



Estimación del coeficiente de fricción en un tipo de sistema mecánico de traslación

Venegas Moreno Juan José¹✉, Bañuelos Amezcua Ulises¹, González Vázquez Luis Gabriel², Hernández Martínez José de Jesús¹, Rodríguez Morales Moisés¹

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad académica Tamazula, México

✉jose.venegas@tamazula.tecmm.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México / IT de ciudad Guzmán, México
luis.gv@cdguzman.tecnm.mx

Resumen

El comportamiento dinámico de los sistemas mecánicos de forma inherente los caracteriza un coeficiente de fricción el cual no puede ser medido de forma directa. Sin embargo, al tener influencia sobre la respuesta dinámica, decimos que tiene relación, es por ello que en este trabajo se propone un método para estimar el coeficiente de fricción utilizando los tiempos característicos de la respuesta dinámica de un sistema de segundo orden sub-amortiguado. La investigación se desarrolla considerando un sistema mecánico de traslación de un grado de libertad, se inicia con la aplicación de las leyes y teoremas que rigen la dinámica del propio sistema, obteniendo la función de transferencia que nos permita estudiar el comportamiento dinámico respectivo. Como entrada al sistema se considera una señal de tipo escalón, y se resuelve mediante Laplace la dinámica para el desplazamiento como la señal de salida. Se desarrolló un prototipo experimental del sistema mecánico de traslación, con el cual se evaluó la metodología estimando el coeficiente de fricción de experimentos a partir de variar el material de la superficie de desplazamiento. Se cuenta con un sistema experimental de estimación cuantitativa del coeficiente de fricción como el que se ha diseñado analítica y experimentalmente, que aportó considerables y claros elementos que motivan a ampliar la visión y acondicionar una interface industrial para su instalación y monitoreo del coeficiente de fricción que se aplique en los procesos de evaluación y programación de mantenimiento preventivo y/o correctivo, específicamente en este tipo de sistemas en común.

Palabras Clave: Coeficiente de fricción, dinámica, estimación, función de transferencia, sub-amortiguado.

Abstract

The dynamic behavior of mechanical systems is inherently characterized by a coefficient of friction which cannot be measured directly. However, since it influences the dynamic response, we say that it is related, which is why this paper proposes a method to estimate the coefficient of friction using the characteristic times of the dynamic response of a second-order underdamped system. The investigation is developed considering a mechanical system of translation of a degree of freedom, it begins with the application of the laws and theorems that govern the dynamics of the system itself, obtaining the transfer function that allows us to study the respective dynamic behavior. As input to the system, a step-type signal is considered, and the dynamics for the displacement are solved by Laplace as the output signal. An experimental prototype of the mechanical translation system was developed, with which the methodology was evaluated by estimating the friction coefficient of experiments from varying the material of the displacement surface. There is an experimental system for quantitative estimation of the coefficient



of friction such as the one that has been designed analytically and experimentally, which provided considerable and clear elements that motivate to broaden the vision and condition an industrial interface for its installation and monitoring of the coefficient of friction that be applied in the processes of evaluation and programming of preventive and/or corrective maintenance, specifically in this type of common systems.

Keywords: Friction coefficient, dynamics, estimation, transfer function, underdamping.

1. Introducción

El objetivo de este documento es fundamentar el análisis teórico y numérico sobre la investigación y experimentación con un sistema mecánico de traslación de un grado de libertad que sirva como apoyo en la formación de estudiantes de ingeniería y ciencias.

Los autores consideramos que la educación convencional o tradicional se debe fortalecer mediante la estrategia didáctica del aprendizaje basado en el análisis de sistemas físicos. Así, se consolidan en el estudiante, aprendizajes significativos que a su vez se traducen en habilidades y competencias de experimentación, cuantificación de efectos y argumentación basada en resultados de experimentación.

Al analizar el sistema en cuestión, encontramos un gran número de aprendizajes aplicados. Estos incluyen: leyes, teoremas, análisis algebraicos, solución de sistemas de ecuaciones diferenciales y aplicaciones de la transformada de Laplace.

En los sistemas mecánicos en general el coeficiente de fricción no se puede medir fácilmente a través de un instrumento (medición física), dicho parámetro es razón de desgaste y daño en los sistemas mecánicos propiciando un mantenimiento correctivo. El cómo medirlo representa un área de oportunidad; particularmente el sistema mecánico de traslación de un grado de libertad es un sistema de segundo orden, y la ingeniería de control clásico tiene bien identificada la respuesta dinámica de estos sistemas para una entrada de tipo escalón en función de las constantes de los componentes involucrados como lo son, la constante del resorte, la masa y el coeficiente de fricción. Si de alguna manera podemos monitorear el coeficiente de fricción viscosa que corresponde al roce entre las superficies en contacto, esto nos puede servir básicamente para la toma de decisiones en la programación de los mantenimientos preventivos.

Algunos trabajos de investigación publicados y que comparten un interés similar por el estudio y medición de la fricción son:

El artículo, Estimación de los coeficientes de inercia y de fricción de un motor de cd, presenta algunos modelos de fricción, y se destaca la importancia de los parámetros de fricción viscosa y de Coulomb, los cuales son necesarios para definir los distintos modelos que describen el comportamiento de la fricción en sistema mecánicos.[6]

El artículo, Análisis del coeficiente de amortiguamiento viscoso en un sistema masa-resorte-amortiguador utilizando PPLANE y GEOGEBRA estudia un sistema masa-resorte-amortiguador. La influencia que ejerce la viscosidad del fluido y el valor del coeficiente de amortiguamiento viscoso es analizada mediante el empleo de tres fluidos, agua, aceite comestible y aceite para motor a gasolina SAE 10W-40. Se realizan las simulaciones numéricas utilizando PPLANE y GeoGebra bajo el paradigma del aprendizaje basado en problemas (ABP). Se hace la comparación de los tres amortiguadores.[1]

El artículo, Procedimiento para la estimación del coeficiente de fricción, se enfoca en que La reconstrucción de un accidente de tránsito necesita algunos parámetros confiables para dar resultados cercanos a la realidad en retrospectiva sobre sus causas y la velocidad de los vehículos. Uno de los

parámetros importantes para el cálculo de la velocidad de un vehículo, es la estimación del coeficiente de fricción en el lugar de los hechos, teniendo en cuenta que esta variable depende de las condiciones de la superficie de la vía, del vehículo y las condiciones ambientales.[7]

En este trabajo de investigación se fundamentó la propuesta a partir del conocimiento de la teoría llamada respuesta dinámica que establece la ingeniería de control, surgió la inquietud e interés por investigar y creer que sería posible desarrollar una metodología sustentada científicamente, y que pueda validarse mediante el diseño y construcción de un prototipo experimental o caso de estudio específico.

Con base en las características del problema a resolver se revisaron particularmente las leyes y principios que gobiernan a los sistemas mecánicos de traslación, con la finalidad de modelar para analizar la influencia de los diferentes factores físicos en la dinámica de dichos sistemas.

A partir del estudio de la respuesta dinámica de los sistemas de segundo orden se logró identificar y definir una metodología para estimar la variable de interés en este trabajo de investigación; en la figura 1 se muestra el diagrama a bloques de la misma.

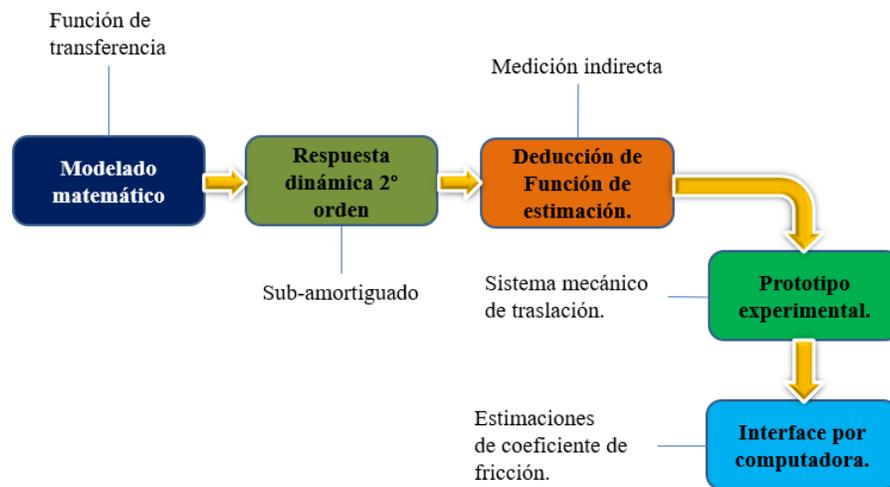


Figura 1. Representación a bloques del método de estimación del coeficiente de fricción en un sistema mecánico de traslación.

A continuación, se presenta una breve descripción de las etapas del método aplicado:

En el bloque de “**Modelado matemático**”, se obtuvo la función de transferencia del sistema mecánico de traslación, aplicando las leyes y principios que gobiernan a los sistemas mecánicos de traslación.

En el bloque de “**Respuesta dinámica**”, se utiliza particularmente la teoría del comportamiento dinámico de un sistema de segundo orden, más en particular el caso de respuesta sub-amortiguada, debido a que nuestro sistema experimental es de segundo orden y las pruebas se realizaron ajustando los elementos necesarios para obtener una respuesta sub-amortiguada, que es la que nos ofrece información predictiva para el estimado del coeficiente de fricción de interés.

En el bloque de “**Deducción de función de estimación**”, se trabajó algebraicamente la deducción de una expresión para estimar el coeficiente de fricción de una forma indirecta, es decir, se logró obtener una función que depende de la medición del tiempo de respuesta del sistema físico, el cual sí es posible medir directamente mediante experimento de manera definida.



En el bloque de “**Prototipo experimental**”, se diseñó y construyó físicamente el sistema mecánico de traslación en estudio, con el fin de realizar las pruebas experimentales que permitieran evaluar la hipótesis de que es posible estimar el coeficiente de fricción de un sistema mecánico de traslación de forma indirecta.

En el bloque “**Interface por computadora**”, se utilizó software y hardware de National Instruments, para programar el algoritmo e instalar sobre el prototipo o sistema experimental la interface de comunicación para la medición y estimación del coeficiente de fricción en cada prueba experimental.

2. Método

Con base en el sistema mecánico de traslación de un grado de libertad como el que se muestra en la figura 2. se realizaron las diferentes etapas de acuerdo con el del método definido en la figura 1. para la estimación del coeficiente de fricción f_v .

2.1 Modelado matemático

Se obtuvo el modelo del sistema mecánico de traslación, mediante la teoría de la función de transferencia, en el que se considera como entrada una fuerza F aplicada en Newtons, y como salida se define el desplazamiento X en metros.

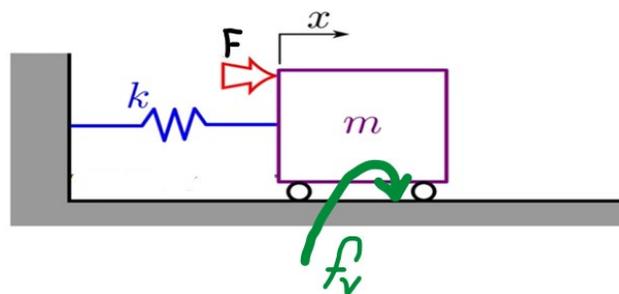


Figura 2. Representación de sistema masa-resorte-amortiguador.

Las fuerzas de los elementos que intervienen en el análisis dinámico del sistema masa-resorte-amortiguador son:

En el resorte, se considera $F_k = k x(t)$ correspondiente a la ley de Hooke.

En el amortiguador, se tiene $F_B = f_v \frac{dx(t)}{dt}$ que obedece a la fricción.

En la masa, tenemos $F_m = m \frac{d^2x(t)}{dt^2}$ ($F = m a$) conocida como la segunda ley de Newton.

La dinámica del sistema masa-resorte-amortiguador de la figura 2 se representa mediante el modelo matemático compuesto por la ecuación diferencial basada en el análisis del diagrama de cuerpo libre como se muestra en (1) y (2).

$$\sum F_x = m a_x \tag{1}$$

$$f(t) - k x(t) - f_v \frac{dx(t)}{dt} = m \frac{d^2x(t)}{dt^2} \tag{2}$$



En donde:

$x(t)$ es la salida del sistema, referente al desplazamiento de la masa.

$f(t)$ es la entrada al sistema, dada una fuerza aplicada.

k es la constante elástica del resorte.

f_v es el coeficiente de fricción del sistema.

La ecuación diferencial ordinaria de segundo grado siguiente permitirá obtener la función de transferencia del sistema masa-resorte-amortiguador.

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + f_v \frac{dx(t)}{dt} + k x(t) = f(t) \quad (3)$$

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación (3), bajo condiciones iniciales cero, se obtiene la ecuación algebraica (4).

$$ms^2X(s) + f_v sX(s) + kX(s) = F(s) \quad (4)$$

Obteniendo factor común y reorganizando la ecuación (4), se obtiene (5).

$$X(s)[ms^2 + f_v s + k] = F(s) \quad (5)$$

En consecuencia, la función de transferencia sería (6).

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + f_v s + k} \quad (6)$$

Multiplicando el numerador y el denominador de la ecuación (6)", por el inverso de la masa (1/m) para lograr una función de transferencia normalizada, se obtiene (7).

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{1}{m}}{s^2 + \frac{f_v}{m}s + \frac{k}{m}} \quad (7)$$

2.2 Respuesta dinámica de un sistema de segundo orden

En el segundo paso se consideró la base teórica de la respuesta dinámica de un sistema de segundo orden normalizado ante una entrada de tipo escalón, se sabe que son 4 los tipos de respuesta, de los cuales el tipo sub amortiguado se caracteriza por una serie de tiempos específicos que dependen de los elementos del sistema físico, como lo es la constante K del resorte en $\frac{\text{Newton}}{\text{metro}}$, la masa m en kg y el coeficiente de fricción f_v en $\frac{\text{Newton} \cdot \text{segundo}}{\text{metro}}$.

En la figura 3 se muestran los tipos de respuesta de un sistema de segundo orden cuando se aplica una entrada constante o escalón.

1.1 Deducción de la función de estimación.

Considerando que el estudio dinámico de un sistema de segundo orden tiene como modelo normalizado la función de transferencia dada por

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\varepsilon\omega_n s + \omega_n^2} \quad (8)$$

en donde, ω_n es la frecuencia natural no amortiguada del sistema (frecuencia a la que el sistema mecánico seguirá vibrando, después que se retire la señal de excitación).
 ε es el coeficiente de amortiguamiento.

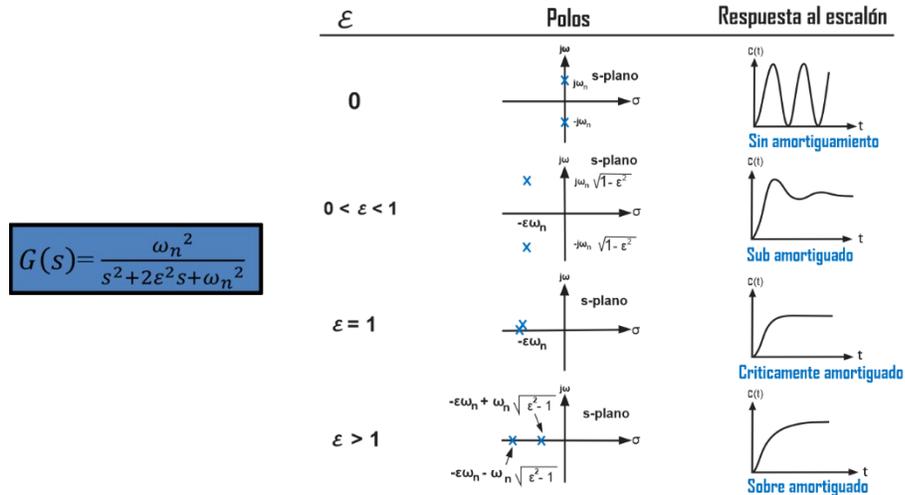


Figura 3. Tipos de respuesta de un sistema de 2º orden normalizado ante una entrada escalón. [4]

De esta forma, podemos establecer la relación entre las ecuaciones (6)", y (7)", a través de:

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \rightarrow \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

$$2\varepsilon\omega_n = \frac{f_v}{m} \rightarrow \varepsilon = \frac{f_v}{2\sqrt{km}} \quad (10)$$

El comportamiento dinámico de un sistema de segundo orden puede ser entonces descrito en términos de dos parámetros ω_n y ε .

En función del valor que tome ε , podemos identificar el comportamiento de la respuesta de un sistema ante una entrada escalón bajo la siguiente clasificación:

- $\varepsilon = 0$ Sistema oscilatorio.
- $0 < \varepsilon < 1$ Sistema subamortiguado.
- $\varepsilon = 1$ Sistema críticamente amortiguado.
- $\varepsilon > 1$ Sistema sobre amortiguado. [1]

2.3.1 Análisis del caso subamortiguado.

Para una entrada escalón A, y considerando $0 < \varepsilon < 1$ (sistema subamortiguado) podemos calcular en la respuesta gráfica de la figura 4. Tiempos característicos como t_d , t_r , t_p , t_s .

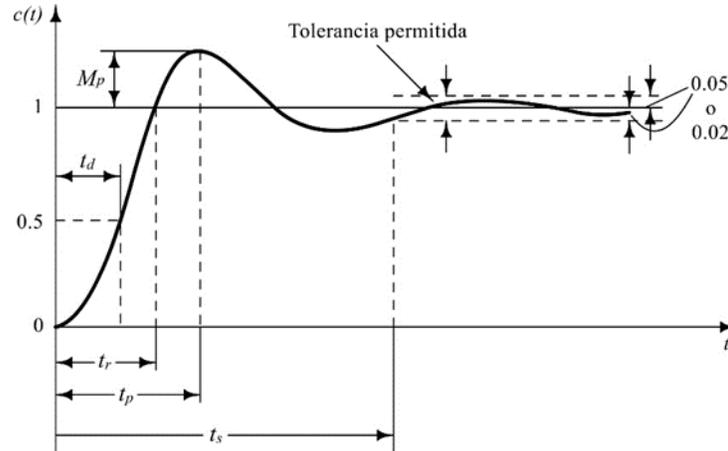


Figura 4. Respuesta completa de un sistema de segundo orden sub amortiguado ante una entrada de tipo escalón. [5]

Para nuestro análisis consideraremos t_p (tiempo pico), esto corresponde al tiempo que transcurre para que la salida alcance el valor máximo de desplazamiento, y de la teoría de control se obtiene mediante

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\varepsilon^2}} \quad (11)$$

utilizando las igualdades (9) y (10), podemos definir el cálculo de t_p en términos de los elementos mecánicos como:

$$t_p = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{1 - \frac{1}{4} \frac{f_v^2}{km}}} \quad (12)$$

despejando para el coeficiente de fricción f_v

$$f_v = 2 \sqrt{m \left(k - \frac{\pi^2 m}{T_p^2} \right)} \quad (13)$$

La ecuación (13)", corresponde a la deducción de la ecuación que utilizaremos para la estimación del coeficiente de fricción, ahora requerimos medir físicamente el tiempo pico t_p .

1.2 Prototipo experimental.

Para realizar pruebas que permitan evaluar la aplicación operativa y confiable en el método de estimación del coeficiente de fricción, se diseñó un prototipo experimental considerando los elementos definidos en el sistema de estudio (Figura 2.) en la etapa de modelado u obtención de la función de transferencia.

En la figura 5. se muestra el prototipo físico con los elementos que se utilizaron para construir el sistema mecánico de traslación.

El prototipo consta de una base principal sobre la que se montó un arreglo de tipo riel en el que se guía un vagón con rodajas (Masa), anclada con resorte en la parte izquierda y tirante en la parte derecha por medio de una cadena sobre la que se aplicó la fuerza de entrada de tipo escalón; los cambios de fricción se realizaron cambiando el material de desplazamiento y contacto entre las rodajas y la base, lo cual consistió en cambiar justamente recortes de materiales como vidrio, acrílico, aluminio y MDF.

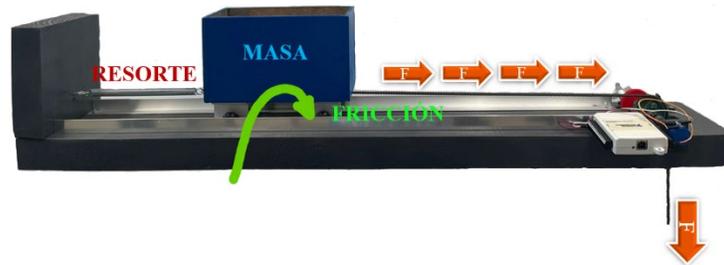


Figura 5. Prototipo experimental del Sistema mecánico de traslación, de un grado de libertad.

1.3 Interface por computadora

Ya que para estimar el coeficiente de fricción ahora es necesario medir el tiempo que tarda el sistema en desplazarse al punto máximo, y a través del cálculo conocer el coeficiente indirectamente, se desarrolló la programación de una interface por computadora para realizar las pruebas y mediciones con la mayor precisión posible.

Mediante el uso de una tarjeta de adquisición de datos DAQ de National Instruments, y utilizando el software Lab-View se diseñó y programó la interfaz que servirá para interactuar con el sistema y capturar las mediciones de una forma considerablemente aceptable. En la figura 6. se muestra la interface utilizada; cuenta con una serie de controles para la configuración de los parámetros del sistema particular en el proceso de medición, indicadores para la lectura de datos registrados en tiempo real, y una ventana gráfica en la que se mostrará la respuesta completa del desplazamiento en cada prueba realizada.

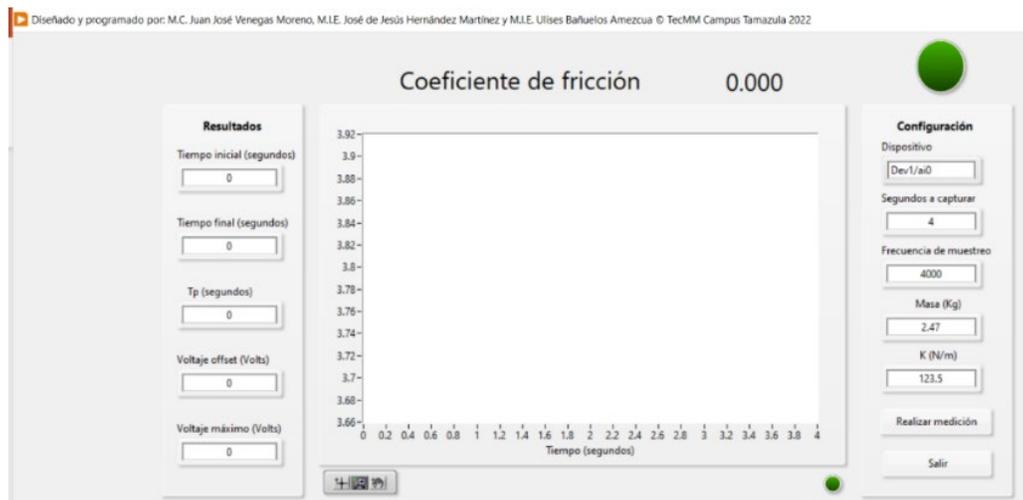


Figura 6. Interface por computadora, diseñada en Lab View.

2. Resultados

Las pruebas dinámicas de desplazamiento experimental se realizaron, variando entre 4 tipos de materiales, como aluminio, vidrio, acrílico y MDF. Los resultados gráficos de la respuesta completa del desplazamiento y los cálculos particulares del coeficiente de fricción estimado en cada material, se muestra en las Figuras 7, 8, 9 y 10 en orden correspondiente.

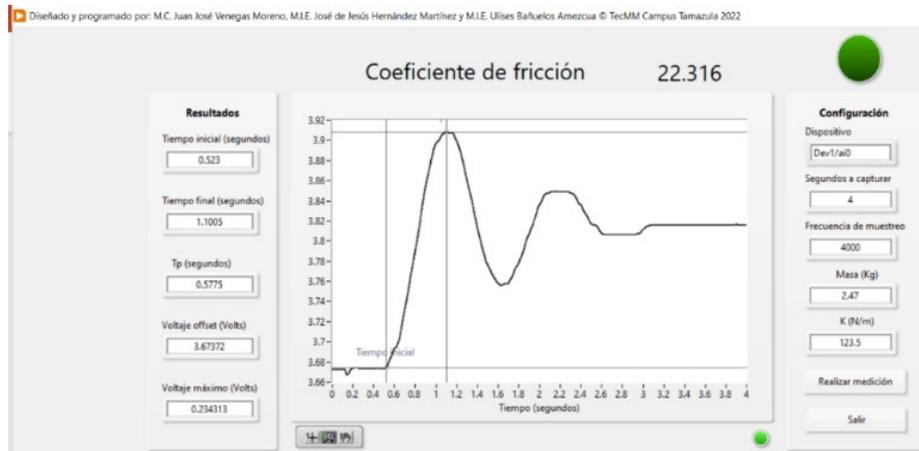


Figura 7. Gráfica y resultados en aluminio.

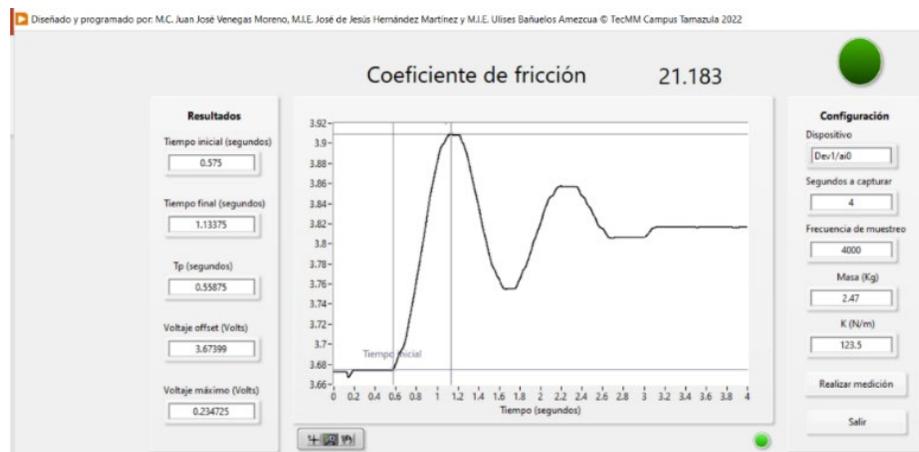


Figura 8. Gráfica y resultados en vidrio.

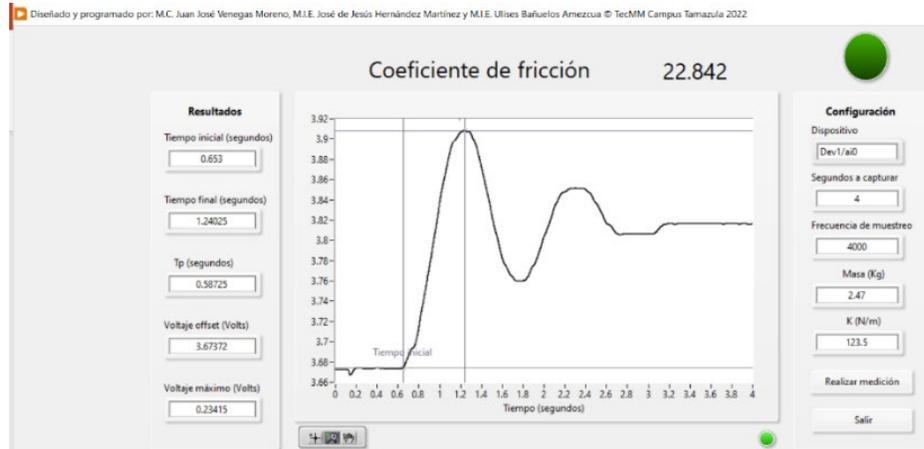


Figura 9. Gráfica y resultados en acrílico.

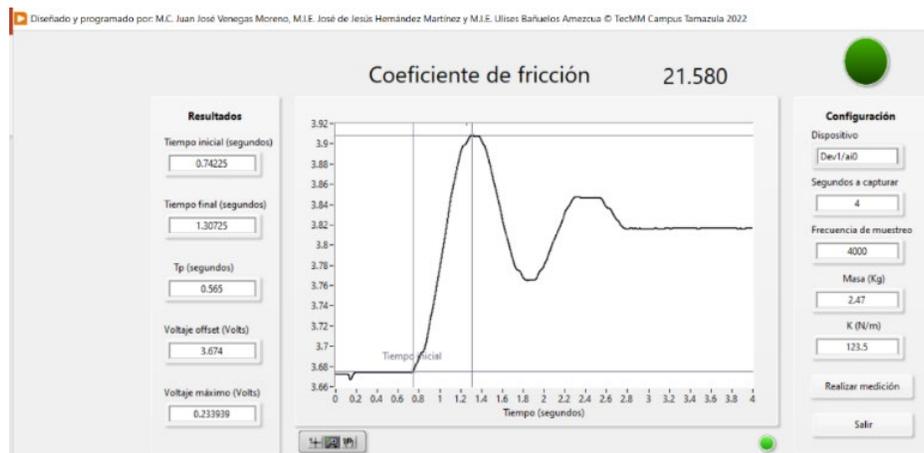


Figura 10. Gráfica y resultados en MDF.

Derivado de la búsqueda de equipos existentes en el mercado utilizados para medir el coeficiente de fricción principalmente en papel, plástico y cartón. El equipo M5-COF de la figura 11a diseñado y fabricado por Mark-10, muestra en pantalla el coeficiente de fricción estático y dinámico calculados en función de un peso deslizable configurable entre 100 y 1000 gramos. El equipo MH2-500 de la figura 11b diseñado y fabricado por IDAMA, permite aplicar una fuerza horizontal de 500 N al material de estudio para realizar la medición del coeficiente de fricción estático y dinámico el cual se muestra en su pantalla una vez finalizada la prueba.

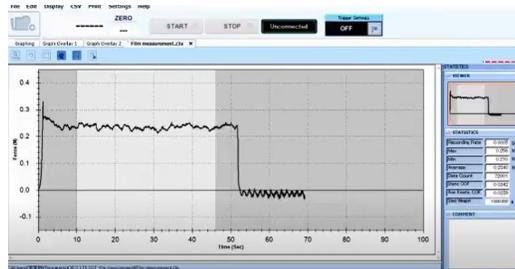
En ambos equipos comerciales se mide el coeficiente de fricción en relación a la fuerza que es aplicada y la fuerza normal entre la superficie y el peso. Entonces el valor de la medición dependerá del tiempo que se aplica la fuerza y el valor medio estimado capturado por el equipo, en pruebas promocionales presentadas por uno de los fabricantes la duración para obtener la medición concluyó en aproximadamente 50 segundos, como se muestra en la figura 11c. Y la presentada por nuestra propuesta de investigación tiene una duración de 4 segundos, como se muestra en los resultados presentados de las figuras 7,8,9 y 10.



a) M5-COF



b) MH2-500



c) Resultados de la medición del COF

Figura 11. Banco de pruebas para medir el COF.

3. Conclusiones

Con base en los resultados estimados en las diferentes pruebas experimentales se sustenta que este trabajo de investigación realizado, particularmente garantiza poner en práctica conocimientos matemáticos y tecnológicos de la electromecánica, que sin duda contribuirán en dicho sector; representa una estrategia efectiva de aprendizaje que cumplió claramente con la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), sin duda es un diseño propio que tendrá un impacto importante en el medio educativo, ya que facilitará la relación entre la teoría abstracta y la práctica profesional.

Más en lo particular se dedujo y se puso a prueba una metodología para la estimación de una variable nada simple, poco aprovechada en lo que a sistemas mecánicos se refiere, la aportación científica alcanzada en los resultados y fundamentos obtenidos, servirá para continuar con el enfoque para su aplicación en propuestas de diseño de los planes de mantenimiento preventivo industrial. El avance fue significativo, gracias al desarrollo de un prototipo experimental que permitió validar la hipótesis que muestra credibilidad y da evidencia de lo que matemáticamente se dedujo para la estimación indirecta del coeficiente de fricción.

Aún hay mucho por lograr en las posibilidades de la estimación de la fricción y su ideal aplicación para la eficiencia de los sistemas mecánicos en general.

Referencias

- [1] Escalante Martínez, J. E., Laguna Camacho, J. R., Gómez Aguilar, J. F., Calderón Ramón, C., Cruz Orduña, M. I., Varguez Fernández, R., & Anzelmetti Zaragoza, J. C. (2016). Análisis del coeficiente de amortiguamiento viscoso en un sistema masa-resorte-amortiguador utilizando PPLANE Y GEOGEBRA. *Revista Mexicana de Física*, 66-72.
- [2] Lajara, J. (2010). *LabView - Entorno gráfico de programación*. Alfaomega - Marcombo.
- [3] Molina, J. M. (2013). *Programación gráfica para ingenieros*. Marcombo.
- [4] Nise, N. (2019). *Control Systems Engineering*. California: Wiley.



- [5] Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid: Pearson Education.
- [6] Orquiz Ávila, M. E., Ponce, I. U., Aguilar Bustos, L. T., & Soto Marrufo, Á. I. (2019). ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE INERCIA Y DE FRICCIÓN DE UN MOTOR DE CD. Pistas educativas, 542-559.
- [7] Remolina, E. E., Baena, A. J., & Higuera, J. F. (2019). Procedimiento para la estimación del coeficiente de fricción. Logos Ciencia y Tecnología.

Biografía de Autores

Venegas Moreno Juan José. Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad académica Tamazula, México.

Egresado de Ingeniería en Electrónica del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán y Maestro en Ciencias por el CINVESTAV del IPN – Unidad Guadalajara (Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional – Unidad Guadalajara), con perfil deseable desde agosto 2019 y 20 años de experiencia docente. Áreas de investigación y especialización en Ingeniería de control. Contacto: jose.venegas@tamazula.tecmm.edu.mx

Bañuelos Amezcua Ulises. Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad académica Tamazula, México.

Egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y la Maestría en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, tengo especialidad en instrumentación, automatización y control. Actualmente me encuentro desarrollando actividades de docencia e investigación en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Unidad Académica Tamazula para la carrera de Ingeniería Electromecánica, impartiendo materias en el área de la electrónica analógica y digital, diseño de acondicionadores de señal, sensores y actuadores, automatización industrial, programación de controladores lógicos programables, diseño de sistemas neumáticos y electroneumáticos, diseño y programación de sistemas HMI y SCADA, instrumentación virtual y desarrollo de aplicaciones con sistemas embebidos. Contacto: ulises.banuelos@tamazula.tecmm.edu.mx

González Vázquez Luis Gabriel. Docente del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Maestro en Enseñanza de las Ciencias egresado docente con 15 años de experiencia, con perfil deseable desde diciembre de 2021. Sus áreas de investigación son: Manufactura CNC, tecnologías CAD, CAM, CAE y ciencias de la educación a nivel superior. Contacto: luis.gv@cdguzman.tecnm.mx

Hernández Martínez José de Jesús. Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez – Unidad académica Tamazula, México.

Maestro en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Durante dos años trabajó como técnico en mantenimiento e instalación de sistemas circuito cerrado de televisión, alarmas y automatización de sistemas eléctricos, previamente obtuvo el grado de Ingeniero Electromecánico egresado del Instituto Tecnológico Superior de Tamazula de Gordiano. Desde el 2018 se desempeña como profesor de asignatura para el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez en la carrera de Ingeniería Electromecánica donde ha impartido diversas asignaturas. Su área de interés es el estudio de sistemas electromecánicos, programación de sistemas embebidos y diseño de redes de monitoreo por conectividad wifi. Contacto: jose.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx

Rodríguez Morales Moisés. Docente del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tamazula. Ingeniero Eléctrico, Maestría en Ingeniería en Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Docente de la carrera en Ingeniería en Electromecánica, colaborador en el área de Ciencias Básicas, dos publicaciones en la revista de la Asociación Mexicana de Mecatrónica, desarrollador de un Manual de Prácticas de Robótica y un Software registrados ante INDAUTOR, autor de un Informe Técnico de un prototipo para la empresa Cerritos e impartido el Diplomado de Desarrollo de Competencias Docentes y el Diplomado de Recursos Educativos en Ambientes Virtuales de Aprendizaje por parte del TECNM, asesor de una Tesis, diversas Residencias Profesionales y Tutor. Certificado por el IMPI en el curso de Propiedad Intelectual, Certificado de Mechanical Design at the level loft ASSOCIATE SOLIDWORKS, he recibido el estímulo docente por el TECNM desde el 2016 moises.rodriguez@tamazula.tecmm.edu.mx