

# INFLUENCIA DE LA RUGOSIDAD INICIAL EN EL COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DE UN ACERO H13 NITRURADO

***José Luis Martínez Carreño***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*luis\_mtz\_91@hotmail.com*

***Luis Daniel Aguilera Camacho***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*daniel.aguilera@itcelaya.edu.mx*

***Benjamín Arroyo Ramírez***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*benjamin.arroyo@itcelaya.edu.mx*

***J. Santos García Miranda***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*santos.garcía@itcelaya.edu.mx*

***Karla Judith Moreno Bello***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*karla.moreno@itcelaya.edu.mx*

## Resumen

Se investigó la influencia de la rugosidad superficial en el comportamiento tribológico de un acero AISI H13 nitrurado mediante ensayos de fricción en seco. Se prepararon tres diferentes rugosidades en los rangos de 0.04 a 0.41  $\mu\text{m}$ . Se observó que para superficies más rugosas se obtienen volúmenes perdidos y factores de desgaste más elevados. Por otro lado, el coeficiente de fricción tuvo una tendencia a incrementar con rugosidades mayores a 0.1  $\mu\text{m}$ ; mientras que debajo de ese valor, los coeficientes de fricción son muy similares. El mecanismo

de desgaste predominante fue abrasivo pero también se pudo observó deformación plástica y oxidación de la superficie.

**Palabra(s) Clave(s):** Acero H13, desgaste, fricción, nitrurado, rugosidad.

## **Abstract**

*The influence of surface roughness in the tribological behavior of nitrided H13 steel was investigated by means of dry friction tests. Three different roughnesses were prepared ranging from 0.04 to 0.41  $\mu\text{m}$ . It was observed that higher volume losses and wear rates were obtained on rougher surfaces. On the other hand, higher friction coefficients were observed for rougher surfaces until 0.1  $\mu\text{m}$ ; while below that roughness value, friction coefficients were very similar. The predominant wear mechanism was abrasive wear, besides it was observed plastic deformation and surface oxidation.*

**Keywords:** Friction, H13 steel, nitrided, roughness, wear.

## **1. Introducción**

Las superficies de cualquier producto presentan irregularidades que son características del proceso utilizado para su fabricación, por ejemplo: torneado, fresado, rectificado, extrusión, forjado, etc. En el proceso de forja, la pieza es formada por deformación plástica, aplicando fuerzas de compresión a través de un herramental. Así pues, la superficie del herramental estará en contacto durante la manufactura de la pieza, por lo que la rugosidad de éste influirá en el acabado de la pieza formada. Un aspecto que debe tomarse en cuenta en el desarrollo de herramientas es la relación que existe entre la rugosidad y el desgaste pero no sólo en términos de rendimiento o vida útil de los mismos sino también en términos económicos, por ejemplo: el tiempo y costo relativo de las diferentes operaciones de acabado [1]. Investigadores han encontrado, a través de ensayos de fricción mediante el método de bola en disco que la rugosidad conseguida con lijas de diferente tamaño de grano, es decir, la rugosidad inicial, tiene influencia directa en el coeficiente de fricción [2,3] y los mecanismos de desgaste presentes [4]. Por

otro lado, Hisakado [5] establece que para rugosidades iniciales altas entre los pares en contacto se obtienen mayores factores de desgaste.

El objetivo de este trabajo fue encontrar una rugosidad óptima del material AISI H13, que es un acero para herramienta utilizado para la fabricación de herramientas en los procesos de forja, con la finalidad de limitar el desgaste al mínimo y por consecuencia los costos por reposición de herramientas. Para éste propósito, el comportamiento tribológico en seco fue investigado utilizando el método de bola en disco. Se obtuvo el coeficiente de fricción y se calcularon tanto el volumen perdido como el factor de desgaste. Los mecanismos de desgaste presentes se determinaron mediante la observación de las huellas de desgaste por medio de microscopía óptica.

## 2. Métodos

Se utilizaron probetas de acero AISI H13 de 25 mm de diámetro y 5 mm de espesor. La composición química del acero empleado es: 0.40 %C; 4.85 %Cr; 0.49 %Mn; 1.25 %Mo; 1.08 %Si y 0.91 %V y el resto Fe. Las probetas se pulieron gradualmente mediante lijas de carburo de silicio hasta obtener tres rugosidades superficiales diferentes. Los diferentes tamaños de grano de las lijas y los tiempos empleados se indican en la tabla 1.

Tabla 1 Metodología de pulido y rugosidad promedio obtenida.

Probeta	Tamaño de grano del abrasivo	Tiempo (s)	Rugosidad promedio $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
S1	80	90	0.41
	120	60	
S2	80	90	0.10
	120	60	
	400	60	
S3	80	90	0.04
	120	60	
	400	60	
	600	60	
	800	60	
	1000	60	

Como parte de la metodología de pulido, entre cambio de lijas, se rotó la probeta 90° de tal forma que sea visible que el nuevo pulido quitará las marcas del pulido anterior. Durante todo el proceso de pulido se dejó correr agua para el arrastre de las partículas desprendidas y al mismo tiempo para enfriar la zona desbastada. Posteriormente, para la preparación superficial de las probetas, se utilizó un perfilómetro para determinar la rugosidad promedio de las probetas siendo medida ésta en tres zonas de las mismas, en el centro y extremos, esto con la finalidad de tener una rugosidad promedio de toda la pieza.

Las piezas fueron tratadas térmicamente y endurecidas superficialmente mediante un nitrurado por gas con un proveedor especializado en tratamientos térmicos.

Los ensayos de fricción se llevaron a cabo en un tribómetro mediante el método de bola en disco en condiciones en seco a temperatura controlada de 25 °C. Como contraparte se utilizó una bola de 6 mm de diámetro de carburo de tungsteno (WC) con una microdureza, rugosidad y módulo de elasticidad de 1370 (HV0.5), 0.02 µm y 670 GPa, respectivamente. La carga normal aplicada fue de 10 N, con una velocidad de deslizamiento de 2.5 cm/s y una distancia total de deslizamiento de 1000 m.

El coeficiente de fricción se obtuvo directamente del programa con que cuenta el tribómetro. El volumen perdido de material (V) se calculó de acuerdo a la norma ASTM G99-05 [6] asumiendo que no existe desgaste significativo de la bola (contraparte), ecuación 1.

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

Donde R es el radio de la huella de desgaste, r es el radio de la bola y d es el ancho de la huella. Los anchos de huella y los mecanismos de desgaste se determinaron mediante análisis de imágenes utilizando un microscopio óptico. El factor de desgaste se calculó mediante la ecuación 2 [7].

$$k = \frac{V}{FS} \quad (2)$$

Donde el volumen perdido ( $V$ ) es proporcional a la carga normal aplicada ( $F$ ) y la distancia de deslizamiento ( $S$ ). También se obtuvieron los anchos y profundidades de las huellas de desgaste mediante perfilometría.

### 3. Resultados

La figura 1 muestra la evolución del coeficiente de fricción como función de la distancia de deslizamiento para las muestras S1, S2 y S3. La muestra S1, que tiene la rugosidad promedio más alta de las tres, alcanza un valor promedio de 0.82, teniendo ligeras fluctuaciones pero siempre con tendencia a incrementar durante el desarrollo de toda la prueba. Las muestras S2 y S3 por el contrario mantienen un comportamiento más estable desde los 100 m hasta el final de la distancia de deslizamiento, alcanzando valores de coeficiente de fricción de 0.68 y 0.69, respectivamente.

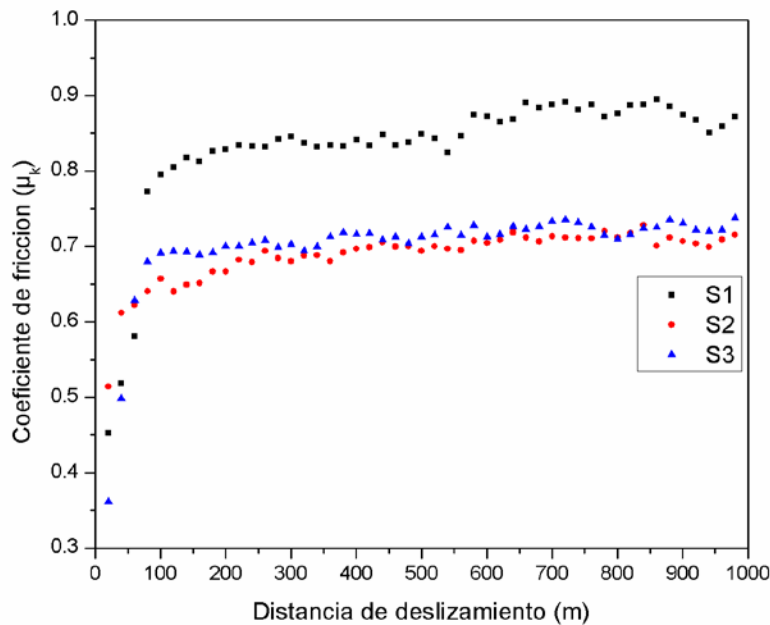


Figura 1 Coeficiente de fricción de las probetas S1, S2 y S3.

En las figuras 2a, 2b y 2c se muestran las imágenes representativas de las huellas de desgaste generadas en las pruebas de fricción para las probetas S1, S2 y S3, observándose una disminución del ancho de huella con la rugosidad; mientras que

los perfiles correspondientes a cada huella evidencian la profundidad del desgaste y la acumulación del material sobre la superficie. Una vez medidos los anchos de huella, se calcularon los volúmenes perdidos de material y los factores de desgaste con las ecuaciones (1) y (2), respectivamente, mismos que se presentan en la tabla 2.

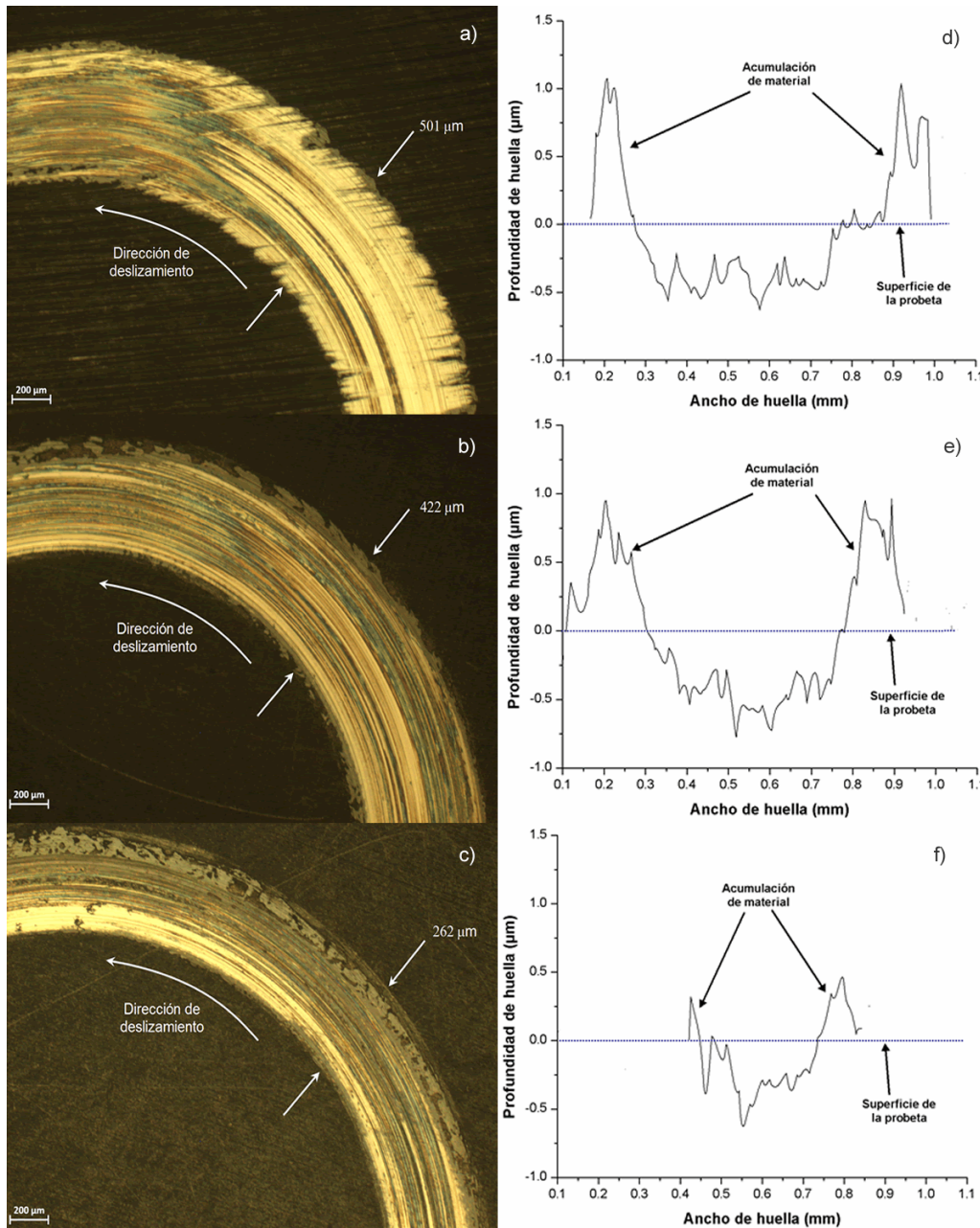


Figura 2 Micrografías ópticas (50X) anchos de la huella: a) S1, b) S2, c) S3 y perfiles de huella: d) S1, e) S2 y f) S3.

Tabla 2 Coeficiente de fricción, volumen perdido y factor de desgaste para las muestras.

Probeta	Coeficiente de fricción ( $\mu_k$ )	Volumen perdido ( $\text{mm}^3 \times 10^{-4}$ )	Factor de desgaste ( $\text{mm}^3/\text{Nm} \times 10^{-8}$ )
S1	0.826	440.67	440.67
S2	0.684	264.03	264.03
S3	0.695	63.39	63.39

La figura 3 muestra las superficies desgastadas de las probetas S1, S2 y S3, en las cuales se observan surcos en dirección del deslizamiento, característicos de un desgaste abrasivo. Se puede observar que algunos de estos surcos presentan colores café, azul y negro, que hacen suponer que existió oxidación en la superficie y se hacen más evidentes en la probeta S3.

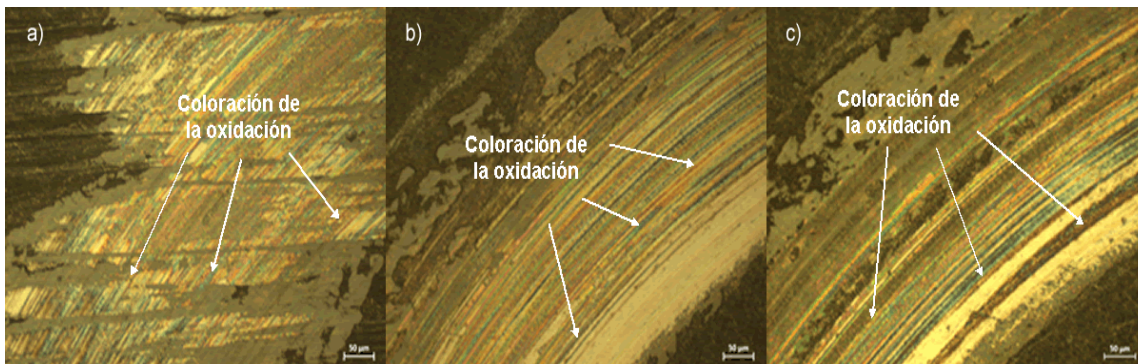


Figura 3 Micrografías ópticas (200X) superficies desgastadas: a) S1, b) S2 y c) S3.

#### 4. Discusión

Como puede observarse en la figura 1, entre las probetas S1 y S2 existe una variación en el coeficiente de fricción, siendo éste mayor para la rugosidad más alta. Este comportamiento podría atribuirse a que las partículas desprendidas durante las pruebas de fricción quedan atrapadas en las marcas del desgaste abrasivo, mismas que actúan como nuevas superficies rugosas que incrementan el coeficiente de fricción. Más aún, las probetas S2 y S3, a pesar de tener rugosidades iniciales diferentes, muestran un coeficiente de fricción muy similar aunque el valor del factor de desgaste para la probeta S3 disminuye un 75% al tener un menor ancho de huella, ver la tabla 2.

Dicho de otro modo, el coeficiente de fricción no se ve influenciado para rugosidades menores a  $0.1 \mu\text{m}$ . En general, se observa una tendencia del volumen perdido y el factor de desgaste a aumentar conforme se incrementa la rugosidad superficial. Este comportamiento ha sido descrito por otros investigadores [3,8] en diferentes materiales metálicos.

Por otro lado, el desgaste abrasivo es el mecanismo de desgaste predominante y está presente en las tres probetas. También se observa, en el perfil de las huellas de desgaste, una acumulación de material que no solo es debida a la deformación plástica del material por los elevados esfuerzos de contacto sino también a las partículas de desgaste que se van adhiriendo por la acción de la fuerza aplicada a ese mismo material desplazado.

Por otra parte, la oxidación de la superficie, tal como se observa en los surcos de colores en la figura 3, se debe a que existe interacción entre la superficie de la probeta y el ambiente ya que las pruebas de fricción son en seco. El cambio de coloración en los surcos se debe al aumento de la temperatura de la pieza a lo largo de toda la prueba siendo los de color café los primeros en presentarse mientras que los azules aparecen conforme se incrementa la temperatura, debido a la fricción, en la superficie desgastada.

Una vez analizados todos los resultados se puede proponer una rugosidad menor como acabado superficial para los herramientas, es decir, una  $R_a$  de  $0.04 \mu\text{m}$ , ya que el desgaste del material se ve limitado, lo cual representa una ventaja porque incrementa la vida útil del herramienta, disminuyendo los costos por reposición de los mismos. Es importante mencionar que debe extenderse la investigación hacia rugosidades aún menores, como la de un pulido a espejo y comparar los resultados.

Sin embargo, al tener una rugosidad superficial óptima, que asegure un desgaste mínimo, implica que debe tomarse en cuenta que dependerá no sólo de una de las superficies en contacto sino del par en contacto y de otros parámetros como el esfuerzo de contacto, la velocidad de deslizamiento, etc.



## 5. Bibliografía y Referencias

- [1] Bayer, R.G. y Sirico, J.L. (1975). The influence of surface roughness on wear. *Wear*, Vol. 35, pp.251-260.
- [2] Sedlacek, M., Podgornik, B. y Vizintin, J. (2009). Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear. *Wear*, Vol. 266, pp.482-487.
- [3] Al-Samarai, R.A., Haftirman, K. R. A., Ahmad, K.R., Al-Douri, Y. (2012). The influence of roughness on the wear and friction coefficient under dry and lubricated conditions. *IJSER*, Vol. 3, pp.1-6.
- [4] Kubiak, K.J., Liskiewicz, T.W. y Mathia, T. G. (2011). Surface morphology in engineering applications: Influence of roughness on sliding and wear in dry fretting. *Tribology International*. Vol. 44, pp.1427-1432.
- [5] Hisakado, T. (1976). The influence of surface roughness on abrasive wear. *Wear*, Vol. 4, pp.179-190.
- [6] Standard test method for wear testing with a pin-on disk apparatus, G99-05, American Society for Testing and Materials (2005).
- [7] Holmberg, K. y Matthews, A. (2009). *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. Great Britain: Elsevier.
- [8] Svahn, F., Kassman-Rudolphi, A. y Wallen E. (2003). The influence of surface roughness on friction and wear of machine element coatings. *Wear*, Vol. 254, pp.1092-1098.