

Propagación del sonido en cuerpos sólidos

DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DEL SONIDO PARA ONDAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES EN CUERPOS SÓLIDOS.

- Determinación de la velocidad del sonido para ondas longitudinales en poliacrílico a partir de los tiempos de recorrido de una señal de ultrasonido de 1 MHz.
- Medición de ondas de sonido transversales y longitudinales en un cuerpo sólido a través de una placa de lados paralelos orientada oblicuamente.
- Determinación de las velocidades del sonido para ondas longitudinales y transversales a partir de los ángulos límite de reflexión total.
- Determinación del módulo de elasticidad E , del de cizalladura G y del coeficiente de Poisson μ a partir de las dos velocidades del sonido.

UE1070530

04/16 JS

FUNDAMENTOS GENERALES

El sonido se propaga en gases y líquidos exclusivamente en forma de ondas longitudinales. Así oscila la presión alrededor de un valor de equilibrio y produce zonas oscilantes de compresión y depresión. Por los cuerpos sólidos el sonido también se propaga en forma de ondas transversales, en las cuales oscila la tensión de cizalladura. Estas ondas se pueden propagar en un cuerpo sólido, porque allí se encuentran las fuerzas de empuje elásticas necesarias para la transmisión.

Las ondas longitudinales y las transversales tienen diferentes velocidades de sonido. Éstas dependen de la densidad del medio ρ y de las constantes elásticas del cuerpo sólido. En este proceso, la velocidad del sonido de las ondas longitudinales

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}}$$

E : Módulo de elasticidad, μ : Coeficiente de Poisson es mayor que la de las ondas transversales

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

G : Módulo de cizalladura

Los módulos de elasticidad E y de cizalladura G de un cuerpo sólido están enlazados entre sí por medio del coeficiente de Poisson μ :

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Es decir que se pueden calcular las tres magnitudes cuando se conocen ambas velocidades de sonido c_L y c_T .

En el experimento se miden primero los tiempos de recorrido t para el paso de una señal de ultrasonido de 1 MHz a través de tres cilindros de poliacrílico de diferentes longitudes s y se llevan a un diagrama $s-t$ (ver fig. 1). A partir de la pendiente de las rectas ajustadas a los puntos de medida se obtiene la velocidad del sonido longitudinal en poliacrílico.

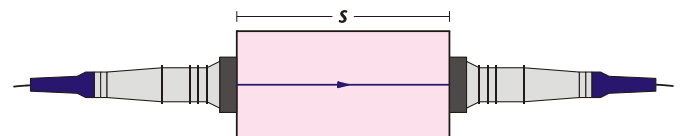


Fig. 1: Montaje para la medición del tiempo de recorrido para el paso de una señal de ultrasonido a través de un cuerpo sólido de longitud s

A continuación se coloca una cubeta llena de agua en el paso de los rayos y se mide el tiempo de paso. Este se acorta adicionalmente colocando una placa de lados paralelos de poliacrílico o de aluminio, porque el sonido se propaga más rápidamente en el material de la placa que en el agua. Exactamente se miden detrás de la cubeta de agua dos señales de ultrasonido separadas, las cuales se pueden atribuir a las diferencias de tiempo de recorrido para la velocidad del sonido de ondas transversales y longitudinales en el cuerpo sólido (ver fig. 2).

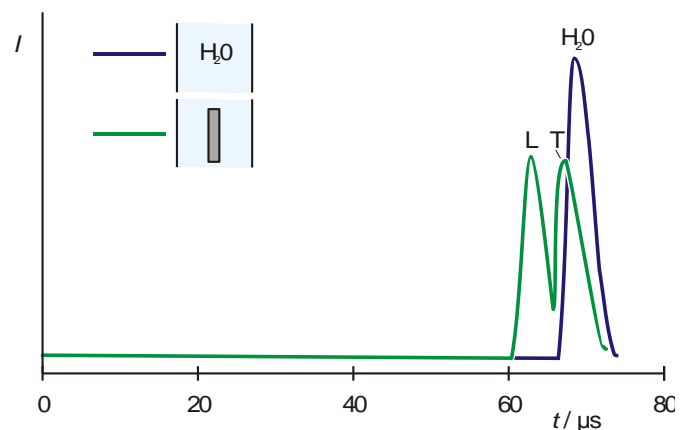


Fig. 2: Señal de ultrasonido después del paso por la cubeta de agua (azul: sin placa de lados paralelos, verde: con la placa de lados paralelos)

LISTA DE EQUIPOS

1 Ecógrafo ultrasónico GS200	1018616 (U100102)
2 Sonda de ultrasonido 1 MHz GS200	1018618 U10015
1 Juego "Ultrasonido en sólidos"	1002584 (U10020)
1 Placa de aluminio	1002585 (U10022)
1 Juego de 3 cilindros	1002588 (U10026)
1 Gel de acoplamiento p. ultrasonido	1002588 (XP999)

Se requiere adicionalmente:
 1 PC con Windows

Si la placa se encuentra colocada oblicuamente en un ángulo α con respecto al rayo incidente, éste va a ser refractado en dos rayos parciales bajo los ángulos β_L y β_T , según la ley de Snell, (ver fig 3).

$$(4) \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

c : Velocidad del sonido en el agua

Como ambas velocidades del sonido c_L y c_T en el cuerpo sólido son mayores que la velocidad del sonido c en el agua, se observa el fenómeno de la reflexión total – separadamente para ondas longitudinales y transversales – en el cual las señales transmitidas desaparecen totalmente. A partir de los ángulos límites, α_L para las ondas longitudinales y α_T para las ondas transversales, se pueden calcular las correspondientes velocidades del sonido:

$$(5) c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \text{ y } c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

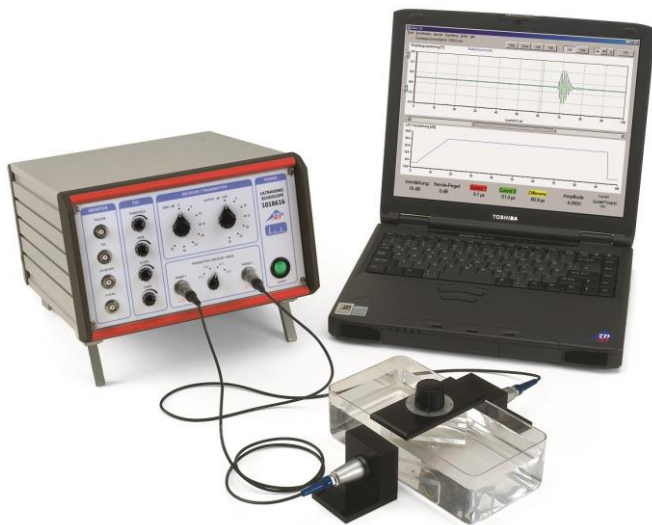
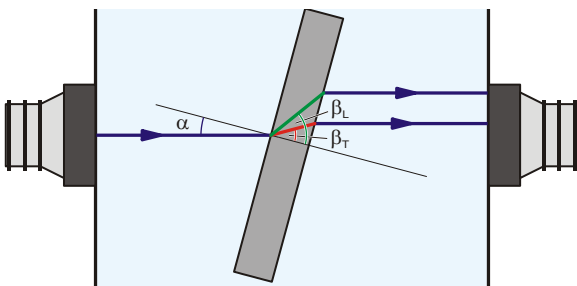


Fig. 3: Montaje de experimentación para la determinación de las velocidades del sonido transversal y longitudinal en un cuerpo sólido a partir de los ángulos de reflexión total.

MONTAJE

- Se conecta en el PC el cabezal de eco de ultrasonido.
- Si es necesario se instala en el PC el software de evaluación.
- Se fijan en los correspondientes soportes ambos sondas de ultrasonido.
- El primer sonda se conecta en la salida PROBE 1, el segundo en la salida PROBE 2 del cabezal de eco de ultrasonido.

EJECUCIÓN

- Se conecta el cabezal de eco de ultrasonido y se pone en marcha el software de evaluación.

a) Mediciones de tiempos de recorrido de ondas:

- La superficie frontal del sonda de ultrasonido se recubre con una capa gruesa del gel de acople de ultrasonido y se presiona contra la cara frontal del cilindro largo de poliacrílico.
- Intensidad de OUTPUT dB, Amplificación GAIN dB, así como los parámetros THRESHOLD, WIDE y SLOPE se ajustan en el cabezal de eco de ultrasonido, para medir una señal de tiempo de recorrido lo más alta posible pero sin estar sobreexcitada.
- Se mide el tiempo de recorrido t desde el inicio del impulso de emisión hasta el inicio del impulso de recepción y se anota en la tabla 1.
- Se realiza la misma medición con el cilindro de poliacrílico medio y con el corto y se anotan en la tabla 1 los tiempos de recorrido.

b) Ondas longitudinales y transversales:

- Se cambia el cilindro de poliacrílico por la cuba de sonido y se presiona el sonda de ultrasonido contra el lado longitudinal.
- Se llena de agua la cuba de sonido.
- Intensidad de OUTPUT dB, Amplificación GAIN dB, así como los parámetros THRESHOLD, WIDE y SLOPE se ajustan en el cabezal de eco de ultrasonido, para medir una señal de tiempo de recorrido lo más alta posible pero sin estar sobreexcitada.
- En la pantalla se marca con el cursor el inicio del impulso de recepción.
- La placa de aluminio con el soporte de muestra se coloca perpendicularmente en el paso de los rayos y se observa el desdoblamiento y el desplazamiento de la señal de recorrido.
- Se gira la placa de aluminio y se determina el ángulo α_L para el cual desaparece la señal producida por las ondas longitudinales (la izquierda).
- Se sigue girando la placa de aluminio y se determina el ángulo α_T , para el cual también desaparece la señal producida por las ondas transversales (la derecha).
- Se cambia la placa de aluminio con el soporte de muestra por la placa de poliacrílico con el soporte muestra y se coloca perpendicularmente en el paso de los rayos.
- Se gira la placa de poliacrílico y se determina el ángulo α_L para el cual desaparece la señal producida por las ondas longitudinales (la izquierda).
- Se sigue girando la placa de poliacrílico y se determina el ángulo α_T , para el cual también desaparece la señal producida por las ondas transversales (la derecha).

EJEMPLO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN

a) Determinación de los tiempos de recorrido:

Tab. 1: Tiempos de recorrido t en cuerpos de poliacrílico de longitud s

s / mm	$t / \mu\text{s}$
40	15,7
80	30,6
120	45,3

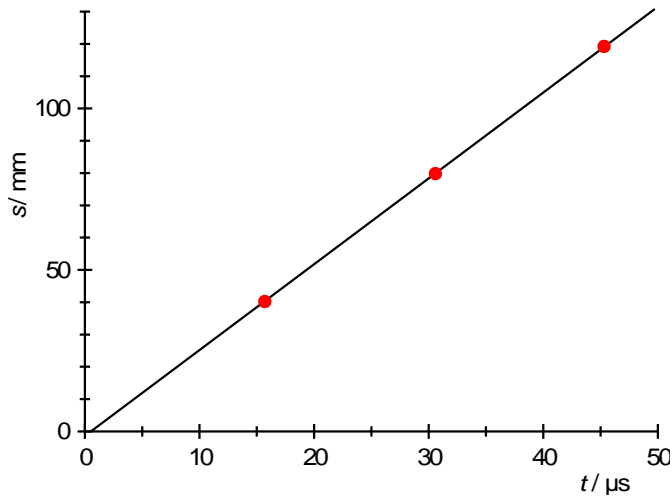


Fig. 4: Diagrama $s-t$ de la señal de ultrasonido en poliacrílico

Los datos de medida de la tabla 1, llevados a un diagrama $s-t$ no se encuentran en una recta que pase por el origen (ver Fig 4), por que se mide sistemáticamente el tiempo de recorrido de la señal por la capa de adaptación y protección de sondas de ultrasonido. Sin embargo, a partir de las pendientes de las rectas se puede determinar la velocidad del sonido longitudinal en poliacrílico. Se obtiene

$$v_L = 2660 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Ondas longitudinales y transversales:

Tab. 2: Tabla de medida para los ángulos límites de la reflexión total para ondas longitudinales y transversales

	Poliacrílico	Aluminio
α_L	33°	14°
$\sin \alpha_L$	0,54	0,24
$v_L / \text{m/s}$	2700	6100
α_T	86°	29°
$\sin \alpha_T$	0,998	0,48
$v_T / \text{m/s}$	1500	3100
μ	0,29	0,33
G / MPa	2700	25000
E / MPa	6900	67000
$\rho / \text{g/cm}^3$	1,2	2,7

Aplicando la ecuación 5 se calculan las velocidades del sonido a partir de los ángulos límites para la reflexión total. En este caso se aplica el valor de la velocidad del sonido en el agua:

$$c = 1485 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A partir de las ecuaciones 1 a 3 se obtiene la ecuación de determinación del coeficiente de Poisson μ

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_L}{c_T}\right)^2 - 1}{\left(\frac{c_L}{c_T}\right)^2 - 1}$$

En esta forma se pueden calcular las constantes elásticas si se conoce la densidad ρ .