmicas o químicas adecuadas. Los rellenos presentan un volumen y superficie definido por dos parámetros.

Fracción vacía (porosidad), o parte no ocupada del volumen aparente.

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{apa}} - NV_p}{V_{\text{apa}}}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Porosidad.

$V_{\text{apa}}$  = Volumen aparente.

$N$  = Número de partículas.

$V_p$  = Volumen de una partícula.

Se considera que todas las partículas supuestas son iguales.

La superficie específica, o superficie por unidad de volumen se puede establecer como:

$$a_v = \frac{NA_p}{V_{\text{apa}}} = \frac{A_p}{V_p}(1-\varepsilon) \quad \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}\right].$$

Donde  $A_p$ , es la superficie media de la partícula.

Si las partículas son esferas se verifica que:

$$\frac{V_p}{A_p} = \frac{\frac{\pi}{6} D_p^3}{\pi D_p^2} = \frac{D_p}{6}$$

$$D_p = \frac{6V_p}{A_p}$$

Luego,

$$D_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_v}$$

Con esta relación se puede generalizar y asimilar las partículas a esferas de diámetro dado usando una relación  $\frac{V_p}{A_p}$  real de las partículas.

Denominando la esfericidad a la relación entre la superficie de una esfera de volumen igual a la de la partícula y la superficie de ésta:

$$\psi = \frac{[(\frac{6V_p}{A_p})^{1/3}]^2 \pi}{A_p}$$

Con estos parámetros y el diámetro hidráulico, se relaciona la pérdida de carga y la transferencia de calor de fluidos a través de lechos porosos.

$$D_h = 4 \left( \frac{\text{Sección de paso}}{\text{perímetro ojado}} \right) = \frac{4S}{P_h} \approx \frac{4\varepsilon V_{apa}}{a_v V_{apa}} = \frac{4\varepsilon}{a_v}$$

Que relacionando este diámetro con el equivalente,  $D_p$ , tenemos:

$$\frac{D_h}{D_p} = \frac{2\varepsilon}{3(1-\varepsilon)} \approx \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

Para estimar el Reynolds se define una velocidad, que para la circulación turbulenta, la velocidad media efectiva es:

$$V_{\text{media,efec}} = \frac{\dot{V}}{\varepsilon S}$$

Donde  $\dot{V}$  es el caudal en  $m^3/s$  y  $S$  el área de la sección recta en  $m^2$ .

La relación  $\frac{\dot{V}}{S}$  se denomina velocidad superficial,  $V_s$ , y se emplea en la mayoría de las correlaciones.

Con estas correlaciones se establece el número de Reynolds de la partícula.

$$Re_{D_p} = \frac{(\rho \frac{\dot{V}}{\varepsilon S}) (\frac{D_p \varepsilon}{1-\varepsilon})}{\mu} = \frac{\rho \dot{V} D_p}{\mu S (1-\varepsilon)} = \frac{G_s D_p}{\mu (1-\varepsilon)}$$

Siendo  $G_s$  la velocidad másica superficial, basada en la sección del recipiente.

La expresión propuesta por Ergun en 1952, se da la pérdida de carga  $\Delta P$  a través de un lecho de altura  $L$ .

$$Eu_{D_p} = \frac{\Delta P}{\rho V_{s_m}^2} = \frac{L(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 D_p} \left( \frac{150}{Re_{D_p}} + 1.75 \right)$$

Donde  $V_{s_m}$  es la velocidad superficial estimada como la media entre el inicial (entrada) y su valor final (salida). (NO TERMINA AQUÍ).

Según Frank P. Incropera, David P. DeWitt, en Fundamentos de transferencia de calor (cuarta edición) Editorial Prentice Hall, recomiendan la siguiente correlación para un flujo de gas en lecho de esferas.

$$\begin{aligned} \varepsilon \bar{J}_H &= \varepsilon \bar{J}_m = 2.06 Re_D^{-0.575} \\ Pr &= 0.7 \\ 90 &\leq Re_D \leq 4000 \end{aligned}$$

Donde  $\bar{J}_H, \bar{J}_m$  son los factores  $J$  de Colburn que se definen a continuación.

$$\begin{aligned} \frac{C_f}{2} &= St Pr^{2/3} = j_H \\ 0.6 &< Pr < 60 \end{aligned}$$

$$St = \frac{h}{\rho V C_p} = \frac{Nu}{Re Pr}$$

Para la transferencia de calor.

Donde  $Un$  y  $St$  son el número de Nusselt y el de Stanton para la transferencia de calor respectivamente,  $h$  el coeficiente de convección y  $C_f$  el coeficiente de fricción.

El número de Reynolds también se puede definir en términos del diámetro de la esfera y la velocidad contracorriente que existiría en el canal vacío sin el compactado.

Las propiedades se deben de evaluar en la media aritmética de las temperaturas del fluido que entra y sale del lecho.

Si las partículas están a una temperatura uniforme  $T_s$ , la transferencia para el lecho se estima:

$$q = \bar{h}A_{p,t}\Delta T_m$$

Siendo  $A_{p,t}$  el área superficial total de las partículas y  $\Delta T_m$  es la diferencia de temperatura media logarítmica definida por la ecuación:

$$\Delta T_m = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{\text{Ln}\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)}$$

El valor de la temperatura de salida que se necesita para estimar  $\Delta T_m$  se puede estimar con:

$$\frac{T_s - T_0}{T_s - T_i} = \exp\left[-\frac{\pi A_{p,t}}{\rho V_{ent} A_{c,b} C_p}\right]$$

Donde  $\rho$  y  $V_{ent}$  son la densidad y velocidad de entrada, respectivamente, y  $A_{c,b}$  es el área de la sección transversal del lecho.

### 5.3.- FLUJO TRANSITORIO. VOLÚMENES DE CONTROL. [ref. Wark]

Como punto de partida para el análisis de los volúmenes de control en el régimen transitorio es la siguiente expresión:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e - \sum_s \dot{m}_s$$

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} + \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_s$$

Considerando una información adecuada sobre la masa y energía dentro del volumen de control en el instante inicial  $t_1$ , es posible determinar la masa y la energía en el volumen de control en el instante  $t_2$  integrando estas expresiones en el intervalo de tiempo

considerado  $\Delta t = t_2 - t_1$

La ecuación de la conservación de la masa nos quedará:

$$\Delta m_{vc} = \sum_e m_e - \sum_s m_s$$

Donde:

$$\Delta m_{vc} = m_{vc_2} - m_{vc_1}$$

Es la variación de masa del volumen de control y  $m_e$  es la cantidad de masa que entra en el volumen de control por una superficie de control dada durante el intervalo  $\Delta t$ , y  $m_s$  la que sale.

Al integrar la ecuación de la energía, tenemos:

$$\Delta E_{vc} = \int_{t_1 \rightarrow t_2} \dot{Q} dt + \int_{t_1 \rightarrow t_2} \dot{W} dt + \sum_e \left[ \int_{t_1 \rightarrow t_2} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_e \dot{m}_e dt \right] - \sum_s \left[ \int_{t_1 \rightarrow t_2} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_s \dot{m}_s dt \right] =$$

$$Q + W + \sum_e \left[ \int_{t_1 \rightarrow t_2} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_e \dot{m}_e dt \right] - \sum_s \left[ \int_{t_1 \rightarrow t_2} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_s \dot{m}_s dt \right]$$

Donde:

$$\Delta E_{vc} = E_{vc_2} - E_{vc_1}$$

Además  $Q$  y  $W$  son el calor neto y el trabajo transferido al volumen de control durante el intervalo de tiempo.

Para resolver las integrales es necesario conocer como varías las propiedades y los flujos con el tiempo. Para ello se suelen aplicar dos hipótesis:

- La de flujo uniforme que exige que todas las propiedades intensivas dentro del volumen de control sean uniformes a través del mismo en cualquier instante de tiempo o a través de diferentes regiones del volumen de control. Pudiendo variar el estado del volumen de control con el tiempo.
- La de flujo uniforme la cual establece que en una entrada o salida que el estado de la masa que atraviesa la superficie de control sea invariable con el tiempo. Pudiendo variar el flujo másico.

Para el análisis consideraremos como volúmenes de control el formado por la paredes exteriores del recinto independientemente, ya sea, el regenerador, los cilindros o bien, el calentador y enfriador, cuyo espaciamento será:

$$\Delta x = \frac{L}{M-1}$$

Donde  $M = n+1$ , siendo  $n$  el número de partes en que se divide el componente del ciclo, es decir, acompañando de su subíndice,  $n_{cal}$ , número de partes en que se divide el calentador,  $n_{enf}$ , número de partes en que se divide el enfriador  $n_{reg}$ , número de partes en que se divide el regenerador y  $L_{cal}$ , longitud del calentador,  $L_{enf}$ , longitud del enfriador,  $L_{reg}$ , longitud del regenerador.

El gas contenido en el sistema se le aplica calor mediante el calentador, al aumentar la temperatura del gas se expande y producirá trabajo ya que al aumentar la presión desplazará el émbolo que está asociado al sistema biela-manivela.

Por lo expuesto para el desarrollo del problema que se nos plantea, tenemos:

## RESISTENCIAS Y CAPACIDADES TÉRMICAS. TEMPERATURAS.

Consideraremos que cada elemento de volumen está conectado a sus vecinos adyacentes por medio de resistencias térmicas. Para régimen estacionario, la transferencia neta de energía al nodo es cero, mientras, que en régimen no estacionario, la transferencia neta de energía al nodo hace que aumente su energía interna del elemento. Cada elemento de volumen se comporta con capacidad global y la interacción en todos los elementos determinan el comportamiento durante el proceso transitorio.

Si la energía interna del nodo  $i$  puede expresarse en función del calor específico y de la temperatura, entonces su variación con el tiempo se aproxima por:

$$\frac{\Delta E}{\Delta \tau} = \rho c \Delta V \frac{T_i^{p+1} - T_i^p}{\Delta \tau}$$

Definiendo la capacidad térmica como:

$$C_i = \rho_i c_i \Delta V_i$$

La formulación general resistencia capacidad nos queda designando al nodo de interés con el subíndice  $i$  y a los nodos adyacentes con el subíndice  $j$ , se tiene la situación de un nodo general en conducción como muestra la figura-----.

$q_i$  es el calor suministrado al nodo  $i$  por generación de calor, radiación, etc. Las  $R_{ij}$  pueden tomar la forma de contorno convectivos, conducción interna, etc, Consideremos este modelos de formulación ya que buscaremos una solución numérica con propiedades no constantes.

$$q_i + \sum_j \frac{T_j^p - T_i^p}{R_{ij}} = C_i \frac{T_i^{p+1} - T_i^j}{\Delta \tau}$$

$$R_{ij} = \frac{1}{h_{ij} A_{cij}} \text{ para la convección.}$$

$$R_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{K A_{kij}} \text{ Para la conducción.}$$

Donde  $A_c$ , representa el áreas superficial de la celda del cuerpo expuesta al fluido convector.  $\delta_{ij}$  es la distancia de la conducción entre los nodos  $i$  de estudio y  $j$  el adyacente.  $A_k$  es el área transversal para la conducción del calor normal a  $\delta_{ij}$ ,

Esta ecuación se puede igualarse a un residuo, para una solución de relajación o bien a cero cuando se va a tratar con técnicas matriciales.

El uso de resistencias y capacidades térmicas permiten escribir la ecuación en diferencias hacia delante para todos los nodos y las condiciones de contorno en forma simple y compacta, lo que hace un proceso de cálculo más organizado.

La condición de estabilidad en la formulación explícita puede examinarse resolviendo para:

$$T_i^{p+1} = (q_i + \sum_j \frac{T_j^p}{R_{ij}}) \frac{\Delta\tau}{C_i} + (1 - \frac{\Delta\tau}{C_i} \sum_j \frac{1}{R_{ij}}) T_i^p$$

El valor de  $q_i$  puede influir en la estabilidad, pero se puede elegir un límite seguro observando un límite seguro observando el comportamiento de la ecuación para  $q_i = 0$ .

Como el coeficiente  $T_i^p$  no puede ser negativo, por argumentación termodinámica, la condición mínima de estabilidad es:

$$1 - \frac{\Delta\tau}{C_i} \sum_j \frac{1}{R_{ij}} \geq 0$$

El valor de  $\Delta\tau$  será válido para la relación nodal más restrictiva, la cual será:

$$\Delta\tau \leq \left( \frac{C_i}{\sum_j \left( \frac{1}{R_{ij}} \right)} \right)_{\text{mínimo}}$$

Con el fin de evitar problemas de error de redondeo en las soluciones al emplear resistencias térmicas pequeñas, tomaremos la siguiente expresión.

$$T_i^{p+1} = \frac{\Delta\tau}{C_i} \left( q_i + \sum_j \frac{T_j^p - T_i^p}{R_{ij}} \right) + T_i^p$$

De esta forma se puede contabilizar las variaciones de las propiedades térmicas con la temperatura.

El límite del estado estacionario, tenemos que, cuando  $\Delta\tau \rightarrow \infty$ , o bien expresado de otra forma tenemos que:

$$q_i + \sum_j \frac{T_j^p - T_i^p}{R_{ij}} = 0$$

Por tanto nos queda:

$$T_i^{p+1} = T_i^p$$

Estableciendo el conjunto de valores iniciales para las  $T_i^p$  estimadas y calculando los nuevos valores de las temperaturas  $T_i^{p+1}$ , hasta que comparadas dichas temperaturas  $T_i^p$  y  $T_i^{p+1}$  con respecto al ciclo al que es sometido (Stirling), se alcanzará el régimen permanente cuando su diferencia difiera en una cantidad suficientemente pequeña.

$$\left| T_{i,\Omega+1}^{p+1} - T_{i,\Omega}^{p+1} \right| < \delta_{\text{permanente}}$$

Siendo  $\Omega$ , el número de ciclos.

Donde  $\delta_{\text{permanente}}$ , es una constante que se elige, o bien, como alternativa tomaremos:

$$\varepsilon \geq \frac{T_{i,\Omega+1}^{p+1} - T_{i,\Omega}^{p+1}}{T_{i,\Omega}^{p+1}}$$

Que evidentemente será en su valor absoluto.

A continuación pasamos a estimar los balances de energía en los nodos que nos apoyamos en la figura-----.

Cálculo de áreas, volúmenes, resistencias, y capacidades térmicas:

1.- Espacio de compresión.

$$A_{fco} = \pi * \left(\frac{C_{co}}{2}\right)^2; \quad V_{fco} = A_{fco} * \left(\frac{CR_{co}}{4}\right);$$

$$R_{ftrabajocco(1,1)} = \frac{\frac{C_{co}}{2}}{k_{fco} A_{fco}} + \frac{\frac{\text{deltax}_{intcoen}}{2}}{k_{fintcoen} A_{fintcoen}}; \quad \text{Cap}_{ftrabajocco} = V_{fco} * \rho_{fco} * C_{pco};$$

2.- Interconexión compresión enfriador.

$$A_{f\text{intcoen}} = \pi * \left(\frac{D_{\text{intintcoen}}}{2}\right)^2 ; \quad V_{f\text{intcoen}}(1,1) = A_{f\text{intcoen}} * (\text{deltax}_{\text{intcoen}}) ;$$

$$R_{f\text{trabajo intcoen}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intcoen}} - 1) = \frac{\text{deltax}_{\text{intcoen}}}{k_{f\text{intcoen}} A_{f\text{intcoen}}} ;$$

$$\text{Cap}_{f\text{trabajo intcoen}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intcoen}}) = V_{f\text{intcoen}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intcoen}}) * \rho_{f\text{intcoen}} * C_{p f\text{intcoen}} ;$$

$$R_{f\text{trabajo intcoen}}(1, \text{nlx}_{\text{intcoen}}) = \frac{\frac{\text{deltax}_{\text{intcoen}}}{2}}{k_{f\text{intcoen}} A_{f\text{intcoen}}} + \frac{\frac{\text{deltax}_{\text{en}}}{2}}{k_{f\text{en}} A_{f\text{en}}} ;$$

### 3.- Enfriador.

$$A_{f\text{en}} = \pi * \left(\left(\frac{D_{\text{inttubo en}}}{2}\right)^2\right) * n_{\text{tubosen}} * n_{\text{enfriadores}} ; \quad V_{f\text{en}}(1,1) = A_{f\text{en}} * (\text{deltax}_{\text{en}}) ;$$

$$R_{f\text{trabajo en}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{en}} - 1) = \frac{\text{deltax}_{\text{en}}}{k_{f\text{en}} A_{f\text{en}}} ;$$

$$R_{f\text{trabajo en}}(1, \text{nlx}_{\text{en}}) = \frac{\frac{\text{deltax}_{\text{en}}}{2}}{k_{f\text{en}} A_{f\text{en}}} + \frac{\frac{\text{deltax}_{\text{intentre}}}{2}}{k_{f\text{intentre}} A_{f\text{intentre}}} ;$$

$$\text{Cap}_{f\text{trabajo en}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{en}}) = V_{f\text{en}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{en}}) * \rho_{f\text{en}} * C_{p f\text{en}}$$

### 4.- Interconexión enfriador regenerador.

$$A_{f\text{intentre}} = \pi * \left(\left(\frac{D_{\text{intintentre}}}{2}\right)^2\right) ; \quad V_{f\text{intentre}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intentre}}) = A_{f\text{intentre}} * (\text{deltax}_{\text{intentre}}) ;$$

$$R_{f\text{trabajo intentre}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intentre}} - 1) = \frac{\text{deltax}_{\text{intentre}}}{k_{f\text{intentre}} A_{f\text{intentre}}} ;$$

$$R_{f\text{trabajo intentre}}(1, \text{nlx}_{\text{intentre}}) = \frac{\frac{\text{deltax}_{\text{intentre}}}{2}}{k_{f\text{intentre}} A_{f\text{intentre}}} + \frac{\frac{\text{deltax}_{\text{re}}}{2}}{k_{f\text{re}} A_{f\text{re}}} ;$$

$$\text{Cap}_{f\text{trabajo intentre}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intentre}}) = V_{f\text{intentre}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intentre}}) * \rho_{f\text{intentre}} * C_{p f\text{intentre}}$$

5.- Regenerador.

$$A_{\text{fre}} = (\pi * (\frac{D_{\text{intre}}}{2})^2) * \text{epsilon}; \quad V_{\text{fre}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{re}}) = A_{\text{fre}} * (\text{deltax}_{\text{re}});$$

$$R_{\text{frabajore}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{re}}) = \frac{\text{deltax}_{\text{re}}}{k_{\text{fre}} A_{\text{fre}}};$$

$$R_{\text{frabajore}}(1, \text{nlx}_{\text{re}}) = \frac{\text{deltax}_{\text{re}}}{k_{\text{fre}} A_{\text{fre}}} + \frac{\text{deltax}_{\text{intreca}}}{k_{\text{fintreca}} A_{\text{fintreca}}};$$

$$R_{\text{frabajoconvmatriz}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{re}} - 1) = \frac{1}{h_{\text{frabajoconvmatriz}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{re}} - 1) * A_{\text{fre}}}$$

$$R_{\text{condmatriz}}(1,2 : \text{nlx}_{\text{re}} - 2) = \frac{\text{deltax}_{\text{re}}}{k_{\text{matriz}} * (\pi * (\frac{D_{\text{intre}}}{2})^2) * (1 - \text{epsilon})}$$

$$C_{\text{apfrabajore}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{re}}) = V_{\text{fre}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{re}}) * \rho_{\text{fre}} * C_{\text{pfre}};$$

6.- Interconexión regenerador calentador.

$$A_{\text{fintreca}} = \pi * ((\frac{D_{\text{intreca}}}{2})^2); \quad V_{\text{fintreca}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intreca}}) = A_{\text{fintreca}} * (\text{deltax}_{\text{intreca}});$$

$$R_{\text{frabajointreca}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intreca}} - 1) = \frac{\text{deltax}_{\text{intreca}}}{k_{\text{fintreca}} A_{\text{fintreca}}};$$

$$R_{\text{frabajointreca}}(1, \text{nlx}_{\text{intreca}}) = \frac{\text{deltax}_{\text{intreca}}}{k_{\text{fintreca}} A_{\text{fintreca}}} + \frac{\text{deltax}_{\text{ca}}}{k_{\text{fca}} A_{\text{fca}}};$$

$$C_{\text{apfrabajointreca}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intreca}}) = V_{\text{fintreca}}(1,1 : \text{nlx}_{\text{intreca}}) * \rho_{\text{fintreca}} * C_{\text{pfintreca}};$$

7.- Calentador.

$$A_{fca} = \pi * \left( \frac{D_{inttuboca}}{2} \right)^2 * n_{tubosca} * n_{calentadores}; \quad V_{fca} (1,1) = A_{fca} * (\text{deltalx}_{ca});$$

$$R_{ftrabajoca} (1,1 : nlx_{ca} - 1) = \frac{\text{deltalx}_{ca}}{k_{fca} A_{fca}};$$

$$R_{ftrabajoca} (1, nlx_{ca}) = \frac{\frac{\text{deltalx}_{ca}}{2}}{k_{fca} A_{fca}} + \frac{\frac{\text{deltalx}_{intcaex}}{2}}{k_{fintcaex} A_{fintcaex}};$$

$$C_{apftrabajoen} (1,1 : nlx_{ca}) = V_{fca} (1,1 : nlx_{ca}) * \rho_{fca} * C_{pfca};$$

8.- Interconexión calentador cilindro de expansión.

$$A_{fintcaex} = \pi * \left( \frac{D_{intintcaex}}{2} \right)^2; \quad V_{fintcaex} (1,1) = A_{fintcaex} * (\text{deltalx}_{intcaex});$$

$$R_{ftrabajointcaex} (1,1 : nlx_{intcaex} - 1) = \frac{\text{deltalx}_{intcaex}}{k_{fintcaex} A_{fintcaex}};$$

$$C_{apftrabajointcaex} (1,1 : nlx_{intcaex}) = V_{fintcaex} (1,1 : nlx_{intcaex}) * \rho_{fintcaex} * C_{pfintcaex};$$

$$R_{ftrabajointcaex} (1, nlx_{intcaex}) = \frac{\frac{\text{deltalx}_{intcaex}}{2}}{k_{fintcaex} A_{fintcaex}} + \frac{\frac{CR_{ex}}{2}}{k_{fex} A_{fex}};$$

9.- Espacio de expansión.

$$A_{fex} = \pi * \left( \frac{C_{ex}}{2} \right)^2; \quad V_{fex} = A_{fex} * \left( \frac{CR_{ex}}{4} \right);$$

$$R_{ftrabajointcaex} (1, nlx_{intcaex}) = \frac{\frac{\text{deltalx}_{intcaex}}{2}}{k_{fintcaex} A_{fintcaex}} + \frac{\frac{CR_{ex}}{2}}{k_{fex} A_{fex}}; \quad C_{apftrabajoex} = V_{fex} * \rho_{fex} * C_{pex};$$

## CILINDRO DE COMPRESIÓN.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intcco}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,2)} - T_{\text{intcco}(p,1)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,1)} - T_{\text{intcco}(p,1)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,1)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,1)}$$

$$T_{\text{intcco}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,3)} - T_{\text{intcco}(p,2)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,2)} - T_{\text{intcco}(p,2)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,1)} - T_{\text{intcco}(p,2)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,1)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,2)}$$

$$T_{\text{intcco}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,4)} - T_{\text{intcco}(p,3)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,3)} - T_{\text{intcco}(p,3)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,2)} - T_{\text{intcco}(p,3)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,2)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,3)}$$

$$T_{\text{intcco}(p+1,4)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,4)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,5)} - T_{\text{intcco}(p,4)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,4)} - T_{\text{intcco}(p,4)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,3)} - T_{\text{intcco}(p,4)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,3)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,4)}$$

$$T_{\text{intcco}(p+1,5)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,5)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,6)} - T_{\text{intcco}(p,5)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,5)} - T_{\text{intcco}(p,5)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,4)} - T_{\text{intcco}(p,5)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,4)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,5)}$$

$$T_{\text{intcco}(p+1,2:\text{nlxcco}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,3:\text{nlxcco})} - T_{\text{intcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,2:\text{nlxcco}-1)} - T_{\text{intcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,1:\text{nlxcco}-2)} - T_{\text{intcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}}{R_{\text{intsolidcco}(p,1:\text{nlxcco}-2)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,2:\text{nlxcco}-1)}$$

$$T_{\text{intcco}(p+1,\text{nlxcco})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco})}} \left( \frac{T_{\text{inttcoen}(p,1)} - T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco})}}{R_{\text{lntsolidocco}(p,\text{nlxcco})}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,\text{nlxcco})} - T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco})}}{R_{\text{tcondintcco}(p,\text{nlxcco})}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco}-1)} - T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco})}}{R_{\text{lntsolidocco}(p,\text{nlxcco}-1)}} \right) + T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco})}$$

### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{\text{centrocco}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,1)} - T_{\text{centrocco}(p,1)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,2)} - T_{\text{centrocco}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,1)} - T_{\text{centrocco}(p,1)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,1)}} \right) + T_{\text{centrocco}(p,1)}$$

$$T_{\text{centrocco}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,2)} - T_{\text{centrocco}(p,2)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,3)} - T_{\text{centrocco}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,2)} - T_{\text{centrocco}(p,2)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,1)} - T_{\text{centrocco}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,1)}} \right) + T_{\text{centrocco}(p,2)}$$

$$T_{\text{centrocco}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,3)} - T_{\text{centrocco}(p,3)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,4)} - T_{\text{centrocco}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,3)} - T_{\text{centrocco}(p,3)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,2)} - T_{\text{centrocco}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,2)}} \right) + T_{\text{centrocco}(p,3)}$$

$$T_{\text{centrocco}(p+1,4)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,4)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,4)} - T_{\text{centrocco}(p,4)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,5)} - T_{\text{centrocco}(p,4)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,4)} - T_{\text{centrocco}(p,4)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,3)} - T_{\text{centrocco}(p,4)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,3)}} \right) + T_{\text{centrocco}(p,4)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{centrocco}(p+1,5)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,5)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,5)} - T_{\text{centrocco}(p,5)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,6)} - T_{\text{centrocco}(p,5)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,5)} - T_{\text{centrocco}(p,5)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,4)} - T_{\text{centrocco}(p,5)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,4)}} \right) + T_{\text{centrocco}(p,5)}$$

$$T_{\text{centrocco}(p+1,2,\text{n}l\text{xcco}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)} - T_{\text{centrocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,3,\text{n}l\text{xcco})} - T_{\text{centrocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)} - T_{\text{centrocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centrocco}(p,1,\text{n}l\text{xcco}-2)} - T_{\text{centrocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,1,\text{n}l\text{xcco}-2)}} + T_{\text{centrocco}(p,2,\text{n}l\text{xcco}-1)}$$

$$T_{\text{centrocco}(p+1,\text{n}l\text{xcco})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,\text{n}l\text{xcco})} - T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{tcondintcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1)} - T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})} - T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{tcondextcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco}-1)} - T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,1,\text{n}l\text{xcco}-1)}} + T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})}$$

**TEMPERATURAS EXTERIORES.**

$$T_{\text{extcco}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,1)} - T_{\text{extcco}(p,1)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,2)} - T_{\text{extcco}(p,1)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,1)} - T_{\text{extcco}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,1)}} \right) + T_{\text{extcco}(p,1)}$$

$$T_{\text{extcco}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,2)} - T_{\text{extcco}(p,2)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,3)} - T_{\text{extcco}(p,2)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,2)} - T_{\text{extcco}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,1)} - T_{\text{extcco}(p,2)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,1)}} \right) + T_{\text{extcco}(p,2)}$$

$$T_{\text{extcco}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,3)} - T_{\text{extcco}(p,3)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,4)} - T_{\text{extcco}(p,3)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,3)} - T_{\text{extcco}(p,3)}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,2)} - T_{\text{extcco}(p,3)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,2)}} \right) + T_{\text{extcco}(p,3)}$$

$$T_{\text{extcco}(p+1,4)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,4)}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,4)} - T_{\text{extcco}(p,4)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,5)} - T_{\text{extcco}(p,4)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,4)} - T_{\text{extcco}(p,4)}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,4)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,3)} - T_{\text{extcco}(p,4)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,3)}} \right) + T_{\text{extcco}(p,4)}$$

$$T_{\text{extcco}(p+1,5)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,5)}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,5)} - T_{\text{extcco}(p,5)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,6)} - T_{\text{extcco}(p,5)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,5)} - T_{\text{extcco}(p,5)}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,5)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,4)} - T_{\text{extcco}(p,5)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,4)}} \right) + T_{\text{extcco}(p,5)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{extcco}(p+1,2:\text{n}l\text{xcco}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)} - T_{\text{extcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{tcondextcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,3:\text{n}l\text{xcco})} - T_{\text{extcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)} - T_{\text{extcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}} \right) + \frac{T_{\text{extcco}(p,1:\text{n}l\text{xcco}-2)} - T_{\text{extcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,1:\text{n}l\text{xcco}-2)}} + T_{\text{extcco}(p,2:\text{n}l\text{xcco}-1)}$$

$$T_{\text{extcco}(p+1,\text{n}l\text{xcco})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} \left( \frac{T_{\text{centrocco}(p,\text{n}l\text{xcco})} - T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{tcondextcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,1)} - T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} + \frac{T_{\text{ambienteextcco}(p,\text{n}l\text{xcco})} - T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{tconvambienteextcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}} \right) + \frac{T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco}-1)} - T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{cco}(p,\text{n}l\text{xcco}-1)}} + T_{\text{extcco}(p,\text{n}l\text{xcco})}$$

## INTERCONEXIÓN CILINDRO DE COMPRESIÓN ENFRIADOR.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,1)} - T_{\text{intintcoen}(p,1)}}{R_{\text{fintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,2)} - T_{\text{intintcoen}(p,1)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1)} - T_{\text{intintcoen}(p,1)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcco})} - T_{\text{intintcoen}(p,1)}}{R_{\text{linsolidocco}(p,\text{nlxcco})}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,1)}$$

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,2)} - T_{\text{intintcoen}(p,2)}}{R_{\text{fintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,3)} - T_{\text{intintcoen}(p,2)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,2)} - T_{\text{intintcoen}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,1)} - T_{\text{intintcoen}(p,2)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,1)}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,2)}$$

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,3)} - T_{\text{intintcoen}(p,3)}}{R_{\text{fintcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,4)} - T_{\text{intintcoen}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,3)} - T_{\text{intintcoen}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,2)} - T_{\text{intintcoen}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,2)}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,3)}$$

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,4)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,4)}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,4)} - T_{\text{intintcoen}(p,4)}}{R_{\text{fintcoen}(p,4)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,5)} - T_{\text{intintcoen}(p,4)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,4)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,4)} - T_{\text{intintcoen}(p,4)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,4)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,3)} - T_{\text{intintcoen}(p,4)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,3)}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,4)}$$

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,5)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,5)}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,5)} - T_{\text{intintcoen}(p,5)}}{R_{\text{fintcoen}(p,5)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,6)} - T_{\text{intintcoen}(p,5)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,5)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,5)} - T_{\text{intintcoen}(p,5)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,5)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,4)} - T_{\text{intintcoen}(p,5)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,4)}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,5)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,2:\text{nlxintcoen}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{intintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{fintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,3:\text{nlxintcoen})} - T_{\text{intintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}} \right) +$$

$$\frac{T_{\text{centrointcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{intintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,1:\text{nlxintcoen}-2)} - T_{\text{intintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,1:\text{nlxintcoen}-2)}} + T_{\text{intintcoen}(p,2:\text{nlxintcoen}-1)}$$

$$T_{\text{intintcoen}(p+1,\text{nlxintcoen})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \left( \frac{T_{\text{fintcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{fintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{inten}(p,1)} - T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \right) +$$

$$\frac{T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,\text{nlxintcoen}-1)}} + T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}$$

**TEMPERATURAS CENTRALES.**

$$T_{\text{centrointcoen}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcoen}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intintcoen}(p,1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,1)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,2)} - T_{\text{centrointcoen}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,1)}}{R_{\text{tcondextintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrocco}(p,\text{nlxcco})} - T_{\text{centrointcoen}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,\text{nlxcco})}} \right) + T_{\text{centrointcoen}(p,1)}$$

$$T_{\text{centrointcoen}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcoen}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intintcoen}(p,2)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,3)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,2)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2)}}{R_{\text{tcondextintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,1)}} \right) + T_{\text{centrointcoen}(p,2)}$$

$$T_{\text{centrointcoen}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcoen}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intintcoen}(p,3)} - T_{\text{centrointcoen}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,4)} - T_{\text{centrointcoen}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,3)} - T_{\text{centrointcoen}(p,3)}}{R_{\text{tcondextintcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,2)} - T_{\text{centrointcoen}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,2)}} \right) + T_{\text{centrointcoen}(p,3)}$$

$$T_{\text{centrointcoen}(p+1,2,\text{nlxintcoen}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,3,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} \right) +$$

$$\frac{T_{\text{extintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{tcondextintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1,\text{nlxintcoen}-2)} - T_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcoen}(p,1,\text{nlxintcoen}-2)}} + T_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}$$

$$T_{\text{centrointcoen}(p+1,\text{nlxintcoen})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \left( \frac{T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{lcentrosoldointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{tcondextintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{lcentrosoldointcoen}(p,\text{nlxintcoen}-1)}} \right) + T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}$$

### TEMPERATURAS EXTERIORES.

$$T_{\text{extintcoen}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extintcoen}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1)} - T_{\text{extintcoen}(p,1)}}{R_{\text{tcondextintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,2)} - T_{\text{extintcoen}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidaintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintcoen}(p,1)} - T_{\text{extintcoen}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteextintcoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,\text{nlxcco})} - T_{\text{extintcoen}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidaco}(p,\text{nlxcco})}} \right) + T_{\text{extintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}$$

$$T_{\text{extintcoen}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extintcoen}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,2)} - T_{\text{extintcoen}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,3)} - T_{\text{extintcoen}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidaintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintcoen}(p,2)} - T_{\text{extintcoen}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteextintcoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extintcoen}(p,1)} - T_{\text{extintcoen}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidaintcoen}(p,1)}} \right) + T_{\text{extintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{ext intcoen}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcoen}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,3)} - T_{\text{ext intcoen}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intcoen}(p,4)} - T_{\text{ext intcoen}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidointcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintcoen}(p,3)} - T_{\text{ext intcoen}(p,3)}}{R_{\text{tconvambienteextintcoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intcoen}(p,2)} - T_{\text{ext intcoen}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidointcoen}(p,2)}} \right) + T_{\text{ext intcoen}(p,3)}$$

$$T_{\text{ext intcoen}(p+1,2,\text{nlxintcoen}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{ext intcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} + \frac{T_{\text{ext intcoen}(p,3,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{ext intcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{lextsolidointcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{ambienteextintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{ext intcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{tconvambienteextintcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}} + \frac{T_{\text{ext intcoen}(p,1,\text{nlxintcoen}-2)} - T_{\text{ext intcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}}{R_{\text{lextsolidointcoen}(p,1,\text{nlxintcoen}-2)}} + T_{\text{ext intcoen}(p,2,\text{nlxintcoen}-1)}$$

$$T_{\text{ext intcoen}(p+1,\text{nlxintcoen})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \left( \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{tcondintintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{exten}(p,1)} - T_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{lextsolidointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{ambienteextintcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{tconvambienteintcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} + \frac{T_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen}-1)} - T_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}}{R_{\text{lextsolidointcoen}(p,\text{nlxintcoen}-1)}} + T_{\text{ext intcoen}(p,\text{nlxintcoen})}$$

## ENFRIADOR.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{inten}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{inten}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{fen}(p,1)} - T_{\text{inten}(p,1)}}{R_{\text{fen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{inten}(p,2)} - T_{\text{inten}(p,1)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,1)} - T_{\text{inten}(p,1)}}{R_{\text{tcondinten}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intintcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{inten}(p,1)}}{R_{\text{linsolidointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,1)}$$

$$T_{\text{inten}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{inten}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{fen}(p,2)} - T_{\text{inten}(p,2)}}{R_{\text{fen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{inten}(p,3)} - T_{\text{inten}(p,2)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,2)} - T_{\text{inten}(p,2)}}{R_{\text{tcondinten}(p,2)}} + \frac{T_{\text{inten}(p,1)} - T_{\text{inten}(p,2)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,1)}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,2)}$$

$$T_{\text{inten}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{inten}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{fen}(p,3)} - T_{\text{inten}(p,3)}}{R_{\text{fen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{inten}(p,4)} - T_{\text{inten}(p,3)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,3)} - T_{\text{inten}(p,3)}}{R_{\text{tcondinten}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intn}(p,2)} - T_{\text{inten}(p,3)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,2)}} \right) + T_{\text{intintcoen}(p,3)}$$

$$T_{\text{inten}(p+1,2:\text{nlxen}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{inten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} \left( \frac{T_{\text{fen}(p,2:\text{nlxen}-1)} - T_{\text{inten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{fen}(p,2:\text{nlxen}-1)}} + \frac{T_{\text{inten}(p,3:\text{nlxen})} - T_{\text{inten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,2:\text{nlxen}-1)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)} - T_{\text{inten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{tcondinten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{inten}(p,1:\text{nlxen}-2)} - T_{\text{inten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{linsolidoen}(p,1:\text{nlxen}-2)}} + T_{\text{intintcoen}(p,3)}$$

$$T_{\text{inten}(p+1,\text{nlxen})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{inten}(p,\text{nlxen})}} \left( \frac{T_{\text{fen}(p,\text{nlxen})} - T_{\text{inten}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{fen}(p,\text{nlxen})}} + \frac{T_{\text{intintenre}(p,1)} - T_{\text{inten}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{linsolidoen}(p,\text{nlxen})}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})} - T_{\text{inten}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{tcondinten}(p,\text{nlxen})}} \right) + \frac{T_{\text{inten}(p,\text{nlxen}-1)} - T_{\text{inten}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{linsolidoen}(p,\text{nlxen}-1)}} + T_{\text{inten}(p,\text{nlxen})}$$

### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{\text{centroen}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroen}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{inten}(p,1)} - T_{\text{centroen}(p,1)}}{R_{\text{tcondinten}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,2)} - T_{\text{centroen}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoldoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,1)} - T_{\text{centroen}(p,1)}}{R_{\text{tcondexten}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{centroen}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoldointcoen}(p,\text{nlxintcoen})}} \right) + T_{\text{centroen}(p,1)}$$

$$T_{\text{centroen}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroen}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{inten}(p,2)} - T_{\text{centroen}(p,2)}}{R_{\text{tcondinten}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,3)} - T_{\text{centroen}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoldoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,2)} - T_{\text{centroen}(p,2)}}{R_{\text{tcondexten}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1)} - T_{\text{centroen}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoldoen}(p,1)}} \right) + T_{\text{centroen}(p,2)}$$

$$T_{\text{centroen}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroen}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{inten}(p,3)} - T_{\text{centroen}(p,3)}}{R_{\text{tcondinten}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,4)} - T_{\text{centroen}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoldoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,3)} - T_{\text{centroen}(p,3)}}{R_{\text{tcondexten}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,2)} - T_{\text{centroen}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoldoen}(p,2)}} \right) + T_{\text{centroen}(p,3)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{centroen}(p+1,2:\text{nlxen}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)}} \left( \frac{T_{\text{inten}(p,2:\text{nlxen}-1)} - T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{tcondinten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,3:\text{nlxen})} - T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdoen}(p,2:\text{nlxen}-1)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)} - T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{tcondexten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} \right) + \frac{T_{\text{centroen}(p,1:\text{nlxen}-2)} - T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdoen}(p,1:\text{nlxen}-2)}} + T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)}$$

$$T_{\text{centroen}(p+1,\text{nlxen})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})}} \left( \frac{T_{\text{inten}(p,\text{nlxen})} - T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{tcondinten}(p,\text{nlxen})}} + \frac{T_{\text{centrointenre}(p,1)} - T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{lcentrosoIdoen}(p,\text{nlxen})}} + \frac{T_{\text{exten}(p,\text{nlxen})} - T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{tcondexten}(p,\text{nlxen})}} \right) + \frac{T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen}-1)} - T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})}}{R_{\text{lcentrosoIdoen}(p,\text{nlxen}-1)}} + T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})}$$

**TEMPERATURAS EXTERIORES.**

$$T_{\text{exten}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{exten}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centroen}(p,1)} - T_{\text{exten}(p,1)}}{R_{\text{tcondexten}(p,1)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,2)} - T_{\text{exten}(p,1)}}{R_{\text{lextolidoen}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteexten}(p,1)} - T_{\text{exten}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteexten}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintenco}(p,\text{nlxintcoen})} - T_{\text{exten}(p,1)}}{R_{\text{lexsolidoentcen}(p,\text{nlxintcoen})}} \right) + T_{\text{exten}(p,1)}$$

$$T_{\text{exten}(p+2,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{exten}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centroen}(p,2)} - T_{\text{exten}(p,2)}}{R_{\text{tcondexten}(p,2)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,3)} - T_{\text{exten}(p,2)}}{R_{\text{lextolidoen}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteexten}(p,2)} - T_{\text{exten}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteexten}(p,2)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,1)} - T_{\text{exten}(p,2)}}{R_{\text{lexsolidoen}(p,1)}} \right) + T_{\text{exten}(p,2)}$$

$$T_{\text{exten}(p+2,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{exten}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centroen}(p,3)} - T_{\text{exten}(p,3)}}{R_{\text{tcondexten}(p,3)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,4)} - T_{\text{exten}(p,3)}}{R_{\text{lextolidoen}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteexten}(p,3)} - T_{\text{exten}(p,3)}}{R_{\text{tconvambienteexten}(p,3)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,2)} - T_{\text{exten}(p,3)}}{R_{\text{lexsolidoen}(p,2)}} \right) + T_{\text{exten}(p,3)}$$

$$T_{\text{exten}(p+2,2:\text{nlxen}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centroen}(p,2:\text{nlxen}-1)} - T_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{tcondexten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} + \frac{T_{\text{exten}(p,3:\text{nlxen})} - T_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{lexsolidoen}(p,2:\text{nlxen}-1)}} + \frac{T_{\text{ambienteexten}(p,2:\text{nlxen}-1)} - T_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{tconvambienteexten}(p,2:\text{nlxen}-1)}} \right) + \frac{T_{\text{exten}(p,1:\text{nlxen}-2)} - T_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)}}{R_{\text{lexsolidoen}(p,2:\text{nlxen}-2)}} + T_{\text{exten}(p,2:\text{nlxen}-1)}$$

$$T_{\text{exten}(p+2, \text{nlxen})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{exten}(p, \text{nlxen})}} \left( \frac{T_{\text{centroen}(p, \text{nlxen})} - T_{\text{exten}(p, \text{nlxen})}}{R_{\text{tcondexten}(p, \text{nlxen})}} + \frac{T_{\text{extintenre}(p, 1)} - T_{\text{exten}(p, \text{nlxen})}}{R_{\text{lextolidoen}(p, \text{nlxen})}} + \frac{T_{\text{ambienteexten}(p, \text{nlxen})} - T_{\text{exten}(p, \text{nlxen})}}{R_{\text{tconvambienteen}(p, \text{nlxen})}} \right) + \frac{T_{\text{exten}(p, \text{nlxen}-1)} - T_{\text{exten}(p, \text{nlxen})}}{R_{\text{lextsolidoen}(p, \text{nlxen}-1)}} + T_{\text{exten}(p, \text{nlxen})}$$

## INTERCONEXIÓN ENFRIADOR REGENERADOR.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intintenre}(p+1, 1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intenre}(p, 1)}} \left( \frac{T_{\text{fintenre}(p, 1)} - T_{\text{intintenre}(p, 1)}}{R_{\text{fintenre}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{intintenre}(p, 2)} - T_{\text{intintenre}(p, 1)}}{R_{\text{linsolidointenre}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{centrointenre}(p, 1)} - T_{\text{intintenre}(p, 1)}}{R_{\text{tcondintinre}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{inten}(p, \text{nlxen})} - T_{\text{intintenre}(p, 1)}}{R_{\text{linsolidoen}(p, \text{nlxen})}} \right) + T_{\text{intintenre}(p, 1)}$$

$$T_{\text{intintenre}(p+1, 2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intenre}(p, 2)}} \left( \frac{T_{\text{fintenre}(p, 2)} - T_{\text{intintenre}(p, 2)}}{R_{\text{fintenre}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{intintenre}(p, 3)} - T_{\text{intintenre}(p, 2)}}{R_{\text{linsolidointenre}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{centrointenre}(p, 2)} - T_{\text{intintenre}(p, 2)}}{R_{\text{tcondintinre}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{intintenre}(p, 1)} - T_{\text{intintenre}(p, 2)}}{R_{\text{linsolidointenre}(p, 1)}} \right) + T_{\text{intintenre}(p, 2)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{intintente}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{fintente}(p,3)} - T_{\text{intintente}(p,3)}}{R_{\text{fintente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintente}(p,4)} - T_{\text{intintente}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,3)} - T_{\text{intintente}(p,3)}}{R_{\text{tcondintente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintente}(p,2)} - T_{\text{intintente}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointente}(p,2)}} \right) + T_{\text{intintente}(p,3)}$$

$$T_{\text{intintente}(p+1,2\text{nlxintente}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} \left( \frac{T_{\text{fintente}(p,2\text{nlxintente}-1)} - T_{\text{intintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{fintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} + \frac{T_{\text{intintente}(p,3\text{nlxintente})} - T_{\text{intintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{linsolidointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centrointente}(p,2\text{nlxintente}-1)} - T_{\text{intintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{tcondintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} + \frac{T_{\text{intintente}(p,1\text{nlxintente}-2)} - T_{\text{intintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{linsolidointente}(p,1\text{nlxintente}-2)}} \right) + T_{\text{intintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}$$

$$T_{\text{intintente}(p+1,\text{nlxintente})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,\text{nlxintente})}} \left( \frac{T_{\text{fintente}(p,\text{nlxintente})} - T_{\text{intintente}(p,\text{nlxintente})}}{R_{\text{fintente}(p,\text{nlxintente})}} + \frac{T_{\text{intre}(p,1)} - T_{\text{intintente}(p,\text{nlxintente})}}{R_{\text{linsolidointente}(p,\text{nlxintente})}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centrointente}(p,\text{nlxintente})} - T_{\text{intintente}(p,\text{nlxintente})}}{R_{\text{tcondintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} + \frac{T_{\text{intente}(p,\text{nlxintente}-1)} - T_{\text{intintente}(p,\text{nlxintente})}}{R_{\text{linsolidointente}(p,1\text{nlxintente}-1)}} \right) + T_{\text{intintente}(p,\text{nlxintente})}$$

### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{\text{centrointente}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intente}(p,1)} - T_{\text{centrointente}(p,1)}}{R_{\text{tcondintente}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,2)} - T_{\text{centrointente}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointente}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ext intente}(p,1)} - T_{\text{centrointente}(p,1)}}{R_{\text{tcondextintente}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centroen}(p,\text{nlxen})} - T_{\text{centrointente}(p,1)}}{R_{\text{lintsolidointente}(p,\text{nlxen})}} \right) + T_{\text{centrointente}(p,1)}$$

$$T_{\text{centrointente}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intente}(p,2)} - T_{\text{centrointente}(p,2)}}{R_{\text{tcondintente}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,3)} - T_{\text{centrointente}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdointente}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext intente}(p,2)} - T_{\text{centrointente}(p,2)}}{R_{\text{tcondextintente}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,1)} - T_{\text{centrointente}(p,2)}}{R_{\text{lintsolidointente}(p,1)}} \right) + T_{\text{centrointente}(p,2)}$$

$$T_{\text{centrointente}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intente}(p,3)} - T_{\text{centrointente}(p,3)}}{R_{\text{tcondintente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,4)} - T_{\text{centrointente}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdointente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intente}(p,3)} - T_{\text{centrointente}(p,3)}}{R_{\text{tcondextintente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,2)} - T_{\text{centrointente}(p,3)}}{R_{\text{lintsolidointente}(p,2)}} \right) + T_{\text{centrointente}(p,3)}$$

$$T_{\text{centrointente}(p+1,2\text{nlxintente}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intente}(p,2\text{nlxintente}-1)} - T_{\text{centrointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{tcondintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,3\text{nlxintente})} - T_{\text{centrointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{ext intente}(p,2\text{nlxintente}-1)} - T_{\text{centrointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{tcondextintente}(p,2\text{nlxintente}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointente}(p,1\text{nlxintente}-2)} - T_{\text{centrointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}}{R_{\text{lintsolidointente}(p,1\text{nlxintente}-2)}} \right) + T_{\text{centrointente}(p,2\text{nlxintente}-1)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{centrointente}(p+1, \text{nlxintente})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p, \text{nlxintente})}} \left( \frac{T_{\text{intente}(p, \text{nlxintente})} - T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{tcondintente}(p, \text{nlxintente})}} + \frac{T_{\text{centro}(p, 1)} - T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{lcentrosoIdoente}(p, \text{nlxintente})}} \right) + \frac{T_{\text{extintente}(p, \text{nlxintente})} - T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{tcondextintente}(p, \text{nlxintente})}} + \left( \frac{T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente}-1)} - T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{lntsolidoente}(p, \text{nlxintente}-1)}} \right) + T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente})}$$

### TEMPERATURAS EXTERIORES.

$$T_{\text{ext int enre}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{int enre}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centro enre}(p,1)} - T_{\text{ext int enre}(p,1)}}{R_{\text{tcond ext int enre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,2)} - T_{\text{ext int enre}(p,1)}}{R_{\text{lext centrosolidoint enre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambiente ext int enre}(p,1)} - T_{\text{ext int enre}(p,1)}}{R_{\text{tconv ambiente int enre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ext en}(p, \text{nlx en})} - T_{\text{ext int enre}(p,1)}}{R_{\text{lext solidoint en}(p, \text{nlx en})}} \right) + T_{\text{ext int enre}(p,1)}$$

$$T_{\text{ext int enre}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{int enre}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centro enre}(p,2)} - T_{\text{ext int enre}(p,2)}}{R_{\text{tcond ext int enre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,3)} - T_{\text{ext int enre}(p,2)}}{R_{\text{lext centrosolidoint enre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambiente ext int enre}(p,2)} - T_{\text{ext int enre}(p,2)}}{R_{\text{tconv ambiente int enre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,1)} - T_{\text{ext int enre}(p,2)}}{R_{\text{lext solidoint enre}(p,1)}} \right) + T_{\text{ext int enre}(p,2)}$$

$$T_{\text{ext int enre}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{int enre}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centro enre}(p,3)} - T_{\text{ext int enre}(p,3)}}{R_{\text{tcond ext int enre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,4)} - T_{\text{ext int enre}(p,3)}}{R_{\text{lext centrosolidoint enre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambiente ext int enre}(p,3)} - T_{\text{ext int enre}(p,3)}}{R_{\text{tconv ambiente int enre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,2)} - T_{\text{ext int enre}(p,3)}}{R_{\text{lext solidoint enre}(p,2)}} \right) + T_{\text{ext int enre}(p,3)}$$

$$T_{\text{ext int enre}(p+1,2 \text{nlx int enre}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centro enre}(p, \text{nlx int enre}-1)} - T_{\text{ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}}{R_{\text{tcond ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,3 \text{nlx int enre})} - T_{\text{ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}}{R_{\text{lext centrosolidoint enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{ambiente ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)} - T_{\text{ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}}{R_{\text{tconv ambiente int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}} + \frac{T_{\text{ext int enre}(p,1 \text{nlx int enre}-2)} - T_{\text{ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}}{R_{\text{lext solidoint enre}(p,1 \text{nlx int enre}-2)}} + T_{\text{ext int enre}(p,2 \text{nlx int enre}-1)}$$

$$T_{\text{ext intente}(p+1, \text{nlxintente})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intente}(p, \text{nlxintente})}} \left( \frac{T_{\text{centrointente}(p, \text{nlxintente})} - T_{\text{ext intente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{tcondextintente}(p, \text{nlxintente})}} + \frac{T_{\text{extre}(p,1)} - T_{\text{ext intente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{lextcentrosolidointente}(p, \text{nlxintente})}} + \frac{T_{\text{ambienteextintente}(p, \text{nlxintente})} - T_{\text{ext intente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{tconvambienteintente}(p, \text{nlxintente})}} \right) + \frac{T_{\text{ext intente}(p, \text{nlxintente})} - T_{\text{ext intente}(p, \text{nlxintente})}}{R_{\text{lextsolidointente}(p, \text{nlxintente})}} + T_{\text{ext intente}(p, \text{nlxintente})}$$

## REGENERADOR.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intre}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intre}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{fire}(p,1)} - T_{\text{intre}(p,1)}}{R_{\text{fire}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,2)} - T_{\text{intre}(p,1)}}{R_{\text{linsolidore}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,1)} - T_{\text{intre}(p,1)}}{R_{\text{tcondintre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intintente}(p, \text{nlxintente})} - T_{\text{intre}(p,1)}}{R_{\text{linsolidore}(p, \text{nlxintente})}} \right) + T_{\text{intre}(p,1)}$$

$$T_{\text{intre}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intre}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{fire}(p,2)} - T_{\text{intre}(p,2)}}{R_{\text{condmatrizy}(p,2)}} + \frac{T_{\text{fire}(p,2)} - T_{\text{intre}(p,2)}}{R_{\text{fire}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,3)} - T_{\text{intre}(p,2)}}{R_{\text{linsolidore}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,2)} - T_{\text{intre}(p,2)}}{R_{\text{tcondintre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,1)} - T_{\text{intre}(p,2)}}{R_{\text{linsolidore}(p,1)}} \right) + T_{\text{intre}(p,2)}$$

$$T_{\text{intre}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intre}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{fire}(p,3)} - T_{\text{intre}(p,3)}}{R_{\text{condmatrizy}(p,3)}} + \frac{T_{\text{fire}(p,3)} - T_{\text{intre}(p,3)}}{R_{\text{fire}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,4)} - T_{\text{intre}(p,3)}}{R_{\text{linsolidore}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,3)} - T_{\text{intre}(p,3)}}{R_{\text{tcondintre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,2)} - T_{\text{intre}(p,3)}}{R_{\text{linsolidore}(p,2)}} \right) + T_{\text{intre}(p,3)}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{intre}(p+1,2;\text{nlxre}-1)} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)}} \left( \frac{T_{\text{fire}(p,2;\text{nlxre}-1)} - T_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{condmatrizy}(p,2;\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{fire}(p,2;\text{nlxre}-1)} - T_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{fire}(p,2;\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,3;\text{nlxre})} - T_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{linsolidore}(p,2;\text{nlxre}-1)}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{centrore}(p,2;\text{nlxre}-1)} - T_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{tcondintre}(p,2;\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,1;\text{nlxre}-2)} - T_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{linsolidore}(p,1;\text{nlxre}-2)}} + T_{\text{intre}(p,2;\text{nlxre}-1)} \\
 \\
 T_{\text{intre}(p+1,\text{nlxre})} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intre}(p,\text{nlxre})}} \left( \frac{T_{\text{fire}(p,\text{nlxre})} - T_{\text{intre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{condmatrizy}(p,\text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{intintrecare}(p,1)} - T_{\text{intre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{linsolidore}(p,\text{nlxre})}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{centrore}(p,\text{nlxre})} - T_{\text{intre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{tcondintre}(p,2;\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,\text{nlxre}-1)} - T_{\text{intre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{linsolidore}(p,\text{nlxre}-1)}} + T_{\text{intre}(p,\text{nlxre})}
 \end{aligned}$$

**TEMPERATURAS CENTRALES.**

$$T_{\text{centrore}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrore}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intre}(p,1)} - T_{\text{centrore}(p,1)}}{R_{\text{tcondintre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,2)} - T_{\text{centrore}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosolidore}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,1)} - T_{\text{centrore}(p,1)}}{R_{\text{tcondextintre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointre}(p,nlxintre)} - T_{\text{centrore}(p,1)}}{R_{\text{lintsolidointre}(p,nlxintre)}} \right) + T_{\text{centrore}(p,1)}$$

$$T_{\text{centrore}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrore}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intre}(p,2)} - T_{\text{centrore}(p,2)}}{R_{\text{tcondintre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,3)} - T_{\text{centrore}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosolidore}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,2)} - T_{\text{centrore}(p,2)}}{R_{\text{tcondextintre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,1)} - T_{\text{centrore}(p,2)}}{R_{\text{lintsolidore}(p,1)}} \right) + T_{\text{centrore}(p,2)}$$

$$T_{\text{centrore}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrore}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intre}(p,3)} - T_{\text{centrore}(p,3)}}{R_{\text{tcondintre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,4)} - T_{\text{centrore}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosolidore}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,3)} - T_{\text{centrore}(p,3)}}{R_{\text{tcondextintre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,2)} - T_{\text{centrore}(p,3)}}{R_{\text{lintsolidore}(p,2)}} \right) + T_{\text{centrore}(p,3)}$$

$$T_{\text{centrore}(p+1,2nlxre-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrore}(p,2nlxre-1)}} \left( \frac{T_{\text{intre}(p,2nlxre-1)} - T_{\text{centrore}(p,2nlxre-1)}}{R_{\text{tcondintre}(p,2nlxre-1)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p,3nlxre)} - T_{\text{centrore}(p,2nlxre-1)}}{R_{\text{lcentrosolidore}(p,2nlxre-1)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,2nlxre-1)} - T_{\text{centrore}(p,2nlxre-1)}}{R_{\text{tcondextre}(p,2nlxre-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centrore}(p,1nlxre-2)} - T_{\text{centrore}(p,2nlxre-1)}}{R_{\text{lintsolidore}(p,1nlxre-2)}} + T_{\text{centrore}(p,2nlxre-1)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{centrore}(p+1, \text{nlxre})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}} \left( \frac{T_{\text{intre}(p, \text{nlxre})} - T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}}{R_{\text{tcondintre}(p, \text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, 1)} - T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}}{R_{\text{lcentrosoldore}(p, \text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{extre}(p, \text{nlxre})} - T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}}{R_{\text{tcondextintre}(p, \text{nlxre})}} \right) + \frac{T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre}-1)} - T_{\text{centrore}(p, 2\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{lintsoldore}(p, \text{nlxre}-1)}} + T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}$$

$$T_{\text{centrore}(p+1, \text{nlxre})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}} \left( \frac{T_{\text{intre}(p, \text{nlxre})} - T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}}{R_{\text{tcondintre}(p, \text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre}+1)} - T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}}{R_{\text{lcentrosoldore}(p, \text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{extre}(p, \text{nlxre})} - T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}}{R_{\text{tcondextintre}(p, \text{nlxre})}} \right) + \frac{T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre}-1)} - T_{\text{centrore}(p, 2\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{lintsoldore}(p, \text{nlxre}-1)}} + T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})}$$

**TEMPERATURAS EXTERIORES.**

$$T_{\text{extre}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extre}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centrore}(p,1)} - T_{\text{extre}(p,1)}}{R_{\text{tcondextre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,2)} - T_{\text{extre}(p,1)}}{R_{\text{lextcentrosolidor}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextre}(p,1)} - T_{\text{extre}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteextre}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintre}(p,\text{nlxintre})} - T_{\text{extre}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidointre}(p,\text{nlxintre})}} \right) + T_{\text{extre}(p,1)}$$

$$T_{\text{extre}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extre}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centrore}(p,2)} - T_{\text{extre}(p,2)}}{R_{\text{tcondextre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,3)} - T_{\text{extre}(p,2)}}{R_{\text{lextcentrosolidor}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextre}(p,2)} - T_{\text{extre}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteextre}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,1)} - T_{\text{extre}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidre}(p,1)}} \right) + T_{\text{extre}(p,2)}$$

$$T_{\text{extre}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extre}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centrore}(p,3)} - T_{\text{extre}(p,3)}}{R_{\text{tcondextre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,4)} - T_{\text{extre}(p,3)}}{R_{\text{lextcentrosolidor}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteextre}(p,3)} - T_{\text{extre}(p,3)}}{R_{\text{tconvambienteextre}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,2)} - T_{\text{extre}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidre}(p,2)}} \right) + T_{\text{extre}(p,3)}$$

$$T_{\text{extre}(p+1,2\text{nlxre}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extre}(p,2\text{nlxre}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centrore}(p,2\text{nlxre}-1)} - T_{\text{extre}(p,2\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{tcondextre}(p,2\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,3\text{nlxre})} - T_{\text{extre}(p,2\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{lextcentrosolidor}(p,2\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextre}(p,2\text{nlxre}-1)} - T_{\text{extre}(p,2\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{tconvambienteextre}(p,2\text{nlxre}-1)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,1\text{nlxre}-2)} - T_{\text{extre}(p,2\text{nlxre}-1)}}{R_{\text{lextsolidre}(p,1\text{nlxre}-2)}} \right)$$

$$+ T_{\text{extre}(p,2\text{nlxre}-1)}$$

$$T_{\text{extre}(p+1,\text{nlxre})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extre}(p,\text{nlxre})}} \left( \frac{T_{\text{centrore}(p,\text{nlxre})} - T_{\text{extre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{tcondextre}(p,\text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{extintreca}(p,1)} - T_{\text{extre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{lextcentrosolidor}(p,\text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{ambienteextre}(p,\text{nlxre})} - T_{\text{extre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{tconvambienteextre}(p,\text{nlxre})}} + \frac{T_{\text{extre}(p,\text{nlxre}-1)} - T_{\text{extre}(p,\text{nlxre})}}{R_{\text{lextsolidre}(p,\text{nlxre}-1)}} \right)$$

$$+ T_{\text{extre}(p,\text{nlxre})}$$

## INTERCONEXIÓN REGENERADOR CALENTADOR.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intreca}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,1)}} \left( \frac{T_{f \text{intreca}(p,1)} - T_{\text{intreca}(p,1)}}{R_{f \text{intreca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intintreca}(p,2)} - T_{\text{intintreca}(p,1)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p,1)} - T_{\text{intintreca}(p,1)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intre}(p,\text{nlxre})} - T_{\text{intreca}(p,1)}}{R_{\text{linsolidore}(p,\text{nlxre})}} \right) + T_{\text{intintreca}(p,1)}$$

$$T_{\text{intreca}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,2)}} \left( \frac{T_{f \text{intreca}(p,2)} - T_{\text{intreca}(p,2)}}{R_{f \text{intreca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intintreca}(p,3)} - T_{\text{intintreca}(p,2)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p,2)} - T_{\text{intintreca}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intreca}(p,1)} - T_{\text{intintreca}(p,2)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,1)}} \right) + T_{\text{intintreca}(p,2)}$$

$$T_{\text{intreca}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,3)}} \left( \frac{T_{f \text{intreca}(p,3)} - T_{\text{intreca}(p,3)}}{R_{f \text{intreca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintreca}(p,4)} - T_{\text{intintreca}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p,3)} - T_{\text{intintreca}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intreca}(p,2)} - T_{\text{intintreca}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,2)}} \right) + T_{\text{intintreca}(p,3)}$$

$$T_{\text{intreca}(p+1,2:\text{nlxintreca}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}} \left( \frac{T_{f \text{intreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)} - T_{\text{intreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}}{R_{f \text{intreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}} + \frac{T_{\text{intintreca}(p,3:\text{nlxintreca})} - T_{\text{intintreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}} \right)$$

$$+ \left( \frac{T_{\text{centrointreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)} - T_{\text{intintreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}} + \frac{T_{\text{intreca}(p,1:\text{nlxintreca}-2)} - T_{\text{intintreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p,1:\text{nlxintreca}-2)}} \right) + T_{\text{intintreca}(p,2:\text{nlxintreca}-1)}$$

$$T_{\text{intreca}(p+1, \text{nlxintreca})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p, \text{nlxintreca})}} \left( \frac{T_{\text{fintreca}(p, \text{nlxintreca})} - T_{\text{intreca}(p, \text{nlxintreca})}}{R_{\text{fintreca}(p, \text{nlxintreca})}} + \frac{T_{\text{intca}(p, 1)} - T_{\text{intintreca}(p, \text{nlxintreca})}}{R_{\text{linsolidointreca}(p, \text{nlxintreca})}} \right) + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, \text{nlxintreca})} - T_{\text{intintreca}(p, \text{nlxintreca})}}{R_{\text{tcondintintreca}(p, \text{nlxintreca})}} + \left( \frac{T_{\text{intreca}(p, \text{l, nlxintreca}-1)} - T_{\text{intintreca}(p, \text{nlxintreca})}}{R_{\text{linsolidointreca}(p, \text{nlxintreca}-1)}} \right) + T_{\text{intintreca}(p, \text{nlxintreca})}$$

### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{\text{centrointreca}(p+1, 1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointreca}(p, 1)}} \left( \frac{T_{\text{intintreca}(p, 1)} - T_{\text{centrointreca}(p, 1)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, 2)} - T_{\text{centrointreca}(p, 1)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{extintreca}(p, 1)} - T_{\text{centrointreca}(p, 1)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{centrore}(p, \text{nlxre})} - T_{\text{centrointreca}(p, 1)}}{R_{\text{lcentrosoldore}(p, \text{nlxre})}} \right) + T_{\text{centrointreca}(p, 1)}$$

$$T_{\text{centrointreca}(p+1, 2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointreca}(p, 2)}} \left( \frac{T_{\text{intintreca}(p, 2)} - T_{\text{centrointreca}(p, 2)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, 3)} - T_{\text{centrointreca}(p, 2)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{extintreca}(p, 2)} - T_{\text{centrointreca}(p, 2)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, 1)} - T_{\text{centrointreca}(p, 2)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p, 1)}} \right) + T_{\text{centrointreca}(p, 2)}$$

$$T_{\text{centrointreca}(p+1, 3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointreca}(p, 3)}} \left( \frac{T_{\text{intintreca}(p, 3)} - T_{\text{centrointreca}(p, 3)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p, 3)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, 4)} - T_{\text{centrointreca}(p, 3)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p, 3)}} + \frac{T_{\text{extintreca}(p, 3)} - T_{\text{centrointreca}(p, 3)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p, 3)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p, 2)} - T_{\text{centrointreca}(p, 3)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p, 2)}} \right) + T_{\text{centrointreca}(p, 3)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$\begin{aligned}
 T_{\text{centrointreca}(p+1,2n\text{lxinreca}-1)} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intintreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)} - T_{\text{centrointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}}{R_{\text{tcondintintreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p,3n\text{lxinreca})} - T_{\text{centrointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{extintreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)} - T_{\text{centrointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p,1n\text{lxinreca}-2)} - T_{\text{centrointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p,1n\text{lxinreca}-2)}} + T_{\text{centrointreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)} \\
 \\
 T_{\text{centrointreca}(p+1,n\text{lxinreca})} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca})}} \left( \frac{T_{\text{intintreca}(p,n\text{lxinreca})} - T_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca})}}{R_{\text{tcondintintreca}(p,n\text{lxinreca})}} + \frac{T_{\text{centroca}(p,1)} - T_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca})}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p,n\text{lxinreca})}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{extintreca}(p,n\text{lxinreca})} - T_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca})}}{R_{\text{tcondextintreca}(p,2n\text{lxinreca}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca}-1)} - T_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca})}}{R_{\text{lcentrosoldointreca}(p,n\text{lxinreca}-1)}} + T_{\text{centrointreca}(p,n\text{lxinreca})}
 \end{aligned}$$

### TEMPERATURAS EXTERIORES.

$$T_{\text{ext intreca}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centrointreca}(p,1)} - T_{\text{ext intreca}(p,1)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ext intrenre}(p,2)} - T_{\text{ext intreca}(p,1)}}{R_{\text{lextcentrosolidointreca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintreca}(p,1)} - T_{\text{ext intreca}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteextintreca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extre}(p,\text{nlx})} - T_{\text{ext intreca}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidore}(p,\text{nlx})}} \right) + T_{\text{ext intrenre}(p,1)}$$

$$T_{\text{ext intreca}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centrointreca}(p,2)} - T_{\text{ext intreca}(p,2)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext intrenre}(p,3)} - T_{\text{ext intreca}(p,2)}}{R_{\text{lextcentrosolidointreca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintreca}(p,2)} - T_{\text{ext intreca}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteextintreca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext intreca}(p,1)} - T_{\text{ext intreca}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidointreca}(p,1)}} \right) + T_{\text{ext intrenre}(p,2)}$$

$$T_{\text{ext intreca}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centrointreca}(p,3)} - T_{\text{ext intreca}(p,3)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intrenre}(p,4)} - T_{\text{ext intreca}(p,3)}}{R_{\text{lextcentrosolidointreca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintreca}(p,3)} - T_{\text{ext intreca}(p,3)}}{R_{\text{tconvambienteextintreca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intreca}(p,2)} - T_{\text{ext intreca}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidointreca}(p,2)}} \right) + T_{\text{ext intrenre}(p,3)}$$

$$T_{\text{ext intreca}(p+1,2\text{nlxintreca}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centrointreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)} - T_{\text{ext intreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{tcondextintreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}} + \frac{T_{\text{ext intrenre}(p,3\text{nlxintreca})} - T_{\text{ext intreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{lextcentrosolidointreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}} \right) +$$

$$\frac{T_{\text{ambienteextintreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)} - T_{\text{ext intreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{tconvambienteextintreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}} + \frac{T_{\text{ext intreca}(p,1\text{nlxintreca}-2)} - T_{\text{ext intreca}(p,2\text{nlxintreca}-1)}}{R_{\text{lextsolidointreca}(p,1\text{nlxintreca}-2)}} \right) + T_{\text{ext intrenre}(p,2\text{nlxintreca}-1)}$$

$$T_{\text{ext intreca}(p+1, \text{nlx intreca})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intreca}(p, \text{nlx intreca})}} \left( \frac{T_{\text{centro intreca}(p, \text{nlx intreca})} - T_{\text{ext intreca}(p, \text{nlx intreca})}}{R_{\text{tcondext intreca}(p, 2; \text{nlx intreca}-1)}} + \frac{T_{\text{extca}(p, 1)} - T_{\text{ext intreca}(p, \text{nlx intreca})}}{R_{\text{lextcentrosolidoca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{ambienteext intreca}(p, \text{nlx intreca})} - T_{\text{ext intreca}(p, \text{nlx intreca})}}{R_{\text{tconvambienteext intreca}(p, \text{nlx intreca})}} + \frac{T_{\text{ext intreca}(p, \text{nlx intreca}-1)} - T_{\text{ext intreca}(p, \text{nlx intreca})}}{R_{\text{lextsolidointreca}(p, \text{nlx intreca}-1)}} \right) + T_{\text{ext intreca}(p, \text{nlx intreca})}$$

## CALENTADOR.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intca}(p+1, 1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intca}(p, 1)}} \left( \frac{T_{\text{fca}(p, 1)} - T_{\text{intca}(p, 1)}}{R_{\text{fca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{intca}(p, 2)} - T_{\text{intca}(p, 1)}}{R_{\text{linsolidoca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{centroca}(p, 1)} - T_{\text{intca}(p, 1)}}{R_{\text{tcondintca}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{intintreca}(p, \text{nlx intreca})} - T_{\text{intca}(p, 1)}}{R_{\text{linsolidointreca}(p, \text{nlx intreca})}} \right) + T_{\text{intca}(p, 1)}$$

$$T_{\text{intca}(p+1, 2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intca}(p, 2)}} \left( \frac{T_{\text{fca}(p, 2)} - T_{\text{intca}(p, 2)}}{R_{\text{fca}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{intca}(p, 3)} - T_{\text{intca}(p, 2)}}{R_{\text{linsolidoca}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{centroca}(p, 2)} - T_{\text{intca}(p, 2)}}{R_{\text{tcondintca}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{intca}(p, 1)} - T_{\text{intca}(p, 2)}}{R_{\text{linsolidoca}(p, 1)}} \right) + T_{\text{intca}(p, 2)}$$

$$T_{\text{intca}(p+1, 3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intca}(p, 3)}} \left( \frac{T_{\text{fca}(p, 3)} - T_{\text{intca}(p, 3)}}{R_{\text{fca}(p, 3)}} + \frac{T_{\text{intca}(p, 4)} - T_{\text{intca}(p, 3)}}{R_{\text{linsolidoca}(p, 3)}} + \frac{T_{\text{centroca}(p, 3)} - T_{\text{intca}(p, 3)}}{R_{\text{tcondintca}(p, 3)}} + \frac{T_{\text{intca}(p, 2)} - T_{\text{intca}(p, 3)}}{R_{\text{linsolidoca}(p, 2)}} \right) + T_{\text{intca}(p, 3)}$$

$$T_{intca(p+1,2nlxca-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{intca(p,2nlxca-1)}} \left( \frac{T_{fca(p,2nlxca-1)} - T_{intca(p,2nlxca-1)}}{R_{fca(p,2nlxca-1)}} + \frac{T_{intca(p,3nlxca)} - T_{intca(p,2nlxca-1)}}{R_{lntsolidoca(p,2nlxca-1)}} + \frac{T_{centroca(p,2nlxca-1)} - T_{intca(p,2nlxca-1)}}{R_{tcondintca(p,2nlxca-1)}} + \frac{T_{intca(p,1nlxca-2)} - T_{intca(p,2nlxca-1)}}{R_{lntsolidoca(p,1nlxca-2)}} \right) + T_{intca(p,2nlxca-1)}$$

$$T_{intca(p+1,nlxca)} = \frac{\Delta\tau}{C_{intca(p,nlxca)}} \left( \frac{T_{fca(p,nlxca)} - T_{intca(p,nlxca)}}{R_{fca(p,nlxca)}} + \frac{T_{intcaex(p,1)} - T_{intca(p,nlxca)}}{R_{lntsolidoca(p,nlxca)}} + \frac{T_{centroca(p,nlxca)} - T_{intca(p,nlxca)}}{R_{tcondintca(p,nlxca)}} + \frac{T_{intca(p,nlxca-1)} - T_{intca(p,nlxca)}}{R_{lntsolidoca(p,nlxca-1)}} \right) + T_{intca(p,nlxca)}$$

#### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{centroca(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{centroca(p,1)}} \left( \frac{T_{intca(p,1)} - T_{centroca(p,1)}}{R_{tcondintca(p,1)}} + \frac{T_{centroca(p,2)} - T_{centroca(p,1)}}{R_{lntsolidoca(p,1)}} + \frac{T_{extca(p,1)} - T_{centroca(p,1)}}{R_{tcondextca(p,1)}} + \frac{T_{centroca(p,1)} - T_{centroca(p,1)}}{R_{lntsolidointreca(p,nlxintreca)}} \right) + T_{centroca(p,1)}$$

$$T_{centroca(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{centroca(p,2)}} \left( \frac{T_{intca(p,2)} - T_{centroca(p,2)}}{R_{tcondintca(p,2)}} + \frac{T_{centroca(p,3)} - T_{centroca(p,2)}}{R_{lntsolidoca(p,2)}} + \frac{T_{extca(p,2)} - T_{centroca(p,2)}}{R_{tcondextca(p,2)}} + \frac{T_{centroca(p,1)} - T_{centroca(p,2)}}{R_{lntsolidoca(p,1)}} \right) + T_{centroca(p,2)}$$

$$T_{centroca(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{centroca(p,3)}} \left( \frac{T_{intca(p,3)} - T_{centroca(p,3)}}{R_{tcondintca(p,3)}} + \frac{T_{centroca(p,4)} - T_{centroca(p,3)}}{R_{lntsolidoca(p,3)}} + \frac{T_{extca(p,3)} - T_{centroca(p,3)}}{R_{tcondextca(p,3)}} + \frac{T_{centroca(p,2)} - T_{centroca(p,3)}}{R_{lntsolidoca(p,2)}} \right) + T_{centroca(p,3)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{centroca}(p+1,2,2n\text{l}x\text{ca}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)} - T_{\text{centroca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}}{R_{\text{tcondintca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}} + \frac{T_{\text{centroca}(p,3n\text{l}x\text{ca})} - T_{\text{centroca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}}{R_{\text{lcentrosolidoca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)} - T_{\text{centroca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}}{R_{\text{tcondextca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}} \right) + \frac{T_{\text{centroca}(p,1n\text{l}x\text{ca}-2)} - T_{\text{centroca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}}{R_{\text{lintsolidoca}(p,1n\text{l}x\text{ca}-2)}} + T_{\text{centroca}(p,2n\text{l}x\text{ca}-1)}$$

$$T_{\text{centroca}(p+1,n\text{l}x\text{ca})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca})}} \left( \frac{T_{\text{intca}(p,n\text{l}x\text{ca})} - T_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca})}}{R_{\text{tcondintca}(p,n\text{l}x\text{ca})}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,1)} - T_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca})}}{R_{\text{lcentrosolidointcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,n\text{l}x\text{ca})} - T_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca})}}{R_{\text{tcondextca}(p,n\text{l}x\text{ca})}} \right) + \frac{T_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca}-1)} - T_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca})}}{R_{\text{lintsolidoca}(p,n\text{l}x\text{ca}-1)}} + T_{\text{centroca}(p,n\text{l}x\text{ca})}$$

**TEMPERATURAS EXTERIORES.**

$$T_{\text{extca}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extca}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centroca}(p,1)} - T_{\text{extca}(p,1)}}{R_{\text{tcondextca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,2)} - T_{\text{extca}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidoca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextca}(p,1)} - T_{\text{extca}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteca}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintreca}(p,n\text{l}x\text{reca})} - T_{\text{extca}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidointreca}(p,n\text{l}x\text{caex})}} \right) + T_{\text{extca}(p,1)}$$

$$T_{\text{extca}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extca}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centroca}(p,2)} - T_{\text{extca}(p,2)}}{R_{\text{tcondextca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,3)} - T_{\text{extca}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidoca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextca}(p,2)} - T_{\text{extca}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteca}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,1)} - T_{\text{extca}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidoca}(p,1)}} \right) + T_{\text{extca}(p,2)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{extca}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extca}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centroca}(p,3)} - T_{\text{extca}(p,3)}}{R_{\text{tcondextca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,4)} - T_{\text{extca}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidca}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteextca}(p,3)} - T_{\text{extca}(p,3)}}{R_{\text{tconvambiente}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,2)} - T_{\text{extca}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidca}(p,2)}} \right) + T_{\text{extca}(p,3)}$$

$$T_{\text{extca}(p+1,2,\text{nlxca}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extca}(p,2,\text{nlxca}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centroca}(p,2,\text{nlxca}-1)} - T_{\text{extca}(p,2,\text{nlxca}-1)}}{R_{\text{tcondextca}(p,2,\text{nlxca}-1)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,3,\text{nlxca})} - T_{\text{extca}(p,2,\text{nlxca}-1)}}{R_{\text{lextsolidca}(p,2,\text{nlxca}-1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextca}(p,2,\text{nlxca}-1)} - T_{\text{extca}(p,2,\text{nlxca}-1)}}{R_{\text{tconvambiente}(p,2,\text{nlxca}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{extca}(p,1,\text{nlxca}-2)} - T_{\text{extca}(p,2,\text{nlxca}-1)}}{R_{\text{lextsolidca}(p,1,\text{nlxca}-2)}} + T_{\text{extca}(p,2,\text{nlxca}-1)}$$

$$T_{\text{extca}(p+1,\text{nlxca})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extca}(p,\text{nlxca})}} \left( \frac{T_{\text{centroca}(p,\text{nlxca})} - T_{\text{extca}(p,\text{nlxca})}}{R_{\text{tcondextca}(p,\text{nlxca})}} + \frac{T_{\text{extintcaex}(p,1)} - T_{\text{extca}(p,\text{nlxca})}}{R_{\text{lextsolidca}(p,\text{nlxca})}} + \frac{T_{\text{ambienteextca}(p,\text{nlxca})} - T_{\text{extca}(p,\text{nlxca})}}{R_{\text{tconvambiente}(p,\text{nlxca})}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{extca}(p,\text{nlxca}-1)} - T_{\text{extca}(p,\text{nlxca})}}{R_{\text{lextsolidca}(p,\text{nlxca}-1)}} + T_{\text{extca}(p,\text{nlxca})}$$

## INTERCONEXIÓN CALENTADOR CILINDRO DE EXPANSIÓN.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{intintcaex}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcaex}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{fintcaex}(p,1)} - T_{\text{intintcaex}(p,1)}}{R_{\text{fintcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,2)} - T_{\text{intintcaex}(p,1)}}{R_{\text{linsolidointcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,1)} - T_{\text{intintcaex}(p,1)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{intca}(p,\text{nlxca})} - T_{\text{intintcaex}(p,1)}}{R_{\text{linsolidoca}(p,\text{nlxcaex})}} \right) + T_{\text{intintcaex}(p,1)}$$

$$T_{\text{intintcaex}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcaex}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{fintcaex}(p,2)} - T_{\text{intintcaex}(p,2)}}{R_{\text{fintcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,3)} - T_{\text{intintcaex}(p,2)}}{R_{\text{linsolidointcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,2)} - T_{\text{intintcaex}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,1)} - T_{\text{intintcaex}(p,2)}}{R_{\text{linsolidoca}(p,1)}} \right) + T_{\text{intintcaex}(p,2)}$$

$$T_{\text{intintcaex}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcaex}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{fintcaex}(p,3)} - T_{\text{intintcaex}(p,3)}}{R_{\text{fintcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,4)} - T_{\text{intintcaex}(p,3)}}{R_{\text{linsolidointcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,3)} - T_{\text{intintcaex}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,2)} - T_{\text{intintcaex}(p,3)}}{R_{\text{linsolidoca}(p,2)}} \right) + T_{\text{intintcaex}(p,3)}$$

$$T_{\text{intintcaex}(p+1,2:\text{nlxintcaex}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} \left( \frac{T_{\text{fintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{intintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{fintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,3:\text{nlxintcaex})} - T_{\text{intintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{linsolidointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} \right) +$$

$$\frac{T_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{intintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,1:\text{nlxintcaex}-2)} - T_{\text{intintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{linsolidoca}(p,1:\text{nlxintcaex}-2)}} \right) + T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}$$

$$T_{\text{intintcaex}(p+1,\text{nlxintcaex})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} \left( \frac{T_{\text{fintcaex}(p,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{fintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} + \frac{T_{\text{intcex}(p,1)} - T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{lntsolidocex}(p,1)}} + \right. \\ \left. \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} + \frac{T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{lntsolidocaex}(p,\text{nlxintcaex}-1)}} \right) + T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}$$

### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{\text{centrointcaex}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcaex}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intintcaex}(p,1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,1)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,2)} - T_{\text{centrointcaex}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintcaex}(p,1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,1)}}{R_{\text{tcondextintcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centroca}(p,\text{nlxca})} - T_{\text{centrointcaex}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosoIdoca}(p,\text{nlxca})}} \right) \\ + T_{\text{centrointcaex}(p,1)}$$

$$T_{\text{centrointcaex}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcaex}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intintcaex}(p,2)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,3)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extintcaex}(p,2)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2)}}{R_{\text{tcondextintcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,1)}} \right) \\ + T_{\text{centrointcaex}(p,2)}$$

$$T_{\text{centrointcaex}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcaex}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intintcaex}(p,3)} - T_{\text{centrointcaex}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,4)} - T_{\text{centrointcaex}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extintcaex}(p,3)} - T_{\text{centrointcaex}(p,3)}}{R_{\text{tcondextintcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,2)} - T_{\text{centrointcaex}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,2)}} \right) \\ + T_{\text{centrointcaex}(p,3)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$\begin{aligned}
 T_{\text{centrointcaex}(p+1,2:\text{nlxintcaex}-1)} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,3:\text{nlxintcaex})} - T_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{extintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{tcondextintcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,1:\text{nlxintcaex}-2)} - T_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,1:\text{nlxintcaex}-2)}} \\
 &+ T_{\text{centrointcaex}(p,2:\text{nlxintcaex}-1)} \\
 T_{\text{centrointcaex}(p+1,\text{nlxintcaex})} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} \left( \frac{T_{\text{intintcaex}(p,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} + \frac{T_{\text{centroex}(p,1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{extintcaex}(p,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{tcondextintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}}{R_{\text{lcentrosoIdointcaex}(p,\text{nlxintcaex}-1)}} \\
 &+ T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}
 \end{aligned}$$

**TEMPERATURAS EXTERIORES.**

$$T_{\text{ext intcaex}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcaex}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,1)} - T_{\text{ext intcaex}(p,1)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,2)} - T_{\text{ext intcaex}(p,1)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintcaex}(p,1)} - T_{\text{ext intcaex}(p,1)}}{R_{\text{tconvanbienteintcaex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extca}(p,\text{nlxca})} - T_{\text{ext intcaex}(p,1)}}{R_{\text{lexsolidoca}(p,\text{nlxca})}} \right) + T_{\text{ext intcaex}(p,1)}$$

$$T_{\text{ext intcaex}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcaex}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,2)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,3)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintcaex}(p,2)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2)}}{R_{\text{tconvanbienteintcaex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,1)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,1)}} \right) + T_{\text{ext intcaex}(p,2)}$$

$$T_{\text{ext intcaex}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcaex}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,3)} - T_{\text{ext intcaex}(p,3)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,4)} - T_{\text{ext intcaex}(p,3)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,4)}} + \frac{T_{\text{ambienteextintcaex}(p,3)} - T_{\text{ext intcaex}(p,3)}}{R_{\text{tconvanbienteintcaex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,2)} - T_{\text{ext intcaex}(p,3)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,2)}} \right) + T_{\text{ext intcaex}(p,3)}$$

$$T_{\text{ext intcaex}(p+1,2,\text{nlxintcaex}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext intcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{tcondintintcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,3,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{ext intcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{ambienteextintcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{tconvanbienteintcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}} + \frac{T_{\text{ext intcaex}(p,1,\text{nlxintcaex}-2)} - T_{\text{ext intcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}}{R_{\text{lexsolidointcaex}(p,1,\text{nlxintcaex}-2)}} + T_{\text{ext intcaex}(p,2,\text{nlxintcaex}-1)}$$

$$T_{\text{ext int caex}(p+1, \text{nlxint caex})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex})}} \left( \frac{T_{\text{centroint caex}(p, \text{nlxint caex})} - T_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex})}}{R_{\text{tcondintint caex}(p, \text{nlxint caex})}} + \frac{T_{\text{extcex}(p, 1)} - T_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex})}}{R_{\text{lextsolidoint caex}(p, \text{nlxint caex})}} \right) + \frac{T_{\text{ambienteext int caex}(p, \text{nlxint caex})} - T_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex})}}{R_{\text{tconvambienteint caex}(p, \text{nlxint caex})}} + \frac{T_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex}-1)} - T_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex})}}{R_{\text{lextsolidoint caex}(p, \text{nlxint caex}-1)}} + T_{\text{ext int caex}(p, \text{nlxint caex})}$$

## CILINDRO DE EXPANSIÓN.

### TEMPERATURAS INTERIORES.

$$T_{\text{int cex}(p+1, 1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{int cex}(p, 1)}} \left( \frac{T_{\text{int cex}(p, 2)} - T_{\text{int cex}(p, 1)}}{R_{\text{lint solidocex}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p, 1)} - T_{\text{int cex}(p, 1)}}{R_{\text{tcondint cex}(p, 1)}} + \frac{T_{\text{int int caex}(p, \text{nlx int caex})} - T_{\text{int cex}(p, 1)}}{R_{\text{lint solidoint caex}(p, \text{nlx int caex})}} \right) + T_{\text{int cex}(p, 1)}$$

$$C_{\text{intcex}(p, 1)} = \rho_{\text{intcex}(p, 1)} c_{\text{intcex}(p, 1)} \Delta V_{\text{intcex}(p, 1)}$$

$$T_{\text{intcex}(p+1, 2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcex}(p, 2)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p, 3)} - T_{\text{intcex}(p, 2)}}{R_{\text{lint solidocex}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p, 2)} - T_{\text{intcex}(p, 2)}}{R_{\text{tcondintcex}(p, 2)}} + \frac{T_{\text{intcex}(p, 1)} - T_{\text{intcex}(p, 2)}}{R_{\text{lint solidocex}(p, 1)}} \right) + T_{\text{intcex}(p, 2)}$$

$$T_{\text{intcex}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intcex}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,4)} - T_{\text{intcex}(p,3)}}{R_{\text{lntsolidocex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p,3)} - T_{\text{intcex}(p,3)}}{R_{\text{tcondintcex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{intcex}(p,2)} - T_{\text{intcex}(p,3)}}{R_{\text{lntsolidocex}(p,2)}} \right) + T_{\text{intcex}(p,3)}$$

$$T_{\text{intcex}(p+1,2:\text{nlxcex}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intco}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,3:\text{nlxcex})} - T_{\text{intcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{lntsolidocex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p,2:\text{nlxcex}-1)} - T_{\text{intcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{tcondintcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} + \frac{T_{\text{intcex}(p,1:\text{nlxcex}-2)} - T_{\text{intcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{lntsolidocex}(p,1:\text{nlxcex}-2)}} \right) + T_{\text{intcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}$$

$$T_{\text{intcex}(p+1,\text{nlxcex})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{intco}(p,\text{nlxcex})}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,\text{nlxcex})} - T_{\text{intcex}(p,\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{lntsolidocex}(p,\text{nlxcex}-1)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p,\text{nlxcex})} - T_{\text{intcex}(p,\text{nlxcex})}}{R_{\text{tcondintcex}(p,\text{nlxcex})}} \right) + T_{\text{intcex}(p,\text{nlxcex})}$$

### TEMPERATURAS CENTRALES.

$$T_{\text{centrocex}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocex}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,1)} - T_{\text{centrocex}(p,1)}}{R_{\text{tcondintcex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p,2)} - T_{\text{centrocex}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosolidocex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,1)} - T_{\text{centrocex}(p,1)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{centrointcaex}(p,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{centrocex}(p,1)}}{R_{\text{lcentrosolidointcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} \right) + T_{\text{centrocex}(p,1)}$$

$$T_{\text{centrocex}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centrocex}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,2)} - T_{\text{centrocex}(p,2)}}{R_{\text{tcondintcex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p,3)} - T_{\text{centrocex}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosolidocex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,2)} - T_{\text{centrocex}(p,2)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{centrocex}(p,1)} - T_{\text{centrocex}(p,2)}}{R_{\text{lcentrosolidocex}(p,1)}} \right) + T_{\text{centrocex}(p,2)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$T_{\text{centroex}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroex}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,3)} - T_{\text{centroex}(p,3)}}{R_{\text{tcondintcex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centroex}(p,4)} - T_{\text{centroex}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdocex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,3)} - T_{\text{centroex}(p,3)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{centroex}(p,2)} - T_{\text{centroex}(p,3)}}{R_{\text{lcentrosoIdocex}(p,2)}} \right) + T_{\text{centroex}(p,3)}$$

$$T_{\text{centroex}(p+1,2:\text{nlxcex}-1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} \left( \frac{T_{\text{intcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)} - T_{\text{centroex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{tcondintcco}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} + \frac{T_{\text{centroex}(p,3:\text{nlxcex})} - T_{\text{centroco}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdocex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,2:\text{nlxcex}-1)} - T_{\text{centroex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centroex}(p,1:\text{nlxcex}-2)} - T_{\text{centroex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}}{R_{\text{lcentrosoIdocex}(p,1:\text{nlxcex}-2)}} + T_{\text{centroex}(p,2:\text{nlxcex}-1)}$$

$$T_{\text{centroex}(p+1,\text{nlxcex})} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{centroex}(p,\text{nlxcex})}} \left( \frac{T_{\text{intcco}(p,\text{nlxcex})} - T_{\text{centroex}(p,\text{nlxcex})}}{R_{\text{tcondintcco}(p,\text{nlxcex})}} + \frac{T_{\text{centrointcoen}(p,1)} - T_{\text{centroco}(p,\text{nlxcex})}}{R_{\text{lcentrosoIdocco}(p,\text{nlxcex})}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,\text{nlxcex})} - T_{\text{centroco}(p,\text{nlxcex})}}{R_{\text{tcondextcco}(p,\text{nlxcex})}} \right)$$

$$+ \frac{T_{\text{centroco}(p,\text{nlxcex}-1)} - T_{\text{centroco}(p,\text{nlxcex})}}{R_{\text{lcentrosoIdoco}(p,1:\text{nlxcex}-1)}} + T_{\text{centroco}(p,\text{nlxcex})}$$

**TEMPERATURAS EXTERIORES.**

$$T_{\text{extcex}(p+1,1)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcex}(p,1)}} \left( \frac{T_{\text{centrocex}(p,1)} - T_{\text{extcex}(p,1)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,2)} - T_{\text{extcex}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidæex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcex}(p,1)} - T_{\text{extcex}(p,1)}}{R_{\text{tconvambienteextcex}(p,1)}} + \frac{T_{\text{extintcaex}(p,\text{nlxintcaex})} - T_{\text{extcex}(p,1)}}{R_{\text{lextsolidæintcaex}(p,\text{nlxintcaex})}} \right) + T_{\text{extcco}(p,1)}$$

$$T_{\text{extcex}(p+1,2)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcex}(p,2)}} \left( \frac{T_{\text{centrocex}(p,2)} - T_{\text{extcex}(p,2)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,3)} - T_{\text{extcex}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidæex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcex}(p,2)} - T_{\text{extcex}(p,2)}}{R_{\text{tconvambienteextcex}(p,2)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,1)} - T_{\text{extcex}(p,2)}}{R_{\text{lextsolidæex}(p,1)}} \right) + T_{\text{extcex}(p,2)}$$

$$T_{\text{extcex}(p+1,3)} = \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcex}(p,3)}} \left( \frac{T_{\text{centrocex}(p,3)} - T_{\text{extcex}(p,3)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,4)} - T_{\text{extcex}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidæex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcex}(p,3)} - T_{\text{extcex}(p,3)}}{R_{\text{tconvambienteextcex}(p,3)}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,2)} - T_{\text{extcex}(p,3)}}{R_{\text{lextsolidæex}(p,2)}} \right) + T_{\text{extcex}(p,3)}$$

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE UN MODELO NODAL APLICADO A MOTORES STIRLING.  
 CAPITULO V PROCESO DE CÁLCULO.

$$\begin{aligned}
 T_{\text{extcex}(p+1,2n\text{lxcco}-1)} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcex}(p,2n\text{lxcco}-1)}} \left( \frac{T_{\text{centrocex}(p,2n\text{lxccx}-1)} - T_{\text{extcco}(p,2n\text{lxccx}-1)}}{R_{\text{tcondextcex}(p,2n\text{lxcco}-1)}} + \frac{T_{\text{extcco}(p,3n\text{lxccx})} - T_{\text{extcco}(p,2n\text{lxccx}-1)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{ex}(p,2n\text{lxccx}-1)}} + \frac{T_{\text{ambienteextcex}(p,2n\text{lxccx}-1)} - T_{\text{extcex}(p,2n\text{lxccx}-1)}}{R_{\text{tconvambienteextcex}(p,2n\text{lxccx}-1)}} \right) \\
 &+ \frac{T_{\text{extcco}(p,1n\text{lxccx}-2)} - T_{\text{extcex}(p,2n\text{lxccx}-1)}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{ex}(p,1n\text{lxccx}-2)}} + T_{\text{extcco}(p,2n\text{lxcco}-1)} \\
 T_{\text{extcex}(p+1,n\text{lxccx})} &= \frac{\Delta\tau}{C_{\text{extcco}(p,n\text{lxccx})}} \left( \frac{T_{\text{centrocex}(p,n\text{lxccx})} - T_{\text{extcex}(p,n\text{lxccx})}}{R_{\text{tcondextcex}(p,n\text{lxccx})}} + \frac{T_{\text{ambienteextcex}(p,n\text{lxccx})} - T_{\text{extcex}(p,n\text{lxccx})}}{R_{\text{tconvambienteextcex}(p,n\text{lxccx})}} + \frac{T_{\text{extcex}(p,n\text{lxccx}-1)} - T_{\text{extcex}(p,n\text{lxccx})}}{R_{\text{lextsolid}\alpha\text{ex}(p,n\text{lxccx}-1)}} \right) + T_{\text{extcex}(p,n\text{lxccx})}
 \end{aligned}$$

## BALANCE DE MATERIA Y DE ENERGÍA.

Al combinar los balances de materia y de energía tienen como incógnitas la energía interna final y la masa final, pero se dispone de otras relaciones, como son la relación de la masa final con el volumen final y con su volumen específico, y este con la energía interna específica está relacionado con el postulado de estado a una presión especificada.

El volumen de control a considerar ahora no es el del sistema (la interconexión del volumen de desplazamiento compresión, cilindro de compresión, interconexión compresión enfriador, enfriador, interconexión enfriador regenerador, regenerador, interconexión regenerador calentador, calentador, cilindro de expansión, volumen de desplazamiento de expansión, fluido de trabajo y ambiente exterior) de estudio en la red nodal, en donde se ha estudiado la transferencia de calor al sistema, sino el de los volúmenes de desplazamiento, tanto de compresión como de expansión.

El volumen de control lo seleccionamos de forma que sea en las fronteras del dispositivo cilindro-émbolo.

Las expresiones integradas de las ecuaciones de la conservación de la energía y de la masa será:

$$\Delta m_{vc} = m_{fco} - m_{ico} = m_{\text{sistema interconexión}}$$

$$\Delta E_{vc} = E_{fco} - E_{ico} = Q_{co} + W_{co} + \int_{t_i \rightarrow t_f} \dot{m}_{\text{sistema interconexión}} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_{\text{sistema interconexión}} dt$$

En este volumen de control el calor transferido es transferido mediante su nodo adjunto, y se considera que los efectos de la energía cinética y potencial son despreciables.

En estas condiciones el balance de energía se reduce a:

$$\Delta U_{vc} = W_{\text{comp/exp}} + \int_{t_i \rightarrow t_f} \dot{m}_{\text{sistema interconexión}} h_{\text{sistema interconexión}} dt$$

Siendo el  $W_{\text{comp/exp}} = P_{fco} V_{fco} - P_{ico} V_{ico}$

Que considerando el estado estacionario para cada intervalo de tiempo se modela el proceso como flujo uniforme en ese intervalo de tiempo, por lo que el balance de energía quedará:

$$m_{fco} u_{fco} - m_{ico} u_{ico} = P_{fco} V_{fco} - P_{ico} V_{ico} + h_{\text{sistema interconexión}} m_{\text{sistema interconexión}}$$

En esta ecuación desconocemos  $m_{\text{sistema interconexión}}$ ,  $P_{fco}$ , y  $m_{fco}$ , como las masas están relacionadas por la ecuación:

$$m_{fco} - m_{ico} = m_{sistema\ interconexión}$$

Y por otra parte tenemos:

$$V_{fco} = m_{fco} v_{fco}$$

Al conocer la temperatura en el volumen de desplazamiento del cilindro de compresión, conoceremos el volumen específico  $v_{fco}$ , estando este relacionado con el volumen final  $V_{fco}$  mediante la relación:

$$V_{fco} = m_{fco} v_{fco}$$

Por otra parte  $u_{fco}$  también es conocida ya que la temperatura es dato al igual que para hallar  $v_f$  ya que esta temperatura ha sido obtenida mediante la transferencia de calor.

Introduciendo P de la ecuación del gas y la expresión anterior en la expresión nos queda:

$$PV=MR(T+kP)$$

$$m_{fco} u_{fco} - m_{ico} u_{ico} = \frac{m_{fco} RT_{co}}{m_{fco} v_{fco} - m_{fco} Rk} m_{fco} v_{fco} - P_{ico} V_{ico} + h_{sistema\ interconexión} m_{sistema\ interconexión}$$

Con la masa estimada en el volumen de desplazamiento, estimamos la presión y con ésta, el desplazamiento del pistón, ya que tenemos el volumen final, la temperatura y la masa del fluido de trabajo.

Dejando los subíndices f, e i, que indican final e inicial respectivamente, tenemos, para encontrar el algoritmo de cálculo:

$$-P_i(V_f - V_i) + h_L(m_f - m_i) = m_f c_v T_f - m_i c_v T_i$$

Se supone que mediante el émbolo se mantiene el gas a presión P contante y  $h_L$ , es la entalpía del fluido que entra en el volumen de desplazamiento desde la interconexión del cilindro al enfriador o al calentador, dependiendo si se considera el espacio de compresión o bien el de expansión respectivamente.

El algoritmo de cálculo nos queda: