

# Sistema de adquisición y control de un tribómetro pin-on-disk

## Tribometer pin-on-disk acquisition and control system

Presentación: 08/10/2023

### Luciano Quiroga

LEDFS - Laboratorio de Ensayo de Desgaste y Fricción Sólida, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
lquiroga235@alumnos.frh.utn.edu.ar

### Matías Molina

LEDFS - Laboratorio de Ensayo de Desgaste y Fricción Sólida, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
ymatias\_2911@hotmail.com

### Nicolas Urbano Pintos

División Radar Láser, Departamento de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, J. B. de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.  
LEDFS - Laboratorio de Ensayo de Desgaste y Fricción Sólida, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
nurbano@frh.utn.edu.ar

### Vitaly Martinenko

Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Av. General Paz 5445, San Martín, Buenos Aires, Argentina.  
LEDFS - Laboratorio de Ensayo de Desgaste y Fricción Sólida, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
vmartynenko@inti.gob.ar

### Maximiliano Zanin

División Radar Láser, Departamento de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, J. B. de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.  
LEDFS - Laboratorio de Ensayo de Desgaste y Fricción Sólida, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
mzanin@frh.utn.edu.ar

## Resumen

En el Laboratorio de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, se diseñó un tribómetro pin-on-disk académico de bajo costo, con un sistema de adquisición y control que incluye una celda de carga, un sensor óptico para la medición de velocidad de giro y un sensor infrarrojo que indica la variación de temperatura cercana a la zona de contacto, con el fin de adquirir en tiempo real el coeficiente de fricción y control de variables de ensayo. El sistema permite adquirir y graficar las variables y resultados en tiempo real, controlar el tiempo de ensayo variación de velocidad de giro y accionamiento de marcha-parada.

**Palabras clave:** Tribómetro, Fricción, Adquisición y Control.

## Abstract

In the Wear and Solid Friction Testing Laboratory (LEDFS) of the National Technological University, Haedo Regional Faculty, a low-cost academic pin-on-disk tribometer was designed with an acquisition and control system

that includes a load cell, an optical sensor for measuring rotation speed and an infrared sensor that indicates the temperature variation near the contact area, in order to acquire the friction coefficient in real time and control test parameters. The system allows you to acquire and graph the variables and results in real time, control the test time, rotation speed variation and start-stop operation.

**Keywords:** Tribometer, Friction, Acquisition and Control.

## Introducción

El ensayo Pin-on-Disk es una técnica utilizada para evaluar parámetros tribológicos, como la fricción (y eventualmente el desgaste) de materiales en contacto deslizante (ASTM G99-17, 2017). Este triboensayo posibilita evaluar principalmente el comportamiento en fricción en contacto deslizante de un pin sobre la superficie de un disco en rotación. El esquema básico consta de una muestra pin que debe estar en contacto con la superficie del disco bajo una fuerza normal (Carga - N), mientras gira a una velocidad determinada, como se indica en el esquema de la Figura 1. Respecto al desgaste, este se mide por diferencia de material perdido o disminución de longitud del pin (Murray, 2013).

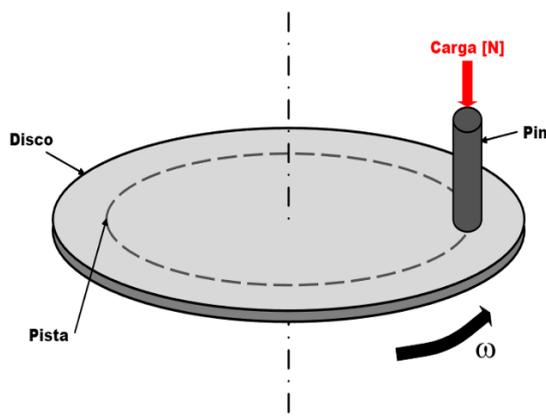


Figura 1: Esquema de variables básicas para un ensayo Pin-on-Disk.

Durante los ensayos tribológicos es necesario controlar parámetros como la velocidad de giro, la carga aplicada, la duración del ensayo, entre otras, para evaluar su sobre los resultados tribológicos, principalmente en el Coeficiente de Fricción (CoF). El Coeficiente de Fricción se calcula a partir del cociente entre la Fuerza de Fricción y la Carga N aplicada.

A partir de las condiciones de ensayos previstas, en el Laboratorio de Ensayos de Desgaste y Fricción Sólida (LEDFS) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, y basado en la norma ASTM G99 y en sistemas de control de otros autores (Bäurle, 2006) (Lin, 2023), se diseñó y construyó un tribómetro del tipo Pin-On-Disk con fines demostrativos académicos de bajo costo, con un sistema de adquisición y control de datos en tiempo real.

El tribómetro consiste un brazo rígido pivotante que registra el esfuerzo de fricción del par tribológico pin-disco durante el ensayo (Figura 2.a). Este brazo está sujeto a una celda de carga en un extremo (Figura 2.b), mientras que en el otro extremo posee el soporte de la muestra pin que apoya sobre el disco (Figura 2.c). En la parte superior del pin, se colocan las pesas calibradas que determinarán la carga, de acuerdo con lo requerido en cada ensayo, indicado en la Figura 2.a. La celda de carga de tracción se encuentra acoplada al brazo pivotante y tiene la función de registrar la fuerza de fricción producida en el contacto durante el ensayo del par tribológico pin-disco (Figura 2.b). El disco de ensayo se acopla a un plato giratorio con mordazas acoplado a través de una correa dentada al eje del soporte conectado a un motor asincrónico con reductor (Figura 2.d). La velocidad del disco se regula a través de un variador de frecuencia (VDF) (Figura 2.e). Cercano a la zona de contacto deslizante pin-disco se acoplaron sensores de control

de velocidad y de temperatura (Figura 2.c). A partir de las variables mencionadas, se diseñó un sistema de control y adquisición de los parámetros como Fuerza de fricción, CoF, variación de temperatura y control de velocidad durante un ensayo.

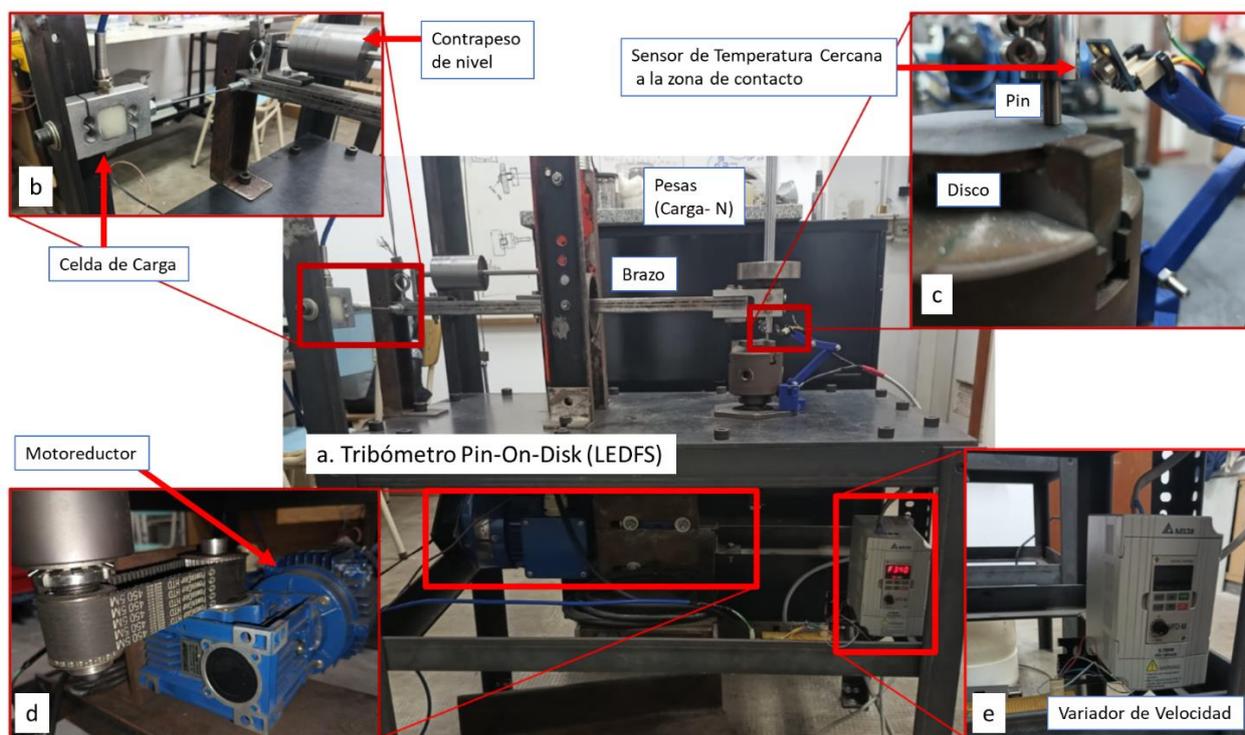


Figura 2: Detalle del Tribómetro Pin-On-Disk del LEDFS.

## Desarrollo

En la Figura 3 se muestra el diagrama general del Sistema de Adquisición y Control (SAC). Este sistema opera a partir de dos partes fundamentales:

- Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos (SAPD), desarrollado en lenguaje Python con una interfaz de usuario hecha con la librería Tkinter, el cual realiza la comunicación usuario-tribómetro.
- Microcontrolador de 8 bits (MC) capaz de captar las señales de los sensores y comandar al VDF para dirigir el arranque y parada del motor asincrónico.

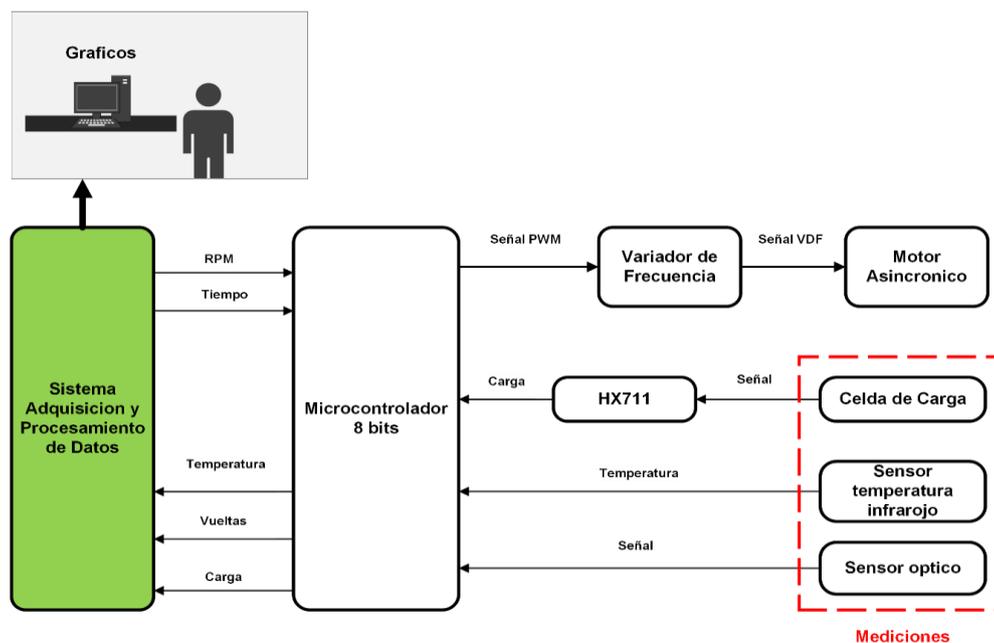


Figura 3: Diagrama general del Sistema de Adquisición y Control (SAC).

Previo al comienzo del ensayo, el usuario indica en el SAPD los parámetros del ensayo, donde se encuentran la velocidad en RPM y el tiempo en segundos. Una vez el usuario inicia el ensayo, inmediatamente el SAPD envía la información al MC el cual, a través de una señal modulada por ancho de pulso (PWM) comanda el arranque y la velocidad de giro del motor asíncrono, iniciando el ensayo.

Para adquirir la información de la celda de carga se utiliza con un conversor analógico digital, o ADC- Analog to Digital Converter de alta resolución de 24 bits, el cual se encuentra encapsulado en el chip, marca AVIA SEMICONDUCTOR, modelo HX711. El ADC se comunica con el MC a través de un protocolo serie digital y obtiene 80 muestras por segundo. Para medir la temperatura se emplea un sensor infrarrojo marca MELEXIS, modelo MLX90632 FIR, el cual cuantifica la temperatura presente en el contacto entre el disco y el pin. El mismo se conecta a través del protocolo I2C al MC. El conteo de vueltas y cálculo de velocidad en RPM se realiza a partir de un sensor óptico marca Vishay CNY70, el cual cuenta la cantidad de vueltas sobre el eje giratorio donde se coloca el disco de ensayo. Si bien este no es un parámetro específico del ensayo, tiene por objetivo controlar que la velocidad sea constante durante un ensayo.

El microcontrolador adquiere las variables y las envía mediante una comunicación serie al SAPD para ser procesados en tiempo real. Este último efectúa un postprocesado donde calcula la fuerza y el coeficiente de fricción (CoF) para ser graficadas y actualizadas en la pantalla. La curva de temperatura y de velocidad de giro se grafican a su vez en la pantalla junto a las demás señales descritas anteriormente.

Una vez que se cumple el tiempo del ensayo, el MC efectúa la parada del motor asíncrono. La pantalla del SAPD muestra los gráficos del ensayo finalizado y se encuentra preparado para realizar un nuevo ensayo. El algoritmo del SAC se describe en el diagrama de la Figura 4. A su vez, el SAPD muestra toda la información de manera ordenada en un informe aparte donde se puede ver con más detalle los gráficos.

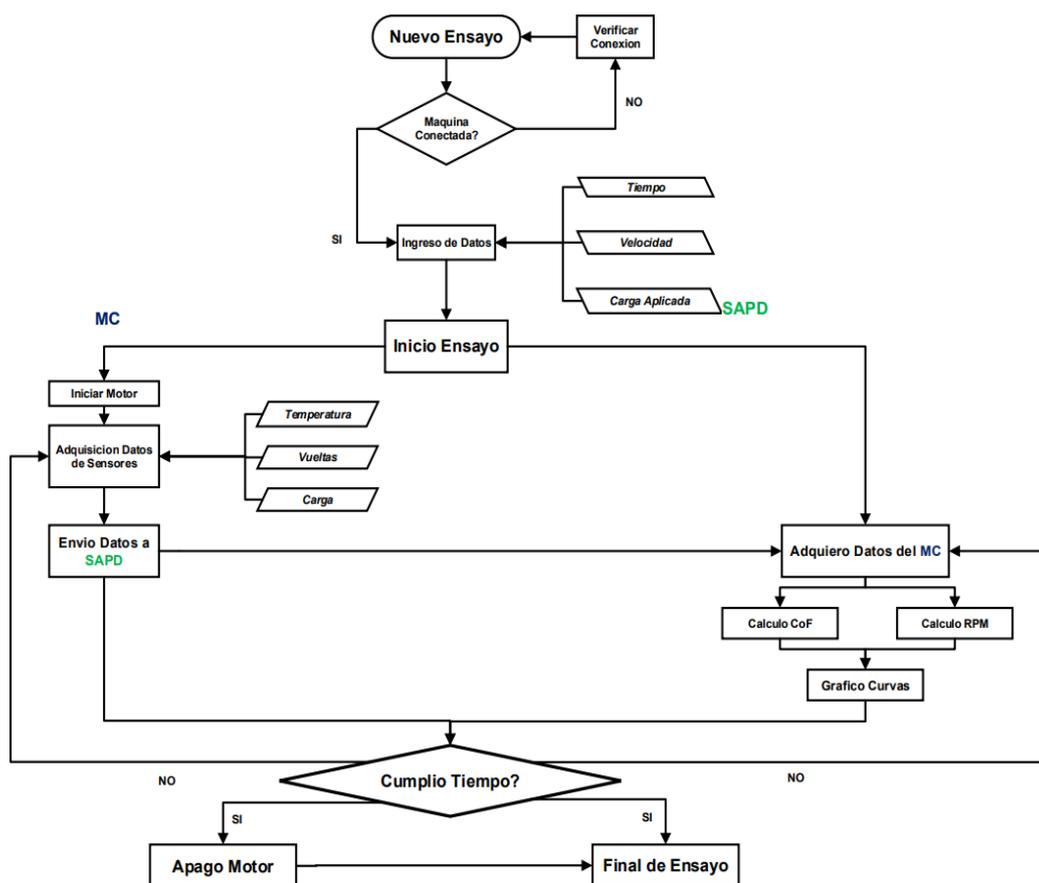


Figura 4: Diagrama de flujo del algoritmo realizado por el Sistema de Adquisición y Control (SAC).

## Resultados

En la Figura 5 se observan los gráficos típicos de un ensayo Pin-on-Disk con el tribómetro y sistema de control realizado. La interfaz gráfica muestra la variación del coeficiente de fricción en función del tiempo y en función de la distancia de ensayo recorrida. Esta última se determina indicado previamente al inicio del ensayo el radio medio de la huella de desgaste en cual, afectada por las RPM, determinará en función del tiempo del ensayo la distancia recorrida. Los gráficos inferiores reportan la variación de temperatura cercana y control de velocidad en función del tiempo. La respuesta del sistema ha demostrado una rápida actualización e información en tiempo real. Todos estos gráficos indican un correcto funcionamiento y serán utilizados para su análisis posterior. El sistema diseñado es capaz de controlar de forma automática un ensayo Pin-on-Disk, pudiendo adquirir, calcular y graficar en tiempo real el coeficiente de fricción del ensayo y las variables secundarias, como la temperatura y la velocidad de giro.

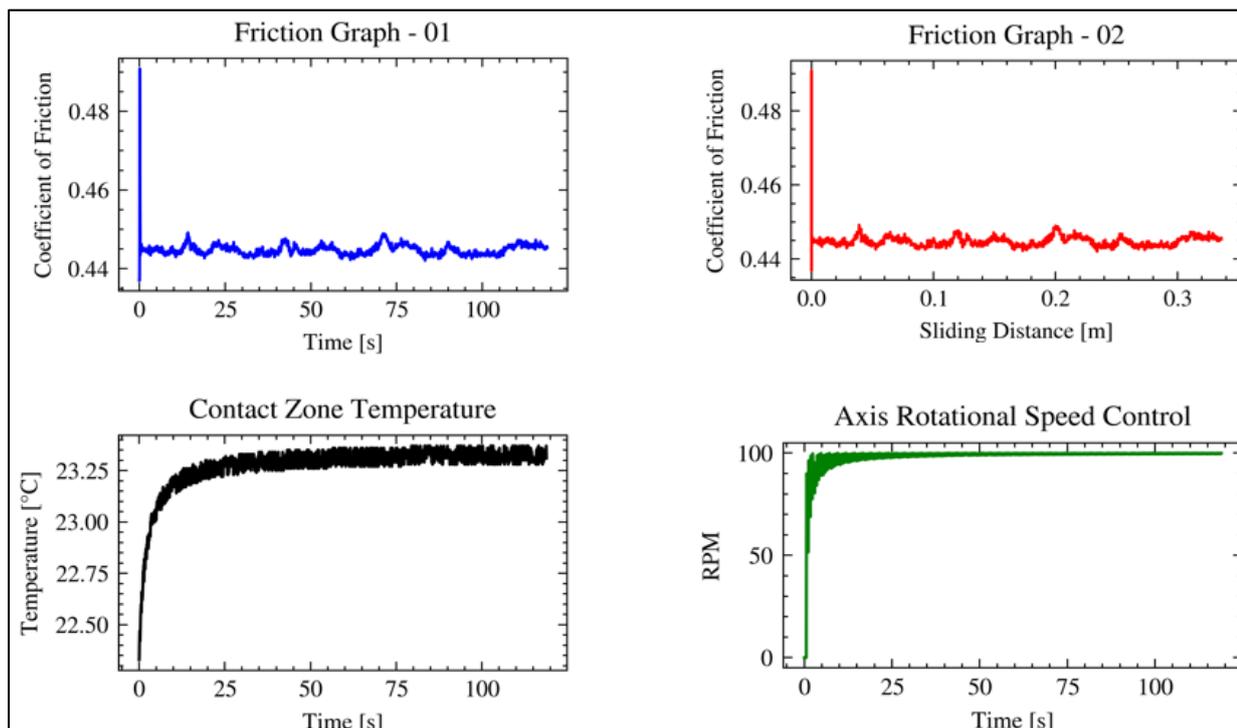


Figura 5: Gráficos típicos de un ensayo controlado y adquirido por el software.

## Conclusiones

Con el sistema de adquisición y control, es posible registrar con gran precisión el coeficiente de fricción en tiempo real, la velocidad de giro y la variación de temperatura durante los ensayos. Se demostró que este sistema puede ser aplicado satisfactoriamente a otros tribómetros como en ensayos Block-On-Ring (ASTM G77) y en aquellos ensayos tribológicos donde sea necesario cambiar el sentido de giro o reciprocantes (ASTM G133). La rápida respuesta permite, a futuro diseñar y controlar parámetros en tribómetros más complejos, con variaciones de carga y de velocidad.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por financiar el proyecto de investigación y desarrollo PID 8026 “Estudio tribológico en Aleaciones de titanio sobre acero comercial”, y a la Facultad Regional Haedo por las becas de investigación a alumnos de grado.

## Referencias

- ASTM G99-17. (2017). Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus .
- Bäurle, L. S. (2006). Sliding friction of polyethylene on ice: tribometer measurements. *Tribology Letters*, 24(1), 77–84. doi:10.1007/s11249-006-9147-z
- Lin, V. (2023). Improvement and verification of a pin-on-disc tribometer with variable speed and load. Stockholm, Sweden: School of Electrical Engineering and Computer Science - KTH Royal Institute of Technology.
- Murray, C. (2013). ASTM G99 Tip’s Perspective Continuous Wear Contact. . *Today's standard for tomorrow's materials*. 9., 9.