

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Hermes Urébe Guimarães & Osvaldo Guimarães PUC-SP

Tópicos Relacionados

Ondas longitudinais, velocidade do som em gases e sólidos, frequência, comprimento de onda, ondas estacionárias, vibrações naturais.

Princípios e objetivos

Uma barra de metal foi feita para vibrar longitudinalmente ao ser friccionada por um pedaço de pano. A coluna de gás no tubo de vidro vibrará naturalmente devido ao efeito da ressonância, através da vibração sonora de um disco acoplado ao final da barra.

A relação das velocidades do som no gás e no gerador de vibrações são determinadas pela medida do comprimento de onda.

Equipamentos

	127 V	220 V	
Grampo de mesa 'Pass' pequeno	02010.00	02010.00	4
Haste suporte -PASS-,quadrada, l 250mm	02025.55	02025.55	1
Grampo ângulo reto -PASS-	02040.55	02040.55	1
Escala métrica, demo. l=1000mm	03001.00	03001.00	1
Calha para carga de pó de cortiça	03474.01	03474.01	1
Pistão	03474.02	03474.02	1
Gerador de vibração, cobre	03476.01	03476.01	1
Gerador de vibração, aço	03476.02	03476.02	1
Pó de cortiça, 3 g	03477.00	03477.00	1
Tubo de vidro, e.d. 38mm,l 640 mm.	03918.00	03918.00	1
Valv. redut. CO ₂ / He	33481.00	33481.00	1
Tubo de vidro, reto, 80 mm, 10	36701.65	36701.65	1
Grampo Universal	37715.00	37715.00	2
Grampo universal com junta	37716.00	37716.00	1
Bloqueador de borracha, d 38/31mm, 1 furo	39260.01	39260.01	1
Tubo emborrachado, d 7 mm	39282.00	39282.00	1
Cilindro de aço,CO ₂ , 10 ℓ , vazio (cheio)	41761.00	41761.00	1

Problemas

1. Medir o comprimento de onda de ondas estacionárias, utilizando uma barra de latão ou de aço como geradora de vibração. A velocidade longitudinal do som no material do gerador de vibração é determinada pela velocidade do som no ar.

2. Medir o comprimento de onda para CO₂ , e determinar a velocidade do som em CO₂ a partir da relação dos comprimentos de onda no ar, objetivados no problema acima.

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos

Montagem e procedimentos

1. O experimento será montado como mostra a Fig. 1. O gerador de vibração (160 mm de comprimento) está firmemente seguro aos dois anéis de marcação, ambos distando 40 cm do final.

Coloca-se o disco de papel duro (diâmetros 30, 31, 32 e 33 mm) que transmitirá o som fazendo-o distar cerca de 1 mm da parede do tubo de vidro, e assim não haverá possibilidade de toque, mesmo se o gerador de vibração entortar durante a fricção.

A tira de preenchimento, que tem pó de cortiça (ou Licopódio) espalhada uniformemente sobre si, se esvaziará ao ser rotacionada no tubo. A farinha de cortiça na base e o tubo de vidro devem estar tão secos quanto possível.

O tubo de Kundt será rotacionado sobre seu eixo, tendo o cuidado para não sacudi-lo, somente o necessário para levantar a farinha de cortiça da sua posição mais baixa e fazê-la aderir aos lados.

Para gerar a vibração, um pedaço de feltro com breu espalhado sobre si será atritado junto à seção média da barra do gerador. Com isso, produzir-se-á uma nota pura e potente.

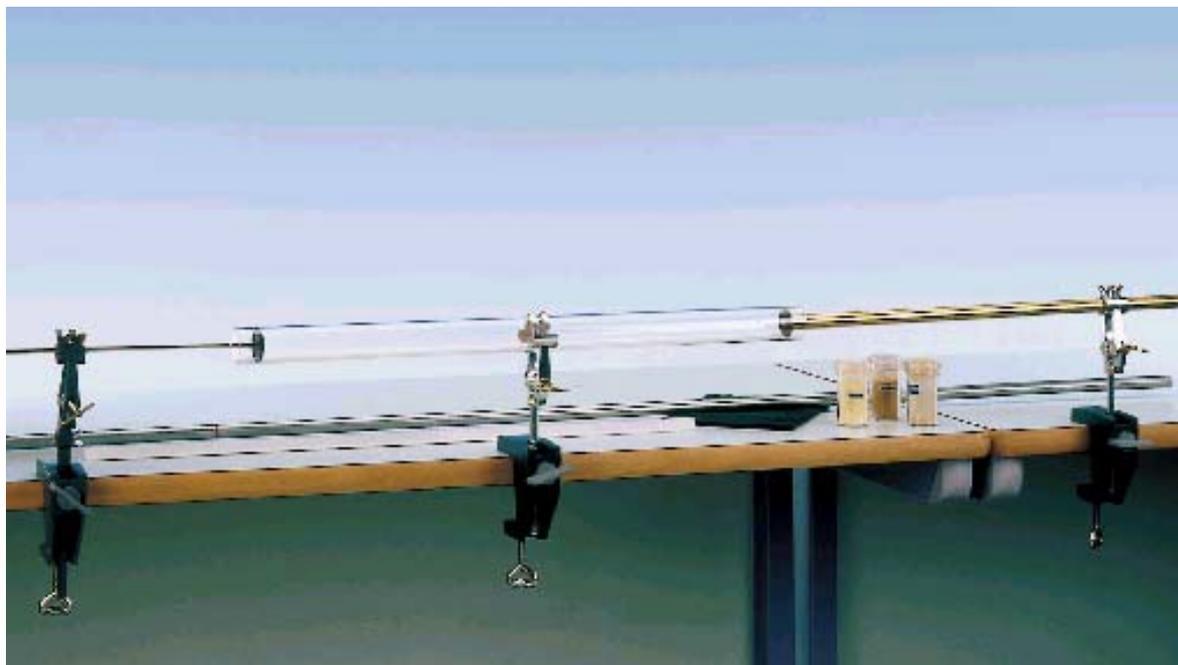


Fig.1 : Montagem experimental para medida dos valores médios dos comprimentos de onda no ar, no metal ou latão.

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos

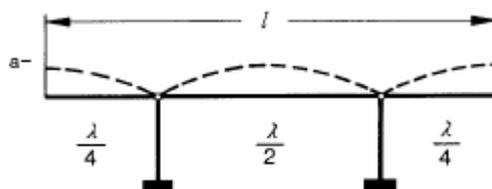
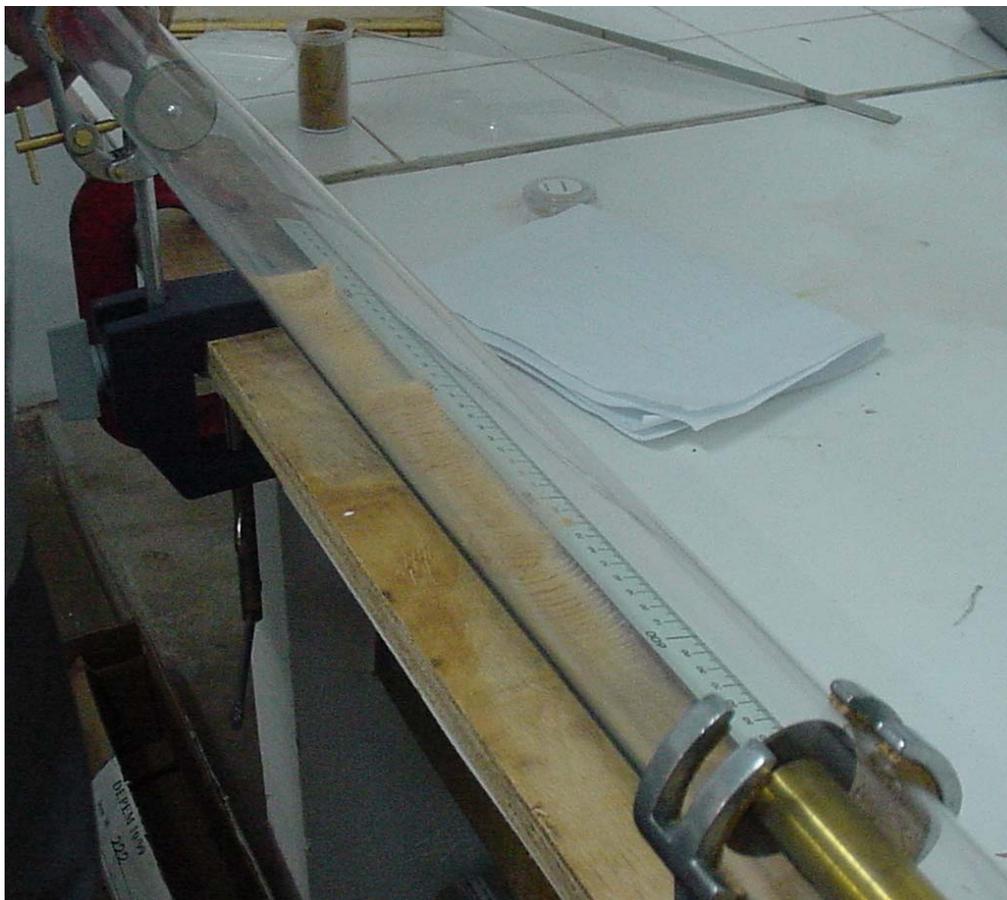


Fig.2 : Vibração longitudinal na barra geradora.



Montagem do experimento na UFES-Vitória

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos



Detalhe da distribuição do pó de cortiça ao longo do tubo – Nos nós de vibração há acúmulo de pó.

O gerador de vibração, se necessário, será limpo com um pedaço de pano embebido em álcool. Ondas estacionárias se formam no tubo de vidro, e o pó de cortiça aderido aos lados dos tubos cairá, formando então, regiões limpas nos ventres, lugares onde há considerável movimento de ar.

A escorregadura de ajuste será movida 1 cm antes do local de dois padrões bem definidos de poeira serem formados.

A distância entre as bem definidas saliências será determinada com a régua.

A temperatura do ar será medida com o intuito de se calcular a velocidade do som.

2. O experimento será montado do mesmo modo que o descrito em 1. no intuito de determinar o comprimento das ondas sonoras em CO_2 . O gás fluirá continuamente através do tubo Kundt. A afinação se completa movendo o tubo contra o gerador de vibração.

A temperatura do gás no tubo é medida imediatamente após cada experimento.

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos

Teoria e Análise

A velocidade do som na barra do gerador é expressa por

$$C_{vara} = f \cdot \lambda_{vara} \quad (1)$$

Os modos de uma vibração longitudinal, como mostrados na Fig. 2, são determinados pelo modo de fixação. O comprimento da barra, por conseguinte, corresponde ao comprimento de onda.:

$$\lambda_{vara} = 160 \text{ cm.}$$

Por analogia, a expressão para o gás no tubo Kundt é

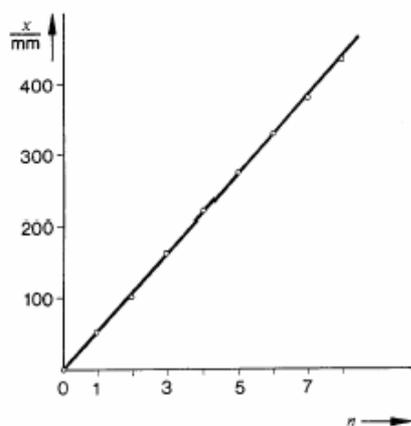
$$C_{gás} = f \cdot \lambda_{gás} \quad (2)$$

o comprimento de onda sendo a distância entre as saliências da onda estacionária dobrada.

1. A velocidade do som nas barras metálicas pode ser determinada a partir das equações (1) e (2), de acordo com:

$$C_{vara} = C_{gás} \frac{\lambda_{vara}}{\lambda_{gás}} \quad (3)$$

supondo que $C_{gás}$ seja conhecido.



**Fig.3 : Posição dos nós de vibração em função do número de nó.
Gerador de vibração: metal Gás: ar**

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos

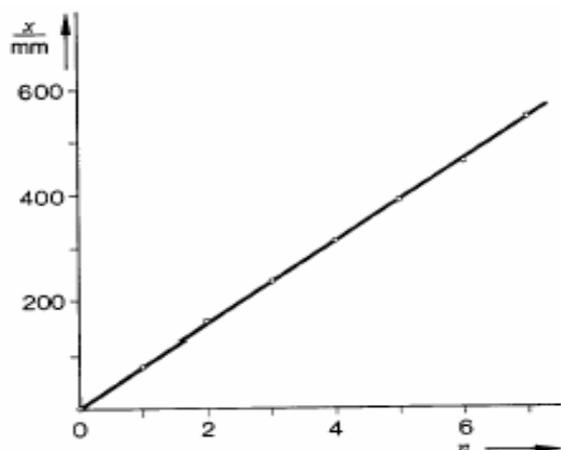


Fig.4: Posição dos nós de vibração em função do número de nós.
Gerador da vibração: Latão Gás: ar

Figs. 3 e 4 representam exemplos de medidas colhidas em uma temperatura de ar de 25° C.

Gerador de vibração	ϑ °C	a mm	S_a mm	$C_{\text{var } a}$ m/s	$S_{c(\text{var } a)}$ m/s
Aço	25	54.9	0.4	5060	40
Latão	25	77.0	0.5	3600	30

Tabela 1: ar

A tabela 1 indica o espaçamento das saliências

$$a = \frac{\lambda_{\text{gás}}}{2}$$

como as inclinações das linhas de regressão, para ondas longitudinais no gerador de vibração e com o erro padrão s_a , junto com as velocidades de som C_{vara} , calculadas de acordo com a equação (3).

($C_{\text{ar}} = 346$ m/s em uma temperatura θ de 24 °C, veja o apêndice).

2. A relação das velocidades do som em dois gases (utilizando o mesmo gerador de vibração) são obtidas tal qual se segue, utilizando as equações (2) e (3):

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos

$$\frac{C_{gás1}}{C_{gás2}} = \frac{\lambda_{gás1}}{\lambda_{gás2}}$$

Gerador da vibração: Metal
gás: CO₂

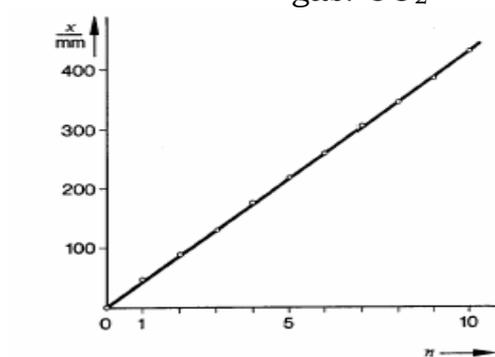


Fig. 5: Posição dos nós de vibração em função do número de nós

Gerador da vibração: latão

gás: CO₂

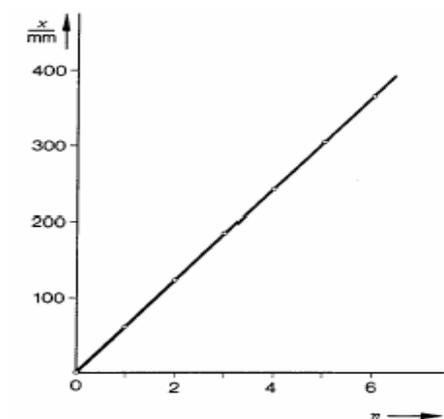


Fig. 6: Posição dos nós de vibração em função do número de nó

A temperatura θ foi de 25 °C para essas mensurações com CO₂.

A tabela 2 indica o espaçamento das saliências $\alpha = \frac{\lambda_{gás}}{2}$, bem como as inclinações das linhas de regressão, com o erro padrão s_a , junto com a

222 – Estudo da propagação de ondas em gases e sólidos

velocidade do som em CO₂, calculada de acordo com a equação (4), utilizando os comprimentos de ondas do som no ar da seção 1.

Tabela 2: CO₂

Gerador de vibração	ϑ °C	α mm	S_a mm	C_{CO_2} m/s	$S_{c(CO_2)}$ m/s
Aço	25	42.7	0.2	269	2
Latão	25	59.8	0.3	269	2

Observações

Dependência da velocidade do som em gases na temperatura:

$$C_{gás} = \sqrt{\frac{k \cdot R \cdot T_{abs}}{M_{molar}}} \sim \sqrt{T_{abs}} \quad (5)$$

$$C_{ar} = 331.5 \cdot \sqrt{1 + \frac{\vartheta/°C}{273}} \frac{m}{s} \quad \text{e} \quad C_{CO_2} = 258 \cdot \sqrt{1 + \frac{\vartheta/°C}{273}} \frac{m}{s}$$

O coeficiente adiabático k pode ser determinado a partir da velocidade do som nos gases de acordo com a equação (5).

Quando a densidade ρ for conhecida, os módulos de elasticidade E podem ser determinados a partir da velocidade longitudinal nas barras de acordo com

$$C_{barra} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$