

Diseño e implementación de una interface de usuario para la instrumentación del péndulo de impacto Zwick 5102 para la caracterización mecánica de materiales poliméricos

Design and implementation of a user interface for instrumentation Zwick impact pendulum 5102 for mechanical characterization of polymeric materials

A.M. Guerrero Castillo, L.V. Campo Arcos, C.A. Rincón López

Grupo de Física de Bajas Temperaturas, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Correo-e: lvivianacampo@gmail.com, melissag@unicauca.edu.co

Resumen— La máquina Zwick 5102 es una herramienta básica para el estudio de algunas propiedades mecánicas de polímeros sintéticos como la tenacidad y la resistencia al impacto. Esta máquina se emplea para establecer un ensayo de impacto estándar regido por las normas ASTM D6110, D256 y D1822 para pruebas tipo Charpy, Izod y Tracción por Impacto respectivamente. El ensayo de impacto consiste en romper una probeta entallada golpeándola con un péndulo. Con el presente trabajo, se logró poner a punto dicha máquina, por medio de un diseño electrónico y una interfaz gráfica la cual permite capturar, procesar y obtener los diferentes resultados de energía y resistencia de impacto de materiales poliméricos. Para lograr una calibración del equipo se realizó un inter-laboratorio con un instrumento patrón adecuado, el proyecto se realizó con el objeto de habilitar un servicio a la industria tanto local como nacional.

Palabras clave— Ensayo Izod, Ensayo Charpy, Materiales Poliméricos Rígidos, Péndulo de impacto, Interface.

Abstract— The Zwick 5102 machine is a basic tool for the study of some mechanical properties of synthetic polymers such as toughness and impact resistance. This machine is used to establish an impact test governed by ASTM D6110, D256 and D1822 standards for type tests Charpy, Izod and impact tensile respectively. The impact test breaks a sample notched hitting it with a pendulum. With this study, we were able to develop such machine, through an electronic design and a graphical interface which allows to capture, process and get the different results of impact energy and impact resistance of polymeric materials. To achieve equipment calibration was performed an inter-laboratory standard instrument suitable. The project was carried out in order to enable a service to the both locally and nationally industry.

Key Word— Charpy Test, Izod Test, Pendulum Impact Interface, Rigid Polymeric Materials.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de polímeros para proyectos mecánicos ofrece muchas ventajas como el ahorro de determinados componentes a través de diseños adecuados, la eliminación

de muchas operaciones finales, la consecución de simplificaciones de montaje, el peso liviano, entre otros. Reduciendo así, costos de producción y de funcionamiento.

Para su aplicación industrial en proyectos mecánicos, los polímeros una vez son diseñados en piezas para uso, deben ser caracterizados. Existen varios equipos desarrollados para estos propósitos, por ejemplo la máquina universal de ensayos mecánicos la cual realiza ensayos de tracción, flexión y compresión y el péndulo de impacto el cual da información sobre tenacidad y resistencia de materiales poliméricos, siendo el caso de estudio de este documento.

Son numerosas las propiedades medibles en los polímeros, siendo una de las más importantes la resistencia al impacto para la cual el SENA ASTIN cuenta adicionalmente con el equipo de Péndulo de Impacto Zwick 5102, que desde hace 7 años aproximadamente no se ha podido aprovechar sus beneficios, debido a una incorrecta calibración, a daños en la tarjeta electrónica y en el acondicionamiento del Encoder. Por esta razón, es primordial poner a punto el Péndulo de Impacto para fortalecer el equipo necesario en la determinación y caracterización de las propiedades de los materiales poliméricos rígidos. Esta máquina es de fabricación Alemana y por ende, sus dispositivos electrónicos son de difícil adquisición y de costo elevado, es por tanto que se ve la necesidad de realizar un diseño con dispositivos de fácil acceso, que representen bajo costo, pero que obtenga resultados precisos para cada prueba. Se diseñó un sistema electrónico que permita el control de sus funciones mecánicas, y una interfaz donde el usuario almacene los parámetros de entrada tanto para la prueba como para el polímero y pueda obtener rápidamente la información final del ensayo con una tarjeta de lectura.

La finalidad de acondicionar de manera adecuada la máquina Zwick 5102 se orienta a brindar al operario no solo el despliegue de resultados reales sino también a facilitar el manejo de la misma a través de una automatización conveniente que garantice el buen funcionamiento, lo que dotará al ASTIN SENA con el único péndulo de impacto en Colombia automatizado para la realización de las tres pruebas más relevantes con este tipo de ensayos.

En el marco de los materiales poliméricos se encuentra información amplia sobre las formas de fractura en los mismos.

Las resistencias a la fractura de los materiales poliméricos son bajas en relación a las de los metales y cerámicas. El proceso de fractura es la formación de grietas en las regiones donde existe una concentración de tensiones localizadas (es decir, rasguños, muescas y defectos afilados). Los enlaces covalentes en la red o estructura reticulada se cortan durante la fractura. Para los polímeros termoplásticos, ambos modos dúctiles y frágiles son posibles, y muchos de estos materiales son capaces de experimentar una transición dúctil a frágil. Los factores que favorecen la rotura frágil son la reducción de la temperatura, un aumento de la velocidad de deformación, la presencia de una muesca aguda, aumento del espesor de la muestra, y, además, una modificación de la estructura del polímero (químico, molecular y/o microestructural) [1]. Para los materiales de ingeniería, dos modos de fractura son posibles: dúctil y frágil. En la clasificación de fractura frágil, las grietas pueden propagarse con gran rapidez, y muy poco acompañamiento de deformación plástica. Tales grietas puede decirse que son inestables, y su propagación, una vez iniciada, seguirá espontáneamente, esta clase de fractura es la que se establece con los ensayos del péndulo de impacto. La mayoría de las aleaciones de metales son dúctiles, mientras que las cerámicas son especialmente frágiles, y los polímeros pueden exhibir ambos tipos de fractura [1]. Por lo cual para la experimentación con el péndulo de impacto Zwick 5102 se ha hecho preferencia en materiales poliméricos frágiles.

Los ensayos dinámicos son realizados para valorar la capacidad de resistencia a las cargas de impacto (tenacidad) de los materiales por lo general, polímeros o metales y de este modo establecer su disposición a la ruptura frágil [2].

Para el caso en estudio, el ensayo de impacto consta en liberar un péndulo pesado, quien a su paso choca con una probeta cuya forma es de paralelepípedo, ubicada en unos soportes en la base de la máquina [3]. El ángulo, desde el cual cae el péndulo debe estar relacionado con la velocidad de caída del mismo en el momento del golpe y en el punto de la nariz de golpeo, como estipula la norma ASTM D256 ("Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics") donde especifica que la velocidad del péndulo en el momento del impacto debe estar entre 3 m/s y 6 m/s [4].

Después de golpear la probeta, el péndulo continúa su camino alcanzando cierta altura que depende de la cantidad de energía absorbida por la probeta durante el impacto. Las probetas que fallan en forma frágil se rompen en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad (baja fragilidad) se doblan sin romperse. Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química, lo cual obliga a realizar el ensayo con probetas a distinta temperatura, para evaluar y encontrar la "temperatura de transición dúctil-frágil" [3].

Generalmente se pueden aplicar varios métodos de ensayo por impacto entre los cuales están [5]:

- Charpy (ASTM D 6110, "Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics"): La muestra se coloca horizontalmente en un patrón especial que garantiza estrictamente la posición de la ranura en la parte media entre los apoyos. El martillo golpea en dirección opuesta a la muesca [3].

- Izod (ASTM D 256, "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics"): Este tipo de prueba de impacto se utiliza frecuentemente para medir la resistencia al impacto de los plásticos. Las muestras de ensayo son algo similares a las de Impacto Charpy con probetas de ranura en forma de V, aunque en Izod, la probeta está sujeta en una posición vertical, y el péndulo golpea la muestra fijada cerca del extremo libre [6].

- Ensayo tracción por impacto (ASTM D 1822, "Standard Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials"): Mediante el uso de esta prueba es posible determinar la cantidad de energía por unidad de área requerida para romper una muestra por medio de un impacto extensible. Esta prueba se utiliza para materiales que son demasiado flexibles o demasiado finos [7]. Según la norma ASTM D1822 ("Standard Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials"), la muestra se localiza en un yunque extensible, el péndulo impacta este conjunto de yunques de modo que la carga de impacto es llevada por la muestra [8]. En la figura 1 se puede observar un esquema del montaje del Péndulo, donde α , β , h_1 y h_2 son las variables de entrada para el ensayo.

ANÁLISIS FÍSICO DEL PENDULO DE IMPACTO

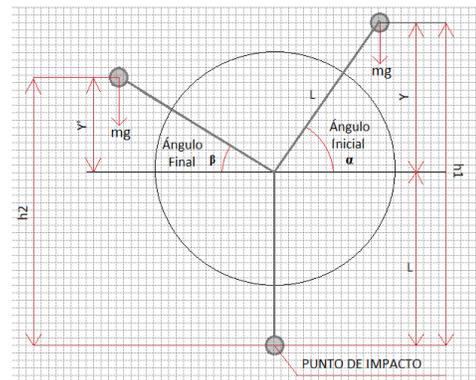


Figura 1. Variables Físicas del Péndulo de Impacto

Donde,

α : Ángulo de elevación inicial del péndulo desde el eje vertical.

β : Ángulo de elevación final del péndulo después del impacto.

h_1 : Altura de elevación inicial del péndulo.

h_2 : Altura de elevación final del péndulo

Realizando un balance de energía de acuerdo a la figura 1:

$$U_i = U_f + E_{abs} + W_{fr} \quad (1)$$

$$E_{abs} = U_i - U_f \quad (2)$$

Donde U es energía potencial y W_{fr} es la pérdida de energía por fricción del aire y fricción del soporte del péndulo. Este término puede ser calculado realizando el ensayo sin usar probeta o espécimen. E_{abs} es la energía absorbida por la probeta. En primera aproximación, si se desprecia el trabajo por fricción se tiene que:

$$E_{abs} = (\text{sen}\alpha - \text{sen}\beta) \cdot MgL \quad (3)$$

$$W = MgL \quad (4)$$

Entonces la resistencia al impacto es:

$$R_{imp} = \frac{E_{abs}}{b \cdot h} = \frac{(\text{sen}\alpha - \text{sen}\beta) \cdot W}{b \cdot h} \quad (5)$$

Si se tiene en cuenta la fricción, podemos llamar al término del trabajo de la fricción factor de corrección F_A , entonces:

$$F_A = W_{fr} \quad (6)$$

$$E_{abs_corregida} = U_i - U_f - F_A \quad (7)$$

$$E_{abs_corregida} = [(\text{sen}\alpha - \text{sen}\beta) \cdot W] - F_A \quad (8)$$

$$R_{impacto} = \frac{E_{abs_corregida}}{b \cdot h} = \left[\frac{(\text{sen}\alpha - \text{sen}\beta) \cdot W - F_A}{b \cdot h} \right] \quad (9)$$

La resistencia de Impacto final queda definida en la ecuación 9.

II. METODOLOGÍA

A. Técnica de Moldeo

En la fabricación de las probetas a impactar para el péndulo Zwick 5102, la técnica utilizada fue el moldeo por compresión. El moldeo por compresión se utiliza casi exclusivamente para moldear materiales termoestables, y ocasionalmente para procesar termoplásticos [9].

En el moldeo por compresión el material, bien líquido, o en forma de polvo, granza o de pastillas preformadas (preformas), se coloca en el molde caliente, y éste se cierra lentamente, hasta que las dos mitades del molde ejercen presión sobre el material. Conforme el molde va cerrándose, el material es obligado a ocupar todas las partes de la cavidad de moldeo (Ver Figura 2) [10].

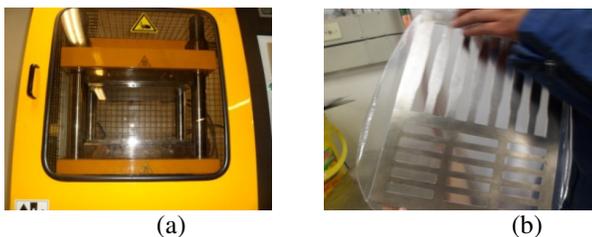


Figura 2. (a) Prensa de Compresión y (b) Moldeo Final. Fotografías tomadas de los laboratorios de la Universidad de los Andes.

La temperatura del molde y la presión aplicada son los factores más importantes del proceso. Valores típicos de

temperatura del molde, presión de moldeo y tiempo de moldeo para, por ejemplo, una resina fenólica son 150-200 °C, 20000 kg/cm² y 1.5 min [11].

B. Diseño e Implementación Electrónica

1. Fuente de Poder

Para los objetivos de este proyecto, un suministro 5V DC y 12V DC será suficiente. La construcción de la fuente requiere reguladores de voltaje monolíticos, como 7805 y 7812.

El circuito consiste de un transformador, un rectificador de puente de onda completa, reguladores de voltaje IC y algunos condensadores para el filtrado de la onda [12].

2. Sensor de Temperatura

La temperatura es fundamental en el proceso de determinación de la energía absorbida por un determinado material, ya que las propiedades de los polímeros son susceptibles a cambios en la temperatura, por tal motivo es conveniente la instalación de un dispositivo que nos permita registrar la temperatura a la cual se está realizando cada prueba en el Péndulo de impacto Zwick 5102.

Para tal fin se hace uso de un LM35 cuya razón de elección se debe en gran parte a su éxito en cuanto a precisión, fácil adquisición y bajo costo en el mercado. El LM35 permite una precisión importante, con un error típico menor a 1°C cuando se calibra a 25°C en un rango de 100°C. Su tensión de salida es proporcional a la temperatura, en la escala Celsius [13].

3. Circuito de acondicionamiento del Encoder

Cuando el péndulo se suelta de su posición inicial se activa de inmediato el circuito de acondicionamiento del encoder óptico HEDS-9100 de tecnología AVAGO, el cual se encuentra acoplado a la estructura mecánica de la máquina. Ver figura 3 y 4.

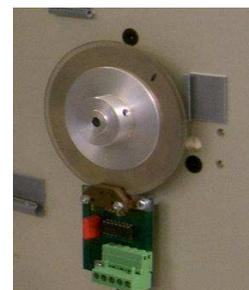


Figura 3. Codewheel y Encoder del Pendulo de Impacto 5102.

El encoder rotativo incremental, opera como un transductor rotativo, por lo que convierte el movimiento angular en señales eléctricas con forma de onda cuadrada. Usa el principio de rastreo fotoeléctrico para detectar el movimiento angular, contando con un sistema de lectura que consta de un disco graduado con un reticulado radial que será iluminado por una fuente de luz, el disco proyecta su imagen sobre la superficie de varios receptores. Este tipo de encoder suministra normalmente

2 señales, las cuales tienen forma de onda cuadrada, y se encuentran desfasadas 90°.

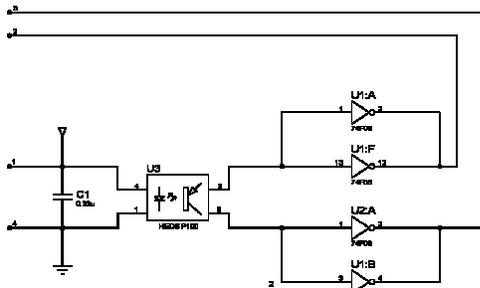


Figura 4. Circuito de Acondicionamiento de la Señal del Encoder HEDS 9100.

4. PIC

El microcontrolador seleccionado es el PIC18F4550, este tiene la función de recibir y procesar los datos provenientes del circuito de acondicionamiento del encoder, y comunicarlos con el computador por medio de la comunicación serial RS232. La programación del PIC se realizó mediante el software PIC C Compiler, en la figura 5 se presenta el esquema de del programa principal.

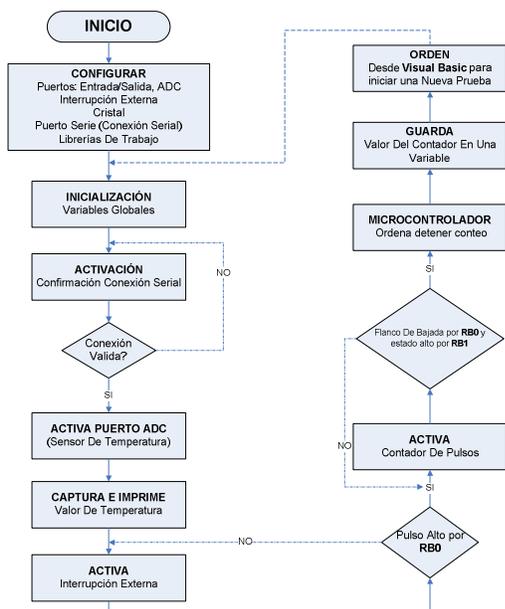


Figura 5. Cuadro Esquemático del programa del microcontrolador.

5. Comparador de Voltaje

El CODEWHEEL, disco codificado del sensor HEDS-9100, el cual censa el movimiento del péndulo “hacia arriba y hacia abajo”, se diseñó y fabricó teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante con características similares al original, por medio del software AUTOCAD, y al mismo tiempo se consideró la posibilidad de tener una medida de aseguramiento extra para testear

este cambio de sentido, por tal razón se diseñó e implementó un comparador de voltaje. Esto se logró por medio de un motor de corriente continua o CC, ubicado y fijado estratégicamente en el eje de rotación del disco del encoder y el circuito integrado LM339. Según la velocidad de giro del motor se acondicionó los voltajes de salida a utilizar con valores que van desde 0,01V a 1V, los cuales serán considerados como voltajes de referencia dentro del comparador de ventana a implementar. Ver figura 6.

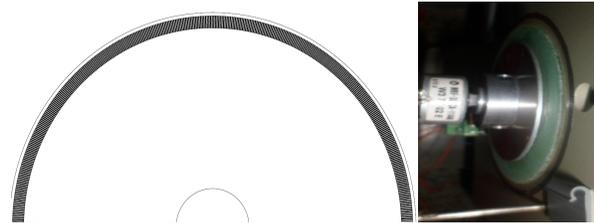


Figura 6. Diseño del Codewheel en AUTOCAD y motor DC de ajuste en el eje del péndulo.

6. Sistema de liberación del péndulo

Para la etapa que comprende gran parte del proceso de automatización del péndulo de impacto Zwick 5102, se propuso realizar un sistema que permitiera la liberación automática del péndulo a partir de una orden dada desde la interfaz de usuario. Para su implementación se utilizó un optoacoplador (4N35) y un embobinado con núcleo de acero.

7. Comunicación serial

En el caso presente se usará la configuración USART, aprovechando que este puede transferir tramos de 8 a 9 bits, además de detectar errores de transmisión. También puede generar interrupciones cuando se produce una recepción de datos o cuando la transmisión ha sido completada. La principal función de USART es la de transmitir o recibir datos en serie. El puerto serie de un ordenador trabaja en modo asincrónico y es la norma más usada en la implementación de aplicaciones [14]. En el montaje electrónico de control de la Máquina Zwick 5102 requiere del uso del integrado MAX232 en conjunto con el puerto serial (este se ha configurado con una velocidad de 1200 baudios y 8 bits de transmisión).

En la figura 7 se presenta el diseño de la tarjeta electrónica completa implementada en el Péndulo de Impacto Zwick 5102, la cual integra etapa de alimentación, etapa de control, etapa de potencia etapa de comunicación. Este diseño se realizó mediante la herramienta software ISIS Proteus.

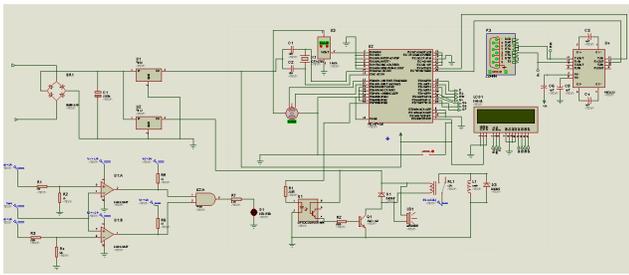


Figura 7. Esquema general del diseño de la interface electrónica.

8. Interface de usuario

La interface de usuario fue implementada con el software *Visual Basic Studio Professional 2008*, esta es una herramienta eficaz capaz de crear aplicaciones y componentes plenamente funcionales que se pueden compartir con otros usuarios. La figura 8 presenta la pantalla principal.

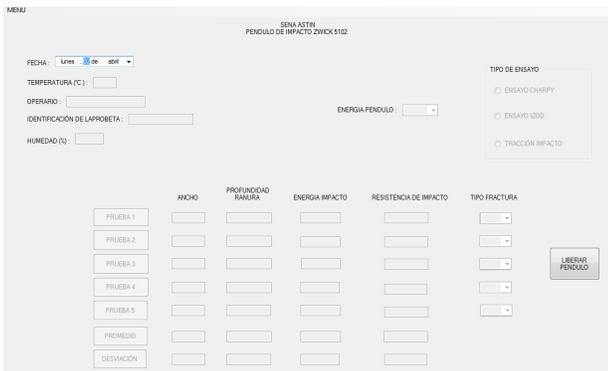


Figura 8. Pantalla principal de la interface gráfica de Usuario.

9. Pruebas de Impacto

Se realizaron pruebas de impacto tipo Charpy y tipo Izod, donde los materiales poliméricos seleccionados dependen del valor máximo de la energía de los péndulos. En este caso los valores teóricos de energía y resistencia al impacto de los polímeros deben estar alrededor de 4J o 2.95 ft-lbf.

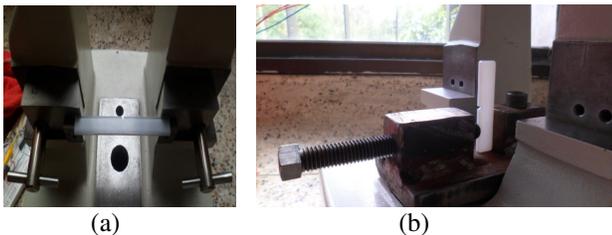


Figura 9. (a)Dispositivo soporte para el ensayo Charpy, y (b) Dispositivo soporte para el ensayo Izod

III. RESULTADOS

Los valores de resistencia al impacto experimental con el Péndulo de Impacto Zwick 5102 tienen incluido el factor de corrección debido a la fricción del aire y el instrumento.

Las siguientes son los fabricantes de los materiales poliméricos utilizados para el ensayo de impacto Izod:

1. STYRON ®484 Por AmericasStyrenics
2. HH112 Por Resirene ®
3. Acrílico genérico PorGAREN ®
4. Poliestireno Por LERMONT PLASTICS S.A.

Polímero	Tipo de ensayo	Res. al impacto experiment al (ft-lbf/in)	Res. al impacto de ficha técnica (ft-lbf/in)	Res. Al impacto por Lab. UniAndes (ft-lbf/in)
Poliestireno de alto impacto ¹	Izod	2.035	2.001	2.128
Poliestireno Cristal (685 D) ²	Izod	0.317	0.303	0.429
Poliacrilonitrilo ³	Izod	0.207	0.200	--
Poliestireno ⁴	Izod	1.198	1.200	--
Poleolefina	Charpy	0.126	--	--
Poliestireno de alto impacto	Charpy	3.040	--	--

Tabla 1. Resultados de resistencia al impacto para polímeros de prueba en ensayos Izod y Charpy.

De acuerdo con los resultados obtenidos se establecen desviaciones estándar para la resistencia al impacto en un rango de 0,004 a 0,133 ft-lbf/in, lo cual indica el buen funcionamiento de los datos arrojados por la interfaz electrónica del Péndulo de Impacto. Con tal desviación es posible hacer un reporte confiable de los resultados del equipo para el ensayo Izod Y Charpy, de acuerdo a esta observación se calcula el error, con el promedio de resistencia al impacto y el valor real (reportado en la literatura). Se obtuvo un porcentaje de error máximo para Izod de 3,5%, el cual permite considerar aceptable los resultados de acuerdo a la norma ASTM D256. Además, todas las probetas impactadas obtuvieron un tipo de falla completa.

Es posible establecer que los errores obtenidos de las pruebas realizadas son consecuencia de una serie de factores: en el proceso de moldeo de los materiales poliméricos se ven influenciados por el ciclo de presión y temperatura. Entre los parámetros que influyen en la respuesta de los materiales poliméricos, están la temperatura ambiente y humedad relativa, requeridas en el momento de la realización de la prueba, las cuales no fueron posibles controlar con los recursos disponibles, por lo cual los ensayos se desarrollaron a una temperatura y humedad relativa, alrededor de 21°C y 58%, valores dentro del rango establecido por la norma ASTM D256.

IV. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de una tarjeta electrónica eficiente se logró obtener una interfaz de usuario confiable para el control

automático del Péndulo de Impacto Zwick 5102, que permite la inspección y desarrollo de las distintas pruebas de impacto en materiales poliméricos de una manera accesible y segura para el operario.

A través de esta interfaz de usuario para el Péndulo de Impacto Zwick 5102 es posible obtener el valor de la Energía y Resistencia al Impacto por medio de las respectivas pruebas Izod, Charpy y Tracción Impacto, dentro de un rango de precisión confiable y al mismo tiempo aceptable con base a las normas de estandarización para ensayos de impacto.

En el presente proyecto no se muestran resultados cuantitativos de Tracción por Impacto de materiales poliméricos, debido a que no se cuenta con el yunque de sujeción adecuado para la realización del ensayo. El diseño del mismo requería de más de tres meses para su diseño y construcción, lo cual retrasaría la culminación de este proyecto.

Correlacionando el Péndulo de impacto Zwick 5102 con otros equipos análogos, es posible garantizar que el tiempo de ejecución desde el momento en que se ingresan los datos medidos a la interfaz hasta el momento en que se obtiene los valores finales para la energía y la resistencia al impacto en cada tipo de ensayo, es notablemente menor, debido a que se cuenta con un equipo automatizado el cual asegura mayor eficacia.

A partir de los resultados de energía y resistencia al impacto para los materiales poliméricos estudiados y sometidos a la prueba de Impacto Izod, fue posible obtener una calibración del equipo gracias a las medidas tomadas a través de un inter laboratorio realizado en el Laboratorio y Servicios de Materiales y Manufactura de la Universidad de los Andes con el instrumento patrón adecuado un péndulo de impacto de referencia Testing Machines Inc., tipo análogo.

El equipo Zwick 5102 queda habilitado para el ensayo de Tracción por Impacto de materiales poliméricos, cuyos resultados cuantitativos no son mostrados en este trabajo.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del ASTIN SENA de Cali, por disponer el equipo péndulo de Impacto Zwick 5102, en especial a la ingeniera Diana Maricel Rendón por sus recomendaciones para el desarrollo de este proyecto. Al Laboratorio y Servicios de Materiales y Manufactura de la Universidad de los Andes por la asesoría técnica para la calibración del equipo. También agradecen a la Universidad del Cauca, por el apoyo logístico para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

[1] W. D. Callister, Jr., Fundamentals of Materials Science and Engineering, The University of Utah, Department of Metallurgical Engineering, Salt Lake City, Utah, 2001.

[2] G. Calle Trujillo, Ensayo dinámico a Flexión de probetas Ranuradas Ensayo CHARPY, UTP Laboratorio de Resistencia de Materiales, Pereira Colombia, 2000.

[3] J. Garavito, Máquina de Impacto Protocolo, Facultad Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

[4] ASTM Standard, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 2008.

[5] Zwick/ Roell Group, Ensayo de Impacto, Alemania, (2009). <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-impacto.html>.

[6] IDES, the Plastics Web, Izod Impact Strength - ISO 180, (1986-2011).

[7] V. Tvergaard, A. Needleman, An analysis of thickness effects in the Izod test, The Technical University of Denmark, Denmark, 2008.

[8] IDES, The Plastics Web, Tensile Impact - ASTM D1822, (1986-2011).

[9] Introduction to Compression Molding, 2012. http://www.efunda.com/processes/plastic_molding/molding_compression.cfm.

[10] Plastics engineering company, Sheboygan, U.S.A., 2010.

[11] M. L. Berins, "Plastics Engineering Handbook", Van Nostran Reinhold, New York, 1991.

[12] W. H. Gothmann, "Digital Electronics - An introduction to Theory and Practice", Prentice-Hall, USA, 1977.

[13] National Semiconductor Corporation, LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D, Precision Centigrade Temperature Sensors, 1994.

[14] 8-Bit PIC18 Microcontroller Units, A Technology Review, M. Aeberhard y Dr. James Hamblen, 2004.