

Utilizando o Calculador Etelj Velocidade do Som no Ar

Homero Sette

18 - 01 - 2013

Este utilitário permite o cálculo da velocidade de propagação do som no ar C , em função da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da pressão atmosférica no local.

Além da velocidade do som o calculador informa também os valores da densidade do ar ρ , da impedância característica do ar e do produto $\rho \cdot C^2$.

ENTRADA		SAÍDA		
Variáveis	Unidades	Variáveis		Unidades
Temperatura do Ar	Graus Centigrados	Velocidade do Som no Ar	C	m / s
Umidade Relativa do Ar	%	Densidade do Ar	ρ	Kg / m^3
Pressão Atmosférica	milibares	Impedância Característica do Ar	$\rho \cdot C$	$Kg / (m^2 \cdot s)$
			$\rho \cdot C^2$	N / m^2

Variáveis do Calculador Etelj Velocidade do Som no Ar

Tela de Abertura do Calculador Etelj Velocidade do Som no Ar.

Exemplo de Utilização

Calculador Etelj - Velocidade do Som no Ar

Temperatura do Ar: 30 °C
Umidade Relativa do Ar: 60 %
Pressão Atmosférica: 1013 mb

Calcular

CALCULADOR ETELJ - RESULTADOS OBTIDOS	
Velocidade de Propagação do Som no Ar - C:	350.442 m/s
Densidade do Ar - ρ :	1.158 Kg/m ³
Impedância Característica do Ar - $\rho \cdot C$:	405.658 Kg/(m ² .s)
$\rho \cdot C^2$:	142159.525 N/m ²

Exemplo de utilização do Calculador Etelj de Velocidade do Som no Ar.

Aplicações

Existem muitas situações práticas onde é necessário saber o valor da velocidade do som e da densidade do ar, para podermos calcular o que desejamos com precisão.

Abaixo temos alguns exemplos disso onde serão considerados os valores mostrados na Tabela 1 para 30° C, 0 % de UR e 1013 mb:

1 – Cálculo da eficiência de referência de um falante em função dos parâmetros tradicionais.

$$\eta_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot C} \cdot \frac{(\beta L)^2}{R_E} \cdot \left(\frac{S_D}{Mms} \right)^2 = \frac{1,158}{2 \cdot \pi \cdot 350,442} \cdot \frac{(\beta L)^2}{R_E} \cdot \left(\frac{S_D}{Mms} \right)^2 = 5,2571 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(\beta L)^2}{R_E} \cdot \left(\frac{S_D}{Mms} \right)^2$$

2 – Cálculo da eficiência de referência de um falante em função dos parâmetros de Thiele-Small.

$$\eta_0 = \frac{4 \cdot \pi^2}{C^3} \cdot \frac{F_S^3 \cdot Vas}{Qes} = \frac{4 \cdot \pi^2}{350,442^3} \cdot \frac{F_S^3 \cdot Vas}{Qes} = 9,41 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{F_S^3 \cdot Vas}{Qes}$$

3 – Cálculo do volume equivalente do falante, em metros cúbicos.

$$Vas = \rho \cdot C^2 \cdot S_D^2 \cdot Cms = 142159,525 \cdot S_D^2 \cdot Cms$$

4 – Cálculo do tempo de reverberação segundo Sabine

$$RT_{60} = \frac{24 \cdot \text{Log}_N(10)}{C} \cdot \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S} = \frac{24 \cdot 2,3026}{350,442} \cdot \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S} = 0,1577 \cdot \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S}$$

Fundamentos Teóricos

Todas as equações utilizadas no software do Calculador Etelj Velocidade do Som no Ar foram obtidas no artigo *O Meio Ambiente Acústico*, de autoria de Homero Sette, disponível em <http://www.homerosette.com/> ou <http://www.etalj.com.br/etalj/artigos/AR.pdf>. Recomendamos aos interessados que desejarem aprofundar-se no assunto que o consultem.

Ar Seco

Com base no citado trabalho vamos, inicialmente, focar o produto $\rho \cdot C^2$, ou seja, a densidade do ar vezes o quadrado da velocidade do som no ar, no caso do ar seco, ou seja, com 0 % de umidade relativa e, para isso, reproduzimos abaixo as equações 0.4 e 0.5.

Como densidade é igual à massa/volume, considerando-se o volume V , ocupado por uma massa M , correspondente a um mol do gás, teremos: $\rho = \frac{M}{V}$.

A velocidade de propagação do som no ar seco é dada por $C = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P \cdot V}{M}}$ onde γ é o cociente $\frac{C_p}{C_v}$, ou seja a razão entre o calor específico de um gás à pressão constante (C_p) e a volume constante (C_v), valendo $\frac{7}{5} = 1,4$ para o ar seco, sendo P a pressão atmosférica.

Assim, o produto $\rho \cdot C^2$ será igual a $\frac{M}{V} \cdot \frac{\gamma \cdot P \cdot V}{M} = \gamma \cdot P = 1,4 \cdot P$ onde vemos que, para o caso do ar seco, não existe dependência da temperatura, apenas da pressão atmosférica. Por esse motivo o parâmetro V_{as} dos alto-falantes, dado por $\rho \cdot C^2 \cdot S_D^2 \cdot C_{ms} = 1,4 \cdot P \cdot S_D^2 \cdot C_{ms}$ varia diretamente com a pressão atmosférica, e depende da altitude do lugar da medição.

Utilizando os resultados acima poderemos corrigir o valor do V_{as} , obtido no catálogo do fabricante, de modo a adequá-lo ao local onde se encontra. Para isso basta seguir o procedimento abaixo, onde V_{as_1} corresponde ao valor de catálogo, medido com uma pressão atmosférica P_1 , sendo P_2 a pressão no novo local: $V_{as_1} = 1,4 \cdot P_1 \cdot S_D^2 \cdot C_{ms}$; $V_{as_2} = 1,4 \cdot P_2 \cdot S_D^2 \cdot C_{ms}$; $\frac{V_{as_2}}{V_{as_1}} = \frac{P_2}{P_1}$ $\therefore V_{as_2} = \frac{P_2}{P_1} \cdot V_{as_1}$.

Exemplo: se o falante foi medido ao nível do mar, ou seja, com $P_1 = 1013$ mb e estiver sendo avaliado a 900 m de altitude, onde $P_2 = 912$ mb, o novo valor de V_{as} será dado por: $V_{as_2} = \frac{P_2}{P_1} \cdot V_{as_1} = \frac{912}{1013} \cdot V_{as_1} = 0,9 \cdot V_{as_1}$, ou seja, basta multiplicar por 0,9 o valor original do V_{as} para corrigi-lo com relação à nova altitude.

O mesmo resultado pode ser encontrado utilizando os dados disponíveis na Tabela 1:

$$\frac{V_{as_2}}{V_{as_1}} = \frac{\rho_2 \cdot C_2^2}{\rho_1 \cdot C_1^2} \therefore V_{as_2} = \frac{\rho_2 \cdot C_2^2}{\rho_1 \cdot C_1^2} \cdot V_{as_1} = \frac{126000}{141820} \cdot V_{as_1} \approx 0,888 \cdot V_{as_1} \approx 0,9 \cdot V_{as_1}$$

Velocidade do Som x Pressão Atmosférica

Outro fato importante é a independência da velocidade de propagação do som, no ar seco, com relação à pressão atmosférica, o que pode ser demonstrado combinando as equações 0.4 e 0.5:

$$C = \sqrt{\gamma \cdot P \cdot \frac{V}{M}} = \sqrt{\gamma \cdot P \cdot \frac{1}{\rho}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}}$$

Supondo o ar um gás perfeito, segundo a lei dos gases, temos $\frac{P}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$.

Logo, $C = \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R}{M} \cdot T}$ onde a única variável é a temperatura T em Kelvin

Variáveis de Entrada			Variáveis de Saída			
Temperatura	Umidade	Pressão	C	ρ	$\rho \cdot C$	$\rho \cdot C^2$
$^{\circ}\text{C}$	%	mb	m / s	Kg / m ³	Kg / (m ² · s)	N / m ²
30	0	1013	349,0	1,164	406,329	141820
30	100	1013	351,4	1,146	402,633	141485
30	100	900	351,7	1,016	357,307	126000
30	0	900	349,0	1,034	361,003	126000
40	0	1013	354,7	1,127	399,789	141820
40	100	1013	359,0	1,096	393,434	141238
40	100	900	360,0	0,970	348,835	125419
40	0	900	354,7	1,001	355,192	126000

Tabela 1 - Valores obtidos utilizando o Calculador Eteij Velocidade do Som no Ar

$$R = \text{Constante dos gases perfeitos} = 8.314,32 \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{Kmol} \cdot \text{Kelvin}} \right]$$

$$M = \text{Peso molecular do ar seco} = 28,97 \text{ (adimensional)} \quad ; \quad T = 273,15 + T_{(^{\circ}\text{C})} \quad [\text{Kelvin}]$$

$$C = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R}{M} \cdot T} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8.314,32}{28,97} \cdot T} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8.314,32}{28,97} \cdot [273,15 + T_{(^{\circ}\text{C})}]} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8.314,32 \cdot 273,15}{28,97} \cdot \left[1 + \frac{T_{(^{\circ}\text{C})}}{273,15} \right]}$$

$$\text{Fazendo } T_{(^{\circ}\text{C})} = 0 \quad \Rightarrow \quad C = C_0 = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8.314,32 \cdot 273,15}{28,97}} = 331,29 \text{ m/s}$$

$$C_{(T_{(^{\circ}\text{C})})} = C_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{T_{(^{\circ}\text{C})}}{273,15}}$$

Onde vemos que a velocidade de propagação do som, no ar seco, só depende da temperatura, não sendo influenciada pela pressão atmosférica, o que pode ser confirmado na Tabela 1.

Alem disso podemos constatar que a velocidade aumenta com a temperatura.

Ar Úmido

A umidade relativa do ar é o cociente entre a quantidade de água existente no ar, em determinada condição de temperatura e pressão, e o máximo que poderia existir naquelas condições.

Um índice de 80% para a umidade relativa do ar não significa que 80% do volume do ar está sendo ocupado pela água na forma de vapor. Indica que o ar contém 80% do máximo que poderia comportar em vapor d'água, naquelas condições.

A umidade do ar modifica a velocidade do som, em virtude da alteração que provoca no cociente γ / M .

No caso do ar úmido podemos observar, na Tabela 1, que a velocidade de propagação no ar, além da forte dependência da temperatura, sofrerá pequena influencia da umidade e outra menor ainda com a pressão atmosférica.

Um fato que costuma surpreender, e que pode ser constatado nas células cinza da Tabela 1, é a diminuição da densidade do ar com o aumento da umidade. Isto acontece porque a massa molecular da água é menor que a do ar.

Aplicação:

Utilizando os valores mostrados na Tabela 1 vamos calcular o coeficiente de correção a ser aplicado no V_{as} informado pelo fabricante, obtido com 30° C, 100 % de UR e 1013 mb, para adequá-lo a novas condições atmosféricas: 40° C, 100 % de UR e 900 mb.

$$\frac{V_{as_2}}{V_{as_1}} = \frac{\rho_2 \cdot C_2^2}{\rho_1 \cdot C_1^2} \quad \therefore \quad V_{as_2} = \frac{\rho_2 \cdot C_2^2}{\rho_1 \cdot C_1^2} \cdot V_{as_1} = \frac{125419}{141485} \cdot V_{as_1} \approx 0,886 \cdot V_{as_1} \approx 0,9 \cdot V_{as_1}$$

A correção foi praticamente igual à anterior, obtida para o ar seco.



Homero Sette é Gerente de Projetos da Etelj.



Pedro Henrique é Gerente de Sistemas de Informação da Etelj.

Este calculador foi desenvolvido por Pedro Henrique Pereira utilizando as linguagens PHP, JQUERY, CSS e Java Script a partir das equações e do fluxograma fornecidos pelo Prof. Homero Sette.

Os Autores e a Etelj esperam que esta iniciativa seja útil a toda a comunidade do áudio.