

## COMPORTAMIENTO SONORO EN PROBETAS DE ACERO 1020 Y MADERA EN EL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY

### Sound behavior in specimens of steel 1020 and wood in the impact test Charpy

**RESUMEN:** En este documento se realiza un análisis de la correspondencia que pudiesen tener materiales tales como el acero y la madera en cuanto al comportamiento sonoro en un ensayo de impacto tipo Charpy, para esto se determinan las graficas de presión sonora, espectro de frecuencias y análisis con la transformada rápida de Fourier FFT con el fin de analizar frecuencias de una señal en tiempo discreto, posteriormente convertir la secuencia en el dominio del tiempo en una forma equivalente, en el dominio de la frecuencia, y observar la relación con los resultados obtenidos en el ensayo de impacto.

**OSCAR ARAQUE DE LOS RIOS**  
Ingeniero Mecánico, M Sc Prof. del  
Dpto. de Ing. Mecánica  
Universidad de Ibagué (Colombia)  
[oscar.araque@unibague.edu.co](mailto:oscar.araque@unibague.edu.co)  
[ojaraque@yahoo.com.mx](mailto:ojaraque@yahoo.com.mx)

**PALABRAS CLAVE:** tensión, impacto, metal, probeta

**ABSTRACT:** This document is to analyze the correspondence that might have materials such as steel and wood in terms of sound performance in a Charpy type impact test for these determining that the graphs of sound pressure, frequency spectrum and analysis with Fast Fourier Transform FFT this in order to analyze frequencies of a discrete-time signal, then convert the sequence in the time domain in an equivalent form in the frequency domain, and observe the results regarding the impact test

**KEYWORDS:** tensile, impact, metal, specimen.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la fisicoquímica del estado sólido, el estudio del comportamiento de los materiales cuando están en uso, es un parámetro fundamental dentro de cualquier rama de la Ingeniería. Es por ello, que en muchos casos deben considerarse los factores que inciden en la destrucción de la pieza de acuerdo al empleo práctico del mecanismo o estructura a la que pertenece; por ejemplo, si el metal soporta tensiones dinámicas sucesivas (fatiga) o estáticas a elevadas temperaturas (creep), la fractura se origina al disminuir su resistencia, en cambio en elementos sometidos a efectos exteriores instantáneos o variaciones bruscas de las cargas, su falla se produce generalmente al no aceptar deformaciones plásticas o por fragilidad, aún en aquellos metales considerados como dúctiles. En estos casos, es conveniente analizar el comportamiento del material en experiencias de choque o impacto.

Siendo las sollicitaciones de choque o impacto de aplicación prácticamente instantánea, las ondas de tensión generadas pueden no propagarse, provocando la rotura por deformaciones localizadas. Por lo expuesto, las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a efectos dinámicos de choque se ven sensiblemente modificadas, aunque los mecanismos de deformación plástica presumiblemente no varían con el modo de aplicación de la carga.

Esto indica que, si bien el ensayo de tracción estático genera valores correctos de la ductilidad de un metal, no resulta preciso para determinar su grado de tenacidad o fragilidad en condiciones variables de trabajo.

### 2. ENSAYO DE IMPACTO

El objeto del ensayo de choque es el de comprobar si una máquina o estructura fallará por fragilidad bajo las condiciones que le impone su empleo, muy especialmente cuando las piezas experimentan concentración de tensiones por cambios bruscos de sección, maquinados incorrectos, bajas temperaturas, o bien verificar el correcto tratamiento térmico del material ensayado.

#### 2.1 Flexión por choque sobre barras simplemente apoyadas (método Charpy)

Con la finalidad de que el material esté actuando en las más severas condiciones, el método Charpy utiliza probetas entalladas (estado triaxial de tensiones) y velocidades de deformación de 4,5 a 7 m/s, siendo el entorno recomendado por las normas el de 5 a 5,5 m/s.

Fecha Recepción: 9 de Septiembre de 2010

Fecha aceptación: 15 de Noviembre de 2010

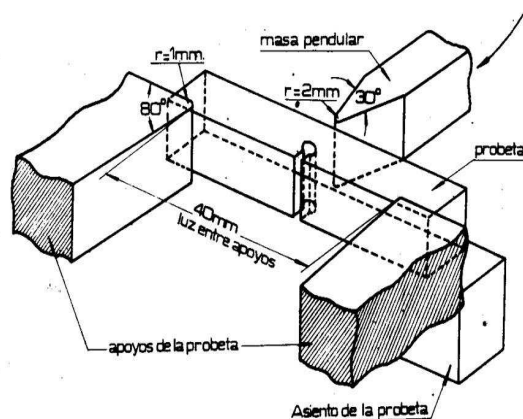


Figura 1. Disposición de probeta para ensayo Charpy.

Las probetas se colocan, como muestra la figura 1, simplemente apoyadas sobre la mesa de la máquina y en forma tal que la entalladura se encuentra del lado opuesto al que va a recibir el impacto. En la misma figura se puede observar la correcta posición del material como así también la forma y dimensiones de los apoyos y de la punta del martillo pendular.

Respecto al "filo" o extremo de la masa pendular, la norma A.S.T.M. E-23 indica que debe presentar un ancho de aproximadamente 4 mm, redondeado con un radio de 8 mm.

### 3. PRESIÓN SONORA

La presión sonora es producto de la propia propagación del sonido. La energía provocada por las ondas sonoras genera un movimiento ondulatorio de las partículas del aire, provocando la variación alterna en la presión estática del aire. La razón de estas variaciones de presión atmosférica es que se producen áreas donde se concentran estas partículas (zonas de concentración) y otras áreas quedan menos saturadas (zonas de rarefacción). Las zonas con mayor concentración de moléculas tienen mayor densidad y las zonas de menor concentración tienen menor densidad. Cuando estas ondas se encuentran en su camino con el oído la presión que ejercen sobre el mismo no es igual para toda la longitud de onda. Por tanto, la presión sonora es definida como la diferencia de presión instantánea y la presión atmosférica estática.

La presión atmosférica se mide en pascales (Pa). La presión atmosférica se sitúa en torno a los 100.000 Pa (estableciéndose como valor normalizado los 101.325 Pa). Como en Pa las cifras obtenidas son muy grandes, normalmente, la presión atmosférica, se expresa en hectopascales hPa y se establecen 1.013 hPa como presión atmosférica normalizada a nivel del mar. La presión sonora también se puede medir en pascales, no obstante, su valor es muy inferior al de la atmosférica. El umbral se sitúa en los 200 Pa, mientras que el umbral de audición se sitúa en los 20 micropascales. La presión sonora, alterna muy rápidamente entre valores negativos

(menores que la presión atmosférica) y positivos (mayores). El número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo es lo que en física se denomina frecuencia. El margen de frecuencias que pueden producir la sensación de sonido cuando impresiona el oído humano es lo que se conoce como audiofrecuencias y va de los 20 a los 20000 Hz.

La presión sonora es la responsable directa de la amplitud de la onda y la amplitud determinará la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora.

Se conoce como infrasonido todas aquellas señales de frecuencias menores que 20 Hz, ultrasonidos señales de frecuencias mayores a 20000 Hz

### 3.1 Frecuencia

Al número de ciclos completos de vibración por unidad de tiempo se lo denomina frecuencia y su unidad de medición es el Hertz (Hz). A los sonidos de frecuencias bajas y grandes longitudes de onda se los llama "graves". Los sonidos de alta frecuencia y de pequeñas longitudes de onda se los llama "agudos". Zona intermedia sonidos de frecuencias "medias".

### 3.2 Velocidad de propagación

Velocidad de propagación del sonido a la velocidad con que las ondas sonoras se alejan de la fuente. Esta velocidad se expresa en metros/segundos, y su valor varía según el medio de propagación. En la tabla 1 se observan algunos valores típicos.

MATERIA	TEMPERATURA	VELOCIDAD
Aire	0°	332 m/s
Aire	20°	344 m/s
Agua	20°	1482 m/s
Madera	-	4000 m/s
Acero	-	5200 m/s

Tabla 1. Velocidad de propagación para distintos materiales.

### 3.3 Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia que existe entre dos puntos de máxima presión, correspondientes a la onda sonora que se está propagando.

Normalmente, al hacer vibrar un cuerpo, no se obtiene un sonido puro, sino un sonido compuesto de sonidos de diferentes frecuencias. A estos se les llama armónicos. La frecuencia de los armónicos, siempre es un múltiplo de la frecuencia más baja llamada frecuencia fundamental o primer armónico. A medida que las frecuencias son más altas, los segmentos en vibración son más cortos y los tonos musicales están más próximos los unos de los otros [3].

### 3.4 Serie de Fourier y su transformada

La serie de Fourier es apropiada para representar una señal periódica como suma ponderada de componentes sinusoidales relacionados armónicamente mientras que los coeficientes de ponderación representan las amplitudes de cada uno de los armónicos, y la magnitud al cuadrado de cada coeficiente de ponderación representa la potencia del armónico correspondiente. La transformada de Fourier se utiliza para el análisis de frecuencias de una señal en tiempo discreto, entonces se convierte la secuencia en el dominio del tiempo en una forma equivalente, en el dominio de la frecuencia.

#### 4. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el procedimiento experimental se emplearon los siguientes equipos ubicados en la Universidad Nacional sede Bogotá, en los talleres de ensayos mecánicos y el IEI:

- Máquina Universal de Ensayos SHIMADZU UH 500 kN.
- Máquina Universal de Ensayos SHIMADZU AG-IS 5kN
- Máquina de Ensayo Charpy de fabricación alemana VEB WERKSTOFFPRÜFMASCHINEN LEIPZIG.

Accesorios y equipos de cómputo:

- Sensor de presión sonora (micrófono) con su respectiva interfaz Vernier LabPro.
- Software Logger Pro.
- Computadora personal conexión USB.

##### 4.1 Preparación de las probetas

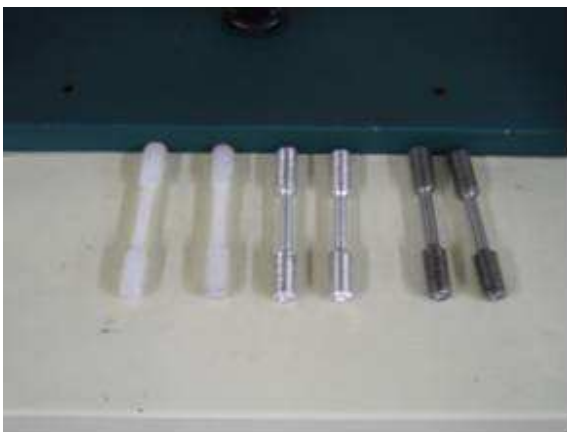


Figura 2. Probetas preparadas. Teflón, aluminio y acero 1020.

Las probetas de ensayo fueron maquinadas para tener las dimensiones estándar del ensayo de tracción según la norma ASTM A370-09, Figura 2, con una sección central

de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y longitud de la sección central de  $\frac{1}{4}$ " y extremos roscados de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro para una longitud total de 5". Se prepararon 2 probetas por cada tipo de material: acero 1020, aluminio y teflón.

También se prepararon probetas para los ensayos de impacto Charpy. En la figura 3 se observan algunas probetas de madera, aluminio y acero usadas en el ensayo.



Figura 3. Probetas de ensayo Charpy usadas.

##### 4.2 Montaje de prueba de sonido

Para realizar este montaje, fue necesario el reconocimiento de la interfaz y adquisición de datos directamente al software. Se observa que la ubicación del micrófono respecto de la fuente de sonido es importante, tanto distancia como ángulo.

Debido al espacio restringido en la máquina de ensayo Charpy se ubico y fijo el micrófono lo más cerca posible del lugar de impacto de la probeta. En la figura 4 se ilustra la forma como fue ubicado el dispositivo de toma de datos, se muestra una foto de la máquina de ensayo Charpy usada, en la figura 5.



Figura 4. Montaje de micrófono para registrar presión sonora en función del tiempo durante el impacto.



Figura 5. Máquina de ensayo Charpy.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el ensayo de tracción se muestran en la Tabla 2. La probeta de acero no falló y por los resultados mostrados se sabe que no entró en la región de deformación plástica pues según los datos registrados el comportamiento de la carga vs la deformación fue lineal. No se logró llevar a rotura porque el sistema de mordazas usados solamente resiste una carga de 2000 Kgf. Sin embargo el comportamiento de este material es característico al obtenido en la literatura especializada.

Los resultados obtenidos para el aluminio son muy coherentes con los reportados por los fabricantes, entre 16.3 y 20.4 Kgf/mm<sup>2</sup>. Para el caso ensayado la probeta de aluminio utilizada no contiene elementos de aleación. Las fallas de las dos probetas de aluminio son de tipo dúctil, alcanzando alargamientos promedios de 25%.

Forma: Cilíndrica

	Diametro	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm
ALUMINIO 1	6.7600	100.0000
ALUMINIO 2	6.5600	100.0000
ACERO 1	6.5000	100.0000

Nombre	Max. Carga	Max. Esfuerzo
Unidades	kgf	kgf/mm <sup>2</sup>
ALUMINIO 1	744.393	20.7405
ALUMINIO 2	703.604	20.8176
ACERO 1	1999.44	60.2548

Tabla 2. Resultados de ensayos de tracción SHIMADZU UH-500 kN.

## 5.1 Datos de presión sonora e impacto

Se realizó una serie de pruebas para adquirir señales de sonido o presión sonora al momento de impacto en el ensayo Charpy para probetas preparadas de manera artesanal en madera y dos probetas de prueba estándar de acero 1020.

En las figuras 6 y 7 se ilustra el comportamiento sonoro de algunas probetas de madera mientras que en la figura 8 el comportamiento sonoro de las probetas de acero, con un análisis en transformación del rango de estudio a espectro de frecuencias por medio de la herramienta Transformada rápida de Fourier FFT.

En la Tabla 3 se ilustra la información obtenida para las probetas ensayadas en la máquina de impacto Charpy y el resultado del análisis del sonido.

Probeta	Ei (kpm)	Er (kpm)	Pico de frecuencia (Hz)	FFT (Amplitud u.a.)
Madera 2	0,80	0,65	1000-1020	0,0563
Madera 3	0,55	0,40	845-850	0,00996
Madera 4	0,95	0,80	2980-2990	0,015
Madera 5	2,20	2,05	850-859	0,0199
Madera 6	0,90	0,75	14,6-19,5	0,00749
Madera 7	1,15	1,00	1285-1290	0,00845
Acero 1	5,20	5,05	303-308	0,0116
Acero 2	3,95	3,80	281-283	0,00494

Tabla 3. Resultados pruebas ensayo Charpy y análisis de sonido.

En la prueba de ensayo Charpy primero se determinó la energía de pérdidas por fricción en la máquina la cual fue de 0.15 kpm. La máquina de ensayo Charpy tiene una capacidad máxima de energía de 30 kpm. Esto implica una pérdida del 0.5% que es aceptable para la investigación. Respecto a la escala de medición el visor de lectura de la máquina, permite un error de apreciación de 0.05 kpm.

La primera columna de la tabla 3 es la lectura directa en la máquina, y la segunda columna indica la energía absorbida por la probeta en el impacto, la cual es la diferencia entre la lectura y la pérdida por fricción de la máquina.

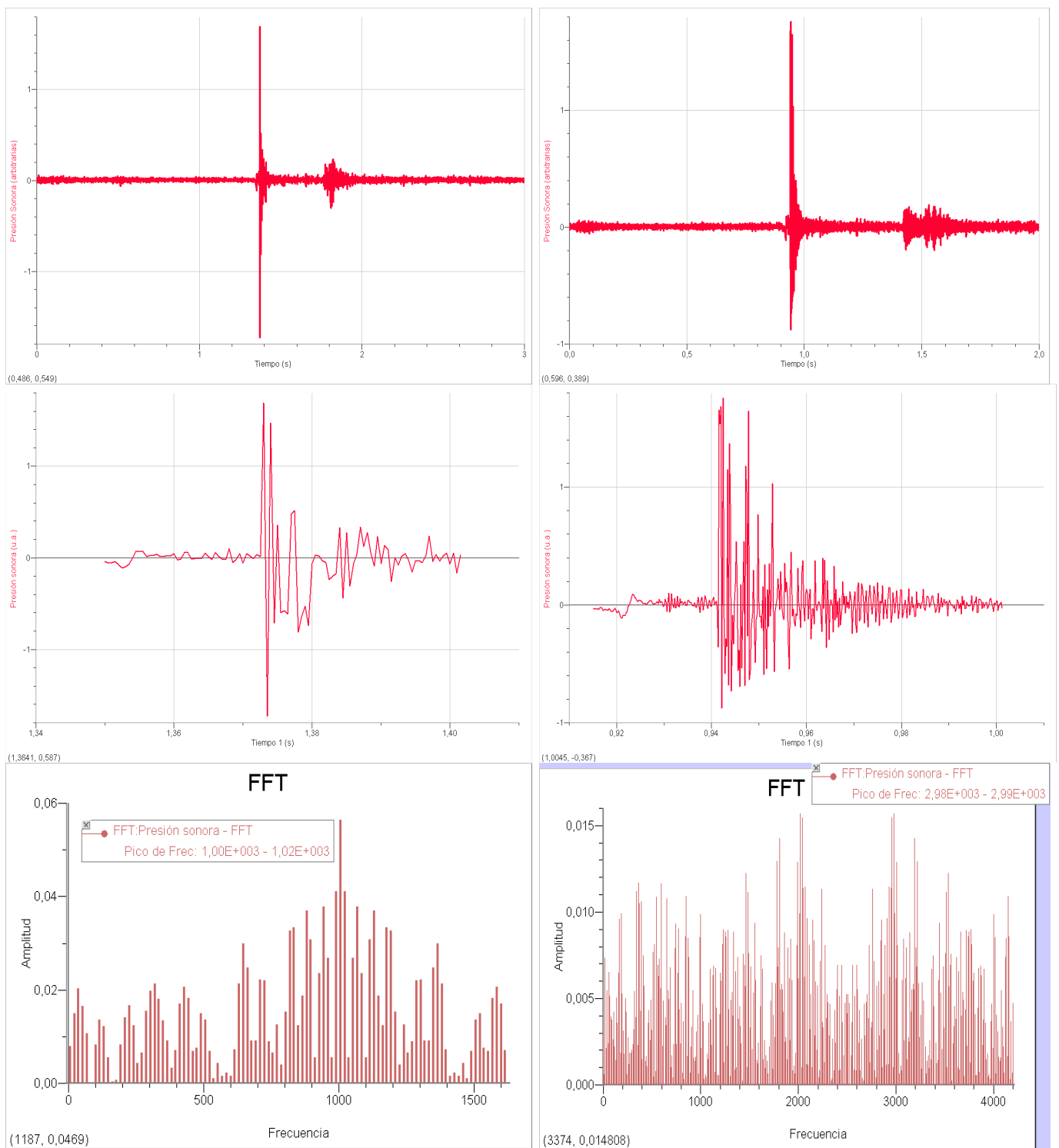


Figura 6. Resultados de la adquisición de sonido en ensayo de impacto. Presión sonora vs tiempo. Espectro de frecuencias. Probeta Madera 2.

Figura 7. Resultados de la adquisición de sonido en ensayo de impacto. Presión sonora vs tiempo. Espectro de frecuencias. Probeta Madera 4.

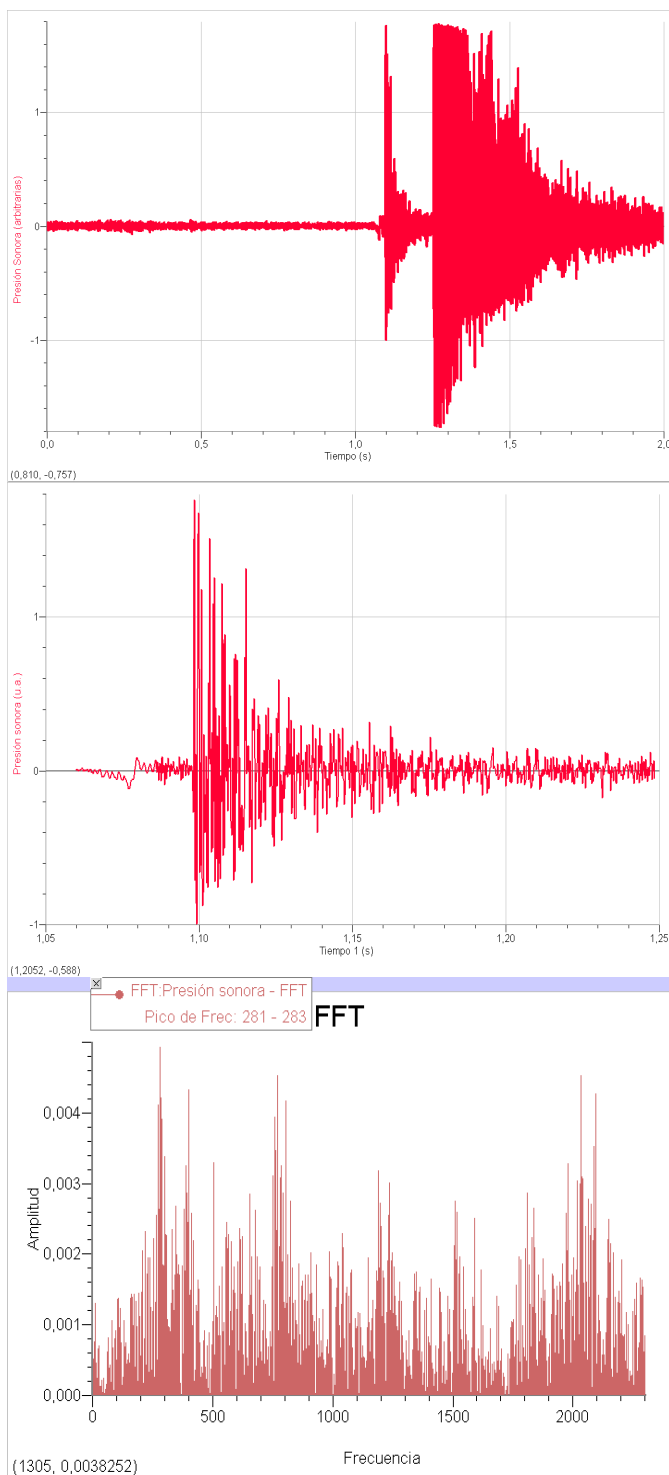


Figura 8. Resultados de la adquisición de sonido en ensayo de impacto. Presión sonora vs tiempo. Espectro de frecuencias. Probeta Acero 2.

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la adquisición de sonido no es concluyente la relación entre la energía

absorbida y los datos la presión sonora registrada. Se observa una dispersión de magnitudes en los datos de energía de impacto debido a causas probables como:

En el caso de la madera, no existió un control de la geometría de la probeta, pues se preparó de manera artesanal con solo propósitos de indagación y también no se tiene control de la orientación de las fibras de madera. Respecto del análisis de sonido, se espera que las frecuencias pico en la madera sean altas, como ocurrió en la mayoría de casos, mayores a 800 Hz. Sin embargo en la probeta madera 6 mostró una frecuencia baja. Respecto a la amplitud no es concluyente pues tiene gran variabilidad aun entre los mismos materiales.

Respecto de las probetas de acero mostraron frecuencias pico por el orden de los 280-305 Hz, estando relativamente cerca. Sin embargo los datos de energía de impacto difieren en más de 30%.

Lo que sugieren los resultados preliminares es que puede existir una relación directa entre el tipo de material de probeta ensayado y la frecuencia pico. La tendencia es que para el caso de la madera las frecuencias sean mayores. En etapas posteriores de desarrollo del experimento se espera obtener mayor claridad sobre este asunto, y entender claramente su interrelación con las propiedades mecánicas medidas.

## 7. AGRADECIMIENTOS

A la oficina de investigaciones de la Universidad de Ibagué por la financiación del proyecto 09-152-800027, al Ingeniero Daniel Eduardo Villalobos por la colaboración en la obtención y análisis de resultados y al personal de laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Askeland D. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tercera Edición. Editorial Thomson. 508 – 526.
- [2]. Callister W. Fundamentals of Materials Science and Engineering. 5 Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Möser M. y Barros J. Ingeniería acústica. Segunda edición. Springer. 2009, 518 p.
- [4]. Smith, W.F., Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 2ª ed. 1998, Madrid [etc.]: McGraw-Hill. XIII, 715 p., [4] p. de lám
- [5]. Holt, J.M. and American Society for Testing and Materials. Committee E-28 on Mechanical Testing, Charpy impact test: factors and variables. ASTM special technical publication. 1990, Philadelphia, PA: ASTM. 214 p.