

4. INTRODUCCIÓN.

En el caso del calentador, el calor transferido al fluido de trabajo puede ser producido por cualquier fuente externa a través del intercambiador de calor, éste se supone como un banco de tubos en el cual por su interior circula el fluido de trabajo para su calentamiento y en flujo cruzado a través del haz de tubos circula otro fluido el cual puede ser los gases que salen de una cámara de combustión, por ejemplo, el cuál se desplaza de forma forzada y conducida en la dirección normal al haz de tubos para transferir calor al fluido de trabajo y de tal forma que pueda formar una corriente mezclada, mientras que el fluido de trabajo está en el haz de tubos dentro del calentador disponiéndose de tal forma que no se pueda mezclar con él mismo durante el proceso de transferencia de calor.

Al disponer el fluido de trabajo de forma no mezclada, se puede dar una variación térmica tanto en la dirección normal al fluido como en la dirección de éste. Si se considerase mezclado, la temperatura del fluido se igualará en la dirección normal a la corriente. Esto afecta al coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador ya que dependerá de las temperaturas de los fluidos, el de trabajo y el procedente de los gases de combustión.

El fluido de trabajo se calienta al pasar por el intercambiador lo que aumenta su presión realizando trabajo hacia el exterior mediante el émbolo que se encuentra conectado al sistema biela-manivela, lo que hará girar a ésta.

Por la parte del émbolo a la que se encuentra unida el vástago se supone que está en contacto con la atmósfera y que además de la fuerza que ejerce ésta sobre el fluido de trabajo también se encuentra la debida al rozamiento producida por la fricción entre el émbolo que se desliza y la superficie del cilindro que encierra al gas, además de la fuerza móvil que es transmitida por el vástago.

El fluido de trabajo al expandirse pasará también al regenerador y aumentará la temperatura de éste. El regenerador se considera como una malla fina de tubos con la que el fluido de trabajo intercambiará calor, el fluido de trabajo procedente del calentador se enfriará y el procedente del enfriador se calentará a través de la fina malla de tubos que forma el regenerador.

Finalmente el fluido de trabajo se enfría en el enfriador, el cual se considera con una distribución de flujo similar a del calentador, siendo el fluido de intercambio el agua para reducir la temperatura del fluido de trabajo por ejemplo.

En resumen, al sistema se le suministra calor a través del calentador y cede calor a través del enfriador.

4.1.- SUPOSICIONES GENERALES

- Se establece un ciclo termodinámico Stirling.
- La temperatura del fluido de trabajo cambia con la posición y el tiempo.
- Se considera una temperatura superficial exterior constante tanto en el calentador, como en el enfriador.
- El flujo másico del fluido de trabajo es variable con la posición y el tiempo.
- Se considera una fuerza de empuje móvil sobre el fluido de trabajo, esta fuerza ejerce una presión en el fluido de trabajo.
- No se considera la transferencia de calor por radiación entre la superficie que confina al fluido de trabajo y el fluido de trabajo.
- Se parten de temperaturas iniciales dadas. Es un ciclo, las propiedades en el estado inicial y final son las mismas.
- Se divide tanto el sólido como el fluido de trabajo en celdas centradas en los puntos nodales.

- En cada nodo existe una capacitancia asociada a cada nodo y representa la capacidad térmica de la celda asociada.
- Los espaciamentos son desiguales ya que las dimensiones de los distintos elementos que componen el sistema de estudio (calentador, regenerador, enfriador y espacios de compresión y expansión) no son iguales.
- Las divisiones tanto en el sólido como en el fluido de trabajo son las siguientes preestablecidas. Considerándose las siguientes partes:

Espacio de compresión: 1

Interconexión espacio de compresión-enfriador: n partes.

Enfriador: n partes.

Interconexión enfriador-regenerador: n partes.

Regenerador: n partes.

Interconexión regenerador-calentador: n partes.

Calentador: n partes.

Interconexión calentador-espacio de expansión: n partes.

Espacio de expansión: 1

Donde n partes indica el número de partes en que se divide el subsistema objeto de estudio.

- Se supone que la dirección de la conducción de calor es hacia el nodo que se está considerando y aplicamos el balance de energía.
- Los cilindros de compresión y expansión se consideran adiabáticos.
- En el estado inicial se conocen:

Temperatura ambiental.

Coefficiente de convección ambiental.

Temperaturas superficiales de las superficies exteriores del enfriador y calentador.

Coeficiente de convección de las superficies exteriores con el fluido de intercambio.

Longitudes y diámetros, parámetros físicos de los distintos subsistemas que componen el modelo de estudio.

Número de nodos de los distintos subsistemas, longitudinalmente.

Material de los distintos subsistemas.

Porosidad del regenerador.

Material del regenerador.

Número de revoluciones por minuto.

Longitudes de biela y manivela.

Presión media efectiva.

4.2. MÉTODO DE RESOLUCIÓN.

Como método para el desarrollo de los cálculos se establece el de formulación de la resistencia y capacidad térmica. Ésta última no se incluye en las figuras con el fin de no sobrecargar las imágenes de la misma.

Cada elemento de volumen puede verse como un nodo relacionado con los adjuntos mediante resistencias térmicas, donde la transferencia neta de energía al elemento de volumen se establece mediante el aumento de la energía interna de dicho elemento en el nodo respectivo, así a estos elementos de volumen se les asocia un comportamiento con capacidad global y su interacción con el resto de los elementos determina su comportamiento durante el proceso transitorio. donde cada elemento de volumen de control

Para cada volumen de control en el sólido consideramos:

$$\sum_j \frac{T_j - T_i}{R_{i,j}} + q_i = \frac{C_i}{\delta\tau} (T_i - T_i), \quad R_{i,j} = \frac{\delta_{i,j}}{KA_{K_{i,j}}}, \text{ para conducción.}$$

$$C_i = V_i \rho c_p \qquad R_{i,j} = \frac{1}{h_{i,j} A_{c_{i,j}}}, \text{ para convección}$$

q_i = Calor añadido al nodo por medios distintos al de convección, como es la radiación la cual, no se considera en este estudio. Si bien se puede considerar como:

$$q_{\text{rad},i,j} = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{1}{h_r A}} \qquad h_{r,i,j} = \varepsilon \sigma (T_s + T_\infty)(T_s^2 + T_\infty^2)$$

$\delta_{i,j}$ = 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.

ε = Emisividad.

σ = Constante de Stefan-Boltzmann.

V_i = Volumen de control de nodo i.

C_p = Calor específico del nodo i.

ρ = Densidad del nodo i.