

## CARACTERIZACIÓN DE EMULSIONES DE AGUA Y ACEITE POR ULTRASONIDOS

REFERENCIA PACS: 43.35.Zc

Higuti, R. T<sup>1</sup>; Furukawa, C. M.<sup>2</sup>; Adamowski, J. C.<sup>2</sup>

1 Unesp - FEIS - Dep. Eng. Eléctrica,

Av. Brasil 364

15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

Tel/Fax: 55 187 622 125

E-Mail: tokio@dee.feis.unesp.br (actualmente en el Instituto de Acústica - CSIC)

2 Univ. São Paulo, Dep. Eng. Mecatrónica,

Av. Prof. Mello Moraes, 2231

05508-900, São Paulo, SP, Brasil

Tel: 55 118 185 516

E-Mail: cmfuruka@usp.br, jcadamow@usp.br

### ABSTRACT

This paper presents an ultrasonic method to measure small concentrations of water in lubricating oil. It uses an ultrasonic measurement cell composed by a piezoceramic emitter (5 and 10 MHz), and a PVDF receiver of large aperture that eliminates the effect of diffraction. The concentrations of water of the samples were in the range of 0 to 5% in volume, and the results showed that these low concentrations can be discriminated within a resolution of 0.2% in the studied range. The maximum error obtained in the measurement of the propagation velocity is 0.003% by using an accurate signal processing method.

### RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados de medidas de pequeñas concentraciones de agua en aceite lubricante utilizando una célula de medida por ultrasonidos. Esta célula es compuesta por un emisor piezocerámico (5 y 10 MHz), y un receptor de PVDF de grande apertura, que elimina efectos de difracción. A través de la medida de la velocidad de propagación, se puede diferenciar cantidades de agua en aceite con una resolución de un 0,2% en volumen, en el rango comprendido entre 0 y 5%. El máximo error en la medida de la velocidad de propagación es 0,003% a través de la utilización de una técnica de procesamiento digital de señales precisa.

### INTRODUCCIÓN

La detección de pequeñas concentraciones de un líquido disperso en otro es necesaria en diversas aplicaciones. Por ejemplo, el petróleo transportado en grandes barcos suele tener pequeñas cantidades de agua, que debe ser detectada para que se pague por la real cantidad de petróleo. Lo mismo ocurre en el transporte de sustancias con alta viscosidad por tuberías, que son mezcladas con agua para reducir la viscosidad y facilitar el flujo [1]. En fábricas hidroeléctricas, el aceite, utilizado en grandes cantidades, puede ponerse contaminado por agua, debido a la alta humedad del ambiente, o a problemas en los sistemas de refrigeración. Esa contaminación debe ser detectada a niveles bajos, alrededor del 1% en volumen de agua, pues

altera las propiedades lubricantes del aceite, pudiendo afectar el buen funcionamiento de las máquinas. En este trabajo se presentan medidas de la velocidad de propagación en muestras de emulsiones de agua en aceite, donde se muestra la posibilidad de hacerse la detección de pequeñas proporciones de agua. Se utiliza una célula de medición de parámetros acústicos con un transductor doble-elemento [2], juntamente con una técnica de medida precisa de la velocidad de propagación.

## CÉLULA DE MEDIDA

La célula de medida empleada (fig. 1) ha sido en su origen utilizada para la medida de la densidad de líquidos, y una descripción detallada es dada en otros trabajos [2]. La célula es compuesta por un transductor doble-elemento, cámara de muestra y reflector. El transductor doble-elemento posee un transmisor piezoeléctrico, una línea de transmisión de metacrilato, un receptor de P(VDF-TrFE) - (PolyVinylidene Fluoride TriFluoroEthylene) - de grande abertura que elimina problemas de difracción, y otra línea de transmisión de vidrio, que hace la interfaz con la muestra. El transmisor emite un pulso, y a partir de los múltiples rebotes en la cámara de la muestra, se puede calcular la densidad, velocidad de propagación y coeficiente de atenuación de la muestra, así como la velocidad de propagación en la línea de transmisión de vidrio. Debido a las pequeñas concentraciones utilizadas, y a la precisión en la medida, la única propiedad cuya variación puede ser medida y relacionada a la concentración es la velocidad de propagación.

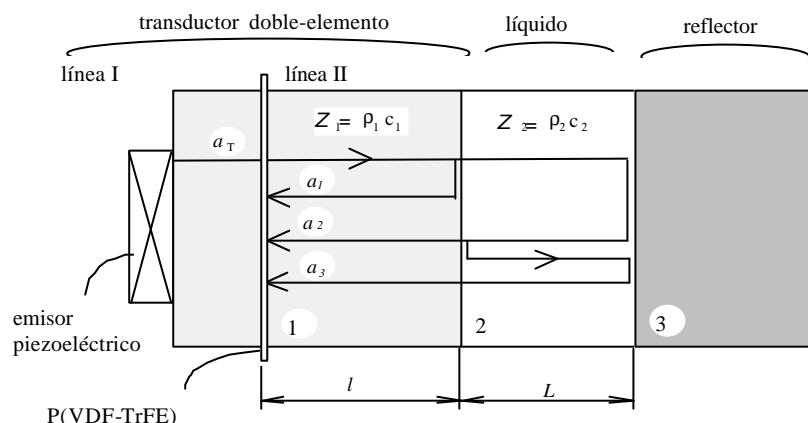


Figura 1 - Célula de medida y transductor doble-elemento.

La velocidad de propagación en la muestra es medida a través del intervalo de tiempo entre los pulsos  $a_1$  y  $a_2$ , o  $a_2$  y  $a_3$ . Siendo  $\Delta t$  el intervalo de tiempo medido, la velocidad es dada por  $2L/\Delta t$ , donde  $L$  es la dimensión longitudinal de la muestra, que es medida previamente con un líquido de referencia, como agua destilada.

Para la medida del intervalo de tiempo, se utiliza la técnica de correlación cruzada, cuya resolución es mejorada por la aplicación de la transformada de Hilbert. La técnica de correlación cruzada tiene su resolución limitada por el intervalo de muestreo utilizado en la adquisición de las señales, lo que limita su aplicación cuando se desea medir pequeñas variaciones. Alternativas son la interpolación de la función de correlación utilizando un polinomio para determinar el punto de máximo de la función, o la aplicación del concepto de señal analítica. La señal analítica de una función  $s(t)$  es una función compleja donde la parte real es la propia función  $s(t)$ , y la parte imaginaria es la transformada de Hilbert de  $s(t)$ . Propiedades útiles cuando se aplica la transformada de Hilbert a una función de autocorrelación son: (1) cuando la función de correlación pasa por su valor máximo, su transformada de Hilbert pasa por cero, hecho que se repite con la fase de la señal analítica de  $s(t)$ ; (2) la fase de la señal analítica de una función de autocorrelación es lineal [3]. Así, calculando el instante de tiempo en el que la fase de la señal analítica pasa por cero, con una simple interpolación lineal, se obtiene el punto de máximo de la función de correlación. En la práctica, se puede aplicar la misma operación a la transformada de

Hilbert de la señal, ya que tomándose pocas muestras cerca del punto de cero, la transformada de Hilbert también puede ser considerada una función lineal, como se puede observar en la fig. 2, donde se muestra la función de correlación entre dos señales de eco, su transformada de Hilbert y la fase de la señal analítica. Con este método, se logra mejoras de cerca de cinco veces en la resolución en tiempo.

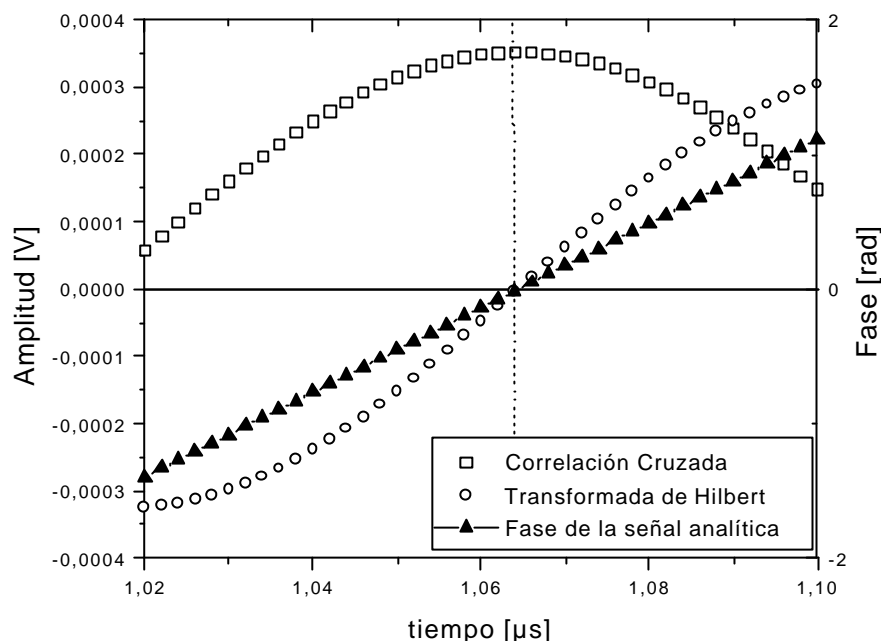


Figura 2 - Cálculo del intervalo de tiempo por correlación cruzada y la transformada de Hilbert.

**PARTE EXPERIMENTAL**

Los experimentos fueron realizados en dos frecuencias distintas: 5 y 10 MHz, utilizando emisores piezoeléctricos comerciales, y a la temperatura ambiente. El emisor piezoeléctrico es excitado con un tren de ondas de un generador de funciones programable (Tektronix AFG 5102) y un amplificador de potencia (Amplifier Research 150A100A). Las señales de eco son amplificadas (Panametrics 5072PR), digitalizadas por un osciloscopio (Hewlett-Packard HP54820A) y enviadas a un ordenador por una interfaz IEEE 488 (GPIB), donde las señales son procesadas.

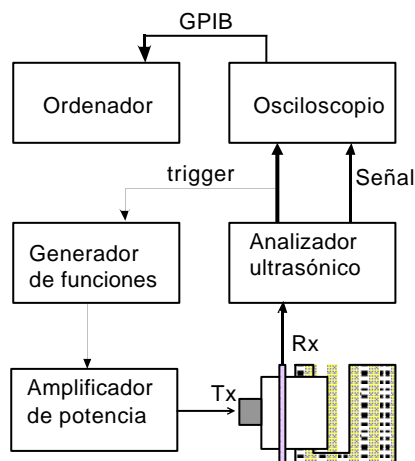


Figura 3 - Montaje experimental.

Las muestras de emulsiones de agua en aceite fueron preparadas en laboratorio, utilizando un tipo de aceite empleado en reguladores de velocidad (Mobil DTE), fornido por la fábrica hidroeléctrica de Ilha Solteira, Brasil. Concentraciones en volumen entre el 0 y el 5% fueron preparadas mezclando agua destilada y aceite con un dispersor (Ika Ultra-Turrax T25).

**RESULTADOS**

La figuras 5 y 6 muestran los resultados obtenidos para la velocidad de propagación en aceite en función de la concentración de agua para las frecuencias de 5 y 6 MHz, realizadas a las temperaturas de 24 y 25°C, respectivamente. En las gráficas, también se ponen las curvas de la velocidad de propagación en la línea de vidrio, que se mantiene constante durante las medidas, donde se puede concluir que la temperatura también se mantuvo constante durante las medidas. Esta observación es importante, pues las pequeñas variaciones en la velocidad de propagación en la muestra pueden ser fácilmente encubiertas por el efecto de la temperatura.

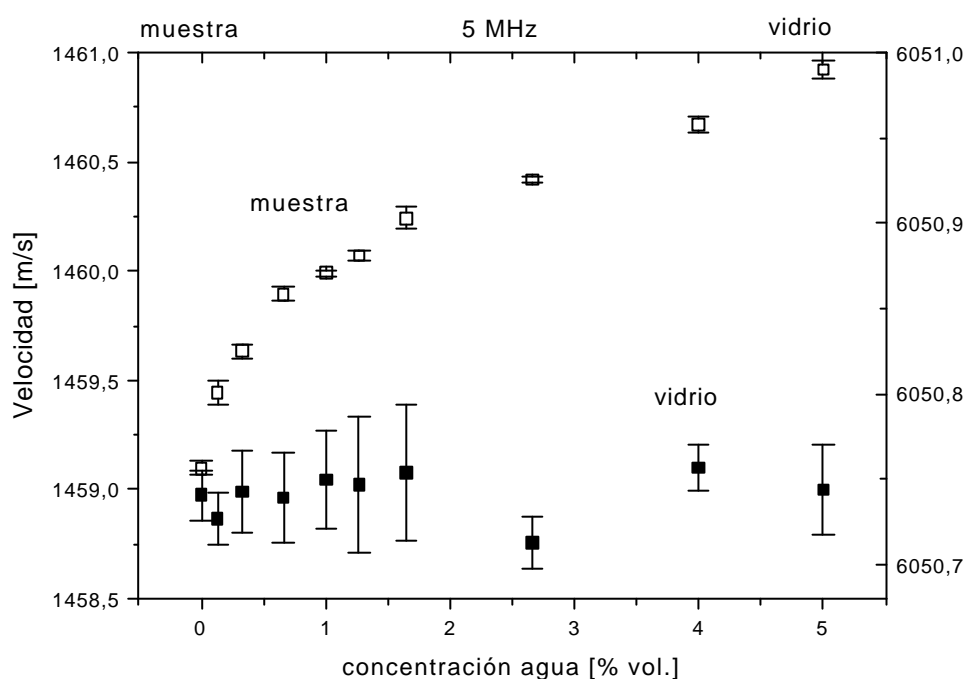


Figura 4 - Velocidad de propagación en función de la concentración de agua en la muestra y línea de transmisión de vidrio en 5 MHz (T=24°C).

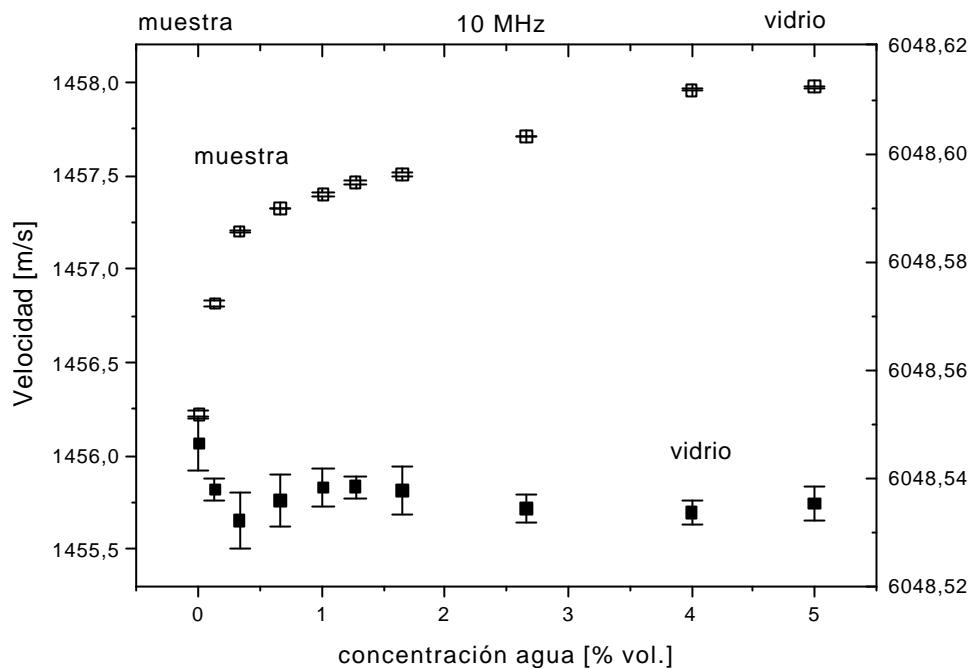


Figura 5 - Velocidad de propagación en función de la concentración de agua en la muestra y línea de transmisión de vidrio en 10 MHz (T=25°C).

La inclinación de la curva de la velocidad es, para la frecuencia de 5 MHz y concentraciones por encima del 1%, de cerca de 0.23 [m/s / % agua]. Como los errores en la medida de la velocidad son de aproximadamente  $\pm 0.04$  m/s, o un  $\pm 0.003\%$ , se puede distinguir concentraciones de agua con resolución de un 0,2%. De ahí se puede notar que la temperatura debe ser controlada para que se pueda medir realmente las variaciones en la velocidad. Si los gradientes en la temperatura son pequeños, este efecto puede ser compensado por la medida en la velocidad de propagación en la línea de vidrio.

## CONCLUSIONES

Las bajas concentraciones de agua en el aceite causan pequeñas alteraciones en los parámetros acústicos, y se necesitan métodos precisos para sus medidas. La técnica de medida descrita permite la medición de la velocidad de propagación con alta precisión, mejorando la resolución en la medida del tiempo. En muestras de agua en aceite a bajas concentraciones, la curva de velocidad muestra una clara dependencia con la concentración, presentando una pendiente de 0.23 [m/s / % agua] en el rango comprendido entre el 1 y el 5% de agua, lo que supone que se puede diferenciar concentraciones de agua alrededor del 0,2%, desde que la temperatura sea controlada o compensada.

## AGRADECIMIENTOS

A las agencias Capes, FAPESP y CNPq, de Brasil, y al ingeniero Kishi de CESP - Ilha Solteira, por haber fornido las muestras de aceite.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Pal, R., "Techniques for Measuring the Composition (Oil and Water Content) of Emulsions - a State of the Art Review", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 84, pp. 141-193, 1994.
- [2] Adamowski, J. C., Buiocchi, F., Simon, C., Silva, E. C. N. and Sigelmann, R., "Ultrasonic Measurement of Density of Liquids", The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 97, pp. 354-361, 1995.
- [3] Cabot, R. C., "A Note on the Application of the Hilbert Transform to Time Delay Estimation", IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, vol. ASSP-29, no. 3, pp. 607-609, 1981.