



REACONDICIONAMIENTO DE UN EQUIPO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Maximiliano Paiva ¹, Miguel Céspedes ¹, Juan Ríos ¹, Eduardo Asta ¹, Juan Balderrama¹ y Francisco Cambiasso¹

¹ Grupo de Investigación Mecánica de la Fractura – UTN Facultad Regional Haedo
París 532, Haedo, Buenos Aires, Argentina- paiva.maximiliano@gmail.com;
mcespedes97@gmail.com; jcrios@frh.utn.edu.ar; asta.eduardo@gmail.com;
balderra@cnea.gov.ar; ingcamb@yahoo.com.ar

RESUMEN

La utilización de máquinas universales de ensayos son herramientas fundamentales de un laboratorio de ensayo de materiales, tanto para tareas de I+D+i como para la actividad académica de grado y posgrado. En consecuencia, en este trabajo se presenta el reacondicionamiento completo de una antigua máquina de ensayos a tornillo Zwick Type 114W, en el cual han participado de manera activa becarios de la Facultad. Se ha implementado y calibrado un sistema de medición de las variables carga-desplazamiento, así como la incorporación de un control electrónico de velocidad del tornillo. Por su parte, se ha desarrollado e implementado un sistema, dispositivos y programa de adquisición de datos (DAQ), con registro en tiempo real de las variables de ensayo, utilizando un software específico. Se han diseñado y fabricado mordazas específicas que permite realizar los ensayos mecánicos y de tenacidad a la fractura con probetas de pequeño tamaño y secciones delgadas, tanto para materiales metálicos como no metálicos y ajustando dichos ensayos a las diferentes normas aplicables. El trabajo no solo ha posibilitado poner en valor un equipo obsoleto, sino materializar una herramienta de caracterización de materiales y uso didáctico, particularmente orientada a materiales utilizados en impresión 3D.

Palabras Clave: *Materiales; Ensayos; Tratamiento de datos; Fractura; Tracción.*



1. INTRODUCCIÓN

En el estudio de la ingeniería mecánica y en particular en el diseño de estructuras, componentes y maquinarias es de suma importancia conocer cómo responden los materiales frente a las acciones o cargas aplicadas, con la finalidad de establecer los límites estructurales para la vida de diseño o vida útil prevista. También, dicho conocimiento permite llevar a cabo una selección óptima para los requerimientos de servicio del diseño. Para tal fin se hace necesario conocer las propiedades mecánicas de cada material, las cuales se determinan realizando ensayos bajo condiciones estandarizadas, en laboratorios de ensayos de materiales.

En consecuencia, un ensayo básico muy utilizado es el ensayo de tracción que consiste en someter una probeta a una tensión de tracción generalmente hasta la rotura con la finalidad de definir las propiedades mecánicas tales como la resistencia a la tracción (R_m), el límite elástico convencional (R_p), el límite de fluencia (R_e), el alargamiento porcentual de rotura (A), entre otros, que caracterizan a un determinado material. La metodología de ensayos consiste en aplicar una fuerza, que se denomina carga, donde básicamente se obtiene un registro carga-desplazamiento o tensión-deformación se mide la resistencia del material a esta carga mediante esfuerzos [1-3].

Por su parte, la aplicación del diseño avanzado de estructuras, así como el análisis de integridad estructural o de aptitud para el servicio, requiere del conocimiento de otras propiedades de los materiales. En tal sentido la tenacidad del material y de manera más específica la tenacidad a la fractura constituye una propiedad mecánica básica y fundamental para poder realizar tal diseño o metodología de análisis [4-5]. La caracterización de la tenacidad a la fractura de un material se realiza por medio de técnicas de ensayo normalizadas con el propósito de determinar los parámetros característicos de esa propiedad mecánica, tales como K_{Ic} , Integral J, CTOD, curva J-R [6]. Estos ensayos normalizados [7] requieren también de un registro básico carga-desplazamiento de la aplicación de la carga, a partir del cual se calculan los parámetros de tenacidad a la fractura.

En consecuencia, en este trabajo se presenta el reacondicionamiento completo de una antigua máquina de ensayos a tornillo Zwick Type 114W que permite realizar los ensayos mecánicos y de tenacidad a la fractura con probetas de pequeño tamaño y secciones delgadas, tanto para materiales metálicos como no metálicos y ajustando dichos ensayos a las diferentes normas aplicables.

2. METODOLOGÍA DE REACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS

La máquina de ensayos a tornillo Zwick Type 114W para tracción -compresión, con una capacidad máxima de carga de 10 kN, trabaja con un motor trifásico y produce el desplazamiento

del cabezal a través de un tornillo. A esta máquina se le implementaron una celda de carga y un LVDT para reemplazar obsoletos sistemas mecánicos de determinación la carga y desplazamiento que originalmente poseía la máquina. Para controlar con precisión el motor trifásico que mueve el tornillo se colocó un variador de velocidad que realiza el control por frecuencia. Para la obtención o adquisición de los datos de ensayo se instaló un adquisidor analógico-digital (DAQ) y se ha desarrollado un programa específico, por medio software LabView, para del registro carga-desplazamiento en tiempo real y a la vez de tener guardados los datos de los ensayos en archivo para su posterior procesamiento y cálculo de los parámetros de ensayo específicos. El reacondicionamiento del equipo tanto para ensayos de tracción-compresión como de tenacidad a la fractura ha requerido el diseño y fabricación de mordazas que pudieran de manera simple utilizar probetas estándar de ensayo, básicamente para espesores delgados. Este último aspecto permite que en el equipo se puedan ensayar distintos materiales, tanto metálicos como no metálicos, con secciones efectivas de probetas que no excedan la capacidad de carga máxima de la máquina.

2.1. Celda de carga

El primer paso de la adaptación fue la implementación de una celda de carga para sustituir el sistema mecánico del equipo. La celda de carga utilizada es del tipo S (Flexar, modelo CZI-1000) para tracción- compresión con una capacidad de 10 kN, la cual se montó junto a un indicador Flexar modelo LR-22 con el objetivo de visualizar la magnitud de la carga a la cual está sometida la probeta durante el desarrollo del ensayo. El indicador trabaja tanto en kg como en libras con una precisión de 0,01 a fondo de escala. Por su parte, el indicador LR-22 tiene una salida que se conecta con un acondicionador de señal adicional, provisto por el fabricante de la celda de carga, que permite estandarizar la señal de la celda en ± 10 VCC para la entrada analógica en el sistema de adquisición analógico-digital (I/O DAC). La celda de carga se encuentra montada a las mordazas de la máquina mediante dos varillas roscadas de 10 mm. En las Figuras 1 y 2 se puede observar la celda instalada, así como el montaje en la máquina de ensayos, mientras que la Figura 3 muestra el indicador de carga y su montaje en el equipo.

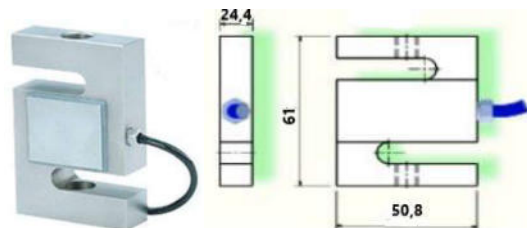


Figura 1: Celda de carga con capacidad de 10 kN [8]



Figura 2: Montaje de la celda de carga en la máquina.



Figura 3. Indicador de carga montado en la máquina de ensayos.

2.2. Medición del desplazamiento

El sistema mecánico de medición del desplazamiento, tanto en tracción como en compresión, ha sido sustituido por un transductor de desplazamiento del tipo transformador diferencial de variación lineal (LVDT según sus siglas en inglés), para medir desplazamientos lineales. Para la aplicación se ha utilizado un LVDT Lucas modelo 250 HCA, con un rango máximo de desplazamiento de 6,35 mm (0,25 pulgadas) y adicionalmente se puede intercambiar con un segundo LVDT Lucas modelo 1000 HCA, con un rango máximo de 25,40 mm (1 pulgada). El transformador posee tres bobinas dispuestas extremo con extremo alrededor de un tubo. La bobina central es el devanado primario y las externas son los secundarios. Un centro ferromagnético de forma cilíndrica, sujeto al objeto cuyo desplazamiento debe ser medido, se desliza con respecto al eje del tubo.

A medida que el núcleo se mueve, la inductancia mutua cambia, provocando que el voltaje inducido en el secundario se modifique de forma proporcional al desplazamiento lineal de la probeta. Las bobinas están conectadas en serie, pero invertidas, de tal forma que el voltaje de salida es la diferencia entre los dos voltajes secundarios. Cuando el núcleo está en su posición central, se encuentra equidistante a los dos secundarios, los voltajes inducidos son iguales, pero de signo opuesto, así que el voltaje de salida es cero.



Cuando el núcleo es desplazado en una dirección, el voltaje en una bobina aumenta mientras que en la otra disminuye, causando que el voltaje de salida también aumente desde cero hasta su máximo. El dispositivo LVDT se conecta a un acondicionador de señal que permite la alimentación con CA y obtener una salida analógica de ± 10 VCC. Para acoplar el LVDT a la máquina, se diseñaron y fabricaron soportes de aluminio específicos, los cuales van montados mediante tornillos. La Figura 4 ilustra un típico esquema eléctrico del LVDT, mientras que las Figuras 5 y 6 muestran el dispositivo de montaje y la ubicación del LVDT en la máquina de ensayos respectivamente.

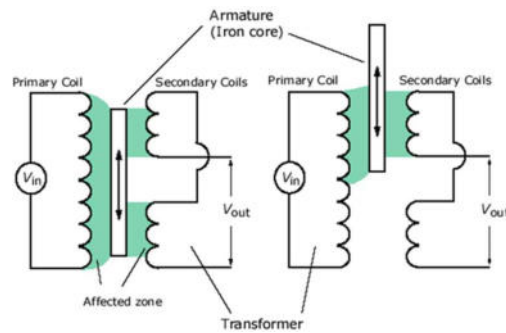


Figura 4: Típico esquema eléctrico de un transductor del tipo LVDT [9]



Figura 5: Dispositivo de montaje del LVDT.



Figura 6: Transductor LVDT montado en la máquina de ensayos.

2.3. Control de la velocidad de desplazamiento

El movimiento del tornillo que permite el desplazamiento del cabezal de la máquina de ensayos es realizado por un motor de CA trifásico de inducción. En este caso se ha sustituido el sistema de control de velocidad del motor por reóstato con un variador electrónico de velocidad que utiliza la técnica de control escalar con V/f constante, siendo V el voltaje y f la frecuencia [10-11]. En la Figura 7 se muestra un diagrama de bloques típico correspondiente al control V/f y en la Figura 8 se puede apreciar la instalación del variador de velocidad en la máquina de ensayos por el control del motor. De esta forma el control de velocidad se realiza por variación de frecuencia y el variador instalado permite variar frecuencias desde 5 hz hasta 50 hz para poder mover el cabezal tanto en requerimientos de posicionado de las probetas como para obtener las velocidades de deformación requeridas por las normas para ensayos estáticos.

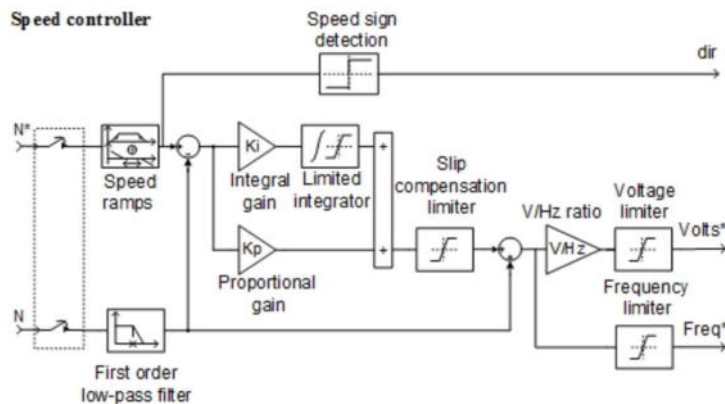


Figura 7: Diagrama de bloques para un control de velocidad V/f constante [11]



Figura 8: Montaje del variador de velocidad en la máquina de ensayos.

En tal sentido, el control de velocidad instalado permite obtener una velocidad de deformación ($\dot{\epsilon}_{L,e}$) en ensayos de tracción de $0,00007 \text{ s}^{-1}$ para la determinación de R_p y de $0,00025 \text{ s}^{-1}$ para la obtención de R_m con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$ para ambas velocidades, tomando como referencia lo indicado en la norma IRAM/IAS U500-102 y en la norma ASTM E8 [1-2].

2.4. Sistema de adquisición y procesamiento de datos

2.4.1 Adquisidor analógico -digital

Para registrar los datos de los ensayos, básicamente en términos de carga- desplazamiento, se implementó la utilización de un adquisidor de datos [12], PMD 1608FS de Measurement Computing, analógico-digital (I/O DAQ) de 16 bit con conexión a puerto USB 2.0 de la computadora. El dispositivo permite alcanzar una resolución de la señal de 1 parte en 32000 del rango de la señal del transductor (1/32000), en tanto que la velocidad máxima de muestreo es de 100000 muestras por segundo para el total de los 8 canales analógicos y una velocidad máxima de muestreo por canal de 50000 muestras por segundo. Las tensiones de las entradas analógicas, seleccionables a través del programa del adquisidor. son: ± 10 V, ± 5 V, ± 2 V y ± 1 V respectivamente. Estas características del adquisidor posibilitan no solo cumplir con los requerimientos de las normas para ensayos de tracción sino también la resolución y la precisión mínimas requeridas para los ensayos de tenacidad a la fractura, particularmente, en la medición indirecta del crecimiento de fisura por el método de descargas parciales [7].

Por su parte el adquisidor cuenta con un programa (software) TracerDAQ, específico, que permite medir en tiempo real las variables analógicas o muestras procedentes de los transductores en presentaciones de pantalla tensión-tiempo (V-s). El programa cuenta con una librería universal, y otra librería para el programa LabVIEW, que permite compilar el conjunto de mediciones muestreadas y transferirlas a una planilla de cálculo para la elaboración de los resultados de ensayos y las gráficas correspondientes. En la Figura 9 se ilustra el adquisidor utilizado y la Figura 10 el diagrama de bloques correspondiente.

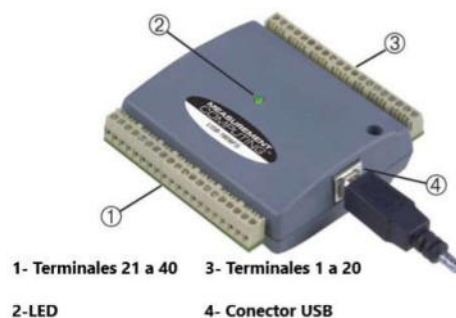


Figura 9: Adquisidor analógico-digital (I/O DAQ) [13]

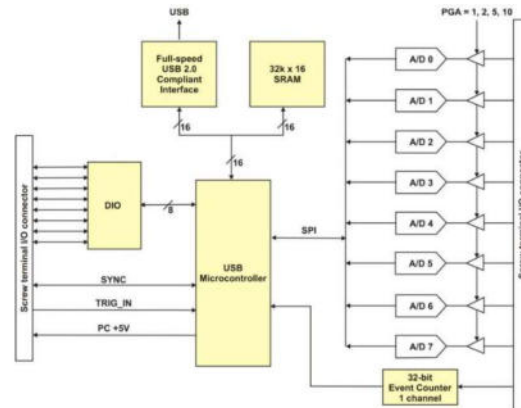


Figura 10: Diagrama de bloques del adquirente [13]

2.4.2 Procesamiento de los datos de ensayo

Para el procesamiento de los datos y la representación gráfica de pantalla en tiempo real, carga-desplazamiento o carga deformación según sea la determinación de ensayo, se ha utilizado el conocido programa LabVIEW. Tal como se ha indicado el adquirente de datos tiene librerías compatibles con este programa y permite una eficiente comunicación y transferencia de los datos al programa a través de la computadora. Este programa se maneja a través de módulos, que simbolizan acciones que realizará el programa, al desarrollar la programación ésta queda formada por cadenas de módulos. La programación realizada permite obtener la imagen de pantalla principal donde se eligen los canales para la adquisición de los datos, estos pueden ser en la forma de dos canales, por ejemplo: carga-alargamiento, carga- desplazamiento del punto de aplicación de la carga, carga- deformación. La Figura 11 muestra tres gráficos, dos de ellos graficaran cada dato que pasa por el canal en función del tiempo y el más grande mostrará la curva de carga – desplazamiento. En tanto la Figura 12 muestra la programación en módulos para una salida estandarizada carga-desplazamiento, tanto para aplicar en un ensayo de tracción como en ensayos de tenacidad a la fractura.

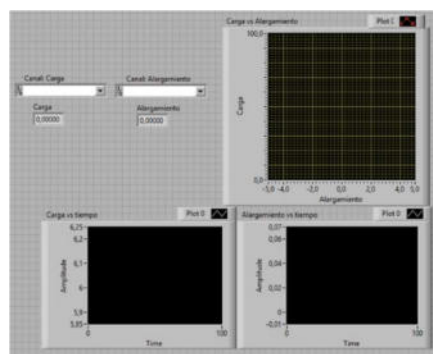


Figura 11: Gráficos que se visualizan en pantalla con la programación en LabVIEW.

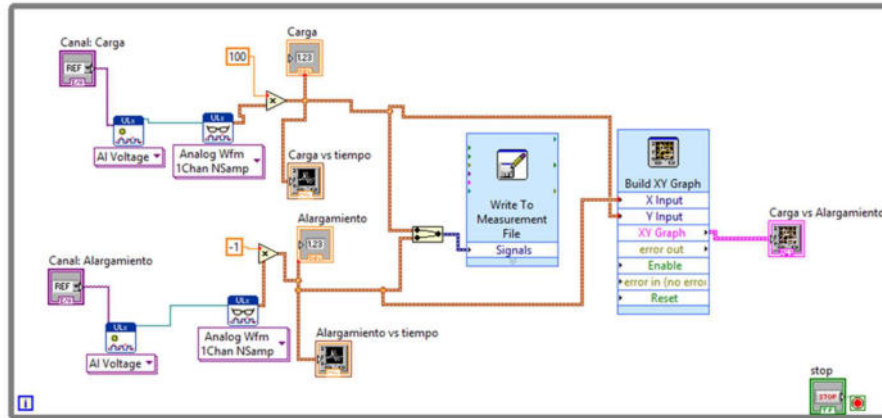


Figura 12: Programación en LabVIEW para un ensayo carga-desplazamiento

3. RESULTADOS DE ENSAYOS

A continuación, se muestra, a modo de ejemplo, resultados de ensayos de tracción de materiales muy diferentes como un acero con revestimiento de zinc y un polímero utilizado en impresión 3D.

En ambos casos las probetas responden a norma, sin embargo, para materiales metálicos han sido modificados los extremos de las probetas donde éstas son fijadas a las mordazas de la máquina de ensayos, manteniendo las dimensiones requeridas por la norma en la zona calibrada o zona de ensayo. El modelo de probeta estándar utilizado es el de probeta rectangular “pin loaded” de ASTM E8 [2] para muestras de espesor delgado. La modificación consistió en aumentar el área efectiva del cabezal (grip) de la probeta e incorporar dos orificios adicionales en cada cabezal, de manera tal que se pueden ensayar probetas de distintos materiales, con resistencia a la tracción elevadas, pero utilizando espesores lo suficientemente delgados que permiten obtener las secciones necesarias para no exceder el límite máximo de carga de la máquina (10kN). Las tres fijaciones a través de los orificios en cada cabezal de la probeta de tracción distribuyen la carga de manera tal de evitar concentración y consecuentemente deformaciones excesivas de los cabezales o roturas en los mismos que invalidan el ensayo. En la Figura 13 se puede observar el esquema de la probeta de tracción modificada y la Figura 14 muestra la probeta montada y ensayada.

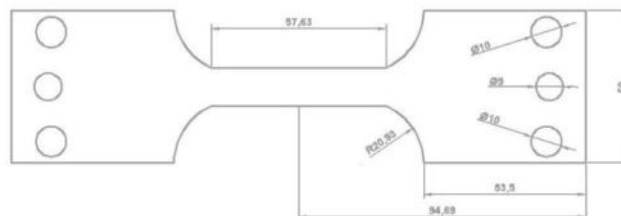


Figura 13: Probeta de tracción modificada



Figura 14: Probeta y mordazas modificadas luego de un ensayo de tracción.

Finalmente se puede observar en la Figuras 15, gráficos de pantalla en tiempo real y en la Figura 16, datos procesados, resultados de ensayos en chapa de acero con recubrimiento de zinc y nylon 12 respectivamente. En este último caso la probeta de nylon 12 ha sido realizada con impresión 3D utilizando la técnica FDM y de acuerdo con la geometría indicada en la norma ASTM D638 [14] modificando los cabezales de éstas e incorporando un orificio para el adecuado agarre en el equipo de ensayo (pin loaded).

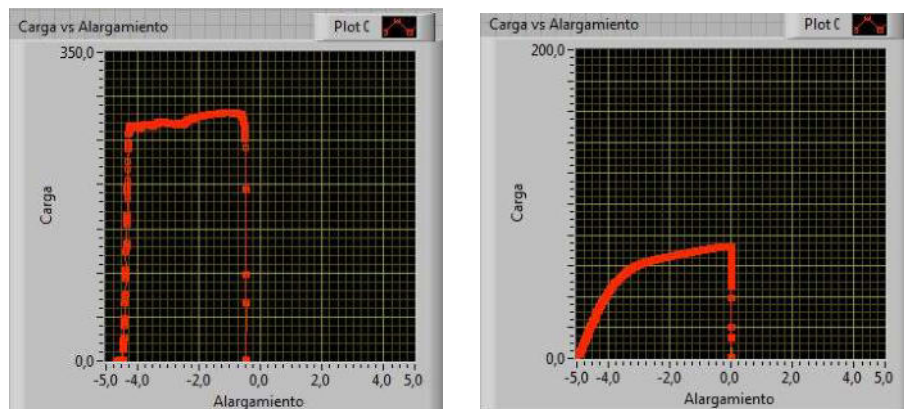


Figura 15. Izquierda, acero con revestimiento de Zn; derecha, Nylon 12.

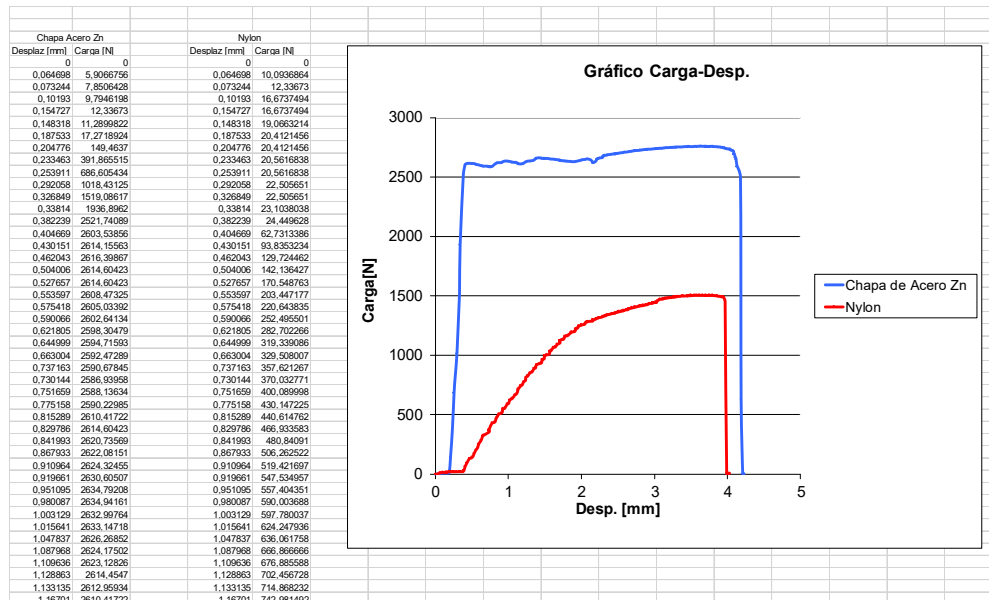


Figura 16: Procesamiento posterior de los datos para la determinación de los resultados de ensayo.

4. CONCLUSIONES

Se ha efectuado de manera satisfactoria un completo reacondicionamiento y puesta en valor de un equipo de ensayos universales con un sistema de control de la velocidad de cabezal y sistemas de medición de carga y desplazamiento anticuados con procesamiento completamente analógico. Además de la modernización del equipo se han realizado modificaciones en los cabezales de probetas normalizadas y el diseño de las mordazas adecuadas para éstas, que permiten ensayar diferentes materiales, tanto metálicos como no metálicos, particularmente con resistencias elevadas. Esto permite utilizar probetas rectangulares planas, de espesores delgados y secciones pequeñas, sin exceder la capacidad de carga máxima del equipo.

La máquina de ensayos reacondicionada es ampliamente utilizada tanto para la actividad de investigación como para la implementación de prácticas de ensayos de materiales con los alumnos de grado. En este último caso y por ser un equipo cuyo reacondicionamiento es explícito y desarrollado íntegramente en FRH, le permite a los docentes y alumnos no solo realizar la práctica de un ensayo de materiales sino además analizar un sistema de control de velocidad por frecuencia, así como un sistema y programa de adquisición analógico-digital, siendo ambos esenciales para el desarrollo de habilidades y competencias en el control automático de sistemas y el procesamiento de datos.



REFERENCIAS

- [1] IRAM/IAS U 500-102. Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Método de ensayo a temperatura ambiente. IRAM. 2016
- [2] ASTM E8/E8M-16a. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM International. 2016.
- [3] ISO 6892-1. Metallic materials- Tensile testing-Part 1: Method of test at room temperature. ISO. 2009.
- [4] BS 7910. Guide to methods for assessing of acceptability of flaws in metallics structures. British Standard. 2005.
- [5] API 579/ASME FFS-1. Fitness for service. API/ASME. 2021.
- [6] Zhu X., Joyce J. *Review of fracture toughness (G, K, J, CTOD, CTOA) testing and standardization*. Engineering Fracture Mechanics, 85, 1-46, May 2012.
- [7] ASTM 1820-17. Standard Test Methods for Measurement of Fracture Toughness. ASTM International. 2017.
- [8] Flexar Industria y Tecnología. Especificación técnica celda de carga modelo CZI-1000.
- [9] Lucas/Schaevitz. Functional Advantages and Operation Principles
- [10] Andrade Cedeno R., Pérez Rodriguez J. *Análisis del control V/f con SVM en un accionamiento de velocidad variable*. Dominio de la Ciencia, 7, 6, 38-62, 2021.
- [11] Chapman S. *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill/interamericana, México DF, 2012.
- [12] Eren H., Potter D. *Instrumentation Engineers Handbook: Process Software and Digital Networks Vol. 3*, Chapter 19. CRC Press, New York, 2012.
- [13] Measurement Computing. User's Guide USB-1608 FS Analog Input and Digital I/O. 2014
- [14] ASTM D638-14. Standard Test Methods for Tension Testing of Plastics. ASTM International. 2014.