

Comparación del desgaste por abrasión y el desgaste por deslizamiento de los aceros AISI/SAE 1020, 1045 y 4140

Gustavo Jiménez Torrado¹

Resumen

Dos formas de evaluar la resistencia al desgaste, estas son analizadas desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. Se realizaron ensayos de desgaste por abrasión y desgaste por deslizamiento según las normas ASTM G65 y G99, en los aceros AISI/ SAE 1020, 1045 y 4140. Los factores de estudio son la carga, la velocidad de deslizamiento y la distancia deslizada; se combinaron todos los factores para determinar el comportamiento de cada desgaste. La pérdida de material es comparada con el modelo Archard.

Los resultados de los ensayos muestran que el comportamiento del desgaste de los aceros son proporcionales a los factores de carga y distancia deslizada. Las superficies desgastadas muestran características típicas de los dos tipos de desgaste, mostrando una relación con los factores experimentales.

Palabras claves: Acero AISI/SAE 1020 1045 y 4140, Desgaste abrasivo, Desgaste adhesivo, Ecuación de Archard.

Summary

Two ways of evaluating the resistance to the wear, these are analyzed from the quantitative and qualitative point of view. Wear tests were realized by graze and wear by slide according to the procedure ASTM G65 and G99, in the steels AISI/SAE 1020, 1045 and 4140. The factors of study are the load, the speed of slide and the slid distance; all the factors were combined to determine the behavior of every wear. The loss of material is compared by the model Archard.

The results of the tests show that the behavior of the desgate of the steels they are proportional to the factors of load and slid distance. The spoiled surfaces show typical characteristics of both types of wear, showing a relation with the experimental factors.

Keywords: Steel AISI/SAE 1020 1045 and 4140, Abrasive wear, adhesive Wear, Archard's Equation.

¹ Docente de la UFPS. E-mail: gustavo.jimenez.t@gmail.com.co

Introducción

El desgaste es el daño de la superficie del sólido como resultado del movimiento relativo entre superficies o sustancias(1), donde el daño usualmente es el resultado de la pérdida progresiva del material. En ingeniería el desgaste es asociado con cambios de dimensión o de apariencia que eventualmente afecta la función o desarrollo del componente y no como una pérdida de volumen(1). Cuando se describe el fenómeno del desgaste es de gran importancia, el distinguir claramente entre la naturaleza del movimiento relativo responsable y el mecanismo físico por el cual el material cede en su resistencia al desgaste.

Una de las formas para poder caracterizar y encontrar la solución al problema del desgaste es la utilización de herramientas de laboratorio como son los ensayos tribológicos, donde su principal objetivo es reproducir el mecanismo dominante de desgaste. Estos ensayos indican la pérdida de material relacionada con parámetros de funcionamiento como la carga aplicada, el número de vueltas, la velocidad, entre otros. Ashby en su trabajo de investigación sobre el desgaste, utilizó la configuración Disco-pin, y a partir de los resultados creó un mapa de desgaste para los aceros con las variables de presión de contacto y velocidad (2), el cual relaciona siete mecanismos elementales de remoción de material con los modos de desgaste leve y severo, que definió Archard.

Archard en sus trabajos de investigación identificó las variables que modifican el comportamiento del desgaste, por medio de una ecuación simple, donde relaciona la carga, la conductancia y el área de contacto real para las condiciones de múltiples contactos entre asperezas, tal como ocurre en superficies rugosas(3). Este trabajo se resume de la siguiente forma:

$$V_s = k \frac{W}{H} L \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde () es el volumen de material removido por el proceso de desgaste, k es el coeficiente de desgaste, W la carga aplicada, L es la distancia de deslizamiento y H es la dureza del material.

Los mecanismos de desgaste pueden ser estudiados individualmente a partir de los ensayos tribológicos, pero es también interesante el examinar el modelo matemático de Archard como herramienta computacional y ser comparados con los resultados encontrados en el desgaste. Para el proceso de simulación se utilizó el programa de Matlab.

Este trabajo de investigación se enfoca en observar el comportamiento del desgaste y encontrar una relación cuantitativa y cualitativa, con los factores de carga, velocidad y distancia deslizada, para esto se desarrollaron todas las combinaciones posibles en los ensayos de las normas ASTM G65 y G99, teniendo varios niveles que pudieran reflejar un cambio significativo en los resultados de desgaste con los aceros AISI/SAE 1020, 1045 y 4140.

Materiales y métodos

Varios autores (1) (5) (3) relacionan el comportamiento del desgaste con la dureza del material, que depende de la composición química y microestructura. Por esta razón, se escogieron tres materiales que se diferencian en sus propiedades y se caracterizan en la industria por su aplicabilidad y disponibilidad para componentes mecánicos. Los aceros AISI/SAE 1020, 1045 y 4140, fueron sometidos a ensayos que permitieron caracterizar el material y luego ser sometidos a ensayos de desgaste, esto se puede observar en detalle en la siguiente tabla.

Tabla 1. Procedimiento Experimental

	DESCRIPCIÓN
COMPOSICION QUIMICA	El análisis de composición química de los materiales, se realizó siguiendo la norma ASTM E 350, por medio de espectrometría de emisión óptica. El equipo que se utilizó es un espectrómetro Thermo de Emisión óptica ARL Quantosk. Se realizaron 5 quemas en cada material. El promedio de los porcentajes de peso se resumen en la tabla 2
ENSAYO DE MICRODUREZA	Los ensayos de microdureza se realizaron siguiendo la norma ASTM E 384. Se utilizó la escala de micro dureza Vickers, con una carga de 100 g, donde se realizaron cinco indentaciones. En la tabla 2 se resumen los resultados.

RUGOSIDAD	Se verifico que la rugosidad Ra fuera menor de 0.8 micras, de acuerdo a las normas ASTM G65 y ASTM G99. Para esto se utilizó un rugosímetro marca Hommelwerke, tomando el valor promedio de 4 mediciones.
ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION	Se realizó según la norma ASTM G65. Las probetas evaluadas corresponden a los aceros seleccionados. Las cargas aplicadas fueron de 130 y 45 N, con un número de ciclos de 1000, 2000 y 6000. Se utilizó como material abrasivo arena, con un parámetro de redondez ($P^2/A = 15,97$) donde P es el perímetro y A es el área de la partícula en el plano de proyección.
ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO	Este ensayo se realizó con un equipo disco-pin, según la norma ASTM G99. Las dimensiones de los pines fueron de 25 mm de largo, 9mm diámetro y 4,5mm el radio de la punta; el disco fue fabricado con un acero AISI/SAE 1020, cuyo diámetro es de 4.5 pulg. ; Los ensayos realizados emplearon cargas de 5, 10 y 20 N, y velocidades de deslizamiento de 0,1; 1 y 10 ms^{-1} con una distancia deslizada de 900 m. Para la comparación del modelo matemático de ARCHARD se utilizaron las mismas cargas, con velocidad de 1 ms^{-1} y en una distancia deslizada de 900 y 300 m.

Resultados y discusión

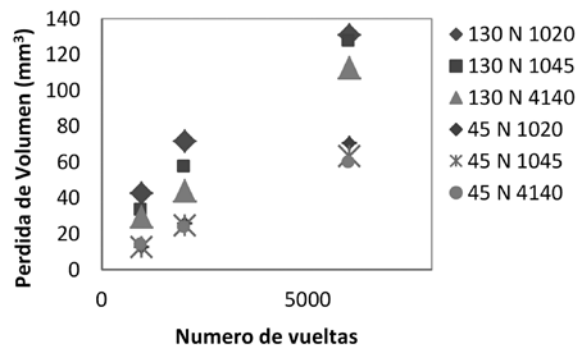
Los promedios obtenidos en los ensayos de composición química y dureza están dentro de los rangos encontrados en la literatura de estos materiales (6). Los valores de microdureza, se incrementan junto con el contenido de carbono y otros elementos que lo conforman.

Tabla 2. Resultados de la composición química (% en peso) y Microdureza de las muestras analizadas.

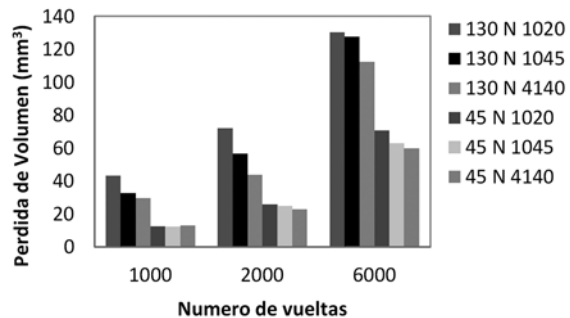
MATERIAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA							MICRO DUREZA	
	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Cu	%Al	Vickers (HV)	Dev. Est.
AISI / SAE 1020	0,17-0,23	0,1-0,4	0,3-0,6	-	-	-	-	126	-
Muestra	0,147	0,113	0,431	0,122	0,085	0,175	0,029	126	1,16
AISI / SAE 1045	0,42-0,5	-	0,6-0,9	-	-	-	-	185	-
Muestra	0,439	0,155	0,715	0,029	0,002	0,005	0,013	183	0,27
AISI / SAE 4140	0,38-0,43	0,15-0,35	0,75-1	0,8-1,1	-	-	-	307	-
Muestra	0,408	0,201	0,514	0,953	0,018	0,037	-	296	0,66

Efecto de la Carga, Velocidad y Distancia deslizada en el Comportamiento del desgaste

Comportamiento del desgaste por Abrasión



a)



(b)

Figura 1. Resultados del ensayo de desgaste abrasivo.

(a) tendencia en puntos. (b) tendencia en columnas.

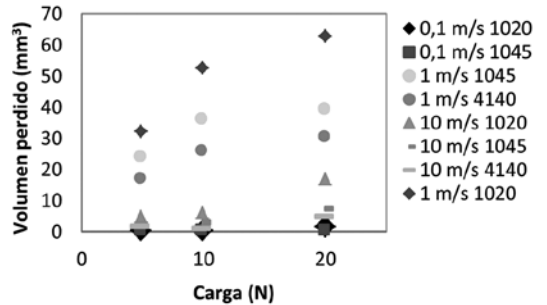
La figura 1, muestra el comportamiento del ensayo abrasivo ASTM G65, donde los materiales presentan un incremento en la pérdida de material a medida que aumenta la carga y el número de vueltas; esto indica que el desgaste abrasivo es directamente proporcional a los factores como la carga y el número de vueltas, e inversamente proporcional a la dureza del material.

Los resultados de esta prueba abrasiva muestran que el acero AISI/SAE 1020 tiene menor resistencia al desgaste abrasivo comparado con los otros materiales de estudio, y el acero AISI/SAE 4140 es el de mayor resistencia al desgaste abrasivo.

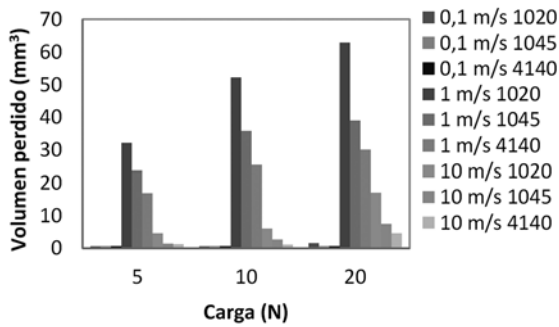
Al igual que el comportamiento en el desgaste por abrasión, el incremento en la pérdida de material es proporcional a la carga. La figura 2 muestra que la velocidad tiene un efecto diferente en este ensayo, ya que las mayores pérdidas de material se presentaron a la velocidad de deslizamiento de 1 ms^{-1} , esto es debido a un cambio en las superficies

de contacto (7), donde se forma una superficie más abrasiva y rugosa debido al acumulamiento o pérdida de material. En el ensayo realizado a 10 ms^{-1} , se forma una capa que evita el contacto entre los dos materiales, mostrando una rugosidad más baja y menor pérdida de material (ver figura 3), las superficies de los materiales desgastados se detalla con más precisión en el siguiente numeral.

Comportamiento del desgaste por Deslizamiento



(a)



(b)

Figura 2. Resultado del ensayo de desgaste por deslizamiento.

(a) tendencia en puntos. (b) tendencia en columnas

Los resultados de la prueba de desgaste por deslizamiento muestran que el acero AISI 1020 tiene menor resistencia al desgaste comparado con los otros materiales de estudio, y el acero 4140 el que presenta mayor resistencia al desgaste.

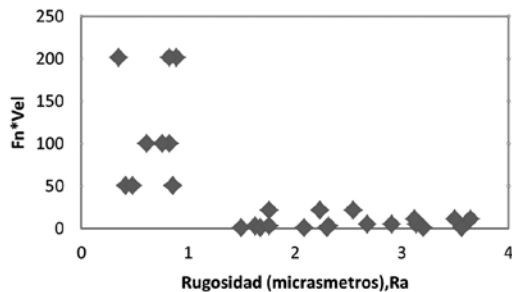


Figura 3. Comportamiento de la superficie desgastada ($F_n = \text{carga}$)

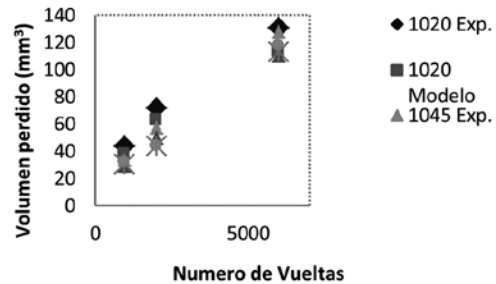
Comparación con el Modelo Matemático de Archard

Tabla 3. Desgaste según norma G99

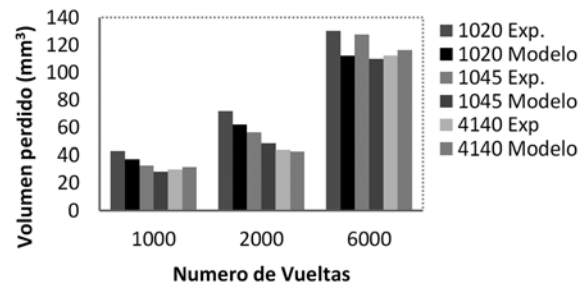
VARIABLES		AISI 1020		AISI 1045		AISI 4140	
Carga (N)	Distancia deslizada (m)	K (m/m)	Incertidumbre (%)	K (m/m)	Incertidumbre (%)	K (m/m)	Incertidumbre (%)
5	300	0,011	7,48	0,0053	12,46	0,0067	11,18
5	900	0,0093	3,20	0,0104	3,72	0,011	4,43
10	300	0,0058	25,91	0,0061	30,49	0,0077	27,78
10	900	0,0071	15,85	0,0079	34,74	0,0085	15,43
20	300	0,0041	48,22	0,0038	28,27	0,0055	30,99
20	900	0,0046	56,58	0,0043	51,08	0,0049	21,57

El procedimiento que se utilizó para encontrar el valor del coeficiente de desgaste fue hallando una ecuación que muestre la tendencia de los resultados en la prueba de desgaste. Esta ecuación se encontró graficando las variables que afectan el desgaste contra el coeficiente K calculado a partir de la ecuación de Archard. La tabla 3 presenta los resultados de las pruebas de desgastes por deslizamiento según la norma ASTM G99, donde se observa un aumento en la incertidumbre al aumentar el valor de cada factor, debido al aumento de la vibración durante el ensayo

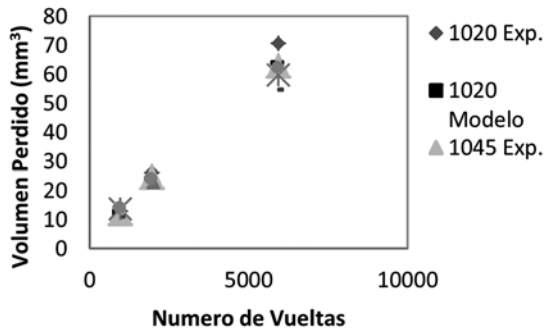
Comparación del modelo teórico con los resultados del desgaste por Abrasión



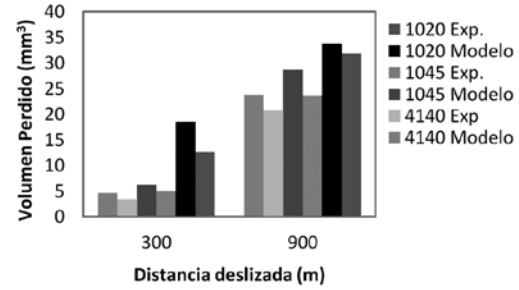
(a)



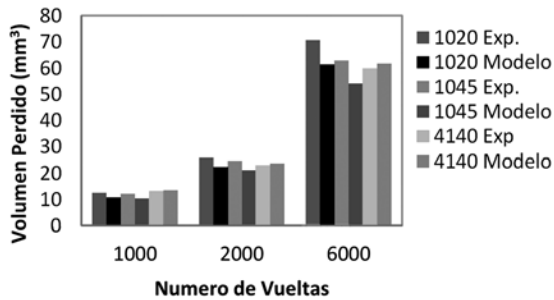
(b)



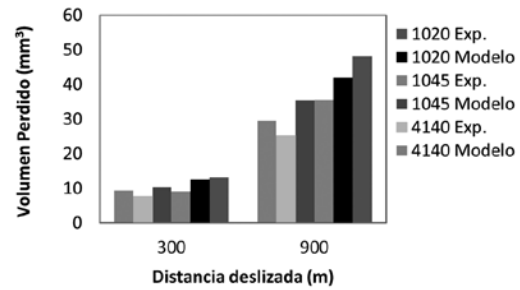
(c)



(b)



(d)

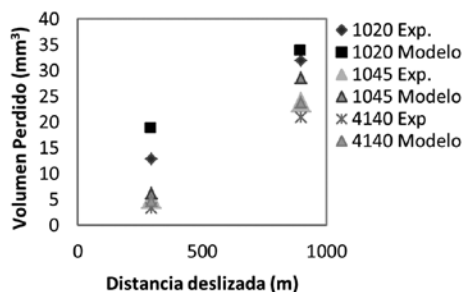


(c)

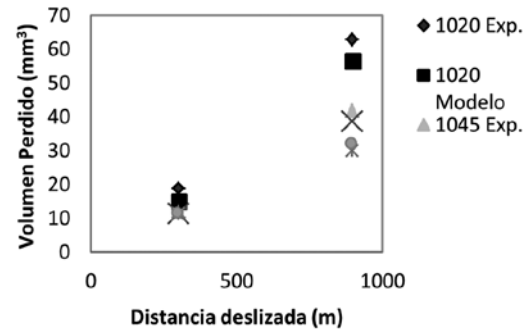
Figura 4. (a) Carga de 130 N. Tendencia en puntos. (b) Carga de 130 N. Tendencia en barras. (c) Carga de 45 N. Tendencia en puntos. (d) Carga de 45 N. Tendencia en barras

Las figuras 4 y 5 muestran los resultados de la pérdida de volumen obtenida por el modelo matemático y experimental. La respuesta de la simulación es similar a las curvas dadas por los ensayos de desgaste; el error encontrado entre lo experimental y lo teórico está dentro de un rango del 3 al 16 por ciento, esto se puede relacionar con el cambio de dureza superficial o de la superficie desgastada durante el ensayo. (ver figura 6 y tabla 2). Por otro lado, se puede relacionar con los errores que se puedan tener durante la experimentación o errores sistemáticos.

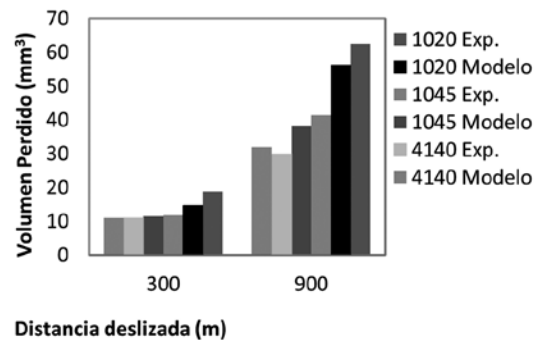
Comparación del modelo teórico con los resultados del desgaste por Deslizamiento



(a)



(d)



(e)

Figura 5. (a) Carga de 5 N. Tendencia en puntos. (b) Carga de 5 N. Tendencia en barras. (c) Carga de 10 N. Tendencia en barras. (d) Carga de 20 N. Tendencia en puntos. (e) Carga de 20 N. Tendencia en barras

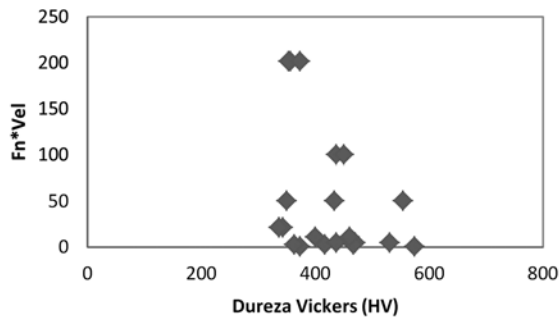


Figura 6. Dureza después de las pruebas de desgaste. (Fn= carga normal)

Conclusiones

Los ensayos de desgaste por abrasión y desgaste por deslizamiento, son métodos diferentes de simular el comportamiento del desgaste; cuantitativamente muestra la dependencia del material contra los parámetros de funcionamiento, mostrando que el acero AISI/SAE 4140 tiene mayor resistencia al desgaste con respecto a los otros aceros estudiados; el acero AISI/SAE 1020 presenta la menor resistencia al desgaste.

Los resultados muestran un cambio en la superficie desgastada y en la cantidad de pérdida de material, siendo proporcional a las variables de carga, velocidad y distancia deslizada. Esto llevó a tener niveles leves y severos en el desgaste, coincidiendo con los trabajos realizados por Archard & Ashby, que definen la severidad del desgaste de acuerdo al mecanismo que se presenta durante el desgaste del material.

Los factores que identificó Archard, muestran ser las variables para observar el comportamiento del desgaste, sin embargo hay que tener en cuenta otras variables que pueden modificar la pérdida de volumen como la fricción entre las superficies en contacto y la deformación ocurrida en el proceso de desgaste. Esto se pudo observar, cuando se aplicó el modelo computacional de Hegadekatte, que propuso una deformación elástica, y los resultados de caracterización superficial muestran lo contrario, teniendo una deformación plástica, consecuentemente el modelo no es válido para la aplicación que se le dio.

Bibliografía

Bayer, Raymond George. *Engineering design for wear.* 2004.

Lim, M. F. Ashby and S. C. Lim. *WEAR-MECHANISM MAPS.* Scripta METALLURGICA et MATERIALIA, Vol. 24, págs. 805-810. 1990.

Archard, J.F. *Contact and Rubbing of flat surfaces.*, journal of applied physics. 1953.

Hegadekatte, V.S y Kurzenha, N. huber. *A predictive modeling scheme for wear in tribometers.* Tribology. 2008.

Sarkar, A.D. *Desgaste de Metales.* Mexico : s.n., 1990.

ASM. *ASM Handbook.* 1998.

Ashby, Michael y Lim, S.C. *Wear - mechanism maps.* Wear. 1990.

Nilsson, R, Svahn, F y Olofsson, U. *Relating contact conditions to abrasive wear.* Wear. 2006.

Grigoroudis, K. *Modelling low stress wear.* Wear. 1997.

Ashby, Michael. *the wear of sliding conditions on theory friction of metals.* Wear. 1988.

Ashby, Michael. *Wear - rate transitions and their relationship to wear mechanism.* wear. 1986.

Rabinowicz, K. *friction and wear of materials.* s.l.: john wiley, 1965.

Rabinowicz, E. *Journal of applied physics.* 1951.

Pirso, Juri. *Friction and dry sliding wear.* 2003.