

Detección de materiales mediante ultrasonido

Hugo Sánchez-Salguero
Edmundo Sánchez-Salguero
Raquel-Sarahi Rodríguez-Angulo

Laboratorio de Investigación en Procesamiento de Señales (LIPSE),
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).
Unidad Profesional Adolfo López Mateos,
Av. IPN, Col. Lindavista, 07738 México, DF.
MÉXICO.

correo electrónico: salguero@ipn.mx
edsanchez@ipn.mx

Recibido el 11 de enero de 2007; aceptado el 3 de septiembre de 2007.

1. Resumen

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema que sea capaz de diferenciar distintos materiales utilizando ondas ultrasónicas. El método consiste en enviar una señal ultrasónica desde un transductor ultrasónico hacia el material y procesar la señal de eco en frecuencia mediante la transformada discreta de Fourier (DFT). El análisis del espectro en frecuencia proporcionará las características propias del material. Se desarrolló toda la electrónica necesaria para controlar el transductor ultrasónico, así como el *software* para capturar señales (ecos) y procesarlas en una computadora personal.

Palabras clave: ultrasonido, DFT (transformada discreta de Fourier), espectro en frecuencia.

2. Abstract (Detection of materials by means of ultrasound)

The main purpose of this work is to design a system capable to differentiate different materials using ultrasonic waves. The method consists in sending an ultrasonic wave from an ultrasonic transducer to the material and to process the echo signal in frequency by using the Discrete Fourier Transform (DFT). The analysis of the frequency spectrum provides the own characteristics of the material. All the circuitry necessary to control the ultrasonic transducer, as well as the software to

capture and to process the echo signals in a personal computer was developed.

Key words: ultrasound, DFT (Discrete Fourier Transform), frequency spectrum.

3. Introducción

El mundo de hoy requiere de mayor y mejor tecnología, así como de nuevos métodos que se apliquen en las diversas áreas de los procesos de producción y que sean relativamente baratos. No existe una forma única de detectar un material ya que depende fundamentalmente del tipo de material bajo estudio, podemos citar algunas tecnologías como son los escaners de rayos X con diferentes niveles de sensibilidad, los escaners de rayos gama, la espectrometría de movilidad iónica, la de pulso de inducción de alta sensibilidad, etc., que son, en general, muy costosas.

En este trabajo describiremos un sistema desarrollado con el propósito de diferenciar materiales por medio de ondas ultrasónicas.

Las ondas ultrasónicas [1] pueden ayudar a medir confiable y rápidamente el espesor de materiales y su integridad, es decir, detectar defectos internos y otras propiedades físicas de los mismos sin afectar sus características. Los beneficios de las pruebas ultrasónicas son numerosos y virtualmente no hay límites en los tipos de aplicaciones y en los problemas que pueden ser resueltos, tan sólo hay que disponer del transductor adecuado, es decir, la frecuencia de operación, la potencia de excitación y el tipo de convergencia del haz ultrasónico.

En este trabajo se presenta el diseño del sistema (*hardware* y *software*), se analizan las señales de eco mediante el uso de la transformada discreta de Fourier (DFT) y se presentan algunos de los resultados para diferenciar los materiales.

4. Desarrollo

4.1 Diseño del sistema

De los distintos transductores que existen en el mercado, se seleccionó el transductor HE-US33X de marca *Hexamite*, el cual trabaja a 40 kHz, tiene una salida digital y una analógica,

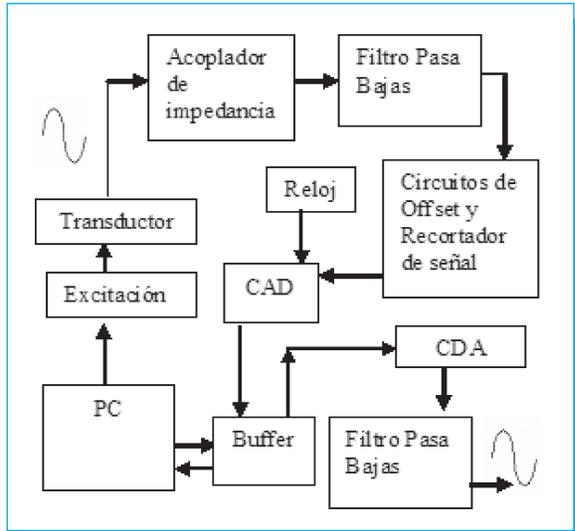


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema diseñado.

siendo esta última la utilizada en este trabajo. Se realizaron pruebas con el mismo para ver su comportamiento y, una vez caracterizado [6,7], se procedió al diseño del sistema [2,3,4,5].

El sistema diseñado se muestra por bloques en la figura 1, el cual se controla por medio de la computadora personal.

El acoplador de impedancias (circuito operacional TL084) se utiliza para evitar reflexiones parásitas en el transductor (figura 2).

Los filtros diseñados pasa bajas son de tipo Butterworth de 4° orden con una frecuencia de corte de 40 kHz [2]. Se usaron los circuitos operacionales TL084 (figura 3).

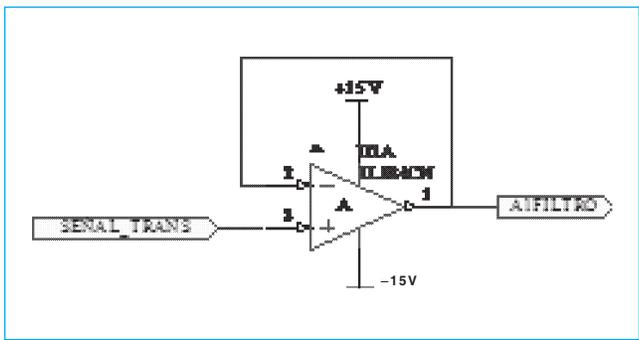


Fig. 2. Acoplador de impedancias.

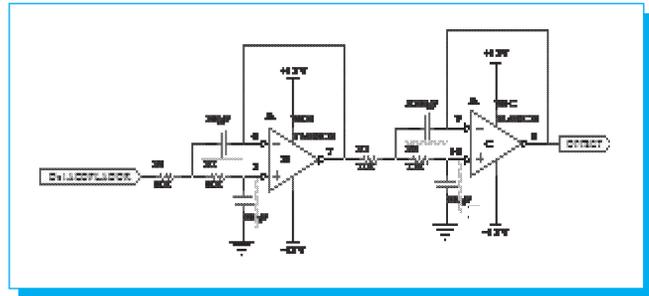


Fig. 3. Filtro pasa bajas.

El circuito de offset (figura 4a) consiste básicamente de un divisor de voltaje y un sumador que hace que la señal de entrada quede sobre una señal de C.D. de 2.5 V, esto es necesario debido a que el convertidor analógico-digital que se utilizó es monopolar, es decir, trabaja en el intervalo de 0 a +5 volts.

Para evitar que el CAD (convertidor analógico-digital) pueda dañarse por algún pico no deseado utilizamos un circuito recortador, con él impedimos que el voltaje sobrepase los +5 volts (figura 4b).

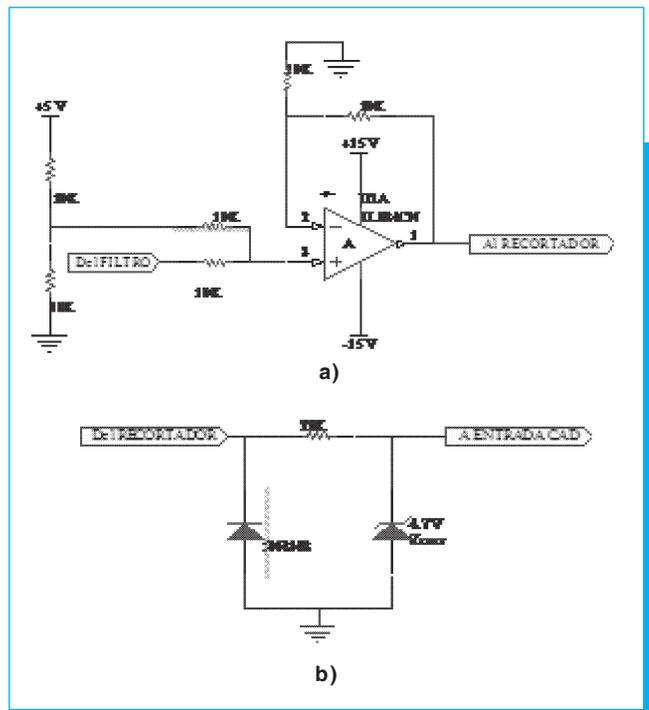


Fig. 4. a) Circuito de offset; b) circuito recortador.

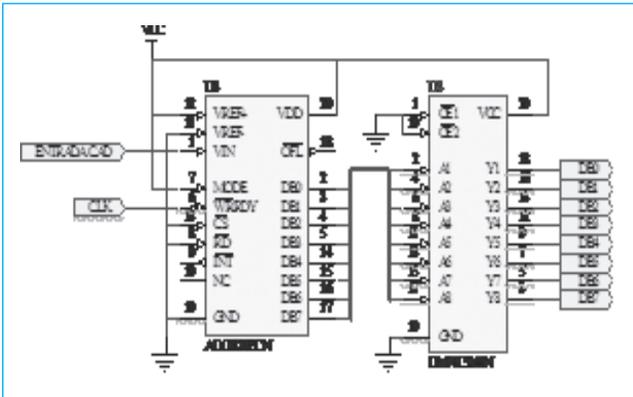


Fig. 5. Convertidor analógico-digital y buffer.

La salida del convertidor analógico-digital (ADC-0820) va conectada a un buffer de interfaz entre los datos digitales y el puerto paralelo de la PC (figura 5) [3,4]. Al convertidor se le colocó una señal de reloj de 320 kHz (LM555) (figura 6) para obtener la mayor cantidad de muestras posibles de la señal y así poder visualizar claramente las variaciones de la misma.

Posteriormente se utiliza un convertidor digital-analógico (DAC-0800) para visualizar todo el proceso (figura 7), esto es básicamente con el propósito de verificar si todo el proceso de conversión (CAD), captura, almacenamiento y luego reconversión (CDA) está funcionando correctamente.

En el bloque de excitación (figura 8) se encuentran los circuitos monoestables necesarios (74LS121) para que el transductor funcione, se requieren de pulsos de 100 μ s y de 10 ms para usarlos en el control por medio de la PC.

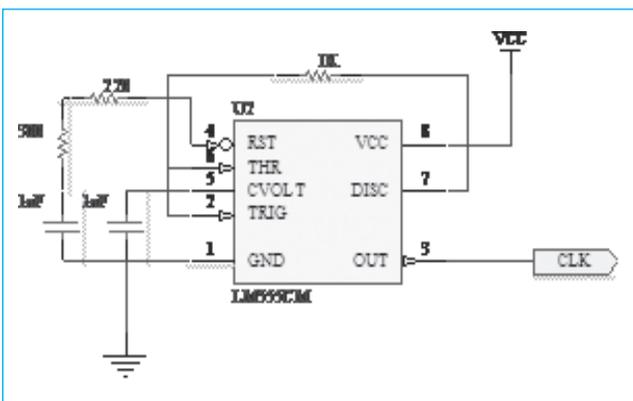


Fig. 6. Circuito de reloj.

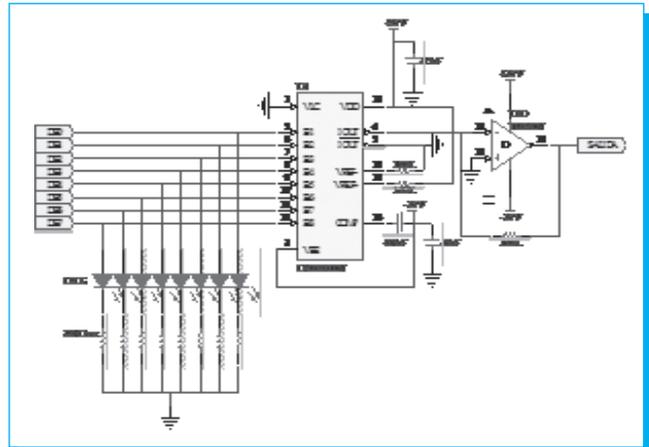


Fig. 7. Convertidor digital-analógico.

Otra de las partes que conformó el desarrollo de este proyecto fue la programación. El lenguaje utilizado fue C (de Borland) y la comunicación con la PC se hizo por medio del puerto paralelo. Para utilizar el puerto paralelo [5] fue necesario configurarlo desde el BIOS de la PC, ya que inicialmente el puerto está configurado para su uso con la impresora (sólo salida de datos). La configuración fue EPP1 (*Enhanced Parallel Port*) para que pudiera funcionar de forma bidireccional.

Se utilizaron: un bit de control para enviar un pulso que habilite la excitación del transductor, un bit de estado para determinar el tiempo total durante el cual va a estar capturando el puerto obedeciendo las condiciones de captura, esto, con la finalidad de que se pueda capturar la señal enviada del

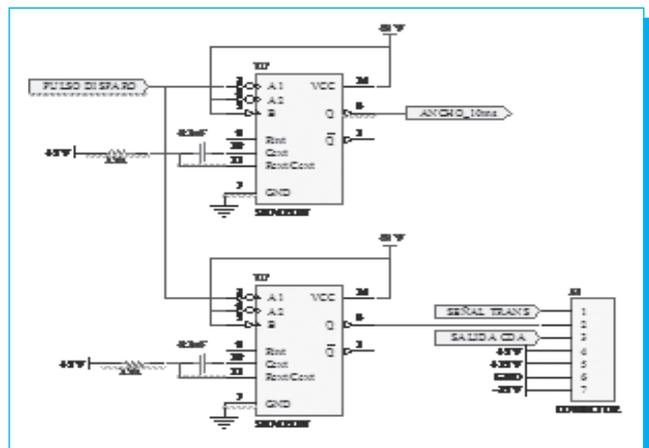


Fig. 8. Circuitos de excitación.

ultrasonido en el tiempo únicamente necesario y así evitar capturar datos que estén fuera del intervalo de la señal y por tanto causar la saturación de la memoria en su almacenamiento y, por último, los ocho bits de datos los cuales tendrán la información de la señal.

4.2 Análisis de las señales de eco

Como parte del cuerpo del programa, y para el análisis de las señales de eco, se desarrolló una función que efectúa el cálculo de la transformada discreta de Fourier (DFT, *Discrete Fourier Transform*). El algoritmo que se utilizó para la transformada discreta de Fourier fue la de «diezmado en el tiempo» [8], que se muestra en la ecuación (1).

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n W_N^{nk} \quad (1)$$

$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$

siendo:

x_n los n datos de entrada;

$$W_N^{nk} = \exp^{-j(2\pi/N)nk}$$

N el número total de muestras y

X_k los k datos de salida (espectro)

Cambiando el formato y separando en parte real e imaginaria la ecuación (1) queda como se muestra en las ecuaciones (2) y (3):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \left[\cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) + j \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \right] \quad (2)$$

o bien

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x_n \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (3)$$

En la figura 9 se muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado. Aquí se muestran las etapas fundamentales de inicialización (incluye verificar la bidireccionalidad del puerto), procesamiento de los datos (cálculo de la DFT), almacenamiento en archivos y graficación de la señal de entrada y de los resultados procesados.

Los datos almacenados en archivos también nos permiten utilizar otros programas como Excel, de tal forma que podamos aprovechar las características de dichos programas para la graficación de los resultados. Una vez que se conjuntó el *hardware* y el *software* se prosiguió a realizar pruebas con distintos materiales como madera, acrílico, cartón, lámina de metal y vidrio.

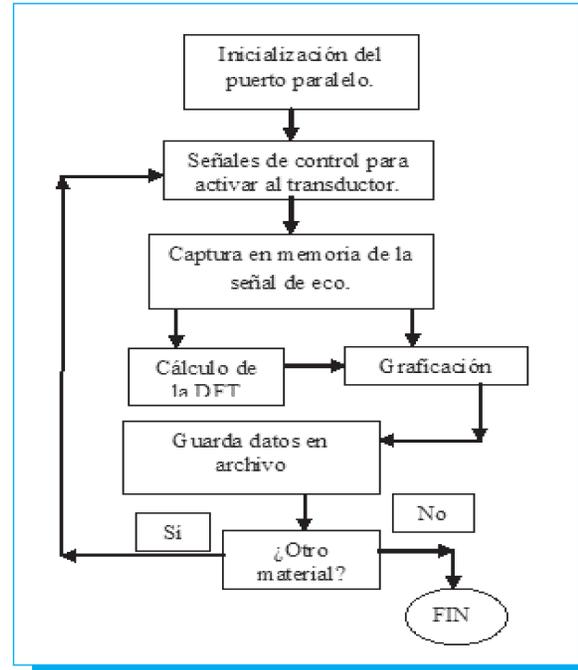


Fig. 9. Diagrama de flujo del programa desarrollado.

4.3 Resultados

Primeramente se verificó en forma aislada el *hardware* de digitalización sin el transductor ni la computadora personal, utilizando para ello el generador de señales a la frecuencia de operación del transductor.

La imagen de la figura 10 muestra una señal de prueba de entrada de tipo senoidal de 40 kHz y la señal obtenida después del CAD. Se puede observar claramente que el sistema de conversión CAD y CDA está funcionando como se esperaba.

La figura 11 muestra una señal ultrasónica típica al reflejarse en un material determinado, esto visto en un osciloscopio digital. En la parte superior extremo izquierda de la figura 11, se muestra el pulso de excitación del transductor. En la parte inferior izquierda, se muestra el pulso de relajación y en la parte inferior derecha el eco reflejado en un cierto material.

Los materiales bajo prueba se pusieron a una distancia de 1 m del transductor en línea de vista y fueron colocados en forma perpendicular al transductor. Aunque también se hicieron mediciones a otras distancias (1.50 y 1.12 m) como lo muestran las figuras 11 y 12, respectivamente.

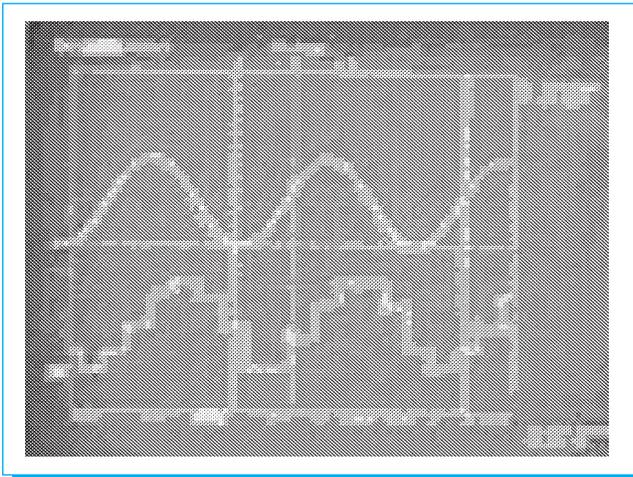


Fig. 10. Entrada al sistema de una señal de prueba de tipo senoidal de 40 kHz (arriba) y la salida en el CDA (ocho muestras/periodo, abajo).

La figura 12 también nos muestra la señal capturada en la computadora personal para su posterior análisis. La parte superior nos muestra la señal de relajación del transductor y el eco reflejado en un material, note que también se observa otro segundo eco, que corresponde a otro material más lejano en la misma dirección del transductor. En la parte inferior vemos una amplificación del primer eco.

La figura 13 muestra los espectros en frecuencia de las señales procesadas para los distintos materiales, en nuestro estudio tales como láminas de cobre, acrílico, plástico, madera y vidrio.

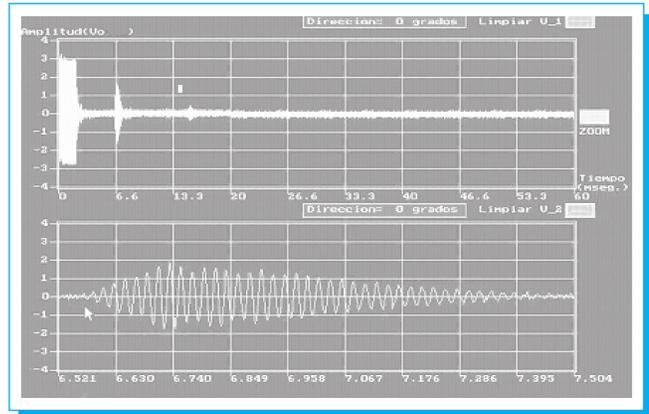


Fig. 12. Señal capturada en la computadora.

En la figura 14 vemos una comparación entre dos materiales, en este caso vidrio vs. madera.

Se pueden observar de las gráficas, diferencias notorias en sus espectros, se pueden determinar las frecuencias típicas que caracterizan a un material y que son diferentes de otros, se pueden medir sus diferentes amplitudes y distribución de las líneas espectrales, por lo que podemos identificar los materiales bajo prueba.

Para generalizar el proceso y tratar de identificar cualquier otro material, habría que hacer primero las pruebas necesarias de caracterización de cada material y luego compararlos en relación a una base de datos para finalmente identificarlos.

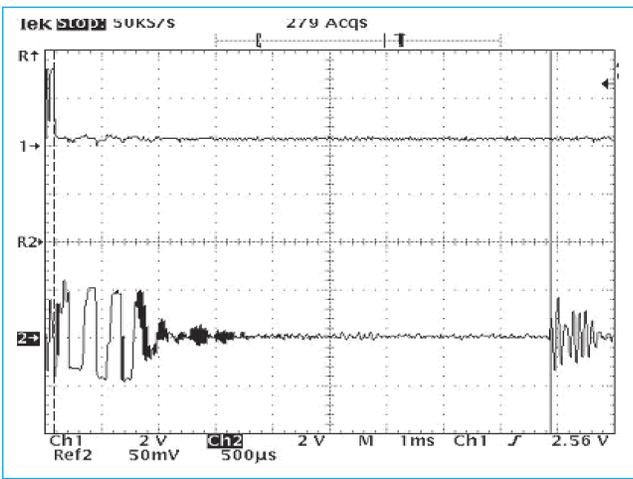


Fig. 11. Señal ultrasónica reflejada en una lámina de madera de 1.50 m.

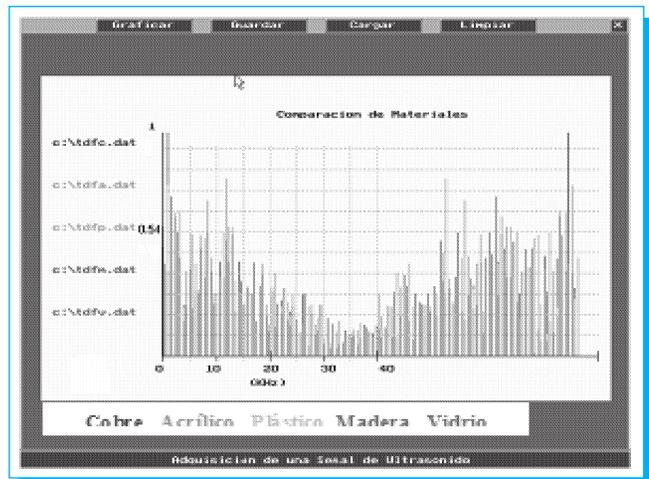


Fig. 13. Espectro de las señales de eco.

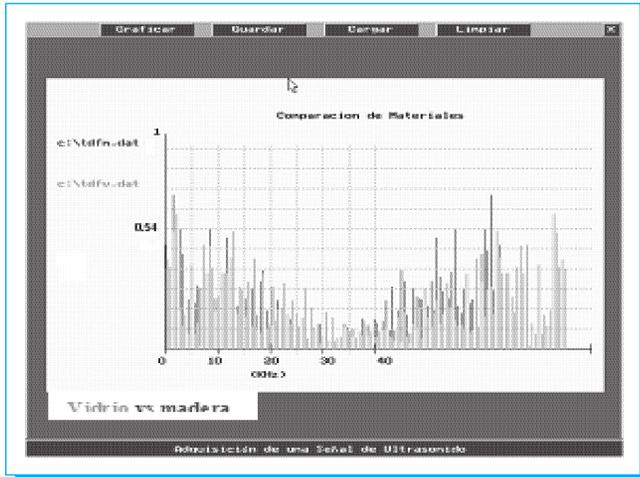


Fig. 14. Espectros en frecuencia de vidrio y madera.

Por otra parte, la detección y análisis de diferentes ecos que se detecten (2º ó 3º eco) podrían darnos información de las características más detalladas del material si cumplen con ciertas condiciones como son tamaño, tipo de material, etc. Se podría determinar, si el material tiene huecos o fracturas o fisuras, pero eso depende de la frecuencia de operación del transductor, de la potencia utilizada y del área del cono de dispersión del haz ultrasónico.

En nuestro caso, el objeto más pequeño que se puede detectar es de 6 x 4 x 3 cm y a una distancia de 80 cm [6] y el segundo eco sería detectable a una distancia de 1 m en línea de vista, si y sólo si, este segundo objeto fuera de mayor tamaño que el primero y de características adecuadas.

5. Conclusiones

El sistema desarrollado (*hardware* y *software*) nos ha permitido, en esta etapa, identificar en forma satisfactoria

materiales como vidrio, madera, lámina de cobre, acrílico y plástico.

Como se pudo observar en las gráficas (figuras 13 y 14), se ve claramente la diferencia entre los materiales, se observan diferencias en sus magnitudes y en sus defasamientos. El aspecto de las magnitudes no es igual en los distintos materiales debido a que estos tienen un índice de refracción diferente y absorben distintas cantidades de la señal, esto es, algunos materiales absorben más la energía de la señal emitida por el transductor y por tanto regresa el eco con menor intensidad y además la señal de eco tiene una forma diferente debido a las propiedades del material.

6. Referencias

- [1] Stefan Kocis and Zdenko Figura. *Ultrasonic Measurements and Technologies*. Chapman & Hall. 1996.
- [2] Databook. «Special Purpose Linear Devices». *National Instruments*, 1989. pp 5-52.
- [3] Databook. «Data Conversión/Acquisición». *National Instruments*, pp. 5-77 (ADC); pp 7-01 (DAC).
- [4] Databook. LS/S/TTL Logic». *National Instruments*, pp 4-116 (74LS121) pp 2-03 (74LS00).
- [5] Interfacing the Standard Parallel Port. <http://www.senet.com.au/~cpeacock>
- [6] Edmundo Sánchez Salguero & Hugo Sánchez Salguero. «Determinación experimental de las características de un transductor ultrasónico de 40 kHz». *Memorias de CONCAPAN XXV*. IEEE Managua, Nicaragua, 9 al 11 de noviembre 2005.
- [7] Edmundo Sánchez Salguero & Hugo Sánchez Salguero. «Caracterización de un transductor ultrasónico». *Memorias del 4º Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas*. ESIME-Zacatenco. México DF., 14-18 Noviembre, 2005.
- [8] Alan V. Oppenheim & Ronald W. Schaffer. *Digital Signal Processing*, Ed. Prentice. USA. 1975.

REDALYC: Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
(UAEM)
www.redalyc.org