

AQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES OBTENIDAS DE UN ENSAYO CON BARRA KOLSKY POLIMÉRICA

ADQUISITION Y PROCESSING OF SIGNALS FROM AN EXPERIMENT WITH POLIMERIC KOLSKY BAR

María del Carmen Tinajero Campos

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m1903034@itcelaya.edu.mx

Álvaro Sánchez Rodríguez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx

Luis Alejandro Alcaraz Caracheo

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Horacio Orozco Mendoza

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
horacio.orozco@itcelaya.edu.mx

Ignacio Alejandro Irausquin Castro

Florida International University, USA
iirausqu@fiu.edu

Recepción: 28/septiembre/2021

Aceptación: 30/noviembre/2021

Resumen

El objetivo del presente trabajo es mostrar cómo se efectuó la adquisición y procesamiento de señales en sensores montados sobre una barra Kolsky polimérica; se utilizó software y tarjeta de adquisición de datos de NI National Instruments.

Los datos se exportan a una hoja de Excel para su posterior análisis, la adquisición de datos de las galgas extensiométricas se realizó con ensayos al vacío, lo que quiere decir que son ensayos sin probeta.

Los ensayos al vacío permiten observar qué porcentaje de error hay entre el pulso incidente y transmitido, lo que indica si hay amortiguamiento del pulso incidente, si

no hay error quiere decir que las barras poliméricas denominadas también viscoelásticas, cumplen con la relación de pulso incidente es igual al pulso transmitido, sin probeta. Con probeta la relación sería pulso incidente más pulso reflejado es igual al pulso transmitido.

Para facilitar el cálculo del error en este artículo solo se efectúan ensayos al vacío.

Palabras Clave: LabVIEW, pulso incidente, pulso reflejado, pulso transmitido.

Abstract

The objective of this paper is to show how the acquisition and processing of signals on sensors mounted on a polymer Kolsky bar was carried out; NI National Instruments data acquisition software and card was used.

The data is exported to an Excel sheet for further analysis, the acquisition of strain gauge data was performed with vacuum tests, which means that they are tests without test specimen.

The vacuum tests allow to observe what percentage of error there is between the incident and transmitted pulse, which indicates if there is dampening of the incident pulse, if there is no error means that the polymeric bars also called viscoelastic, comply with the incident pulse ratio is equal to the transmitted pulse, without test specimen. With test specimen, the ratio would be incident pulse plus reflected pulse equal to the transmitted pulse.

For ease of calculation of the error in this article only vacuum tests are performed.

Keywords: LabVIEW, incident pulse, reflected pulse, transmitted pulse.

1. Introducción

Para ensayar materiales a altas tasas de deformación se utiliza una máquina llamada barra Kolsky también conocida como una barra de presión dividida Hopkinson, es una herramienta de caracterización para ensayos a altas tasas de deformación (10^2 - 10^4 s⁻¹). La barra Kolsky se utiliza para imponer una carga dinámica a una muestra de material, dicha carga es similar a la que el material experimentaría en situaciones dinámicas como choques u otros eventos de alta energía.

Para obtener la respuesta dinámica bajo condiciones controladas [3,1] se colocan dos barras elásticas a ambos lados de la muestra y luego se golpea una de las barras con un impacto explosivo, ver figura 1. La barra golpeada es llamada barra incidente y la barra siguiente a la probeta, barra transmisora.

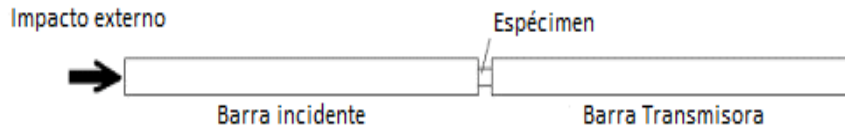


Figura 1 Diseño de una barra Kolsky.

Un aparato de barra Kolsky consiste en tres importantes componentes (Figura 2): instrumento de disparo (disparador y proyectil), componentes de barras (barra de incidencia, barra de transmisión y mecanismo de amortiguación), y sistema de adquisición de datos (extensómetros, puente Wheatstone, amplificadores y pantalla de visualización de señales eléctricas) [7].

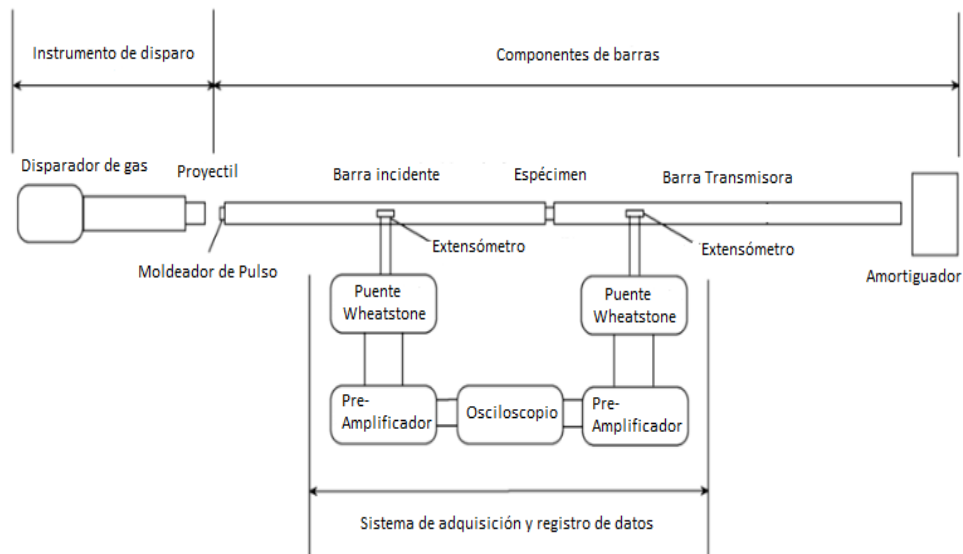


Figura 2 Componentes de barra Kolsky.

Los ensayos con barra Kolsky proporcionan datos sobre la deformación de muestras ensayadas (Figura 3), por medio de micro deformaciones en las barras (barra incidente/entrada y barra transmisora/salida), las micro deformaciones obtenidas

respecto al tiempo proporcionan perfiles de pulso incidente y reflejado en la barra incidente y pulso transmitido en la barra transmisora [8, 10], estos pulsos sirven para obtener propiedades mecánicas del material ensayado.

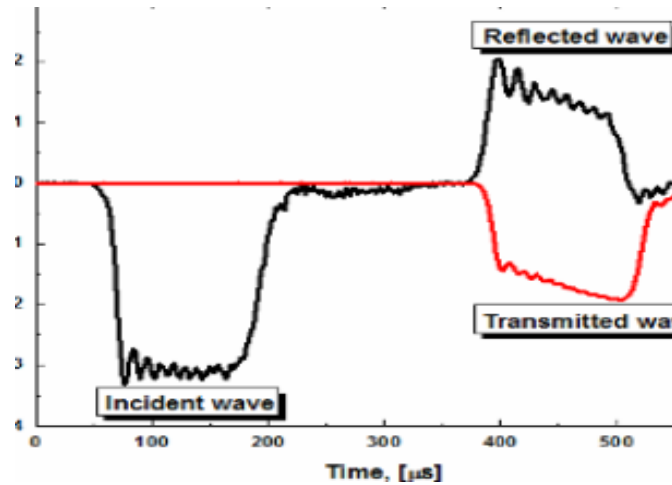


Figura 3 Señal de un perfil de deformación para 1 Barra Kolsky convencional.

Una barra Hopkinson de presión dividida (SHPB) viscoelástica (polimérica) ha sido usada como un medio para determinar características dinámicas de materiales de baja impedancia o materiales suaves [6].

El uso de materiales poliméricos ha estado incrementando en varias industrias como la automotriz, deportiva, y electrónica debido a la resistencia al impacto y capacidad de absorción de energía.

La barra Hopkinson o Kolsky, originalmente desarrollada por Kolsky [3] es uno de los experimentos más usados para medir las propiedades mecánicas a altas tasa de deformación. Las barras convencionales metálicas tienen dificultades para caracterizar materiales de baja impedancia, debido al gran desajuste de impedancias entre el espécimen y las barras incidente y transmisora [8].

Si la impedancia mecánica de la probeta resulta ser muy inferior a la de las barras, la onda reflejada se parecerá mucho a la onda incidente y, por lo tanto, la onda transmitida será muy pequeña y probablemente difícil de detectar (Figura 4). Esto es lo que suele pasar en sólidos celulares, por lo que ensayar las espumas metálicas en ensayos convencionales resulta complicado [2].

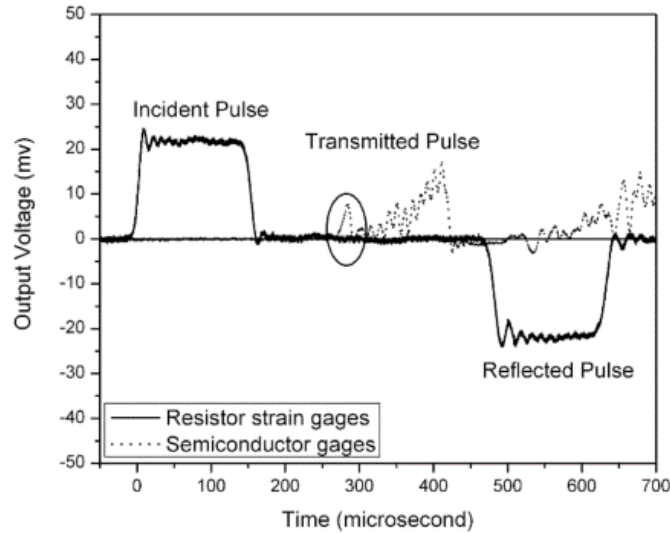


Figura 4 Pulso característico en materiales suaves.

Recientemente investigadores han estado interesados en evaluar materiales de baja impedancia como polímeros, espumas poliméricas, cauchos y tejidos biológicos, para este propósito se han reemplazado la barra incidente y la barra transmisora, que convencionalmente están hechas de metal, por barras viscoelásticas. Esto reduce el desempate de impedancias entre barras y muestras [8].

Al utilizar barras viscoelásticas debemos de tener en cuenta la atenuación y dispersión de las ondas de deformación que se propagan en las barras poliméricas. Para determinar las propiedades mecánicas de manera precisa es corregir las formas de onda que viajan a lo largo de las barras. Wang y compañía (1994) desarrollo una técnica que incorpora los efectos viscoelásticos en una ecuación de onda unidimensional, junto con un modelo de tres elementos (modelo de solido lineal estándar) [9].

2. Métodos

Para comenzar a adquirir las señales de las galgas extensiométricas, se conectan las galgas a una tarjeta Ni 9237, lo que permite configurar las galgas en diferentes configuraciones de puente wheatstone, la tarjeta Ni 9237 recibe milivolts que traduce en microdeformaciones con el programa LabVIEW, figura 5 y 6 [5].

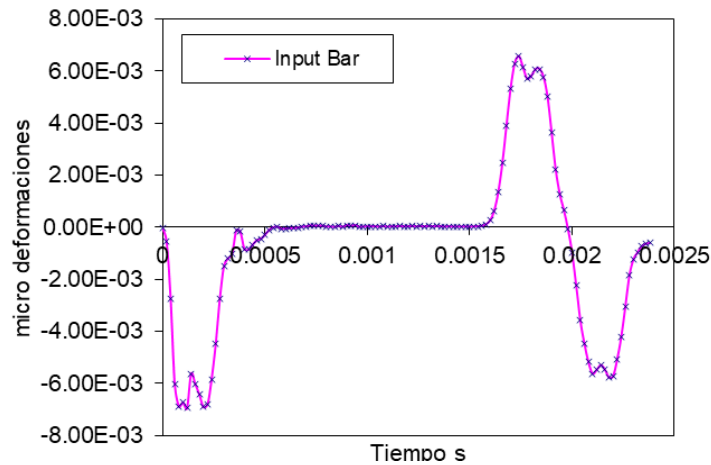


Figura 5 Pulsos de barra incidente.

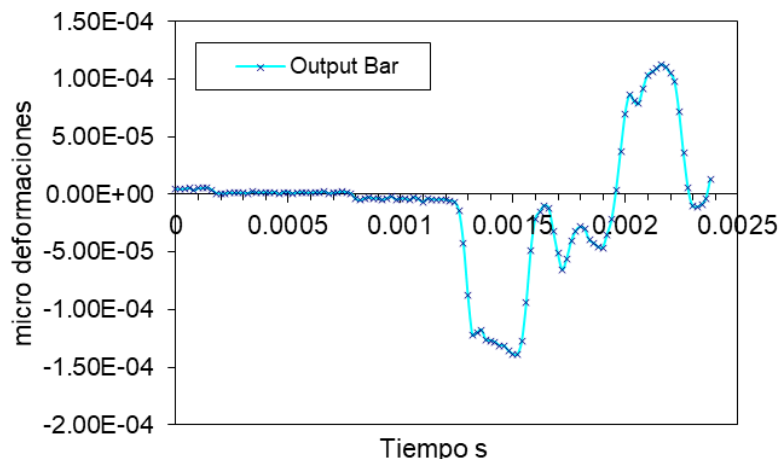


Figura 6 Pulsos de barra transmisora.

Para adquirir la señal del sensor de velocidad se utilizó circuito de la figura 7, que conecta los fotodiodos y fototransistores a un circuito que permite leer altos y bajos a las entradas digitales de la tarjeta Ni 9401.

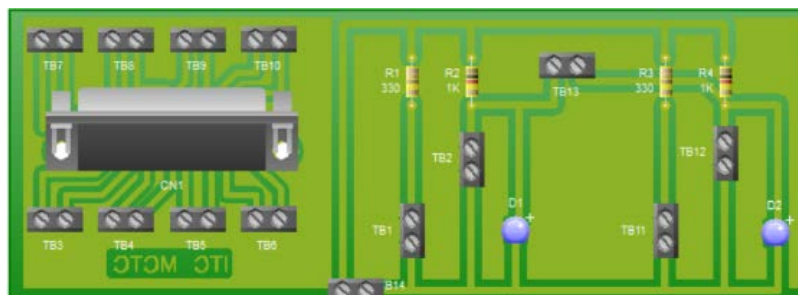


Figura 7 Experimentos preliminares.

Posteriormente mediante software se calcula la velocidad del proyectil que impacta en la barra Hopkinson, es importante conocer la velocidad del proyectil que impacta en la barra incidente para saber si el ensayo se encuentra en el rango de ensayos a altas tasas de deformacion, y para observar en que rango de velocidad se deforman uniformemente las probetas (Figura 8) y cuanto se deforman longitudinalmente (Tabla 1).

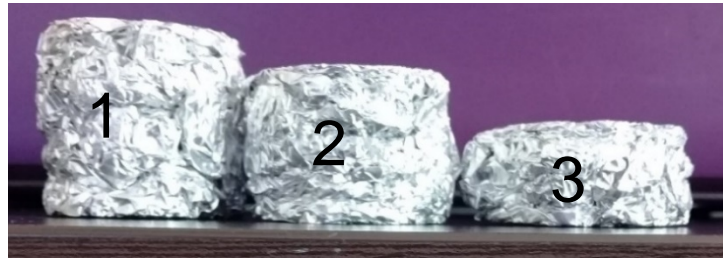


Figura 8 Experimentos preliminares.

Tabla 1 Deformacion de experimento preliminares.

Muestra	Longitud inicial mm	Longitud final mm
1	31.8	28.77
2	31.8	22.46
3	31.8	15.36

Al realizar los disparos manualmente hay errores de paralaje al ver el manómetro para administrar la presión deseada, errores al abrir la válvula de paso para dejar pasar el aire y realizar el disparo, ya que algunas veces se traba y en otras se puede aplicar diferente fuerza al abrir la válvula manualmente, es por eso que se realizaron varios disparos para obtener la velocidad aproximada para las presiones utilizadas, como se muestra en la gráfica en algunos disparos es muy diferente el valor de velocidad, debido a los errores ya mencionados y las casillas vacías es debido a la falta de ensayos para la presión indicada en la tabla 2.

Se seleccionaron las velocidades que fueran homogéneas y se calculó el promedio de ellas, tabla 3.

Posteriormente se utilizaron las velocidades promedio para realizar el perfil presión velocidad mostrado en la figura 9.

Tabla 2 Velocidades experimentadas, con accionamiento manual.

PSI	Velocidad (m/s)				
	30	1.29125	15.8102	20.2091	19.798
36	27.095	26.8772	-	-	-
42	31.4249	36.8715	35.3651	-	-
48	76.4243	43.6081	109.956	44.1759	-
54	35.7266	72.0671	35.9151	71.1009	73.3736

Tabla 3 Promedio de velocidades, para diferentes presiones.

Probeta	PSI	Velocidad (m/s)		Promedio (m/s)
1	30	19.798	20.2091	20.00355
2	36	27.098	26.8772	26.9876
3	42	36.8715	35.3657	36.1186
Sin probeta	48	43.6081	44.1759	43.892
Sin probeta	54	72.0671	73.3	72.68355

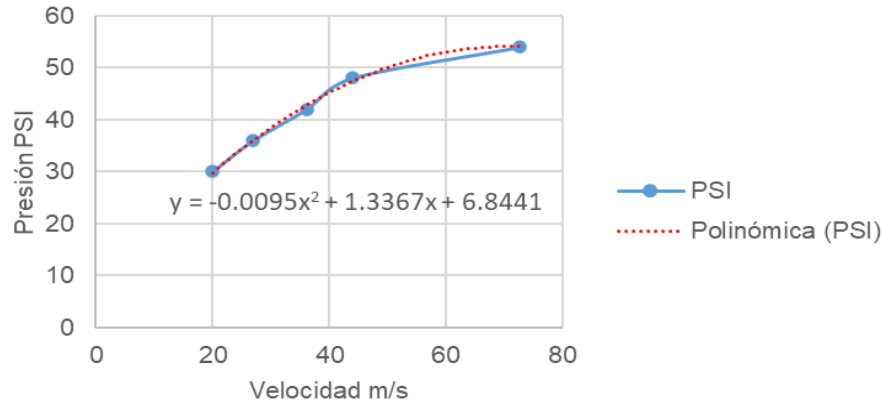


Figura 9 Perfil Presion-Velocidad.

3. Resultados

Se establecen datos para realizar ensayos con barra Kolsky; dimensiones y propiedades de la barra incidente, transmisora, proyectil y muestra, tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4 Dimensiones de barras y percutor.

Percutor		Unidades
d	38.1	mm
L	20	cm
Barra incidente		
d	38.1	mm
L	1.8	m
Barra transmisora		
d	38.1	mm
L	1	m

Tabla 5 Dimensiones de probeta.

Probeta:		Unidades
Material	Aluminio plegado	
D	32	Mm
L	30	Mm
p	243	kg/m ³
E	0.00990	GPa

Tabla 6 Propiedades de Nylon.

Barras NYLON			
p	1140	kg/m ³	
E	2.457	GPa	Cuasi estático
E	4.1687	GPa	Dinámico
v	0.402		
Impedancia acústica	2.18X106		
C	1912.3	m/s	

Para obtener el módulo elástico de una probeta de aluminio plegado se calcula con ecuación 1, donde E es el módulo elástico del aluminio plegado, E_s es el módulo elástico del aluminio (la razón $\frac{E}{E_s}$ es el módulo elástico normalizado), ρ es la densidad del aluminio plegado y ρ_s es la densidad del aluminio (la razón $\frac{\rho}{\rho_s}$ es la densidad relativa) [4].

$$\frac{E}{E_s} = 0.00524 \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right)^{1.50} \quad (1)$$

Después de importar los datos adquiridos por el programa realizado en LabVIEW a Excel, se seleccionan manualmente las secciones de los pulsos incidente, reflejado y transmitido, se obtiene la integral del pulso reflejado, por medio del método numérico llamado “Regla del Trapecio”, ecuación 2 [2].

$$I = (b - a) \left(\frac{f(a) + f(b)}{2} \right) \quad (2)$$

Se realizan los cálculos necesarios en una hoja de Excel (Tabla 7). Al realizar ensayos al vacío, no hay pulso reflejado, pero se puede comparar el pulso incidente y transmitido para observar el porcentaje de error, ya que sin probeta el pulso incidente es igual al pulso transmitido teóricamente, para esta barra Kolsky el error es del 30%, figura 11.

Tabla 7 Pulsos incidente, reflejado y transmitido.

	ϵ_i	ϵ_r	ϵ_t	$\int \epsilon_r$
<i>0.0002</i>	0	0	0	
0.00122	-2.82E-05	3.81E-05	-5.61E-06	3.81E-10
0.00124	-5.38E-04	5.21E-05	-6.39E-06	1.28E-09
0.00126	-2.75E-03	1.12E-04	-1.43E-05	2.92E-09
0.00128	-6.03E-03	2.68E-04	-4.21E-05	6.72E-09
0.0013	-6.89E-03	6.35E-04	-8.76E-05	1.58E-08
0.00132	-6.73E-03	1.36E-03	-1.22E-04	3.57E-08
0.00134	-6.95E-03	2.49E-03	-1.20E-04	7.43E-08
0.00136	-5.63E-03	3.92E-03	-1.18E-04	1.38E-07
0.00138	-6.02E-03	5.33E-03	-1.26E-04	2.31E-07
0.0014	-6.42E-03	6.29E-03	-1.27E-04	3.47E-07
0.00142	-6.91E-03	6.56E-03	-1.28E-04	4.76E-07
0.00144	-6.82E-03	6.15E-03	-1.31E-04	6.03E-07
0.00146	-5.84E-03	5.70E-03	-1.31E-04	7.21E-07
0.00148	-4.49E-03	5.79E-03	-1.36E-04	8.36E-07
0.0015	-2.76E-03	6.05E-03	-1.39E-04	9.55E-07
0.00152	-1.50E-03	6.08E-03	-1.39E-04	1.08E-06
0.00154	-1.20E-03	5.77E-03	-1.28E-04	1.19E-06
0.00156	-1.03E-03	5.02E-03	-9.42E-05	1.30E-06
0.00158	-1.34E-04	3.64E-03	-4.89E-05	1.39E-06
0.0016	-1.76E-04	2.21E-03	-2.11E-05	1.45E-06
0.00162		1.27E-03	-1.51E-05	1.48E-06
0.00164		6.48E-04	-9.59E-06	1.50E-06
0.00166		-7.63E-05	-1.18E-05	1.51E-06
				1.57E-06

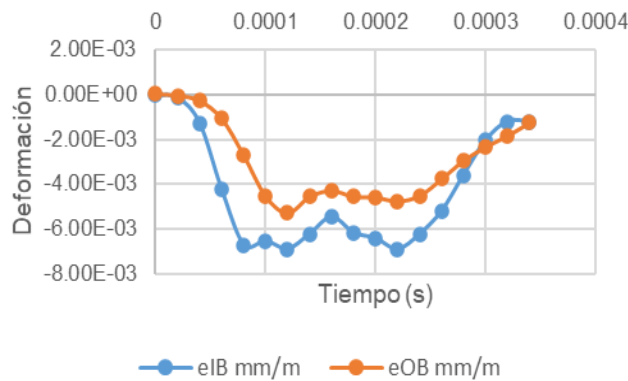


Figura 11 Comparativa pulso incidente y transmitido al vacío.

4. Discusión

Aunque la barra Kolsky puede ser de construcciones novedosas o convencionales, la suma de los pulsos incidente y reflejado siempre serán igual al pulso transmitido. Si no se ensaya con muestra no hay pulso reflejado, pero sigue existiendo la igualdad de pulso incidente y transmitidos.

Al no existir igualdad entre la suma de los pulsos, se pueden hacer arreglos a la barra Kolsky o compensaciones matemáticas por amortiguamientos observados.

5. Conclusión

En el presente trabajo se adquirieron señales analógicas, referenciadas en este trabajo como pulsos incidente, reflejado y transmitido en una barra Kolsky polimérica, los perfiles de los pulsos incidente, reflejado y transmitido pueden ser utilizados para calcular propiedades mecánicas de diversas muestras ensayadas en una barra Kolsky polimérica.

En el presente trabajo se adquirieron los pulsos incidente, reflejado y transmitido, con ensayos al vacío, sin muestra, para determinar la magnitud del error en la transmisión del pulso incidente, se logró observar que, al ser un ensayo al vacío, no hay pulso reflejado, pero si incidente y transmitido, se logra observar que la magnitud del pulso transmitido es menor al pulso incidente, lo que quiere decir que hay amortiguamiento en la transmisión del pulso incidente. Las causas del amortiguamiento aún son desconocidas, pero podrían ser errores en la instrumentación, adquisición o montaje de las barras poliméricas

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Davies, E. D. H., & Hunter, S. C. (1963). The dynamic compression testing of solids by the method of the split Hopkinson pressure bar. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 11(3), 155-179.
- [2] Irausquin Castro, I. A. (2012). Caracterización mecánica de espumas metálicas y su aplicación en sistemas de absorción de energía.
- [3] Kolsky, H. (1949). An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of loading. *Proceedings of the physical society. Section B*, 62(11), 676.
- [4] Medina, R. E. (2017). Caracterización de propiedades mecánicas del aluminio, acero y óxido de grafeno plegados mediante ensayos de compresión. Celaya.
- [5] National Instrument. (8 de May de 2020): <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P6TtSAK&l=es-MX>.
- [6] Song, B., & Chen, W. (2005). Split Hopkinson pressure bar techniques for characterizing soft materials. 2(2), 113-152.

- [7] Rao, S., Shim, V. P. W., & Quah, S. E. (1997). Dynamic mechanical properties of polyurethane elastomers using a nonmetallic Hopkinson bar. *Journal of Applied Polymer Science*, 66(4), 619-631.
- [8] Tamaogi, T., Sogabe, Y., Wu, Z., & Yokoyama, T. (2017). Identification of mechanical models for golf ball materials using a viscoelastic split hopkinson pressure bar. *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, 3(3), 377-390.
- [9] Tuazon, B. J.; Bae, K. O., Lee, S. H., & Shin, H. S. (2014). Integration of a new data acquisition/processing scheme in SHPB test and characterization of the dynamic material properties of high-strength steels using the optional form of Johnson-Cook model. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(9), 3561-3568.
- [10] Wang, L., Labibes, K., Azari, Z., & Pluvinage, G. . (1994). Generalization of split Hopkinson bar technique to use viscoelastic bars. *International journal of impact engineering*, 15(5), 669-686.