

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TRIBOLÓGICO EN CONFIGURACIÓN DISCO SOBRE DISCO DE ACEROS PARA USO EN SISTEMAS RUEDA-RIEL

J Camilo Sánchez ^{1*}, Marcela Pérez ¹, Diego Duque ¹, Juan F Santa ^{1,2}, Alejandro Toro ¹

¹Grupo de Tribología y Superficies, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

²Grupo de Investigación Materiales Avanzados y Energía – MATyER. ITM

*Contacto: jcsancheo@unal.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados de ensayos realizados en un simulador de contacto rueda-riel (máquina disco sobre disco) con el fin de evaluar los mecanismos de desgaste, los cambios en la integridad superficial y la pérdida de masa de las probetas en contacto en función del número de ciclos. El principal mecanismo de desgaste observado fue fatiga superficial y las mediciones de pérdida de masa mostraron un periodo de acomodamiento de aproximadamente 12000 ciclos seguido de un periodo estacionario con tasas de desgaste de 3.2 mg/ciclo y 1.3 mg/ciclo para los materiales de la rueda y el riel respectivamente.

Palabras Clave: *Mecanismos de desgaste, Contacto Rodante-Deslizante, Rueda/Riel, Ratcheting, Fatiga superficial.*

ABSTRACT

In this paper the results of tests carried out in rail-wheel contact simulator (disk-on-disk testing machine) are discussed in order to evaluate the wear mechanisms, the changes in surface finishing and the mass loss of the samples as a function of testing time. Rolling contact fatigue and the mass loss measurements showed a running-in period of approximately 12000 cycles followed by a steady stage with wear rates of 3.2 mg/cycle for the wheel material and 1.3 mg/cycle for the rail material, were the main wear mechanisms identified.

Keywords: *Wear Mechanisms, Stick-Slip contact, Wheel/Rail, Ratcheting, Surface Fatigue.*

1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de predecir el comportamiento de los materiales en contacto en un sistema rueda- riel real, se realizan pruebas controladas en laboratorio usando máquinas del tipo disco sobre disco para medir diferentes variables bajo condiciones específicas [1, 2]. En trabajos realizados en simuladores de este tipo se han evidenciado fenómenos de ratcheting y crecimiento de grietas bajo la superficie de las probetas [3, 4]. Luego de los ensayos tribológicos el material de rueda presenta una pérdida de masa mayor en comparación con el material de riel, esto es mostrado en ensayos realizados por otros por investigadores [5], en donde para ciertos valores de ciclaje la diferencia relativa en las tasas de desgaste es de hasta el 100%. Igualmente se ha mostrado que las probetas experimentan una zona deformada bajo la superficie la cual lleva aumentos de dureza por acritud [5, 6].

2 METODOLOGÍA

Las pruebas tribológicas se llevaron a cabo en máquina del tipo disco sobre disco instalada en el Laboratorio de Tribología y Superficies de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Los materiales usados para fabricar las probetas fueron aceros al carbono extraídos de componentes del Metro de Medellín. Para el disco que simulaba la rueda se usó un acero AISI 1050 y para el riel un acero AISI 1070, clasificados bajo norma UNE-EN 13262 y UNE-EN 13674 como ER8 y 370LHT respectivamente. La tabla 1 muestra el análisis químico de los materiales usados.

Tabla 1. Composición química de los materiales usados en los ensayos disco sobre disco (% en peso)

Elemento	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	Sn	Ti	V
Riel	0,762	0,394	1,062	0,015	0,011	0,058	0,506	0,019	0	0,038	0,001	0,002	0,002
Rueda	0,53	0,239	0,749	0,004	0,015	0,117	0,172	0,049	0,022	0,22	0,01	0,003	0,001

En la tabla 2 se pueden observar los parámetros fijos establecidos según valores reportados en sistemas férreos comerciales.

Tabla 2. Definición de los valores de las variables de ensayo.

Carga	320 kgf
Velocidad	1200 rpm
Porcentaje de deslizamiento	0% - 2%
Max. Presión de contacto	1.1 GPa

Las probetas se limpiaron en alcohol en equipo de ultrasonido durante cinco minutos y secadas con una corriente de aire tibio. Seguidamente se pesaron en una balanza CP225D Sartorius con una resolución de 1×10^{-5} g y se registró la variación de los parámetros de rugosidad en una estación de rugosidad Mitutoyo surfestest SV 3000. Se midieron los parámetros Ra y Rq (indicadores de rugosidad media), Rz (revela el efecto de la presencia de picos y/o valles de tamaño anómalo), skewness -Rsk – (describe la asimetría del perfil de rugosidad) y kurtosis -Rku – (sensibilidad del perfil a la existencia de picos/valles pronunciados).

Las probetas fueron posteriormente posicionadas en los ejes del tribómetro disco sobre disco para comenzar su rodaje y cada prueba se detuvo cada 50000 ciclos para reportar pérdida de masa y variaciones de rugosidad, hasta una duración total de 200000 ciclos. Una vez cada probeta cumplió su ciclaje se procedió a hacer el análisis del estado de la superficie usando el estereoscopio. Luego se realizaron cortes longitudinales y transversales con una cortadora de disco y se montaron en resina para observar el estado de su microestructura en un microscopio NIKON serie ECLIPSE LV100 con una cámara digital adaptada a éste (Digital Sight DS-2Mv) y tomar medidas de microdureza e identificar la zona endurecida por deformación. Paralelamente se analizaron las superficies mediante técnicas de microscopía electrónica para identificar los mecanismos de desgaste que estuvieron presentes durante el ensayo.

3 ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Pérdida de masa

En la figura 1 se muestra la pérdida de masa acumulada para el material de riel y rueda.

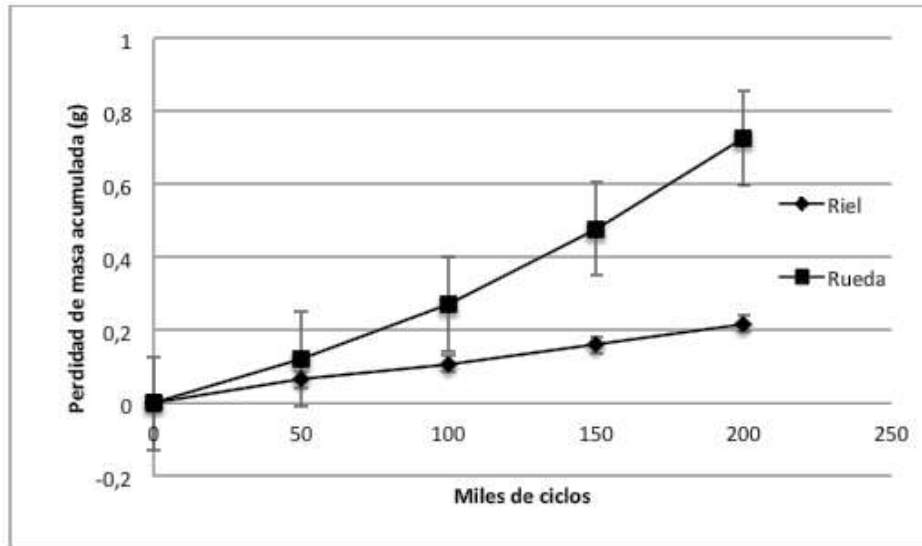


Figura 1. Pérdida de masa acumulada luego de ensayos con duración total de 200000 ciclos

La tasa de desgaste media para ambos materiales durante las pruebas se estimó a partir de la pendiente media de las curvas en la figura 1, obteniéndose $0.0032g/ciclo$ para la rueda y $0.0013g/ciclo$ para el riel.

3.2 Rugosidad

Las figuras 2 a 5 presentan la variación de algunos parámetros de rugosidad durante las pruebas para probetas de rueda y de riel. En las probetas de riel se presenta una disminución de R_z debida al aplastamiento de picos en el comienzo del contacto, por lo que se puede estimar un periodo de acomodamiento aproximadamente entre los 50000 y 100000 ciclos; para las probetas de rueda, por otro lado, se mantienen valores constantes aproximadamente hasta los 150000 ciclos y luego su valor aumenta, debido posiblemente a daños localizados de la superficie en donde hay grandes desprendimientos de material. Los reportes de R_q para el riel son muy similares durante toda la prueba, lo cual es consistente con su mayor dureza y menor tasa de desgaste. Con el parámetro R_{sk} se notó que las probetas de rueda empiezan con valores positivos y en ciclos posteriores se tornan negativos, lo cual puede ser asociado en una primera instancia al desprendimiento de material debido a fenómenos de coalescencia de grietas, pues dicho fenómeno produce superficies con valles extensos y picos menos preponderantes. El riel por su parte presenta valores negativos al comienzo pasando a valores positivos con el aumento del ciclaje, lo que dice que la densidad de picos aumenta con respecto a la densidad de valles, indicando que aunque existen aplastamientos similares al de la rueda, el crecimiento de las grietas que tienden a encontrarse es menos acelerado y por ende también el desgaste y el desprendimiento de masa. Por otro lado, tanto en probetas de riel como de rueda los valores del

parámetro de Rku permanecen positivos por encima de un valor de tres, lo cual se asocia a una distribución no Gaussiana de picos, caracterizada por una elevada densidad de picos muy altos con respecto al promedio. Este tipo de valores altos de Rku pueden asociarse en muchos fenómenos tribológicos a superficies deterioradas con gran desprendimiento de material.

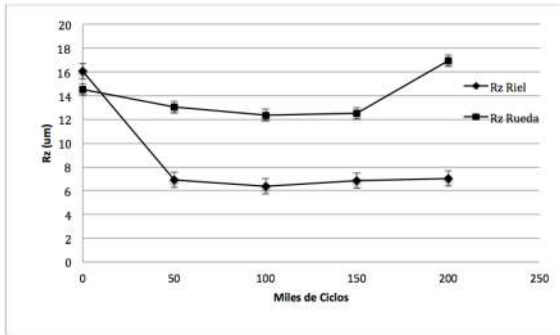


Figura 2. Variación del parámetro Rz en función del tiempo de ensayo.

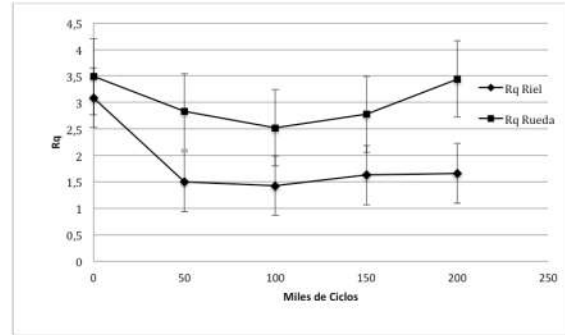


Figura 3. Variación del parámetro Rq en función del tiempo de ensayo.

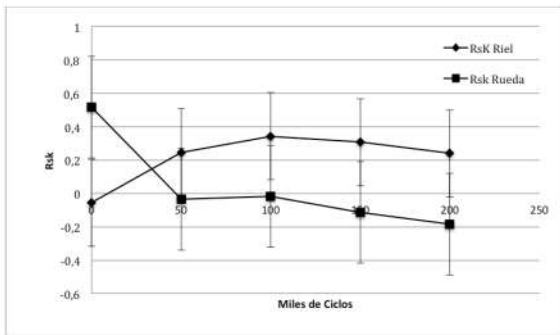


Figura 4. Variación del parámetro Rsk en función del tiempo de ensayo.

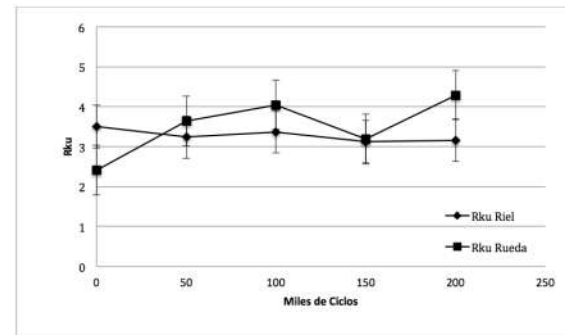


Figura 5. Variación del parámetro Rku en función del tiempo de ensayo.

Los elevados valores de las desviaciones reportados para algunos de los parámetros de rugosidad se deben a la variabilidad típica de la calidad de la superficie de las probetas. En particular, el parámetro Rsk es altamente sensible al efecto tanto de ondulaciones en el perfil como del ruido propio del equipo de adquisición de los datos.

3.3 Mecanismos de desgaste

En las figuras 6 y 7 se observan microestructuras de probetas rodadas a 50000 y 200000 ciclos. Se logra identificar una deformación del material cerca de la superficie de rodadura debido a la fuerza tangencial efectiva presente en la intercara, lo que da indicios de un endurecimiento en una capa del material por acritud.



Figura 6. Micrografía probeta de Riel 50000 ciclos



Figura 7. Micrografía probeta de Riel 200000 ciclos

Comparando las micrografías de las figuras 6 y 7, se puede observar con ayuda de la escala de las imágenes, que con el aumento de ciclaje el tamaño de la zona deformada presenta una profundidad similar tanto para la probeta de 50000 como para la de 200000 ciclos, por lo que se supone que a partir de un determinado número de ciclos (inferior a 50000), se consigue la deformación plástica crítica del material, donde la probeta experimenta una saturación en su deformación y comienza a ser preponderante la pérdida de volumen por fatiga. Las curvas de microdureza en función de la distancia a la superficie, mostradas en las figuras 8 y 9, apoyan esta hipótesis al hacer evidente una profundidad límite de endurecimiento del orden de 0.5 mm.

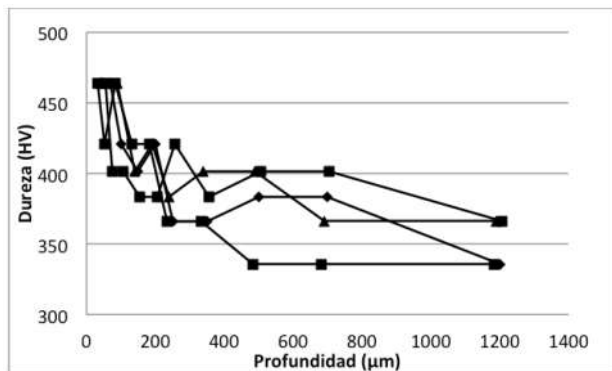


Figura 8. Perfil de microdureza para las probetas de riel

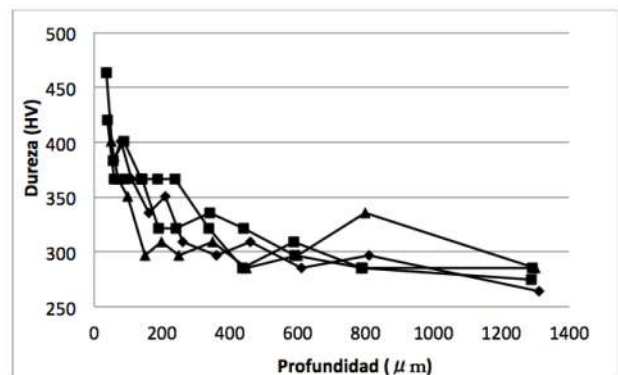


Figura 9. Perfil de microdureza para las probetas de rueda

En las figuras 10 y 11 se observa la superficie después de un ensayo de 50000 ciclos y también después de 200000 ciclos. Se ve claramente la influencia de la deformación plástica en la zona de contacto, evidenciando el fenómeno de *ratcheting* pues se puede ver el aplastamiento de picos, dando lugar a la formación de capas superpuestas y posterior desprendimiento de las mismas. Igualmente en algunas de las superficies se observaron marcas de desgaste abrasivo y adhesivo.

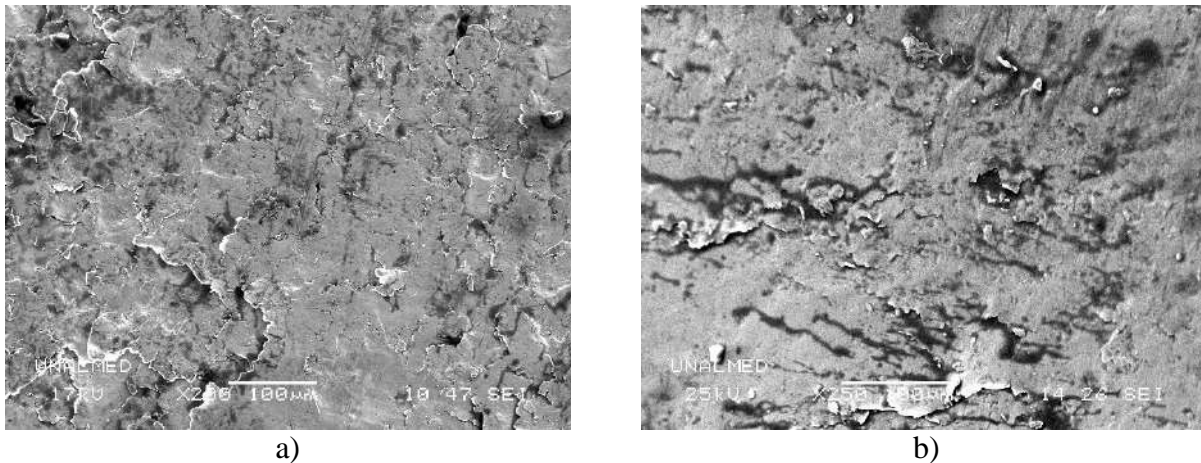


Figura 10. a) Superficie Rueda 50000 ciclos, b) Superficie Riel 50000 ciclos

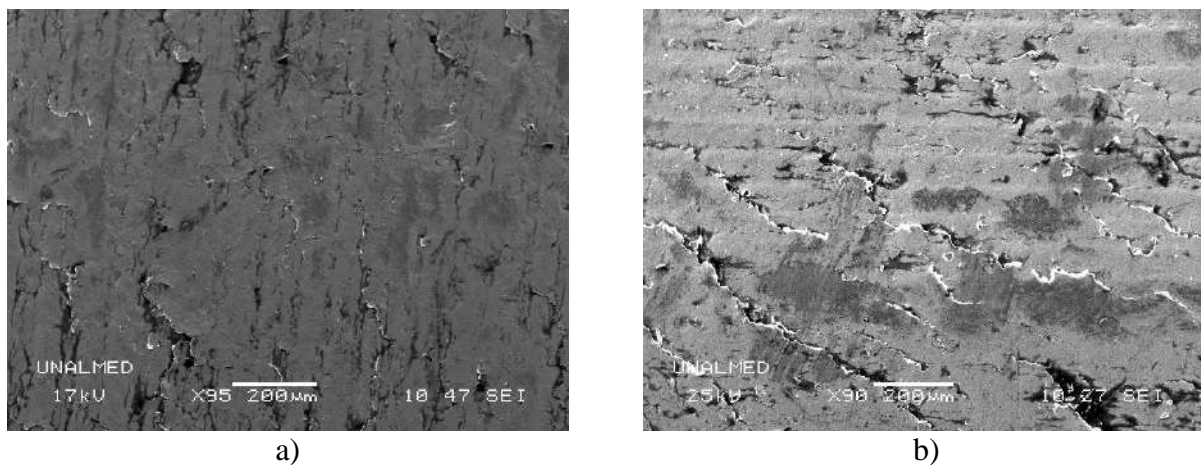


Figura 11. a) Superficie Riel 200000 ciclos, b) Superficie Rueda 200000 ciclos

4 CONCLUSIONES

El material R260 usado para las probetas que simulan la rueda presentó una menor resistencia al desgaste al compararlo con el material 370LHT usado para las probetas que simulan el riel, con una tasa de desgaste dos veces superior en el ensayo disco sobre disco.

El principal fenómeno de desgaste observado es *ratchetting* debido al agotamiento de la ductilidad de los materiales, acompañado de fenómenos de adhesión en algunos casos por las altas presiones y fenómenos de abrasión.

En las pruebas se identificó un periodo de acomodamiento cerca de los 100000 ciclos en donde se presenta un aplastamiento de picos y con éste el suavizado de las superficies, evidenciando una tendencia similar en los resultados en cuanto a pérdida de masa.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Santa, J.F, “Development of a lubrication system for wear and friction control in wheel/rail interfaces”, Doctoral Thesis, pp. 1–112, 2012.
2. Gallardo-Hernandez, E and Lewis, R “Twin disc assessment of wheel/rail adhesion”, *Wear*, Vol. 265, No. 9–10, pp. 1309–1316, Oct. 2008.
3. Dayot, C, Saulot, A, Godeau, C and Berthier, Y, “Tribological behaviour of Pearlitic and Bainitic steel grades under various sliding conditions”, *Tribology International*, Vol. 46, No. 1, pp. 128–136, May 2011.
4. Garnham, J.E and Davis, C.L “The role of deformed rail microstructure on rolling contact fatigue initiation”, *Wear*, Vol. 265, No. 9–10, pp. 1363–1372, Oct. 2008.
5. Tyfour, W.R, Beynon, J.H, Kapoor, A, “The steady state wear behaviour of perlitic rail steel under dry rolling-sliding contact condition”, *Wear*, Vol. 188, pp 79-89, 1995.
6. Arias, O, Li, Z, Lewis, R, Gallardo-Hernandez, E, “Rolling-sliding laboratory test of friction modifiers in dry and wet wheel-rail contact”, *Wear*, Vol. 268, pp 543-551, 2010.