

1331 – Velocidade do som em líquidos

Velocidade de fase e de grupo



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Oswaldo Guimarães – PUC-SP

Tópicos Relacionados

Ondas longitudinais, velocidade do som em líquidos, comprimento de onda, frequência, efeito piezoelétrico, transformador ultra-sônico.

Princípios e objetivos

As ondas sonoras produzidas em um líquido por um gerador de ultra-som são captadas por um sensor ultra-sônico piezoelétrico e o sinal do transmissor e do receptor são comparados em um osciloscópio.

O comprimento de onda é determinado e a velocidade de fase calculada a partir da diferença de fase entre os dois sinais. A velocidade de grupo é determinada medindo-se o tempo de transmissão de um pulso.

Equipamentos

	127 V	220 V	
Base tripé -PASS-	02002.55	02002.55	1
Base barril -PASS-	02006.55	02006.55	2
Barra de suporte, l 150 mm	02020.15	02020.15	1
Barra de suporte, l 750 mm	02023.01	02023.01	1
Barra de suporte -PASS-,quadrada, 250mm	02025.55	02025.55	1
Grampo em ângulo reto – PASS -	02040.55	02040.55	2
Bloco de suporte 105x105x57 mm	02073.00	02073.00	1
Macaco de elevação, 200 x 230 mm	02074.01	02074.01	1
Escala métrica, l=1000mm	03001.00	03001.00	1
Cuba de vidro, 150x55x100 mm	03504.00	03504.00	1
Termômetro 0 -10...+30 C	05949.00	05949.00	1
Braçadeira de conexão	07542.05	07542.05	1
Cabo tipo BNC, l 750 mm	07542.11	07542.11	1
Cabo tipo BNC, l 1500 mm	07542.12	07542.12	1
Pino de encaixe, 4 mm	07542.20	07542.20	1
Suporte isolante	07924.00	07924.00	1
Suporte para lente	08012.00	08012.00	1
Osciloscópio, 20 MHz,2 canais	11454.98	11454.94	1
Receptor de ultra-som	11744.00	11744.00	1
Gerador de ultra-som	11744.98	11744.93	1
Glicerina 250 ml	30084.25	30084.25	3
Grampo Universal	37715.00	37715.00	1

Problemas

O sinal do gerador de ultra-som e do sensor são registrados no osciloscópio.

1331 – Velocidade do som em líquidos

Velocidade de fase e de grupo

1. Medir a diferença de fase entre o sinal do receptor de ultra-som e o gerador em função da distância entre eles (no modo senoidal), e determinar o comprimento de onda e a velocidade de fase quando de uma dada frequência.

2.1. Determinar o tempo de resposta do osciloscópio usando a frequência ultra-sônica.

2.2. Com o gerador no modo pulsante, registrar a diferença entre o instante de chegada e o instante de emissão do pulso sonoro em função da distância entre o gerador e o receptor e então determinar a velocidade de grupo.

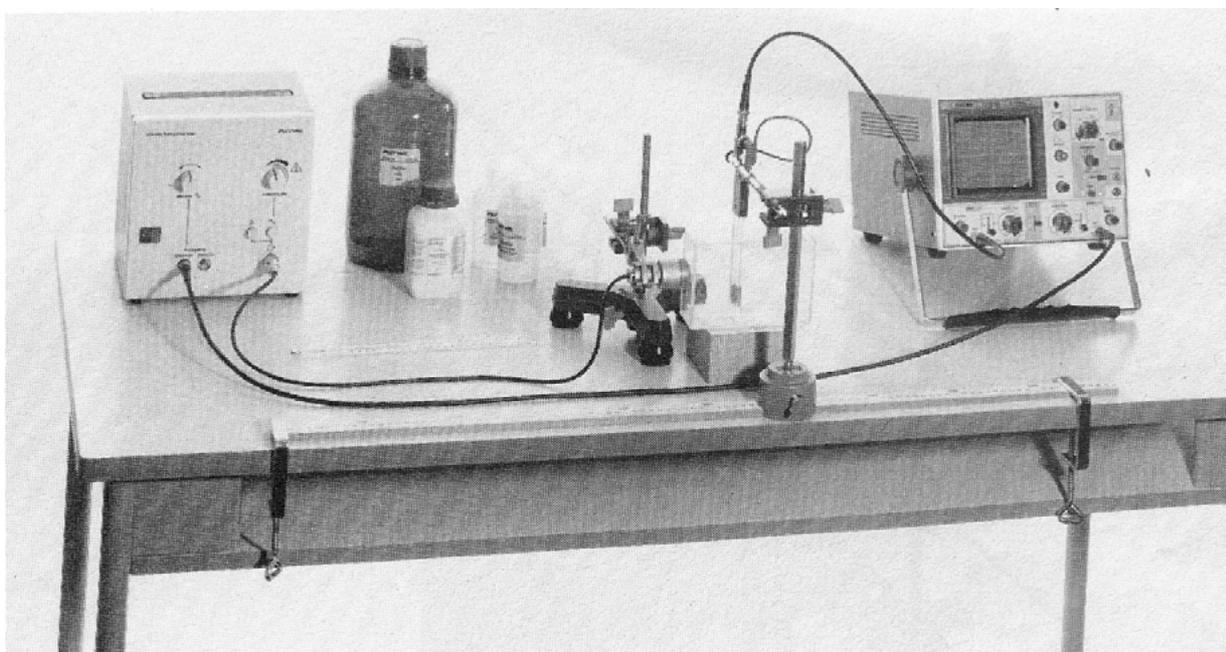


Fig. 1: montagem experimental para determinar a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas em líquidos.

1331 – Velocidade do som em líquidos

Velocidade de fase e de grupo

Montagem e procedimentos

A montagem do experimento é mostrada na fig. 1. A superfície vibrante do gerador está banhada por glicérol ou água destilada para assegurar que não há interferência da transmissão vibratória das paredes da cuba de vidro. Para prevenir a formação de ondas estacionárias e ecos múltiplos pela reflexão do som, a parede oposta ao gerador de ultra-som é recoberta com material sono-absorvente tais como espuma ou papel enrugado.

O osciloscópio é ativado internamente pelo canal 2 pelo monitor de sinal do gerador de ultra-som. Os sinais do receptor e do monitor são então postos em fase na tela do osciloscópio movendo o receptor e o ajuste de fase do gerador. Depois desse ajuste, o receptor é deslocado de uma distância D e levado até uma outra posição em que ambos os sinais estejam em concordância de fase. Dessa forma, determina-se o comprimento de onda. Considerando-se o número n de vezes que as fases coincidiram durante esse processo e a distância D .

2.1 O tempo de varredura é estimado pela frequência do gerador, que é conhecida e depois aprimorado com o ajuste fino do osciloscópio.

2.2 Agora, o osciloscópio é ativado externamente pela sincronia com o sinal do gerador o qual é posto no modo pulsante. O receptor de ultra-som é então aproximado do gerador e a mudança no atraso do pulso é determinada pelo deslocamento da fronteira do pulso no oscilograma. A temperatura do líquido deve também ser registrada.

As medidas devem ser feitas para a água, glicérol e para a solução de cloreto de sódio (água salgada).

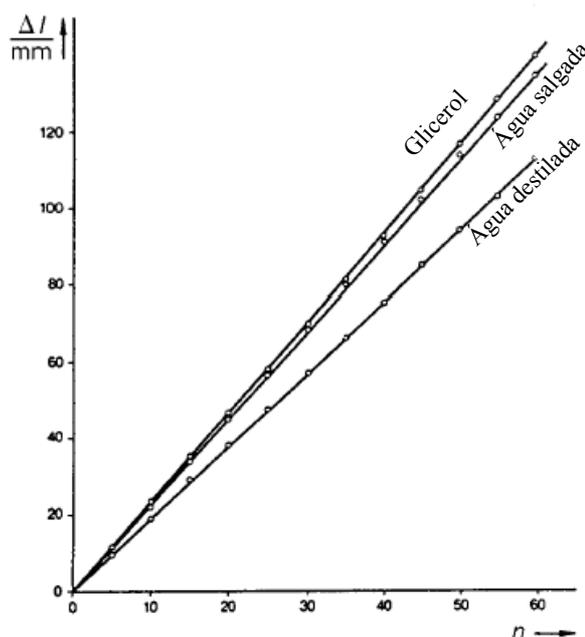


Fig. 2: deslocamento do detector Δl em função do número n de comprimentos de onda que passaram por ele, para a Água pura, Glicerol e para a Água salgada (saturada).

1331 – Velocidade do som em líquidos

Velocidade de fase e de grupo

Teoria e análise

Para uma variação Δl na distância entre o gerador e o receptor a partir da posição inicial (diferença de fase $\Delta\phi = 0$), a variação de fase no receptor é:

$$\Delta\phi = \frac{\Delta l}{\lambda} \cdot 2\pi \quad (1)$$

Os dois sinais ficam novamente em concordância de fase quando:

$$\Delta\phi = n \cdot 2\pi \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Assim, o comprimento de onda pode então ser determinado:

$$\Delta\phi = \frac{\Delta l}{\lambda} \cdot 2\pi = n \cdot 2\pi \Rightarrow \lambda = \frac{\Delta l}{n} \quad (3)$$

Aplicando-se (3) para vários valores de n e os respectivos Δl , obtemos, por regressão linear, o valor de λ . Conhecendo-se a frequência f , determinamos a velocidade de fase (c_p):

$$c_p = \lambda f \quad (4)$$

A tabela 1 apresenta valores obtidos de λ com o respectivo desvio padrão $\Delta\lambda$ e a velocidade de fase calculada para a frequência $f = 800$ kHz a partir da equação (4).

O erro na velocidade de fase Δc_p é obtido a partir de $\Delta\lambda$ e a margem de erro na frequência $\Delta f = \pm 5$ kHz.

Tabela 1

Líquido	$\frac{\theta}{^\circ\text{C}}$	$\frac{\lambda}{\text{mm}}$	$\frac{\Delta\lambda}{\text{mm}}$	$\frac{c_p}{\text{m/s}}$	$\frac{\Delta c_p}{\text{m/s}}$
Água destilada	25	1.873	0.003	1500	12
Água salgada (saturada)	25	2.255	0.007	1800	20
Glicerol	25	2.353	0.004	1880	15

1331 – Velocidade do som em líquidos

Velocidade de fase e de grupo

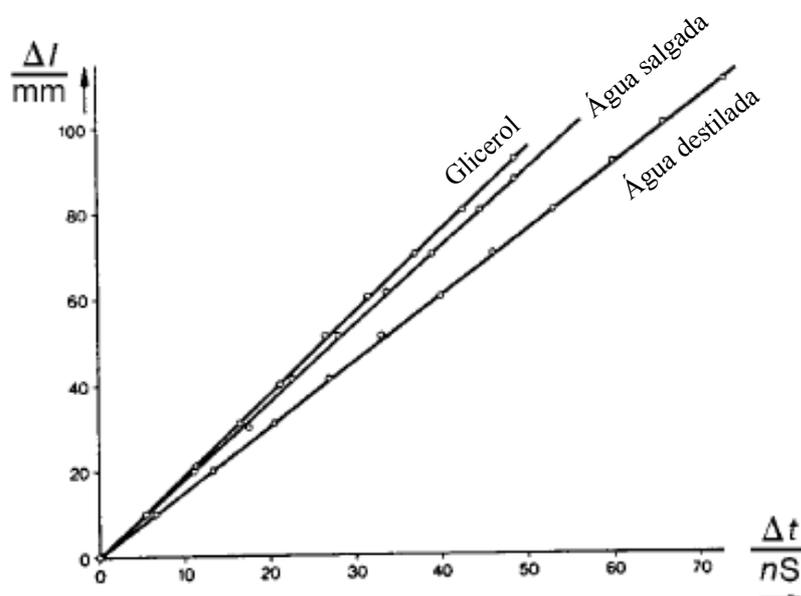


Fig. 3: variação de percurso do som em função do intervalo de tempo para a água, glicerol e água salgada ($\vartheta = 25\text{ °C}$).

2.1. O coeficiente de varredura é obtido por:

$$t^* = \frac{N \cdot T}{x}, \text{ onde:}$$

N = número de períodos mostrados;

$T = \frac{1}{f}$ = período ($T = 1,25\ \mu\text{s}$ quando $f = 800\ \text{kHz}$);

x = extensão dos períodos mostrados no oscilograma.

2.2. A velocidade de grupo c_G é obtida pela variação no percurso do som Δl e o respectivo intervalo de tempo Δt :
$$c_G = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (6)$$

A tabela 2 mostra a velocidade de grupo obtida pela inclinação da regressão linear feita a partir da equação (6) e a respectiva margem de erro Δc_G .

Tabela 2

Líquido	ϑ °C	$\frac{c_G}{\text{m/s}}$	$\frac{\Delta c_G}{\text{m/s}}$	$\frac{\Delta_M c_G}{\text{m/s}}$
Água destilada	25	1506	7	12
Água salgada (saturada)	25	1800	9	14
Glicerol	25	1900	9	15

1331 – Velocidade do som em líquidos

Velocidade de fase e de grupo

A última coluna apresenta o desvio padrão médio $\Delta_M c_G$ obtido por processo estatístico e considerando possíveis erros sistemáticos na determinação do coeficiente de varredura do gerador de freqüências.

A velocidade de grupo e a de fase estão relacionadas por:

$$c_G = c_p - \lambda \frac{dc_p}{d\lambda}$$

O fato de essas velocidades serem iguais dentro dos limites de precisão das medidas mostra que:

$$\frac{dc_p}{d\lambda} = 0$$

Ou seja, não há dispersão.

Tabela 3

Líquido	ϑ °C	c m/s	$\frac{\Delta c}{\Delta T}$ m/s · °C	Source
Glicerol	20	1923	-1.8	*
	25	1904	-2.2	**
Água destilada	25	1497	+2.5	*
	25	1498	+2.4	**
			(0 < θ < 40 °C)	

Bibliografia

- * L. Bergmann, Der Ultraschall (Ultrasonics), Hirzel-Verlag
- ** Handbook of Chemistry and Physics, The Chemical Rubber Co.

Notas

1. Como o glicerol é higroscópico, uma velocidade menor é freqüente obtida quando essa substância fica exposta por algum tempo.
2. Osciloscópio: erro relativo na varredura $\pm 5 \%$.
Gerador de ultra-som:
erro relativo para freqüência de 800 kHz: $\pm 0,6 \%$.
3. De acordo com L. Bergmann, a velocidade do som em água salgada cresce linearmente com a concentração. A variação de velocidade com a mudança de temperatura ocorre da mesma forma que na água pura.