

TUTORIAL PROPIEDADES MATERIALES

Ya se habló sobre transmisión de calor en otro de los tutoriales de la sección (8/11/2015). En esta fecha nuestra entrada se relaciona notablemente con aquella pues se analizan más en detalle las propiedades clave de los materiales para dicha transmisión de calor.

Para el caso de la conducción estas propiedades son la conductividad térmica, densidad y calor específico.

Para el caso de la convección además de aquellas se ha de considerar la viscosidad, y el coeficiente de dilatación térmica del material.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES

La transmisión de calor es un proceso de transmisión de energía por movimiento molecular; así, la conductividad es la propiedad física que mide la facilidad con la que una sustancia puede realizar esta transmisión.

Esta conductividad depende de:

- Composición química de los componentes del material.
- Del estado de agregación (gaseosa, líquida, sólida) en el que se encuentre la materia.
- De su estructura cristalina.
- Temperatura y presión.
- Homogeneidad del material.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de esta conductividad:

SUSTANCIA	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA W/m-°C
Gases	
Freón (°C , 1 atm)	0,083
Aire (°C, 1 atm)	0,0241
Líquidos	
Glicerina pura (° C)	0,105
Agua (líquido saturado, 0°C)	0,282
Sólidos	
Vidrio, placa (20 °C)	0,76
Hielo (0° C)	2,22
Acero Inoxidable (18 % Cr, 8 % Ni) (0 ° C)	16,3
Plata, pura (0° C)	417

Generalizando se puede indicar que los líquidos son mejores conductores que los gases y los sólidos mejores que los líquidos. Las razones son que la transmisión de energía por choques moleculares depende fundamentalmente de las distancias moleculares.

Ahora bien en el caso de sólidos cabe indicar otras circunstancias como son una mejor conductividad con una mayor ordenación molecular (estructuras cristalinas mejores transmisores), y la importancia del carácter metálico (mejor conductividad en metales que en no metales).

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN SÓLIDOS

Existe un gran número de factores que influyen en su conductividad, pero de manera sintetizada podrían indicarse 3:

- Composición Química.
- Cambios de Fase
- Temperatura

Si se considera un material determinado solo el tercero resulta de relevancia, siendo la dependencia directa, puesto que el recorrido medio de las moléculas tiende a disminuir a medida que aumenta esta. Esta dependencia puede cuantificarse en la siguiente ley:

$$k = k_0(1 + bt), \text{ donde } k_0 \text{ es la conductividad a } 0^\circ\text{C}, b \text{ constante, y } t \text{ temperatura absoluta}$$

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS LÍQUIDOS

De manera general se puede decir que los líquidos muestran conductividades insensibles a la presión, puesto que es habitual encontrarlos en estado de saturación (cerca de la presión crítica). De nuevo es la temperatura el principal factor a considerar en líquidos.

A diferencia de los sólidos, en la mayoría de los líquidos la conductividad térmica disminuye al aumentar la temperatura, excepto en el agua; elemento que, como es sabido, es usado en muchos fenómenos de transmisión de calor a alta temperatura (centrales nucleares).

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS GASES

Al igual que en los líquidos relativizando su comportamiento en el entorno de la atmosférica, no es la presión un factor de relevancia para su conductividad. En este caso son la temperatura (dependencia directa) y el peso molecular (inversa) los factores de relevancia para la conductividad térmica.

Dentro de la industria, el vapor del agua y el aire son elementos de amplio uso en fenómenos térmicos. De ellos se destacaría el comportamiento irregular del vapor de agua, en este caso con fuerte dependencia de la conductividad frente a la presión y la temperatura.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES NO HOMOGÉNEOS

Es habitual encontrar en ingeniería materiales con composición no homogénea; en estos casos algunos materiales se presentan conductividades anisótropas (estructura de fibras), o bien por diferentes sustancias, requiriendo un estudio particularizado.

Por su importancia clasificaremos estos en:

- Materiales aislantes. Su objeto es impedir el flujo de calor entre recinto y entorno. Pueden ser de baja (corcho, vidrio, ...) o alta temperatura (magnesia, tierras, ...). En general su conductividad depende de la densidad y temperatura, en dependencia directa. Su baja conductividad está justificada por la existencia de poros de aires o gases, más que por su propia estructura química.
- Materiales refractarios: Se trata de materiales diseñados para soportar elevadas temperaturas sin deterioro físico (ladrillos refractarios por ejemplo). El estudio de su comportamiento térmico indica una conductividad dependiente de su densidad aparente y de la temperatura a la que se somete el ladrillo.

CALOR ESPECÍFICO

Propiedad que explica la variación de temperatura de un material en función de la cantidad de calor en él almacenada. Al igual que en el caso anterior, por una amplia operación a presiones constantes, se habla de calor específico como una propiedad a presión constante.

Sus unidades son $\text{kJ}/\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$, y se usa asociado a una sustancia conocida su presión y temperatura.

CALORES ESPECÍFICOS DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

De manera general se puede hablar de independencia de la presión, salvo en presiones muy elevadas; en relación a la temperatura para moderadas variaciones, existe poca dependencia del calor específico en este tipo de sustancias.

Por esa razón es habitual usar en muchos casos los valores del calor específico a temperatura de 20° C.

CALORES ESPECÍFICOS DE LOS GASES

Existe una mayor influencia de la temperatura en el calor específico que en sólidos o líquidos; al igual que en estos, tampoco se puede hablar de dependencia de la presión salvo para presiones muy elevadas. En general cuando más elevada sea la temperatura, mayor puede ser la influencia de la presión.

Destaca el comportamiento anómalo del vapor de agua, en el que sí tiene relevancia tanto la presión como la temperatura.

DIFUSIVIDAD TÉRMICA

Se define la difusividad térmica como:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}, k \text{ conductividad térmica, } c_p \text{ calor específico}$$

Sus unidades son $\frac{m^2}{sg}$, y relaciona las dos propiedades vistas hasta ahora, incluyéndose la densidad que como se sabe puede variar mucho con la presión en el caso de los gases. En el caso de los líquidos y sólidos se suelen usar tablas que obvian el factor presión, mientras que en el caso de los gases se ha de emplear la fórmula para el cálculo de la difusividad térmica a partir de conductividades, calores específicos y densidades.

COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA

Parte del proceso de transmisión de calor convectivo se justifica por la existencia de la gravedad actuando sobre las diferentes regiones de un fluido. Estas regiones se han formado por dilatación térmica diferencial, al existir diferencias de temperatura dentro del fluido.

Este comportamiento es delimitado por la propiedad coeficiente de dilatación térmica que se define como:

$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)_p = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_p$$

Siendo $v = \frac{1}{\rho}$ el volumen específico. Es decir se trata de una variable que estudia el comportamiento relacional de densidad, presión y temperatura.

COEFICIENTE DE DILATACIÓN EN GASES

Para su cálculo es necesario conocer la ecuación térmica de estado del gas, que relaciones $\rho = f(P, T)$ conocidas a partir de la termodinámica o empleando la ecuación en forma de elementos finitos.

En los casos en los que $\rho = \frac{P}{RT}$ (gas ideal) se obtiene $\beta = \frac{1}{T}$.

COEFICIENTE DE DILATACIÓN DE LOS LÍQUIDOS

Se trata de un proceso más complejo, pues no se conoce su ecuación de estado generalizada. Por ello se admite la simplificación de considerar su dependencia exclusiva frente a la temperatura:

$$\beta \cong 0,07760 * (T_c - T)^{-0,641}$$

Siendo T_c la temperatura crítica y T temperaturas ambas absolutas.

VISCOSIDAD DE LOS FLUIDOS

Propiedad que cuantifica la resistencia a la deformación. En el caso de sólidos su resistencia es proporcional a la deformación, mientras que en líquidos y gases (fluidos) esta es proporcional a la velocidad de la misma.

Este gradiente de velocidades existe siempre en fluidos en mecanismos de convección debido al movimiento relativo entre sus distintas partes. Ante este movimiento se oponen unas fuerzas de resistencia, que es necesario delimitar para el estudio de ciertos fenómenos de transmisión calor.

Para ello se precisa expresar las fuerzas de resistencia en función del campo velocidad del fluido, fundamentalmente la resistencia al esfuerzo cortante que es la delimitada por la viscosidad.

VISCOSIDAD DINÁMICA

Cuantifica la transmisión del impulso a través de una capa S de fluido, debido al intercambio molecular entre las capas del fluido a ambos lados de S, según la dirección normal y. El valor del esfuerzo cortante τ , producido por el movimiento relativo generado por estos impulsos es:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \text{ siendo } \mu \text{ coeficiente de viscosidad dinámica y } v \text{ la velocidad del fluido}$$

Es decir, a medida que una molécula excitada térmicamente atraviese un plano o capa S transmitirá una cantidad de movimiento proporcional a la velocidad del fluido entre el punto desde el que la molécula inicia su desplazamiento hasta en el que choca con otra. De acuerdo con la ley de Newton esta variación de cantidad de movimiento debe ir acompañada de una fuerza resultante en la misma dirección, su resistencia viscosa a la deformación.

Sus unidades son $N \cdot s / m^2$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Dado que las fuerzas de viscosidad actúan directamente sobre un fluido y que la inercia de éste se opone a dichas fuerzas, la relación entre ambas fuerzas representa un parámetro de importancia para el análisis del movimiento fluido. Se trata de la viscosidad cinemática definida como:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Sus unidades son m^2 / s

Líquidos

Se ha comprobado experimentalmente que la viscosidad dinámica y cinemática depende fundamentalmente de la temperatura (y en menor grado de la presión).

Gases

La viscosidad dinámica de los gases es algo más pequeña que la de los líquidos, mientras que la cinemática puede llegar a ser mayor por su baja densidad.

Sin embargo, al igual que en aquellos es la temperatura el principal factor de dependencia de la viscosidad dinámica salvo en casos de altas presiones. Excepción hecha del vapor de agua.

Ahora bien en el caso de la viscosidad cinemática, por la notable influencia de la presión en la densidad de los gases, este factor tiene influencia en los valores de esta viscosidad.

NÚMERO DE PRANDTL

En aquellos casos en los que se analicen fenómenos de transmisión por movimiento de un fluido viscoso y por conducción de calor, es importante valorar la relación entre cinemática y difusividad. Esta relación se cuantifica por el “número de Prandtl”, definido como:

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$$

Dado que ambas variables (viscosidad cinemática, y difusividad térmica) tienen dimensiones de $\frac{(\text{longitud})^2}{\text{tiempo}}$, se trata de un número adimensional.