Tarde técnica sobre:

Análise do ruído nas instalações centralizadas de AVAC

Atenuadores de som

Orador: António Sampaio e Jorge Mendes

Responsáveis técnicos do dep. de Ar Condicionado

do Grupo Contimetra & Sistimetra

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Sobre a Trox

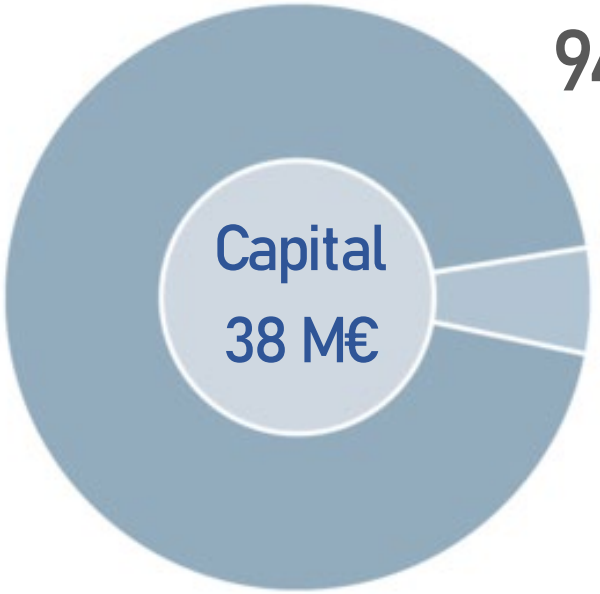
Motto

The human being is the yardstick, and people's well-being is our goal.

Heinz Trox
* 29 Junho 1934
† 1 Outubro 2015

Lema
"O ser humano é o protagonista, o seu bem estar o nosso objetivo"

A Trox hoje



94% Fundação Heinz Trox

6% Programa de ações dos colaboradores

Trox uma referência mundial no desenvolvimento, fabricação e distribuição de componentes e sistemas para instalação de ventilação e ar condicionado.

· Á ю ь ю ь

ђ э ѓ _ ı ı

de Euros em vendas

ë ¸ ь ь ь

Colaboradores

я ю

Filiais em
5 Continentes

э і

Fábricas
Distribuídas por 11 países

і є ь

países com a presença de representantes

E Á Æ Á · Á Æ Œ Œ · š π

Desenvolvimento de soluções
À medida como resposta aos
Desafios dos nossos clientes

Formação como pedra basilar da nossa presença no mercado

Todo o tipo de perfil: propriedades, arquitetos, consultores de engenharia, instaladores, funcionários

Mais de 500 eventos em todo o mundo

Forte ligação à universidade técnica de Aachen (RWTHAACHEN)

TROX® ACADEMY

Desde o longínquo ano de 1964

Trox em Portugal = Contimetra & Sistimetra

A Contimetra & Sistimetra têm mantido uma presença no mercado AVAC em Portugal com elevado valor técnico no fornecimento de componentes das seguintes famílias

- Difusão do ar
- Atenuação de ruído
- Segurança contra incêndios- Registos corta fogo, TroxNetCom
- Regulação de caudais de ar – Registos “estáticos” e registos automáticos
- UTA’s
- Sistemas de controlo de vários tipos (conforto, laboratorial, outros)
- GTC

Edificação: Tendência do mercado

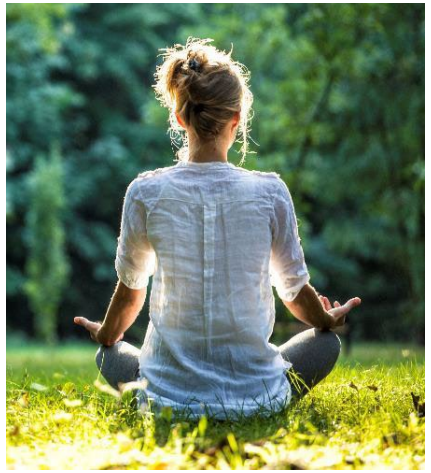
- Sustentabilidade
- Otimização energética
- Conforto

Programa desta apresentação

1. Noções básicas sobre acústica
2. Sistemas Centralizados de AVAC “Geradores” e “Atenuadores e ruído”
3. Atenuadores de som – portfólio
4. Atenuadores de som – dimensionamento software: Easy Product Finder

90% em espaços interiores

10%
no exterior



1. Noções básicas sobre acústica

Parâmetros de conforto do ar interior

EN 16798-1 Ventilação em edifícios

Parte 1: Parâmetros dos espaços interiores a ter em consideração para a conceção e avaliação da eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios – condições térmicas, iluminação e ruído.

Nota: esta norma irá agrupar e atualizar várias normas em vigor tais como:

EN 15251 – Parâmetros (de conforto) a observar nos espaços interiores.

EN 16798-3 – Ventilação em edifícios não residenciais

ISO 7730 – Ergonomia do ambiente térmico – determinação analítica e interpretação do conforto térmico mediante o cálculo dos índices PMV (voto médio previsto) e PPD (Percentagem de Insatisfação Previsto)

A palavra “acústica” vem da língua grega e significa: A ciência do som e da sua propagação

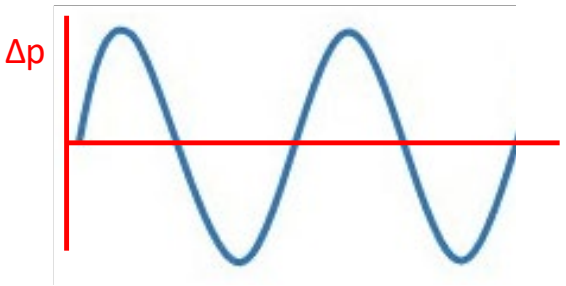
Transmissor → Meio de transmissão → Receptor

Fonte do som diapasão

A vibração do diapasão é transmitida no ar

Pequena amplitude – som baixo

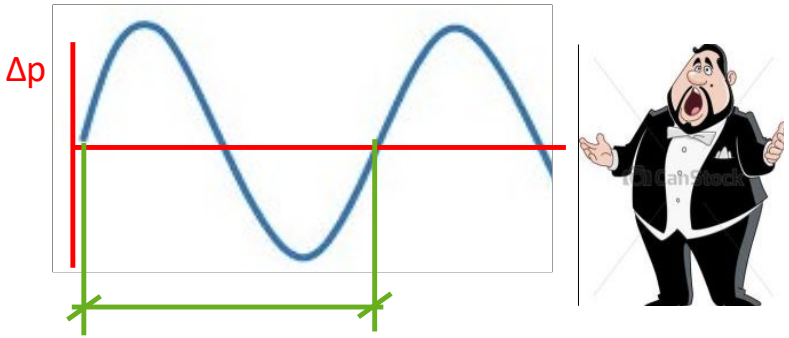
Elevada frequência – som baixo



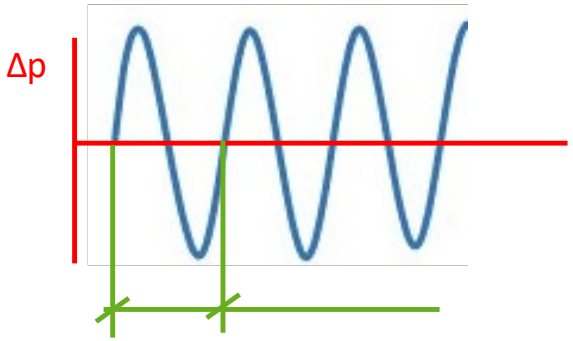
Definição:

$$f = \frac{1}{T}$$

Baixa frequência - som grave



Alta frequência - som agudo



$\lambda = c / f$

c = 333 m/s

f = frequência

Frequência [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Comprimento de onda [m]	5,29	2,66	1,33	0,67	0,33	0,17	0,08	0,04

Tom

Se a onda Sonora tiver uma só frequência, define-se como tom

Som

Um som é na realidade uma composição de diferentes tons

Ruído

O ruído consiste num número ilimitado de oscilações individuais

Na prática o “som” que ouvimos é uma composição de vários “sons” com diferentes frequências

Orquestra

Composta por vários instrumentos musicais

Melodia (som agradável)
Ruído (som perturbador)

Para nos apercebermos do “som” de um tambor será necessário que seja o único a tocar

Tudo o que vibra emite um som que se propaga sob a forma de ondas de dilatação ou compressão, sendo necessário que a fonte liberte uma quantidade de energia ao meio que a rodeia

A quantidade de energia sonora libertada por uma fonte por unidade de tempo, denomina-se potência sonora da fonte.

$$L_W\,(dB) = 10 \log (P_1 / P_0)$$

Sendo:

P_1= Potência sonora da potência expressa em Watt

P_0= Potência sonora de referência igual a a 10^{-10} Watt (limite de audição – ouvido humano)

O nivel de potência sonora de uma fonte caracteriza o ruído emitido por essa fonte

Pressão sonora

Sendo o som uma vibração de um meio elástico, este produz uma variação de pressão no meio em que se propaga, é possível, de uma forma geral, medir o nível do som em função da pressão sonora.

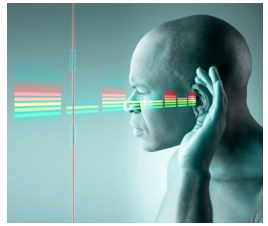
Para expressar o nível de pressão sonora, usa-se o decibel que se define pela fórmula.

$$L_P\ (dB) = 10 \log (P / P_0)^2 = 20 \log (P / P_0)$$

Sendo:

P = Pressão sonora expressa em Pascal (Pa)

P_0= Pressão sonora de referência = $2x10^{-5}$ Pascales



IMPORTANTE:

O nível de pressão sonora caracteriza o ruído percebido pelo ouvido.

Intensidade sonora

A energia libertada por uma fonte sonora reparte-se uniformemente sobre as ondas de expansão e compressão que se propagam partir da fonte, aumentando a sua superfície à medida que se afastam diminuindo por isso a energia sonora por unidade de superfície.

Esta energia por unidade de superfície de onda denomina-se de INTENSIDADE SONORA.

O nível de intensidade sonora é expresso também em decibel pela fórmula

$$L_I = 10 \log I1/ I0$$

Sendo:

I1= Intensidade do som expressa em W / m^2

I0= Intensidade do som de referência = $10^{-12} W / m^2$

Decibel

Unidade de medição de som: é uma relação logarítmica entre duas pressões sonoras, duas potência sonoras ou duas intensidades sonoras sendo uma delas o nível de referência.

Nível sonoro transmitido

Potência sonora que se transmite pela rede de condutas de ar tanto na descarga como na aspiração dos ventiladores.

Nível sonoro radiado

Potência sonora que se transmite através de uma barreira como por exemplo: paredes, tetos, condutas, painéis das UTA's, etc.

Reverberação

É o som que se transmite por reflexão nas paredes dos locais.

Tempo de reverberação

É o tempo, em segundos, necessário para que o nível sonoro gerado por uma fonte na sala se reduza em 60 dB.

Coeficiente de direccionalidade “Q” (Exterior)

É a relação entre a intensidade acústica num ponto e a intensidade acústica emitida pela fonte na mesma direção.

Coeficiente de absorção “α”

É a relação entre a energia sonora absorvida em relação à energia sonora incidente numa superfície.
“α” Varia entre 0 e 1, sendo 1 o coeficiente de absorção de uma janela aberta.

Isolamento acústico

Redução de energia sonora no local em que se encontra a fonte.

Correção acústica

Relação entre a energia sonora absorvida e a energia sonora incidente

Absorção acústica

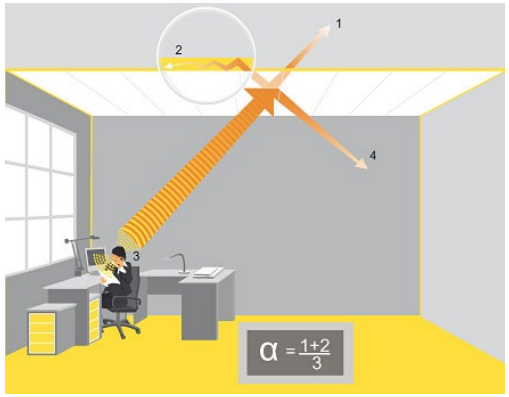
Quantidade de energia acústica, em m2, absorvida por um objeto situado dentro do campo acústico em função de frequência

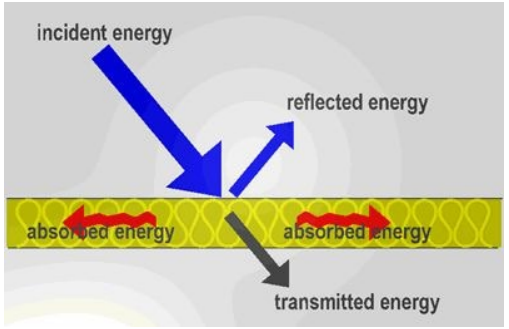
$$Af = \alpha \times S\ (m^2).$$

Af = absorção acústica por banda de frequência (m^2)

α= coeficiente de absorção acústica (energia absorvida / energia incidente)

S = Superfície do material (m^2)





Na prática o ruído (som) que ouvimos é uma composição de vários ruídos com diferentes frequências

X-Cube
Orquesta

Componentes AVAC
Instrumentos

Ruído

O ruído gerado pela X-Cube (UTA) é composto por “ruídos” de múltiplas frequências

ODA Outdoor Air – Ar exterior
SUP Supply Air – Ar de insuflação (da sala)
ETA Extract Air – Ar de exaustão (da sala)
EHA Exhaust Air – Ar extraído para o exterior
CAS Radiado através dos painéis da X-Cube

Acoustic Data

f[Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw A [db(A)]
ODA:	58	57	57	52	48	40	32	30	54
SUP:	77	78	78	74	71	68	65	63	77
ETA:	58	57	57	52	48	40	32	30	54
EHA:	77	78	78	74	71	68	65	63	77
CAS:	61	64	51	40	37	32	25	13	50

Habitualmente analisa-se o ruído por bandas de frequência – mais exatamente em 8 bandas

Oitava significa:
A gama desde 20Hz até 15000 Hz
Está dividida em **8 bandas**

Acoustic Data									
f[Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw A [db(A)]
ODA:	58	57	57	52	48	40	32	30	54
SUP:	77	78	78	74	71	68	65	63	77
ETA:	58	57	57	52	48	40	32	30	54
EHA:	77	78	78	74	71	68	65	63	77
CAS:	61	64	51	40	37	32	25	13	50

Frequência central Hz	Frequência limite inferior Hz	Frequência limite superior Hz
63	20	90
125	90	179
250	176	352
500	352	704
1000	704	1408
2000	1408	2816
4000	2816	5600
8000	5600	15000

Para uma análise mais fina pode-se ainda recorrer ao terço da oitava (third octave)

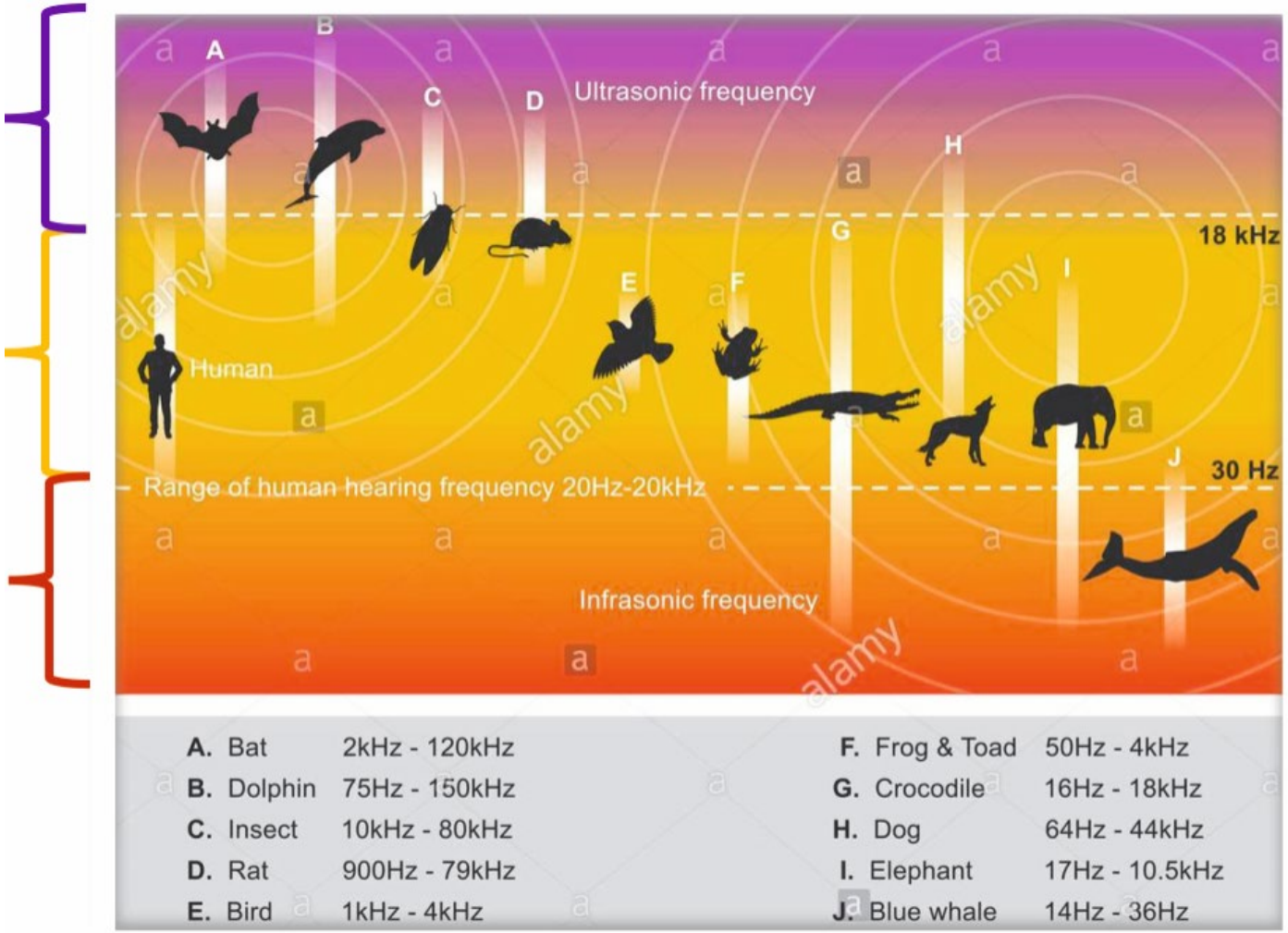
Ultrassons

Inaudíveis para
os seres humanos

Sons audíveis - humanos
gama entre **20 Hz to 20.000 Hz**

Infrassons

Inaudíveis para
os seres humanos



Nível de potência sonora µPa	Nível de potência sonora dB
200,000,000	140
6,000,000	110
350,000	85
10,000	55
2,000	40
20	0

$$L_W = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad = \text{in dB}$$

$$L_W = 20 \log \frac{20 \mu Pa}{20\ \mu Pa} = 0\ dB$$

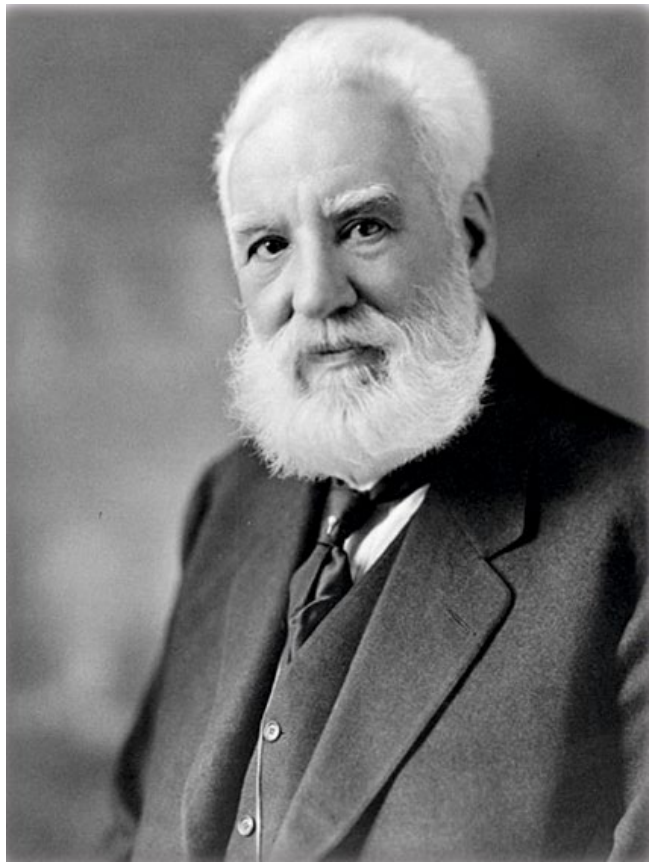
$$L_W = 20 \log \frac{2{,}000 \mu Pa}{20\ \mu Pa} = 40\ dB$$

Definição de decibel [dB]

- Bel [B] deriva do nome do cientista Britânico/Americano **Alexander Graham Bell**
- Inventor do telefone
- Em sua honra foi batizado com o seu nome os valores de uma escala de relação logarítmica.

Decibel é um dos valores da razão logarítmica

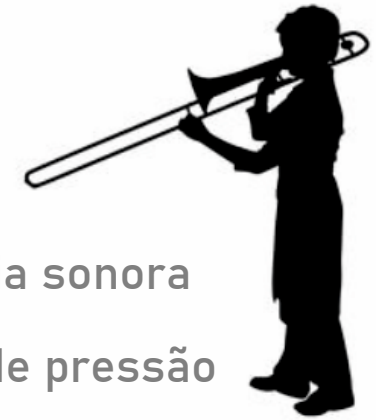
- A unidade Bell ajuda na caracterização dos níveis relativos à intensidade sonora
- “Deci” é relativo à décima parte do “Bell”



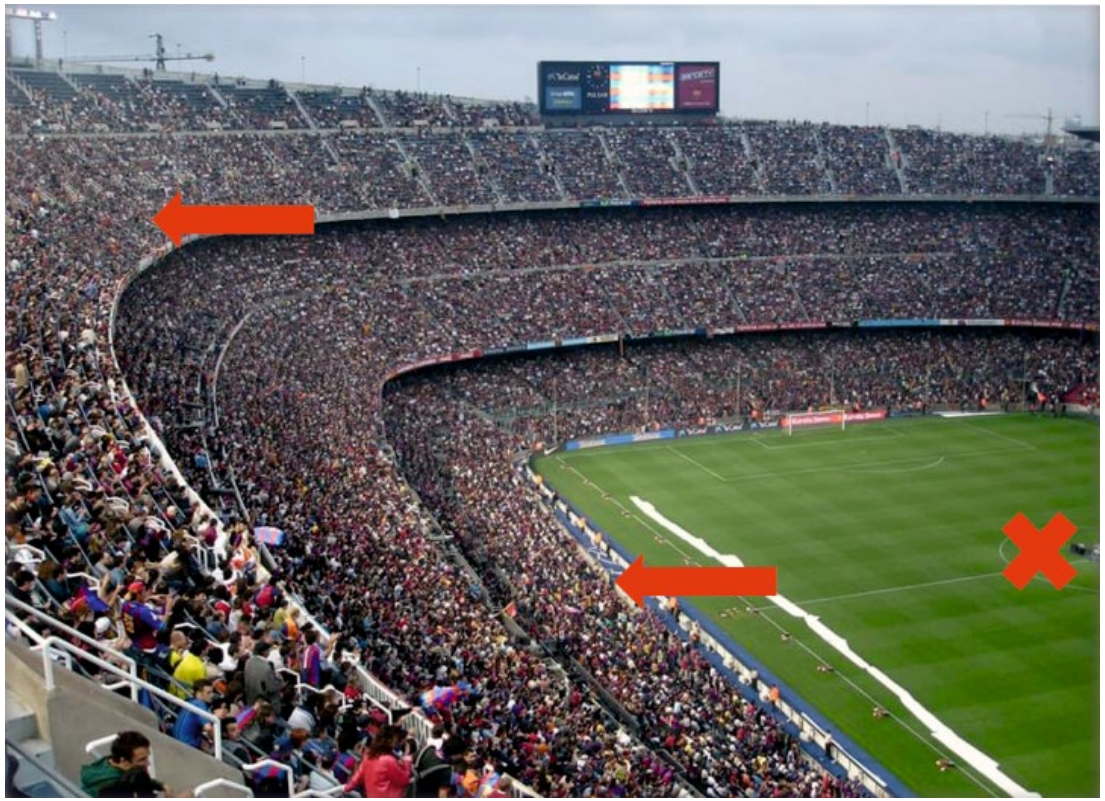
Alexander Graham Bell

O nível de potência sonora é um valor teórico

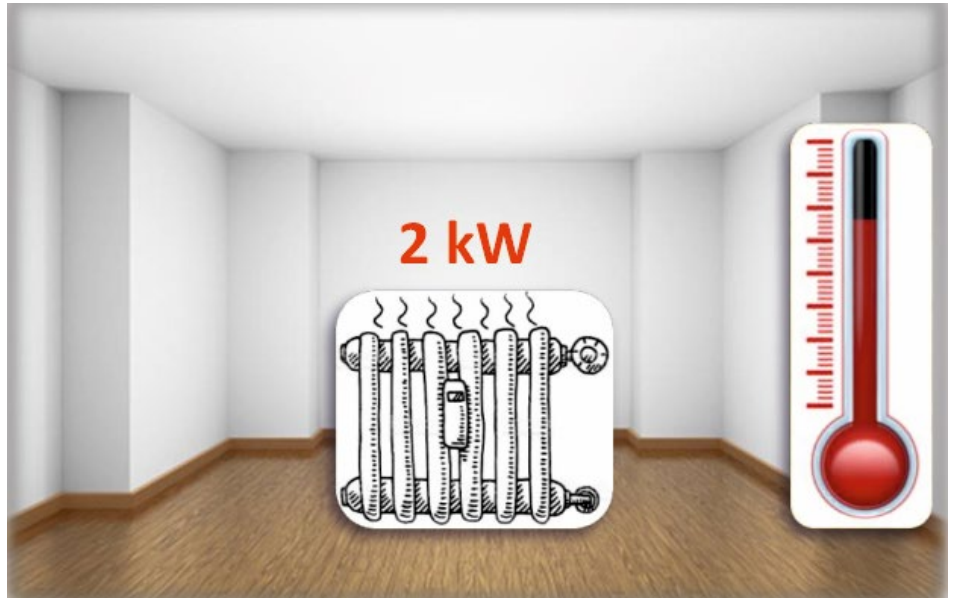
- Não é mensurável
- É calculado
- Unidade: Watt

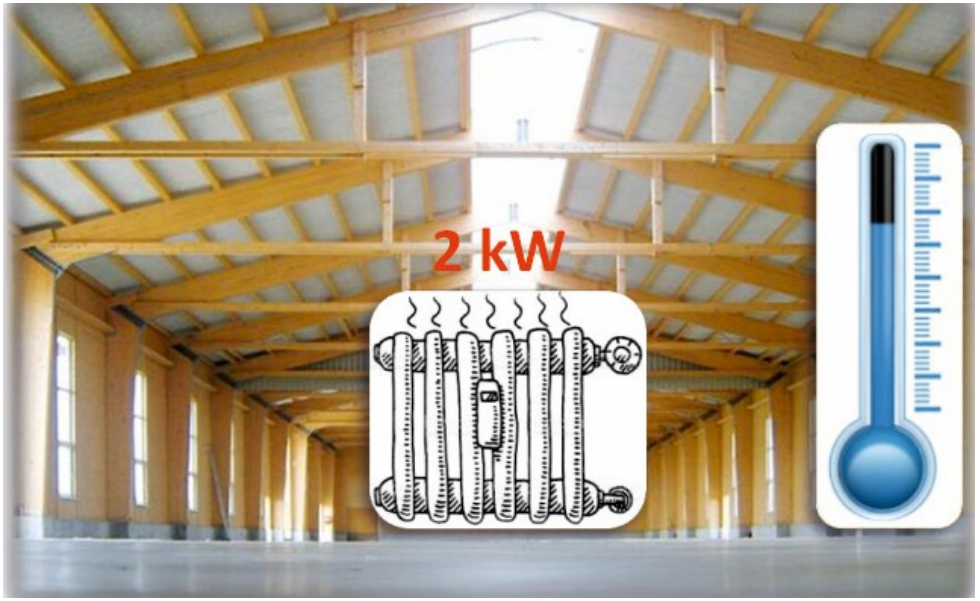


- O tocador de trompete gera potência sonora
- A potência é convertida em ondas de pressão sonora
- O nível de pressão sonora depende da distância
- À medida que nos afastamos vai-se reduzindo a intensidade sonora do trompete



➡ A potência sonora mantém-se

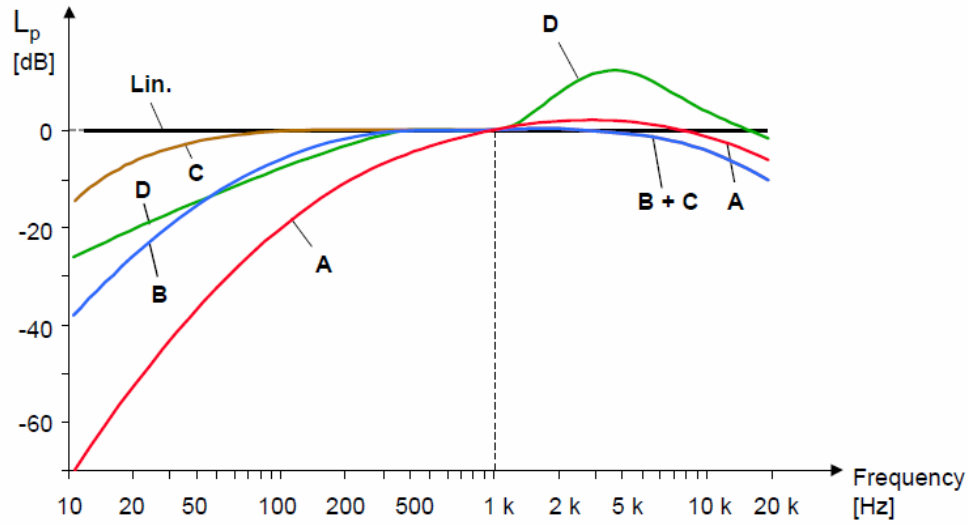




Potência térmica → Potência sonora

Temperatura → Pressão sonora

Curvas de ponderação



São curvas que representam as correções afetadas por filtros, em função da frequência, de modo a reproduzir a sensação auditiva humana.

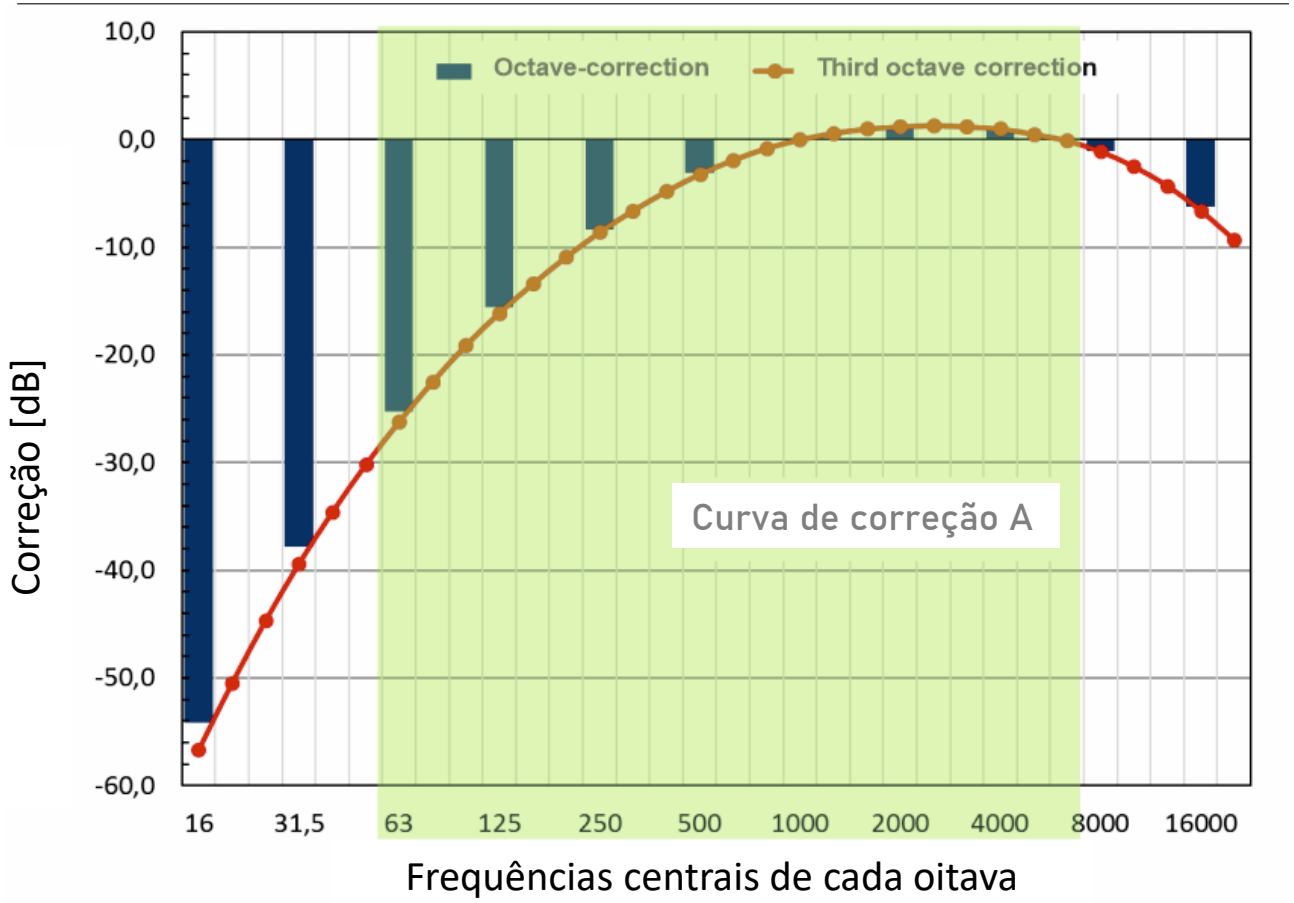
- **Filtro A:**
  Representa o comportamento do ouvido para os níveis de pressão sonora mais baixa: 0 a 55 dB
- **Filtro B:**
  Representa o comportamento do ouvido para níveis de pressão sonora médios: 55 a 85 dB
- **Filtro C:**
  Aplicável para níveis de pressão sonora acima de 85 dB

São representados respetivamente por: dB(A), dB(B) e dB(C)

Curva de correção A

- De utilização universal
- Denominada por dB(A)
- **Correspondente à compensação automática do sistema auditivo humano para níveis de pressão sonora entre 0 e 55 dB**

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-26,1	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

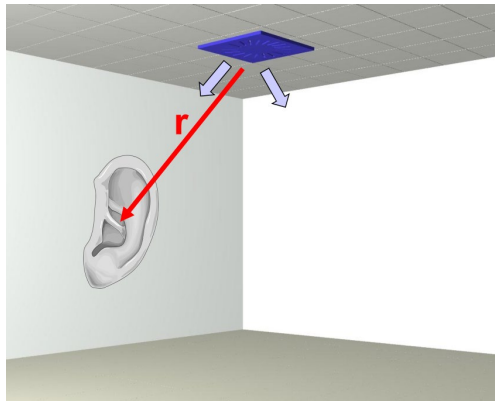


Atenuação sonora no local em dB(A)

Avaliação de ruído

num espaço segundo a norma VDI 2081-1971

Tipo de local	Nível sonoro dB(A)
Salas de concertos, conferência, etc.	25 – 30
Teatros, igrejas ou locais semelhantes	30 – 35
Quartos de hotel ou hospital	25 – 35
Salas de operação, de tratamentos, de espera	35
Cinemas, salas de reuniões, salas de gestão e de leitura	30 – 35
Salas de aulas e restaurantes com padrões mais elevados	35 – 40
Escritórios e restaurantes com padrões mais elevados	40 – 45
Grandes escritórios com público, restaurantes comuns	45- 50



Função de:

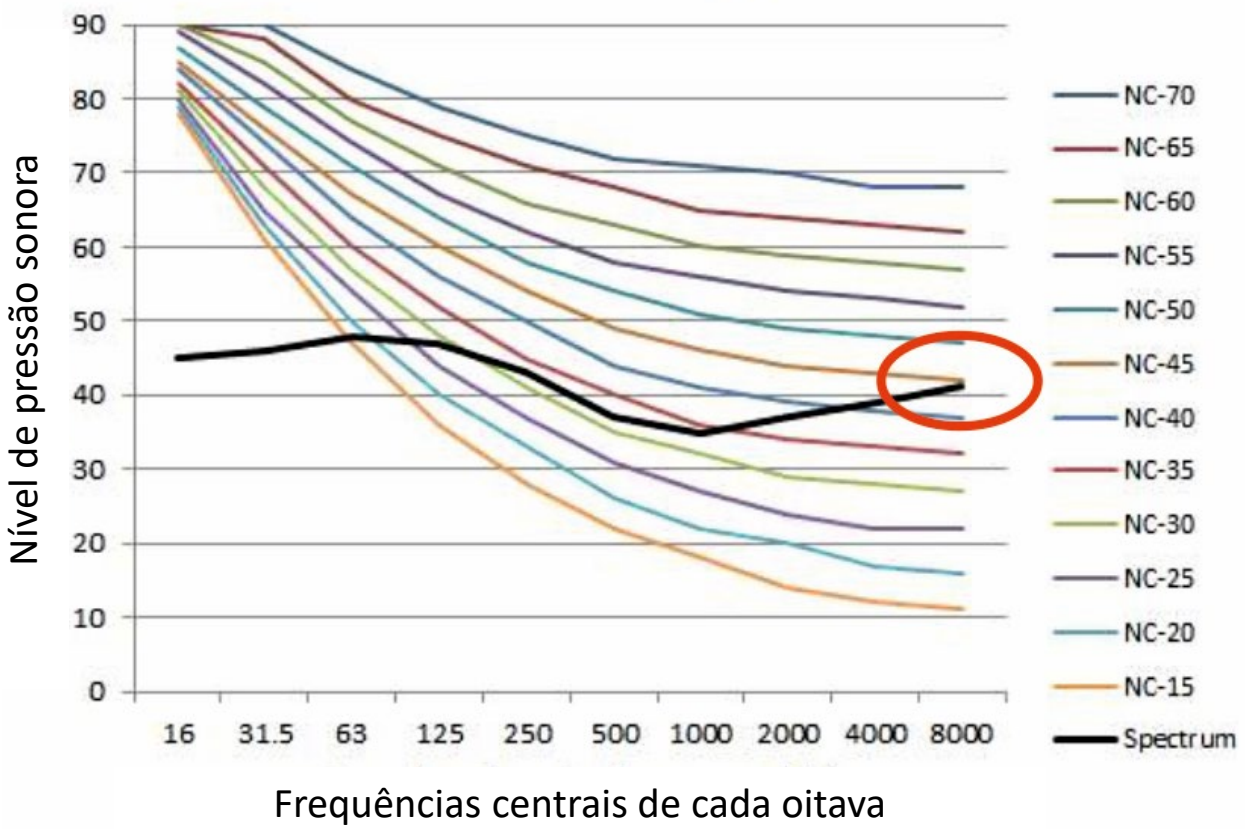
Volume do local

Distância à fonte do ruído

Caraterísticas das superfícies

Coeficiente de directividade Q,

Curvas de critério NC – Avaliação do ruído num espaço



Frequências centrais de cada oitava

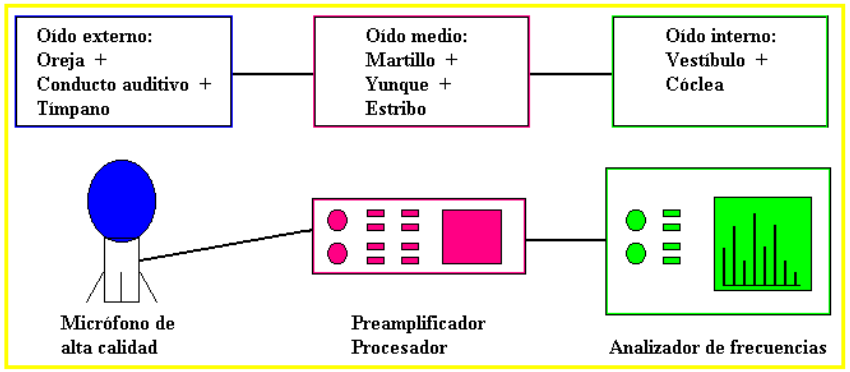
A classificação de um local quanto ao ruído corresponde à curva que não é "tocada" pelo espectro do ruído

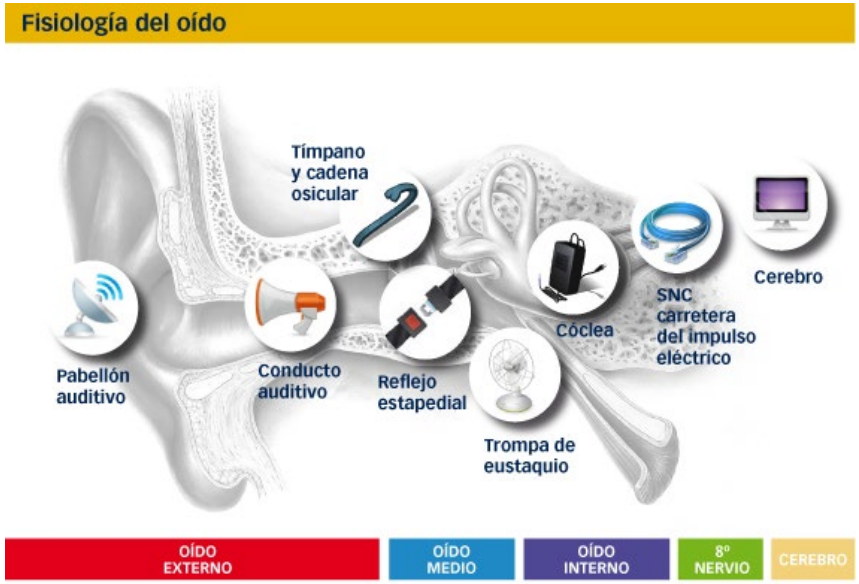
Resultado: NC-45

Type of Room - Space Type	Recommended NC Level	Equivalent Sound Level
	NC Curve	dBA
Apartments	25-35	35-45
Assembly Halls	25-30	35-40
Churches	30-35	40-45
Courtrooms	30-40	40-50
Factories	40-65	50-75
Private Residences	25-35	35-45
Restaurants	40-45	50-55
TV Broadcast studies	15-25	25-35
Recording Studios	15-20	25-30
Concert and recital halls	15-20	25-30
Sport Stadiums	45-55	55-65
Sound broadcasting	15-20	25-30
Movie motion picture theaters	30-35	40-45
Libraries	35-40	40-50

- A medição da pressão ou intensidade sonora faz-se com aparelhos denominados sonómetros.

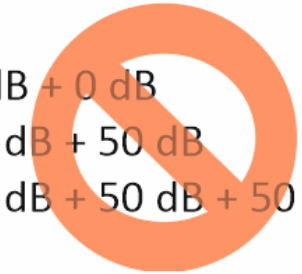
- O sonómetro foi desenvolvido de modo a responder da mesma forma que o ouvido humano





Adição de um ruído ao existente num determinado local

Regra de cálculo:



0 dB + 0 dB = 0 dB
50 dB + 50 dB = 100 dB
50 dB + 50 dB + 50 dB = 150 dB

0 dB + 0 dB = 3 dB
50 dB + 50 dB = 53 dB
50 dB + 50 dB + 50 dB = 55 dB

$$L_{ges} = 10\log(10^{\frac{L1}{10}} + 10^{\frac{L2}{10}} + 10^{\frac{L3}{10}} + \cdots + 10^{\frac{Ln}{10}})\ in\ dB$$

Resumo

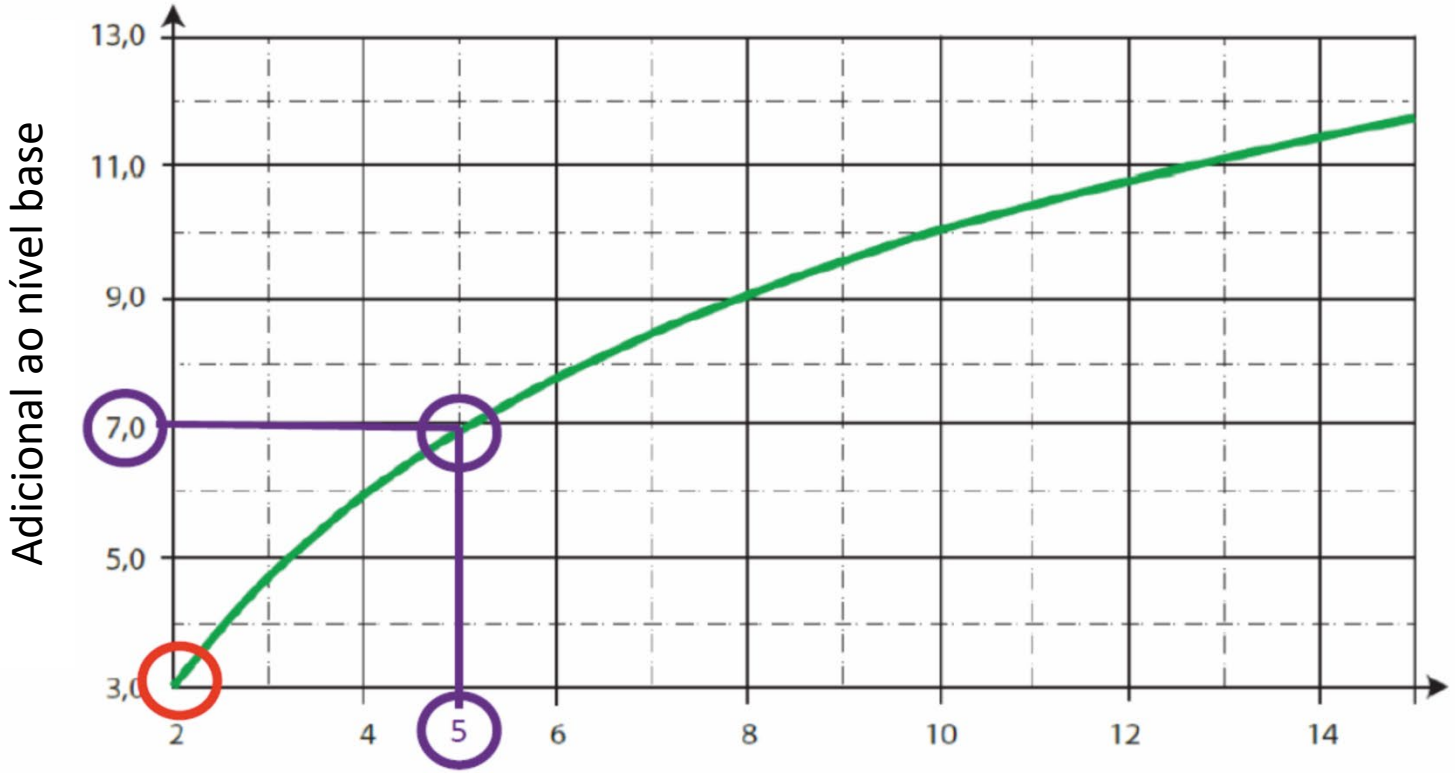
Diferença	
0 dB – 2 dB	Não se nota grande alteração
2 dB – 6 dB	Pequena alteração
6 dB – 10 dB	Alteração significativa
> 10 dB	Grande alteração

Soma de vários ruídos

$$L_{ges} = 10\log(10^{\frac{L1}{10}} + 10^{\frac{L2}{10}} + \cdots + 10^{\frac{Ln}{10}})\ in\ dB$$

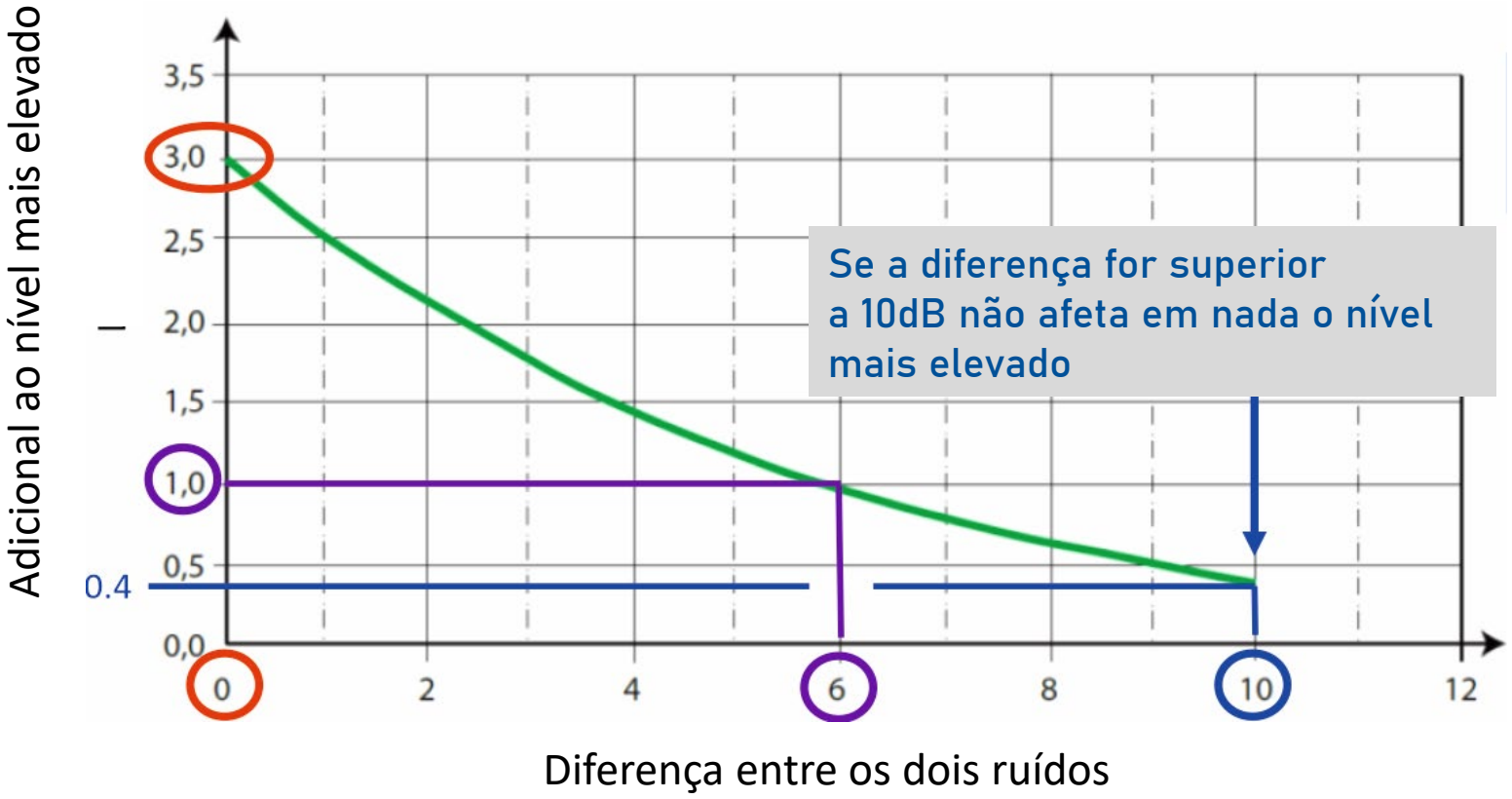
50 dB + 50 dB = 53 dB

50 dB + 50 dB + 50 dB + 50 dB + 50 dB = 57 dB



Soma de dois “ruídos”

$$L_{ges} = 10\log(10^{\frac{L1}{10}} + 10^{\frac{L2}{10}} + \cdots + 10^{\frac{Ln}{10}})\ in\ dB$$



50 dB + 50 dB = 53 dB

50 dB + 56 dB = 57 dB

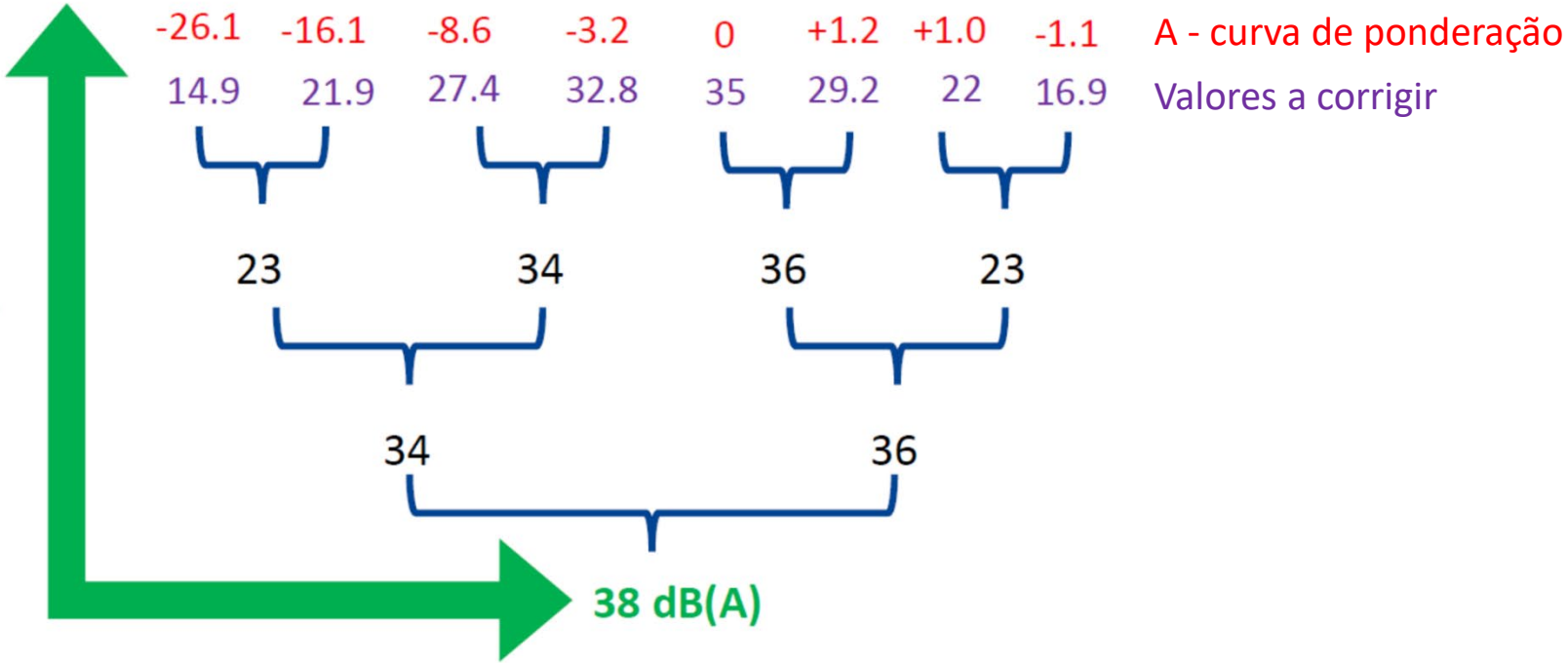
Somar 1 dB ao nível mais elevado

Análise do nível de potência sonora de um determinado espectro de ruído em dB(A)

Acoustic results

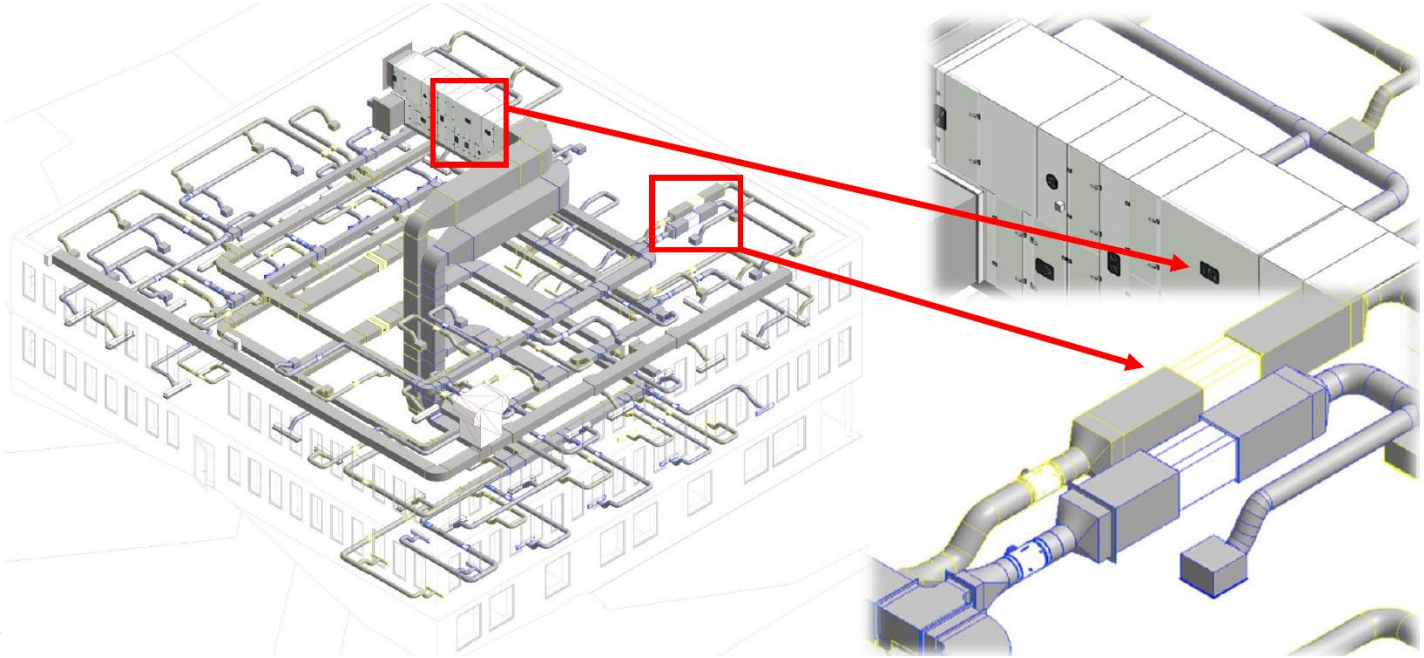
	Δp_t [Pa]	LWA [dB(A)]	63Hz [dB]	125Hz [dB]	250Hz [dB]	500Hz [dB]	1kHz [dB]	2kHz [dB]	4kHz [dB]	8kHz [dB]	LWNC [dB]	LWNR [dB]
General	165	38	41	38	36	36	35	28	21	18	33	35

Corresponde com a curva de ponderação A

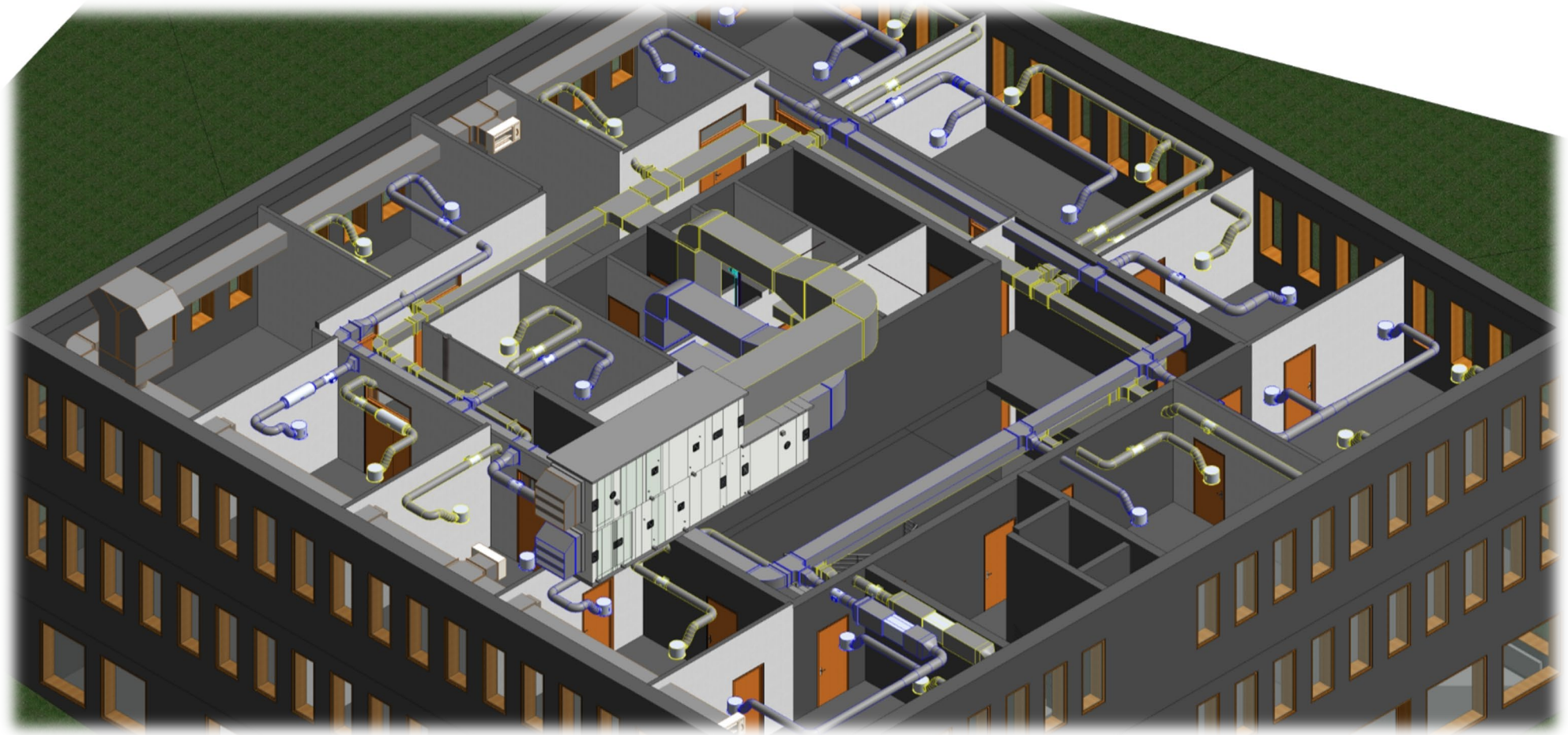


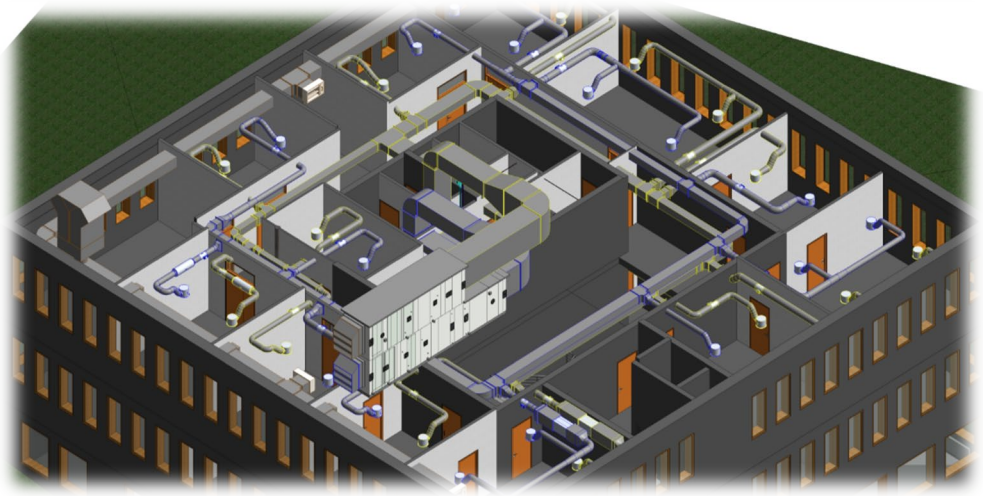
$$L_{ges} = 10\,\lg(10^{\frac{14.9}{10}} + 10^{\frac{21.9}{10}} + 10^{\frac{27.4}{10}} + 10^{\frac{32.8}{10}} + 10^{\frac{35}{10}} + 10^{\frac{29.2}{10}} + 10^{\frac{22}{10}} + 10^{\frac{16.9}{10}}) = 38\ dB(A)$$

2 – Sistemas centralizados de AVAC geradores de ruído e localização dos atenuadores de som



Instalação tipo





Condições acústicas da sala

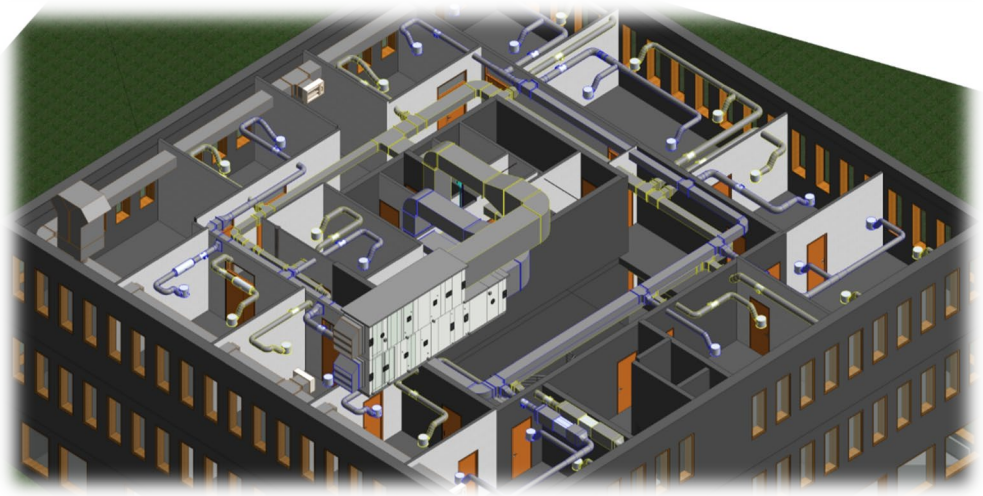
- Pressão sonora admissível
- Tempo de reverberação
- Absorção sonora
- Localização das unidades terminais (grelhas e difusores)

Ruído transmitido através da rede de condutas

- Fontes de ruído
- Atenuações naturais
- Atenuadores acústicos

Ruído radiado

- UTA's
- Ventiloconvectores
- Reguladores de caudal de ar



Fontes de ruído

- UTA's
- Registos corta-fogo
- Reguladores de caudal de ar

Atenuadores de som

- Atenuadores retangulares
- Atenuadores circulares
- Secções atenuadoras
- Grelhas acústicas

Atenuações naturais

- Troços de conduta retos
- Curvas
- Bifurcações
- Unidades terminais

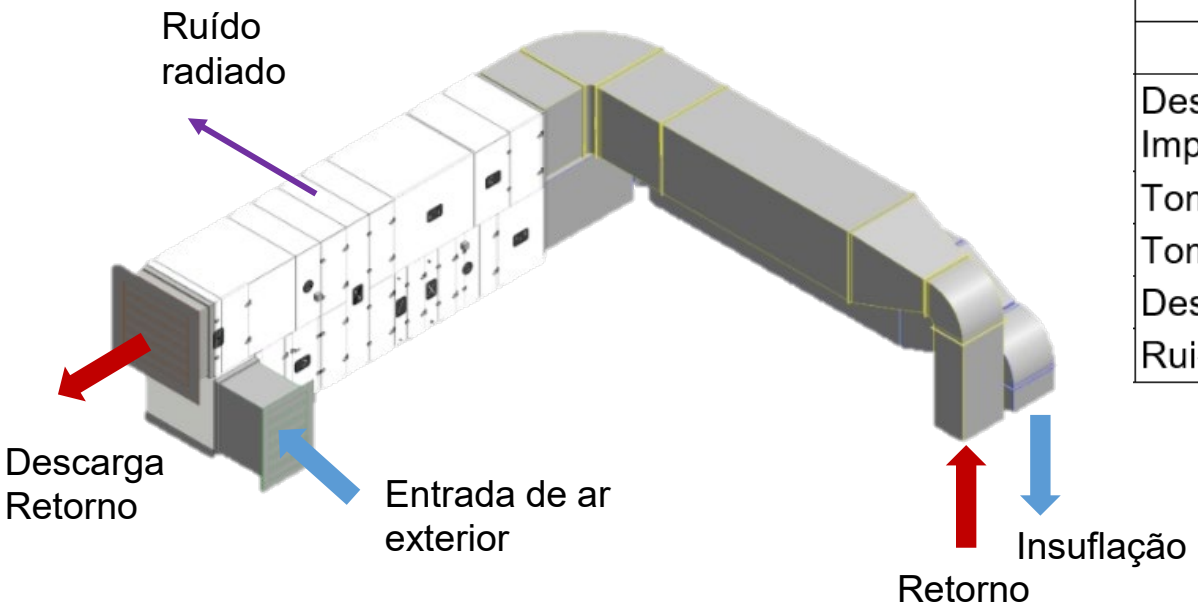
Considerações

- Nível de pressão sonora nas zonas climatizadas
- Analisar a eventual necessidade de componentes de atenuação sonora extra
- Caso haja essa necessidade extra, analisar o(s) local(is) onde colocar os atenuadores de som
- Analisar a eventual necessidade de acautelar atenuação sonora no exterior
- Caso as fontes sonoras se encontrem em locais fechados, por ex. tetos falsos, convém analisar o ruído radiado para a zona ocupada

Pontos de conflito

- Curvas, cotovelos e transformações mal desenhadas
- Localização deficiente dos registos e baterias de aquecimento e arrefecimento
- Ventiladores localizados em tetos falsos ligeiros imediatamente acima ou em baixo com deficiente isolamento acústico
- Caixas/reguladores VAV ou VAC sujeitas a pressões diferenciais elevadas (>150 Pa)
- Registos corta-fogo

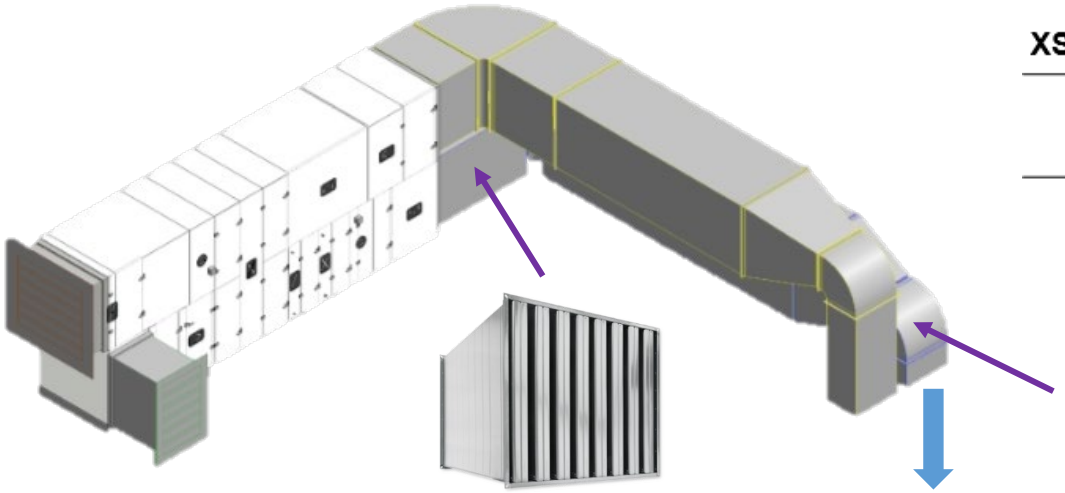
Unidades de tratamento do ar



Potencia sonora (dB)									
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
Descarga Impulsión	83	79	82	81	80	79	68	64	85
Toma Impulsión	80	79	82	80	75	73	71	73	82
Toma Retorno	67	73	74	73	72	73	75	66	80
Descarga Retorno	70	74	75	78	79	79	78	71	85
Ruido Radiado	77	69	63	55	54	58	45	32	63

Caudal = 5.940 m³/h

Rede de condutas de insuflação



Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pot. Sonora Ventilador (dB)	83	79	82	81	80	79	68	64
Silenciador XS-F/1200x400x1000	4	9	16	32	41	35	23	16
Espectro resultante	79	70	66	49	39	44	45	48

3 curvas a 90º

37 m de conduta linear
1100x300 mm

Atenuação das condutas metálicas sem isolamento

Dimensión del conducto	ΔLw en dB/m por banda de frecuencia							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Conductos metálicos de chapa galvanizada								
100 a 200 mm	0.60	0,60	0,45	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
200 a 400 mm	0,60	0,60	0,45	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20
400 a 800 mm	0,60	0,60	0,30	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
800 a 1000 mm	0,45	0,30	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
Conductos circulares								
100 a 200 mm Ø	0,10	0,10	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
200 a 400 mm Ø	0,06	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
400 a 800 mm Ø	0,03	0,06	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
800 a 1000 mm Ø	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

$$Lw = 1{,}5 * \alpha \frac{U}{S}$$

y para conductos circulares

$$Lw = 6 * \frac{\alpha}{d}$$

α	Coeficiente de absorción acústica
U	Perímetro del conducto
S	Sección efectiva del conducto
d	Diámetro del conducto

Atenuação das condutas metálicas com isolamento, interior

Dimensión conducto	ΔLw en dB/m por banda de frecuencia					
	125	250	500	1k	2k	4k
150 x 150 mm	4,5	4,0	11,0	16,5	19,0	17,5
150 x 300 mm	3,5	3,0	8,5	16,5	18,0	15,5
300 x 300 mm	2,5	2,0	7,0	15,5	15,0	10,0
300 x 600 mm	1,5	1,5	6,0	15,0	10,0	7,0
600 x 600 mm	1,0	1,5	5,0	12,0	7,0	4,5
600 x 900 mm	1,0	2,0	3,5	8,0	4,5	3,0
600 x 1200 mm	0,5	1,5	3,5	7,5	4,0	2,5
600 x 1800 mm	0,5	1,5	4,0	7,5	4,0	2,0

Aislamiento acústico de:

- 25 mm de espesor
- Densidad 40 a 80 kg/m3

Atenuação nas condutas em fibra

Nas condutas de fibra de vidro pode-se calcular a atenuação acústica em dB/m em função do perímetro, a sua secção efetiva e dos coeficientes de absorção por banda de frequência.

Fórmula

$$\Delta w = 1{,}5 * \alpha^{1{,}4} \frac{P}{S}$$

Sendo

Δw Atenuação de som

α Coeficiente de absorção α (sabine) do material

P Perímetro da conduta

S Secção efetiva da conduta

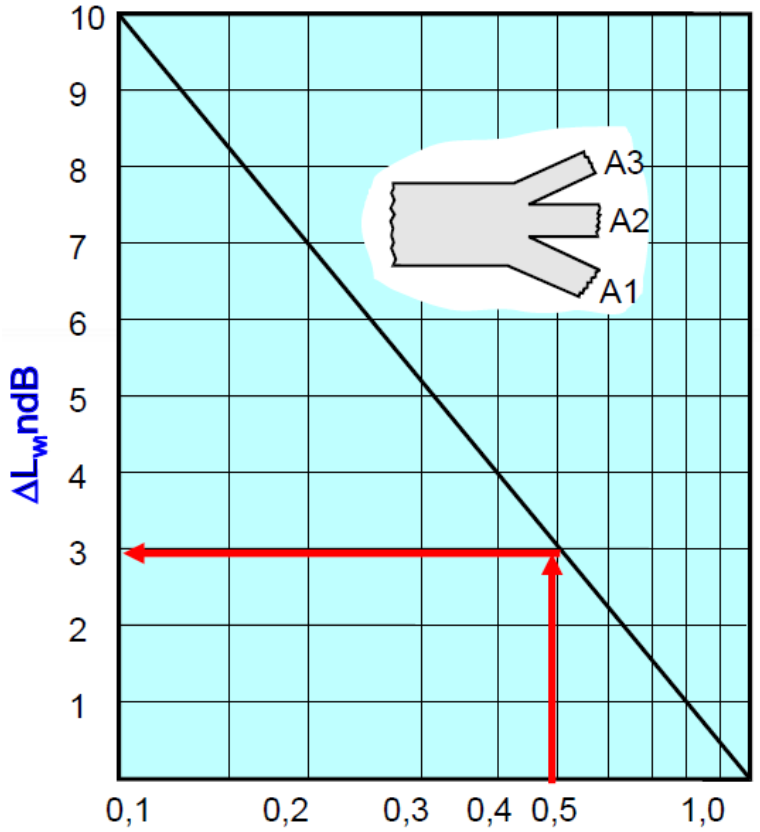
Atenuação acústica em dB para L=5m

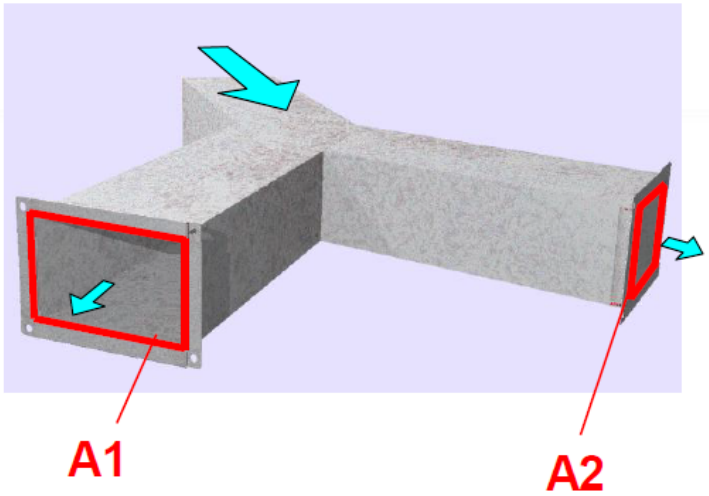
F(Hz)	125	250	500	1000	2000
Metálico	2	2	7,5	7,5	3
CLIMAVER PLUS® R	8,5	8,5	8,5	38,5	30
CLIMAVER neto®	18	43	52,5	62,5	68
CLIMAVER® APTA	22	43	53	68	68

Atenuação em cotovelo e curvas a 90º com raio < 2d

Diámetro d en mm	ΔLw en dB por banda de octava en Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
125 a 250	0	0	0	1	2	3	3
280 a 500	0	0	1	2	3	3	3
530 a 1000	0	1	2	3	3	3	3
1050 a 2000	1	2	3	3	3	3	3

Atenuação nas bifurcações



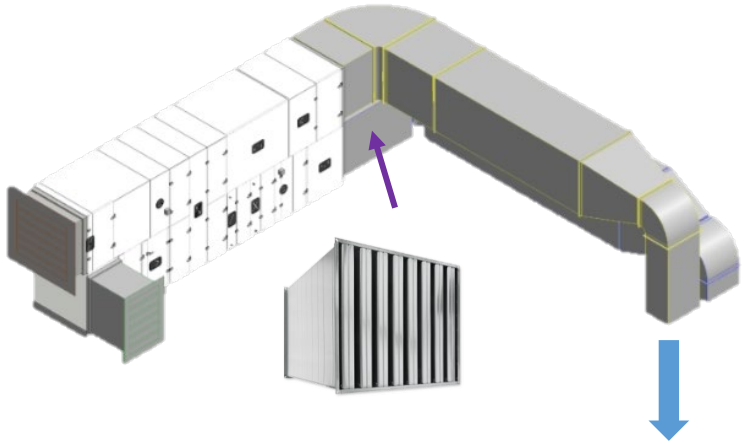


Ratio of cross-section $\frac{A_1}{\sum A_{1,2,3}}$

Atenuação por reflexão numa unidade terminal (grelha ou difusor)

	Atenuación por banda de frecuencia				
Sección efectiva en m^2	63	125	250	500	1000
0,010	19	15	10	06	2
0,015	18	13	09	05	
0,020	17	12	08	04	
0,030	16	11	07	03	
0,040	15	10	06	02	
0,050	14	09	05		
0,060	13	09	04		
0,080	12	08	04		
0,100	12	08	03		
0,150	11	07	02		
0,200	10	06	02		
0,300	09	05			
0,400	08	04			
0,500	07	03			
0,600	06	03			

Rede de condutas de insuflação

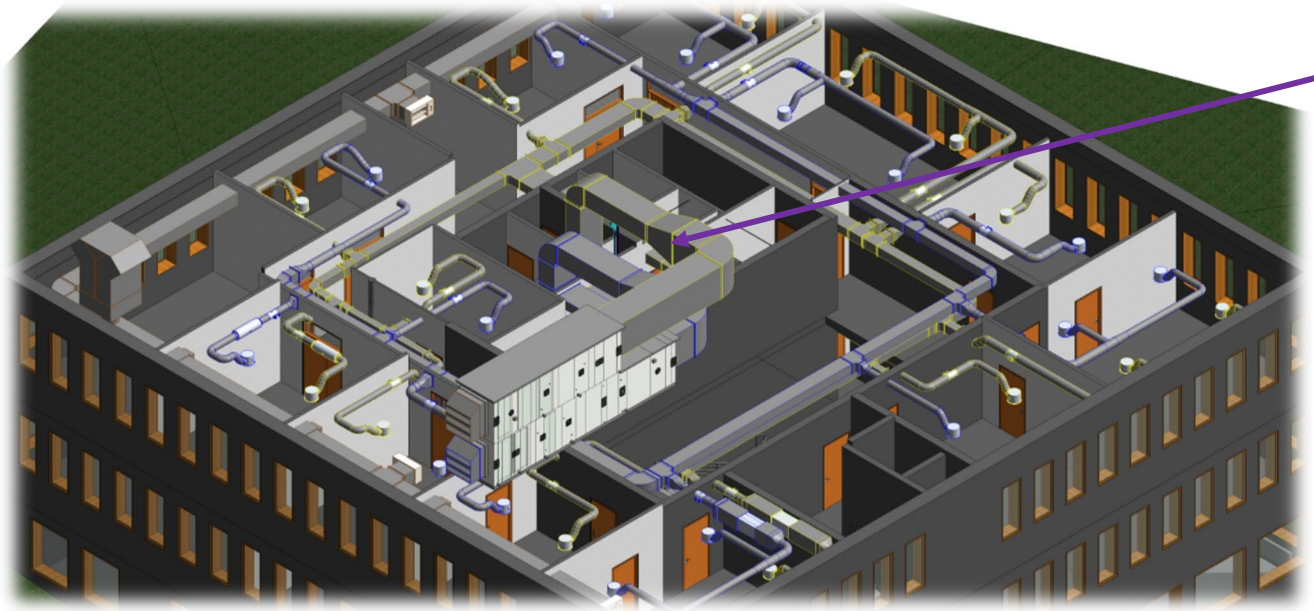


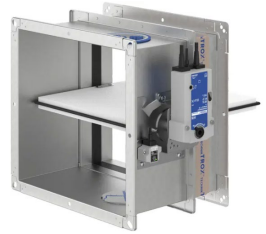
Insuflação
3 curvas a 90º

37 m de conduta linear
de 1100x300 mm

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pot. Sonora Ventilador (dB)	83	79	82	81	80	79	68	64
Silenciador XS-F/1200x400x1000	4	9	16	32	41	35	23	16
Espectro resultante 1	79	70	66	49	39	44	45	48
Conducto metálico: 37 metros	17	11	6	4	2	2	2	2
3 Codos a 90º	0	0	3	6	9	9	9	9
Espectro resultante 2	62	59	57	39	28	33	34	37

Fontes de ruído: registos corta-fogo





Inserido numa parede de alvenaria

5940 m3/h

dimensão de 1100x300 mm

Fontes de ruído: registos corta-fogo

FKA2-EU/ES/1100x300x305/Z45

País	ES	España (Spain)
Anchura	1100	
Altura	300	
Longitud	305	
Accesorios	Z45	Z45 | Actuador con muelle de retorno;24 V AC/DC;–
Cantidad total	1	

Datos de entrada

Método: Caudal de aire dado

Caudal de aire q_v 5.940 m³/h

Notas *)

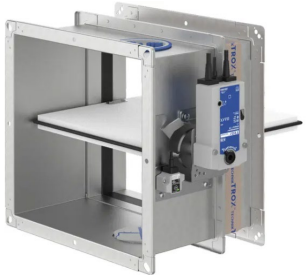
Peso m: El peso especificado incluye el componente, pero no componentes adicionales

Resultados

Velcidad del aire v	5,00 m/s
Área libre A_{fr}	0,2502 m²
Coeficiente de pérdida de presión ζ	0,32
Pérdida de carga total Δp_t	5 Pa
Peso m	27 kg *)

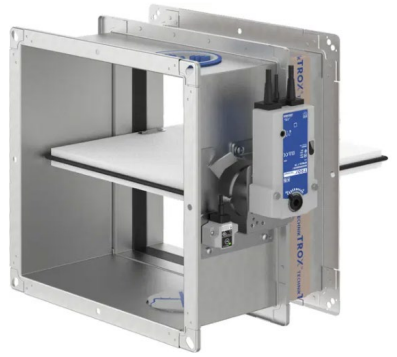
Resultados acústicos

	LWA [dB(A)]	63Hz [dB]	125Hz [dB]	250Hz [dB]	500Hz [dB]	1kHz [dB]	2kHz [dB]	4kHz [dB]	8kHz [dB]	LWNC [dB]	LWNR [dB]
General	39	45	43	41	35	35	30	21	< 15	33	35



IMPORTANTE:
É necessário analisar se a potência sonora resultante não é superior ao epectro de ruído a montante do ventilador

Fontes de ruído: registos corta-fogo



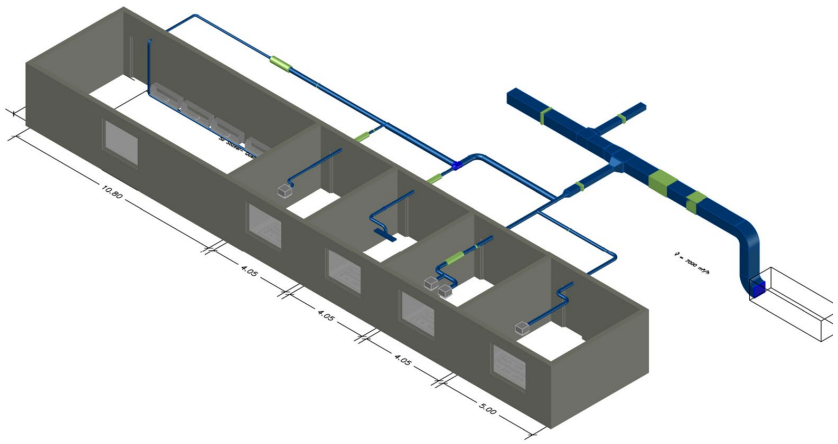
Potência sonora dB(A)

	dimensões (mm)			
Velocidade (m/s)	200x200	500x250	1000x500	1500x800
5	31	33	39	41
6	36	38	44	46
7	40	42	48	50
8	43	46	52	54
9	47	49	55	57
10	49	52	58	59

Perda de carga (Pa)

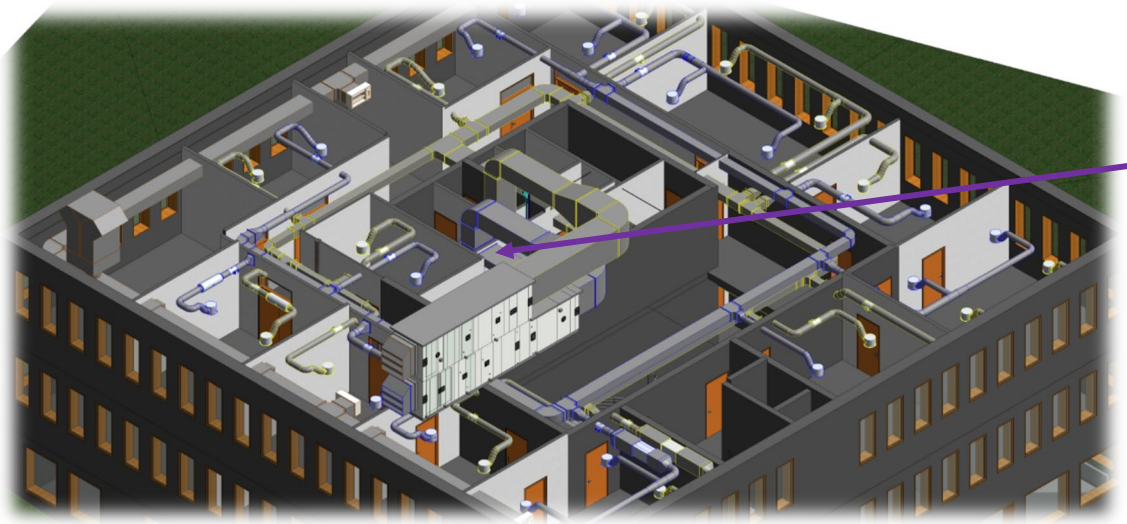
	Dimensões (mm)			
Velocidade (m/s)	200x200	500x200	1000x500	1500x800
5	11	7	4	3
6	16	10	6	4
7	22	13	8	5
8	28	17	10	7
9	36	22	13	9
10	44	27	16	11

Fontes de ruído: registos corta-fogo



Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pot. Sonora Ventilador (dB)	83	79	82	81	80	79	68	64
Silenciador XS-F/1200x400x1000	4	9	16	32	41	35	23	16
Espectro resultante 1	79	70	66	49	39	44	45	48
Conducto metálico: 37 metros	17	11	6	4	2	2	2	2
3 Codos a 90º	0	0	3	6	9	9	9	9
Espectro resultante 2	62	59	57	39	28	33	34	37
Cortafuegos FKA2-EU/1100x300	45	43	41	35	35	30	21	14
Espectro resultante 3	62	59	57	41	36	35	34	37

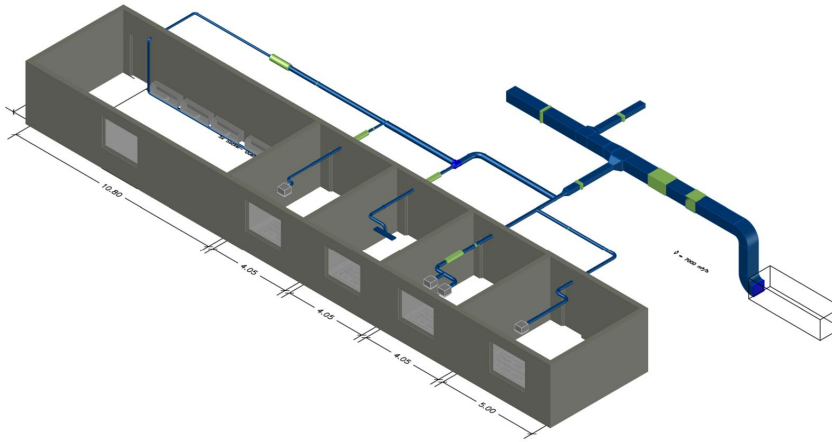
Fontes de ruído: reguladores de caudal de ar (caixas VAV)



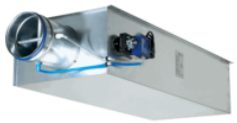
Caixa VAV

5940 m3/h

Fontes de ruído: reguladores de caudal de ar (caixas VAV)



TVZ/400/Easy



Tamaño nominal	400	
Componente de control	Easy	Easy	regulador de caudal; aire no contaminado; sin función de seguridad
Cantidad total	1	

Datos de entrada

Método: Valores de funcionamiento para	
Caudal de aire q_v	5.768 m³/h
Presión diferencial estática Δp_{st}	100 Pa

Resultados

Velcidad del aire v	12,88 m/s
Presión diferencial estática mínima $\Delta p_{st,min}$	73 Pa
Ruido de aire regenerado $L_{p,A}$	27 dB(A)
Ruido radiado $L_{p,A}$	35 dB(A)
Sistema de atenuación del ruido de aire regenerado ΔL_1	21 dB *)
Sistema de atenuación del ruido de aire radiado por la carcasa ΔL_2	9 dB *)
Rango de tolerancia de caudal de aire [±%] Δq_v	5

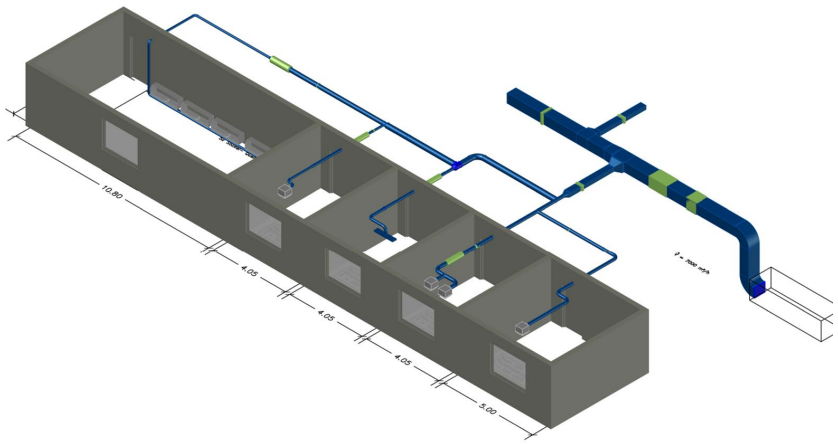
Notas *)

Sistema de atenuación del ruido de aire regenerado ΔL_1	La potencia sonora del ruido de aire regenerado se calcula en función de los valores acústicos alcanzados por el sistema en condiciones reales. Estos valores de atenuación del sistema son los valores ponderados de distancia al foco emisor, reflexión de onda, conexión de conducto y absorción acústica de la sala

Resultados acústicos

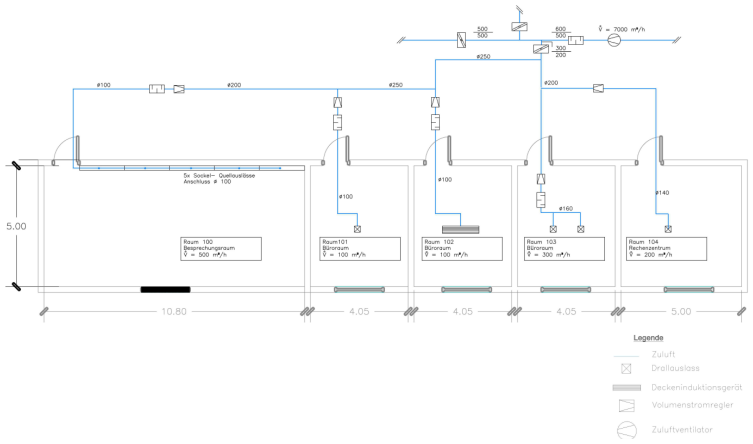
	$L_{W,A}$ [dB(A)]	63Hz [dB]	125Hz [dB]	250Hz [dB]	500Hz [dB]	1kHz [dB]	2kHz [dB]	4kHz [dB]	8kHz [dB]	$L_{W,NC}$ [dB]	$L_{W,NR}$ [dB]
Ruido de aire regenerado, nivel de potencia sonora	48	69	59	44	38	35	33	32	36	48	43
Ruido radiado por la carcasa, nivel de potencia sonora	44	66	52	46	36	29	31	29	16	44	39
Amortiguación	N.A.	20	25	31	45	45	42	37	31		

Fontes de ruído: reguladores de caudal de ar (caixas VAV)



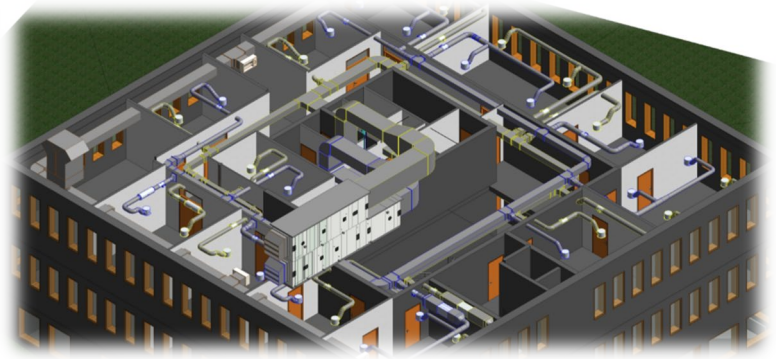
Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pot. Sonora Ventilador (dB)	83	79	82	81	80	79	68	64
Silenciador XS-F/1200x400x1000	4	9	16	32	41	35	23	16
Espectro resultante 1	79	70	66	49	39	44	45	48
Conducto metálico: 37 metros	17	11	6	4	2	2	2	2
3 Codos a 90º	0	0	3	6	9	9	9	9
Espectro resultante 2	62	59	57	39	28	33	34	37
Cortafuegos FKA2-EU/1100x300	45	43	41	35	35	30	21	14
Espectro resultante 3	62	59	57	41	36	35	34	37
Unidades de control TVZ/400/Easy	69	59	44	38	35	33	32	36
Espectro resultante 4	70	62	57	42	39	37	36	40

Atenuações naturais: ambiente a climatizar e unidade terminal (grelha ou difusor)



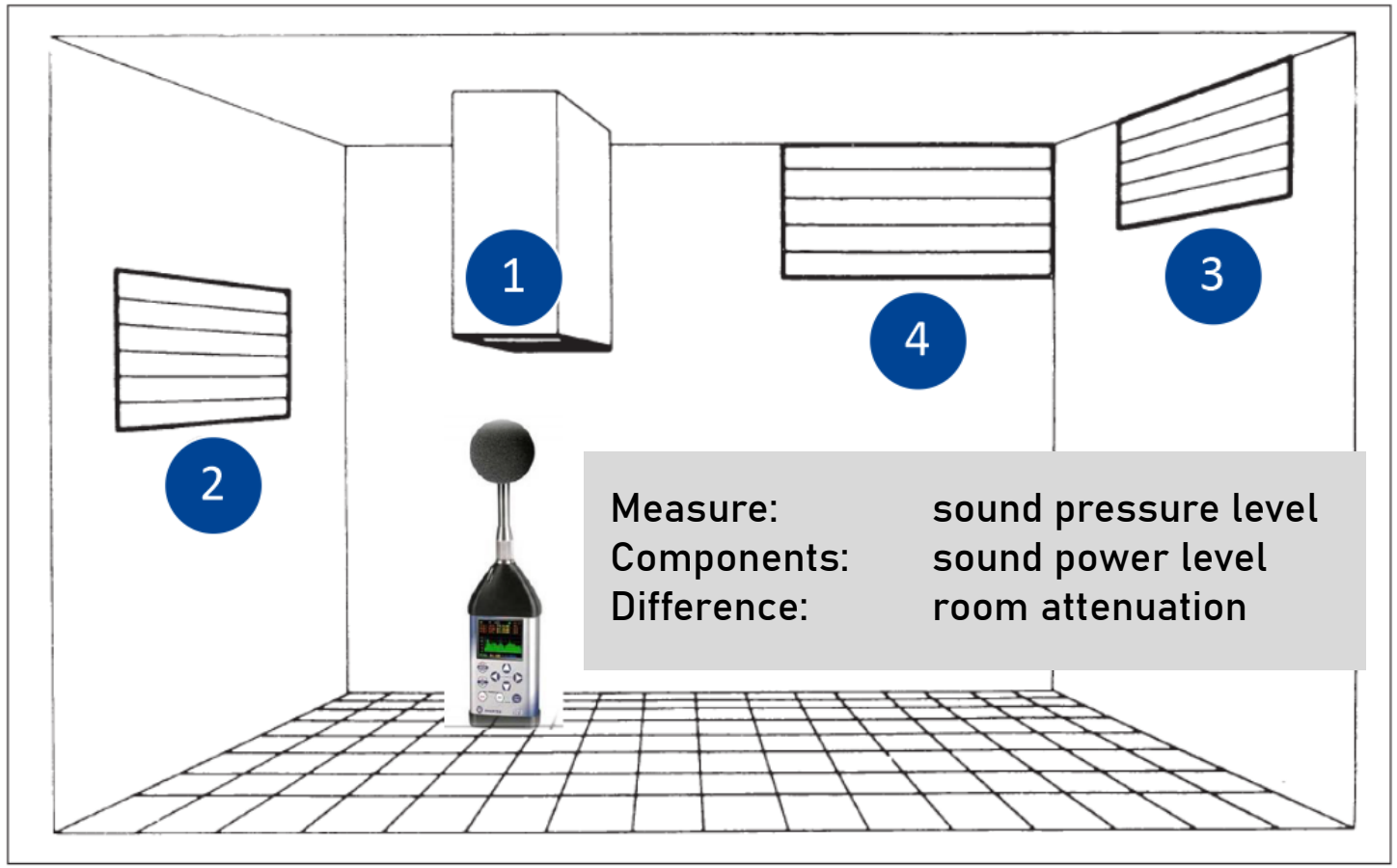
Espectro resultante 4	70	62	57	42	39	37	36	40
Conducto fibra aislado: 10 metros	15	15	15	17	60	60	60	0
3 Codos a 90º	0	0	3	6	9	9	9	9
Bifurcación	5	5	5	5	5	5	5	5
Unidad terminal	16	11	7	3	0	0	0	0
Espectro resultante 5	34	31	27	11	0	0	0	26

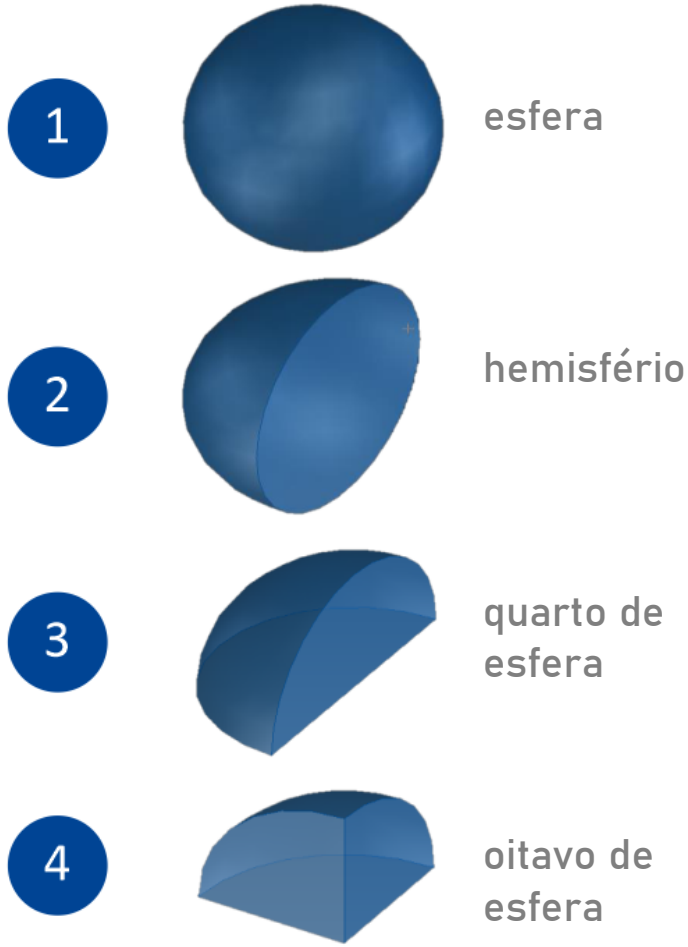
Cálculo acústico completo



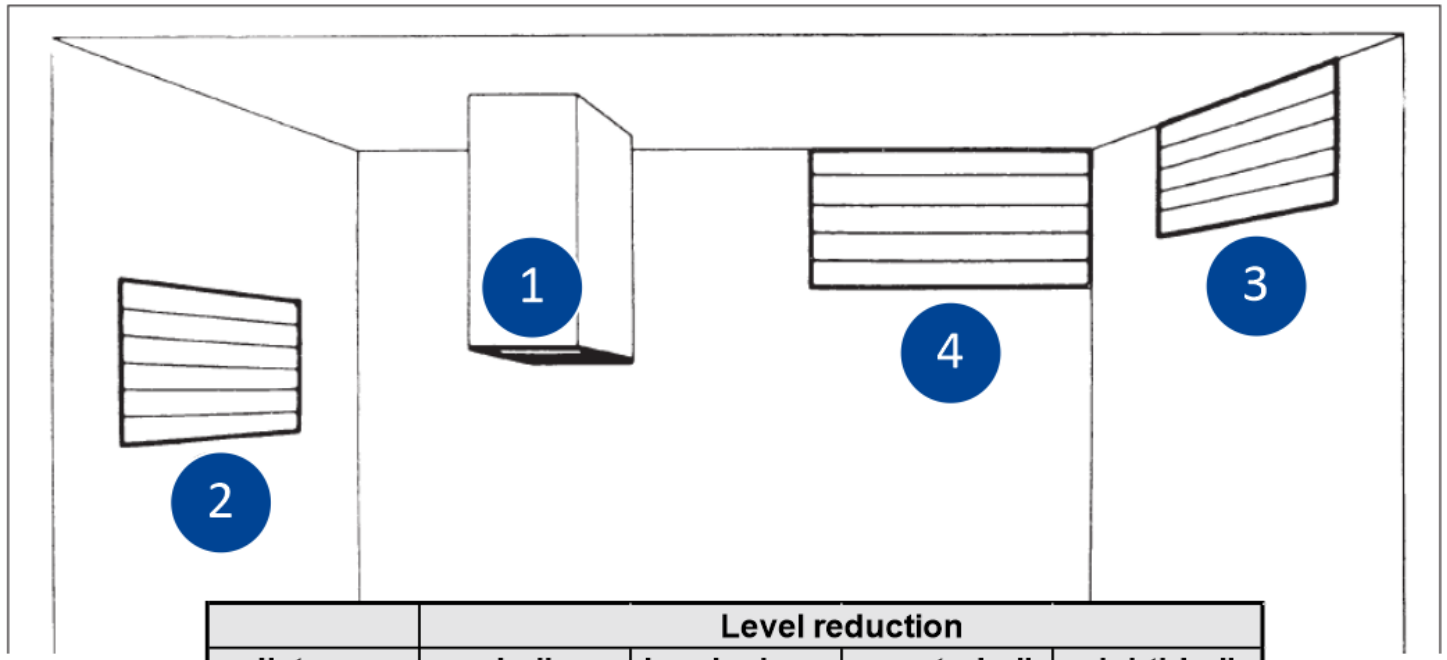
Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pot. Sonora Ventilador (dB)	83	79	82	81	80	79	68	64
Silenciador XS-F/1200x400x1000	4	9	16	32	41	35	23	16
Espectro resultante 1	79	70	66	49	39	44	45	48
Conducto metálico: 37 metros	17	11	6	4	2	2	2	2
3 Codos a 90º	0	0	3	6	9	9	9	9
Espectro resultante 2	62	59	57	39	28	33	34	37
Cortafuegos FKA2-EU/1100x300	45	43	41	35	35	30	21	14
Espectro resultante 3	62	59	57	41	36	35	34	37
Unidades de control TVZ/400/Easy	69	59	44	38	35	33	32	36
Espectro resultante 4	70	62	57	42	39	37	36	40
Conducto fibra aislado: 10 metros	15	15	15	17	60	60	60	0
3 Codos a 90º	0	0	3	6	9	9	9	9
Bifurcación	5	5	5	5	5	5	5	5
Unidad terminal	16	11	7	3	0	0	0	0
Espectro resultante 5	34	31	27	11	0	0	0	26
Corrección a dB(A)	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Resultante	8	15	18	8	0	1	1	25

Atenuação do espaço ambiente – em função da localização da unidade terminal (grelha ou difusor)

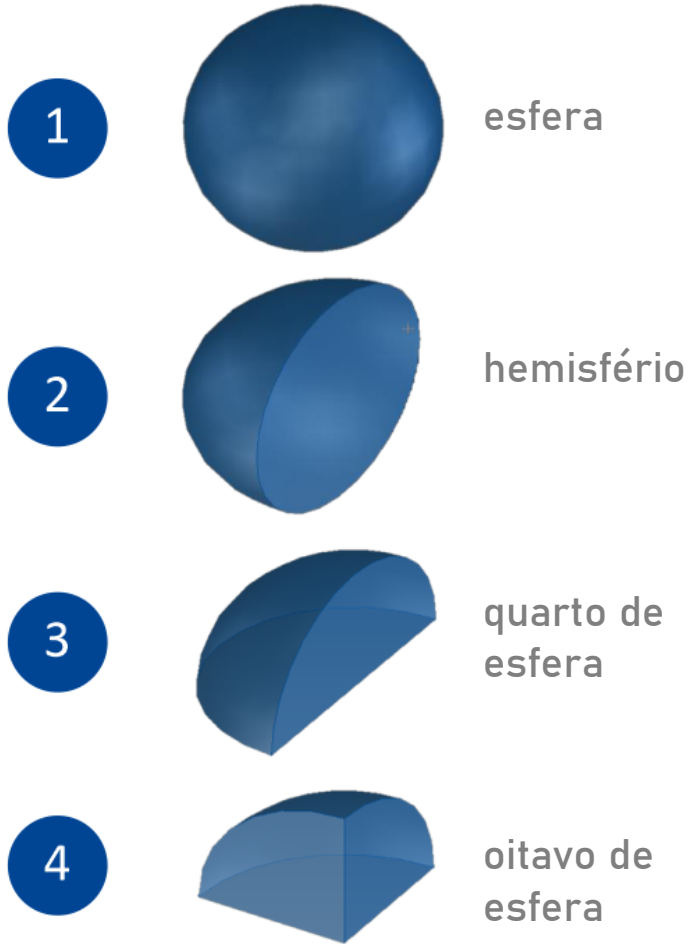




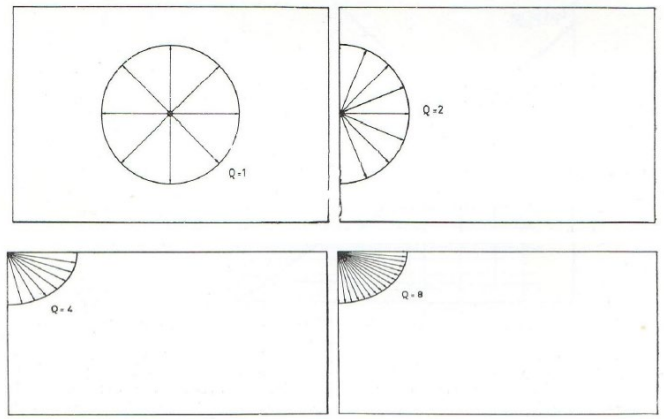
Atenuação do espaço ambiente – em função da localização da unidade terminal (grelha ou difusor)

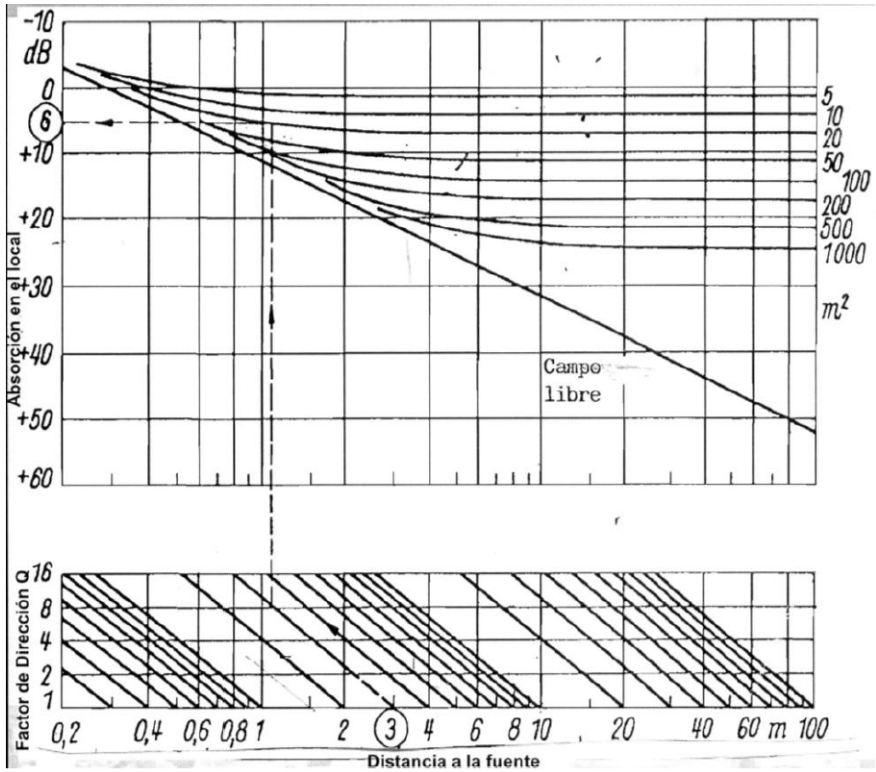


	Level reduction			
distance	ball	hemisphere	quarterball	eighthball
m	dB	dB	dB	dB
1	11	8	5	2
2	17	14	11	8
4	23	20	17	14
8	29	26	23	20



Nível de pressão sonora na sala





$$L_p = L_W + 10 \cdot \lg\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right)$$

L_W is the sound power level dB caused by the air inlets or outlets; in dB
Q is the directive effect
A is the equivalent absorption area; in m^2, Equation (36)
r is the distance between the outlet opening and room point; in m

Nível de pressão sonora na sala

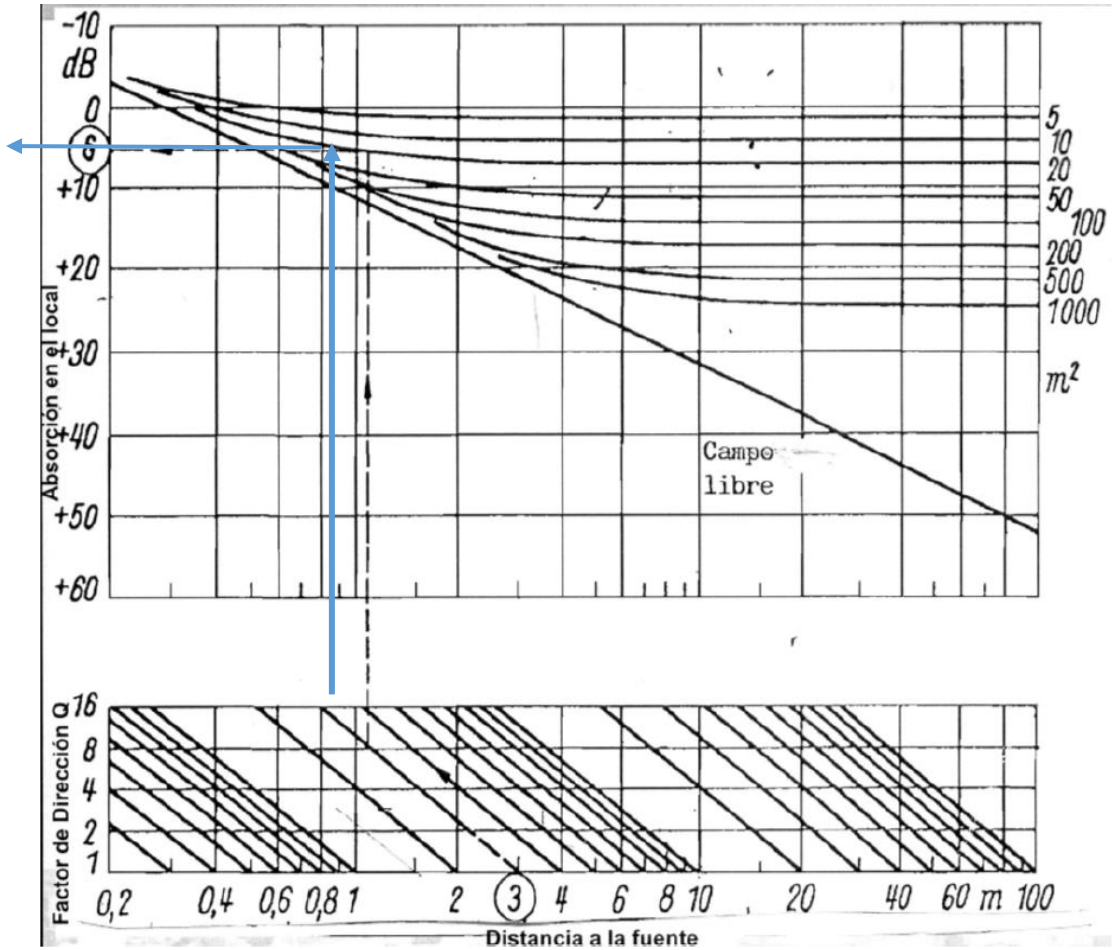
Fator de direção 1

Distância de fonte sonora à zona de ocupação 3 m

Superfície de absorção do local 20 m²

Absorção do local: 8 dB

Pressão sonora total: 26 dB(A)



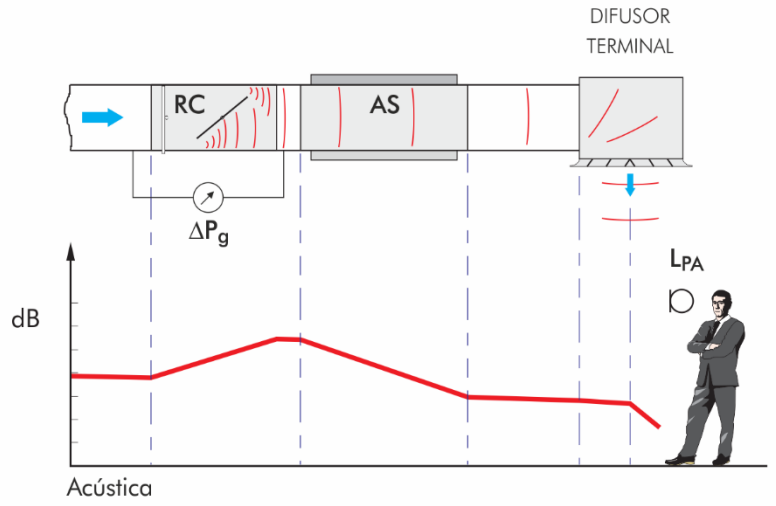
Reguladores de caudal de ar - Dimensionamento

Situação tipo

- Considerando um nível de pressão sonora máxima no ambiente de aprox.: LPA|max < 40 dB(A)

Ruído

- O nível de pressão sonora máxima no ambiente é uma variável importante a ter em linha de conta na escolha do regulador uma vez que para uma velocidade do ar superior a 5 m/s e/ou uma perda de carga superior a 150 Pa poderá haver necessidade de colocar em série um atenuador de som.



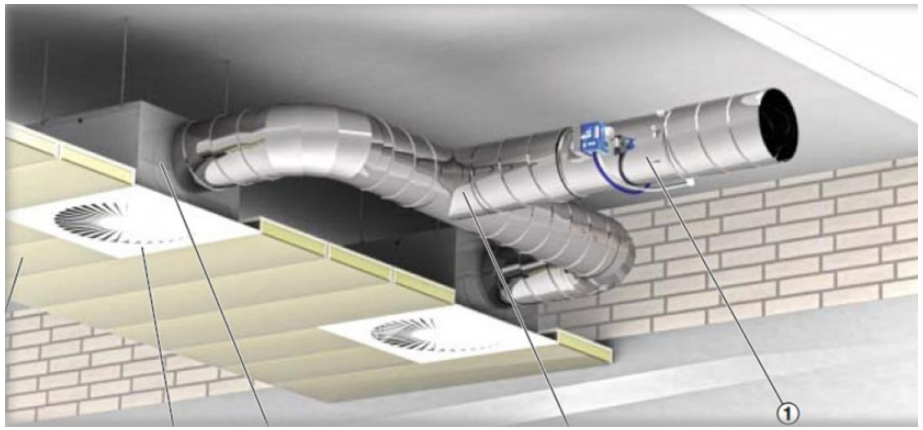
RC - Regulador de caudal
AS - Atenuador de som (opcional)
L_{PA} - Nível de pressão sonora no ambiente
ΔP_g - Pressão diferencial estática no regulador de caudal de ar

Como critério base da eventual necessidade de um atenuador de som adicional propomos seguir o indicado na tabela abaixo.

ΔPg (Pa)	50 Pa - 100 Pa		100 Pa - 150 Pa		200 Pa		500 Pa *	
Velocidade do ar na conduta	< 4 m/s	4 - 8 m/s	< 4 m/s	4 - 8 m/s	< 4 m/s	4 - 8 m/s	< 4 m/s	4 - 8 m/s
VFL	NÃO É NECESSÁRIO	NÃO APLICÁVEL	NÃO É NECESSÁRIO	NÃO APLICÁVEL	NÃO RECOMENDADO	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	
VFC	NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO	CF050 L=500	CF050 L=500	CF050 L=1000	NÃO ACONSELHÁVEL	
RN	NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO	CF050 L=500	CF050 L=500	CF050 L=1000	CF050 L=1000	CF050 L=1500
EN	NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO	TX	TX	TX	TX	TX
TVR-Easy	NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO	CF050 L=1000	CF050 L=1000	CF050 L=1500	É ACONSELHÁVEL A ESCOLHA DA CAIXA VAV TVZ-Easy	
TVJ/TVT-Easy	NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO	TX	TX	TX	TX	TX
TVZ-Easy	NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO		NÃO É NECESSÁRIO		TS (1)	

(*) No caso de sistemas de média/alta e alta pressão é aconselhada a escolha de **reguladores de caudal com revestimento acústico:**					
	SEM revestimento	RN	EN	TVR-Easy	TVJ-Easy
	COM revestimento	RND	END	TVRD-Easy	TVJD-Easy

Exemplo



Nível de pressão sonora requerido: 35 dB(A)
(1 m distância dos difusores)

Nível de pressão sonora: 44 dB(A)
(1 m distância dos difusores)

Conclusão: é necessário um atenuador de som para baixar o nível para 35 dB(A)

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Sound source -	De	0	0	0	0	0	0	0	0	
Volume flow controler	Lw	62	60	58	54	49	44	37	30	
Result	Lw	62	60	58	54	49	44	37	30	**56 dB(A)**

Reguladores de caudal de ar

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Duct	De	0	1	1	2	2	2	2	2	
A = 0.05 m², L = 10 m	Lw	26	24	21	17	12	5	0	0	
Result	Lw	62	59	57	52	47	42	35	28	**54 dB(A)**

Troço de conduta reto

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Junction	De	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Lw	9	6	2	0	0	0	0	0	
Result	Lw	59	56	54	49	44	39	32	25	**51 dB(A)**

Bifurcação

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Bend	De	0	0	0	1	2	3	3	3	
	Lw	13	9	3	0	0	0	0	0	
Result	Lw	59	56	54	48	42	36	29	22	**50 dB(A)**

Curva

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Duct	De	0	0	0	0	0	0	0	0	
A = 0.05 m², L = 1 m	Lw	9	6	2	0	0	0	0	0	
Result	Lw	59	56	54	48	42	36	29	22	**50 dB(A)**

Troço de conduta reto

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Diffuser	De	15	10	5	2	1	0	0	0	
500 m³/h, Aeff = 00295 m²	Lw	36	39	38	35	25	15	15	15	
Result	Lw	45	47	49	46	41	36	29	23	**47 dB(A)**

Difusor

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Room	De	3	3	3	3	3	3	3	3	
100 m³, 2x Diffuser	Lw	0	0	0	0	0	0	0	0	
Result	Lp	42	44	46	43	38	33	26	20	**44 dB(A)**

Sala

Solução 1: Atenuador de som circular

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Room	De	3	3	3	3	3	3	3	3	
100 m³, 2x Diffuser	Lw	0	0	0	0	0	0	0	0	
Result	Lp	42	44	46	43	38	33	26	20	44 dB(A)

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Required sound attenuation	dL	0	0	7	10	8	4	0	0	

TROX® TECHNIK
The art of handling air

Easy Product Finder

Date: 25.09.2019 / DE
Projekt 1
Position.01

CA100/250x1000/VD2

Insulation thickness	100	
Nominal size	250	
Nominal length	1000	
Connection variations	VD2	Spigot with lip seal on both ends
Total amount	1	

Input Data

Strategy: Silencer without pod
Volume flow q_v 1.000 m³/h

Results

Airflow velocity v 5,75 m/s
Static differential pressure Δp_{st} < 5 Pa

Acoustic results

	63Hz_De [dB]	125Hz_De [dB]	250Hz_De [dB]	500Hz_De [dB]	1kHz_De [dB]	2kHz_De [dB]	4kHz_De [dB]	8kHz_De [dB]
Insertion Loss	3	8	14	26	32	21	12	9

Acoustic results

	63Hz_De [dB]	125Hz_De [dB]	250Hz_De [dB]	500Hz_De [dB]	1kHz_De [dB]	2kHz_De [dB]	4kHz_De [dB]	8kHz_De [dB]
Insertion Loss	3	8	14	26	32	21	12	9

Solução 2: Atenuador de som retangular

Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Room	De	3	3	3	3	3	3	3	3	
100 m³, 2x Diffuser	Lw	0	0	0	0	0	0	0	0	
Result	Lp	42	44	46	43	38	33	26	20	**44 dB(A)**

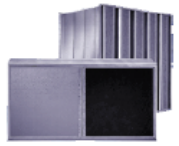
Frequency band		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Required sound attenuation	dL	0	0	7	10	8	4	0	0	

TROX® TECHNIK
The art of handling air

Easy Product Finder

Date: 25.09.2019 / DE
Projekt 1
Position 02

MSA100-100-1-PF/200x300x1000



Splitter thickness	100	
Airway width	100	
Number of splitters	1	
Connecting flange	P	Standard flange 30 mm
Splitter surface	F	Glass fibre fabric
Width	200	
Height	300	
Length (in airflow direction)	1000	
Total amount	1	

Input Data

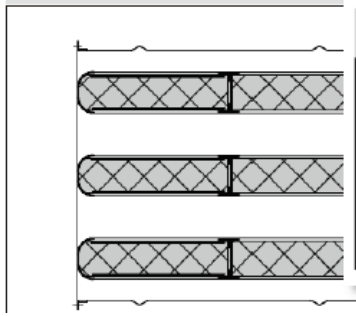
Strategy: General
Volume flow q_v 1.000 m³/h

Results

Airflow velocity in the airway v_s	9,3 m/s
Static differential pressure Δp_{st}	23 Pa
Air-regenerated noise $L_{W,A}$	29 dB(A)
Air-regenerated noise $L_{W,NC}$	21 dB
Air-regenerated noise $L_{W,NR}$	22 dB
Subdivided attenuator State	No *)

Notes *)
Subdivided attenuator State: The attenuator will be delivered undivided.

Drawing



Acoustic results

	63Hz [dB]	125Hz [dB]	250Hz [dB]	500Hz [dB]	1kHz [dB]	2kHz [dB]	4kHz [dB]	8kHz [dB]
Air-regenerated noise, sound power level	39	35	30	26	22	19	16	< 15
Insertion Loss	4	7	9	13	21	21	15	11

3 – Atenuadores de som - portfólio da TROX

Atenuadores de som retangulares – elementos atenuadores

XK

- Atenuação por absorção
- Elementos com espessura: 100, 200, 230 or 300 mm

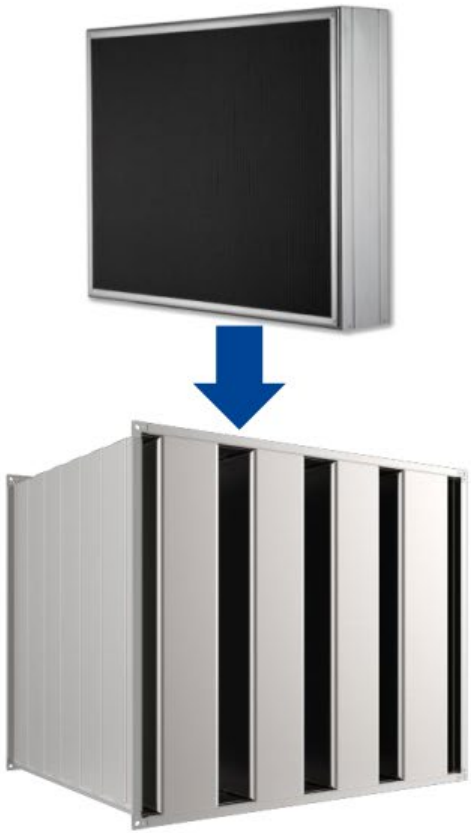
MK

- Atenuação por absorção e por ressonância
- Elementos com espessura: 100, 200 or 230 mm

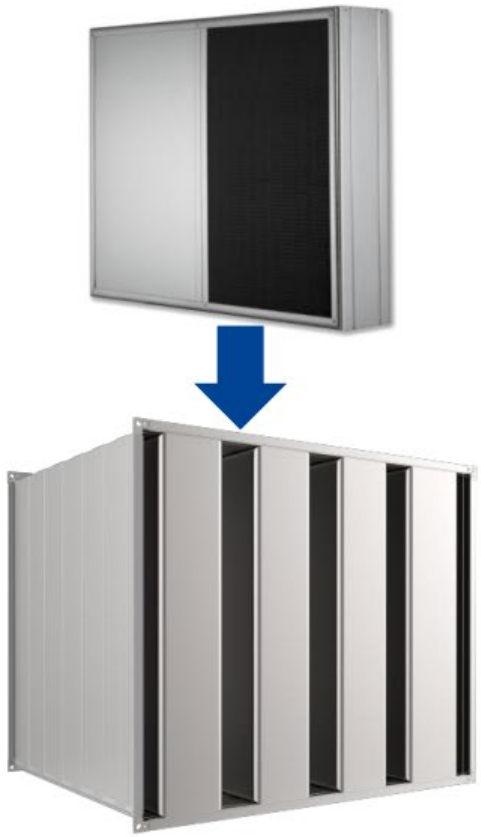
RK

- Atenuação por ressonância
- Elementos com espessura: 200 mm

Elementos e atenuadores de som completos



XS



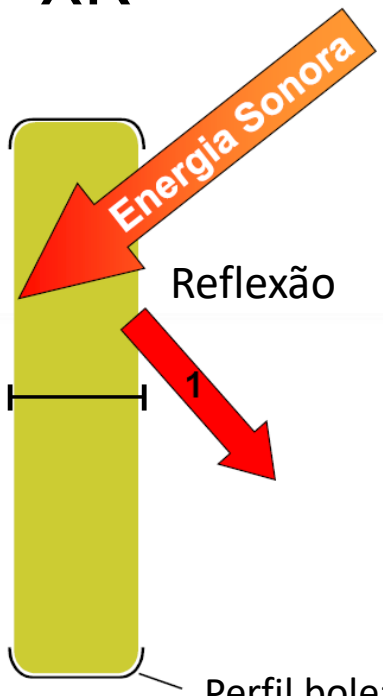
MS

RK

Aplicável diretamente na conduta

Tipos de elementos atenuadores

XK

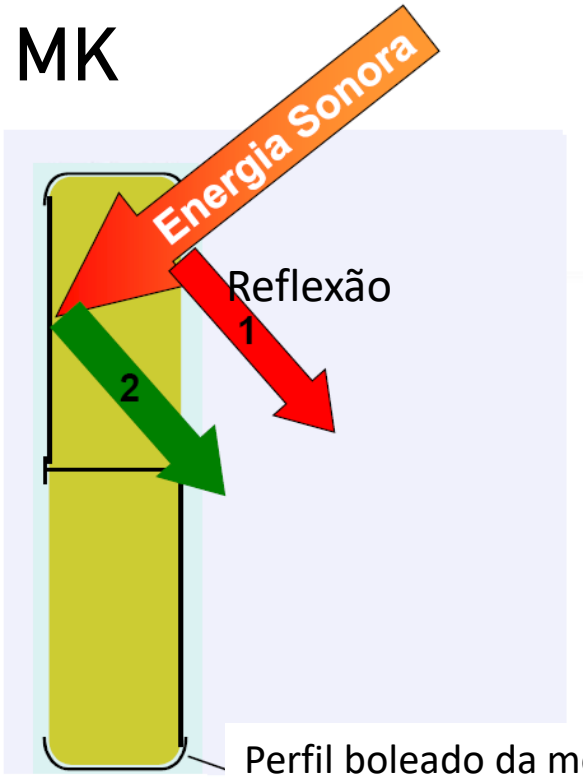


1. Reflexão parcial na superfície do elemento acústico

Tipo de lã mineral

- Poros grandes: baixa reflexão, menor fricção
- Poros pequenos: Elevada reflexão, maior fricção

MK



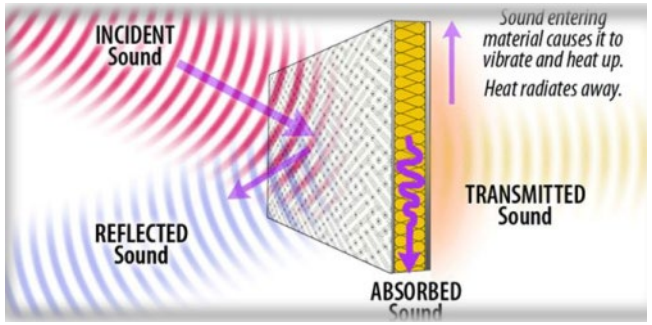
1. Reflexão parcial na superfície do elemento acústico
2. Reflexão parcial na chapa

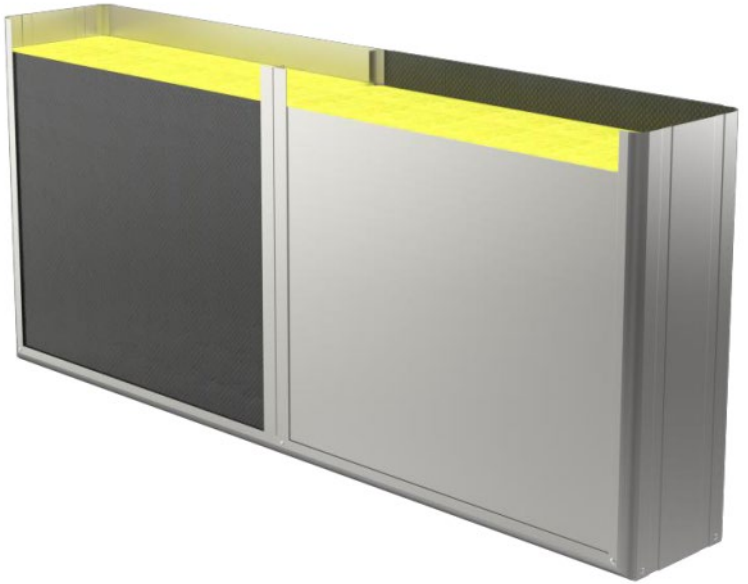
Atenuadores de som retangulares

Lã mineral como material absorvedor de som

Função:

- A energia sonora é convertida em calor pela sua absorção
- A correlação entre as frequências a atenuar e a distância entre elementos é relevante
- A espessura dos elementos também é muito importante





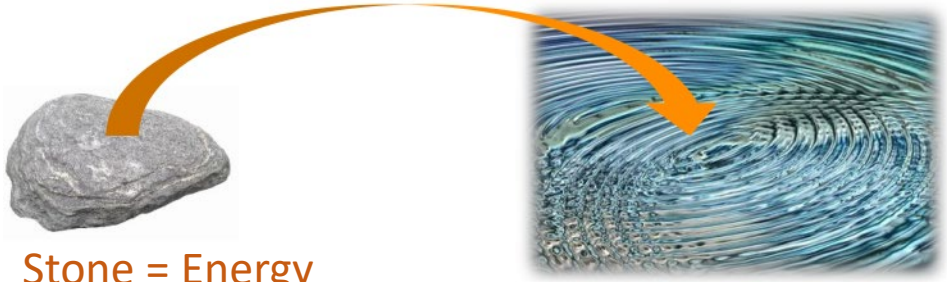
A reflexão depende da porosidade:

- Poros grandes: baixa reflexão, menor fricção
- Poros pequenos: elevada reflexão, maior fricção

Chapa metálica como elemento de ressonância

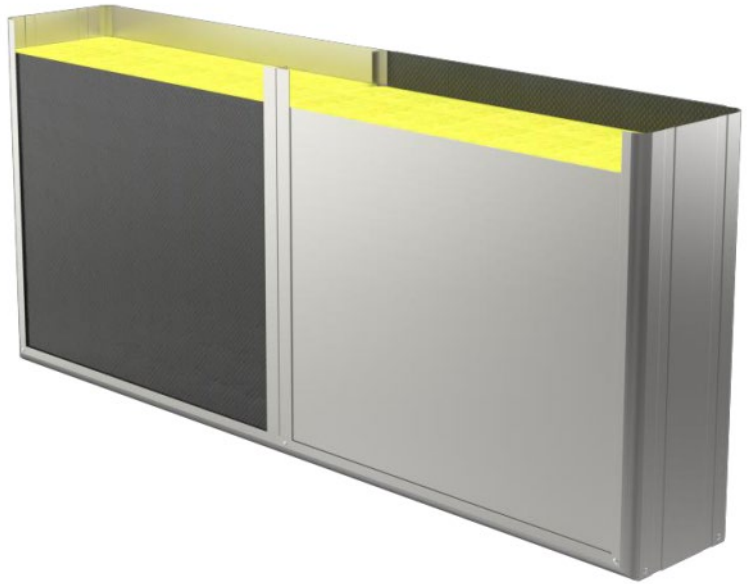
Função:

- Os painéis de ressonância vibram a determinadas frequências – não estão em contacto direto com a moldura metálica
- A energia sonora é transformada em energia de vibração destes painéis
- O material em contacto com os painéis, "atua" como uma mola
- Próprios para atenuar a baixas frequências – 63 a 250 Hz



Stone = Energy

Water = absorption material



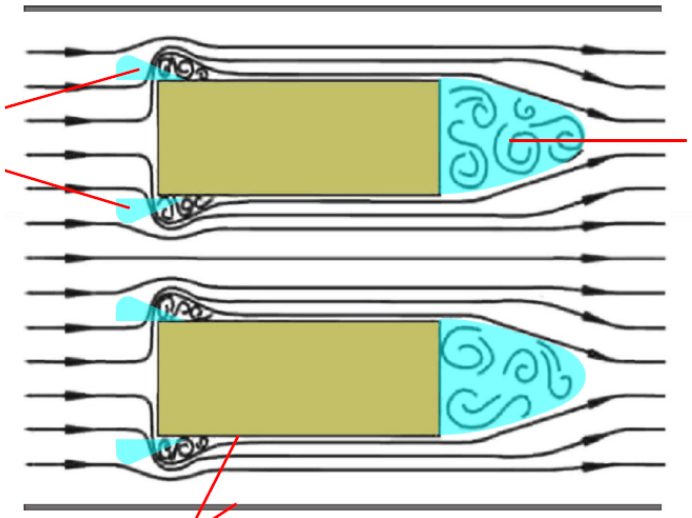
Atenuadores de som retangulares

Elementos atenuadores de som

Esquinas vivas

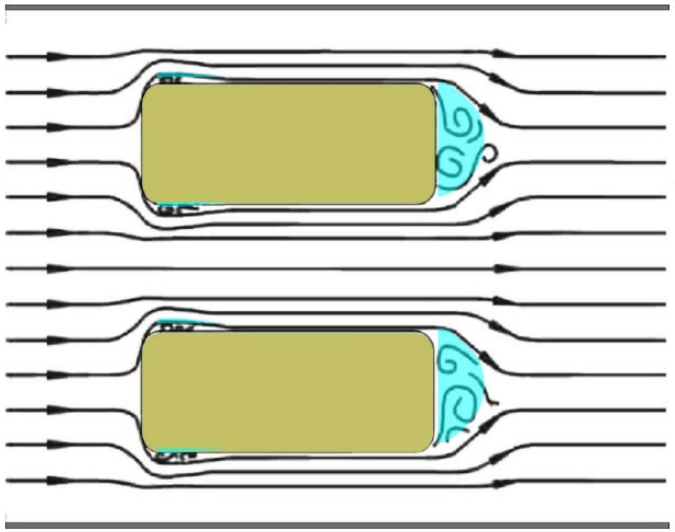
Turbulência devido a esta configuração.

Aumento da perda de carga



Perfil "normal"

Esquinas arredondadas



Perfil aerodinâmico

Atenuadores de som retangulares

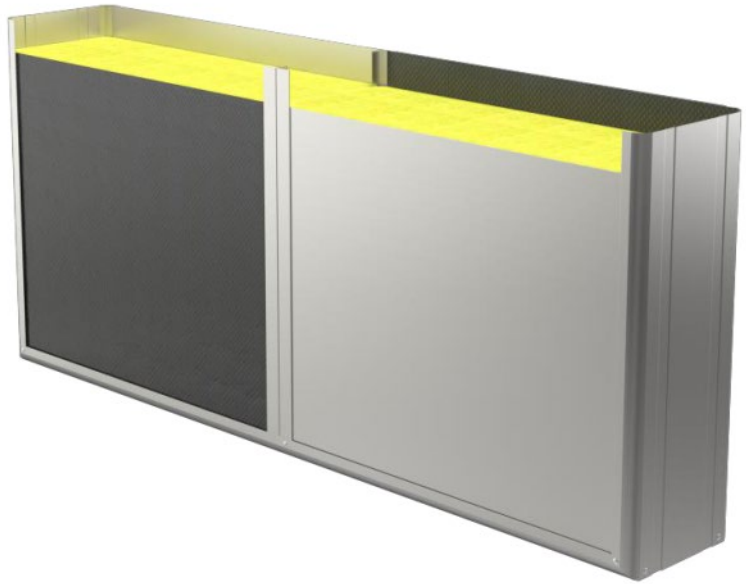
Características construtivas (Trox – MK, XK e RK):

- Eficiência energética devido ao perfil aerodinâmico da moldura – raio de 20 mm – com a consequente redução de 30% na pressão diferencial
- Perfil de fluxo de ar sem “turbulências” tanto na entrada como na saída do atenuador
- Temperatura máxima do ar até 100°C. A variante “L” (com chapa perfurada) pode aguentar até 300°C por um período de 8h
- Moldura e painéis de ressonância em chapa de aço galvanizado à cor natural ou termolacados, execução especial em aço inox

Atenuadores de som retangulares

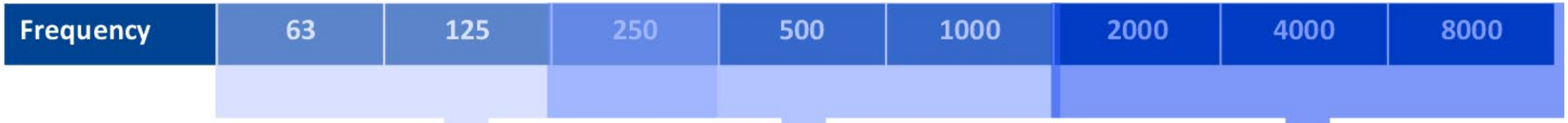
Material de absorção

- Lã mineral
- Incombustível conforme a norma EN 13501 – classe de resistência ao fogo
- Termolacagem de acordo com RAL – GZ 388
- Não prejudicial à saúde. Elevada biosolubilidade de acordo com a TRGS 905 e as diretivas 97/69/EC
- Película protetora superficial contra a erosão, em fibra de vidro resistente a velocidade de passagem de ar até 20 m/s
- Inerte no que diz respeito à proliferação de fungos e bactérias de acordo com a norma EN 846



Atenuadores de som retangulares

Características de atenuação no espectro de frequência



RK

Atenuação a baixas frequências

MK

Atenuação equilibrada em todo o espectro

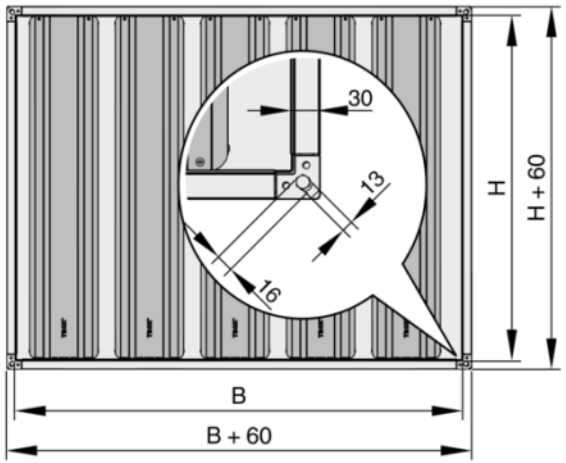
XK

Atenuação de maior eficiência a médias e altas frequências

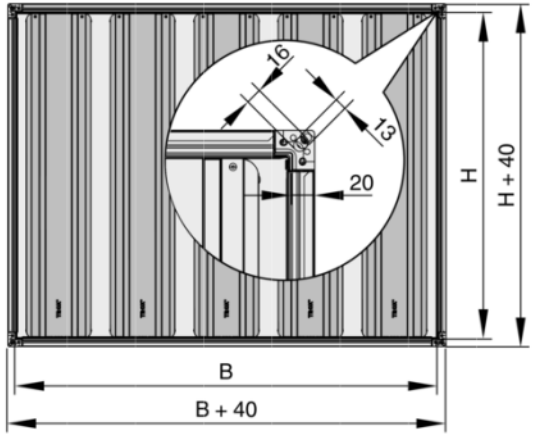
Poderá ser necessário considerar uma combinação destes elementos para obter a atenuação adequada

Atenuadores de som retangulares

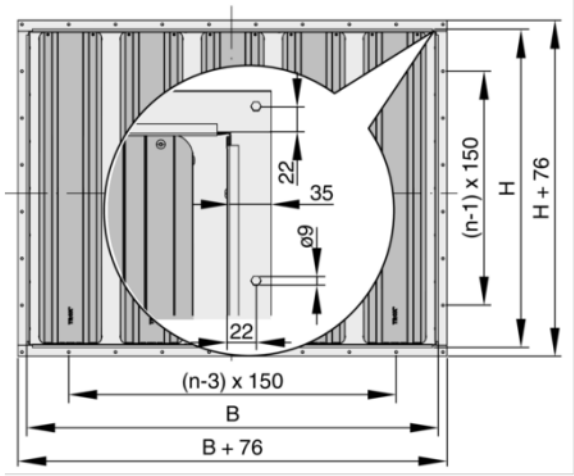
Tipos de flanges - disponíveis



Flange 30 mm



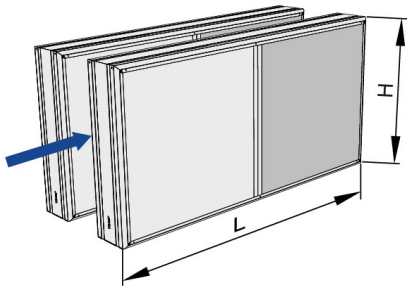
Flange 20 mm



Flange em "U" - 38 mm

Tipos de instalação

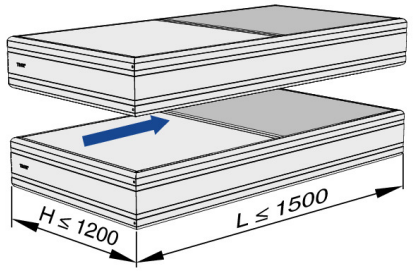
Horizontal com os elementos na vertical



Máximas dimensões

H, L ≤ 1500 mm

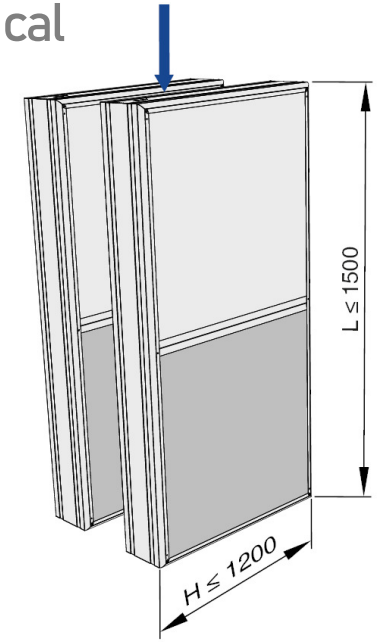
Horizontal com os elementos na horizontal



H_{max} = 1200 mm

L_{max} = 1500 mm

Vertical

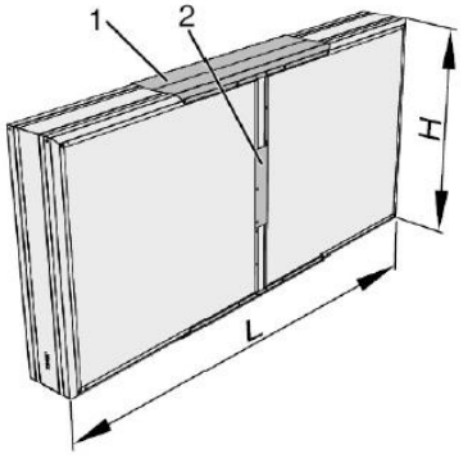


H_{max} = 1200 mm

L_{max} = 1500 mm

Atenuadores de som retangulares

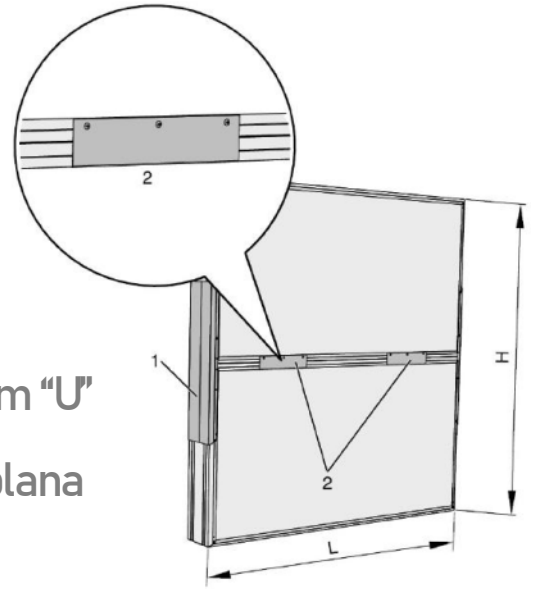
Interligação entre elementos



H or L [mm]	Number of clamp sheets per connected splitter	Number of U-sheets
To 750	-	2
751 to 1000	2	2
> 1000	4	2

Splitters are supplied in subdivided form if

- H and L > 1500 mm
- H + L > 4000 mm



1 - Calha em "U"

2 – Placa plana

Atenuadores de som circulares

DN 80 a DN 800
L=500/1000/1500

CAH
Sem núcleo central em chapa de aço galvanizado ou em aço inox

DN 250 a DN 1000
L=500/1000/1500

CK
Com núcleo central em chapa de aço galvanizado ou em aço inox

DN 80 a DN 400
L=500/1000/1500

CF
Flexível em alumínio anodizado

DN 125 a DN 400
L=500/1000/1500

CAK
Em material plástico (Ex. de aplicações: hottes laboratoriais)

Atenuadores de som circulares

Atenuador circular série CAH

- Acabamento em chapa de aço galvanizado ou em aço inox
- Ligação ao tubo spiro standard

CAH/160x1000/50

CAH-A2/160x1000/50

CAH-S/160x500/100

1 Series
CA Circular silencer

2 Material
No entry: steel
A2 stainless steel

3 Außenrohr
standard (smooth)
S Outer tube made of spiral duct (spiro) not possible for A2

4 Connection variant
No entry: spigot with bead
D2 spigot with lipseal both sides
ES Single-sided push-in spigot (socket) with lip seal on one side
FL Flange both sides
BK collar both sides
standard+ not part of the technical documentation

5 Nominal size [mm]
80
100
125
160
200
250
315
400
450
500
560
630
710
800

Nominal size	Nominal length 500	1000	1500	Package thickness 25	50	100
80	x	x		x	x	
100	x	x		x	x	x
125	x	x		x	x	x
160	x	x		x	x	x
200	x	x		x	x	x
250	x	x	x		x	x
315	x	x	x		x	x
400	x	x	x		x	x
450		x	x			x
500		x	x			x
560			x			x
630			x			x
710			x			x
800			x			x

6 Nominal length [mm]
500
1000
1500

7 Package thickness [mm]
25 25
50 50
100 100

8 Accessories
No entry: without
G2 Counter flange on both sides (only FL)
standard+ not part of the technical documentation

Atenuadores de som circulares

Atenuador circular série CK – com elemento atenuador extra no interior

- Acabamento em chapa de aço galvanizado ou em aço inox
- Ligação a tubo spiro standard

CK/315x1500/50-100

CK-A2/315x1500/50-100

CK-S/315x1000/100-50

1 Series
CK Circular silencer with splitter

2 Material
No entry: steel — Outer tube spiro
A2 stainless steel — Outer tube smooth

3 Outer tube
standard (smooth)
S Outer tube made of spiral duct (spiro) — defined by material

4 Connection variant
No entry: spigot with bead
D2 spigot with lipseal both sides
ES Single-sided push-in spigot (socket) with lip seal on one side
FL Flange both sides — standard+ not part of the technical documentation
BK collar both sides

5 Nominal size [mm]
250
315
400
450
500
560
630
710
800
900 tbd. check with CA
1000

Nenngröße	Nennlänge 500	1000	1500	Packungsdicke 050	100
250	x	x	x	x	x
315	x	x	x	x	x
400	x	x	x	x	x
450	x	x	x		x
500	x	x	x		x
560	x	x	x		x
630	x	x	x		x
710	x	x	x		x
800	x	x	x		x
900	x	x	x		x
1000	x	x	x		x

6 Nominal length [mm]
500
1000
1500

7 Package thickness [mm]
50 50
100 100

8 Width of splitter
50 50 mm wide splitter
100 100 mm wide splitter
150 150 mm wide splitter
200 200 mm wide splitter
250 250 mm wide splitter
300 300 mm wide splitter

Nominal size	Width of splitter 50	100	150	200	250	300
250	x	x				
315	x	x				
400		x	x			
450		x	x			
500			x	x		
560			x	x		
630				x	x	
710				x	x	
800					x	x
900					x	x
1000						x

9 Accessories
No entry: without — standard+ not part of the technical documentation
G2 Counter flange on both sides (only FL)

Atenuadores de som circulares

Atenuador circular série CF – Flexível

CF – 025 / 160×1000 / VD2
1 2 3 4 5

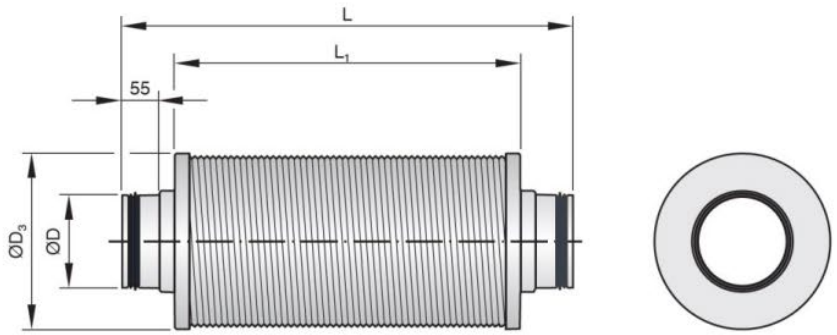
1 Type
CF Flexible circular silencer

2 Insulation thickness [mm]
025 25
050 50

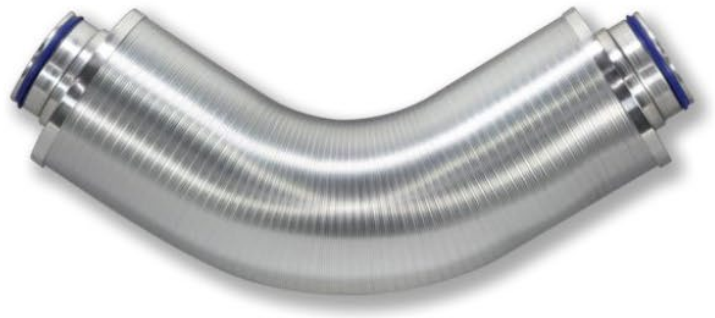
3 Nominal size [mm]
80
100
125
160
200
250
315
400

4 Nominal length [mm]
500
1000
1500
2000

5 Type of connection
No entry: spigot
VD2 Spigot with lip seal on both ends
AS2 Socket-type spigots on both ends
BK2 Raised edges at both ends



- Acabamento em alumínio anodizado



Atenuadores de som circulares

Atenuador circular série CF – Flexível

- Película protetora, em fibra de vidro, contra a erosão para velocidade de ar até 20 m/s
- Ligação própria para tubo Spiro conforme normas EN 1506 e EN 13180
- Nível de atenuação acústica de acordo com a norma ISO 7235
- Estanquidade da caixa exterior com classificação D, de acordo com a norma EN 15727

Trox – Câmaras de reverberação

O coração do laboratório acústico da Trox é constituído por 2 câmaras de reverberação, uma de 175 m^3 e a outra com 265 m^3. Foram construídas de acordo com as recomendações da norma ISO 3741 – que permite determinar com precisão a potência sonora de uma fonte recorrendo à medição da pressão sonora.

As câmaras estão assentes em blocos maciços que, por sua vez, estão assentes em molas de modo a isolá-las de quaisquer vibrações do exterior. As sua paredes e teto são antiparalelas e feitas a partir de material duro, provocando reflexões sonoras "infinitas" o que garante uma homogeneidade da pressão sonora em todo o seu interior.

Os elementos atenuadores de som são ensaiados num túnel com acesso à câmara de reverberação de acordo com a norma ISO 7235.

Câmara de reverberação

(ISO 3741)

(Localização:

Neukirchen-Vluyn Alemanha)

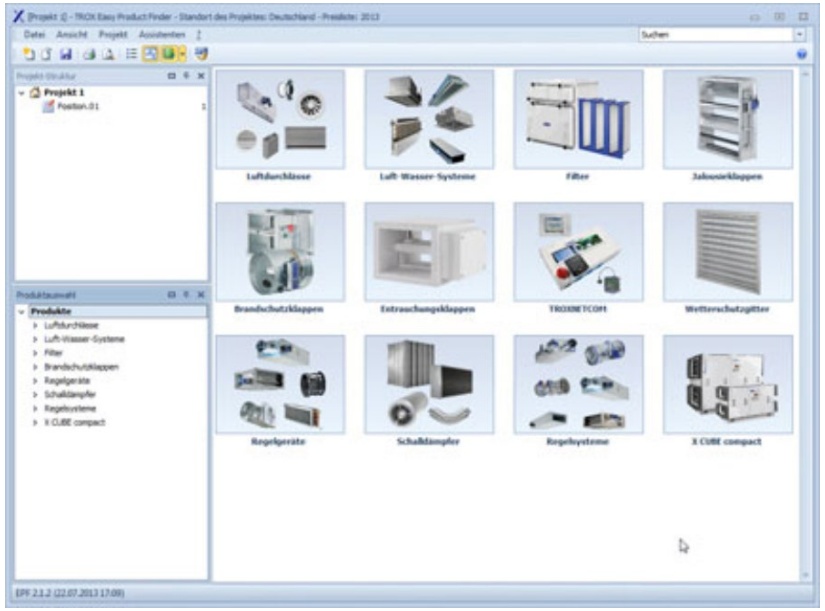
Túnel de ensaios dos

elementos atenuadores

(ISO 7235)

4 – Atenuadores de som – Dimensionamento

Software Trox



Agradecimentos

- Ao ISEP na pessoa da Prof. Olga Sobral Castro pela oportunidade em partilhar esta apresentação
- Aos convidados presentes pelo tempo precioso que me dedicaram – espero que tenha valido a pena;
- À empresa TROX pela sua honestidade técnica e sentido de responsabilidade para com os seus clientes e a comunidade técnica em geral, que reconheço desde a minha iniciação nesta área (1985)

A. Sampaio e Jorge Mendes

Responsáveis técnicos

Departamento de Ar Condicionado

do Grupo Contimetra & Sistimetra