



Instrumentación y digitalización sobre máquina de ensayo de impacto tipo Charpy

Joaquín Staciuk ^a, Guillermo Alejandro Mudry ^a, Roberto Nicolás Schuster ^a, Carlos Rodríguez ^a,
María Cristina Haupt ^b, Gabriel Alejandro Tarnowski ^a

^a LABSE, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

joaquistaciuk.96@gmail.com, schusterrobertonicolas@gmail.com, cmrod81@gmail.com,
guillermomudry@gmail.com, mariacristinahaupt@gmail.com, gabriel.tarnowski@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de un sistema electrónico realizado como continuación del proyecto de restauración y reacondicionamiento de un péndulo de Charpy llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Simulación Numérica y Ensayos Mecánicos (LABSE).

El objetivo en esta etapa de proyecto consistió en el desarrollo de un prototipo de sistema electrónico funcional orientado al monitoreo en tiempo real del péndulo de Charpy, así como también la medición, cálculo y determinación de resultados pertinentes a las pruebas de impacto por medio del mismo.

El resultado final de esta etapa de proyecto concluyó en un módulo electrónico de adquisición local montado sobre el péndulo y enlazado de manera inalámbrica a un sistema de seguimiento remoto por software, el cual es capaz de monitorear en tiempo real la posición del péndulo, así como también determinar las características del ensayo de impacto del mismo.

Palabras Clave – Charpy, instrumentación, medición de parámetros, microcontroladores.

Simbología

τ : Energía empleada en la rotura (J).

P : Masa del péndulo (kg).

g : Gravedad (9,80665 m/s²).

l : Longitud del péndulo (m).

h_0 y h_f : Altura inicial y final del péndulo respectivamente (m).

α y β : Ángulos del péndulo respecto a la vertical antes y después de soltarlo respectivamente (deg).

1. Introducción

Los ensayos de impacto son uno de los ensayos de caracterización de materiales más utilizados en la industria. Los mismos permiten determinar, entre otras características, la tenacidad de materiales de forma rápida y simple.

Un tipo de máquina utilizada para este tipo de ensayos es el denominado péndulo de impacto de tipo Charpy. Esta máquina permite determinar la tenacidad de la muestra ensayada al medir la energía absorbida por la misma hasta su ruptura luego de ser impactada por un péndulo. La energía absorbida es determinada al comparar la energía potencial que posee el péndulo antes y después de producirse el impacto. La diferencia de energía corresponderá a la necesaria para producir la ruptura de la muestra.

Tradicionalmente, la energía potencial que posee el péndulo en la atapa inicial y final del ensayo es medida por medio de un indicador en una regla graduada, la cual indica la altura del péndulo en su recorrido para estas etapas. De esta forma, la medición de la energía potencial se obtiene de manera indirecta al medir la altura del péndulo y conociendo la masa del mismo.

Si bien este método de medición posee la ventaja de ser sencillo y ser uno de los más difundidos para este tipo de máquinas, posee la desventaja de que las lecturas deben ser realizadas por un operario y registradas manualmente durante el ensayo, teniendo así asociado un error de lectura dependiente del operario.

En los últimos años han surgido máquinas de ensayo de tipo Charpy que facilitan la obtención de los valores de ensayo al instrumentar estas máquinas con sensores registrando las lecturas de forma automática en software desarrollados para este fin. Esto conlleva además la ventaja de disminuir el error de medición debido a la lectura del operario.

En el presente trabajo se detalla el diseño, construcción y ensayos correspondientes al desarrollo de un sistema electrónico para monitoreo de ensayos de tenacidad de una máquina tipo Charpy. Que fue restaurada y puesta a punto en una etapa previa de este proyecto por alumnos de la Facultad de Ingeniería (FI - UNaM) de Oberá, dentro de las instalaciones del Laboratorio de Simulación Numérica y Ensayos Mecánicos (LABSE).

El sistema propuesto, en su descripción más simple, detecta los cambios de la posición angular del péndulo mediante un sensor rotativo (encoder) conectado a su centro de rotación. Este dispositivo convierte el movimiento rotacional de su eje en una señal eléctrica, mediante la cual es posible seguir la posición relativa del péndulo a partir del punto de referencia de reposo del péndulo.

El hardware de adquisición está conformado por el sensor mencionado y una placa de desarrollo compuesta por un microprocesador ESP32 que se encarga de realizar un seguimiento de las señales eléctricas proporcionadas por el mismo y llevar a cabo las comunicaciones remotas con el programa de monitoreo mediante una red Wi-Fi.

El software de monitoreo diseñado recibe, una vez conectado a la red inalámbrica del módulo de adquisición local, los valores de la posición instantánea del péndulo medidas por el sensor,

permitiendo visualizar el estado del mismo en tiempo real. Otra de las funcionalidades del software es la de grabar un seguimiento de ensayo y calcular los parámetros pertinentes al mismo.

2. Diseño del sistema de adquisición

2.1. Características físicas de la máquina

El ensayo de tenacidad que se realiza por medio del péndulo Charpy puede resumirse según la Fig. 1, donde una masa pendular de características conocidas impacta sobre una probeta entallada aplicando una tracción destructiva de 3 puntos.

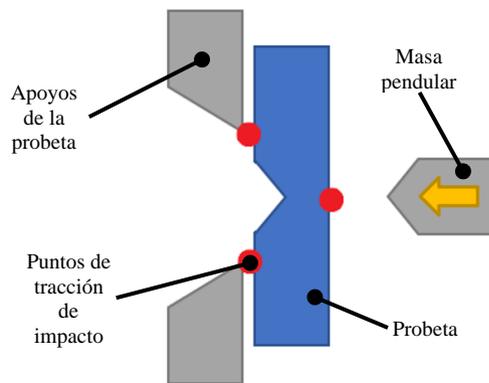


Fig. 1. Esquema de impacto.

Según la Fig. 2, podemos apreciar que el péndulo cae desde una posición inicial de altura conocida h_0 sobre el dorso de la probeta y alcanza una segunda posición de altura h_f después de partirla.

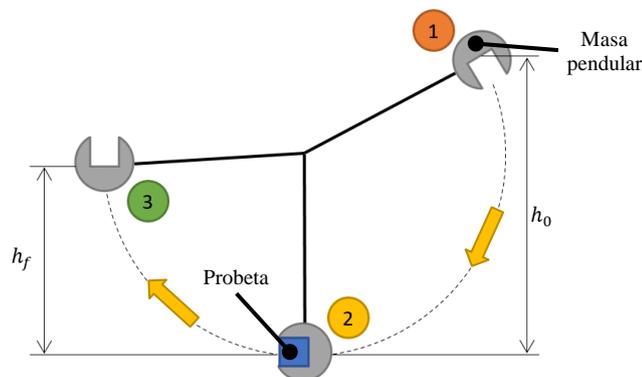


Fig. 2. Esquema de posiciones del péndulo en un ensayo de Charpy.

A partir de esta diferencia de alturas y las características del péndulo utilizado es posible determinar la energía absorbida por la probeta al momento del impacto a partir de la ecuación (1).

$$\tau = P(h_0 - h_f)g = Pl(\cos \beta - \cos \alpha)g \quad (1)$$

Dado el objetivo de llevar el proceso de ensayo al entorno digital se relevaron los parámetros de la máquina Charpy disponible (Fig. 3), la cual se corresponde a una máquina marca Walter Bai – Modelo 30 PH 130. El relevamiento se realizó por medio de un software de diseño CAD y los

respectivos registros de modelación digital que preceden a esta etapa de proyecto [1] (Fig. 4). Obteniéndose de esta forma las dimensiones del péndulo presentadas en la Tabla 1.

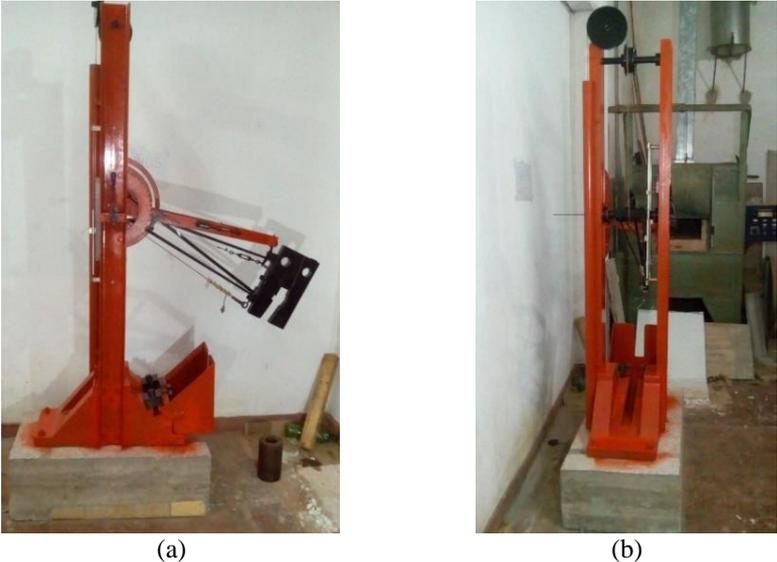


Fig. 3. Vistas del modelo real de la máquina Charpy.

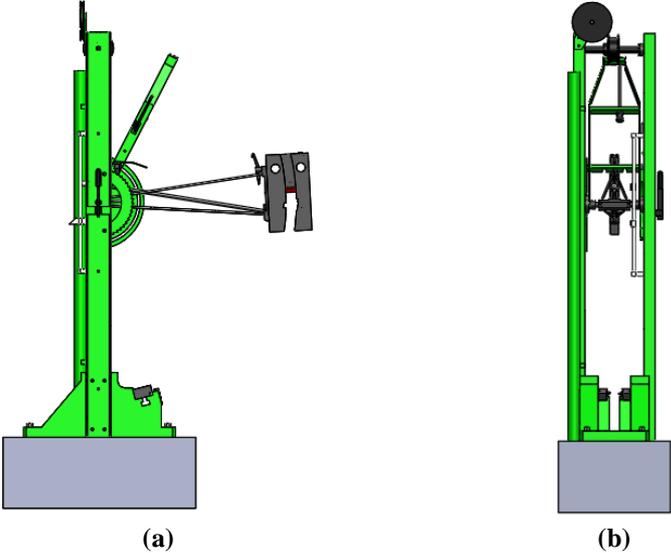
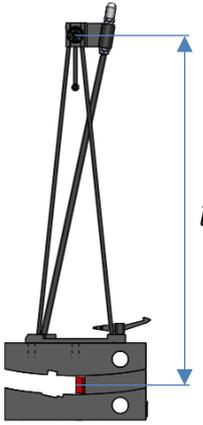
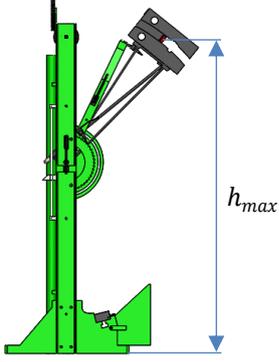
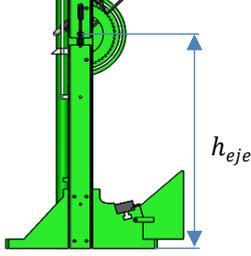


Fig. 4. Vistas del modelo virtual de la máquina Charpy.

Tabla 1. Mediciones del modelo virtual sobre la máquina Charpy.

Referencia	Medida	Descripción
	0,949 m	Largo del péndulo (l): Distancia desde el centro de rotación hasta el punto de impacto del martillo.
	1,902 m	Altura pendular máxima (h_{max}): Distancia desde el punto de impacto del martillo en su posición más alta a la base del Charpy.
	1,16 m	Altura del eje (h_{eje}): Distancia desde el centro de rotación del péndulo a la base de concreto.

Para determinar la masa de impacto, se empleó nuevamente la herramienta de software de diseño CAD, teniendo en cuenta tanto la masa pendular tipo “C” del martillo como del percutor del mismo según se aprecia en Fig. 5.

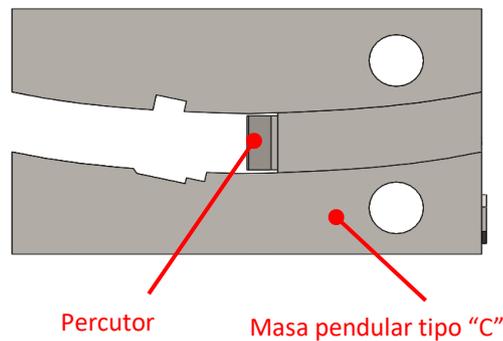


Fig. 5. Modelo virtual de la masa de impacto.

En base a estas características físicas, se determinó la máxima energía potencial del péndulo respecto al punto de impacto, y con ello, el rango de energía máxima de la máquina. Dato que en conjunto con las exigencias impuestas por la normativa ASTM E23 [2] permitió definir características constructivas del entorno digital, como lo son el máximo error y la resolución angular admisible.

2.2. Topología y características del sistema de adquisición

Para el sistema de adquisición se un sistema de adquisición local y seguimiento remoto, de modo de proporcionar al usuario una experiencia de ensayo más desligada de las mediciones manuales o directas sobre la maquina Charpy, y combinar la misma con la comodidad de la tecnología inalámbrica y la posibilidad de uso de un software de PC adaptado para obtener los resultados de los mismos.

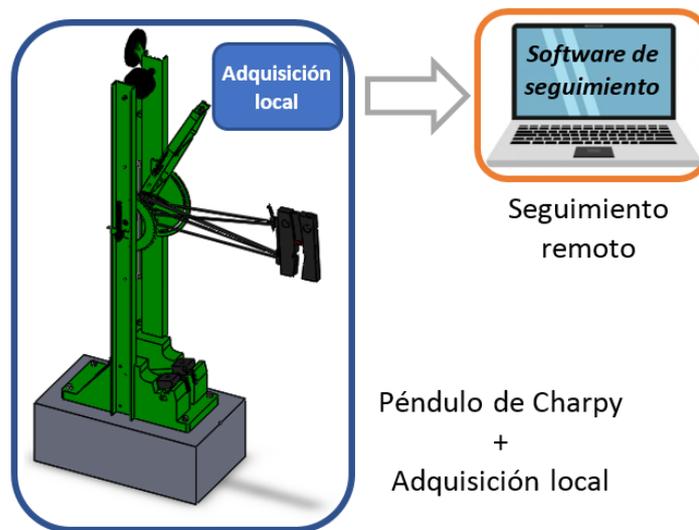


Fig. 6. Topología del sistema de adquisición.

2.2.1. Sistema de adquisición local

Dada la disposición inicial de una varilla roscada conectada al eje del péndulo (Fig. 7), se realizó un seguimiento del movimiento angular de dicha varilla mediante un acoplamiento de ejes a un encoder.



Fig. 7. Varilla roscada conectada al eje de rotación del péndulo.

El encoder en cuadratura es un componente que traduce movimientos de rotación en señales digitales. En términos simples, estos componentes dividen los 360° de rotación de su eje en un

conjunto finito y conocido de pasos angulares. Estos pasos, junto a un par de sensores internos que los detectan proporcionan a la salida del dispositivo un conjunto de señales digitales (Fig. 8) que permiten conocer tanto la posición como el sentido de giro del mismo.

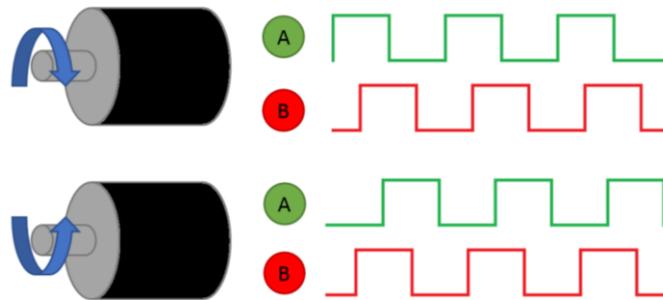


Fig. 8. Esquema de funcionamiento de un encoder.

Este componente permite medir la posición angular del péndulo al transmitir el movimiento oscilante de la maquina Charpy al eje mecánico del encoder, reduciendo la medición de posición del péndulo a un conteo de pulsos digitales.

Una vez enlazados el eje y el sensor, las señales digitales de salida de este último son leídas por un microcontrolador que funciona como el cerebro del sistema de adquisición local, el cual posteriormente transmite de forma inalámbrica el conteo de pulsos digitales registrados al software de seguimiento remoto.

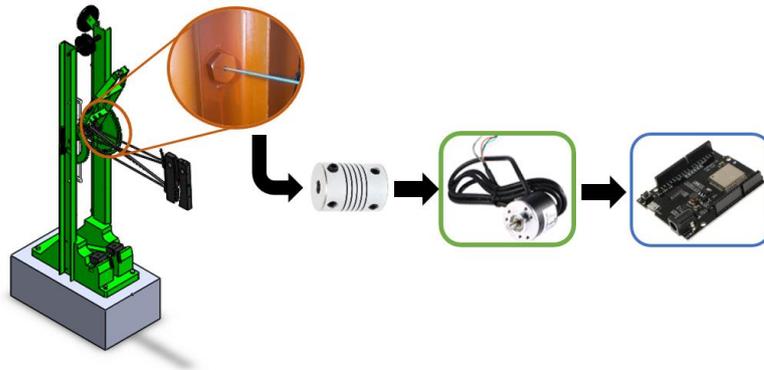


Fig. 9. Topología del sistema de adquisición local.

Con el objetivo de montar todos estos dispositivos en un módulo sobre la propia maquina Charpy, y teniendo en cuenta un posible desmontaje de hardware a futuro, se optó por el planteo de un diseño de gabinete que permitiera la extracción individual de los mismos en caso de ser necesario la reparación de alguno de ellos. Y dado que se trata de un diseño muy específico, se optó por la alternativa de un gabinete de fabricación orientada a la impresión 3D utilizando un software de diseño CAD.



Fig. 10. Modelación 3D del montaje de componentes en el gabinete del sistema de adquisición local.

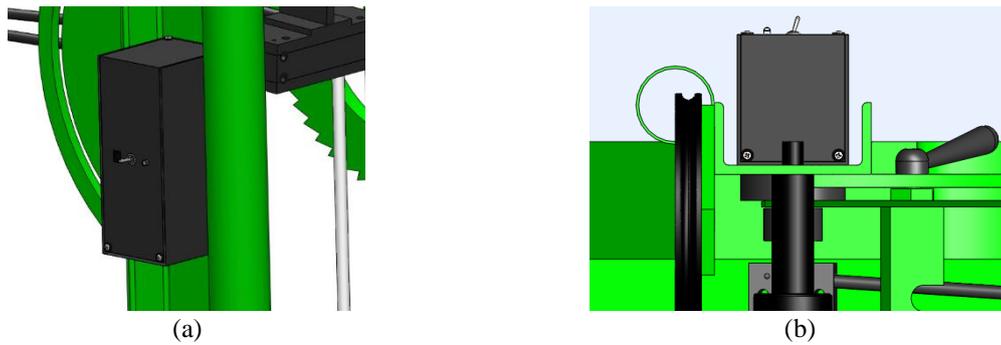


Fig. 11. Modelo 3D del montaje del gabinete sobre la máquina Charpy.

2.2.2. Sistema de seguimiento remoto

El sistema complementario al equipo local fue pensado como un software que se encarga de brindar al usuario un seguimiento del péndulo en tiempo real, así como también facilitar los resultados del proceso de ensayo (Fig. 12).

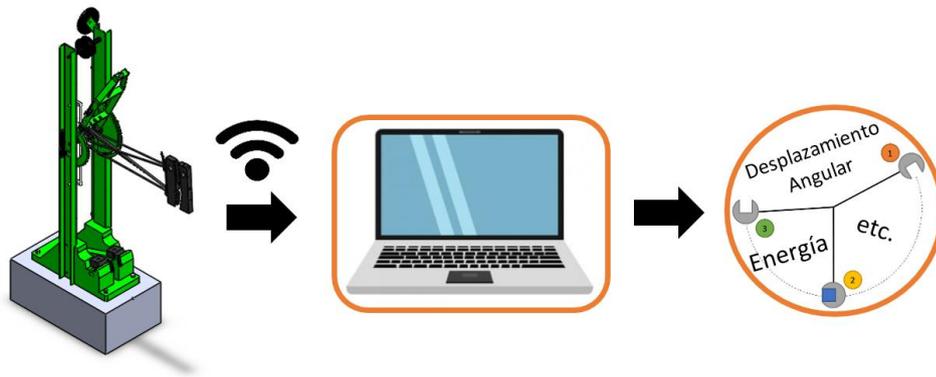


Fig. 12. Esquema de procesos del sistema de seguimiento remoto.

Para el diseño del software se utilizó el entorno de desarrollo LabVIEW®, el cual ofrece un lenguaje de programación gráfico por bloques (Fig. 13) y es muy utilizado en el ámbito de la ingeniería para el diseño de sistemas de pruebas automatizadas, validación y producción.

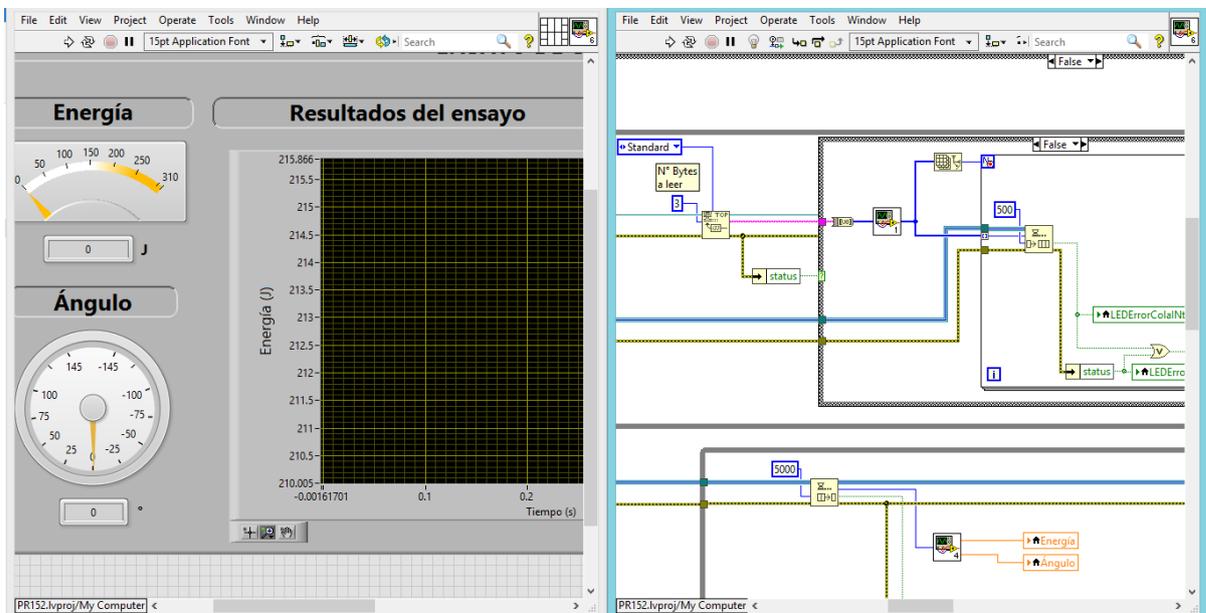


Fig. 13. Entorno de desarrollo LabVIEW®.

El software de seguimiento establecerá una conexión inalámbrica con la unidad de adquisición local a través del protocolo TCP/IP. Una vez enlazados, su flujo de programa se encargará de recibir periódicamente los paquetes de datos conformados por las variables que almacenan la posición del péndulo, permitiendo al usuario realizar un seguimiento en tiempo real del estado del mismo.

Además de las características de seguimiento en tiempo real, se incluirá en el software una modalidad de captura de ensayo, donde se le permitirá al usuario asignar las condiciones iniciales del mismo y apreciar los cambios de energía del péndulo en una gráfica temporal.

3. Resultados

Una vez adquiridos los componentes que conforman el sistema de adquisición local fue necesario realizar una etapa de acondicionamiento intermedia entre el encoder y el microcontrolador, para lo cual se diseñó el circuito y placa PCB presentados en la Fig. 14 y Fig. 15. Donde su proceso de ensamblado y montaje puede apreciarse en la Fig. 16. Montaje del circuito PCB sobre el adquisidor..

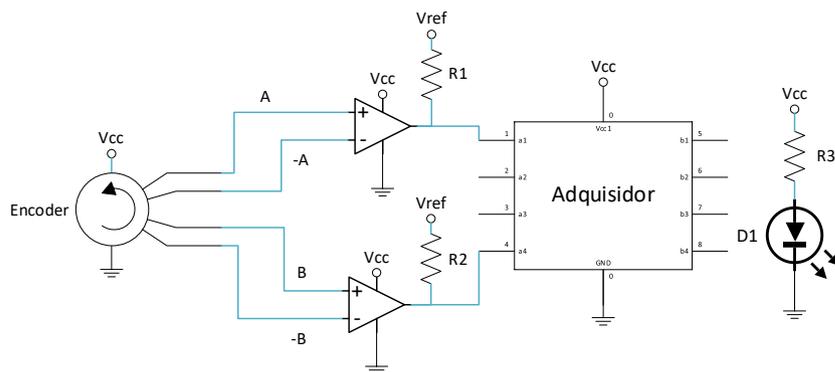


Fig. 14. Esquemático de la placa acondicionadora de remoto.

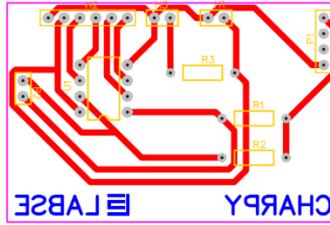
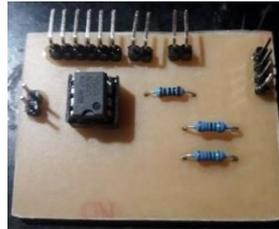


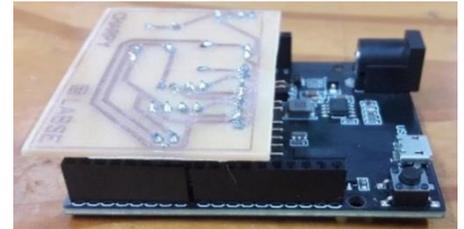
Fig. 15. Circuito PCB de la placa acondicionadora de señal.



(a)



(b)



(c)

Fig. 16. Montaje del circuito PCB sobre el adquisidor.

Para la escritura del código fuente del programa que administra el sistema de adquisición local se utilizó el lenguaje C y el framework de Arduino[®]. Cabe destacar en este punto que, durante el proceso de programación del código fuente, dada la característica de desfase de 90° entre las señales que proporcionaba el encoder y el uso de interrupciones fue posible subdividir el conteo original en los puntos de flanco de cada señal, cuadruplicando de esta forma la resolución de adquisición inicial que proporcionaba el sensor (Fig. 17).

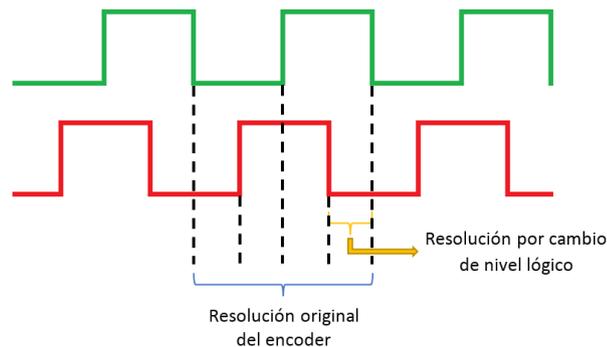


Fig. 17. División del paso del encoder.

Una vez adquiridas cada una de las piezas de hardware, se realizó un primer montaje del sistema de adquisición local en el gabinete diseñado según se aprecia en Fig. 18.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 18. Montaje de las piezas de hardware en el gabinete.

Posteriormente, se realizó la instalación eléctrica interna del mismo y efectuó una primera prueba de funcionamiento y comunicación con la plataforma de software mediante el giro manual del encoder (Fig. 19).



Fig. 19. Primera prueba del sistema de adquisición local a gabinete abierto.

Finalmente, se efectuó el montaje y prueba final del sistema de adquisición local sobre la máquina de ensayos Charpy (Fig. 20).

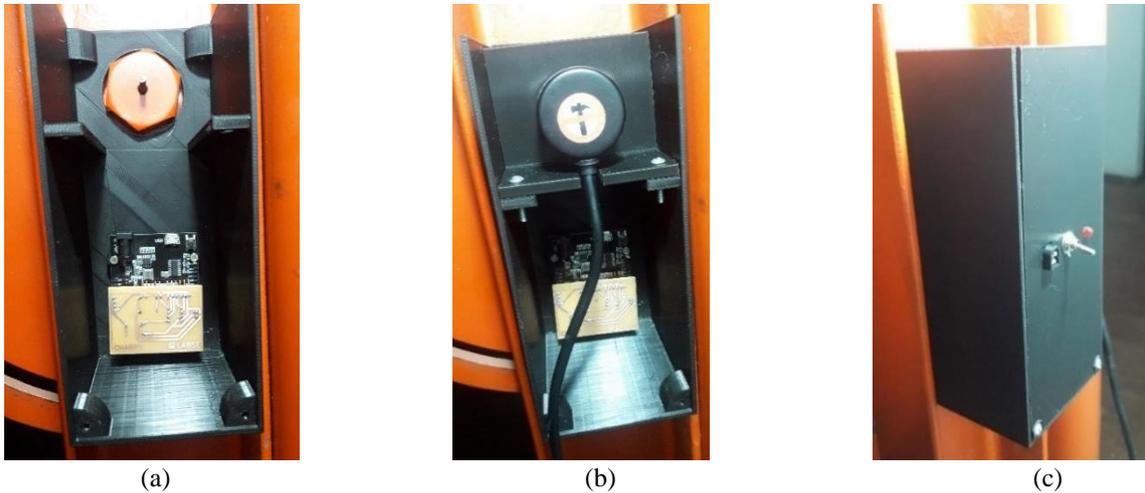


Fig. 20. Montaje del sistema de adquisición local a la maquina Charpy.

El diseño de la interfaz de usuario del software de seguimiento remoto puede apreciarse en la Fig. 21. El mismo, cuenta con un panel indicador de estado en tiempo real del péndulo en su lateral izquierdo, ofreciendo una visualización tanto de energía potencial como de ángulo.

En su panel central, el grafico permite visualizar la variación de la energía potencial del péndulo durante el ensayo una vez finalizado el mismo.

Finalmente, los indicadores y pulsadores del panel lateral derecho permiten realizar y registrar el estado de conexión y recepción de datos desde el sistema de adquisición local. Así como también, iniciar el modo de captura de ensayo y calibrar el estado de reposo del péndulo.

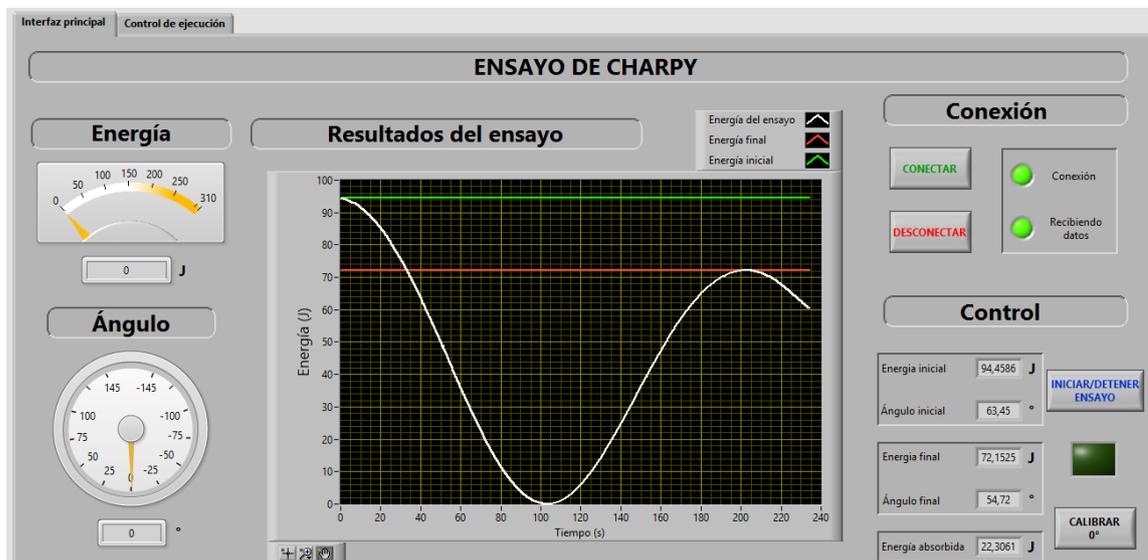


Fig. 21. Interfaz gráfica del software de seguimiento remoto.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado un sistema electrónico asistido por software capaz de realizar el seguimiento y llevar a cabo el proceso de ensayo de tenacidad en un péndulo de Charpy.

La unidad de medición local, registra y envía en tiempo real la posición relativa del péndulo a un software que recibe y gestiona estos datos de forma de brindarle al usuario una experiencia más cómoda de ensayo y visualización de datos.

Cabe destacar que el software de asistencia remota, en su modalidad de captura de ensayo, únicamente determina los resultados del mismo en base a los estados inicial y final del péndulo, por lo cual, una opción de mejora es la inclusión de las pérdidas en los resultados finales.

Con la etapa de instrumentación y adquisición completada, el próximo paso a seguir es la certificación del péndulo.

Referencias

- [1] Semeguen, Sebastián J.M., “Relevamiento, reacondicionamiento y actualización del péndulo de Charpy”, No publicado.
- [2] E23 – 07ª, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. ASTM International, 2007.
- [3] Callister, William D, “Ciencia e Ingeniería de Materiales”, 2da Edición.
- [4] Yong Zheng, Jin Li Wang, Yuan Wei Ye, Jing Jiao, Gang Wang, Yi Guo Deng, Shuang Mei Qin, Zhi Lian Peng, “Design of a Digitalized Testing System for Simple Beam Charpy Impact Testing Machine”, Ene 2012.