

UNIDAD III: DILATACIÓN

Dilatación de sólidos. Binomio de dilatación lineal. Interpretación de los fenómenos de dilatación térmica. Esfuerzos desarrollados por la dilatación en una viga. Dilatación Superficial. Dilatación en líquidos. Método para determinar el valor del coeficiente de dilatación cúbica absoluto. Dilatación en gases. Generalización del fenómeno de dilatación. Problemas de aplicación.

INTRODUCCIÓN

Los efectos más comunes que ocasionan las variaciones de temperatura en los cuerpos o sustancias, son los cambios de sus dimensiones y los cambios de fase. Nos referiremos a los cambios de dimensiones de los cuerpos sin que se produzcan cambios de fase.

Llamamos dilatación al cambio de dimensiones que experimentan los sólidos, líquidos y gases cuando se varía la temperatura, permaneciendo la presión constante. La mayoría de los sistemas aumentan sus dimensiones cuando se aumenta la temperatura.

DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS

La dilatación es el cambio de cualquier dimensión lineal del sólido tal como su longitud, alto o ancho, que se produce al aumentar su temperatura. Generalmente se observa la dilatación lineal al tomar un trozo de material en forma de barra o alambre de pequeña sección, sometido a un cambio de temperatura, el aumento que experimentan las otras dimensiones son despreciables frente a la longitud. Si la longitud de esta dimensión lineal es L_0 , a la temperatura t_0 y se aumenta la temperatura a t , como consecuencia de este cambio de temperatura, que llamaremos Δt se aumenta la longitud de la barra o del alambre produciendo un incremento de longitud que simbolizaremos como ΔL .

Experimentalmente se encuentra que el cambio de **longitud** es proporcional al cambio de **temperatura** y la longitud inicial. L_0 . Podemos entonces escribir:

$$\Delta L \propto L_0 \cdot \Delta t \quad \text{o bien que} \quad \Delta L = \alpha_{ot} \cdot L_0 \cdot \Delta t$$

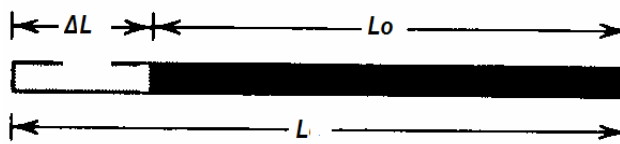


figura 3.1.

Donde α es un coeficiente de proporcionalidad, que denominado “coeficiente de dilatación lineal”, y que es distinto para cada material. Por ejemplo: Si consideramos que el

incremento de temperatura, $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ y la longitud inicial de una cierta pieza, $L_0 = 1 \text{ cm}$ consecuentemente el alargamiento será: $\Delta L = \alpha \cdot 1 \text{ cm} \cdot 1^\circ\text{C}$

Si efectuamos el análisis dimensional, advertimos que las unidades de α , estarán dadas por : $\alpha = \text{cm} / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C} = 1/^\circ\text{C}$ o bien $^\circ\text{C}^{-1}$ (grado $^{-1}$); luego:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \left(\frac{\Delta L}{\Delta t} \right) \quad [3.1]$$

Operativamente, si designamos L_0 a la longitud entre dos puntos de un cuerpo o de una barra a la temperatura de 0°C y L la longitud a la temperatura $t^\circ\text{C}$ podemos escribir que:

$$\Delta L = L - L_0 \quad \text{y} \quad \Delta t = t - 0 = t^\circ\text{C} \quad \text{Luego} \quad L - L_0 = \alpha_{ot} \cdot L_0 \cdot t$$

De donde
$$\alpha_{ot} = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot \frac{1}{t} \quad [3.2]$$

A α_{ot} se le denomina *coeficiente de dilatación lineal* entre las temperaturas 0 y t, su valor, como se expresó anteriormente, es característico de la naturaleza de las sustancias que forma el sólido.

La experiencia demuestra que el coeficiente de **dilatación** lineal depende de la temperatura. Se puede definir el coeficiente de dilatación lineal medio " α_t ", como "el aumento que experimenta la unidad de longitud inicial, que se encuentra a una temperatura t cualquiera, cuando se aumenta en un grado dicha temperatura", por eso este coeficiente de dilatación medio, dependerá del incremento de temperatura. El coeficiente de dilatación lineal medio a una temperatura "t", puede ser deducido a partir de la ecuación [3.1]

$$\alpha_t = \lim_{t_0 \rightarrow t_1} \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{L_t} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t} \Rightarrow \alpha_t = \frac{1}{L_t} \cdot \frac{dL}{dt} \quad [3.3]$$

Donde:

$\alpha_{ot} = f(t)$ *coeficiente de dilatación o expansión lineal*

$\alpha_t = f(\Delta t)$ *coeficiente de dilatación lineal medio a una temperatura t*

Resumiendo:

$$\alpha_{ot} = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot \frac{1}{t_0} \quad \text{y} \quad \alpha_t = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot \frac{1}{t} \quad \text{a presión constante}$$

En general α_t es igual al inverso de la longitud inicial por dL/dt , a presión constante. Donde el cociente diferencial dL/dt , representa la derivada de la longitud con respecto a la

temperatura a $P = \text{cte}$ y α_t será el coeficiente de dilatación lineal real a cualquier temperatura t .

Como la longitud del sólido es función de la temperatura: representando gráficamente dicha función resulta que α_t es el coeficiente angular de la recta tangente a la curva $L = f(t)$ en el punto de abscisa t , dividido por la longitud correspondiente a dicha temperatura, figura 3.2

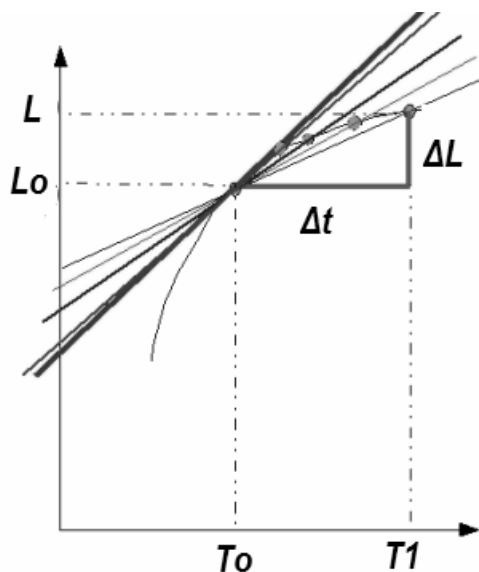


figura 3.2

Estrictamente hablando, como se ha visto, el valor de α depende de temperatura, sin embargo su variación es muy pequeña y ordinariamente despreciable dentro de ciertos límites de temperatura, o intervalos que para ciertos materiales no tienen mayor incidencia.

Si despejamos L de la ecuación [3.2]

$$L - L_0 = \alpha_{ot} \cdot L_0 \cdot t$$

$$L = L_0 + \alpha_{ot} \cdot L_0 \cdot t$$

$$L = L_0 (1 + \alpha_{ot} \cdot t)$$

si la temperatura inicial fuera $t_0 \neq 0^\circ\text{C}$

$$L = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) \tag{3.4}$$

denominándose “Binomio de dilatación lineal” al factor $(1 + \alpha \cdot \Delta t)$ [3.5]

Rescribiendo esta fórmula obtenemos

$$\alpha = \frac{1}{L} \left(\frac{\Delta L}{\Delta T} \right) \tag{3.6}$$

de modo que α , representa el cambio fraccional de la longitud por cada cambio de un grado en la temperatura.

Hablando rigurosamente, el valor de α depende de la, temperatura real y de la temperatura de referencia que se escoja para determinar L . Sin embargo, casi siempre se puede ignorar su variación, comparada con la precisión necesaria en las medidas de la ingeniería. Podemos, con bastante seguridad, suponerla como una constante independiente de la temperatura en un material dado. En la Tabla 1 se presenta un detalle de los valores experimentales del coeficiente de dilatación lineal promedio de sólidos comunes.

Tabla 1: Valores* de α

SUSTANCIA	α °C ⁻¹	SUSTANCIA	α °C ⁻¹
Plomo	29×10^{-6}	Aluminio	23×10^{-6}
Hielo	52×10^{-6}	Bronce	19×10^{-6}
Cuarzo	$0,6 \times 10^{-6}$	Cobre	17×10^{-6}
Hule duro	80×10^{-6}	Hierro	12×10^{-6}
Acero	12×10^{-6}	Latón	19×10^{-6}
Mercurio	182×10^{-6}	Vidrio (común)	9×10^{-6}
Oro	14×10^{-6}	Vidrio (pirex)	3.3×10^{-6}

* En el intervalo de 0°C a 100°C, excepto para el hielo, que es desde - 10°C a 0°C.

En todas las sustancias de la tabla, el cambio en el tamaño consiste en una dilatación al cambiar la temperatura, ya que α es positiva. El orden de la magnitud es alrededor de 1 milímetro por metro de longitud en un intervalo Celsius de 100 grados.

INTERPRETACION DE LOS FENOMENOS DE DILATACION TERMICA

Para comprender la dilatación, es conveniente visualizar el fenómeno a nivel microscópico, la *expansión térmica* de un sólido sugiere un aumento en la separación promedio entre los átomos en el sólido. La curva de energía potencial de átomos contiguos en un sólido cristalino, en función de su separación internuclear, es de trazado asimétrico, como la que se indica en la Figura 3.3. Conforme los átomos se van aproximando, su separación disminuye respecto del valor de equilibrio r_0 , entonces intervienen fuerzas repulsivas intensas y la curva de potencial aumenta rápidamente, recordemos que el valor de dicha fuerza está dado por la expresión: $F = - dU/dr$. Conforme los átomos se alejan, sus

separaciones aumentan respecto del valor de equilibrio y entonces intervienen fuerzas un tanto más débiles y la curva de potencial aumenta de una manera más lenta. Para una energía vibracional dada, la separación de los átomos cambiará periódicamente de un valor mínimo a uno máximo y la separación promedio será mayor que la separación de equilibrio, debido a la naturaleza asimétrica de la curva de energía potencial. Cuando la energía vibracional es mayor aún, la separación promedio será también más grande. El efecto es aumentado por el hecho de que al tomar el promedio temporal del movimiento, se debe tomar en cuenta el mayor tiempo transcurrido en las separaciones extremas (en donde la rapidez vibracional es menor). Debido a que la energía vibracional aumenta conforme lo hace la temperatura, la separación promedio entre los átomos aumenta con la temperatura y el sólido como un todo se *expande*. Recordemos, que la energía potencial molecular, se puede expresar como la suma de las energías cinética media, rotacional y vibracional:

$$E_m = E_{kmed} + E_r + E_v,$$

Donde E_{kmed} , representa la energía cinética media, E_r , la energía rotacional, y E_v la energía vibracional.

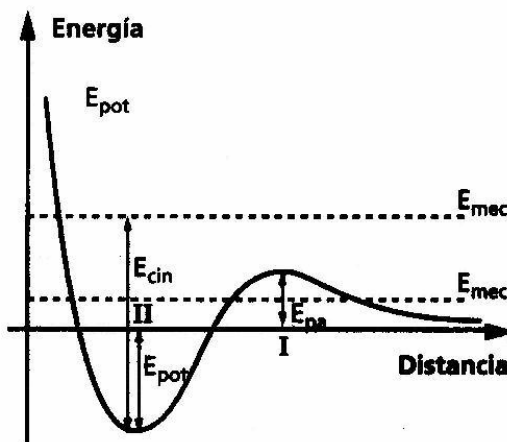


figura 3.3

Debemos hacer notar que si la curva de Energía potencial fuese simétrica en torno a la separación de equilibrio, la separación promedio correspondería a la separación de equilibrio, sin importar que tan grande fuese la amplitud de la vibración. Por lo tanto, la expansión térmica es una consecuencia directa de la desviación de la simetría (es decir, de la asimetría) de la curva de energía potencial característica de los sólidos.

Algunos sólidos cristalinos pueden contraerse, en ciertas regiones de temperatura, conforme la temperatura aumenta. El análisis anterior sigue siendo válido sólo si se supone que únicamente existen modos de vibración *compresional*, (es decir, longitudinales) y que esos

modos son predominantes. Sin embargo, los sólidos pueden vibrar en modos *transversales* (es decir, cortantes) al igual que en modos vibracionales y esto permiten que el sólido se contraiga con los aumentos de la temperatura, disminuyendo con ello la separación promedio de los planos atómicos. En ciertos tipos de estructura cristalina, y en ciertas regiones de temperatura, estos modos transversales de vibración pueden predominar sobre los longitudinales, dando lugar a un coeficiente de expansión térmica total negativo.

Existe por lo tanto una relación directa entre las fases y la estructura molecular, o dicho de otro modo una relación directa entre el estado de agregación y la energía potencial molecular, y como consecuencia también entre la energía vibracional y la dilatación. Físicamente tiene importancia esta relación entre el coeficiente de expansión o dilatación con la estructura atómica o molecular. Debemos aclarar que los modelos microscópicos presentados son una sobresimplificación de un fenómeno mucho más complejo, que puede tratarse con mayor detalle al relacionar la termodinámica y la teoría cuántica.

El cambio porcentual de la longitud de muchos sólidos, llamados *isotrópicos*, asociados con un cambio dado de la temperatura, es el mismo sobre cualquier línea del sólido. La dilatación es totalmente análoga a una amplificación fotográfica, excepto en que el sólido es tridimensional. Si tenemos una lámina delgada en la que se practica un orificio, el cambio $\Delta L / L = \alpha \Delta T$ para una ΔT dada es el mismo para la longitud, el espesor, la diagonal de una cara, la diagonal del cuerpo y el diámetro del orificio. Cualquier línea, sea recta o curva, se alarga en la relación α por aumento de un grado de temperatura. Si se escribe un nombre rayando la lámina, la línea que representa dicho nombre tiene el mismo cambio fraccional de

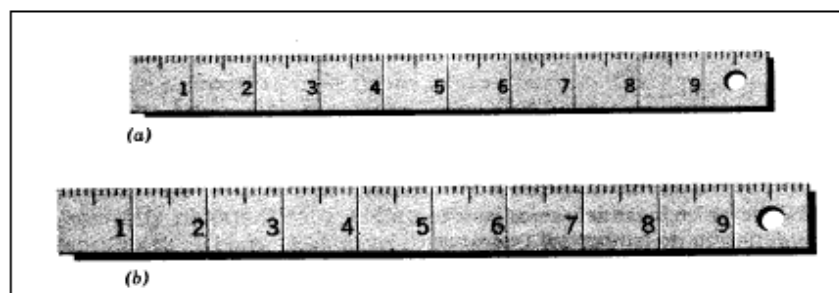


figura 3.4 Imagen fotográfica de una misma regla graduada a diferentes temperaturas $t_a < t_b$ longitud que cualquier otra línea. En la Figura 3.4 se muestra la analogía con una amplificación fotográfica. Si observamos la regla de acero de la Figura 3.4, a dos temperaturas diferentes, la regla a) a una temperatura t_0 y la regla b) a una temperatura t_1 , tal

que $t_1 > t_0$. En la dilatación, todas las dimensiones aumentan en la misma proporción: la escala, los números, el orificio y el espesor aumentan todos en el mismo factor, (la dilatación mostrada, está obviamente exagerada, ya que correspondería a un aumento imaginario de unos $100\ 000\ ^\circ\text{C}$ en la temperatura. Teniendo en cuenta estas ideas, podríamos demostrar con un alto grado de precisión, que el cambio fraccional en el área A por cada cambio de un grado en la temperatura en un sólido isotópico es 2α , es decir:

$$\Delta A = 2\alpha \cdot A \cdot \Delta t, \quad [3.7]$$

y que el cambio fraccional en volumen V por cada cambio de un grado de temperatura en un cuerpo isotrópico es 3α , es decir,

$$\Delta V = 3\alpha \cdot V \cdot \Delta t \quad [3.8]$$

ESFUERZOS DESARROLLADOS POR LA DILATACIÓN EN UNA VIGA

Si la barra de la Figura E, está fija en uno de sus extremos, por ejemplo empotrada, a causa de la dilatación térmica, se desarrollan esfuerzos en la misma, que se deben tener en cuenta para los cálculos del diseño de la pieza o de su instalación.

La deformación en la barra debido a las tensiones desarrolladas puede ser expresada como,

$$\delta = \frac{F \cdot L_0}{A \cdot E} = \Delta L \quad [3.9]$$

Donde F es la fuerza que actúa en la sección de la barra, L_0 es la longitud original, A es el área de la sección y E es el módulo de elasticidad del material de la barra

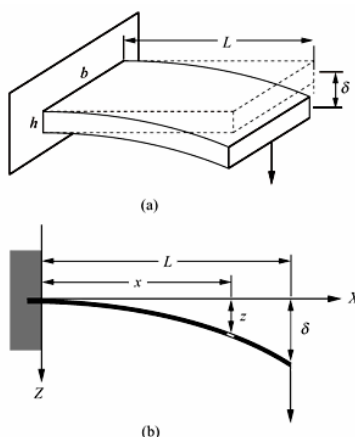


Figura 3.5

Si a la relación F/A se expresa como σ (sigma); $\Delta L = \frac{\sigma \cdot L_0}{E}$ [3.10]

Si consideramos la dilatación debido a la temperatura, $\Delta L = \alpha_{ot} \cdot L_0 \cdot t$ [3.11]

e igualando las expresiones [3.10] y [3.11], tendremos:

$$\frac{\sigma \cdot L_0}{E} = \alpha_{ot} \cdot L_0 \cdot t$$

y finalmente $\sigma = \alpha_{ot} \cdot E \cdot t$ [3.12]

Las tensiones desarrolladas a causa de una variación de temperatura, son directamente proporcionales al coeficiente de dilatación, al módulo de elasticidad y a la temperatura.

DILATACION SUPERFICIAL

Cuando tomamos un plano dentro de un cuerpo sólido, de modo que el área de la superficie de dicho plano esta dada por la expresión: $S = L_1 \cdot L_2$, se determina que:

$$S_t = S_0 (1 + 2\alpha \cdot t), \quad [3.13]$$

Con $(1 + 2\alpha \cdot t)$ llamado binomio de dilatación superficial

Si $S = L_1 \cdot L_2$

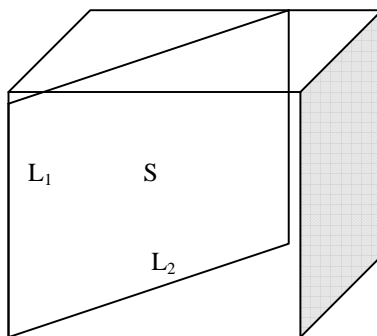


figura 3.6

derivando a S respecto de t:

$$\frac{dS}{dt} = L_1 \cdot \frac{dL_2}{dt} + L_2 \cdot \frac{dL_1}{dt}$$

dividimos m.a.m. por S

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dt} = \frac{L_1}{L_1 \cdot L_2} \cdot \frac{dL_2}{dt} + \frac{L_2}{L_1 \cdot L_2} \cdot \frac{dL_1}{dt}$$

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dt} = \frac{1}{L_2} \cdot \frac{dL_2}{dt} + \frac{1}{L_1} \cdot \frac{dL_1}{dt}$$

queda:

Observando el segundo miembro se puede establecer que:

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dt} = \alpha_2 + \alpha_1 \quad dS = 2\alpha \cdot S \cdot dt$$

Integrando entre S_o y S_t

Por ser isótropo $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

$$\int_{S_o}^{S_t} \frac{dS}{S} = 2\alpha \int_0^t dt$$

$$S_t = S_o (1 + 2\alpha t), \quad [3.14]$$

con $(1 + 2\alpha \cdot t)$ como binomio de dilatación superficial.

Como ejercitación se propone a los alumnos demostrar que para un sólido $\Delta V = \beta V_o \Delta T$, tal que el coeficiente de dilatación volumétrico $\beta = 3 \alpha_L$

DILATACIÓN EN LÍQUIDOS

Como la forma de un fluido no está definida, solamente tiene sentido hablar del cambio del volumen con la temperatura. La respuesta de los gases a los cambios de temperatura o de presión es muy notable, en tanto que el cambio en el volumen de un líquido, para cambios en la temperatura o la presión, es muy pequeño. β representa el coeficiente de dilatación volumétrica de un líquido,

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right) \quad [3.15]$$

Los líquidos se caracterizan por dilatarse al aumentar la temperatura, siendo su dilatación volumétrica unas diez veces mayor que la de los sólidos.

Sin embargo, el líquido más común, el agua, no se comporta como los otros líquidos. En la figura F, se muestra la curva de dilatación del agua. Se puede notar que, entre 0 y 4°C el agua líquida se contrae al ser calentada, y se dilata por encima de los 4°C, aunque no linealmente. Sin embargo, si la temperatura decrece de 4 a 0°C, el agua se dilata en lugar

de contraerse. Dicha dilatación al decrecer la temperatura no se observa en ningún otro líquido común; se ha observado en ciertas sustancias del tipo de la goma y en ciertos sólidos cristalinos en intervalos de temperatura muy limitados, un fenómeno similar. La densidad del agua tiene un máximo a 4°C, donde su valor* es de 1 000 kg/m³. A cualquier otra temperatura su densidad es menor. Este comportamiento del agua es la razón por la que en los lagos se congela primero la superficie, y es en definitiva lo que hace posible la vida subacuática.

Densidad del agua en función de la temperatura

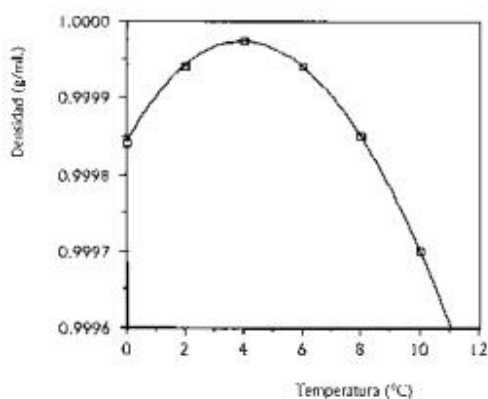


figura 3.7

Esta propiedad es importante en la ingeniería, recordemos que los dos fluidos más importantes para un ingeniero son el agua y el aire, el primero prácticamente incompresible y el segundo sensiblemente compresible.

Como el líquido carece de forma propia, solo puede tener sentido hablar de dilatación cúbica, pues sus dimensiones dependen del recipiente que lo contiene, observándose un ascenso del nivel del fluido debido a que en general, los líquidos se dilatan más que los sólidos y en particular, que el vidrio.-

En consecuencia. Para determinar la dilatación absoluta o verdadera de un líquido se deberá considerar la dilatación que experimenta el recipiente que lo contiene. Si V_0 es el volumen que ocupa el fluido a la temperatura de 0 °C, es evidente que deberá ser V_0 o V_{r0} , si se aumenta la temperatura en t °C, el volumen verdadero del líquido a esa temperatura, será:

$$V_t = V_0 (1 + \beta_r \cdot t), \quad \text{volumen verdadero del líquido}$$

$$V_{rt} = V_{ro} (1 + \beta_r \cdot t), \quad \text{volumen del recipiente dilatado}$$

$$V_{rt} - V_t = V_{ro} \cdot \beta_r \cdot t = \Delta V_r, \quad \text{diferencia de volumen}$$

Como el volumen aparente es menor que el volumen verdadero que ocupa el líquido debido a que el recipiente se ensancha al dilatarse, por lo tanto el nivel del líquido disminuye, el volumen verdadero del líquido a temperatura t será la suma del volumen aparente medido más el aumento del volumen que experimenta el recipiente.

$$V_t = V_{ot} + \Delta V_r \quad [3.16]$$

Si reemplazo en cada término de esta igualdad sus correspondientes expresiones equivalentes, tendremos:

$$V_o (1 + \beta_r \cdot t) = V_{ao} (1 + \beta_a \cdot t) + V_{ro} (1 + \beta_r \cdot t)$$

Como los volúmenes iniciales a 0°C son iguales al del recipiente $V_o = V_{ao} = V_{ro}$, simplificando V_o , la unidad y la temperatura, se tendrá:

$$\beta_v = \beta_a + \beta_r \quad [3.17]$$

o sea el coeficiente de dilatación cúbica absoluto o verdadero de un líquido es igual a la suma de los coeficientes aparente y del recipiente que lo contiene

MÉTODO PARA DETERMINAR EL VALOR DE β_v

Anteriormente concluimos que: $V_t = V_o (1 + \beta \cdot \Delta t)$, y considerando el volumen como la relación de la masa sobre la densidad $V = m / \delta$, reemplazando en la expresión anterior:

$(m/\delta)_t = (m/\delta)_o (1 + \beta \cdot \Delta t) \Rightarrow \delta_t = \delta_o / (1 + \beta \cdot \Delta t) \Rightarrow$ aplicando el principio fundamental de la hidrostática:

$$\delta \cdot h_t = \delta_o \cdot h_o \Rightarrow \beta = 1/\Delta t \cdot (h_o/h_t - 1)$$

expresión que me permite calcular el coeficiente de dilatación cúbica de un líquido independientemente de la dilatación del recipiente que lo contiene

DILATACION EN GASES

Para el caso de un gas, corresponde algunas consideraciones:

El coeficiente $\beta_v = 1/V_o \cdot (\Delta V/\Delta T)_P = 1/T_o = 1/273,16 \text{ K}$,

si $t_o = 0^\circ\text{C}$, $\Rightarrow T_o = 273,16 \text{ K}$, esto físicamente significa que a 0°C el volumen de un gas aumenta 0,3661 % por cada grado de temperatura a presión constante.

Haciendo uso del mismo procedimiento, es fácil verificar que el coeficiente de tensión del gas a volumen constante, será:

$$\beta_p = 1/P_o.(\Delta P/\Delta T)_v = 1/T_o$$

β_v y β_p son iguales para la mayoría de los gases que toman valores muy próximos a los valores de los gases ideales, es decir aquellos en que sus fuerzas intermoleculares son despreciables, con presiones muy bajas y distancias intermoleculares muy grandes, recordemos la expresión $F = dU/dr_o$, pero si T disminuye, y la densidad aumenta, entonces el gas deja de ser ideal ya que su comportamiento no es el mismo.

GENERALIZANDO EL PROBLEMA

Sea un sistema físico cualquiera, (gas, líquido o sólido), que tiene la propiedad X (longitud, volumen, densidad, presión, resistencia eléctrica, etc.), que varía con la temperatura, si se expresa con X_o a la propiedad a cierta temperatura T_o , si ésta temperatura cambia de T_o a T , entonces tendremos que $\Delta T = T - T_o$; y cuando se produce este cambio, la propiedad X_o cambia a X , entonces tendremos,

$\Delta X = X - X_o$, entonces el coeficiente térmico κ (kappa) de la propiedad X_o a la temperatura T_o está definido como:

$$\kappa = \frac{1}{X_o} \left(\frac{\Delta X}{\Delta T} \right) \quad [3.18]$$

Esta expresión es válida si $X = L$ (unidimensional), o si $X = A$ (bidimensional), o si $X = V$ (tridimensional), es decir sea X una longitud, una área, o un volumen.

En el primer caso $\kappa = \alpha_L = 1/L_o. (\Delta L / \Delta t)$

Recordamos nuevamente, que α_L no es constante sino que depende de la temperatura inicial t_o , por lo general este coeficiente de expansión o dilatación lineal está dado para una $t_o = 0^\circ\text{C}$

Debido a que el coeficiente de dilatación α es una constante para cada material, la dilatación va a depender única y exclusivamente de Δt y L_o , $\Delta L \propto \Delta t$

Si tenemos dos barras de un mismo material, una de mayor longitud que la otra, si le aplicamos la misma Δt los ΔL van a ser distintos para cada una de las barras, siendo en la de mayor longitud el ΔL experimentado mayor.

Para la misma barra supongamos igual L_o para distintas Δt como α es constante solo va a depender la dilatación de Δt . Como la temperatura ambiente en los distintos puntos del planeta, sufre cambios: diurno, nocturnos, estacionales, climáticos, etc... Las construcciones

u obras de arte existentes en esos lugares se dilataran o se contraerán. Para evitar que estos fenómenos produzcan daños en los materiales; por ejemplo en las vías de ferrocarril, en las estructuras metálicas o en el hormigón armado, se dejan juntas de dilatación que son simplemente espacios que permiten a las piezas desplazarse relativamente para compensar el efecto de la dilatación. Los vidrios con α muy grandes, como es el caso del vidrio común 9.0×10^{-6} al sufrir una dilatación parcial, aparecen tensiones en la zona que no se dilata provocando su rompimiento, en el laboratorio se debe usar vidrio refractario por ejemplo *pirex*. vidrios con borosilicato, que tiene un coeficiente de dilatación mucho menor que el vidrio común.

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

1. Escribir las expresiones que definen los coeficientes de expansión o dilatación térmica Volumétrica β . Verificar si α_L es el coeficiente de expansión o dilatación lineal entonces $\beta = 3 \alpha_L$.
2. Encontrar el cambio de volumen de una esfera de aluminio (Al) de 10,0 cm de radio, cuando se calienta de 0 hasta 100°C.
3. Sea un bloque de cobre de 0,3 kg. de masa. Calcular su cambio de volumen, cuando se calienta de 27°C a 100°C
4. Las vías de un ferrocarril se tienden cuando la temperatura es de 0°C, en ese caso la longitud normal de un tramo de riel es de 12,0 m ¿Qué espacio o junta de dilatación debe dejarse entre rieles para que no exista una compresión cuando la temperatura es de 42°C.
5. Una varilla de acero tiene un diámetro de 3,000 cm. Un aro de cobre tiene un diámetro interior de 2,992 cm. ¿A que temperatura común podrá deslizarse exactamente el anillo sobre la varilla?
6. La densidad es la masa por unidad de volumen. Si el volumen V depende de la temperatura, también lo hará la densidad ρ . Demostrar que el cambio de densidad $\Delta\rho$ correspondiente a un cambio en la temperatura ΔT , está dado por: $\Delta\rho = -\beta\rho.\Delta T$, donde β es el coeficiente de dilatación cúbica. Explicar el porqué del signo negativo.
7. Ejercicio asociado al laboratorio: analizar el TP N°, termómetro de aire a volumen constante, el error relativo porcentual que se comete si no se considera la dilatación del recipiente y la influencia que tendría sobre la medición efectuada.

8. Calcular el alargamiento de una barra de Aluminio de 1m de longitud a 0 °C, cuando aumenta su temperatura a 100°C.
9. Investigar como el método de Hope, permite hallar el valor de máxima densidad del agua, o mínimo volumen.
10. Explicar operativamente el método de Dulong y Petit, que permite hallar el coeficiente de dilatación cúbica absoluta de un líquido independiente de la dilatación del recipiente que lo contiene.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

ZEMANSKY, MARK W.- *CALOR Y TERMODINÁMICA*. EDIT. AGUILAR S.A 1979
SEARS, FRANCIS W.- *TERMODINÁMICA*. EDITORIAL REVERTÉ, S.A. 1969
WILSON, JERRY D.- *PHYSICS*. EDIT. HEAT. SEGUNDA EDICIÓN, 1983
RESNICK Y HALLIDAY.- *FISICA*, EDITORIAL CECSA, PARTE I, 1990