

Instrumentación electrónica de una máquina para pruebas de torsión

Electronic instrumentation of a torsion testing machine

Omar Payán-Serrano^{1*}, Ismael Diaz-Peña¹, Carlos Sandoval-Leon², Kevin Bravo-Verdugo²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es instrumentar una maquina para pruebas de torsión de la marca italiana METRO COM sin interrumpir o alterar el funcionamiento de su sistema mecánico original de medición y graficación. Esta máquina no cuenta con sistemas electrónicos, sin embargo, es robusta y confiable debido a que esta constituida principalmente por sistemas mecánicos. Por lo tanto, resulta interesante utilizar las nuevas tecnologías para mejorar la experiencia de uso, aumentar la precisión y extender la vida útil de equipos didácticos valiosos. El proceso de instrumentación es planeado e implementado en la maquina para pruebas de torsión utilizando electrónica (sensores) para la medición digital de las variables físicas y programación para la comunicación inalámbrica e interfaz gráfica para la presentación de los datos.

Recibido: marzo 2024

Aceptado: mayo 2024

Publicado: junio 2024

Palabras Clave:

Propiedades mecánicas ,
maquina universal, instrumen-
tación

Keywords:

Mechanical properties; univer-
sal machine, instrumentation.

ABSTRACT

The aim of this work is to instrument a torsion testing machine of the Italian brand METRO COM without interrupting or altering the operation of its original mechanical measurement and graphing system. This machine does not have electronic systems; however, it is robust and reliable because it consists mainly of mechanical systems. Therefore, it is interesting to use new technologies to improve the user experience, increase accuracy and extend the useful life of valuable educational equipment. The instrumentation process is planned and implemented in the torsion testing machine using electronics (sensors) for digital measurement of physical variables and programming for wireless communication and data presentation with graphical interface.

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades mecánicas determinan el comportamiento del material cuando es sometido a esfuerzos o tratamientos mecánicos externos y cambios de temperatura [1]. El conocimiento de estas propiedades permite que la selección del material para el diseño, fabricación de piezas y conjuntos mecánicos sea una tarea más objetiva [2-3]. Por tal motivo para la mayoría de las aplicaciones las propiedades mecánicas son consideradas de gran importancia; principalmente en el tema de diseño y construcción de obras civiles [4-5].

*Autor para correspondencia. Omar Payan Serrano

Dirección de correo electrónico: omar.ps@culiacan.tecnm.mx

¹ Profesor del Tecnológico Nacional de México Campus Culiacán

² Estudiante de Licenciatura de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Culiacán

En muchas universidades o centros de investigación se cuentan con equipos y/o maquinaria robusta donde se realizan experimentos para obtener propiedades mecánicas de los materiales (Fig. 1) [6]. Debido a que muchos de estos equipos tienen más de 20 años de antigüedad, los sistemas de instrumentación y presentación de resultados son en su mayoría sistemas mecánicos que carecen de elementos para procesar la información y compartirla de manera precisa [7].

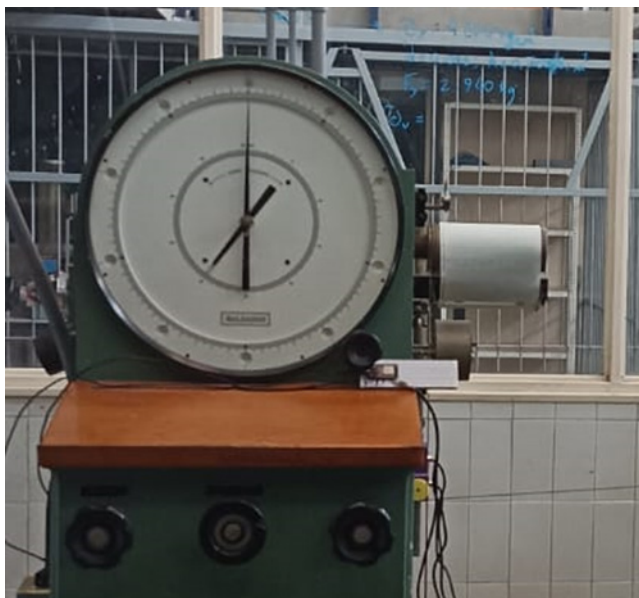


Fig. 1. Maquina universal para pruebas mecánicas con instrumentación mecánica.

En los últimos años, ha habido un aumento en el uso de la instrumentación electrónica en equipos didácticos [8]. La instrumentación electrónica ofrece una serie de ventajas, como la mayor precisión y sensibilidad, y la capacidad de recopilar y analizar datos de forma más rápida y sencilla.

Hay una serie de formas de aprovechar los equipos ya existentes para dotarlos de instrumentación electrónica. Una forma es instalar sensores y actuadores electrónicos en los equipos existentes (Fig. 2) [6-7]. Esto puede permitir a los estudiantes recopilar datos y controlar los equipos de forma remota.

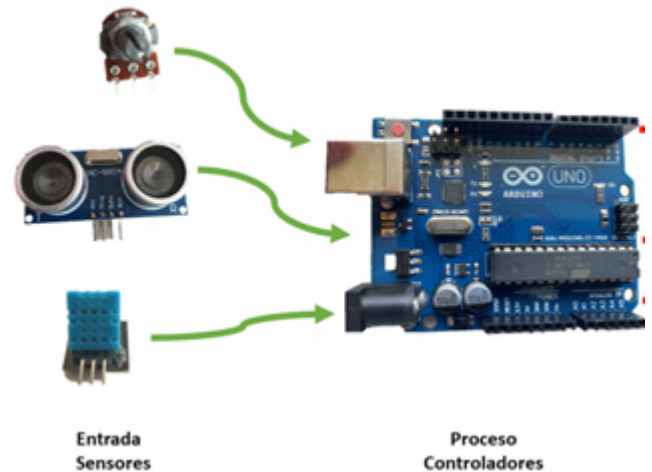


Fig. 2. Instrumentación electrónica

El laboratorio de pruebas destructivas del departamento Metal-Mecánica del Tecnológico Nacional de México Campus Culiacán cuenta con equipos robustos y valiosos que requieren de actualización en lo referente a la adquisición y presentación de los datos; uno de estos equipos es la máquina para pruebas de torsión, la cual se detalla a continuación.

2. MAQUINA PRUEBAS DE TORSIÓN

Un equipo fundamental para realizar la medición de las propiedades mecánicas es la máquina para pruebas de torsión [9]. Debido al año de fabricación, muchos de este tipo de equipos son poco modernos y carecen de la presentación de resultados en formato digital. Sin embargo, la mayoría de estas máquinas están compuesta principalmente de los mismos elementos (Fig. 3).

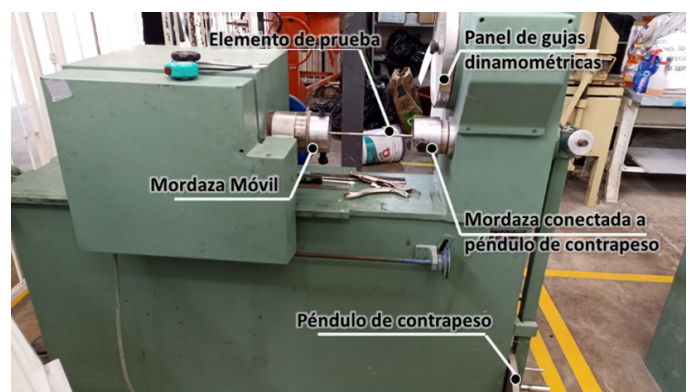


Fig. 3. Elementos de la máquina para pruebas de torsión de la marca italiana METRO COM.

Dependiendo del rango del torque aplicado a las probetas, las máquinas se clasifican en hidráulicas y electromecánicas. En la Fig. 4 se muestra mayor detalle de los elementos para presentar resultados. Las agujas describen visualmente el torque desarrollado durante la prueba. El panel cuenta con dos agujas, una está directamente conectada al movimiento del péndulo de contrapeso, mientras que la otra se encuentra libre y puede ser manipulada de manera manual o ser guiada por la aguja del péndulo. Al inicio de una prueba de torsión, la aguja del péndulo apuntará al cero de la escala del panel torquímetro, antes de empezar a aplicar fuerza a la probeta, se deberá colocar manualmente la aguja libre en la misma posición de la otra. Por lo tanto, cuando se desarrolla torque en la probeta, la aguja del péndulo moverá a la aguja libre, y cuando la probeta falle, la aguja del péndulo volverá a cero mientras que la aguja libre quedara indicando el torque máximo soportado por la probeta. Finalmente, el graficador mecánico dibuja físicamente en papel, mediante un rodillo giratorio, una curva escalada a dos ejes que representa torque y deformación angular generados durante la prueba. La Fig. 5 muestra una curva dibujada por la graficadora mecánica, donde se puede observar sutilmente las zonas típicas del comportamiento del acero, donde el eje horizontal de la gráfica describe la torsión o deformación angular de la probeta y el eje vertical el torque aplicado durante el proceso de una prueba destructiva. Sin embargo, en la actualidad la presentación de resultados en formato de impresión física implica una experiencia poco atractiva e impráctica para el tema de procesamiento computacional de los datos. Por tal motivo, la adaptación de un sistema digital para la adquisición de datos puede resultar una mejora de la experiencia de uso y de la precisión de la información.

Si bien es poco atractivo e impreciso el formato de presentación de datos, original de la máquina, es importante tener en cuenta la robustez y confiabilidad del dispositivo debido a que funciona bajo el principio del péndulo con contrapeso. Tal como se muestra en la Fig. 6, cuando el péndulo se encuentra descansando con una vertical normal común a los ejes de la mordaza y el disco de contrapeso W , la distancia x es cero, por lo tanto, el torque $T=W \cdot x$ también será cero; en el momento en que se desarrolla torque en la mordaza, entonces el péndulo rotará hasta generar la adecuada distancia x que permita contrarrestar o compensar el torque aplicado. La máxima rotación del péndulo es de 45 grados, mientras que la aguja del torquímetro

puede girar casi 360°, esto es por un sistema de engranes que permite transmitir y amplificar el movimiento.

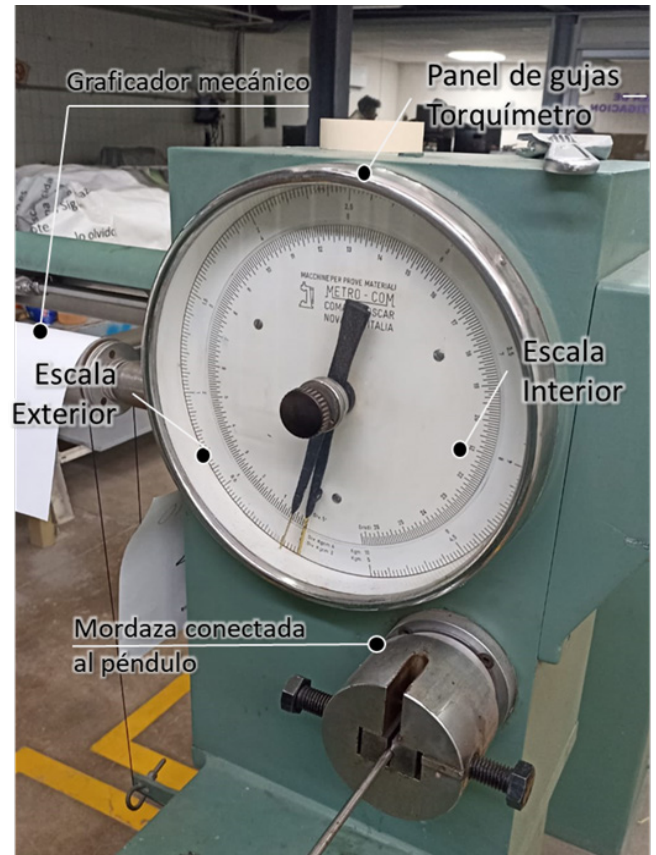


Fig. 4. Graficadora y panel de agujas de torquímetro.



Fig. 5. Curva dibujada por la graficadora mecánica incorporada originalmente en la máquina para pruebas de torsión

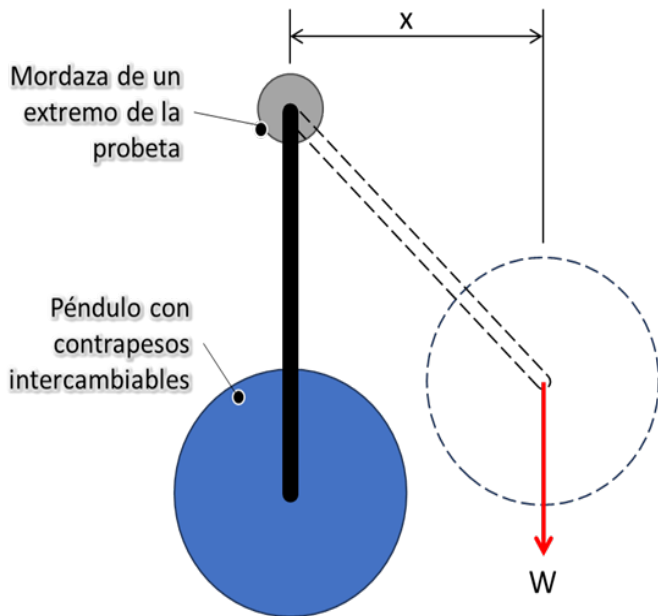


Fig. 6. Aumento del torque con la rotación del péndulo.

La maquina cuenta con dos discos contrapeso, lo que permite trabajar con dos escalas en el panel de agujas. La escala exterior mide de cero hasta 5 kgf·m y se utiliza cuando un solo disco contrapeso es montado como péndulo, mientras que la escala interior mide de cero hasta 10 kgf·m y se utiliza cuando los dos discos contrapesos son montados como péndulo. Es posible mejorar la precisión de lectura y registro utilizando un sistema electrónico de adquisición de datos instalado en la maquina sin interrumpir las funciones del sistema original de medición mecánico.

3. SISTEMA ELECTRÓNICO/DIGITAL PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Hoy en día existen una aceptable variedad de sistemas electrónicos de libre uso y configuración (Fig. 7), conocidos como placas de desarrollo. Las placas de desarrollo son dispositivos que cuenta con un microcontrolador (microchip) reprogramable, el cual, puede ejecutar instrucciones para un fin específico [10], [11]. Generalmente estas placas cuentan con entradas y salidas analógicas y/o digitales para permitir la comunicación con sensores externos, haciendo uso de la electrónica digital. Además, en el mercado hay una gran disponibilidad de transductores del tipo sensor (Fig. 5), los cuales permiten transformar o convertir

una determinada manifestación física en una salida de información legible por un sistema electrónico como lo pueden ser las tarjetas de desarrollo anteriormente planteadas.

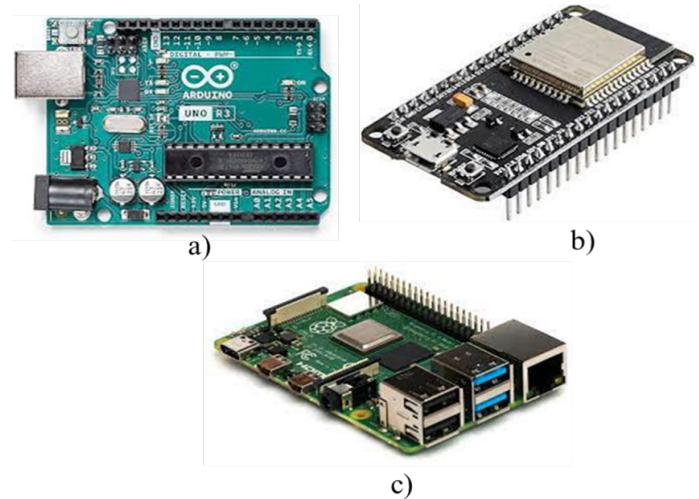


Fig. 7. Placas electrónicas de desarrollo. a) Arduino UNO. b) ESP32. c) Raspberry PI.

Dentro del gran universo de sensores disponibles, en la Fig. 8 se muestran algunos de los más utilizados. La celda de carga convierte la fuerza en una salida eléctrica medible; este tipo de transductor ofrece una relación directa con una de las variables de interés, la fuerza. Las celdas de cargas suelen ser económicamente accesibles para pequeñas capacidades, sin embargo, su valor incrementa drásticamente para aplicaciones donde se aplican elevadas cargas. El módulo MPU9250 es una unidad de medición económica con 3 sensores basados en sistemas microelectromecánicos, los cuales permiten medir la velocidad de giro en 3 ejes (giroscopio), la aceleración de desplazamiento en 3 ejes (acelerómetro) y un magnetómetro para definir la dirección en 3 ejes con respecto al norte polar. Este módulo ofrece una gran versatilidad debido a que es posible procesar la información de los 3 sensores y calcular parámetros como desplazamiento, orientación, velocidad, aceleración, posición, etc. Sin embargo, debido a que utiliza microelementos-electromecánicos, las altas vibraciones y los fuertes campos magnéticos cercanos al dispositivo generan ruido significativo en sus señales de salida. Una alternativa altamente robusta es el transductor conocido como encoder, codificador o generador de pulsos [12]. El encoder suele ser un dispositivo electromecánico usado

para medir la posición angular de un eje al describirla mediante un código digital, por lo tanto, es un dispositivo menos susceptible al ruido externo generado por vibración o campos magnéticos. Sin embargo, este tipo de sensor no ofrece de manera directa la medición de torque y deformación angular. Es por este motivo que se requiere de adaptaciones mecánicas y procesamiento matemático para convertir y relacionar la posición angular, dada por el encoder, con las variables de interés.

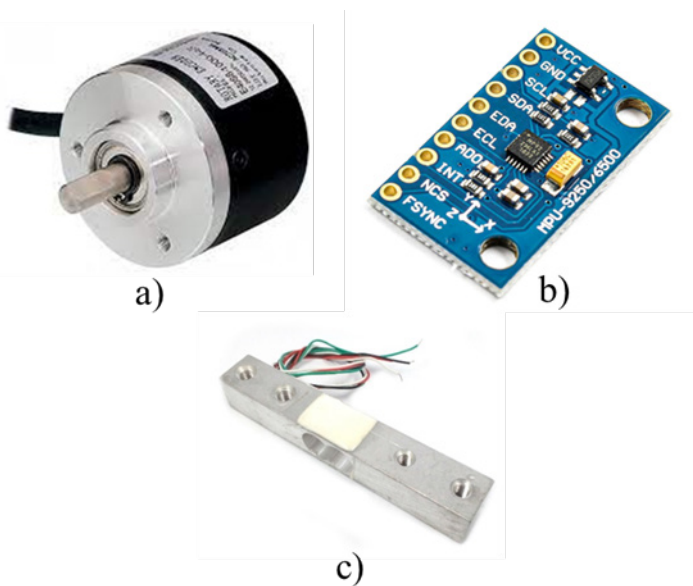


Fig. 8. Transductores tipo sensor. a) Encoder. b) Módulo MPU9250. c) Celda de carga.

En la Fig. 9 se muestra de manera general el proceso para la adquisición de datos digitales. El sensor o los sensores envían la información digital a una placa de desarrollo, la cual interpreta pulsos eléctricos de acuerdo con su código de programación y posteriormente se comunica a una computadora con la finalidad de un mayor procesamiento y/o presentación visual de la información.

4. ANÁLISIS DE GRAFICADOR MECÁNICO

Para la implementación de los elementos del sistema de adquisición de datos se analizó y estudió el principio de funcionamiento de todos los sistemas (eléctrico y mecánico) con apoyo del manual e inspección visual de la dinámica de los componentes. Se observó que el giro del rodillo es generado por el

movimiento de una cuerda, la cual está conectada o relacionada con la rotación de la mordaza móvil, es decir, describe la torsión o deformación angular de la probeta (Fig. 10). Por otra parte, una varilla conectada al péndulo a través de un mecanismo simple adquiere un movimiento lineal debido a la rotación del péndulo.

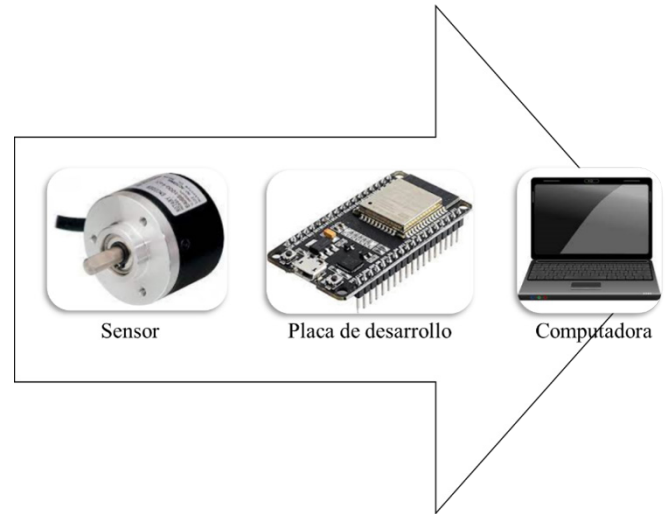


Fig. 9. Proceso general para la adquisición de datos digitales.

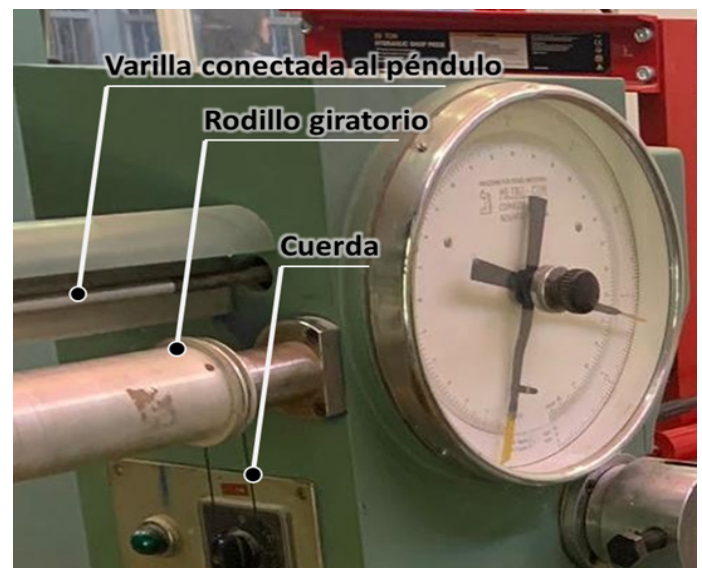


Fig. 10. Elementos del graficador mecánico.

Por lo anteriormente señalado, la rotación del rodillo en combinación con el movimiento horizontal de la varilla permite a una pluma, sostenida en la varilla, graficar escaladamente la curva Torque-Deformación en tiempo real durante las pruebas de torsión.

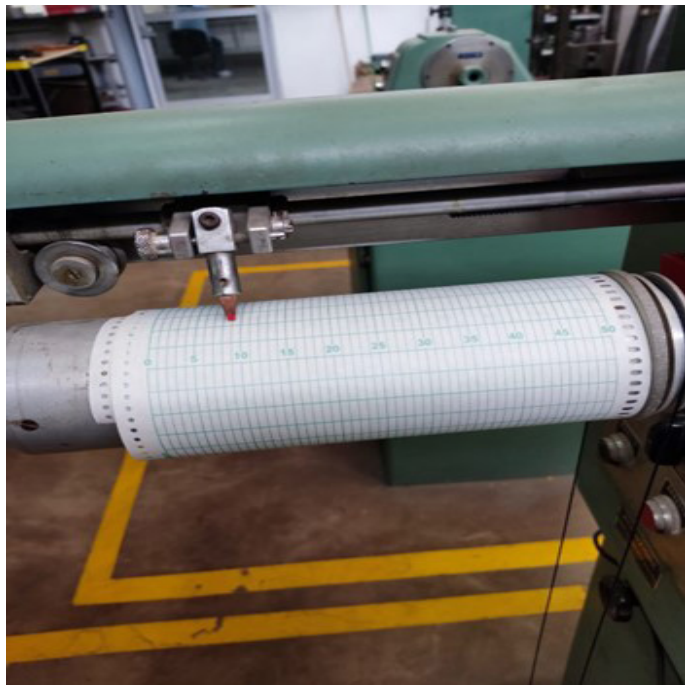


Fig. 11. Papel y lápiz sobre la graficadora mecánica.

5. INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

A partir del análisis de funcionamiento del graficador mecánico, se propone la implementación de un sistema electrónico de adquisición de datos utilizando una placa de desarrollo ESP32 y dos encoders. El ESP32 será el encargado de recibir la información de los sensores (encoder) y registrarla en un archivo de texto.

Un encoder es instalado tal como se muestra en la Fig. 12. Utilizando impresión 3D es relativamente sencillo resolver el problema de montaje de los sensores, debido a que no se requiere de soportes metálicos de

gran resistencia; la impresión 3D ofrece una solución versátil y personalizada para la creación de soportes para sensores. A partir de un rollo de filamento plástico es posible obtener diseños justos a las necesidades específicas del sensor y la aplicación. Aprovechando un elemento metálico sobresaliente de la máquina, se diseñaron e imprimieron elementos plásticos para mantener un encoder fijo con el objetivo de registrar el desplazamiento de la cuerda que describe la deformación angular en las pruebas de torsión. La Fig. 13 muestra el diseño 3D del soporte y la polea que permiten contener el sensor y transmitir el movimiento de la cuerda al eje del encoder, respectivamente.



Fig. 12. Instalación de encoder para la deformación angular.

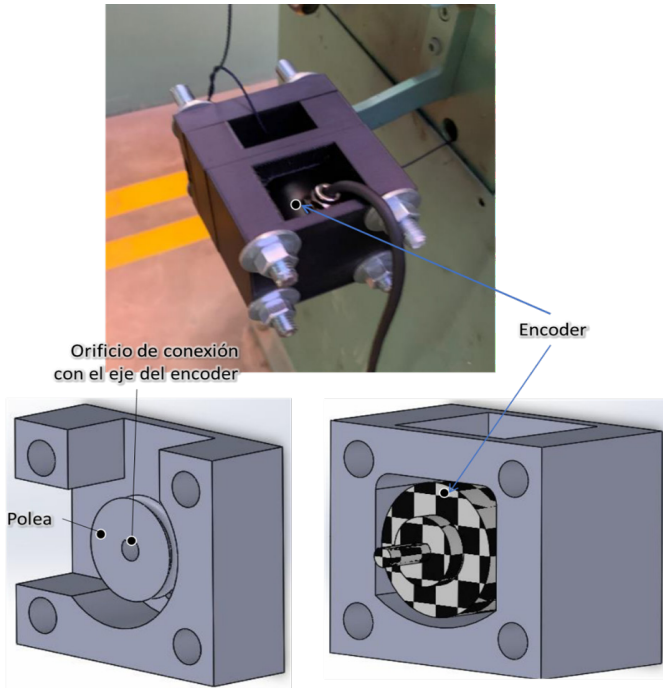


Fig. 13. Diseños 3D del soporte encoder deformación.



Fig. 14. Instalación del encoder para registrar el torque.

El segundo encoder, destinado a registrar algún movimiento relacionado al torque de las pruebas, es instalado a lado del rodillo giratorio con la finalidad de adquirir digitalmente la translación de la varilla (Fig. 14). Con la finalidad de no perder datos debido a posibles deslizamientos por falta de fricción, para el encoder se diseñó un engrane y en la varilla se adhirió un pequeño tramo de banda dentada (Fig. 15).

Como se puede observar, las bases y poleas para los sensores fueron construidas a partir de impresión 3D con filamento PLA. De esta manera se logó una implementación de instrumentación económica y poco invasiva al no interrumpir el proceso original para la graficadora física.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la prueba destructiva por torsión (ver Fig. 16) de una probeta de 10 mm de diámetro, 170 mm de longitud, acero A36, y utilizando el sistema de medición electrónico. Las señales digitales provenientes de los sensores son recibidas y procesadas en la placa de desarrollo ESP32 para posteriormente ser comunicadas de forma inalámbrica a cualquier equipo computación que cuente con navegador web.



Fig. 15. Conexión varilla y encoder.

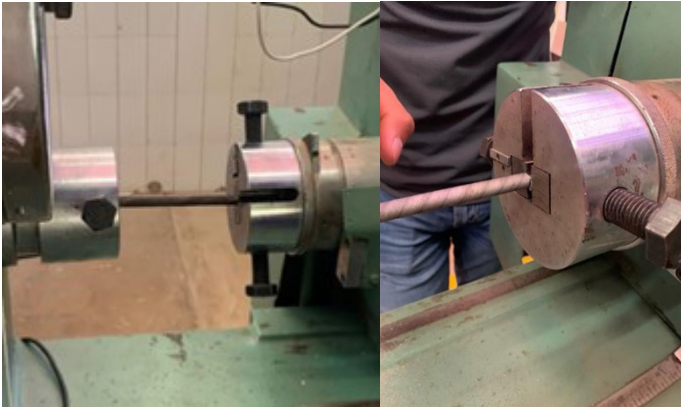


Fig. 16. Ensayo o prueba destructiva por torsión.

La Fig. 17 muestra el grafico digital construido a partir de mas de 2000 pares de datos (torque y deformación angular) obtenidos durante el ensayo de torsión, donde se puede observar el material empieza a presentar comportamiento elastoplástico a partir de los 4 kgf·m de torque.

Considerando que el esfuerzo de fluencia a cortante T_Y en el acero A36 se presenta a los 150 MPa [13] y utilizando la ecuación $T_Y = \tau_y c/J$, donde T_Y es el torque máximo elástico, c es el radio y J es el momento polar de inercia; es posible calcular el torque máximo permisible para no exceder la resistencia elástica de la pieza. De acuerdo con las características dimensionales de la probeta, el torque máximo elástico permisible es de 3 kgf·m. En torsión, los esfuerzos cortantes no se distribuyen de manera uniforme (Fig. 18), por este motivo, el torque que corresponde a la deformación contentamente plástica T_p es mayor que T_Y . El torque T_p para un eje circular sólido hecho de un material elastoplástico puede ser 4/3 veces T_Y [14].

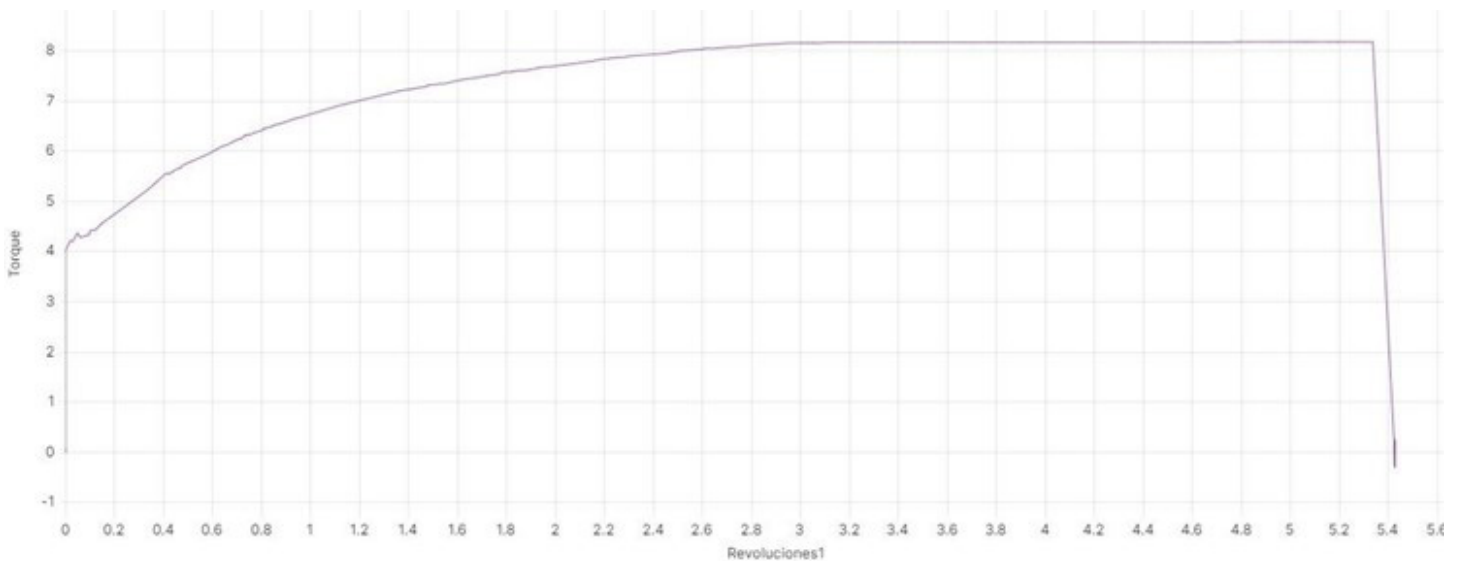


Fig. 17. Ensayo o prueba destructiva por torsión

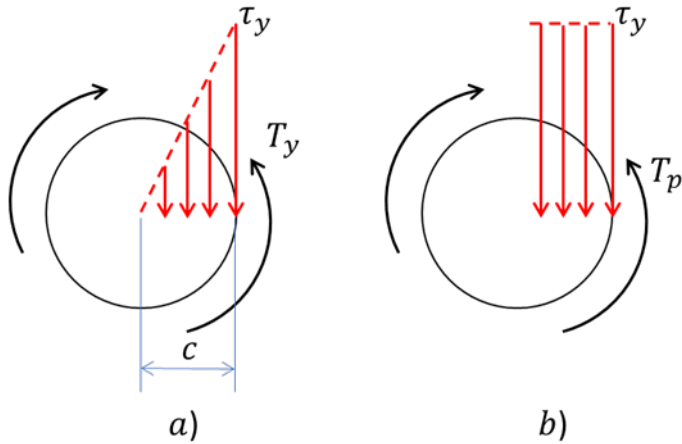


Fig. 18. Distribución de esfuerzo cortante en un elemento de sección circular sujeto a torsión.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se estudio el principio de funcionamiento de una máquina para pruebas destructivas de torsión del tipo electromecánico; con el objetivo de implementar elementos electrónicos y sistemas computacionales para mejorar la experiencia y precisión de los ensayos didácticos. Sin modificar los sistemas originales de instrumentación y graficación mecánicos, se colocaron sensores del tipo encoder rotativos para registrar el movimiento de algunos elementos de la máquina, los cuales están relacionados con las variables torque y deformación angular. Las señales de los encoders fueron recibidas y procesadas en una placa de desarrollo del tipo ESP32 para posteriormente ser comunicada, de manera inalámbrica, la información de los pares ordenados de datos que son graficados en forma digital en cualquier dispositivo con navegación web. La grafica obtenida por el sistema electrónico, debido a un ensayo de torsión, muestra un comportamiento tipo del material utilizado, es decir, empieza con una etapa lineal elástica, seguido de un proceso de plastificación y endurecimiento, para finalmente llegar a la ruptura. Además, el torque T_p correspondiente a los cálculos debido al tipo de material y las dimensiones de la pieza, corresponde a la deformación contentamente plástica que se aprecia en

la gráfica digital. Por lo tanto, se considera que la instrumentación electrónica de máquinas robustas puede contribuir en la extensión y aprovechamiento de la vida útil de los equipos didácticos.

REFERENCIAS

- [1] J. Pelleg, "Mechanical properties of materials," *Solid Mechanics and its Applications*, vol. 190, pp. 1–634, 2013, doi: 10.1007/978-94-007-4342-7/COVER.
- [2] P. R. N. Childs, *Mechanical Design: Second Edition*. 2003. doi: 10.1016/B978-0-7506-5771-6.X5000-4.
- [3] P. F. Koshelev, "Mechanical properties of materials at low temperatures," *Strength of Materials*, vol. 3, no. 3, 1971, doi: 10.1007/BF01527440.
- [4] I. Nishiyama, H. Kuramoto, and H. Noguchi, "Guidelines: Seismic Design of Composite Reinforced Concrete and Steel Buildings," *Journal of Structural Engineering*, vol. 130, no. 2, 2004, doi: 10.1061/(asce)0733-9445(2004)130:2(336).
- [5] C. Qiu, J. Qi, and C. Chen, "Energy-Based Seismic Design Methodology of SMABFs Using Hysteretic Energy Spectrum," *Journal of Structural Engineering*, vol. 146, no. 2, p. 04019207, Feb. 2020, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002515.
- [6] C. Romero-Piedrahita, A. Rodriguez-Valencia, and M. Monroy-Jaramillo, "Ensamble e instrumentación de un banco didáctico para pruebas de arranque en motores de combustión interna," *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, no. 3, 2020, doi: 10.18273/revuin.v19n3-2020004.
- [7] S. Oriola Requena and F. Oriola Requena, "Instrumentación del Preludio de La revoltosa para agrupación de cámara. Una propuesta didáctico-interpretativa para la enseñanza y práctica de la música de cámara.," *ARTSEDU-CA*, no. 30, 2021, doi: 10.6035/artseduca.5725.
- [8] E. E. Kabanova and E. A. Vetrova, "The use of modern Electronic Gadgets in the educational process of the University," *European Journal of Contemporary Education*, vol. 8, no. 3, 2019, doi: 10.13187/ejced.2019.3.524.
- [9] G. M. D. Almaraz, L. M. T. Duarte, and C. J. T. Pacheco, "Tension-Torsion Fatigue Tests on the proton Ex-

change membrane Nafion 115, used in fuel cells,” South Florida Journal of Development, vol. 2, no. 5, 2021, doi: 10.46932/sfjdv2n5-037.

[10]I. Pérez, “Arduino IDE,” Publicación semestral, vol. 11, no. 21, 2023.

[11]Espressif, “ESP32 Series Datasheet,” Espressif Systems, 2022.

[12]E. Reyes-Flores, “Tipos de Sensores,” Con-Ciencia Serrana Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco, vol. 1, no. 2, 2019.

[13]S. Schmauder, C. S. D. Chen, K. K. Chawla, N. Chawla, W. Chen, and Y. Kagawa, Handbook of mechanics of materials. 2019. doi: 10.1007/978-981-10-6884-3.

[14]C. W. de Silva, Mechanics of Materials. 2013. doi: 10.1201/b15431.