



Termodinámica

## Dilatación Lineal

Benjamín Edgardo Gómez Medina, Francisco Alejandro Sosa Garza, Edgar Ivan Hinojosa Saldaña.<sup>1</sup>

Docente: Dr. Francisco Hernández Cabrera  
08-09-2023—Práctica: II

### 1. Introducción y Marco Conceptual

La comprensión de la dilatación térmica, y en particular de la dilatación lineal, ha sido un área de interés desde tiempos antiguos. Aunque los antiguos griegos y romanos tenían una comprensión rudimentaria de que los materiales se expandían y contraían con los cambios de temperatura, la formulación matemática precisa y la conceptualización moderna de este fenómeno se desarrollaron a lo largo de la historia de la ciencia.[Zemansky et al. [1990]

En el siglo XVII, el físico francés Guillaume Amontons realizó un trabajo pionero al formular una relación cuantitativa entre el cambio en la presión de un gas y la variación de temperatura. Aunque su enfoque estaba en los gases, sentó las bases para la comprensión de la dilatación térmica de los sólidos.

Fue en el siglo XVIII cuando el matemático y físico francés Jean-Baptiste Biot llevó a cabo investigaciones más avanzadas sobre la dilatación térmica y acuñó términos fundamentales como "coeficiente de dilatación" "coeficiente de expansión". Biot también fue pionero en el estudio de la expansión térmica de materiales no metálicos.[Zemansky and Dittman [1997]]

En el siglo XIX, se formalizó la teoría de la dilatación térmica. El físico francés Charles-Augustin de Coulomb llevó a cabo experimentos exhaustivos y propuso una ley matemática que relaciona la expansión lineal de un material con la variación de temperatura.

A lo largo del siglo XX y hasta la actualidad, la comprensión de la dilatación térmica se ha refinado y ampliado con el avance de la física y la ingeniería de materiales. Se han establecido coeficientes de dilatación específicos para una amplia gama de materiales, permitiendo a ingenieros y científicos diseñar estructuras y dispositivos que pueden acomodar los efectos de la dilatación térmica.[Halliday and Resnick [2004]

En la actualidad, la dilatación lineal es un concepto fundamental en la ingeniería y la física de materiales, y es aplicada en una amplia variedad de campos, desde la construcción de puentes y edificios hasta la

fabricación de componentes electrónicos y equipos de precisión. La comprensión y aplicación de la dilatación térmica ha tenido un impacto significativo en la ingeniería y la tecnología moderna.

### 2. Análisis Teórico

Dilatación lineal es la variación de la longitud de un cuerpo, como respuesta a una variación en la temperatura. Se debe a que las partículas del cuerpo aumentan su energía cinética cuando absorben calor, y como consecuencia esta aumenta la amplitud de sus movimientos. Si bien la dilatación es un fenómeno natural, pero con una determinada explicación, y esto se basa desde su origen, es decir; todo lo que ocupa un lugar en el espacio tiene masa y a su vez está formada por un conjunto de átomos.[Incropera et al. [1990]]

Al conservar esa estructura, los átomos al elevarse la temperatura tienden a separarse a cierta distancia unos a otros, eso ocasiona que el sólido aumente de tamaño, es decir, que se dilate. A la proporción en la que un material se dilata se le llama coeficiente de dilatación y sus unidades son metros/grado centígrado. Para calcular la longitud que adquiere un cuerpo cuando se dilata o se contrae, se utiliza la fórmula:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \quad (1)$$

Donde  $L$  es la longitud final (después del cambio de temperatura),  $L_0$  es la longitud inicial,  $\alpha$  es el coeficiente de dilatación lineal y  $\Delta T$  es la variación de temperatura, que se calcula restando temperatura final menos temperatura inicial. La materia se expande cuando es calentada y se contrae cuando es enfriada. La cantidad de expansión es considerable en los gases, es apreciable en los líquidos y pequeña en los sólidos. Sin embargo, aún en los sólidos la cantidad de expansión es de tal magnitud que no puede ser despreciada en el diseño de maquinaria y aparatos industriales, particularmente si se espera sea considerable la variación de temperatura.

<sup>1</sup>Matrículas en orden correspondiente: 2076499, 1921360, 2086053.

Este fenómeno se explica por la teoría de la Energía Cinética Molecular de la Materia. De acuerdo con esta teoría la energía cinética (y por lo tanto la velocidad) de las moléculas de una sustancia se incrementa con el incremento de la temperatura, si las moléculas adquieren gran energía se mueven con gran velocidad y chocan unas otras violentamente dando como resultado que su distancia media resulte aumentada. El volumen, el área o la longitud del material entonces son aumentadas con la temperatura. En el caso de varillas metálicas o alambres esta expansión es mayor en longitud x.[Bejan [2006]]

### 3. Hipótesis

En este experimento, se pretende llevar a cabo una medición directa del coeficiente de dilatación lineal de una varilla de cobre. Este coeficiente indica cómo cambia la longitud de un material en función de la variación de temperatura. Para obtener resultados confiables, se emplearán técnicas y herramientas precisas de medición.[?]

Una vez obtenidos los datos experimentales, se procederá a comparar el coeficiente medido con los valores proporcionados por experimentos más avanzados y técnicos en la materia. Esto permitirá evaluar la exactitud de nuestra medición y verificar la consistencia de los resultados.

Es importante destacar que se han tenido en cuenta todas las consideraciones relevantes para minimizar fuentes de error en el proceso de medición. Esto incluye la calibración adecuada de los instrumentos de medición, la estabilización de la temperatura ambiente y la realización de mediciones repetidas para reducir posibles variaciones.

Se espera que, gracias a este riguroso proceso de medición y a las consideraciones meticulosas, el valor del coeficiente de dilatación lineal obtenido en este experimento se acerque significativamente al valor teórico o al proporcionado por experimentos más avanzados, con un índice de error mínimo.

### 4. Consideraciones del Experimento

1. Cambio de temperatura homogéneo
2. No deformaciones ni ondulaciones en la varilla tal que su diámetro es mucho menor a la longitud
3. La varilla está aislada y nivelada
4. No hay corriente de convección

### 5. Definición de Variables y Parámetros

Variable Independiente:

- Cambio de temperatura  $\Delta T$

Variable Dependiente

- Longitud final de la varilla  $L_f$

Parámetros

- Longitud inicial  $L_0$
- Coeficiente de dilatación lineal  $\alpha$
- Temperatura inicial  $T_0$
- Temperatura ambiente  $T_{amb}$

### 6. Montaje Experimental

En la práctica presente se utilizaron los siguientes materiales:

- Dilatómetro
- Voltímetro
- Barra de aluminio
- Calentador
- Un tubo metálico
- Agua convencional
- El termoeléctrico integrado a un soporte
- El soporte
- Matraz

#### 6.1. Instalación

Para la debida ejecución del experimento se realizó la siguiente preparación:

- Se coloca el tubo metálico en la barra de aluminio.
- Se conecta una manguera del calentador al tubo metálico.
- Se conecta el voltímetro a la barra de aluminio.
- se calienta el agua en el calentador hasta que llegue al punto de ebullición.

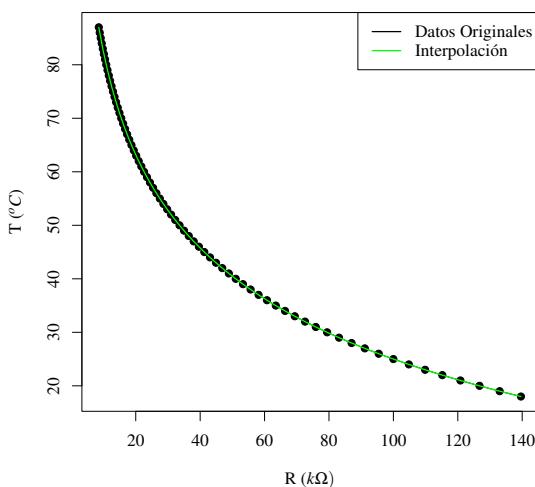
## 7. Procedimiento

El procedimiento seguido en la práctica fue el siguiente:

1. Calentar agua hasta que llegue al punto de ebullición y conectar la manguera del calentador al tubo metálico para que el vapor del agua pueda pasar al tubo metálico y se pueda expandir.
2. Cuando el tubo metálico alcanza un máximo de expansión y se estabiliza, se deja de suministrar vapor por lo que se empieza a contraer hasta su longitud inicial.
3. Se conecta el voltímetro a la barra de aluminio para poder hacer las mediciones de esta contracción conforme al tiempo.
4. Finalmente el vapor condensado dentro del tubo metálico se escurre.

## 8. Mediciones

El Dilatómetro midió que tanto se comprimio la varilla, por lo tanto para saber la dilatación se le resto a la compresión máxima que se obtuvo resto cada dato. El voltímetro midió la resistencia del termoeléctrico, que se realizó la siguiente interpolación, tal que con ella se calcularon las conversiones a celsius de las resistencias medidas. Las medidas se encuentran en el apéndice del presente documento. [?]



**Gráfica1:** Interpolación de la tabla de temperaturas y resistencias del termoeléctrico.

## 9. Análisis Experimental

### 9.1. Modelo lineal

De la ecuación (1) podemos acertar que el comportamiento de los datos debe de ser lineal.[Merrin

[2017]] Por tanto al juego de datos medidos se le da la forma de la variable independiente y dependiente de la ecuación. Se le resta la temperatura inicial a todas las obtenidas por la interpolación.

De este modo quedándonos la ecuación

$$\Delta L = (L_0 \alpha_{Cu}) \Delta T$$

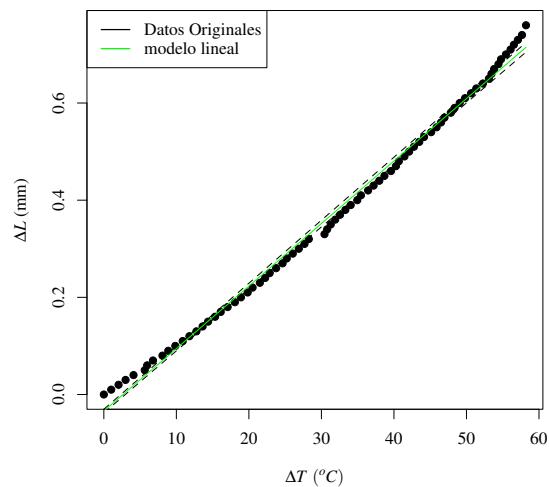
donde  $\alpha_{Cu}$  es el coeficiente de dilatación lineal del cobre. Así se realizó una regresión lineal con los datos en forma haciendo uso de la función *lm()* de R.

Dependent variable:	
	L_2
T_2	0.01286*** (0.0001)
Constant	-0.034*** (0.004)
Observations	76
R <sup>2</sup>	0.995
Adjusted R <sup>2</sup>	0.995
Residual Std. Error	0.015 (df = 74)
F Statistic	15,275.740*** (df = 1; 74)

Note: \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

**Cuadro1:** Estadísticos del modelo lineal realizado por R.

Observamos que el valor de significancia es alto, además el valor de  $R^2$  nos indica la precisión del modelo ( el modelo explica el 99% de la variación de los datos de la variable dependiente por medio de la independiente). [Lyons [2003]]



**Gráfica1:** Modelo lineal de los datos, las líneas punteadas son las desviaciones estándar de las curvas.

Por tanto nos queda el resultado:

$$L_0 \alpha = 0,01286 \pm 10^{-4} \frac{mm}{°C}$$

si  $L_0 = 74,5 \pm 0,05\text{cm} = 745 \pm 0,5\text{mm}$ , despejamos para  $\alpha$

$$\alpha = \frac{(12,860 \pm 1) \times 10^{-4}}{745,000 \pm 0,500} \frac{\text{mm}}{\text{mm}^{\circ}\text{C}}$$

$$= 1,726 \pm 0,013 \times 10^{-5}{}^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

## 9.2. Exactitud

El coeficiente de dilatación lineal del cobre es de  $1,7 \times 10^{-5}$ , comparando con nuestros resultados tenemos que

$$e\% = \frac{|1,726 - 1,700|}{1,700} \times 100\% = 1,53\%$$

## 10. Conclusiones

Se llevó a cabo una meticulosa medición del coeficiente de expansión térmica lineal, centrándonos en la forma en que el cobre se expandió y contraído al enfriarse tras haber sido calentado con vapor de agua. Para captar con precisión estos cambios en longitud, se empleó un sofisticado dilatómetro, un instrumento diseñado específicamente para medir variaciones del material a medida que la varilla regresaba a su estado de estabilidad inicial.[?]

Conforme se iba expandiendo la longitud del tubo metálico se apreciaba que la resistencia iba aumentando y al contraerse o que volvía a su longitud inicial al dejarle de suministrar calor, se notaba que la resistencia cada vez iba disminuyendo.

Este proceso se llevó a cabo en condiciones controladas y se registraron cuidadosamente los datos correspondientes. Se prestaron especial atención a la temperatura ambiente y a la calibración precisa de los instrumentos para asegurar la precisión de las mediciones. Además, se realizaron múltiples repeticiones del experimento para verificar la consistencia de los resultados.

El objetivo final de esta investigación era comprender en detalle cómo la temperatura influye en las dimensiones de un material específico como el cobre, y determinar el coeficiente de expansión térmica lineal con la mayor precisión posible.

## Referencias

- Ashby, M. F. and Jones, D. R. H. (2005). *Thermal expansion of ceramics. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Properties.*
- Bejan, A. (2006). *Advanced engineering thermodynamics.* Wiley, Hoboken, NJ.
- Brady, J. E. and Clauser, H. R. (2013). Linear thermal expansion. *Termodinámica.*
- Halliday, D. and Resnick, R. (2004). *Physics.* Wiley Custom Services.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S. (1990). *Fundamentals of heat and mass transfer.* Wiley.
- Lyons, L. (2003). *A practical guide to data analysis for Physical Science Students.* Cambridge University Press.
- Merrin, J. (2017). *Introduction to error analysis: The science of measurements, uncertainties, and data analysis.* CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Serway, R. A. and Jewett, J. W. J. (2016). Linear thermal expansion. *Física para ciencias e ingeniería.*
- Zemansky and Dittman (1997). *Heat and thermodynamics 7th Ed.* The McGraw-Hill Companies.
- Zemansky, M. W., Dittman, R., and Sanchez, S. A. (1990). *Calor Y termodinamica Ed. 6.* McGraw-Hill.

## 11. Apéndice

	Resistencia (kΩ)	Longitud (mm)	T (°C)
1	9.91	0.08	82.58
2	10.10	0.10	82.03
3	10.30	0.11	81.46
4	10.50	0.12	80.91
5	10.67	0.13	80.45
6	10.91	0.14	79.81
7	11.17	0.15	79.13
8	11.31	0.16	78.78
9	11.55	0.17	78.18
10	11.70	0.18	77.82
11	11.85	0.19	77.46
12	12.20	0.20	76.64
13	12.60	0.21	75.73
14	12.93	0.22	75.00
15	13.32	0.23	74.18
16	13.68	0.24	73.44
17	14.03	0.25	72.74
18	14.30	0.26	72.21
19	14.76	0.27	71.34
20	15.02	0.28	70.86
21	15.36	0.29	70.25
22	15.79	0.30	69.50
23	16.37	0.31	68.52
24	16.77	0.32	67.87
25	17.24	0.33	67.13
26	17.67	0.34	66.47
27	18.10	0.35	65.82
28	18.64	0.36	65.04
29	18.92	0.37	64.64
30	19.41	0.38	63.97
31	20.09	0.39	63.06
32	20.64	0.40	62.35
33	21.27	0.41	61.57
34	21.90	0.42	60.80
35	22.75	0.43	59.82
36	23.20	0.44	59.31
37	24.03	0.45	58.41
38	24.73	0.46	57.67
39	25.45	0.47	56.94
40	26.13	0.48	56.27
41	26.77	0.49	55.66
42	27.30	0.50	55.16
43	27.70	0.51	54.79
44	30.20	0.52	52.63
45	30.93	0.53	52.04
46	31.93	0.54	51.25
47	33.02	0.55	50.42
48	34.16	0.56	49.59
49	34.97	0.57	49.01

	Resistencia (kΩ)	Longitud (mm)	T (°C)
50	36.27	0.58	48.13
51	37.62	0.59	47.24
52	38.61	0.60	46.61
53	39.80	0.61	45.88
54	41.50	0.62	44.88
55	42.70	0.63	44.20
56	44.40	0.64	43.27
57	46.00	0.65	42.44
58	48.00	0.66	41.44
59	50.00	0.67	40.48
60	51.70	0.68	39.71
61	53.90	0.69	38.74
62	55.70	0.70	37.98
63	57.80	0.71	37.13
64	60.30	0.72	36.17
65	62.80	0.73	35.24
66	65.70	0.74	34.22
67	68.60	0.75	33.25
68	71.10	0.76	32.45
69	75.40	0.77	31.15
70	78.20	0.78	30.34
71	79.40	0.79	30.01
72	85.20	0.80	28.46
73	89.60	0.81	27.37
74	93.70	0.82	26.40
75	98.20	0.83	25.39
76	103.00	0.84	24.37

**Cuadro1:** medida de la distancia (cm) de desaparición y reaparición del punto en el rango de visión del estudiado en su ojo derecho e izquierdo: DD, DR, DD, IR respectivamente.