



## EQUIPO PÉNDULO PARA EVALUAR RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Marisa Moreno Ríos, Ezequiel A. Gallardo Hernández, Manuel Vite Torres.

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México, Distrito Federal.

### RESUMEN:

El equipo péndulo (Pendulum skid tester) fue diseñado originalmente en los años 40 en E.U. A., posteriormente en los '60, el UK Transport Research Laboratory lo modificó para realizar mediciones de resistencia al deslizamiento en carreteras o autopistas [1]. Este equipo provee un método para revisar de forma rutinaria la resistencia al deslizamiento y derrapes en carreteras con condiciones húmedas y secas tanto en laboratorio como en campo. También es usado para evaluar resistencia al deslizamiento en pisos, así como el efecto de contaminantes entre el contacto de suelas de los zapatos y pisos y el efecto de la variación de la rugosidad en pisos. La viabilidad del equipo para evaluar la resistencia al deslizamiento en superficies con diferentes condiciones en laboratorio o in-situ ofrece ventajas con respecto a otros equipos usados exclusivamente en laboratorio. El presente trabajo muestra el principio de funcionamiento del equipo y los resultados que se obtienen comparándolos con otros equipos en diferentes aplicaciones.

### 1. INTRODUCCIÓN

El péndulo (Figura 1-a) mide la resistencia a la fricción entre una probeta de elastómero (Figura 1-b, 1-c) montada al final del brazo y la superficie a analizar.

Este equipo provee a ingenieros en transporte un método para revisar de forma rutinaria la resistencia al deslizamiento y derrapes en carreteras con condiciones húmedas y secas tanto en laboratorio como en campo.

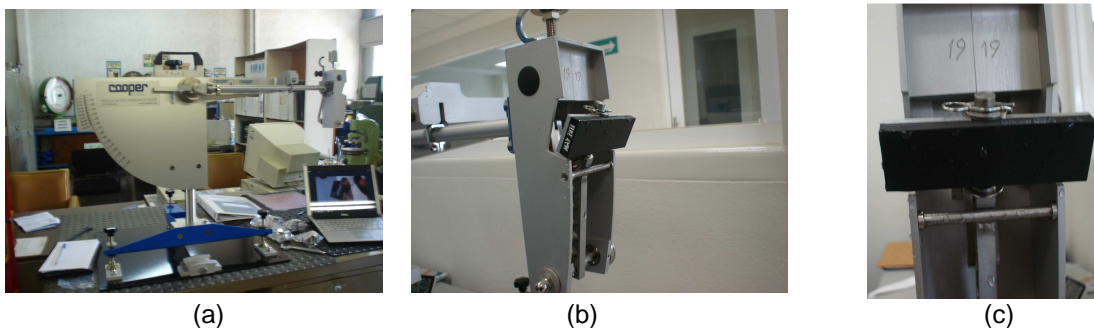


Figura 1. Equipo péndulo. (a) Vista general, (b) Brazo, (c) Pad de elastómero.



También es usado para evaluar resistencia al deslizamiento en pisos, así como el efecto de contaminantes entre el contacto de las suelas de los zapatos y pisos y el efecto de la variación de la rugosidad en pisos [2].

La viabilidad del equipo se ha estudiado para usarlo en campo como en laboratorio, se ha comparado con equipos usados exclusivamente en laboratorio como la prueba de rampa (Figura 2-a) o en superficies húmedas o secas, comparándolo con equipos como el Tortus II (Figura 2-b) [3].



(a)



(b)

Figura 2. Equipos para evaluar resistencia al deslizamiento en piso. (a) Rampa, (b) Equipo Tortus.

Otra aplicación es la evaluación en el desarrollo de materiales para neumático, evaluando la resistencia al deslizamiento del material modificado en su composición química, en condiciones húmedas o lubricadas en asfaltos pre-determinados o en pavimento con hielo [3].

En los últimos años se ha aplicado esta técnica para evaluar coeficiente de fricción en vías férreas.

Varios métodos y equipos han sido usados para determinar los coeficientes de fricción en el contacto rueda-riel, en laboratorio y en campo [3]. Los más usados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Equipos para evaluar coeficiente de fricción en vías férreas.

LABORATORIO	VÍAS
Tribómetro a escala real de rueda y riel	Trenes instrumentados
Equipo de discos encontrados	Tribómetro manual (Figura 3-a)
Equipo perno sobre disco	Tribómetro de alta velocidad (Figura 3-b)

El equipo péndulo se utilizó para evaluar el efecto de las hojas de los árboles que caen sobre las vías en otoño en Inglaterra [4], análisis de la adhesión en una vía in-situ y laboratorio considerando diversas condiciones en la superficie del riel, como: seco, húmedo, con aceite, mezcla aceite-agua a diferentes porcentajes, residuos de hojas y modificadores de fricción [5].



(a)



(b)

Figura 3. Equipos para evaluar coeficiente de fricción en vías. (a) Tribómetro manual, (b) Tribómetro de alta velocidad.

También se ha evaluado el efecto de productos hidrofóbicos para evitar la condensación de agua sobre las vías debido a una alta humedad [6].

En la Cd. de México, se ha usado este equipo para determinar coeficiente de fricción en líneas del STC- Metro [7].

## 2. TEORÍA

### 2.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO PÉNDULO

El equipo funciona con el principio de pérdida de energía de la prueba Charpy.

La operación del equipo (Figura 4) es la siguiente:

- 1.- Un péndulo gira alrededor de un eje unido a un pilar vertical. En el extremo del brazo tubular (a) se fija una base rígida de masa conocida con una pad de elastómero (b).
- 2.- El péndulo se libera desde una posición horizontal de modo que realiza un arco igual a la longitud del brazo.
- 3.- El pad (b) hace contacto con la superficie (d) a evaluar a una velocidad constante.
- 4.- Como el pad tiene un punto de pivote y montada sobre un resorte que se extiende hasta el brazo, esto asegura una fuerza constante normal entre el pad y la superficie en el contacto.
- 5.- La fricción entre el pad y la superficie produce una pérdida de energía la cual es medida en SRV (Slip Resistance Value) mediante un puntero (c) en la escala (e), cuando el eje gira de forma ascendente.



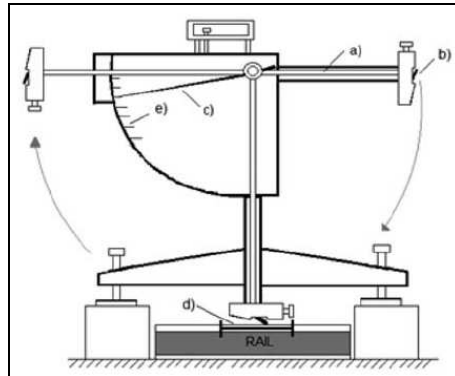


Figura 4. Esquema del péndulo [7].

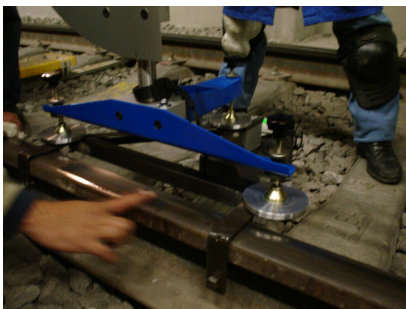
Para convertir la energía pérdida en coeficiente de fricción se ha especificado la ecuación No. 1 [8], la cual fue obtenida para una longitud de contacto de  $126 \pm 1$  mm entre el pad y la superficie:

$$\mu = \left( \frac{110}{SRV} - \frac{1}{3} \right)^{-1} \text{----- No. 1}$$

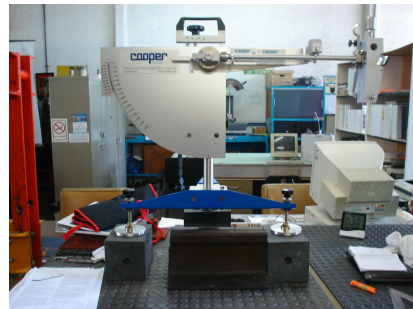
### 3. PARTE EXPERIMENTAL

En vías y en laboratorio se realizaron pruebas con diferentes condiciones de la superficie: seco, húmedo y contaminado con aceite. Se monitorea humedad y temperatura promedio.

En campo se realiza en ambas direcciones de la vía (Figura 5-a). En laboratorio se realiza en un tramo de riel del mismo tipo que se utiliza en el STC-Metro (Figura 5-b).



(a)



(b)

Figura 5. Evaluación de coeficiente de fricción en (a) vías y en (b) laboratorio.

### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los valores obtenidos en vías como en laboratorio son similares tal y como se muestran en la Figura 6 para las condiciones de superficie evaluadas. Así como los obtenidos en otros trabajos [5-6] y son equivalentes a los reportados cuando se usan otras técnicas [7].

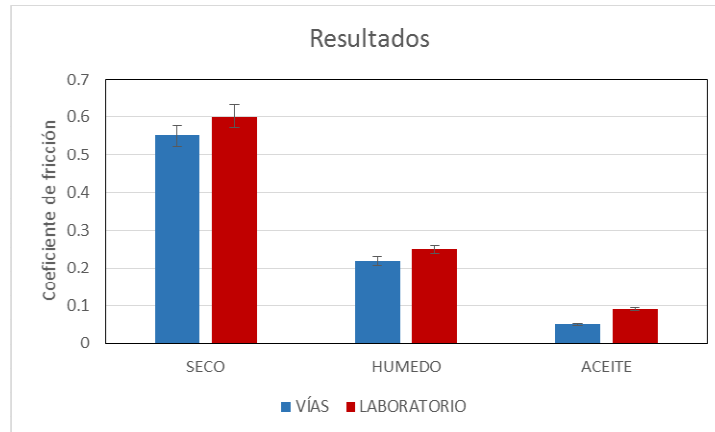


Figura 6. Resultados de pruebas con el equipo péndulo.

## CONCLUSIONES

Cuando se usan tribómetros en vía o laboratorio a escala real o se instrumentan trenes en servicio, las condiciones de la prueba se acercan a las reales pero se pierde control en los parámetros de operación, además que algunas pruebas consumen mucho dinero y tiempo en su preparación. El equipo péndulo es una opción real para evaluar de manera rápida y simple el coeficiente de fricción en una longitud de superficie pequeña, para diferentes áreas de aplicación, además de la ventaja de adaptarse a las áreas de trabajo y a laboratorio, sin tener variaciones importantes en los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de Operación Equipo Péndulo, COOPER WESSEX, 2006.
2. Mills R., Dwyer-Joyce R.S., Loo-Morrey M., "The mechanism of pedestrian slip on flooring contaminated with solid particles", *Tribology international* 42(2009) pp. 403-412.
3. Moreno Ríos Marisa, Trabajo Pre-doctoral, SEPI ESIME ZAC., IPN, México, D.F., 2015.
4. Brookes R., "Wheel rail interface technology management: autumn performance trials, *Network Rail* (2003).
5. Lewis S. R., Lewis R. and Olofsson U., "An alternative method for the assessment of railhead traction", *Wear* (2011) pp. 62-70.
6. Lewis S. R. et. al., "An Investigation of the isolation and frictional properties of hydrophobic products on the rail head, when used to combat low adhesion", *Wear* (2014) pp. 213-219.
7. Moreno-Ríos, M., et. al., (2014), "Field and laboratory assessments of the friction coefficient at a railhead", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, DOI: 10.1177/0954409714536383. Online version: <http://pif.sage.pub.com/content/early/2014/05/29/0954409714536383>.
8. BS 7976-1: 2002. Pendulum testers: part 1- specification.