

MEDICIONES DE ÁREA DE CONTACTO APARENTE EN LA INTERFAZ RUEDA/RIEL

Alejandro Vásquez^{1}, Guillermo. Idárraga¹, Juan F Santa^{1,2}, Alejandro Toro¹*

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

2: Grupo de Investigación Materiales Avanzados y Energía – MATyER, Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia.

* Contacto: avasqueg@unal.edu.co

RESUMEN

El área de contacto es un parámetro importante en el desempeño tribológico de sistemas rodantes-deslizantes. En este trabajo se realizaron mediciones de área aparente de contacto en laboratorio con probetas fabricadas a partir de la geometría real de un sistema rueda/riel. Láminas de distintos materiales y con espesores comprendidos entre los 50 y 150 μm fueron ubicadas en la zona de contacto, en un montaje implementado con una máquina universal de ensayos. Los resultados indican que la forma de la huella de contacto es de tipo elíptica, tal como lo predice la teoría de contacto elástico de Hertz. Se encontraron variaciones significativas entre las mediciones experimentales y las simulaciones asociadas a suposiciones hechas en el desarrollo de los métodos analítico y numérico.

Palabras clave: *Método Analítico, Área de contacto, Teoría de Hertz, Vampire®.*

ABSTRACT

Contact area is an important parameter regarding the tribological behavior of rolling-sliding systems. In this work, the apparent area of contact of a rail-wheel interface was measured in laboratory with specimens taken from a commercial railroad system. Sheets of different materials and thicknesses were placed into the contact region and submitted to contact stresses by using a specially designed setup in a universal testing machine. The results showed that the shape of the contact area is elliptical as predicted by Hertz theory, but significant variations were found between the experimental and the analytical/numerical values, mainly as a consequence of the assumptions made for the calculations.

Keywords: *Analytical method, Contact Area, Hertz theory, Vampire®*

1 INTRODUCCIÓN

Conocer el tamaño y la forma de la huella de contacto en la interfaz rueda/riel es de gran importancia dada la influencia que ésta tiene en el desgaste de ruedas y rieles, el confort de los pasajeros y la dinámica del vehículo [1, 2]. Actualmente existen algunas técnicas que permiten realizar medidas de área de contacto experimental tales como ultrasonido [3] o que ayudan a realizar estimaciones a través modelos de simulación [4]. En este trabajo se implementa un método sencillo y de bajo costo que permite medir el área de contacto de un sistema rueda/riel bajo condiciones estacionarias, el cual es comparado mediante métodos analíticos y simulaciones

de contacto realizadas en un software multicuerpo. Dicho método también es útil para una gran diversidad de aplicaciones donde se presenta contacto entre dos o más superficies.

2 METODOLOGÍA

Se extrajeron probetas con la forma del perfil de la rueda y el riel del Metro de Medellín, tal como se muestra en las

Figura 1 y 2. Dichos tramos de rueda y riel fueron adecuados para realizar un montaje en máquina de pruebas de tracción Monsanto como se muestra en la Figura 3.



Figura 1. Sección extraída de la cabeza de riel.

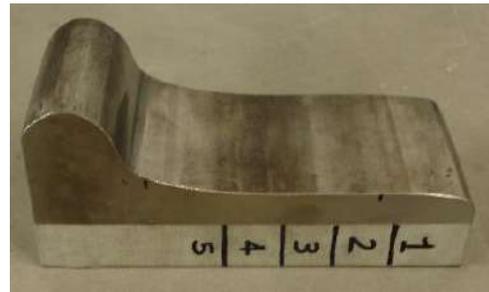


Figura 2. Sección extraída de la rueda.



Figura 3. Montaje en máquina Monsanto

Por medio de este arreglo se simularon las condiciones de contacto usando una carga de 2 toneladas durante un minuto. Para ello, se ubicaron las láminas de distintos materiales y espesores (ver Tabla 1) en la zona central de la rueda y el riel, ya que en esta región el contacto es no conforme y la huella es simple [5], además de láminas metálicas descritas en la tabla 1 se utilizó un papel sensible a la presión denominado *Fujifilm prescale* (Tekscan). Se retiraron las láminas y las huellas marcadas fueron escaneadas y medidas con la ayuda de Autocad® con el fin de utilizar sus herramientas para delimitar el contorno de las huellas y tomar medidas cuantitativas del área aparente de contacto.

Tabla 1. Materiales y espesores

Material	Espesor [μm]
Plomo	50-100 y 100-150
Estaño	50-100 y 100-150
Papel carbón – mantequilla	70
Aluminio Corrugado	100
<i>Fujifilm prescale (Tekscan)</i>	120

Por otro lado, con ayuda del equipo *miniprof* se midieron los perfiles de la rueda y el riel, los cuales fueron utilizados para realizar simulaciones con un software de contacto multicuerpo. Finalmente, se calcularon los radios de curvatura en la zona de contacto usando un software CAD y con estos radios se obtuvo el área de contacto por medio de la teoría elástica de tipo general de Hertz [6], ecuaciones 1 y 2.

$$a = k_a \sqrt[3]{\frac{3F(m_1+m_2)}{4A}} \quad b = k_b \sqrt[3]{\frac{3F(m_1+m_2)}{4A}} \quad (1)$$

$$\text{Área} = \pi * a * b \quad (2)$$

Donde

- F es la fuerza aplicada normal a la superficie de contacto en [N].
- m_1 y m_2 son variables dependientes del módulo de Young y de la razón de poisson para cada uno de los materiales involucrados en el contacto. Así:

$$m_1 = \frac{1-\nu_1^2}{E_1}, \quad m_2 = \frac{1-\nu_2^2}{E_2}$$

- A es una variable dependiente de los radios de curvatura de las superficies en contacto.
- K_a y k_b son variables dependientes del ángulo entre los planos que contienen los radios de curvatura.
- a y b son los semiejes de la elipse.

3 RESULTADOS

3.1 Método experimental.

En la Figura 4, se observan las imágenes de las áreas de contacto obtenidas a través de la técnica experimental. Se puede apreciar que las irregularidades en la huella se deben a las marcas presentes en las superficies de la rueda y el riel generadas por operaciones de reperfilado. También se evidencia un flujo plástico en las láminas de estaño y plomo, lo que conlleva a un error en la medición, cosa que no ocurre con el resto de los materiales.



Figura 4. Área de contacto medida con los diferentes materiales de prueba.

En la Figura 5 se muestran los resultados de área de contacto y las desviaciones obtenidos al usar cada uno de los materiales. Los materiales con los cuales se obtuvo una menor área de contacto son el Aluminio corrugado y el *Fujifilm prescale*, siendo este último el que presenta la menor dispersión. También se evidencia el efecto que tiene el espesor de la lámina en la medición, pues al disminuir el espesor en general el área medida es menor debido a la reducción en la cantidad de flujo plástico lateral.

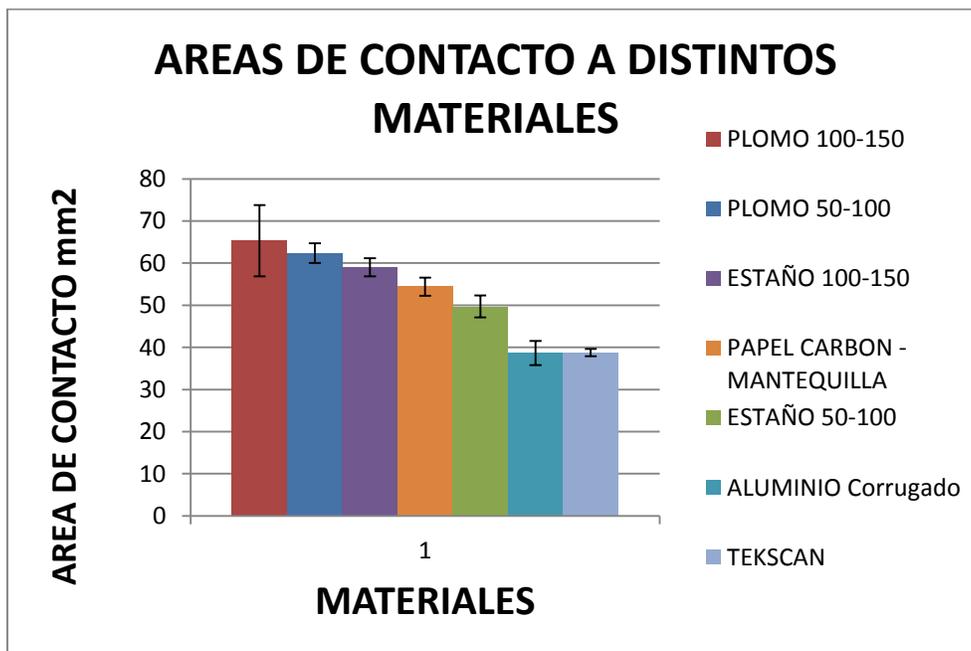


Figura 5. Medidas de área de contacto y dispersión de las medidas

3.2 Método analítico y simulación de contacto con software Vampire®.

La Figura 6 muestra un ejemplo de los resultados de la simulación del área de contacto usando software Vampire®, el cual arrojó un valor de 19.61mm^2 , evaluada en la misma zona que se tomó durante la experimentación. Por otro lado, a partir de la teoría de contacto general de Hertz se obtuvo que el área de contacto es de 45.24mm^2 .

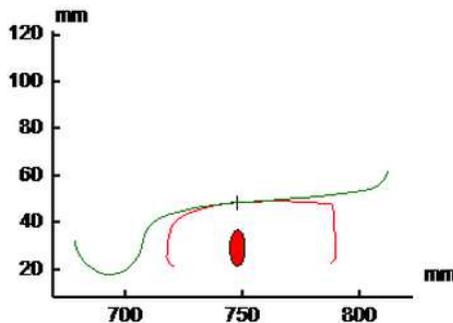


Figura 6. Resultados de área de contacto utilizando el software Vampire®.

4 DISCUSIÓN

Comparando los resultados obtenidos por el método experimental con los del método analítico de Hertz, se encuentra que los materiales que mejor se ajustan a estos resultados son el estaño (espesor 50-100 μm), Aluminio corrugado y el *Fujifilm prescale*, con errores promedio de 8%, 17% y 16% respectivamente. Estos errores se deben a que la teoría Hertziana asume que los cuerpos presentan deformaciones completamente elásticas en el contacto y que las superficies son totalmente lisas. Por otra parte, al observar el resultado obtenido por simulación con Vampire®, el área de contacto es mucho menor que la estimada con cualquiera de los otros métodos, por lo cual los materiales que más se acercan a este resultado son el *Fujifilm prescale* y el aluminio corrugado, con errores del 49%, mientras que el estaño presenta un error del 67%. Estas diferencias se deben al método de cálculo usado por el algoritmo propio del software, el cual no es discutido en este trabajo.

Con base en las áreas medidas, se calculó los esfuerzos de contacto para estos tres materiales y para el método analíticos y de simulación, los resultados se observan en la tabla 2. Al comparar estos resultados con el esfuerzo de cedencia del acero R350HT utilizado en la fabricación de rieles, el cual es de 837MPa [7], se tiene que bajo las condiciones de carga de las pruebas no se alcanza el esfuerzo de cedencia del material ferroviario y se mantiene en el rango elástico.

Tabla 2. Esfuerzos promedios de contacto.

MATERIAL	ESTAÑO 50-100	HERTZ	ALUMINIO CORRUGADO	TEKSCAN	VAMPIRE
ESFUERZO [MPa]	394.73	433.69	507.62	506.05	1000.51

5 CONCLUSIONES

Se encontró que tanto el espesor como las propiedades del material utilizado para realizar mediciones de área de contacto influyen de manera significativa en las mediciones. Láminas de espesores mayores y de materiales cuya capacidad de deformación es alta, presentan como resultado huellas de contacto mayores.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los diferentes métodos y teniendo en cuenta los errores presentes entre ellos, se concluye que los materiales que mejor se ajustan para realizar las mediciones son el aluminio corrugado y el *Fujifilm prescale*. Sin embargo, al considerar la diferencia entre costos de los dos materiales, el aluminio corrugado es la mejor opción para realizar las medidas en la práctica.

Las pruebas se realizaron bajo un régimen elástico, por lo cual las áreas de contacto se acercan más a las encontradas con la teoría Hertziana que con la simulación hecha con Vampire®.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Metro de Medellín por su apoyo y colaboración para llevar a cabo este proyecto en las instalaciones de los talleres de Bello.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. J. B. Ayasse and H. Chollet, “Wheel–Rail Contact. Handbook of railway vehicle Dynamics”, ISBN-13: 978-0-8493-3321-7, pag 87-119, 2006.
2. S. Andersson, “Friction and wear simulation of the wheel-rail interface, Wheel-rail interface handbook”, First Edition. ISBN 978-1-84569-412-8, Cap 2, 2006.
3. M. Pau, “Estimation of real contact area in a wheel-rail system by means of ultrasonic waves”, Italia, Enero 2003.
4. B. Buchner, M. Buchner, B. Buchmayr, “Determination of the real contact area for numerical simulation”, Tribology International 42 897–901, 2009.
5. U. Olofsson and R. Lewis, “Basic tribology of the wheel-rail contact, Wheel-rail interface handbook”, First Edition. ISBN 978-1-84569-412-8, Cap 2, 2006.
6. R.L. Norton, “Machine Design: General contact”. United States of America. Prentice hall-Pearson. 2006 . Pags 432 – 446.
7. VALEC Engenharia, Construcoes e Ferrovias S.A, “Technical specifications for manufacture and supply of 60E2 rail section with “R350HTor R350LHT” CEN steel grade or high strength rail AREMA steel”. Brasil, 2012.