

## Subwoofer compacto

### Objetivos do projeto:

- 1-Baixo custo
- 2-Resposta extendida em graves sem o uso severo de equalização
- 3-Facilidade na construção
- 4-Uso de componentes nacionais de fácil acesso

Caixa a ser utilizada:

Devido a sua facilidade de projeto e construção, aliado a suas vantagens técnicas como baixo group delay e excelente resposta a transientes, esta caixa se torna uma opção atraente para o nosso projeto. A desvantagem é o baixo SPL (geralmente 3db a menos do que a caixa Bass Reflex), mas como o uso será residencial, isso pode ser deixado de segundo plano.

Escolhendo o Alto Falante:

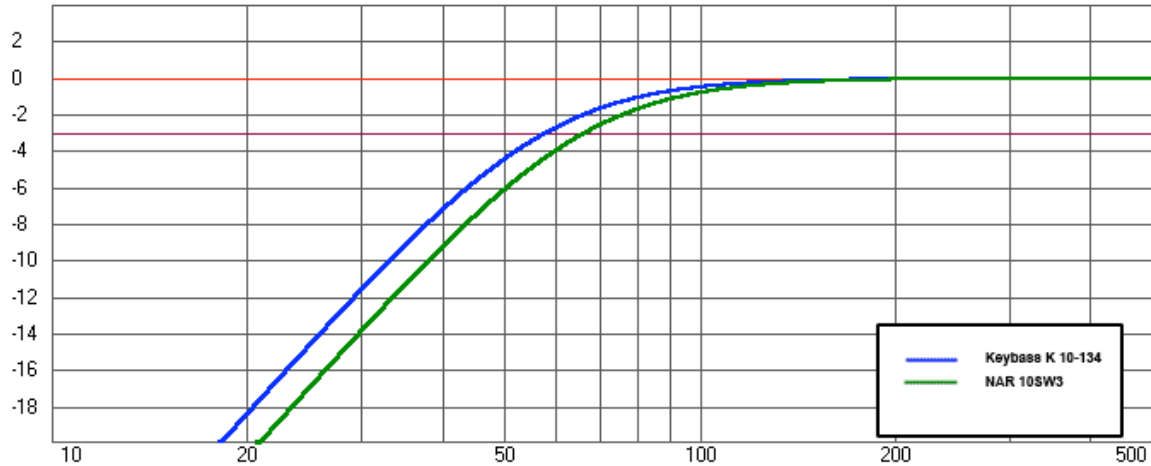
Para se adequar a esse tipo de caixa o alto falante deve ter bobina longa, para suportar os grandes deslocamentos exigidos por uma caixa que não será usada com filtro passa alta, um Qts não muito baixo para se conseguir "presença" nos graves com um baixo F3 mesmo utilizando um gabinete fechado e, obviamente um baixo Fs. Para atender simultaneamente ao item 2 e ao nome do projeto, o subwoofer procurado será de 10". Bem, com essas exigências, nossas opções se restringiram a apenas alguns modelos disponíveis no mercado nacional. Até o presente momento, apenas dois alto falantes foram encontrados: NAR 10SW3 e Keybass Panther KSW 10-134. As características estão apresentadas a seguir:

modelo:	NAR 10SW3	Keybass KSW 10-134
Pot (W)	300	400
Fs (Hz)	24.53	26
Qts	0.27	0.33
Qms	4.04	4.32
Qes	0.289	0.36
Vas (l)	92	74
xmax (mm)	13	9

### Resultados e Discussões

Notamos que os dois modelos possuem uma frequência de ressonancia bastante abaixo, um xmax alto porém ambos apresentam um baixo valor de Qts, que mesmo num alinhamento plano com  $Q_{tc}=0.707$  a frequência de corte a -3db ficará acima do esperado principalmente para falantes com uma ressonancia tão baixa. Para esse alinhamento precisamos de uma caixa com

17L livres para o NAR e 22L para o Keybass.



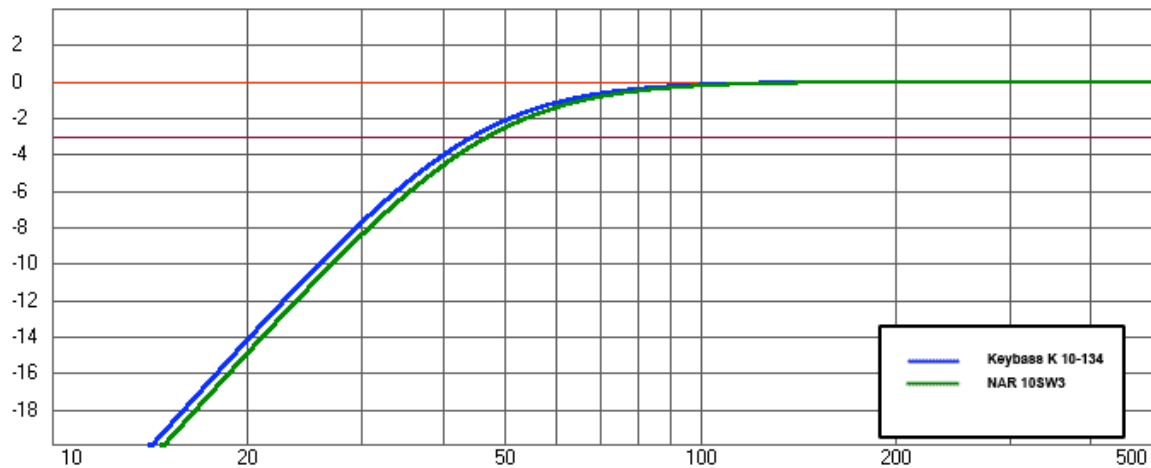
A partir dos 100Hz a resposta já começa a cair ficando o F3 em 57Hz no caso do Keybass e 65Hz no caso do NAR. Bem acima daquilo que esperamos para um subwoofer. A causa desse comportamento é o conjunto magnético que é forte demais causando essa falta nos graves. Bem, a solução que temos para contornar esse problema consiste em adicionar massa ao cone. Essa solução aumenta o Qts, diminui a ressonância a custo da sensibilidade que pode ser fortemente sacrificada dependendo da massa adicionada. O comportamento dos parâmetros com a adição de massa pode ser previsto com o uso [dessa tabela](#), disponível na área de downloads. Adicionaremos 30g de massa a título de experiência e vamos assistir o comportamento dos parâmetros

	Keybass Panther KSW 10-134	NAR 10SW3
Fs(Hz)	26	23.4
Qes	0.36	0.289
Qms	4.32	4.041
Qts	0.33	0.27
Vas(l)	74	92.6
Sd(Sq.m)	0.038	0.034
Re( $\Omega$ )	3.6	2.4
Dados		
Calculados		
Cms(um/N)	360.92	564.15
Mms(g)	103.93	74.69
Rms(N.s/m)	3.93	2.85
Bl(T.M)	13.03	9.78
Sens(db)	87.4	88.59
Massa adicionada(g)	30g	30g

Novos parametros		
Fs(Hz)	22.9	20.8
Qes	0.41	0.34
Qms	4.9	4.78
Qts	0.38	0.32
Sens(db)	85.2	85.7

Note que, como previsto, houve um aumento considerável do Qts além de uma redução do Fs e na sensibilidade que caiu aproximadamente 3db. Como o sistema será usado para ambientes internos, a sensibilidade é um fator secundário e primamos pela resposta estendida nos graves.

Vejam os agora como ficaria a resposta dos falantes para o mesmo Qtc (0.707) depois da adição de massa



O F3 do sistema caiu consideravelmente ficando em 44.7Hz para o keybass e 47.3Hz para o NAR. Porém o volume exigido aumentou para 25L no caso do NAR e 30L no caso do keybass. Tal diferença se deve ao Qts do keybass ser 18% maior.

Bem, vale estudar um pouco mais quais os outros efeitos que essas técnicas trazem para o alto falante. Você já deve ter ouvido falar que uma boa resposta a transientes necessita de um cone leve para que esse possa ganhar grandes acelerações. Bem, o alto falante funciona da seguinte forma: Quando uma corrente passa pelo fio da bobina, esta gera um campo magnético o qual ao interagir com o conjunto magnético do alto falante, impulsiona o cone através de uma força. Sem olhar para o lado magnético, chegamos a essa conclusão notando que ao aplicar uma diferença de potencial em seus terminais, o cone parte do repouso e passa a se deslocar. Logo, o cone possui uma aceleração que obedece à 2ª Lei de Newton onde:

$$F=m*a$$

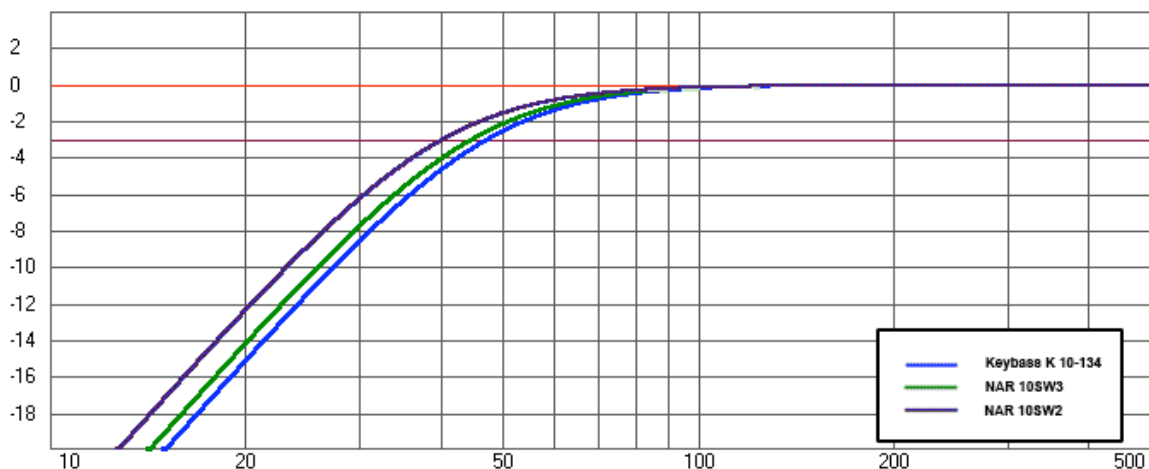
Onde  $F$  é a força que impulsiona o diafragma e a massa de ar localizada ao redor do alto falante, " $m$ " é a massa desse conjunto e " $a$ " é a aceleração adquirida. Quando aumentamos a massa, a aceleração diminui para que o produto  $m \cdot a$  continue constante e igual a  $F$  pois não alteramos o campo magnético. No segundo caso, onde uma alteração no campo magnético é feita, sem alterar a massa do sistema, a aceleração também diminui. Isso nos diz que, o  $Q_{ts}$  é aumentado as custas de uma piora na resposta a transientes. Porém, já vimos que um  $Q_{ts}$  baixo nos dá uma resposta muito atenuada nos graves. Logo, é necessário achar um ponto onde se obtém um bom valor para  $Q_{ts}$  sem sacrificar a resposta a transientes. Experimentalmente, notamos que um  $Q_{ts}$  em torno de 0.4 é um bom valor, onde é fácil de se conseguir um bom alinhamento sem sacrificar muito os transientes.

Veja você que estamos conseguindo chegar onde queremos porém estamos fugindo da meta 3 onde visamos a facilidade na construção. Talvez tais técnicas podem ser estudadas para serem aplicadas mais a fundo em outro projeto. Teremos então que nos focar em outro alto falante que nos dê um  $Q_{ts}$  mais alto e vejamos se este modelo reduzirá o nosso trabalho em alinhar a caixa.

Não tão potente quando o 10SW3, a nar possui um modelo um pouco mais simples, o 10SW2 que parece atender melhor às necessidades do projeto. Veja suas características:

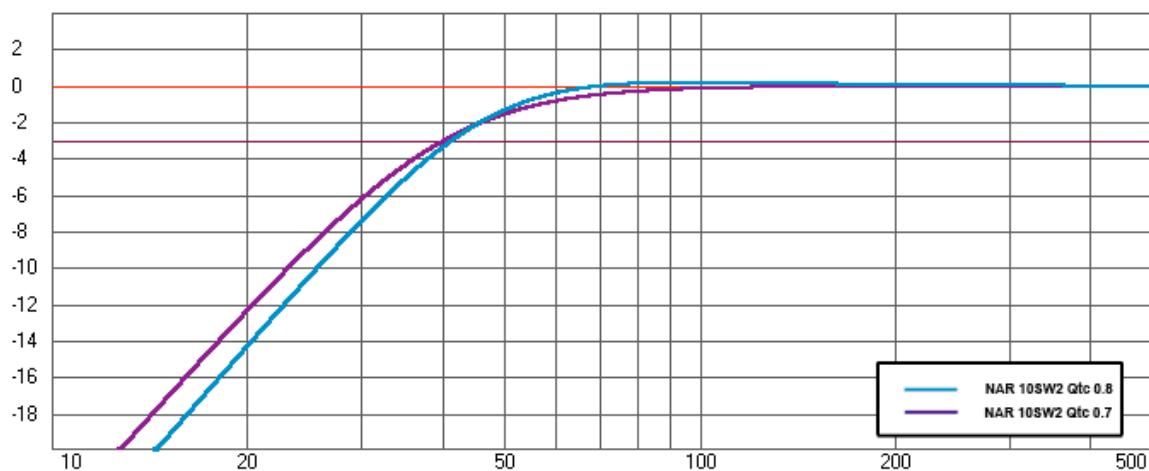
modelo	NAR 10SW2
Pot (W)	180
Fs (Hz)	25
$Q_{es}$	0.508
$Q_{ms}$	4.025
$Q_{ts}$	0.451
$V_{as}$ (l)	99.5
$x_{max}$ (mm)	7.5

O  $Q_{tc}$  tem um aumento substancial em relação aos dois outros modelos analisados o que nos livra de precisar adicionar massa ao cone. Apesar da sensibilidade mais baixa, ele terá mais SPL no nosso sistema pois não necessitará de massa adicionada ao cone. Vamos simular seu comportamento em uma caixa fechada com  $Q_{tc}=0,707$  exatamente como as outras que simulamos até agora.



No gráfico acima, é clara a diferença entre ele e os outros dois modelos no que diz respeito à extensão de resposta em graves. Sua  $f_3$  ficou um pouco abaixo dos 40Hz. Valor simpático para um subwoofer numa caixa fechada. Porém, esse elevado  $Q_{ts}$  exigiu uma caixa de 74L para produzir tal resposta.

A maneira de tentar contornar isso é preencher a caixa com material absorvente que traz o mesmo efeito de aumentar o volume da caixa dependendo da quantidade e da densidade do material adicionado. Outra maneira, até mais prática e tentar aumentar um pouco o  $Q_{tc}$  do sistema, elevando o valor para 0.8. Um valor ainda bastante aceitável para se obter um bom grave sem ser um "boombox". Para esse  $Q_{tc}$  é necessário um volume de 47L. Note que houve uma diminuição notável do volume (27L) e uma depreciação pequena na resposta. O  $F_3$  subiu apenas 1Hz.



Realmente essa saída não é a ideal, mas foi a mais viável para conseguir manter as características do projeto. A resposta ficou bastante próxima da ideal ( $Q_{tc}$  0.7) e o volume relativamente pequeno para um falante de 10". A

facilidade de construção de projeto é algo indiscutível. Uma boa caixa com reforços internos e 47 litros livres deve atender a essas características simuladas aqui. Um revestimento interno pode fazer com que o  $Q_{tc}$  chegue mais perto dos 0.7 pretendidos. É viável uma "redução" de até 25% do volume interno com a adição de material absorvente. Bem, com isso o projeto fica concluído até aparecer um novo alto falante que mereça ser simulado para vermos se este atende às características do projeto.

### **Conclusões e Observações**

Vimos que a caixa fechada é muito simples de se construir. Uma vez determinado o seu volume interno, é só partir para a construção do gabinete cuidando para que este seja livre de vazamentos e com reforços suficientes para que não haja vibrações. Apesar da resposta em frequência simulada não empolgar, o resultado final é bastante agradável e não decepciona, mesmo com falantes de pequeno diâmetro.

### **Referências**

- Caixas Acústicas e Alto-Falantes - Vance Dickason 4ed. Tradução: Prof. Homero Sette
- DIY Subwoofers
- WinISD Pro