

INSTRUMENTACIÓN DEL EQUIPO DE LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES PARA ENSAYOS DINÁMICOS A FLEXIÓN DE PROBETAS RANURADAS

RESUMEN

El presente trabajo describe la implementación de la instrumentación del equipo de ensayo dinámico a flexión de probetas ranuradas (ensayo Charpy), presente en el laboratorio de resistencia de materiales, por medio de la utilización de dispositivos electrónicos de medición, acondicionamiento de señal y adquisición de datos y software LabView para la presentación y manipulación de la información.

PALABRAS CLAVES: Instrumento virtual, adquisición de datos, Resistencia de materiales, Ensayo Charpy

ABSTRACT

The present work describes the implementation of the instrumentation of the equipment for dynamic testing at bending of grooved probes (Charpy test), which is present in the laboratory of resistance of materials, by means of using electronic measuring, signal conditioning and data acquisition devices, and LabView software for the presentation and manipulation of data.

KEYWORDS: Virtual instrument, data acquisition, Resistance of materials, Charpy test.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico de los materiales ha permitido grandes avances en todos los campos de la ingeniería; es por esto que los materiales, sus propiedades y cómo mejorarlas han sido motivo de investigación.

En dichas investigaciones, se realizan ensayos mecánicos a probetas de diferentes materiales, de acuerdo con la característica mecánica que se desee conocer. Características como la dureza, ductilidad, fragilidad y resiliencia entre otras.

Los resultados de tales ensayos han contribuido directamente al mejoramiento del diseño de elementos de máquinas.

Los avances tecnológicos actuales y las normas exigen que los resultados de dichos ensayos sean confiables.

Es por esto que, para garantizar la repetibilidad en las pruebas mecánicas que se deban de realizar, se ha hecho uso de la instrumentación en los equipos y máquinas que las efectúan.

El equipo original de ensayo dinámico a flexión de probetas ranuradas, conocido como ensayo Charpy, presente en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira, es un dispositivo mecánico, dotado de indicadores de aguja y dial, de resolución limitada, tanto en su escala de ángulo como en su escala de energía.

Con el fin de mejorar las capacidades del equipo se ha realizado la instrumentación electrónica del mismo, por medio de la adaptación de dispositivos de medición electrónicos a la máquina. Los valores medidos van a un computador, para ser mostrados en una aplicación de

MAURICIO MONROY J.

Ingeniero Electrónico, MSc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
mauriciomonroy@utp.edu.co

ALEXANDER DÍAZ ARIAS

Ingeniero Mecánico
Profesor Asociado
Universidad Tecnológica de Pereira
alexdiaza@utp.edu.co

HÉCTOR FABIO ACEVEDO

Estudiante Ing. Mecánica.
Universidad Tecnológica de Pereira.

LabView, teniendo entonces los resultados en magnitud de la energía requerida en la ruptura de la probeta.

Posteriormente se realizan ensayos utilizando probetas.

Finalmente como verificación, éstos resultados se comparan con los obtenidos por el instrumento de medida original del equipo.

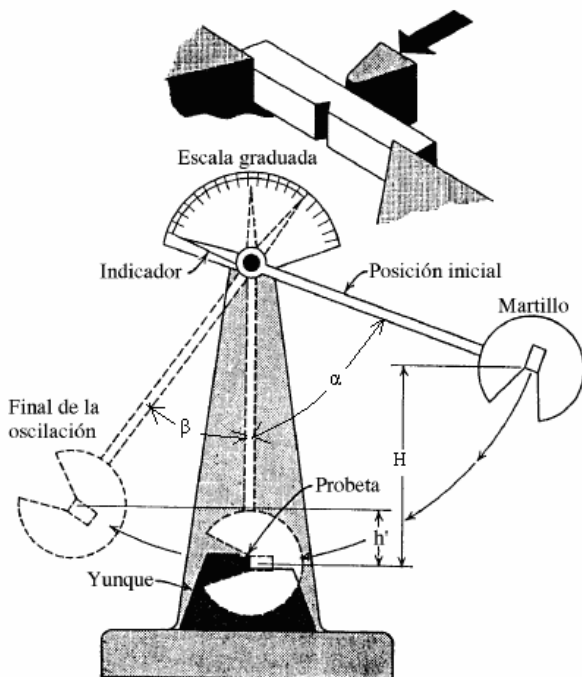
2. CONTENIDO

ENSAYOS DINÁMICOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Un ensayo de impacto es un ensayo dinámico en el cual una probeta se rompe mediante un único golpe. Dicha probeta es maquinada, pulida superficialmente y usualmente se ranura en el punto donde debe fracturarse.

Al medir la energía absorbida durante el impacto, se tiene un valor de la resistencia al choque, como una medida de la tenacidad de un material, definida como la capacidad de absorción de energía en la zona plástica antes de aparecer la fractura súbita.

El ensayo de flexión por medio del péndulo Charpy, se representa en la figura 1 donde la magnitud de trabajo de deformación y fractura, se determina por la diferencia de energía potencial del péndulo en el momento inicial (elevación al ángulo α) y final del ensayo (elevación al ángulo β).



Fuente: Métodos de ensayo, Antonio Martín Meizoso.

Figura 1. Ensayo a flexión con el péndulo Charpy

La ecuación (1) muestra la expresión que permite obtener la energía requerida en el rompimiento de la probeta [3]:

$$E_r = P(H - h) \quad (1)$$

Donde:

E_r : Energía de ruptura de la probeta.

P : Es el peso del péndulo en [N], [Kgf] ó [lbf].

H y h son las alturas de elevación y despegue del péndulo en [m] ó [in].

Si la longitud de péndulo es L y con el propósito de obtener una expresión en términos de los ángulos β y α , se tienen las ecuaciones (2) y (3).

$$h = L(1 - \cos \beta) \quad (2)$$

$$H = L(1 - \cos \alpha) \quad (3)$$

Por tanto:

$$E_r = P * L(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (4)$$

Con la ecuación (4) se obtiene el cálculo del trabajo ideal E_r necesario, para crear y propagar la grieta que causa el rompimiento de la probeta.

Una parte de la energía del impacto es empleada en la sacudida del péndulo y el bastidor, otra para vencer la resistencia del aire, otra en el roce de los cojinetes y en el dispositivo de medición, otra en la deformación de la probeta cerca de los apoyos y bajo el cuchillo, en la

transmisión de energía a las fracciones de la muestra y en la deformación elástica de la barra del péndulo. Según lo anterior, para obtener un valor real de energía de ruptura en la probeta se debe utilizar la ecuación (5).

$$E_{real} = E_i - E_f - E_k \quad (5)$$

Donde:

E_{real} : Energía real.

E_i : Energía del indicador.

E_f , energía disipada por fricciones, debe ser medida antes de cada ensayo, para esto se deja caer libremente el péndulo, sin instalar probeta en los apoyos, y se anota la energía mostrada por el indicador.

E_k , energía cinética necesaria para el desplazamiento de las fracciones de probeta luego de la rotura, puede ser calculada mediante la ecuación (6):

$$E_k = \frac{m}{2} v^2 \quad (6)$$

Donde m es la masa de la probeta y v es la velocidad de las fracciones, que se asume igual a la velocidad del péndulo en el momento del impacto ($v = 5,6$ m/s), ésta última dada por las especificaciones técnicas de la máquina [2].

En los péndulos Charpy, empleados en los ensayos corrientes de los metales, la mayoría de estas pérdidas no pueden ser calculadas. Como resultado de ello, el valor obtenido de E_r es mayor que el valor real.

La exactitud de la determinación del trabajo de ruptura es tanto mayor, cuanto menor es el exceso de la reserva de trabajo del péndulo en relación al trabajo de deformación y de la ruptura de la muestra. Por eso es necesario procurar que el ángulo β después de la destrucción de la muestra sea pequeño.

Conociendo el trabajo total de la deformación de rotura E_{real} , es posible calcular la característica esencial que se obtiene como resultado de los ensayos, la resiliencia o resistencia del material al impacto [2], mostrada en la ecuación (7) y que indica la energía perdida por el péndulo, dividida o no entre la sección neta de la probeta.

$$E_N = \frac{E_{real}}{F} \quad (7)$$

E_N : Valor de resiliencia.

Dependiendo de la norma utilizada, el factor F cambiará. La unidad de medida de la resiliencia para la norma GOST 9454-60 es [kp-m/cm²], en este caso se tiene la energía dividida entre la sección transversal de la probeta en la zona de entalla ($h \times b_N$) (ver figura 2).

En el Sistema Internacional la resiliencia se expresa en [kJ/m²].

Para ASTM, los resultados del ensayo se reportan en [J/m], donde se divide la energía entre el ancho remanente en la base de la entalla (b_N).

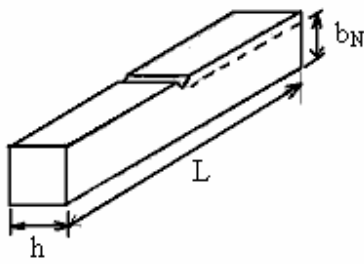


Figura 2. Dimensiones de las probetas para el ensayo

DISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

En la figura 3 se aprecian los componentes principales del sistema.

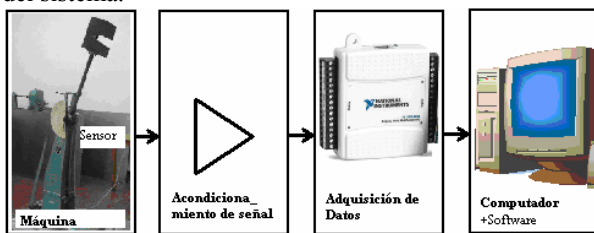


Figura 3. Sistema de instrumentación

Se tienen los siguientes componentes:

- Máquina de ensayos, a la cual se le incorpora un sensor de posición angular
- Acondicionamiento de señal, el cual adecúa la señal del sensor a niveles de tensión normalizados de 0V a 5V.
- Tarjeta de adquisición de datos, la cual recibe la señal acondicionada y la digitaliza.
- El computador recibe la señal digitalizada de la tarjeta a través de puerto USB y mediante el software necesario para el manejo de la misma se visualizan los datos del sensor de la máquina.

SENSOR Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

La figura 4 muestra el diagrama esquemático del sensor, junto con el módulo de acondicionamiento de señal.

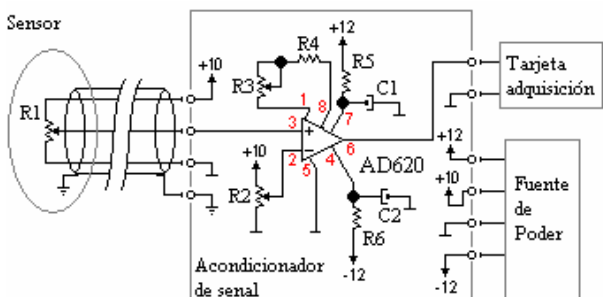


Figura 4. Sensor y acondicionamiento de señal

El sensor es un potenciómetro lineal multivuelta (R1), el cual está acoplado mecánicamente al eje del péndulo de la máquina.

Las razones para la utilización de potenciómetro en lugar de encoder absoluto o relativo para medir la posición angular del péndulo son su simplicidad en cuanto a cableado, acondicionamiento de señal y costo comparativo.

Como precaución, en el recorrido del péndulo de la máquina el potenciómetro R1 jamás llega a los extremos. Como consecuencia de lo anterior, se tiene un valor de tensión mínimo para la posición de límite inferior del péndulo. Por este motivo se utiliza un trimmer de ajuste R2 ajustado a dicho valor de tensión. Así mismo, R2 provee el ajuste de cero.

Se tiene entonces una señal diferencial de tensión de tipo puente Wheatstone con los potenciómetros R1 y R2. La tensión diferencial se introduce a un amplificador de instrumentación AD620, con el fin de obtener la señal amplificada de 0V a 5V que requiere la tarjeta de adquisición de datos.

La ganancia del amplificador se ajusta mediante R3 y el valor mínimo de ganancia se tiene con R4. Con R3, R4 se tiene entonces el ajuste de *span*.

La ganancia del amplificador de instrumentación se obtiene mediante la ecuación 8 [1]:

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{49400}{R3 + R4} \quad (8)$$

Donde:

Vout: tensión de señal de salida (V)

Vin: tensión de señal de entrada (V)

R3+R4: resistencia combinada de ajuste (Ω)

La fuente de poder provee los voltajes necesarios para el amplificador de instrumentación y las redes R5, C1 y R6, C2 filtran dichos voltajes.

SOFTWARE: INSTRUMENTACION EN PC

El software utilizado para la aplicación es el LabView (TM), en el cual se tiene programado un instrumento virtual, en el cual se realiza la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos, se hacen los cálculos y se muestran los resultados de ángulos, energías y otros datos de la prueba de impacto.

En la figura 5 se muestra el panel frontal de la aplicación en LabView para visualizar los datos de:

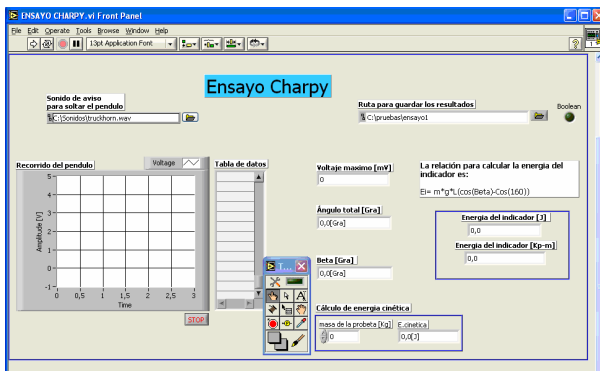


Figura 5. Panel frontal del programa.

- Angulo total (grados) = $\alpha + \beta$ (ver figura 1)
- Angulo β (grados)
- Energía del indicador E_i (J)
- Energía del indicador E_i (kp-m)

Teniendo como parámetro de entrada la masa de la probeta.

Así mismo, se muestran los datos en forma gráfica y tabular del recorrido del péndulo.

Los resultados se guardan en archivo, especificando para ello una ruta.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

-Se corre el programa, llevando el péndulo a las posiciones de ángulo $\alpha=0$ y $\alpha=160$ para la verificación del sistema.

-Se coloca el péndulo en la posición $\alpha=0$ y se corre nuevamente el programa, se espera el sonido para liberar el péndulo, sin probeta en la máquina, capturando los valores de ángulos y energía. Este último resultado se guarda como energía de pérdida E_f .

-Se ingresa la masa de la probeta, y se posiciona la misma en la máquina, se coloca el péndulo en $\alpha=0$. Posteriormente se libera el péndulo para obtener los valores de ángulo y energía. Este último resultado se guarda como la energía del indicador E_i

-Se realizan los cálculos, de acuerdo a lo estipulado por las ecuaciones 1 a 6.

RESULTADOS

Para realizar ensayos con el sistema de medida, se utilizaron probetas de Acero AISI 1020 con las dimensiones especificadas por la Norma ASTM 23.

Los resultados comparativos de las mediciones angulares indicadas por la carátula propia de la máquina y los que arroja el PC, se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Comparación de medidas de ángulo

Probeta de Acero 1020	Ángulo β PC [°]	Ángulo β Máquina [°]
1	143,909	144,0
2	143,806	144,5
3	144,066	144,5
4	143,080	144,5
5	144,169	143,6
6	143,120	144,5
7	143,659	144,5
8	144,202	144,5
9	144,383	144,5
10	143,860	144,0
11	143,679	144,5
12	143,679	144,5
13	143,679	144,5
14	144,391	145,0
15	143,636	143,6
16	143,075	143,6

Los resultados comparativos de las mediciones de energía E_i , indicadas por la carátula propia de la máquina y las que arroja el PC, éstas últimas basadas en el ángulo, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de medidas de energía.

Probeta 1020	PC E_i [kp-m]	Máquina E_i [kp-m]
1	0,926481	0,94
2	1,02614	0,95
3	1,084467	0,95
4	0,997351	0,95
5	1,08127	1
6	1,037902	0,95
7	0,994711	0,95
8	1,07982	0,95
9	1,021841	0,95
10	1,036295	0,94
11	1,036295	0,95
12	1,036295	0,95
13	1,036295	0,95

14	0,979823	0,9
15	1,039666	1
16	1,084907	1

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-El sistema electrónico de medida instalado en la máquina, permite conocer mejor el valor de ángulo y energía para cada posición del péndulo, debido a la resolución que maneja la tarjeta de adquisición y el programa desarrollado.

-Se utilizaron probetas del mismo material y elaboradas de la misma muestra (Acero 1020), pero la diferencia en los valores de energía en la ruptura, se atribuyen a: Homogeneidad del material, diferencias constructivas en las dimensiones de las probetas y la entalla, posicionamiento de la probeta en la máquina de ensayo en el momento de la prueba.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Analog Devices. Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier. AD620. Disponible en: <http://www.analog.com>
- [2] CALLE TRUJILLO, Gabriel. Guía de laboratorio de resistencia de materiales, ensayo de impacto, F.I.M, 2001.
- [3]. ZOLOTOREVSKI, Vladimir. Pruebas mecánicas y propiedades de los materiales.. Editorial Mir; Moscú 1973. p 319.
- [4]. AFANÁSIEV A.M. MARIEN V.A. Prácticas de laboratorio sobre resistencia de materiales. Editorial Mir, Moscú 1978. p 325.
- [5]. BALCELLS, Joseph. ROMERAL, José L. Automatas Programables. Editorial Alfaomega-Marcombo. 2002. p. 121.
- [6]. CREUS, Solè Antonio. Instrumentación Industrial. Marcombo, S.A, Barcelona España; Sexta edición 1997. Pag 741
- [7]. COOPER, William D. HELFRICK, Albert D. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A, 1991. pag 450.
- [8] MORENO Velasco, Pedro L. SÁNCHEZ, Ortega. Introducción a la instrumentación virtual, programación en LabVIEW. Pag 40.
- [9] NATIONAL INSTRUMENTS, Corp. La Instrumentación Virtual.. [Publicación en línea] [http://www.aadeca.org/socios/tracnova/La Instrumentacion_Virtual.pdf](http://www.aadeca.org/socios/tracnova/La_Instrumentacion_Virtual.pdf). Acceso Octubre de 2007.
- [10]. ORTEGA, Y. Prueba de impacto. Ensayo Charpy .Revista mexicana de fisica E 52 (1) 51–57. Departamento de Física de Materiales, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid, España. Junio de 2005. Disponible en: [URL:/http://www.readyc.uacmex.mx/redalyc/pdf/570/57065508.pdf](http://www.readyc.uacmex.mx/redalyc/pdf/570/57065508.pdf). Acceso Octubre 2007.
- [11]. PÉREZ LONDOÑO, Sandra Milena. HOLGUÍN LONDOÑO, Germán Andrés. Instrumentación y control basados en PCs. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Pag 248.