Impulso en un tubo

Solución:

$$p(x, y, z, t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} p_{lmn}(x, y, z, t)$$

$$p_{lmn}(x, y, z, t) = A_{lmn} \cos\left(\frac{l\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{m\pi y}{b}\right) \cos\left(\frac{n\pi z}{c}\right) \sin(\omega t)$$

$$f_{lmn} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\frac{l^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} + \frac{n^2}{c^2}}$$

Nota: considerar l y m = 0 para tener un problema unidimensional

A_{lmn}: se obtienen integrando la condición inicial

Experimento 1

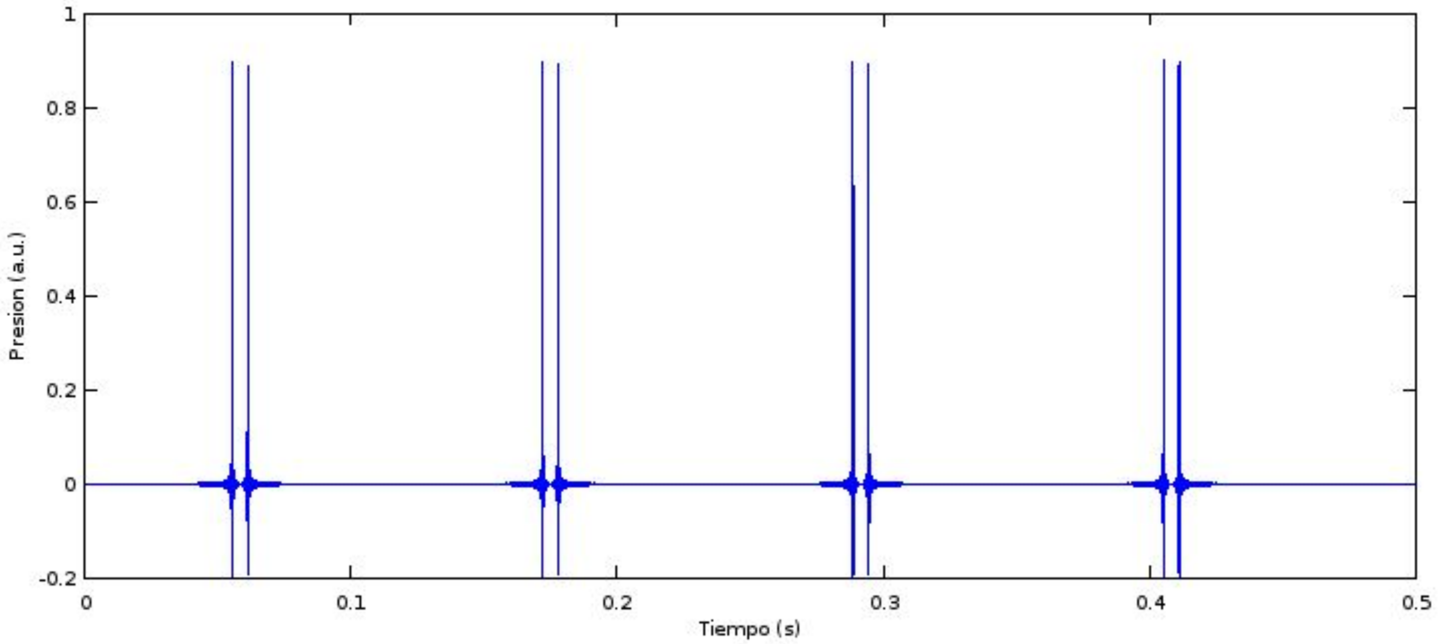
z = 0

z = 19 m

c = 20 m (longitud del tubo)

A_{lmn}: a*b*c/8*cos(n*pi*0/c) = a*b*c/8

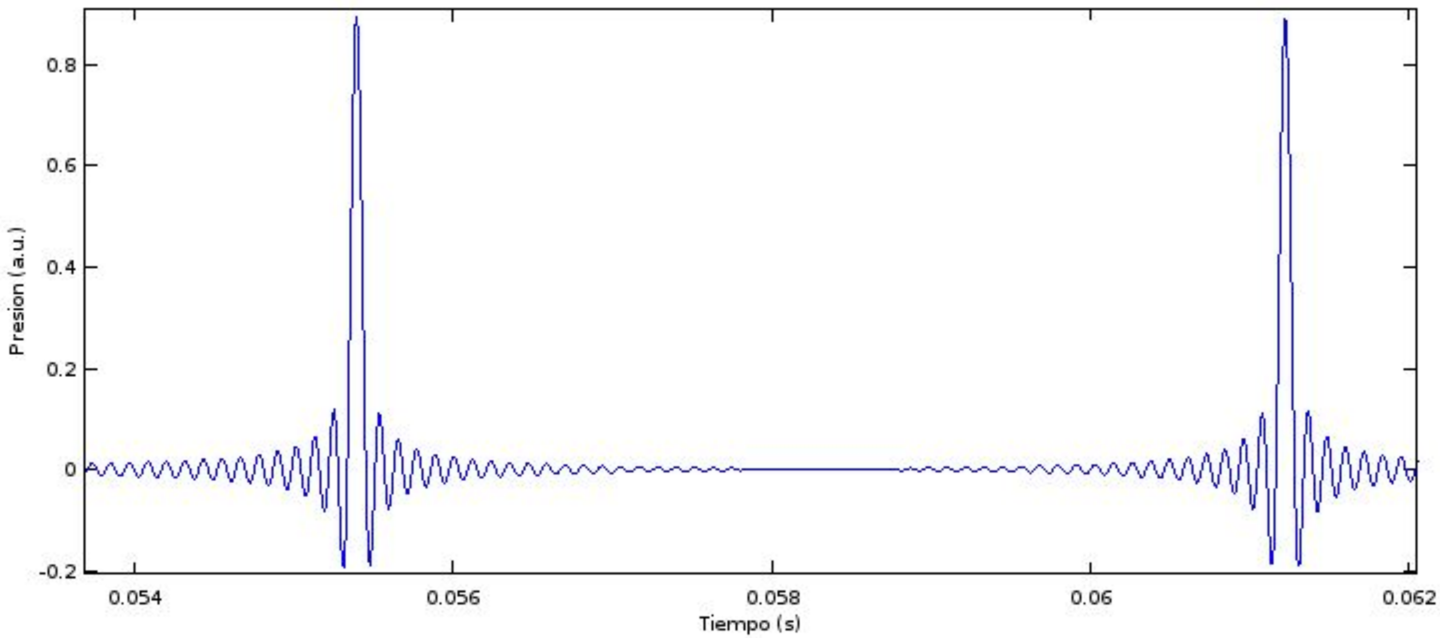
Medición del micrófono



Es la respuesta evaluada en z = 19m.
Superposición de los modos 0 a 1000

¿Qué interpretación tiene?

Medición del micrófono



El primer pulso ocurre para t = 0.055 s, y el segundo para t = 0.0612.
La velocidad del sonido empleada es 343 m/s

El primer pulso corresponde a una distancia recorrida de 19 m: es el primer arribo de la perturbación al micrófono.
El segundo corresponde a una distancia de 21 m y es el segundo arribo tras rebotar en el extremo derecho del tubo

Experimento 2

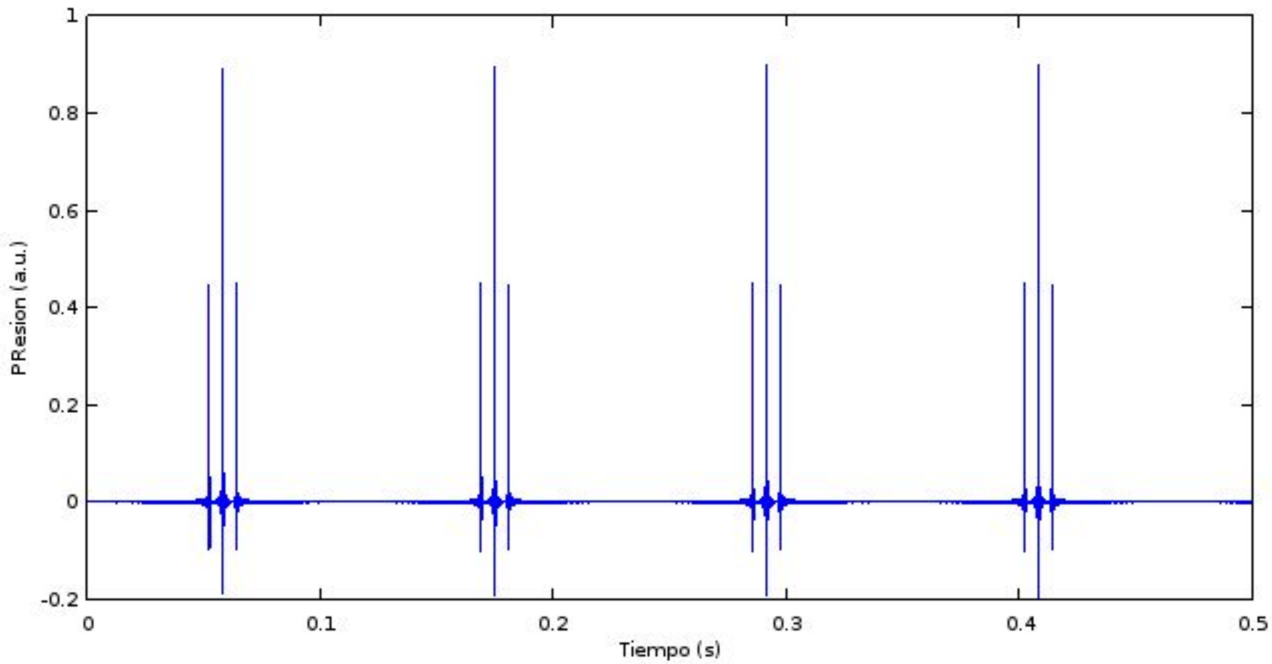
z = 1 m

z = 19 m

c = 20 m (longitud del tubo)

A_{lmn}: a*b*c/8*cos(n*pi*(1 m)/c)

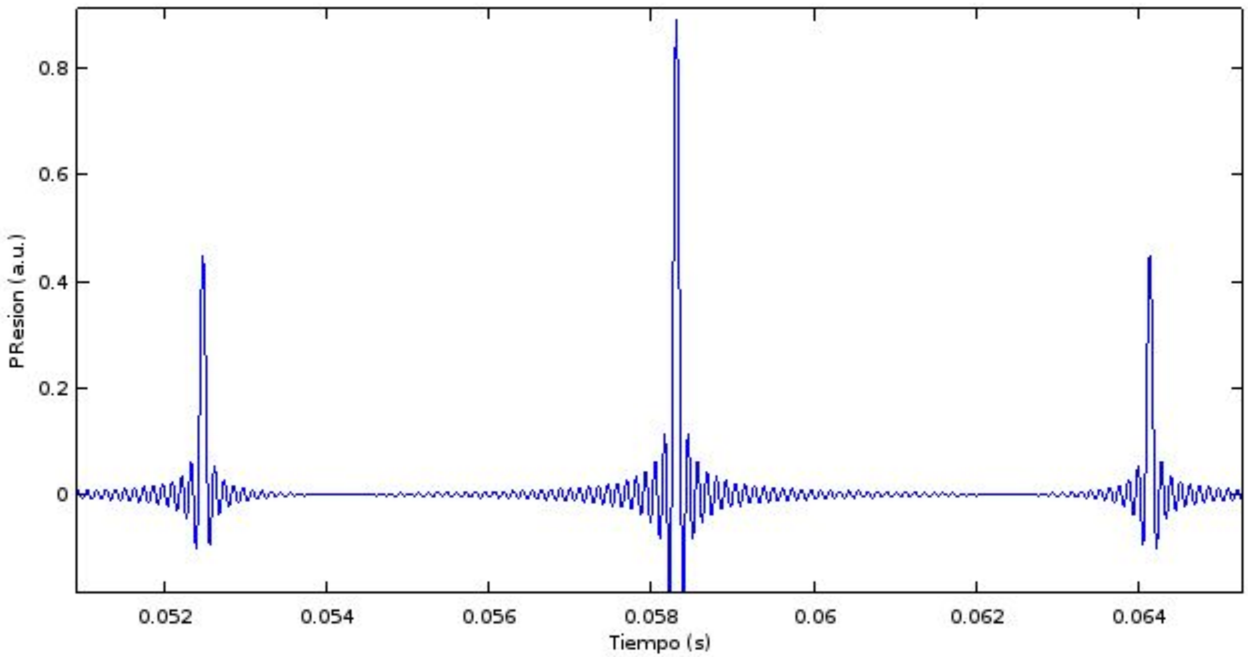
Medición del micrófono



Igual que antes: es la respuesta evaluada en z = 19m.
Superposición de los modos 0 a 1000

Ahora hay grupos de 3 pulsos

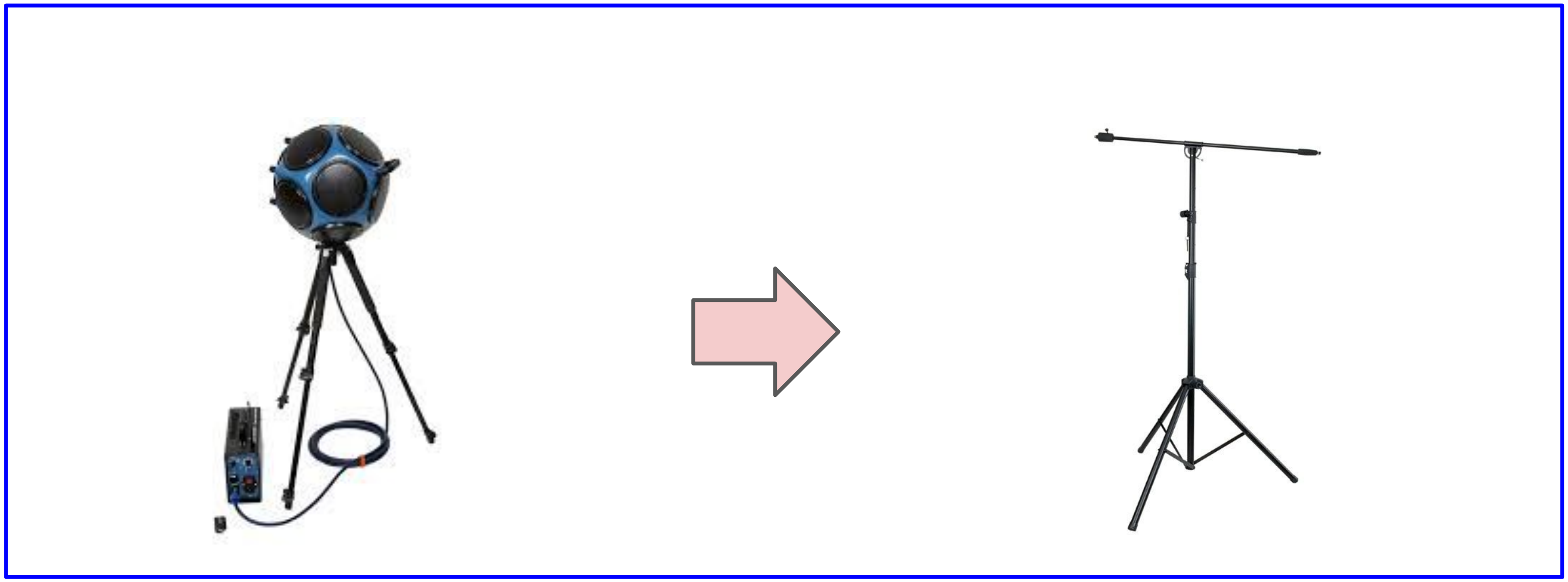
Medición del micrófono



Pulso 1, t = 0.0524 (d = 18 m)
Pulso 2, t = 0.0583 (d = 20 m) (y tiene el doble de amplitud que los otros…)
Pulso 3, t = 0.0641 (d = 22 m)

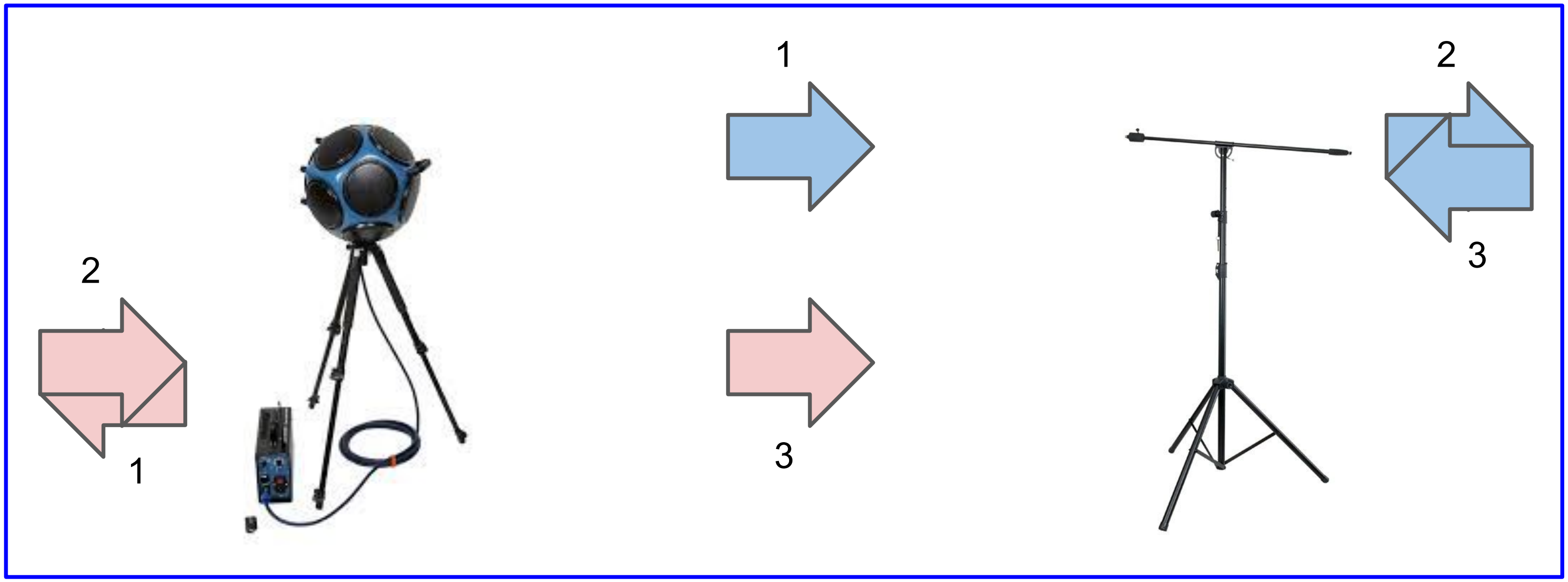
El primer pulso es el sonido “directo”, el segundo son dos pulsos que rebotaron una sola vez, el tercero corresponde a un pulso que rebotó dos veces (¿en dónde?)

Pulso 1: sonido directo



z = 0 z = 1 m z = 19 m z = 20 m

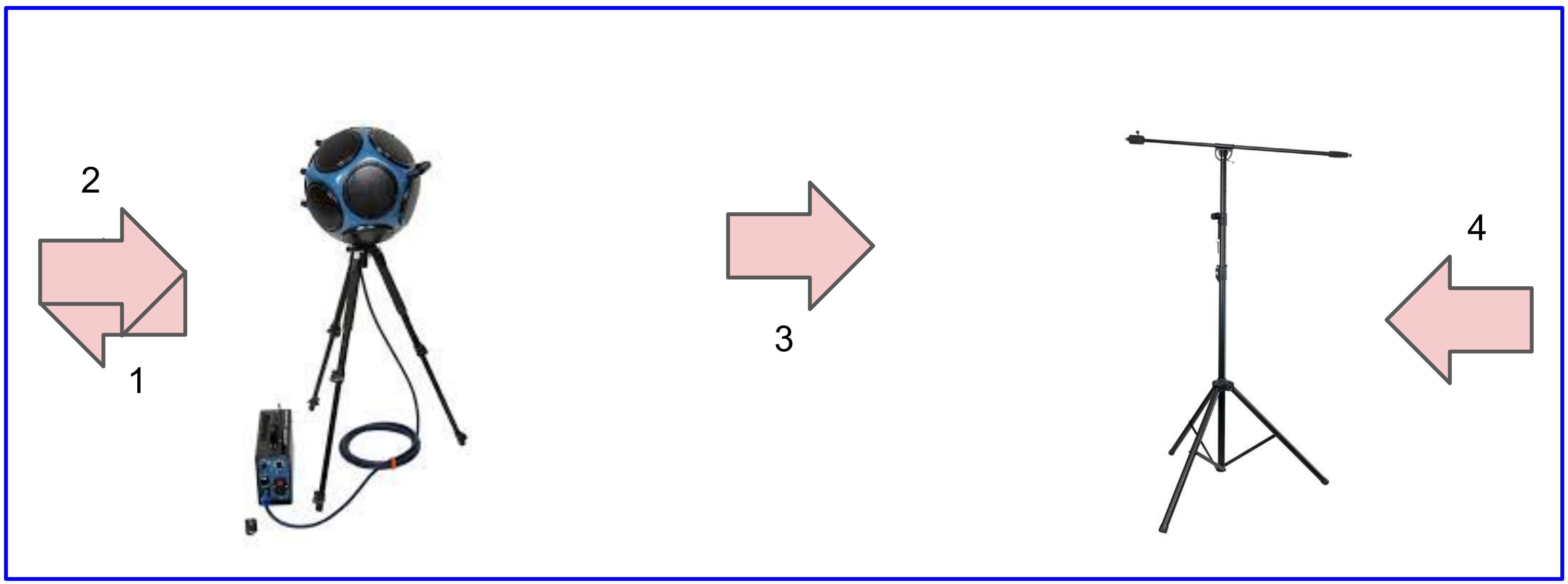
Pulsos 2 y 3: un solo rebote



z = 0 z = 1 m z = 19 m z = 20 m

Como ambos pulsos llegan al micrófono al mismo tiempo (y en fase) interfieren constructivamente y se ven como un único pulso

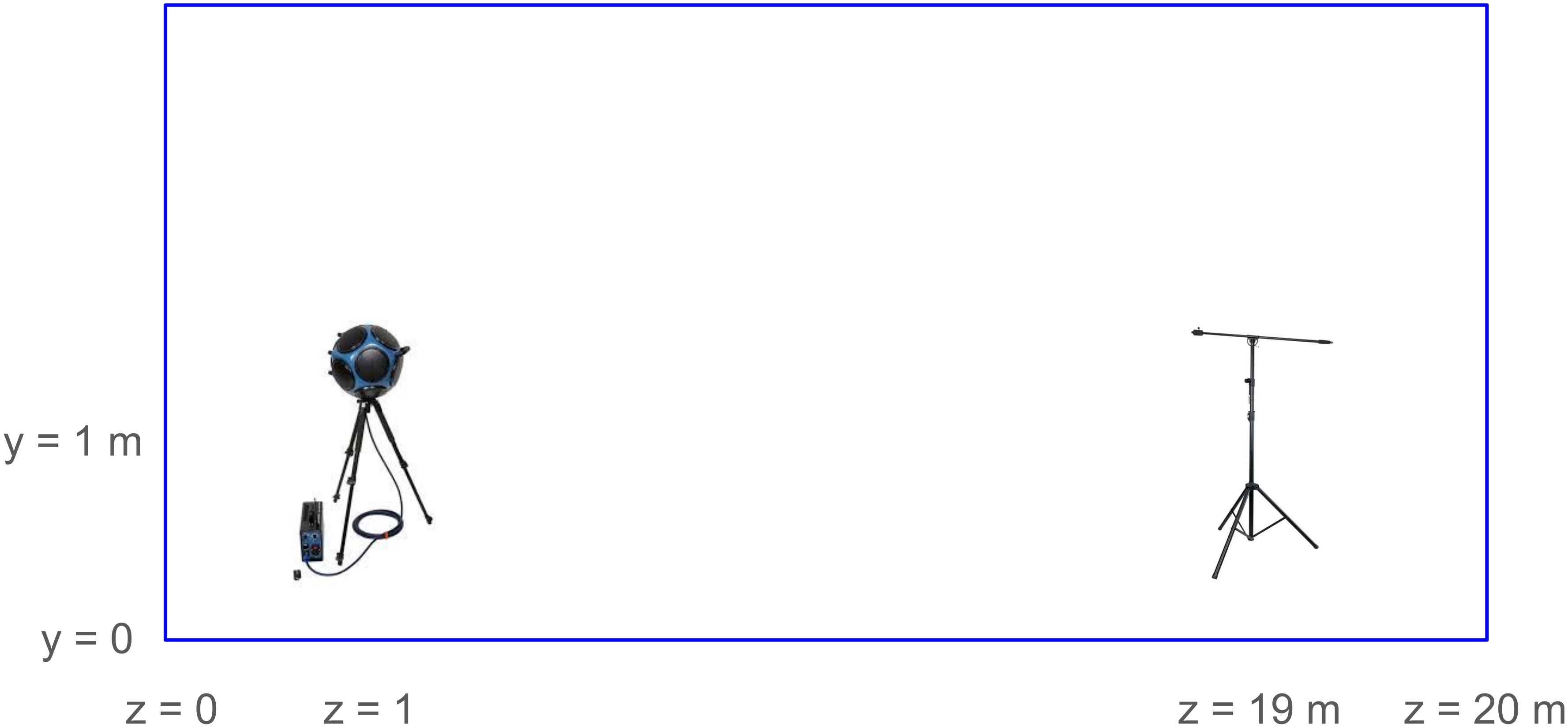
Pulsos 4: dos rebotes



z = 0 z = 1 m z = 19 m z = 20 m

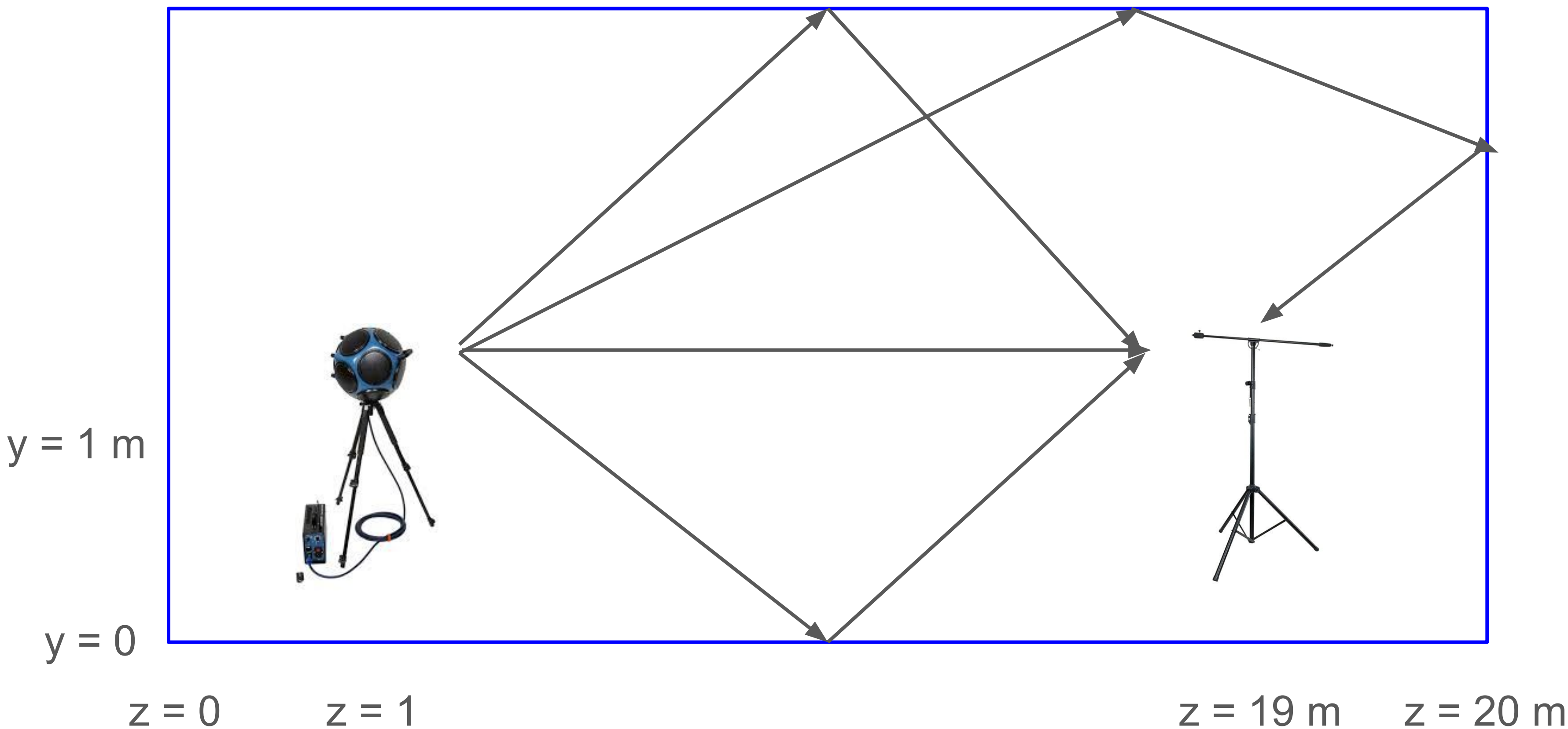
El pulso que sale del parlante hacia la izquierda rebota en el extremo izquierdo, luego llega al extremo derecho y rebota hacia la izquierda. Recorre 22 m.

Experimento 3: sala 2D



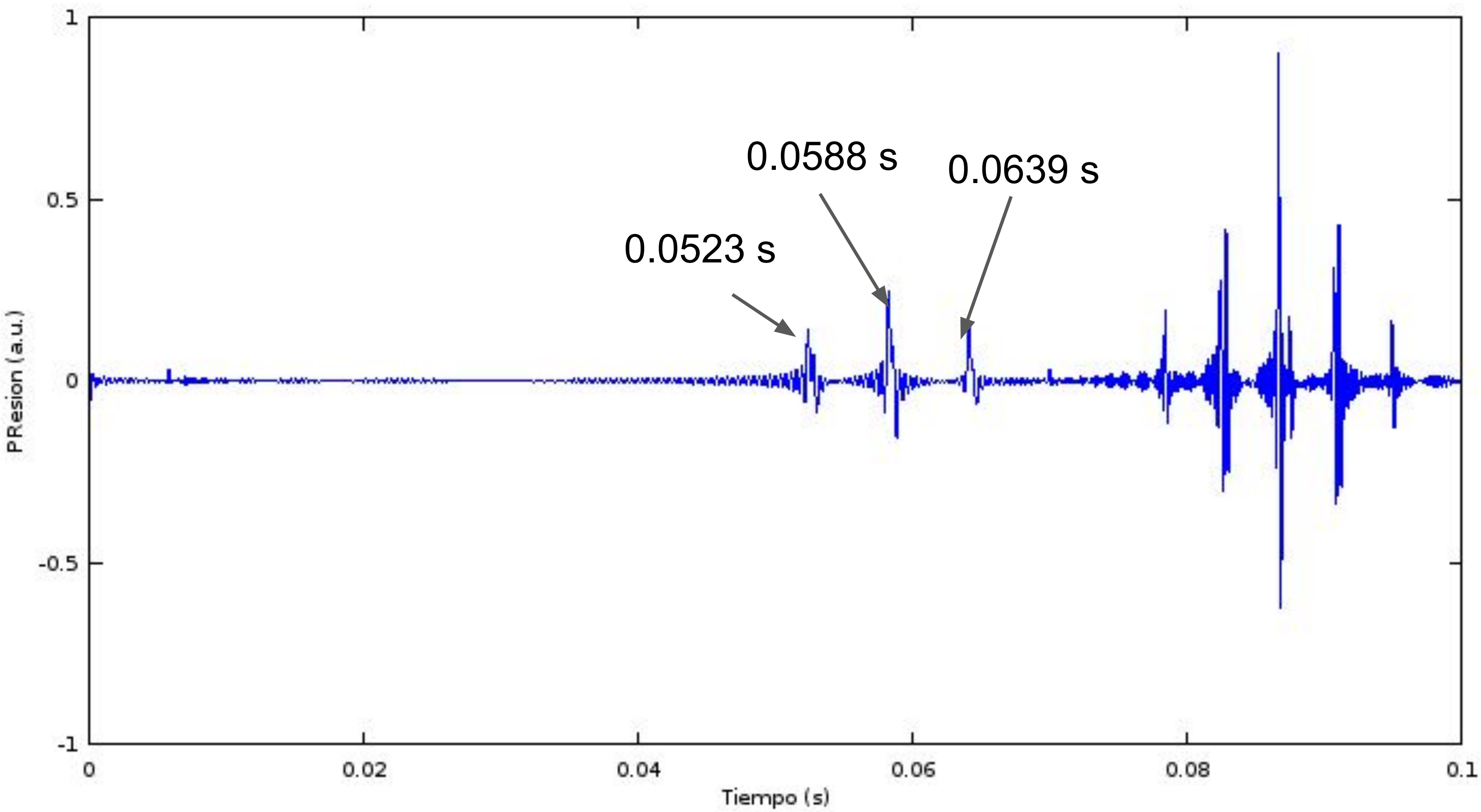
¿Qué recorridos esperamos que realice el sonido considerando todos los rebotes posibles?

Experimento 3: sala 2D



Algunos de los posibles (los más fáciles: el directo y los rebotes de primer orden)

Experimento 3: sala 2D



Experimento 3: sala 2D

(video)

¿Y en la realidad? (pasado)

Fuente: http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Presentations/NordicSound-Farina_presentation.pdf

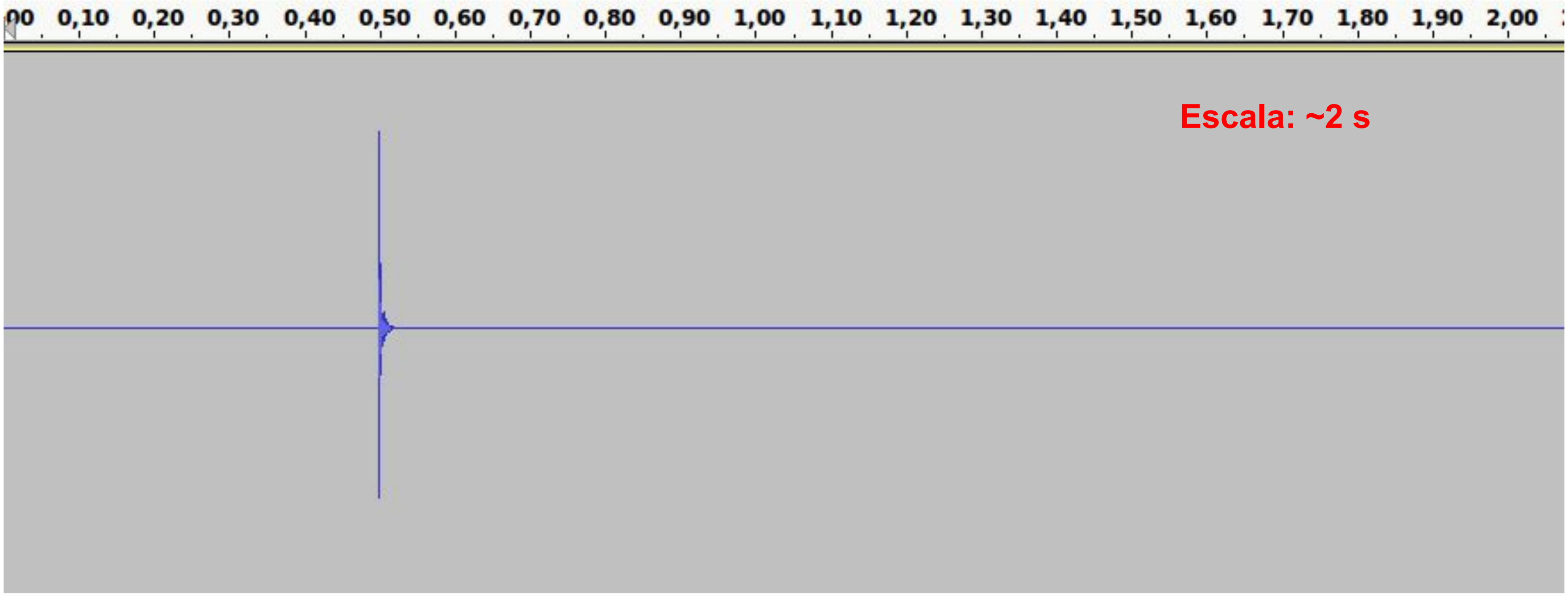
Cámara anecoica

Fuente: http://www.ramona.org.ar/node/44638

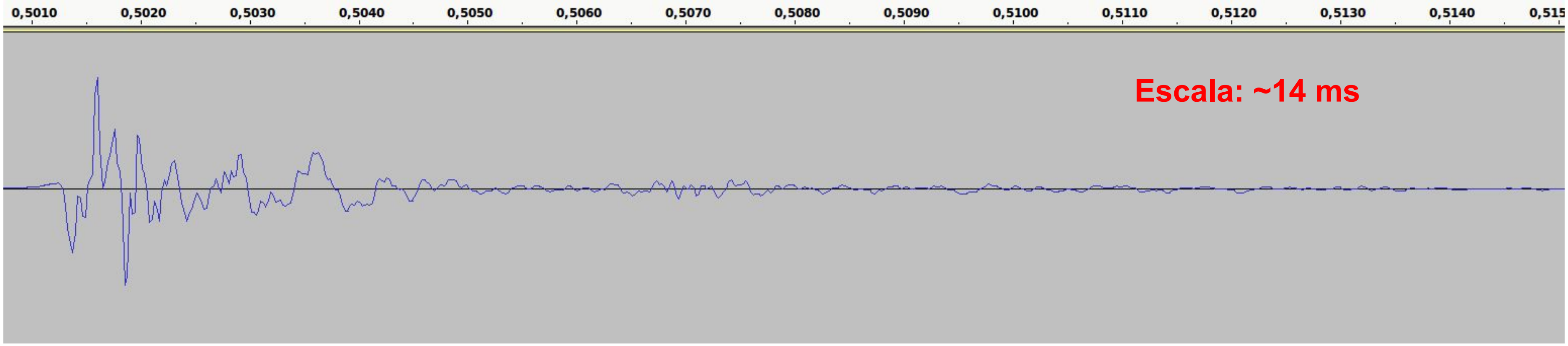
Cámara anecoica

Fuente: http://www.ramona.org.ar/node/44638

Aplauso



0,10 0,20 0,30 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00 1,10 1,20 1,30 1,40 1,50 1,60 1,70 1,80 1,90 2,00
Escala: ~2 s



0,5010 0,5020 0,5030 0,5040 0,5050 0,5060 0,5070 0,5080 0,5090 0,5100 0,5110 0,5120 0,5130 0,5140
Escala: ~14 ms

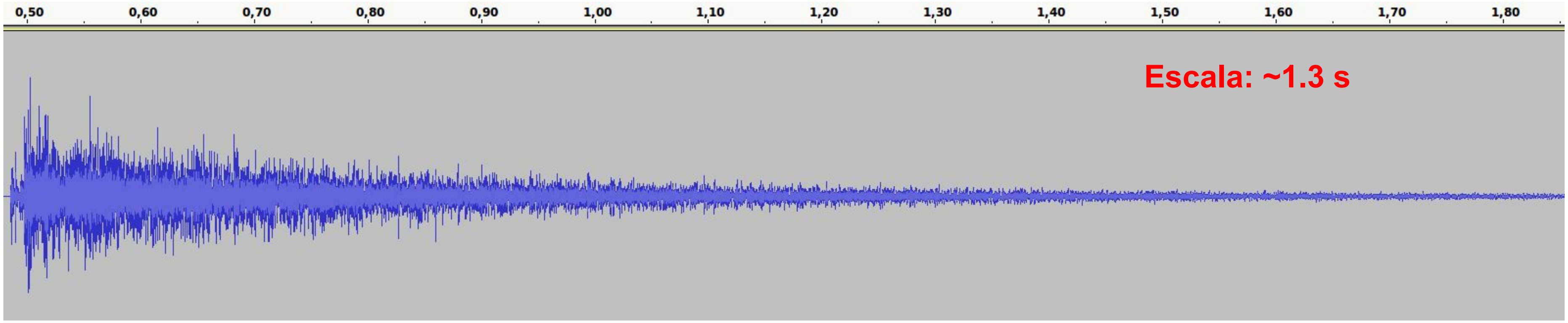
Cámara reverberante

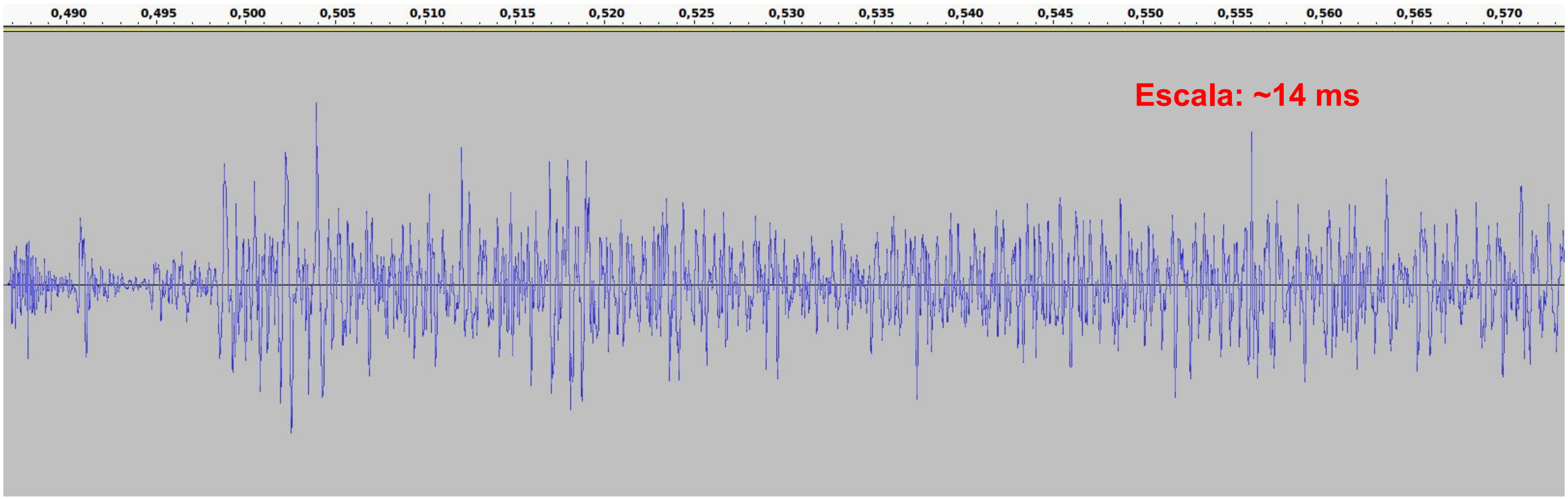
Fuente: http://www.ramona.org.ar/node/44638

Cámara reverberante

Fuente: http://www.ramona.org.ar/node/44638

Aplauso


0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
1,30
1,40
1,50
1,60
1,70
1,80
Escala: ~1.3 s

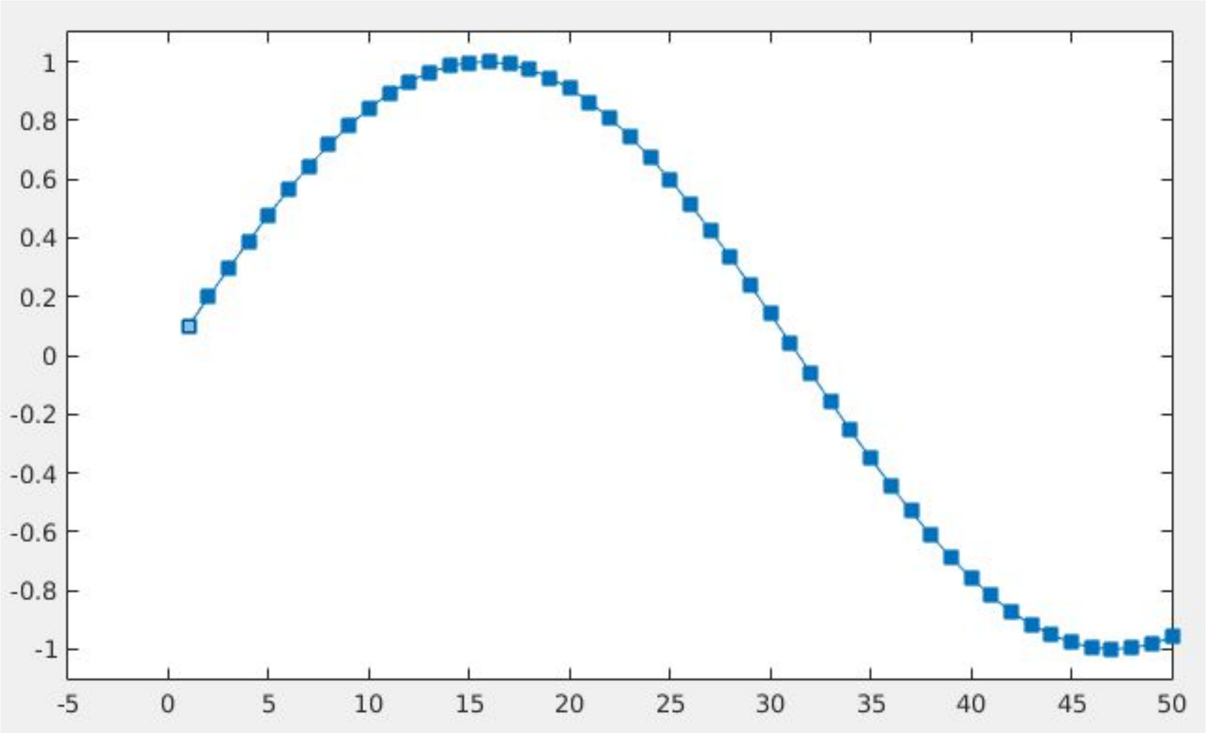

0,490
0,495
0,500
0,505
0,510
0,515
0,520
0,525
0,530
0,535
0,540
0,545
0,550
0,555
0,560
0,565
0,570
Escala: ~14 ms

¿Y para qué sirve?

La respuesta impulsiva contiene la información de todos los modos presentes en la sala.

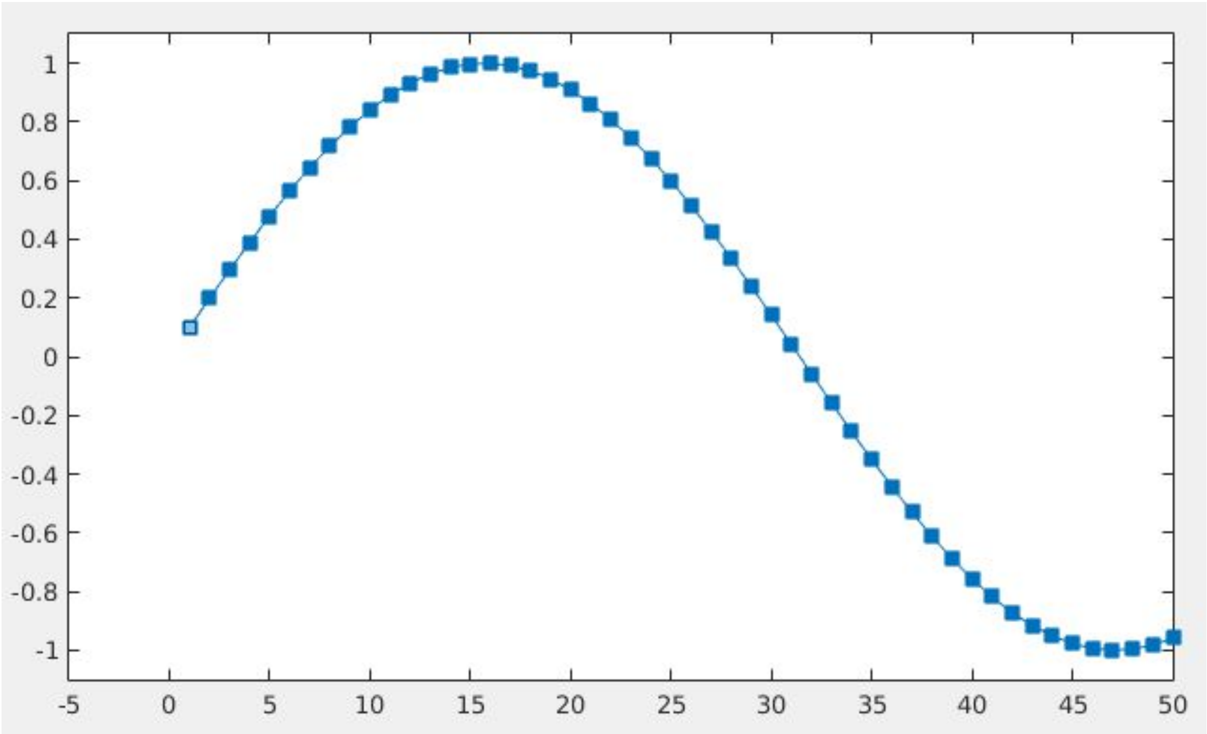
Es útil para calcular la respuesta de la sala frente a cualquier otro sonido que sea emitido en ella. (Muy útil para realizar simulaciones virtuales).

Convolución



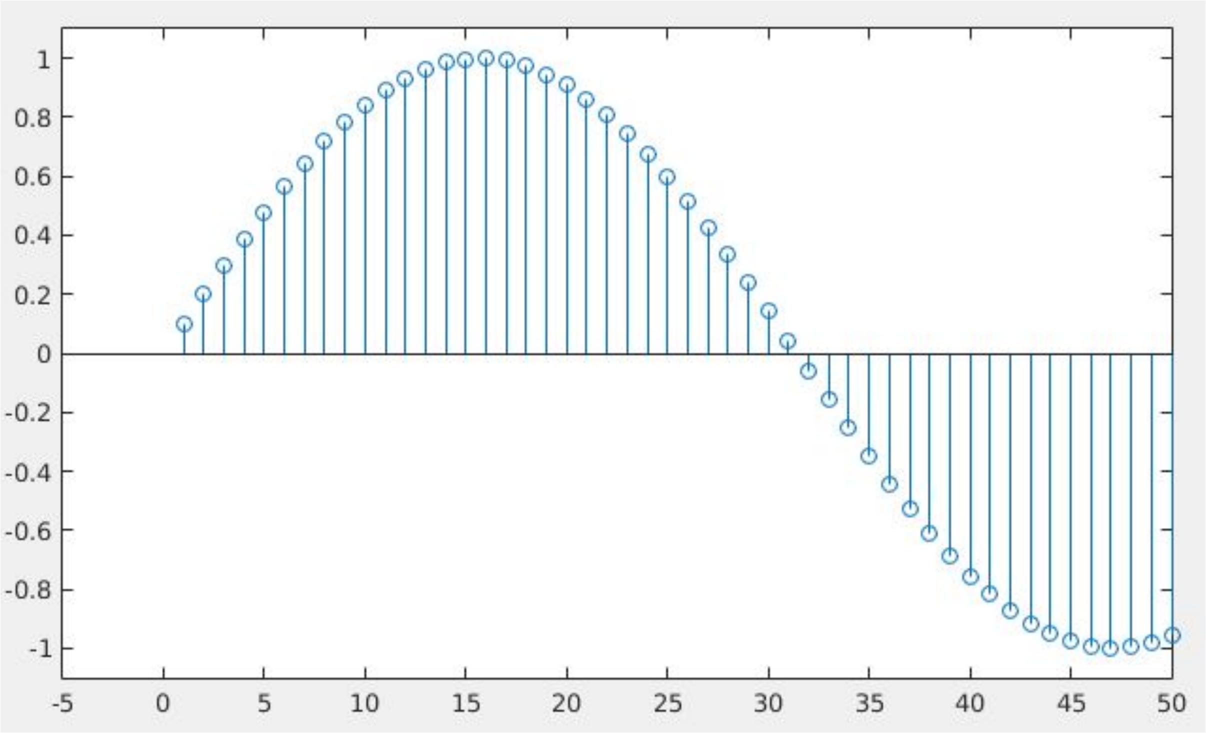
Cualquier señal se puede pensar como una sucesión de deltas de Dirac que ocurren en diferentes tiempos y que tienen diferentes amplitudes.

Convolución



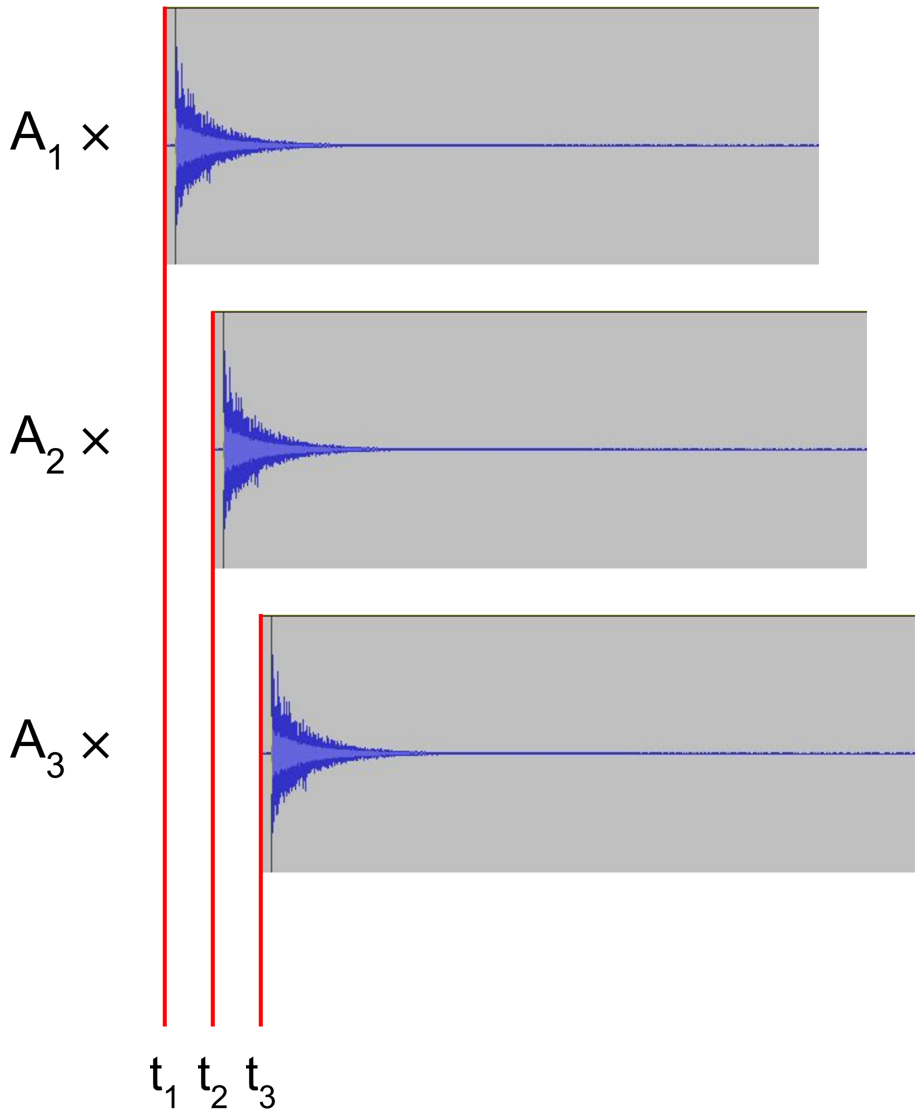
Cualquier señal se puede pensar como una sucesión de deltas de Dirac que ocurren en diferentes tiempos y que tienen diferentes amplitudes.

Convolución



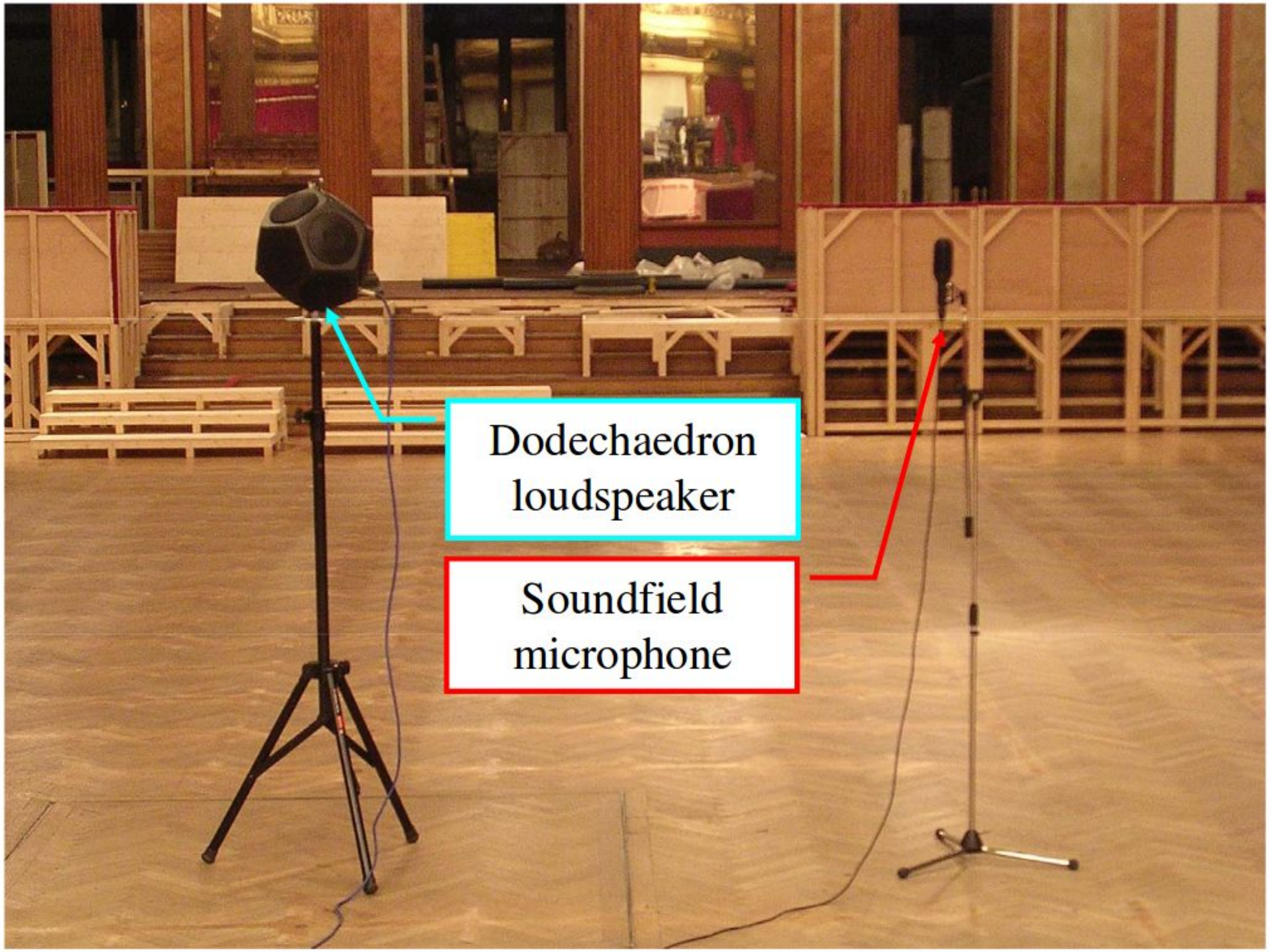
$$S_{input}(t) \sim A_1 * d(t - t_1) + A_2 * d(t - t_2) + A_3 * d(t - t_3) + \ldots$$

$$S_{output}(t) \sim A_1 * IR(t - t_1) + A_2 * IR(t - t_2) + A_3 * IR(t - t_3) + \ldots$$



$$S_{output}(t) \sim A_1 {}^* IR(t - t_1) + A_2 {}^* IR(t - t_2) + A_3 {}^* IR(t - t_3) + \ldots$$

¿Y en la realidad? (presente)



Fuente: http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Presentations/NordicSound-Farina_presentation.pdf

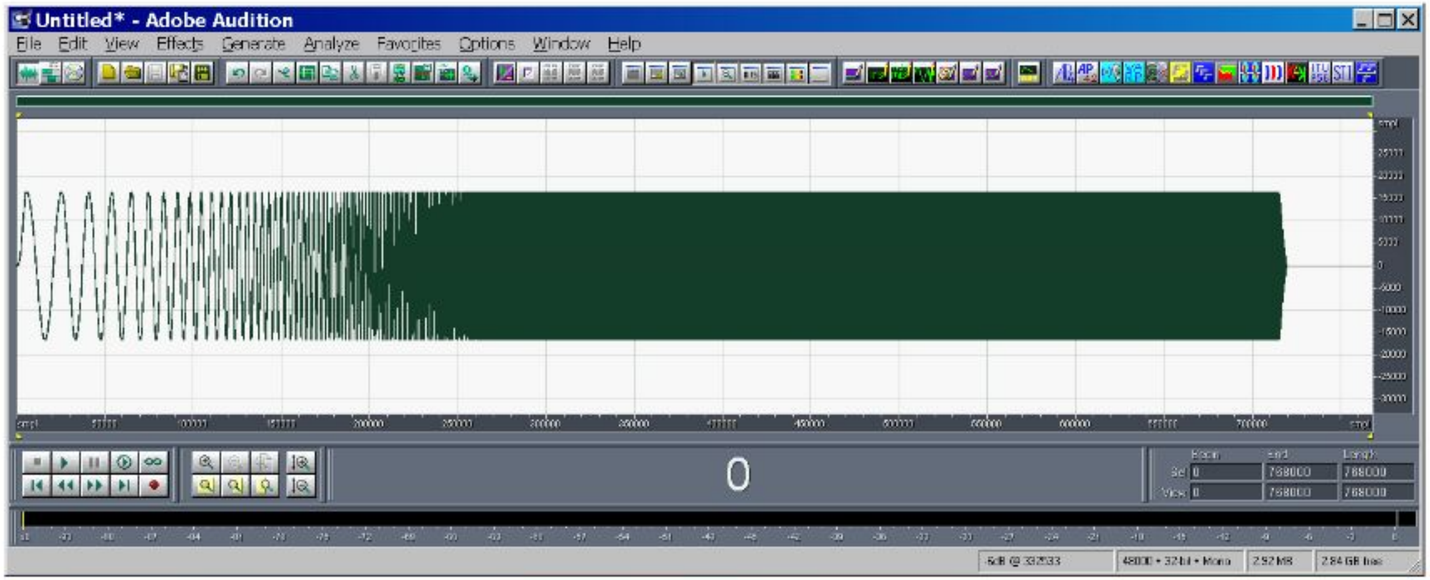
¿Y en la realidad? (presente)

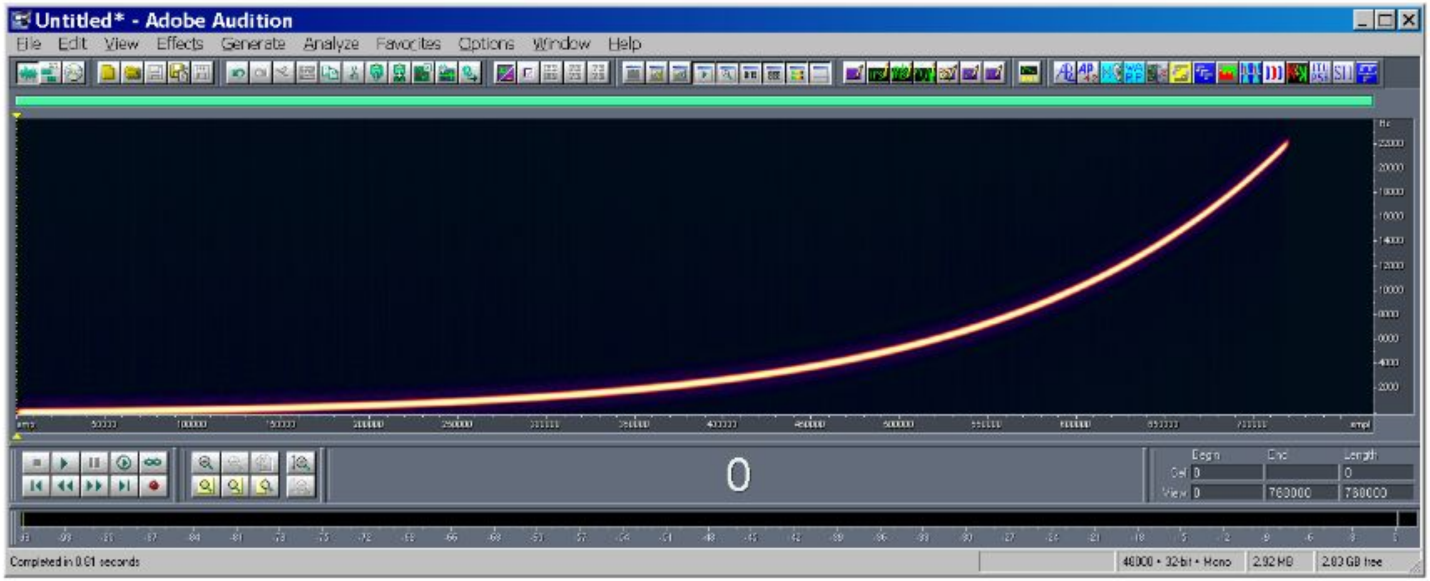
Exponential Sine Sweep method

- x(t) is a band-limited sinusoidal sweep signal, which frequency is varied exponentially with time, starting at f_1 and ending at f_2.

$$x(t) = \sin\left[\frac{2\cdot\pi\cdot f_1\cdot T}{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}\cdot\left(e^{\frac{t}{T}\cdot\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}-1\right)\right]$$

Fuente: http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Presentations/NordicSound-Farina_presentation.pdf





Fuente: http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Presentations/NordicSound-Farina_presentation.pdf

Medición mediante barrido exponencial

- El uso de un parlante es preferible frente a los otros métodos ya que permite un mayor control de la señal (menor variabilidad entre sucesivas repeticiones).
- Como cualquier equipo, el parlante tiene un régimen lineal para amplitudes “bajas” y un régimen de saturación cuando la excitación contiene mucha energía.
- Un impulso se caracteriza por una gran cantidad de energía concentrada en muy poco tiempo. Separándolo en las frecuencias que lo componen (mediante Fourier) se puede incrementar la energía de cada componente hasta el límite de linealidad del parlante, y de este modo, obtener la respuesta frente a un impulso de mayor intensidad que la tolerable por el equipo.
- Se reconstruye la respuesta al impulso anti-transformando la respuesta medida.
- Si las mediciones se repiten N veces, se logra una disminución de la relación señal-ruido acorde a N.