

LECTURA CRÍTICA, COMO ESTRATEGIA PARA EL APRENDIZAJE. CASO: PÉRDIDA DE VOLUMEN *PIN ON DISK* CON MÉTODO DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN

M. Moreno-Amado

Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia
mmoreno@udistrital.edu.co

Resumen: Una revisión de los libros de texto básicos, que abordan la enseñanza del proceso de desgaste registran unos pocos párrafos explicando el concepto y posteriormente algunas ecuaciones básicas, las cuales no son detalladamente desarrollada. Para su entendimiento demandan mucho tiempo por parte de los estudiantes, incluyendo extensas búsquedas bibliográficas, algunas veces infructuosas, y la subsiguiente desmotivación hacia su estudio. Sin embargo, estas limitaciones se deben vislumbrar como un estímulo hacia el aprendizaje mediante la lectura crítica. Con el presente caso de estudio, se identificaron algunos aspectos teóricos relacionados con el desgaste de materiales y la técnica, pin on disk, para determinar el volumen de desgaste. Finalmente se propone utilizar una ecuación, para determinar este volumen, desde el análisis de sólidos de revolución.

Palabras clave: lectura crítica, fricción, volumen de desgaste.

1. INTRODUCCIÓN.

En el contexto actual de crisis sanitaria y retomando una problemática educativa vigente en Colombia, en España y en general en el mundo académico es el nivel de repetición y deserción estudiantil. Se propone como estrategia de autoaprendizaje la lectura crítica, en la cual el estudiante, además de la lectura y aprendizaje memorístico, debe ser consciente de que la construcción de su conocimiento se hace de forma activa y autodidacta.

La lectura crítica no es considerada una censura a los autores, es una estrategia de autoaprendizaje para que los estudiantes, de forma autónoma, logren hacer una lectura más lúcida, para comprender la información que, generalmente, se encuentra resumida en los documentos científicos o en los libros de texto.

Respecto al aprendizaje de ciencia de materiales, el comportamiento tribológico juega un papel importante para identificar el deterioro superficial de los materiales, bajo determinadas condiciones de funcionamiento. Y su importancia se evidencia en las publicaciones relacionadas con el tema [1], [2].

Los libros de texto, básicos o avanzados, que introducen al estudiante en conceptos relacionados con tribología, presentan, de una manera muy práctica, las ecuaciones concluyentes y aceptadas por las comunidades científicas. Sin embargo, es evidente que se asume un conocimiento básico por parte del estudiante. Este supuesto es válido para un estudiante que mantiene el proceso regular y continuo. Sin embargo, los estudiantes que por diversos motivos llevan un proceso académico truncado requieren conocer el origen de las ecuaciones. En el presente caso, el origen de

la ecuación para determinar el volumen de desgaste mediante técnica pin on disk [3].

Los estudios tribológicos se inician desde que se analiza el rozamiento de superficies. Es innegable que desde finales del siglo XIX, en los libros de texto, para segunda enseñanza en España (Educación media en Colombia) [4], ya se incluía el concepto de rozamiento (hoy fricción), las leyes y los instrumentos para su medición.

El presente trabajo forma parte de la investigación: “Propuesta de estructura para el proceso educativo de la ingeniería en el siglo XXI” que la autora realiza, desde el año 2017, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Y en la cual, para revisar las estrategias del proceso enseñanza-aprendizaje se utiliza un análisis de libros de texto. Para el presente documento se seleccionó como caso de estudio el cálculo de pérdida de volumen por desgaste.

2. METODOLOGÍA.

Para la elaboración de una propuesta educativa en ingeniería del siglo XXI, se ha iniciado con la consulta de publicaciones para caracterizar los desarrollos tecnológicos actuales. Durante esta consulta se identifican algunos casos de estudio, que han ayudado además de la caracterización, a identificar algunas falencias que no se hacen obvias, en los procesos de enseñanza.

Se seleccionó la pérdida de volumen por desgaste (técnica pin on disk) como caso de estudio. Y se hizo una consulta, utilizando el motor de búsqueda Google, para encontrar libros de texto básicos desde el siglo XIX, en los cuales se

presenta el tema fricción y desgaste. También desde la base de datos “Science Direct” se buscaron artículos que incluyen los términos tribología (*tribology*), fricción (*friction*) o desgaste (*wear*) como palabras clave. El objetivo de la búsqueda es identificar la inclusión del origen de la ecuación para determinar pérdida de volumen (loss of volume due to wear), mediante la técnica *pin on disk*. La importancia de mostrar el origen de la ecuación es facilitar el avance académico de estudiantes noveles quienes, pueden ser jóvenes o adultos que mantienen una formación continua o interrumpida, usan la estrategia de autoaprendizaje con o sin apoyo docente.

3. DESARROLLO CRONOLÓGICO DE LA FRICCIÓN.

Sin ecuaciones, en el año 1865, el libro para educación media [4] describe el concepto de fricción como la resistencia que resulta cuando un cuerpo se mueve sobre la superficie de otro, teniendo presente que las superficies no son perfectamente geométricas sino que presentan varias imperfecciones como intersticios, poros o elevaciones. Además, en la sección sobre movimiento relativo, resaltan que para su estudio, es de mayor importancia la dirección y velocidad.

Más de un siglo después, en 1993 y en 2008, se encuentran, respectivamente, libros de física para educación superior [5], [6] en los cuales el rozamiento hace parte del capítulo relacionado con aplicaciones de las leyes de Newton o leyes del movimiento. Ahora, con ejemplos y figuras sobre fuerzas de fricción (estática y cinética) en la vida cotidiana, los autores muestran al lector la importancia de estudiar el rozamiento. Mediante gráficas donde se relacionan fuerzas de fricción en función de fuerzas aplicadas y mediante ecuaciones básicas de coeficiente de fricción, explican el concepto. Sin embargo, la explicación de pérdida de volumen por fricción no hace parte de la temática presentada en estos libros de niveles medio o superior.

4. DESGASTE

La búsqueda del concepto desgaste en libros de texto básicos o especializados no es fácil, por ejemplo un libro de mecánica clásica publicado en 2001 [7] o los libros básicos de ciencia e ingeniería de materiales [8], [9] o libros básicos de comportamiento de materiales [10], [11] no incluyen este tema en sus contenidos. Shakelford [12] en el capítulo titulado “Degradación ambiental” presenta en las últimas secciones una aproximación al desgaste y registra la ecuación para calcular el volumen de material desgastado, mediante el mecanismo de desgaste adhesivo como una función de la carga aplicada, la distancia de deslizamiento y la dureza del material.

Más común es encontrar el concepto de desgaste en algunos libros especializados como handbook ASM [13], o libros

especializados en desgaste y tribología. Sin embargo, en ninguno se desglosa la ecuación. Por ejemplo, en el handbook ASM [13], los autores, después de hacer una presentación detallada sobre los tipos de desgaste, resaltan la dificultad presentada por investigaciones para formular ecuaciones que incluyan todas las variables involucradas en desgaste de materiales, indican que existen ecuaciones que se tratan en la literatura, para desgaste adhesivo, y en seguida registran la ecuación de Archard como la más divulgada. En la cual la razón de desgaste (volumen/unidad de tiempo) se calcula como función de carga aplicada, velocidad de deslizamiento, dureza y de una constante considerada como coeficiente de desgaste.

Aunque son evidentes, desde la teoría, las irregularidades de las superficies de los materiales así como de la geometría de la huella de desgaste. La ecuación para calcular la pérdida de volumen en una huella de la superficie de un material, obtenida por contacto lineal con una esfera de radio r , se determina mediante análisis trigonométrico [13] para una superficie rectangular curvada como se muestra en la figura 1, Sen $(\theta/2) = a/(2r)$ y el volumen se calculará como el área de la sección circular $(\theta - \text{sen}\theta)(2r)^2/8$ multiplicada por la distancia de deslizamiento (L).

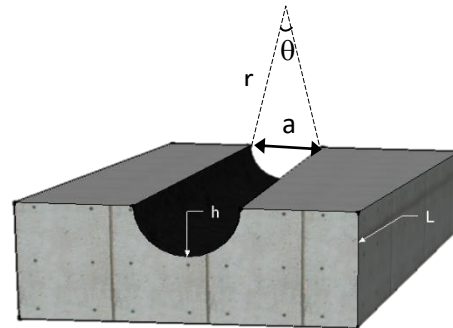


Figura 1. Dimensiones de huella formada por pin de radio r . ancho (a), profundidad (h), distancia de deslizamiento (L)

Obviamente, la literatura especializada para calcular el volumen de la huella de desgaste es la geometría y el cálculo. Por lo tanto, los estudiantes deben ser conscientes de que se requerirá más tiempo para dar profundidad a su nivel de estudio.

5. CÁLCULO DE PÉRDIDA DE VOLUMEN EN HUELLA DE DESGASTE

Entre los métodos más utilizados para determinar el desgaste de material, está el denominado “pin on disk”, que consiste en hacer rotar una esfera (pin) de material y radio (r) conocido sobre el material de análisis; simultáneamente a la rotación, la esfera aplica una carga específica con el fin de obtener una huella de desgaste (figura 2). La huella de desgaste es medida y sus dimensiones se utilizan para calcular el volumen de huella de desgaste ASTM G-99 [3] que se reporta como pérdida de volumen. La huella es el surco que se forma sobre el material de análisis después del

ensayo, en la cual se identifica un anillo concéntrico, a la distancia promedio (R).

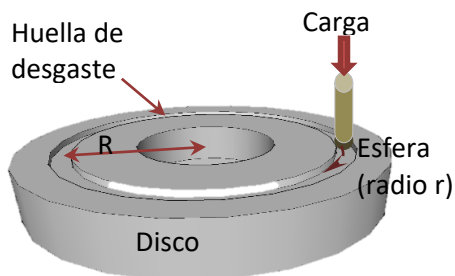


Figura 2. Esquema de huella de desgaste usando técnica Pin on disk. R es la distancia radial a la posición central de la esfera.

Las dimensiones de los círculos que forman al anillo concéntrico (fig 3a) se usan para calcular el volumen de la huella de desgaste. Se pueden usar análisis y ecuaciones de geometría euclidiana, para lo cual la huella puede interpretarse como un surco que se representa como una canaleta (figura 3b) formada al desdoblarse los círculos concéntricos y cuyas dimensiones corresponden a las circunferencias de radio menor ($2\pi R_1$), de radio mayor ($2\pi R_2$) y la circunferencia del radio medio ($2\pi R$). La profundidad de penetración de la esfera se representa con la altura (h).

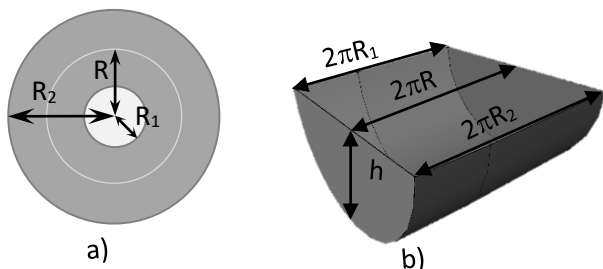


Figura 3. Representación de a) huella de desgaste y distancias radiales. b) surco formado por las circunferencias de huella de desgaste y profundidad de penetración (h) de la esfera de radio r.

La canaleta de la figura 3b) muestra, en la vista horizontal, un trapecio el cual, para facilitar los cálculos de volumen, puede representarse como un rectángulo (figura 4a). Así, el volumen (V) del surco puede calcularse como el área del segmento circular que corresponden a la profundidad de penetración de la esfera (figura 4b) multiplicada por la circunferencia $2\pi R$.

Debido a que durante la caracterización del material, se mide el ancho de la huella(d), es necesario calcular la profundidad de penetración de la esfera mediante un análisis trigonométrico (ecuación 1). El área del segmento circular se calcula según la ecuación 2.

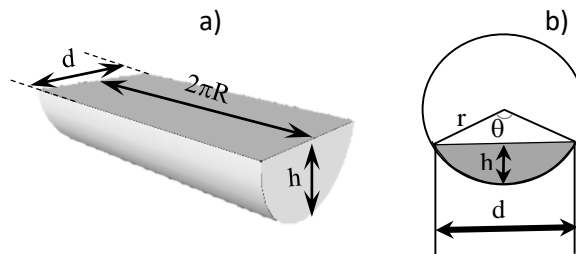


Figura 4. a) ajuste geométrico a la vista horizontal de la canaleta b) segmento circular de penetración de la esfera.

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{d^2}{4}} \quad (1)$$

$$A_{\text{segmento}} = r^2 \sin^{-1}\left(\frac{d}{2r}\right) - \frac{r \cdot d}{2} \quad (2)$$

Y, por lo tanto, asumiendo que no hay pérdida de volumen de la esfera, el volumen del surco que corresponde a la pérdida de volumen por desgaste, se calculará según la ecuación 3.

$$V = 2\pi R \left[r^2 \sin^{-1}\left(\frac{d}{2r}\right) - \left(\frac{d}{4}\right)(4r^2 - d^2)^{1/2} \right] \quad (3)$$

6. USO DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN

Con el fin de aprovechar otros modelos matemáticos se propone calcular el volumen perdido por desgaste, usando un sistema matemático básico de sólidos de revolución (ec. 4), para el sólido formado al rotar la esfera (fig 5), de radio r, alrededor del eje Y. La distancia radial desde el eje al centro del pin es R. Los límites corresponden a los medidos en la huella de desgaste.

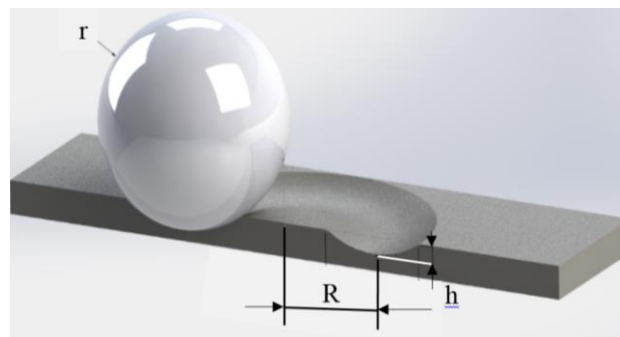


Figura 5. Límites de la integral para cálculo de volumen perdido por desgaste.

$$V = \pi \int_0^h \left[\left(R + \sqrt{r^2 - (y-r)^2} \right)^2 - \left(R - \sqrt{r^2 - (y-r)^2} \right)^2 \right] dy \quad (4)$$

donde:

h: es la profundidad de la huella de desgaste calculada según la ecuación 1, con los datos medidos de la huella de desgaste y asumiendo una geometría ideal.

r: es el diámetro de la esfera

R: es la distancia radial de la huella de desgaste al centro de la esfera.

d: es el ancho de la huella de desgaste.

7. RESULTADOS

Se compararon los métodos, utilizando algunos resultados de huellas de desgaste obtenidas con un pin de alúmina de diámetro 1.252 cm sobre recubrimientos YSZ sobre AISI 316L (tabla 1), la integral se calculó usando la calculadora CASIO fx-570 ES, se encontró una diferencia del orden de $10^{-8}\%$ comparando los resultados con 7 cifras significativas.

Tabla 1. Comparación de resultados de pérdida de volumen, usando método geométrico y cálculo con sólidos de revolución. radio de pin: 0.626 cm, Radio promedio de huella de desgaste: 2.0525 cm. Para la diferencia se usaron 7 cifras significativas.

Muestra	Ancho de huella (mm)	Volumen de desgaste (mm^3)		Diferencia (%)
		Método geométrico	Sólidos de revolución	
YSZ ₁	0.131	$3,86 \times 10^{-3}$	$3,86 \times 10^{-3}$	$7,18 \times 10^{-8}$
YSZ ₂	0.136	$4,32 \times 10^{-3}$	$4,32 \times 10^{-3}$	$5,36 \times 10^{-8}$
YSZ ₃	0.129	$3,69 \times 10^{-3}$	$3,69 \times 10^{-3}$	$8,48 \times 10^{-8}$
YSZ ₄	0.134	$4,13 \times 10^{-3}$	$4,13 \times 10^{-3}$	$7,60 \times 10^{-8}$

8. CONCLUSIONES

La lectura crítica, de los temas presentados en libros de texto, evidencia la utilidad de distintas disciplinas como la geometría, cálculo y física para explicar el comportamiento de los materiales. También es una alternativa para que, además de aprender de memoria, los estudiantes mejoren su proceso de autoaprendizaje.

Los estudiantes autodidactas, que por primera vez van a estudiar la pérdida de volumen por desgaste, pueden acudir a la geometría o al cálculo para entender el origen de las ecuaciones que son utilizadas en las publicaciones donde se reportan los resultados de las respectivas investigaciones.

El cálculo por método de sólidos de revolución conduce a resultados confiables de pérdida de volumen usando la técnica *pin on disk*.

9. REFERENCIAS

- [1] S. Gupta y M. Barsoum, «On the tribology of the MAX phases and their composites during dry sliding: A Review,» *Wear*, n° 271, pp. 1878-1894, 2011.
- [2] E. Bortoleto, A. Rovani, V. Seriacopi, F. Profito, D. Zachariadis, I. Machado,, A. Sinatora y R. Souza, «Experimental and numerical analysis of dry contact in the pin on disk test,» *Wear*, vol. 301, pp. 19-26, 2013.
- [3] ASTM, *ASTM G99-17 Standard Test Method for wear testing with a pin-on-disk apparatus*, West Conshohocken, PA., 2017.
- [4] D. M. Rico y D. M. Santiesteban, *Manual de Física y Química*, Madrid: Imprenta D. Manuel Minuesa, 1865.
- [5] P. A. Tipler, *Física*, vol. 1, Barcelona: Reverté, 1993, pp. 109-116.
- [6] R. A. Serway y J. W. Jewett Jr., *Physics for Scientists and engineers with modern Physics*, 7° ed., Thomson Learning, 2008.
- [7] H. Goldstein, C. Poole y J. Safko, *Classical Mechanics*, 3° ed., Pearson, 2001.
- [8] D. R. Askeland, *Ciencia en Ingeniería de los materiales*, 3° ed., Thomson, 1998.
- [9] W. D. Callister Jr. y D. G. Rethwisch, *Fundamentals of materials science and engineering an integrated approach*, 4° ed., John Wiley & Sons, 2012.
- [10] W. F. Hosford, *Mechanical Behaviour of Materials*, Cambridge University press, 2005.
- [11] M. A. Meyers y K. K. Chawla, *Mechanical behavior of materials*, Cambridge University Press, 2009.
- [12] J. F. Shackelford, *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, 6° ed., Pearson Prentice Hall, 1998.
- [13] ASM INTERNATIONAL, *ASM HANDBOOK Volume 18- Friction, lubrication, and wear Technology*, vol. 18, ASM Internal., 1992.