

MODEL TO CALCULATE THE STATIC AND DYNAMIC COEFFICIENT OF FRICTION OF MATERIALS

MODELO PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO DE MATERIALES

Carlos Fernandez¹ Xavier Arias² Romel Carrera³ Abrahan Jorque⁴

¹Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador

E-mail: danilo241019911@gmail.com

² Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

E-mail: axarias@espe.edu.ec

³Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, Sangolquí, Ecuador

E-mail: rdcarrera@espe.edu.ec

⁴ Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

E-mail: abraham.jorque@epn.edu.ec

RESUMEN

En el presente trabajo se detalla la implementación de un dispositivo didáctico que permite calcular el coeficiente de fricción estático y dinámico de ciertos materiales como el vidrio, acero, metal, madera y plástico. Esta investigación se orienta sobre una metodología experimental ya que su diseño está totalmente automatizado en base a sensores (LM393, KY-008) y un PLC FX2N-16MR/T. Estos componentes principales permiten el desarrollo de un sistema de lazo abierto que permite determinar la aceleración y los coeficientes de fricción. La recolección de datos se establece por medio de cinco repeticiones, las cuales admiten establecer el valor mayormente ajustado a los datos recabados en bibliografía específica. Es necesario destacar que el porcentaje de error relativo y absoluto de los valores tanto del banco como del acervo bibliográfico oscilan de 5 al 10 por ciento de error.

Palabras clave-- Coeficiente de fricción; Estático; Dinámico; PLC FX2N|7774

ABSTRACT

In the present work, the implementation of a didactic device that allows calculating the static and dynamic coefficient of friction of certain materials such as glass, steel, metal, wood and plastic is detailed. This research is oriented on an experimental methodology since its design is fully automated based on sensors (LM393, KY-008) and a PLC FX2N-16MR/T. These main components allow the development of an open loop system that allows to determine the acceleration and friction coefficients. The data collection is established by means of five repetitions, which allow establishing the value mostly adjusted to the data collected in the specific bibliography. It is necessary to highlight that the percentage of relative and absolute error of the values of both the bank and the bibliographic collection range from 5 to 10 percent of error.

Key Words-- Coefficient of friction; Static; Dynamic; PLC FX2N|7774

1. INTRODUCCIÓN

Se propone desarrollar un instrumento y/o herramienta que permite medir y calcular el factor de fricción de varios materiales. El prototipo permite determinar el coeficiente estático y dinámico entre dos superficies sólidas en el cual se realiza un proceso de medición netamente digital, gracias a los sensores colocados en cada extremo de la placa donde el material seleccionado se desliza.

El cálculo del coeficiente de fricción dinámico depende de una serie de factores; peso, velocidad relativa, naturaleza del material entre otros. A medida que se emplean nuevos materiales el proceso puede variar y por consiguiente los resultados. Dicho esto, se plantea la idea de estandarizar un prototipo a uno que permita desarrollar el cálculo a un tipo de material en específico (Castro, Arroyave y Acevedo, 2017).

La finalidad es determinar las propiedades cinemáticas (alcance, velocidad y aceleración) para un bloque de un material específico. Para ello se desarrollan situaciones que permitan una solución analítica como numérica, las ecuaciones de las variables que gobiernan el movimiento de cada uno de los modelos de deslizamiento son consideradas con base en la premisa de que el movimiento se desarrolla en una sola dimensión, en un material isotrópico y en función de las variables independientes. Los parámetros para el cálculo consisten en analizar el ángulo de fricción, parámetro de turbulencia y coeficiente de presión de poros. (Román y Chio, 2018) en su trabajo afirman que las velocidades y alcances determinados para un estudio puntual mediante el modelo uniparamétrico, probablemente van a ser mayores que las estimadas mediante el modelo biparamétrico. Naturalmente, el hecho de implementar el modelo de fricción turbulenta,

requiere conocer más parámetros característicos del material que se va a modelar (siendo especialmente cuidadosos en cuanto al espesor del deslizamiento, el cual es el parámetro más sensible del modelo), lo que haría más costoso el estudio en casos prácticos, pero posiblemente arrojaría resultados más exactos, según se evidencia en la comparación realizada con un deslizamiento real.

Según (Youqin, 2020) el coeficiente de fricción estático es bien conocido y su teoría y práctica son bien aceptadas en la ciencia y la industria. Sin embargo, el coeficiente de fricción cinética no se conoce por completo. La teoría actual de la fricción cinética establece que el coeficiente de fricción cinética es menor que el coeficiente de fricción estático cuando se comparan las fuerzas que actúan en los dos estados. Después de examinar las propiedades del coeficiente de fricción, se encuentra que la comparación es insuficiente ya que no se tiene en cuenta la fuerza de inercia. El nuevo descubrimiento del trabajo es que los coeficientes de fricción estática y fricción cinética son los mismos. En el frenado de ruedas, la rueda de bloqueo se utiliza para mostrar la conclusión. La principal razón para confundir los dos coeficientes de fricción es la fuerza de inercia.

Al medir el coeficiente de fricción estática, la fuerza de inercia se activa tan pronto como el objeto de prueba comienza a moverse. Entonces, hay dos fuerzas que se oponen al movimiento del objeto: la fuerza de fricción y la fuerza de inercia. Sin embargo, cuando se mide el coeficiente cinético de fricción, no hay fuerza de inercia involucrada porque la velocidad debe permanecer constante (Fernández, 2022).

2. METODOLOGÍA

2.1. Proceso experimental

Para la selección de los diferentes materiales y elementos del módulo de pruebas, se consideran

los elementos que mejor se acoplen y ayuden al desarrollo del mismo. Las pruebas de su funcionamiento permiten seleccionar el tipo de control adecuado, conociendo los datos de entrada y de salida para que finalmente se muestren los cálculos arrojados (coeficiente de fricción estático, coeficiente de fricción dinámico y aceleración en una pantalla la cual sea de fácil observación e interactúe con el usuario (Vukelic, et al. 2021).

2.2. Investigación de campo

Se realizan ensayos de la máquina con diferentes materiales base y probetas (madera, metal, vidrio y plástico) a distintos ángulos de los de los cuales se obtiene la aceleración y los coeficientes de fricción estáticos y dinámicos. Estos resultados se compararán con los resultados manuales.

2.3 Parámetros de diseño

Se necesita tomar en cuenta los datos de entrada y de salida, para determinar los parámetros críticos los cuales son:

2.3.1 Coeficiente estático

El coeficiente de fricción estático es la relación entre la fuerza de deslizamiento y la fuerza de sujeción ejercida por dos superficies en contacto. Este coeficiente es en realidad una evaluación de la dificultad con la que la superficie de un material se deslizará sobre otro material y es en instante en el cual se inicia el movimiento. Es decir, está relacionado con la fuerza requerida para iniciar el movimiento deslizante (Ordoñez, 2015).

Cuando un cuerpo está inmóvil sobre un plano inclinado, este plano forma un ángulo con la horizontal que puede variar de cero a un valor α . “ α ” representa el ángulo máximo de inclinación de una superficie para un objeto estacionario. La ecuación por aplicar es:

$$\mu_e = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (1)$$

$$\mu_e = \tan \alpha \quad (2)$$

Donde:

μ_e = Coeficiente estático.

α = Ángulo de inclinación

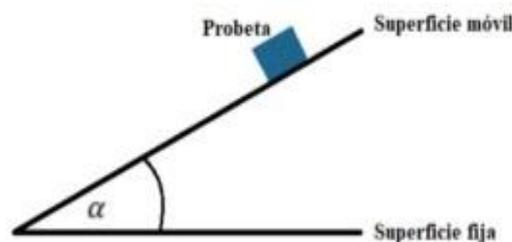


Fig. 1 Angulo de inclinación Fuente: propia

2.3.2. Coeficiente dinámico

El coeficiente dinámico de fricción se da cuando el objeto se mueve sobre una superficie. Determina la fuerza requerida para mover un cuerpo a medida que este comienza a deslizarse, puede experimentar algo de velocidad y aceleración (Ordoñez, 2015).

Para determinación del coeficiente dinámico la ecuación a usar es:

$$\mu_D = \tan \alpha - \frac{a}{g \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

Donde:

μ_D = Coeficiente dinámico.

g = Gravedad.

a = Aceleración.

2.3.3 Aceleración

Magnitud que indica como cambia la velocidad de un cuerpo. Cómo la velocidad es una magnitud vectorial la aceleración de igual manera. Un objeto conserva su movimiento rectilíneo uniforme hasta que sobre el actúen fuerzas que conduzcan a una aceleración, estas fuerzas pueden producir un aumento o disminución de velocidad. Si un objeto cambia su aceleración en un determinado periodo de tiempo se puede calcular la “aceleración media” que es el promedio de las aceleraciones en un rango temporal (Pendril, 2019). Para determinar la aceleración se usa la ecuación:

$$a = \frac{2d}{t^2} \quad (4)$$

Donde:

a = Aceleración

t = Tiempo

d = Distancia

2.4 Módulo de pruebas

El ángulo es un dato muy importante dentro del cálculo del coeficiente de fricción estático y dinámico por lo cual este valor tan particular puede ser determinado como se muestra en la Figura 2.



Fig. 2 Superficies, graduador magnético y perilla.

Fuente: Propia

Mediante un sistema manual que incluye un graduador magnético (G) que marca el ángulo entre la superficie móvil (SM) y la superficie base (SB). Una barra lateral (L) de acero ASTM A36

colocada al extremo de estas dos superficies, una perilla plástica de ajuste (P) en la barra lateral para fijar el ángulo al que se mueve la probeta, este ángulo podrá ser regulado desde 1 grado hasta los 45 grados.

2.4.1 Distancia y tiempo.

Para el cálculo de la aceleración se necesita conocer el tiempo y la distancia con las cuales funciona el banco de pruebas. Como se observa en la Figura 3, la distancia viene dada por dos regletas (R1 y R2) colocadas a los bordes de la superficie móvil, estas regletas tienen una distancia fija de 50 cm por la cual se desliza la probeta, dicha distancia viene dada para que el observador pueda visualizar el recorrido de la probeta sobre la placa y el diseño portable de la máquina.

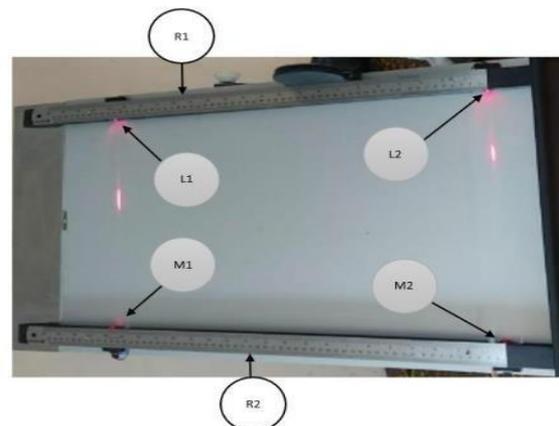


Fig. 3 Sistema para determinar la distancia y tiempo

Fuente: Propia

El tiempo en que la probeta recorre el sistema se lo puede obtener mediante cuatro sensores, 2 sensores de luz (M1 y M2) colocados al inicio y fin de los 50 cm de la regleta (R1) y 2 sensores de laser (L1, L2) ubicados al inicio y fin de los 50 cm en la regleta (R2), los sensores de luz son de la serie LM393 por su voltaje de funcionamiento (3.3V-5V) (Hawking, 2001), cuenta con una capacidad de medición de 1 Mohm en total oscuridad a 50-100 ohm bajo luz brillante, histéresis de 0,1 segundos cuando varía la luz, comunicación con el PLC por

señal digital, y los sensores laser KY-008 por su intensidad de luz, longitud de onda de 650 nm que precisa la medición, alcance hasta 2m, funciona con un voltaje de 5v.

Para la programación y automatización de este banco de pruebas se usa un lazo abierto como se muestra en la Figura 4, ya que los valores de salida no se comparan con los datos de entrada, por lo cual el diagrama de lazo abierto será el siguiente:



Fig. 4 Diagrama lazo abierto Fuente: Propia

El módulo de pruebas consta de un cajetín colocado al extremo del mismo como se muestra en la Figura 5, el cual contiene el PLC (PLC FX2N-16MR).



Fig. 5 Módulo de pruebas Fuente: Propia

Esta unidad de control se selecciona por su capacidad de operar funciones trigonométricas, permite a futuro mejorar el banco de pruebas haciendo automático todo el sistema. Es más robusto que otros controladores, es resistente al ruido y polvo, contiene 16 puntos (8 entradas y 8 salidas) de los cuales se toma 2 entradas (X0, X1) para los sensores y los puertos de conexión RS485

para la comunicación con el HMI, cable de interfaz universal RS422 para comunicación con la PC a través de USB por el software MELSOFT GX Designer (software libre). Cuenta con una pantalla Samkoon-pantalla táctil universal HMI de 4,3 pulgadas la cual ayuda a visualizar datos de una manera clara, permite al usuario interactuar con el programa, la misma se puede usar para ingresar datos dentro del sistema, se comunica perfectamente con el PLC, maneja el software Sktool 5.0 (software libre) para comunicación con el pc mediante el cable RS485 (Balestrieri, Daponte, De Vito y Picareliello, 2020).

3. RESULTADOS

Los errores de las comparaciones se las obtendrá mediante las fórmulas de error absoluto y error relativo (Dominguez, 2014).

$$\text{Error absoluto: } E_a = [V_e - V_o] \quad (5)$$

$$\text{Error relativo: } E_r = \frac{E_a}{V_e} \quad (6)$$

En la figura 6 y figura 7 se puede apreciar los resultados al utilizar madera para verificar su coeficiente de rozamiento sobre una superficie del mismo material.

Características de la superficie		Características del cuerpo	
Material base	Madera	Material de la probeta	Madera
			
Estimación Coeficiente Estático			
Mediciones	Ángulo al que se rompe la inercia [°]	Coeficiente Estático	
1	33	0,649	
2	33	0,649	
3	33	0,649	
4	32	0,625	
5	33	0,649	
Promedio	32,8	0,644	
Error absoluto:0,044		Error relativo:0,073	

Fig 6 Toma de datos experimentales madera Fuente: Propia

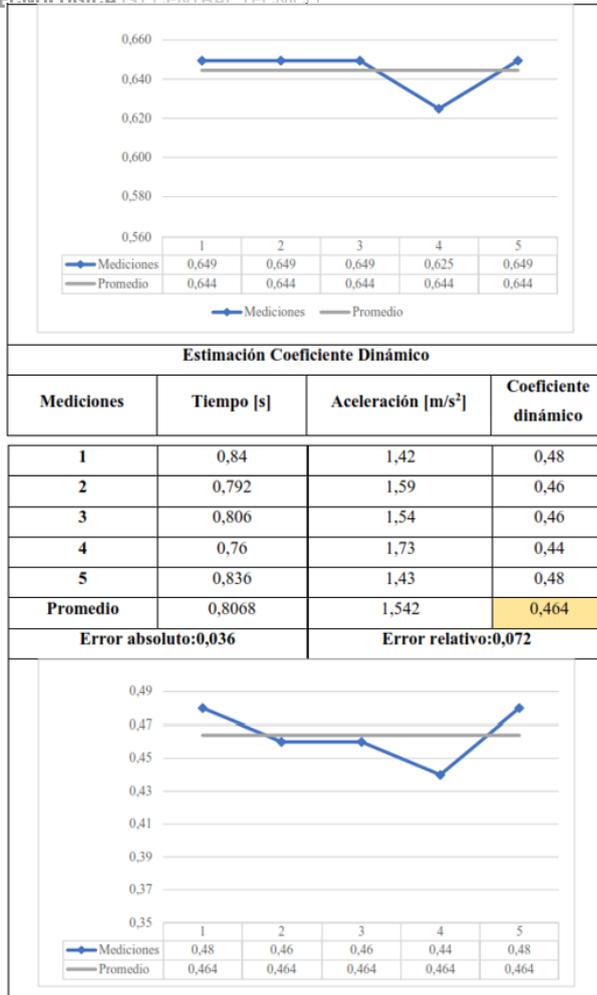


Fig 7 Toma de datos de la estimación del coeficiente dinámico de la madera
Fuente: Propia

Como prueba se dispuso de una superficie base de madera y un bloque de madera los cuales interactuaron obteniéndose 5 mediciones a las cuales la probeta recorre el sistema, se tiene que el valor del coeficiente de fricción estático es de 0,644 el cual al ser comparado con las tablas del Anexo A se tiene un error absoluto de: 0,044 y el relativo de: 0,073; de la misma forma, el coeficiente de fricción dinámico es de 0,464 con un error absoluto de: 0,036 y relativo de: 0,072 por lo que estos errores en comparación a las tablas son mínimos.

En la figura 8 se puede apreciar la siguiente combinación de materiales, en la cual se va a verificar el rozamiento del acero A 36 sobre la superficie del mismo material.

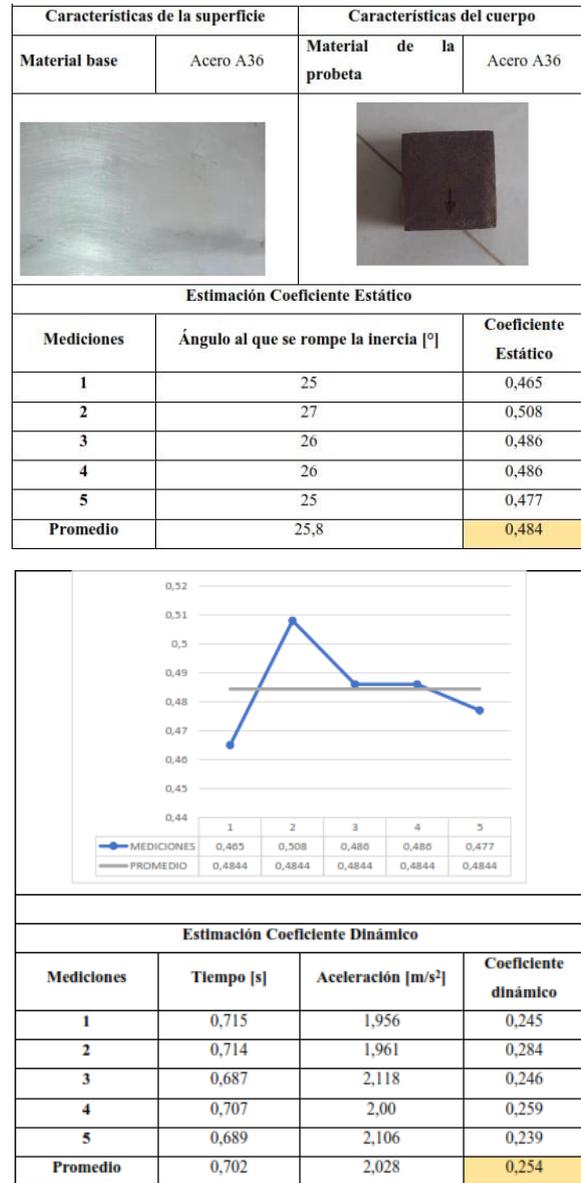


Fig. 8 Toma de datos experimentales Acero A 36
Fuente: Propia

Como prueba se dispuso de una superficie base de acero A36 y un bloque del mismo material los cuales interactuaron obteniéndose 5 mediciones a las cuales la probeta recorre el sistema, se tiene que el valor del coeficiente de fricción estático es de 0,484; de igual forma, el coeficiente de fricción dinámico es de: 0,254.

En la figura 9 se puede observar la siguiente combinación de materiales, en la cual se va a verificar el rozamiento del acero A 36 sobre una superficie de vidrio.

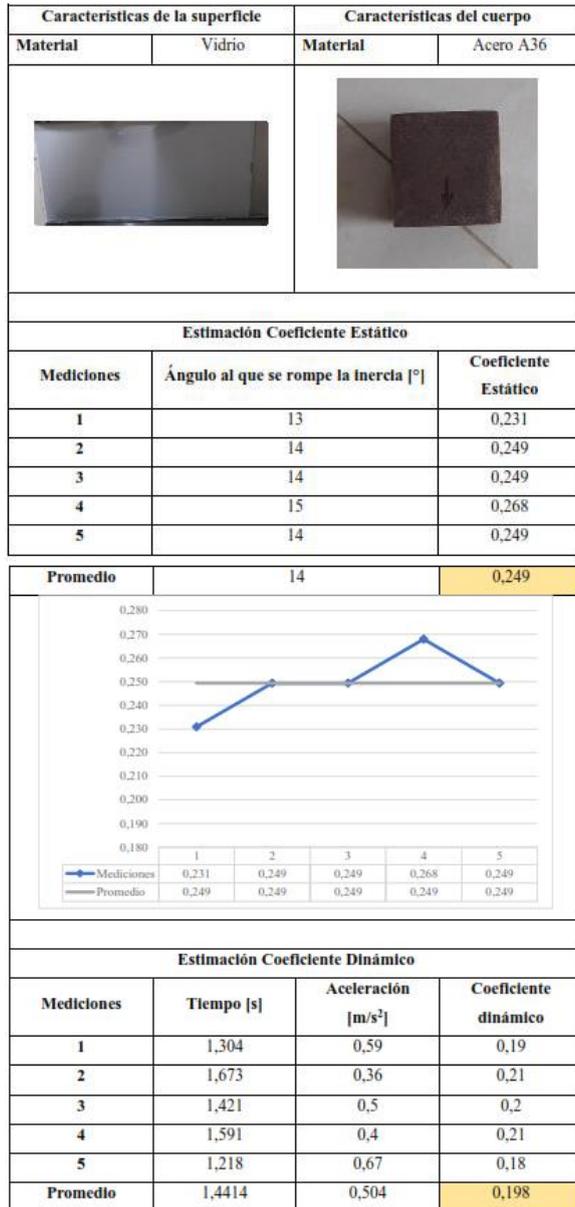


Fig. 9 Toma de datos experimentales Acero A 36
Fuente: Propia

Como prueba se dispuso de una superficie base de vidrio y un bloque de acero A36 los cuales interactuaron obteniéndose 5 mediciones a las cuales la probeta recorre el sistema, se tiene que el valor del coeficiente de fricción estático es de 0,249; de igual forma, el coeficiente de fricción dinámico es de: 0,198.

En la figura 10 se puede observar la siguiente combinación de materiales, en la cual se va a verificar el rozamiento del vidrio sobre una superficie de plástico.

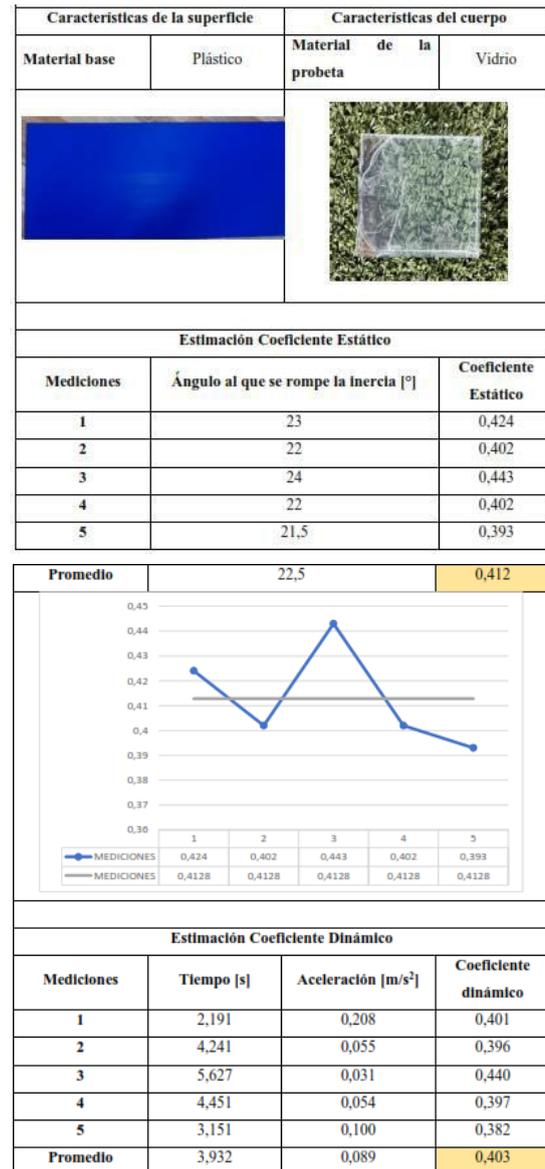


Fig. 10 Toma de datos experimentales vidrio
Fuente: Propia

Como prueba se dispuso de una superficie base de plástico y un bloque de vidrio los cuales interactuaron obteniéndose 5 mediciones a las cuales la probeta recorre el sistema, se tiene que el valor del coeficiente de fricción estático es de 0,412; de igual forma, el coeficiente de fricción dinámico es de: 0,403.

En la figura 11 se puede observar la siguiente combinación de materiales, en la cual se va a verificar el rozamiento de madera sobre una superficie de plástico.

Características de la superficie		Características del cuerpo	
Material base	Plástico	Material de la probeta	Madera
			
Estimación Coeficiente Estático			
Mediciones	Ángulo al que se rompe la inercia [°]	Coeficiente Estático	
1	24	0,445	
2	25	0,466	

Fig. 11 Toma de datos experimentales madera-plástico
Fuente: Propia

Como prueba se dispuso de una superficie base de plástico y un bloque de madera los cuales interactuaron obteniéndose 5 mediciones a las cuales la probeta recorre el sistema, se tiene que el valor del coeficiente de fricción estático es de 0,445; de igual forma, el coeficiente de fricción dinámico es de: 0,346.

3.1. Discusión

Mediante métodos y experimentos se pudo obtener el ángulo por medio de un graduador magnético ubicado en la superficie móvil que trabaja desde 1 grado hasta 45 grados, la distancia mediante dos regletas metálicas a los extremos donde van ubicadas las placas dando una distancia fija de 50cm, el tiempo por sensores de luz ubicados al inicio y fin de la trayectoria.

4. CONCLUSIONES

El ángulo, distancia y tiempo son los elementos críticos, al ser la información de entrada del sistema son de mucha importancia ya que influyen directamente en los datos de salida como son: aceleración, coeficiente de fricción estático y dinámico de cada material en el banco de pruebas.

Entre los elementos constitutivos principales del módulo de pruebas están los sensores de luz que

captan el tiempo en el que se mueve la probeta. Los mismos que al ser programados en el PLC permiten que se refleje en la pantalla HMI la aceleración y los coeficientes de fricción estático y dinámico, el PLC al ser la base de la programación y control del sistema es el elemento principal en el banco de pruebas por su durabilidad y funcionalidad ya que el mismo al contar con 8 entradas y 8 salidas se puede adaptar al prototipo elementos extras para una mejor interpretación de resultados y errores de menor rango.

Para pruebas de funcionamiento se realizaron 7 ensayos con diferentes placas base y probetas. Al obtener los resultados del coeficiente de fricción estático y coeficiente de fricción dinámico se deben comparar con los valores de las tablas de ANEXO A, obteniendo como resultado un error absoluto máximo del 6% y un valor relativo máximo del 7,3% estos errores al ser mínimos dan veracidad de los valores obtenidos como también de los valores que no se pudieron comparar con tablas.

REFERENCIAS

- A. Pendrill: "Understanding acceleration: An interplay between different mathematics and physics representations". Journal of Physics, 2019.
- D. Ordoñez: "Validación del coeficiente de fricción dinámica mediante tres procedimientos para materiales de uso común en ingeniería". Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2015.
- D. Román y G. Chio: "Análisis de modelos de deslizamiento en bloque para predecir el comportamiento dinámico del fenómeno de remoción en masa: Modelo Uniparamétrico y Modelo Biparamétrico". Redalyc, Colombia, 2018.
- D. Vukelic, P. Todorovic, K. Simunovic, J. Miljokovic, G. Simunovic y I. Budak: "A Novel Method for Determination of Kinetic Friction Coefficient using

E. Balestrieri , P. Daponte , L. De Vito y F. Picareliello: "*Research trends and challenges on DAC testing*". Università degli Studi del Sannio, 2020.

Fernández, C. (2022): "*Banco de pruebas para determinar la aceleración y coeficiente de fricción el cual será designado al Laboratorio de Física de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*". (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica).

F. Domínguez: "*Métodos numéricos aplicados a la ingeniería*". México, 2014.

J. Youqin: "*Coefficients of Friction-Static versus Dynamic*". Illinois, 2020.

S. Hawking: "*The universe in a nutshell*". 2001.

W. Castro, J. Arroyave, S. Acevedo: "*Determinación experimental del coeficiente de fricción empleando sensores movimiento*". Universidad Tecnológica de Pereira, España, 2010