

Análisis de propiedades mecánicas e instrumentación de maquina universal para ensayo de materiales metálicos

Analysis of mechanical properties and instrumentation of a universal machine for testing metallic materials

Omar Payán-Serrano^{F*}, Ismael Diaz-Peña¹, Brandon De La Cruz Nuñez², Fabrizzio Llanes-López².

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar la resistencia de algunos materiales metálicos disponibles en la región de Culiacán Sinaloa, utilizando una maquina universal para ensayos de pruebas destructivas y comparar los resultados con los esperados de acuerdo con las propiedades mecánicas descritas en las correspondientes fichas técnicas. Además, un proceso de instrumentación es planteado e implementado en la maquina universal con la finalidad de mejorar la experiencia de uso de profesores/estudiantes y extender el aprovechamiento de este tipo de equipo robusto y valioso. Finalmente, el estudio en relación con las propiedades mecánicas de los materiales mostró algunas diferencias con respecto a las esperadas y las mediciones electrónicas/digital obtenidas por parte del sistema de instrumentación adaptado brindó resultados cercanos a los descritos por el sistema mecánico/análogo.

Recibido: enero 2023
Aceptado: mayo 2023
Publicado: diciembre 2023

Palabras Clave:

Propiedades mecánicas; maquina universal, instrumentación.

Keywords:

Mechanical properties; universal machine, instrumentation

ABSTRACT

The aim of this work is to study the resistance of some metallic materials available in the region of Sinaloa, using a universal machine for destructive tests and to compare the results with those expected according to the mechanical properties described in the corresponding technical data sheets. In addition, an instrumentation process is proposed and implemented in the universal machine to improve the user experience of teachers/students and extend the use of this type of robust and valuable equipment. Finally, the study in relation to the mechanical properties of the materials showed some differences with respect to the expected ones and the electronic/digital measurements obtained by the adapted instrumentation system provided close results to those described by the mechanical/analog system.

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades mecánicas determinan el comportamiento del material cuando es sometido a esfuerzos o tratamientos mecánicos externos y cambios de temperatura [1, 2, 3]. 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 [4, 5]. 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 [6, 7].

*Autor para correspondencia.

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

La gran mayoría de la maquinaria y obras civiles se elaboran utilizando materia prima que se encuentran en la región de desarrollo. Por lo tanto, es importante tener un adecuado seguimiento de la calidad de estos materiales para conseguir realmente el desempeño y la seguridad que fue proyectada desde la etapa de diseño. Además, muchos de los catálogos de materiales de construcción cuentan con poca o nula información técnica que ayude a los diseñadores a considerar adecuadamente las propiedades mecánicas de estos materiales en sus proyectos.

Lamentablemente, la calidad de las piezas de mampostería disponibles en la ciudad de México y sus alrededores vino a la baja en décadas recientes [1, 8]. Por esta razón, en años recientes varias entidades de la República han estado trabajando en la obtención experimental de las propiedades mecánicas de las mamposterías locales [9, 10, 11].

En lo referente a materiales metálicos, existe poca evidencia de estudios realizados por laboratorios de universidades [12, 13]. Esto se debe principalmente a que los fabricantes de este tipo de materiales por lo general son grandes empresas que cuentan con los recursos necesarios para mantener procesos de control de calidad. Sin embargo, es importante avalar la información expuesta en los catálogos de los fabricantes a partir de resultados experimentales por parte de laboratorios neutrales como lo pueden llegar a ser las universidades. Por lo tanto, para este tipo de estudios experimentales es relevante contar con un adecuado equipo de pruebas destructivas, el cual disponga de un sistema electrónico robusto y preciso para la adquisición de datos con la finalidad de expandir el análisis de resultados utilizando procesamiento computacional.

2. MAQUINA UNIVERSAL PARA PRUEBAS MECÁNICAS

Un equipo fundamental para realizar la medición de las propiedades mecánicas es la máquina universal [14]. Debido al año de fabricación, muchas de las máquinas universales disponibles en universidades son poco modernas y carecen de la presentación de resultados en formato digital. Sin embargo, toda máquina universal está compuesta principalmente de dos secciones esenciales: una para pruebas (compresión y tensión principalmente) y otra para controlar y observar la fuerza aplicada (Figura 1) [15].



Figura 1. Sección de mando y prueba de una máquina universal hidráulica con capacidad de 50 toneladas marca italiana Galdabini.

Dependiendo del rango de la fuerza aplicada a las probetas, las máquinas universales se clasifican en hidráulicas y electromecánicas. Las máquinas electromecánicas pueden aplicar hasta una fuerza de 600 kN (1.35×10^5 lb), mientras que las máquinas hidráulicas permiten aplicar fuerzas de hasta 4500 kN (10.1×10^5 lbf) [16].

En la Figura 2 se muestran las partes principales de la sección de mando de la maquina universal. Las agujas dinamométricas describen visualmente la fuerza en desarrollo y la fuerza máxima alcanzada durante la prueba; los volantes de mando permiten ajustar la carga máxima o de control e iniciar o detener el proceso de aplicación de la fuerza en la probeta o espécimen de prueba. Finalmente, el graficador mecánico dibuja físicamente en papel, mediante un rodillo giratorio, una curva escalada a dos ejes que representa la fuerza y el desplazamiento generados durante la prueba. La Figura 3 muestra una curva dibujada por la graficadora mecánica, donde se puede observar sutilmente las zonas típicas del comportamiento del acero a tensión, donde el eje horizontal de la gráfica describe el desplazamiento o deformación de la probeta y el eje vertical la fuerza aplicada 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.

3. SISTEMA ELECTRÓNICO/DIGITAL PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Hoy en día existen una aceptable variedad de sistemas electrónicos de libre uso y configuración (Figura 4), 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 [17, 18 y 19]. Generalmente estas placas cuentan con entradas y salidas análogas 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 (Figura 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.



Figura 2. Elementos de la sección de mando de la maquina universal.

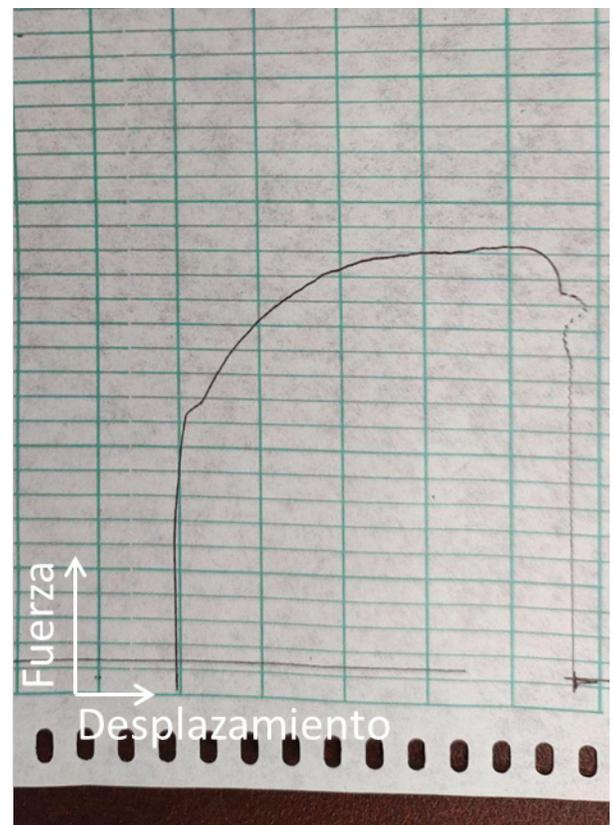


Figura 3. Curva dibujada por la graficadora mecánica incorporada originalmente en la maquina universal.

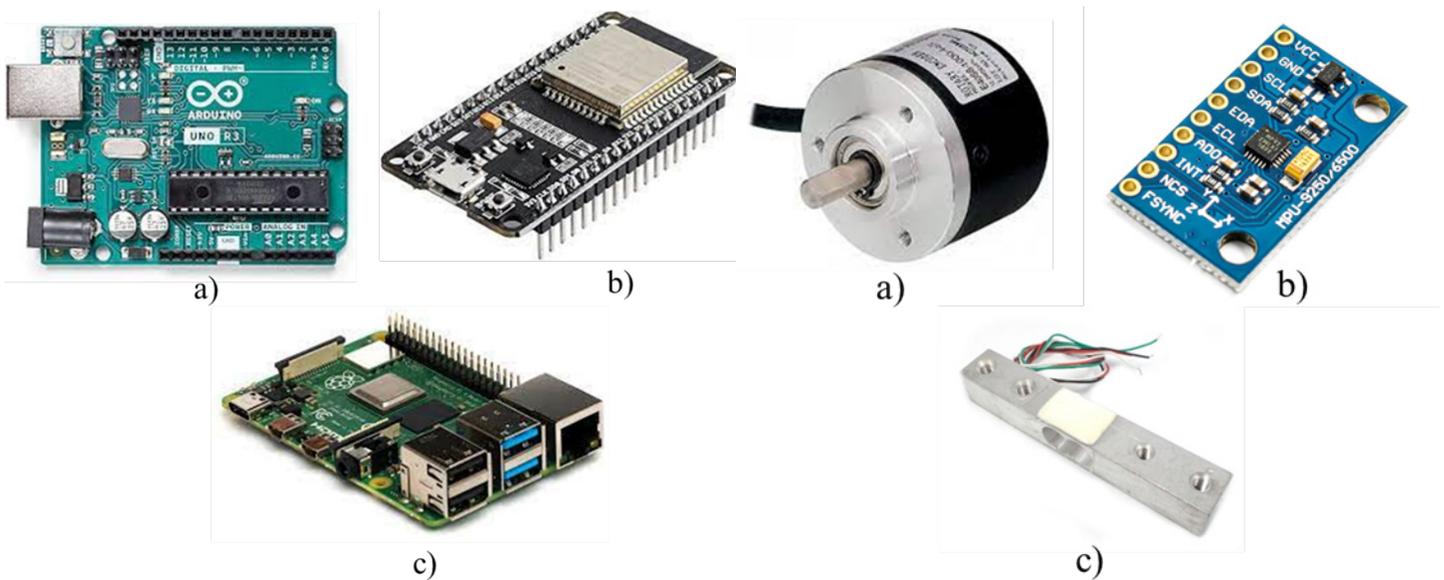


Figura 4. Placas electrónicas de desarrollo. a) Arduino UNO. b) ESP32. c) Raspberry PI.

Dentro del gran universo de sensores disponibles, en la Figura 5 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 [20]. El encoder suele ser un dispositivo elec-

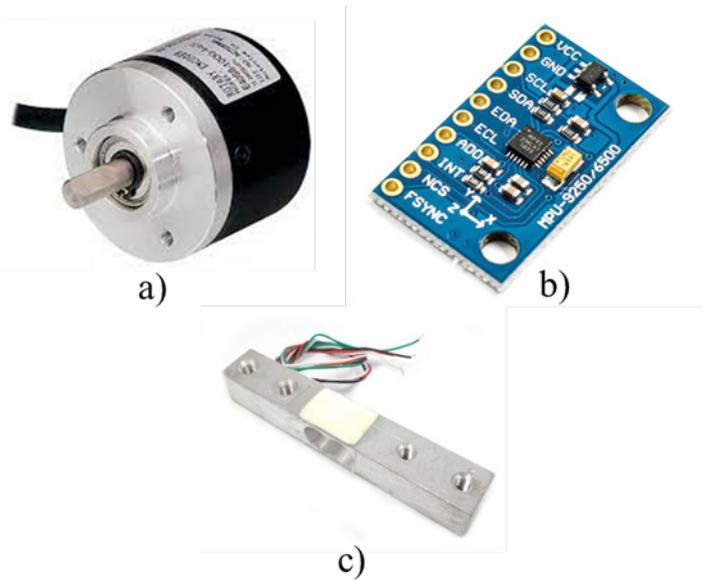


Figura 5. Transductores tipo sensor. a) Encoder. b) Módulo MPU9250. c) Celda de carga.

tromecánico 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 las variables de interés fuerza y desplazamiento. Es por este motivo que se requiere de adaptaciones mecánicas y procesamiento matemático para convertir y relacionar la posición angular en desplazamiento o fuerza.

En la Figura 6 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. 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, mecánico e hidráulico) 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 esta conectada a la viga móvil de la sección de pruebas (Figura 7 y 8). Esta viga móvil tiene relación directa

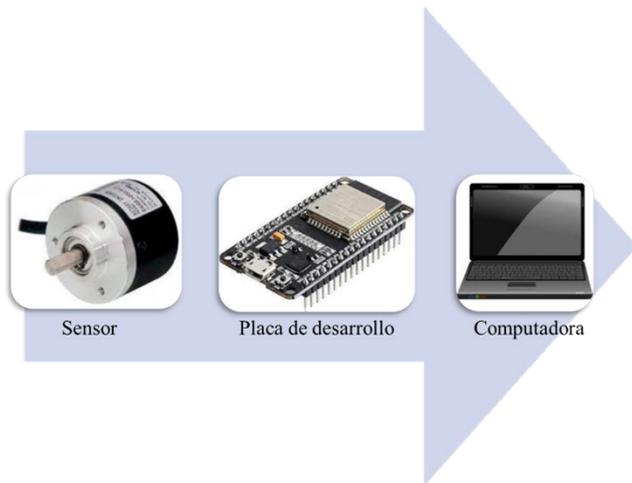


Figura 6. Proceso general para la adquisición de datos digitales.

con los desplazamientos generados en las pruebas de tensión o compresión y con la rotación del rodillo. Por otra parte, la varilla dinamométrica mostrada en la Figura 6b desarrolla un movimiento horizontal y está relacionado con la aguja dinamométrica mediante un sistema de engranes para transformar el movimiento angular en lineal.

Por lo anteriormente señalado, la rotación del rodillo en combinación con el movimiento horizontal de la varilla dinamométrica permite a una pluma sostenida en el extremo de la varilla, graficar escaladamente la curva fuerza-deformación en tiempo real durante las pruebas de

tensión o compresión. A partir de estas consideraciones, 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 registrar la información en un archivo de texto. Es relativamente sencillo adaptar el encoder destinado a registrar el desplazamiento, esto debido a que la maquina universal registra físicamente el desplazamiento mediante un movimiento de rotación en el rodillo (Figura 9). Mientras que la fuerza se registra a partir de un movimiento lineal, por lo tanto, se requiere de un sistema de conversión o de la búsqueda de otro elemento móvil relacionado a la fuerza. Analizando a detalle los mecanismos del dinamómetro, se encontró que la inclinación de un péndulo ubicado en la parte posterior de la sección de mando, esta relacionada con la fuerza desarrollada; esto debido a que funciona como contrapeso para el sistema hidráulico.

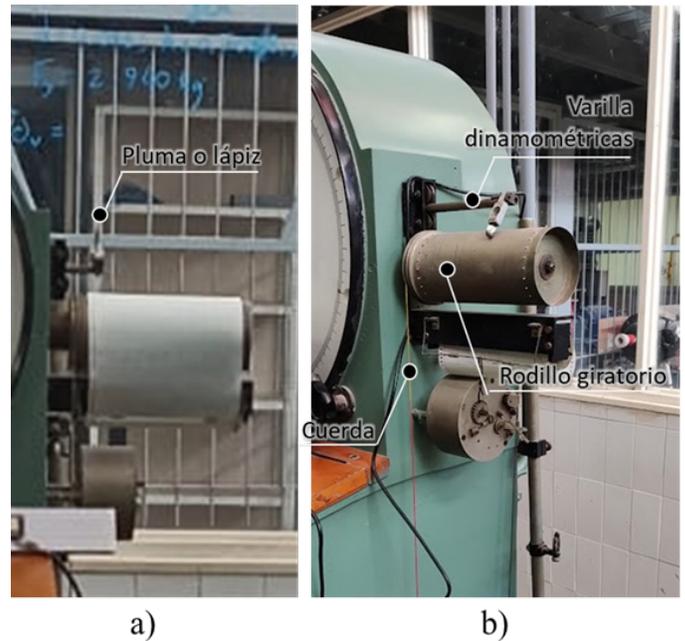


Figura 7. Graficador mecánico. a) Pluma y papel instalados. b) Sin pluma y papel instalados.



Figura 8. Detallado de la sección de pruebas de la maquina universal.

lico de fuerza. Utilizando un giroscopio (MPU9250) se demostró que la máxima fuerza se alcanza cuando el péndulo se orienta a 45° con respecto a la vertical (Figura 10).

Finalmente, se propone aprovechar el movimiento de rotación del péndulo y transmitirlo mediante otra cuerda para registrarlo por medio de otro encoder y posteriormente procesar esta información para convertirla en valores de fuerza (Figura 11). 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.



Figura 9. Instalación de encoder para registro del desplazamiento.

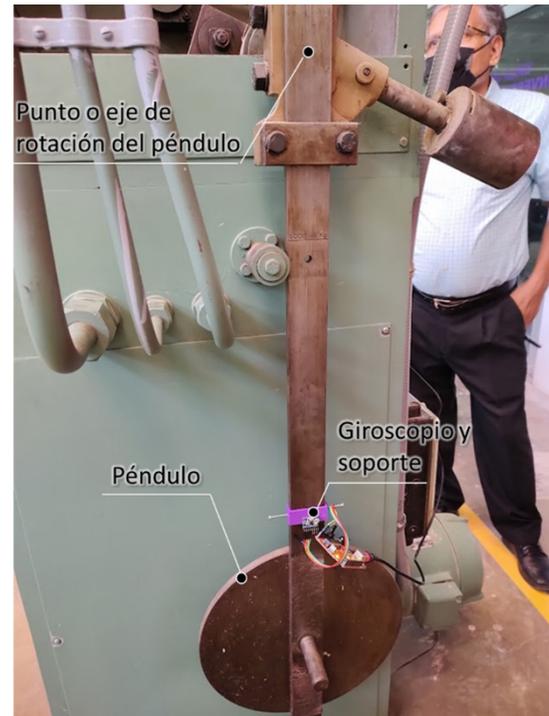


Figura 10. Péndulo de contrapeso acoplado al sistema hidráulico de fuerza.

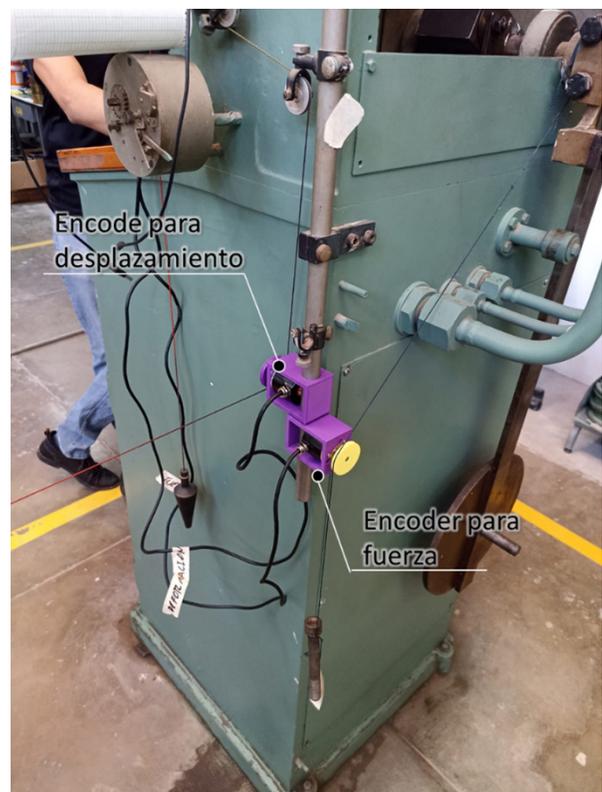


Figura 11. Instalación de sensores tipo encoder para registrar fuerza y desplazamiento.

En la Figura 12 se muestra el resultado de la prueba de tensión de una probeta de sección transversal circular. Se puede observar que el comportamiento de la curva generada a partir de datos adquiridos del sistema electrónico es cercano a los resultados mostrados por la graficadora mecánica y la aguja dinamométrica. Por lo tanto, el sistema electrónico de adquisición de datos puede auxiliar adecuadamente en el registro de resultados.

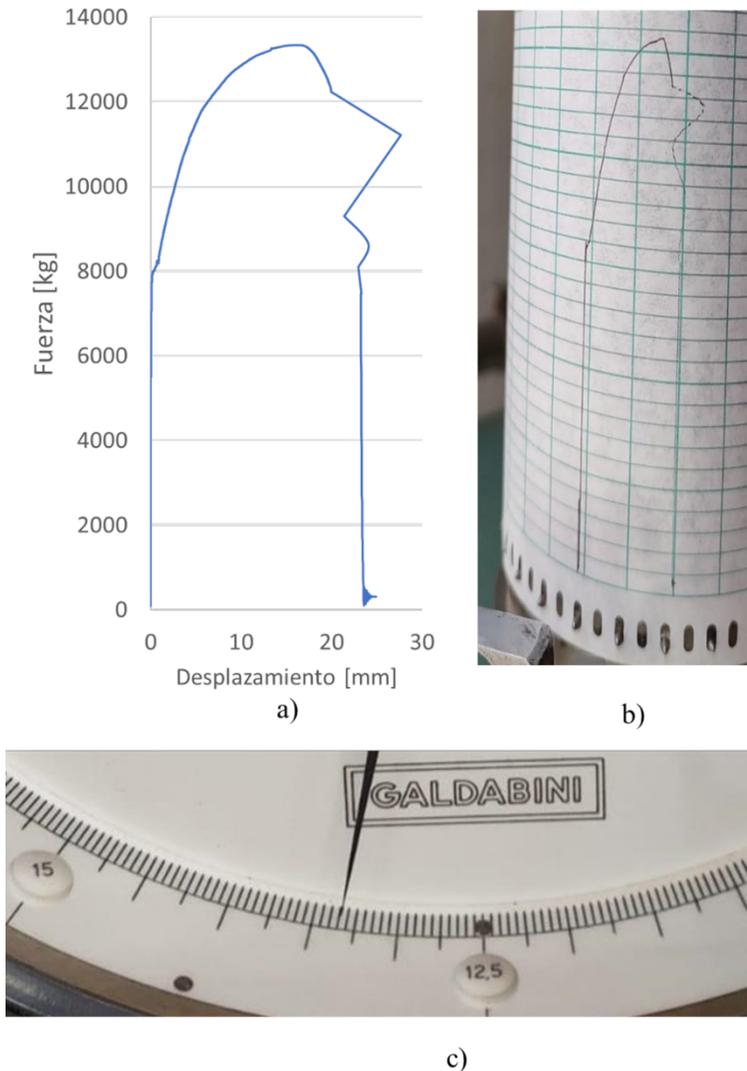


Figura 12. Resultados de prueba de tensión. a) Grafica digital. b) Grafica física. c) Aguja dinamométrica indicando la máxima fuerza desarrollada.

4. MAQUINADO DE PROBETAS

Los materiales de acero maquinados fueron del tipo-perfil placa, ángulo y redondo. De acuerdo con normas y el manual de la maquina universal, para pruebas de resistencia se deben emplear como mínimo tres probetas con el objetivo de obtener valores promedio. La placa y el ángulo fueron cortados y maquinados de acuerdo con el croquis y tabla de probetas planas proporcionado por el manual (Figura 13 y Tabla 1) [21 y 22]. Considerando las siguientes leyendas:

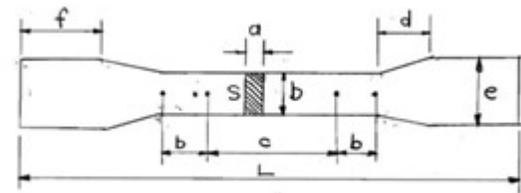


Figura 13. Croquis de probeta plana de sección rectangular.

- a: Grosor de la probeta en el tramo útil
- b: Ancho de la probeta en el tramo útil
- c: Longitud de la probeta en el tramo útil
- d: Longitud de la garganta
- e: Ancho de la cabeza
- f: Longitud de la cabeza
- s: Área del tramo útil
- p: Constante para determinar (c) $P = 1.13 \sqrt{s}$
- L: Longitud total de la probeta

En lo referente al perfil redondo, las probetas se cortaron y maquinados con base en el croquis de pro-

Tabla 1: Medidas para probetas planas largas y cortas.

Tipo	c	d	e	f	L
Probeta larga	10 P	25	50	80	$c + 2b + 210$
Probeta corta	5 P	25	50	80	$c + 2b + 210$

betas de sección circular proporcionado por el manual de la maquina universal (Figura 14 y Tabla 2).

Considerando las siguientes leyendas para sección circular:

- a: Diámetro de la probeta en el tramo útil
- b: Longitud de la probeta en el tramo útil
- c: Longitud del trecho de sección constante
- d: Longitud de la garganta
- e: Diámetro máximo de la garganta
- f: Longitud de la cabeza
- g: Diámetro de la cabeza
- h: Longitud de la probeta

En la Figura 15a se presenta el resultado del corte y maquinado de una probeta plana, muestras que en la Figura 15.b se muestra parte del proceso de maquinado por torno para la fabricación de una probeta de sección circular. Mientras que el montaje de las probetas en la sección de pruebas de la maquina universal es planteado en la Figura 16.

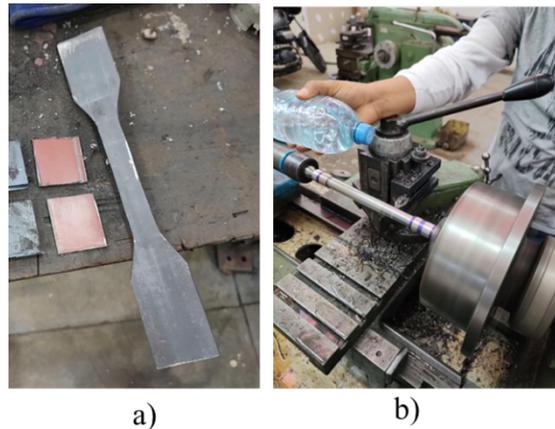


Figura 15. Maquinado. a) Probeta plana. b) Probeta circular.

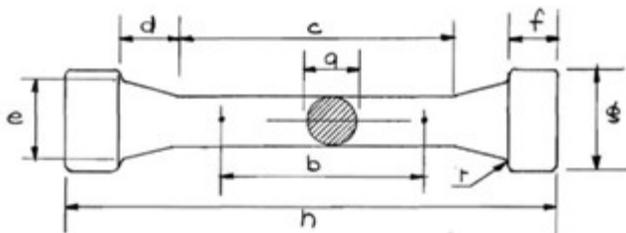


Figura 14. Croquis de probeta de sección circular.

Tabla 2: Medidas para probetas de sección circular.

Tipo	Normal Larga			Normal Corta			q	d	e	f	g	r
	b	c	h	b	c	h						
A	100	120	190	50	70	140	10	25	14	10	20	0.5
B	150	180	260	75	105	185	15	25	19	15	26	0.5
C	200	240	330	100	140	230	20	25	24	20	36	1
D	250	300	400	125	175	275	25	25	29	25	42	1

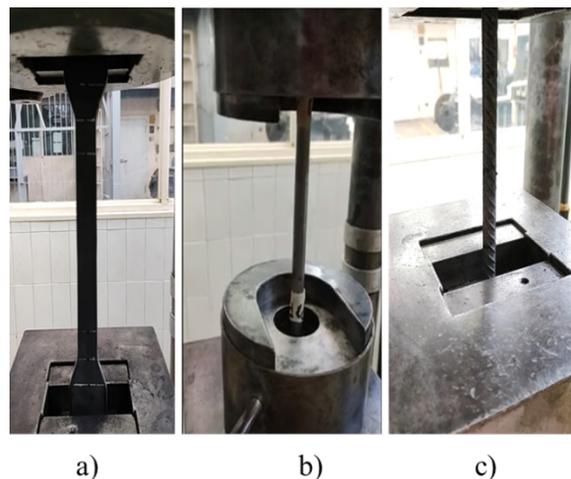


Figura 16. Montaje de probetas. a) Probeta plana. b) Probeta circular. c) Varilla corrugada.

5. RESULTADOS

En este apartado se anexan los resultados obtenidos de las distintas pruebas destructivas. La Tabla 3 muestra los tipos de perfil analizado, sus correspondientes resistencias esperadas y las resistencias promediadas debido a pruebas experimentales; donde: LEs es el límite elástico o esfuerzo de fluencia estándar o normado, UTs es el esfuerzo último o máximo estándar, LEe es el límite elástico experimental y UTe es el esfuerzo último experimental [23].

De la tabla de resultados, se puede observar que la resistencia a la fluencia no se alcanzó en los perfiles de tipo placa, ángulo y redondo, mientras que la varilla corrugada si logró desarrollar la resistencia esperada de acuerdo con su norma técnica de fabricación y propiedades mecánicas. En lo referente al esfuerzo último, todos los experimentos alcanzaron los valores esperados.

Utilizando la instrumentación electrónica adaptada a la maquina universal, ahora es posible recibir la información de manera inalámbrica y desde una amplia variedad de dispositivos debido al desarrollo e implementación de una interfaz gráfica y de adquisición de datos basada en programación web y comunicación wifi. La Figura 17 muestra el resultado

Tabla 3: Resistencias a la tensión

Perfil	Norma Técnica	LEs [ksi]	UTs [ksi]	LEe [ksi]	UTe [ksi]
Placa	ASTM	50 min	65-100	46.4	68.7
Angulo	A529	50 min	65-100	48.2	68.3
Redondo	GR 50	50 min	65-100	58.7	95.5
Varilla Corrugada 1/2" Ø	NMX GR 42	60 min	90	64.4	100.8

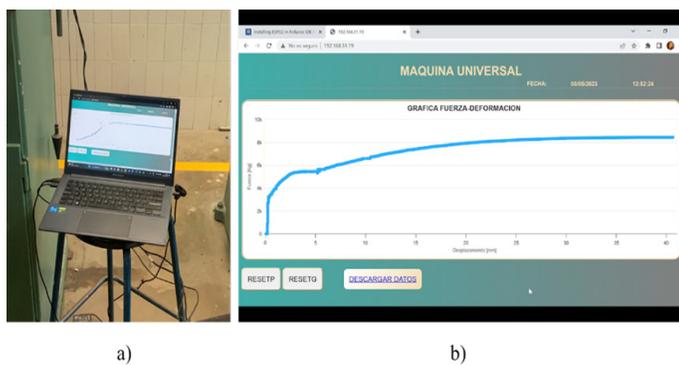


Figura 17. Sistema software. a) adquisición de datos. b) Captura de pantalla de la interfaz web.

anteriormente mencionado, donde se puede observar la interfaz web que permite adquirir datos y graficar el comportamiento en tiempo real.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó el principio de funcionamiento de una maquina universal para pruebas destructivas del tipo hidráulico con péndulo de contrapeso, la cual utiliza un sistema mecánico para graficar y ofrecer resultados, el cual restringe la aplicación de técnicas computacionales modernas para el procesamiento de resultados. Por lo tanto, se planteó y se describió una propuesta de instrumentación económica y poco invasiva para digitalizar los resultados. La comparación del comportamiento de las curvas de resultados, tanto física como digital, mostró una correlación visual muy cercana y aceptable. Además, se estudió la resistencia de algunos de los materiales más utilizados en la construcción, donde se encontró que la placa, el ángulo y el redondo no alcanzaron los valores de resistencia a la fluencia esperados de acuerdo con sus correspondientes normas técnicas de fabricación y propiedades mecánicas.

7. REFERENCIAS

- [1] Flores Cano, (2010). Modelos esfuerzo-deformación para mampostería fabricada en México DF (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).
- [2] Pelleg, J. (2013). Mechanical properties of materials (Vol. 190). Dordrecht: Springer.
- [3] Wigley, D. (2012). Mechanical properties of materials at low temperatures. Springer Science & Business Media.
- [4] Childs, T. H. C. (2003). Mechanical design. Elsevier.
- [5] Shigley, J. E., Mitchell, L. D., & Saunders, H. (1985). Mechanical engineering design.
- [6] JAIME, A., Selene, E., & FLORES, F. A. (2012). Análisis dinámico empleando espectros de diseño del reglamento (RCDF) y del manual de CFE (2008). Memorias XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Inge-

nería Geotécnica, publicación SMMS, Cacún, Quintana Roo.

[7] López Ortiz, A. (2011). Implicaciones estructurales de la construcción de edificios altos de mampostería para vivienda en la ciudad de México.

[8] Baqueiro, L. F., Gómez, F. M., Rivera, J. V., & Marín, G. V. (2009). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. *Ingeniería*, 13(2), 41-50.

[9] Flores, V., Sánchez-Tizapa, S., Arroyo, R., & Barragán, R. (2013). Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Gro (México). *Informes de la Construcción*, 65(531), 387-395.

[10] Ortega R. y Arroyo R. (2008). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del block de concreto para la construcción de muros estructurales utilizados en edificios de viviendas de interés social, en la ciudad de Chilpancingo, Gro. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Veracruz, Ver. México.

[11] Santana E. P. y Sánchez F. J. (2012). Propiedades mecánicas de una mampostería común de la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez. Tesis de licenciatura, Universidad de Colima, México.

[12] González, V., Botero, J. C., Rochel, R., Vidal, J., & Álvarez, M. (2005). Propiedades mecánicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, 1(1), 67-76.

[13] Ñauta Uzhca, P. A., & Riera Morocho, C. X. (2015). Caracterización de propiedades mecánicas de los aceros para construcción de maquinaria que se comercializan en el Ecuador (Bachelor's thesis).

[14] Torres, J., & Redondo, J. (2009). Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos. *Ciencia e Ingeniería*, 30(2), 171-179.

[15] Colcha Díaz, J. G., & Villa Orozco, M. E. (2010). Diseño e Implementación de un Sistema Electrónico-Informático para Aplicaciones en Ensayos en la Máquina Universal (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

[16] House, J. W., & Gillis, P. P. (2000). Testing machines and strain sensors. *Mechanical Testing and Evaluation*, 8, 78-92.

[17] Arduino, S. A. (2015). Arduino. Arduino LLC, 372.

[18] Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019, May). Using the ESP32 microcontroller for data processing. In 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). IEEE.

[19] Upton, E., & Halfacree, G. (2014). Raspberry Pi user guide. John Wiley & Sons.

[20] Bell, C. (2014). Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi. Apress.

[21] Manual de maquina universal PM/50 Ton. Marca Italiana Galdabini

[22] A. society for testing and materials (ASTM), (2000). ASTM E8/E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

[23] Anderson, M., & Carter, C. J. (2012). Are You Properly Specifying Materials?. *Modern Steel Construction*, 52(2), 20-27.