



SONIDO

Rodrigo F. Cádiz
Septiembre 2011

Contenido

Sonido

- ¿Qué es el sonido?
- Propiedades de los sistemas vibratorios
- Tipos de sonido
- Análisis de Fourier
- Representación visual
- Escala de decibeles

Sonido

¿Qué es el sonido?

Requisitos para que haya sonido...

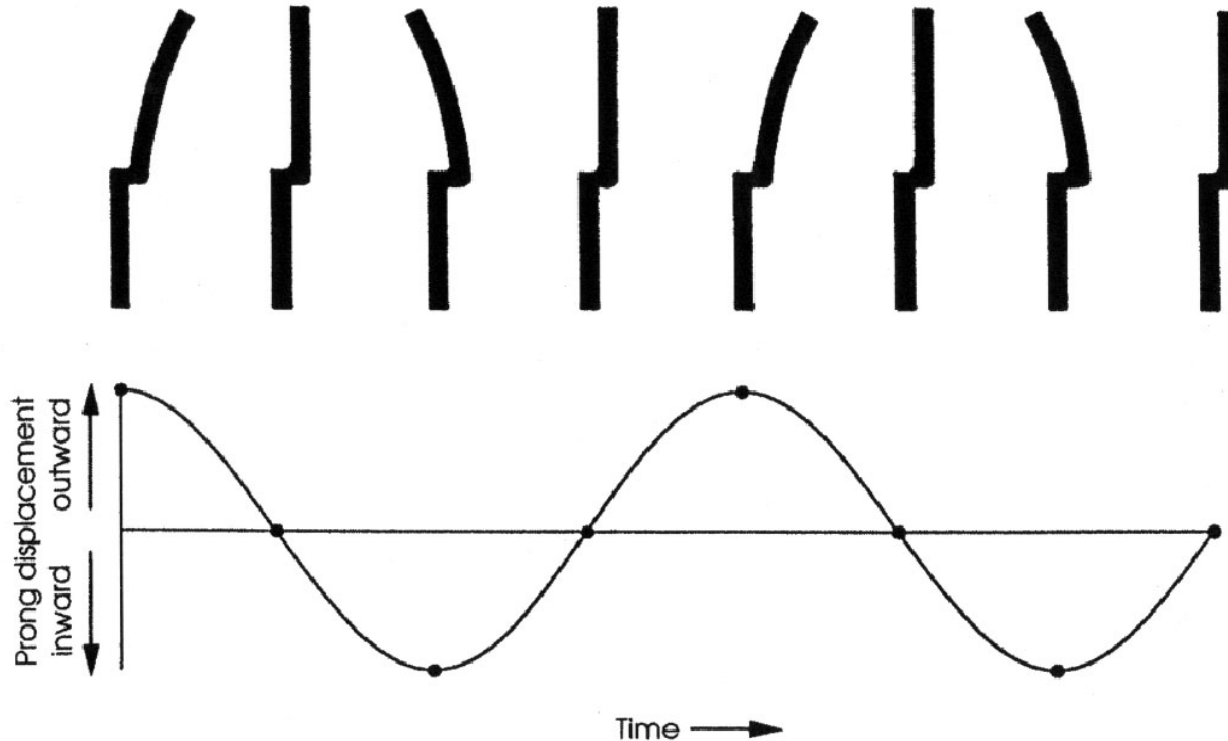
- Fuente en vibración (como las cuerdas vocales)
- Fuente de energía (como los pulmones)
- Un medio (para transportar la vibración, como el aire)
- Un receptor (como el oído humano)

http://www-nehc.med.navy.mil/downloads/occmed/hctoolbox/Toolbox_files/1

Onda

<http://youtu.be/t5qHWK9jgno>

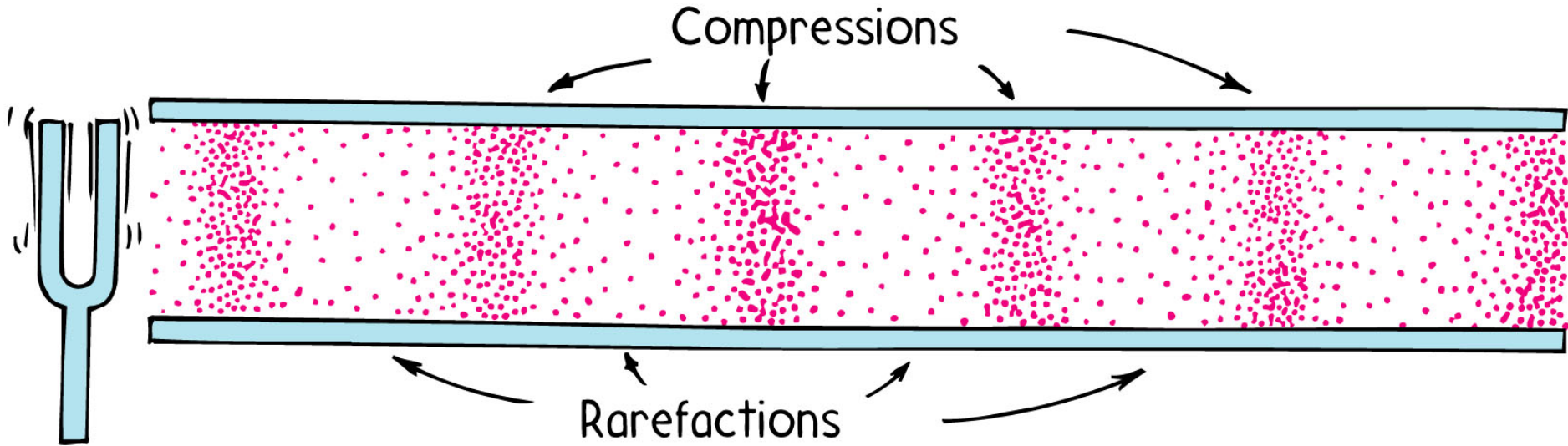
Diapasón



<http://youtu.be/cK2-6cgqgYA>

homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

Ondas de sonido



Las moléculas en el aire vibran en torno a alguna posición promedio creando zonas de compresión y rarefacción.

<http://www.drake.edu/artsci/physics/1>

¿Cómo se ve el sonido?

◆ ¿Qué hacen las moléculas cuando el sonido ocurre?

<http://youtu.be/cK2-6cgqgYA>

<http://youtu.be/KbielPY7QA0>

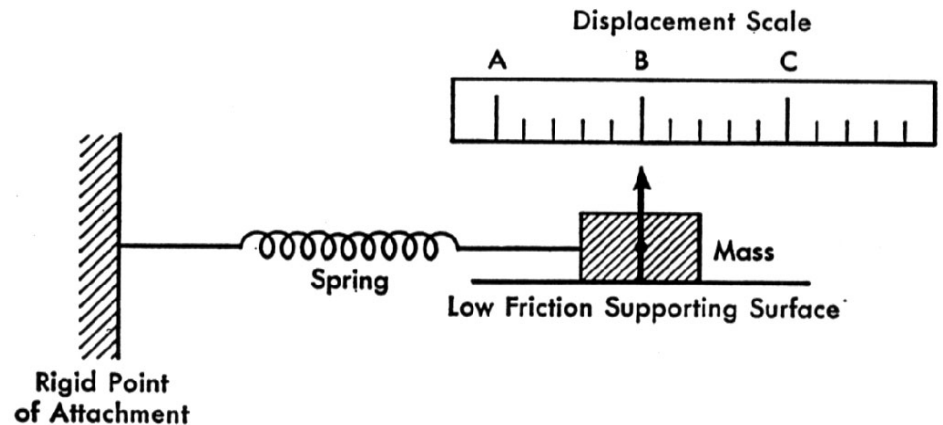
http://www.bcurbanecology.com/download/urban_trees_final/powerpoints/physics_of_sound2.ppt

Propiedades de los sistemas vibratorios

Sistemas vibratorios

Algunos términos

- **desplazamiento**: distancia momentaria del punto de equilibrio B
- **ciclo**: una oscilación completa
- **amplitud**: máximo desplazamiento
- **frecuencia**: número de ciclos por segundo (hertz o Hz)
- **período**: número de segundos por ciclo
- **fase**: parte del ciclo que una onda ha avanzado en relación a un punto de referencia arbitrario



A simple spring-mass oscillator.

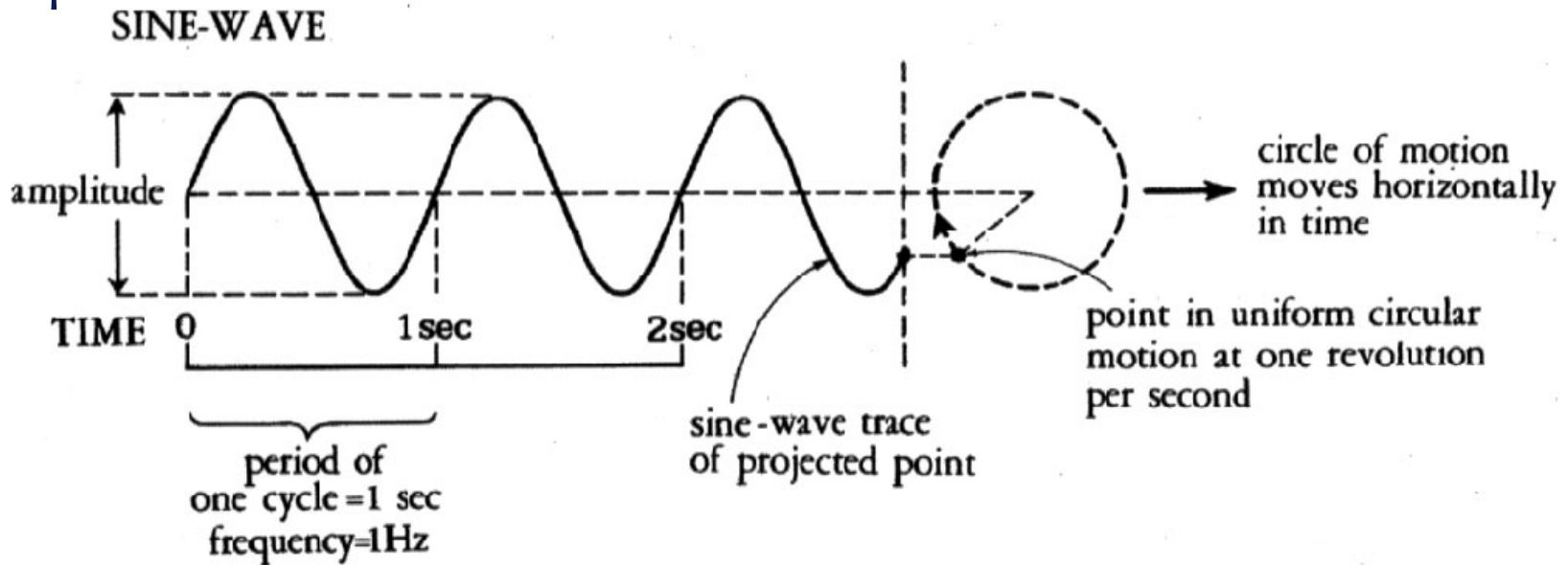
¿Cuál es la relación entre frecuencia (f) y período (T)?

Frecuencia - # of ciclos/segundo

Período – tiempo de una vibración completa

Frecuencia = $1 / \text{Período}$

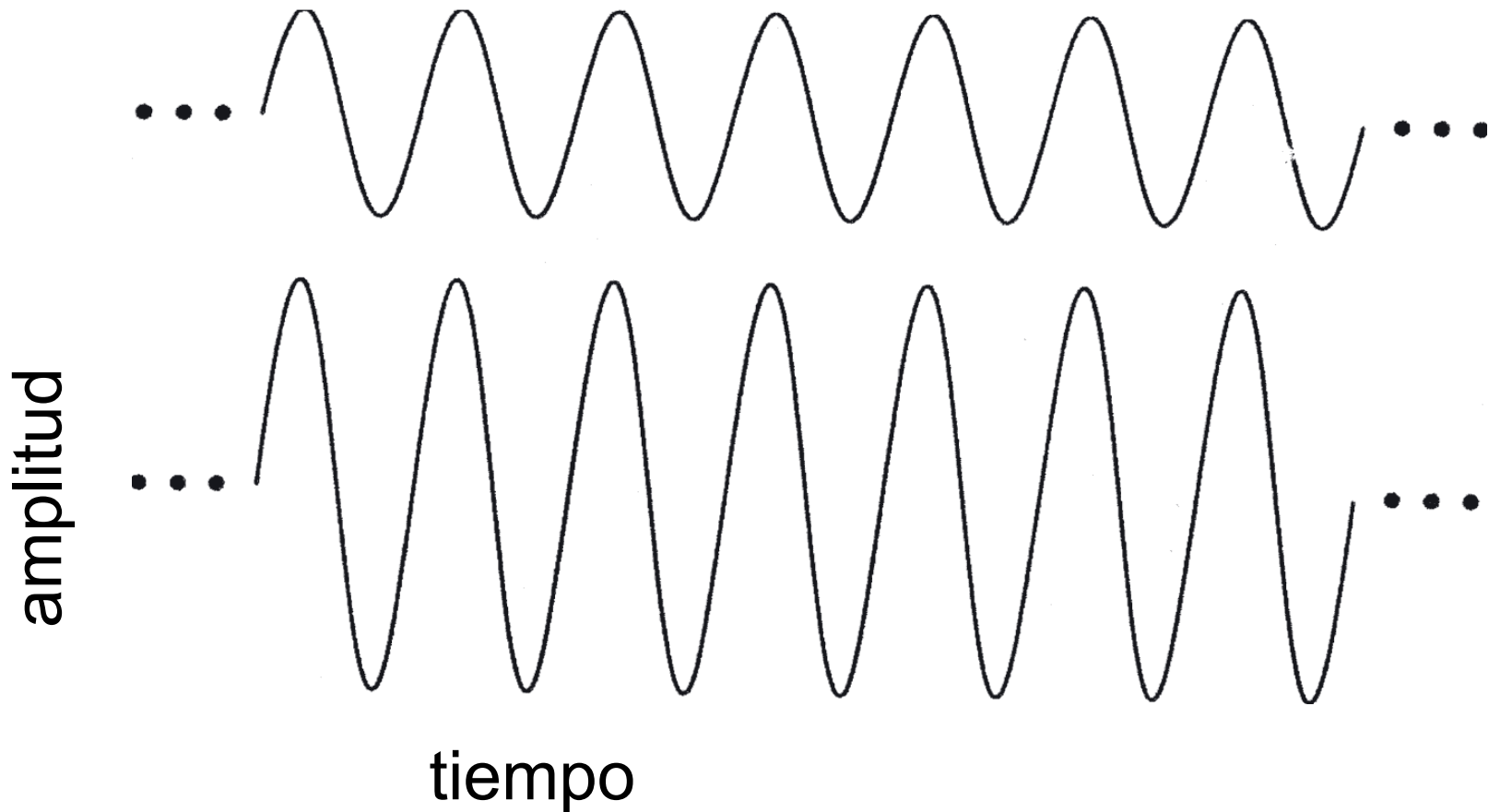
Período = $1 / \text{Frecuencia}$



The amplitude, period, and frequency of a sine wave generated by a point projected on a line from uniform circular motion at one revolution per second moving horizontally. As a concrete example, the sine wave would be the path traced by the projected vertical position of a peg on a rotating turntable that is facing us on its side and moving horizontally at a constant speed.

homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

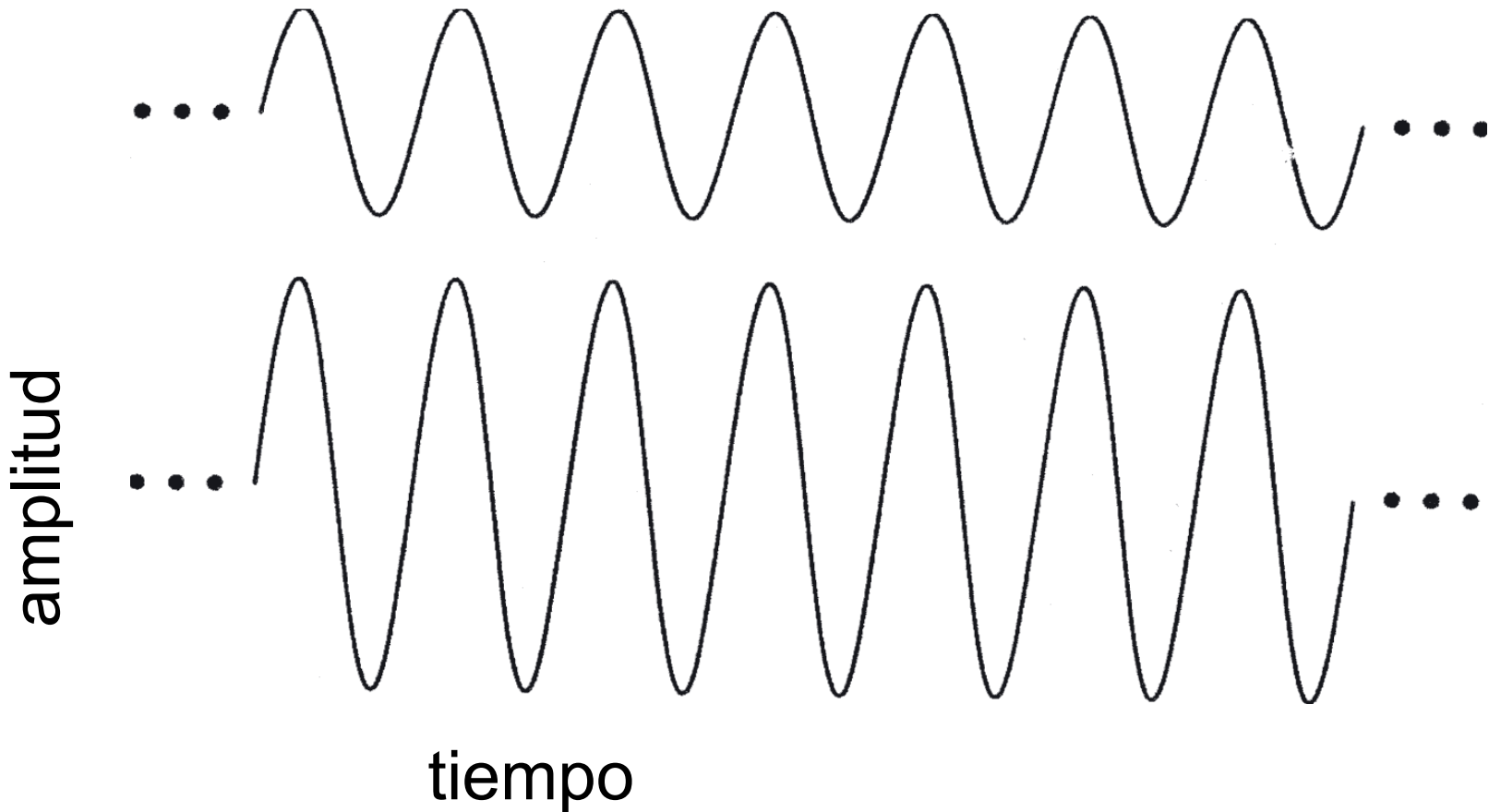
¿En qué se diferencian?



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

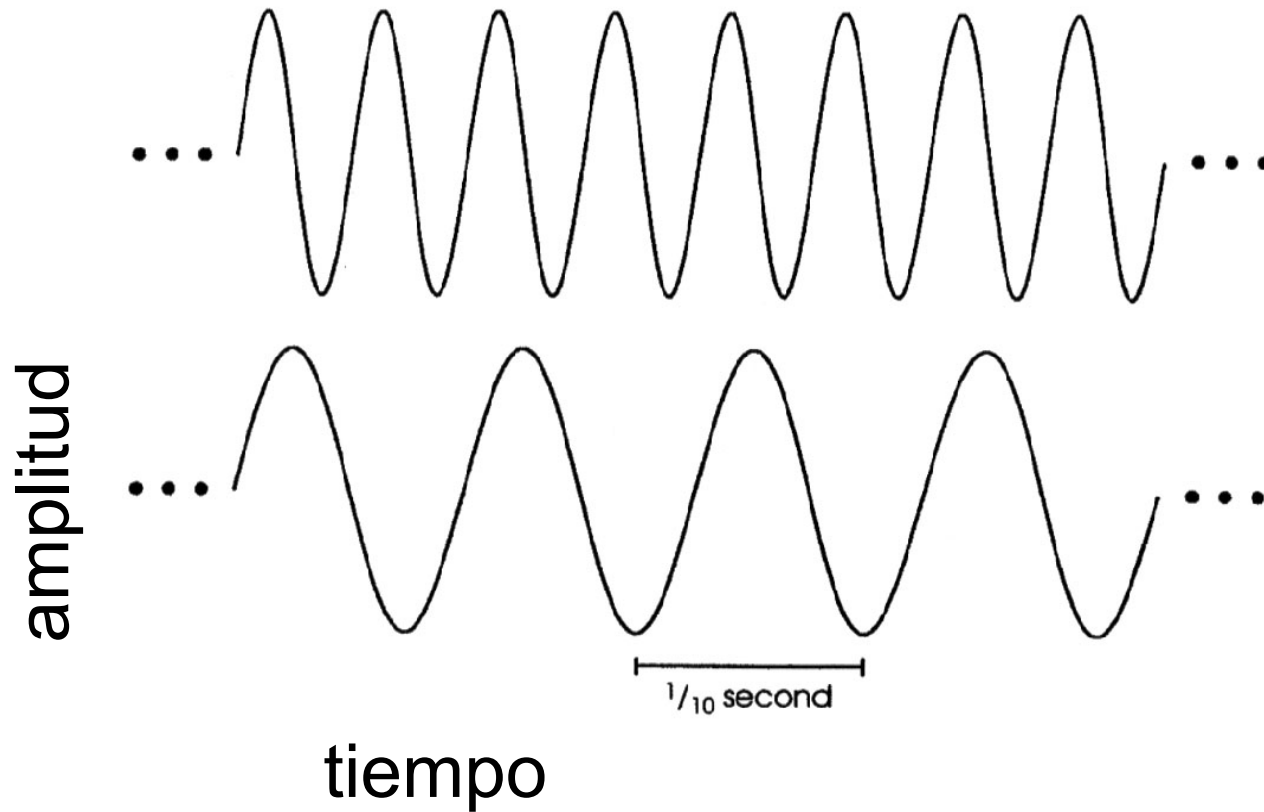
¿En qué se diferencian?

Amplitud



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

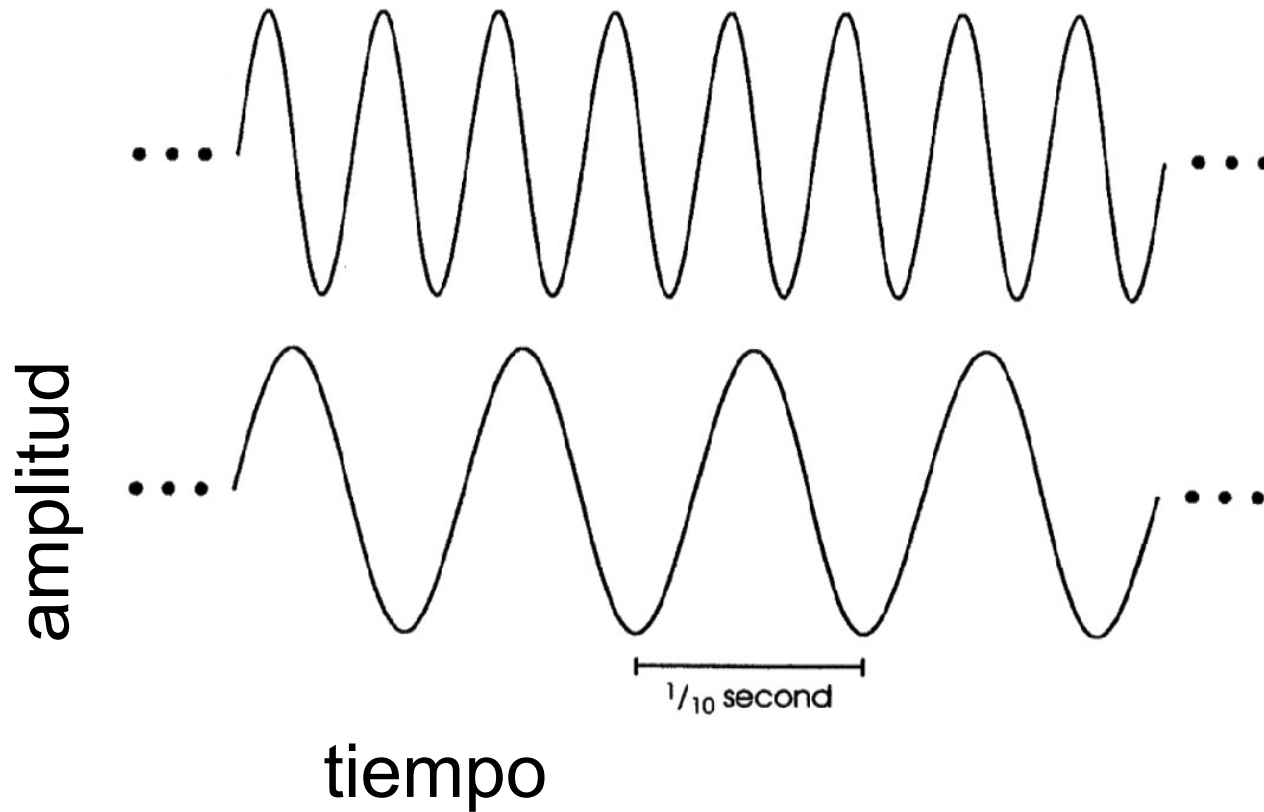
¿En qué se diferencian?



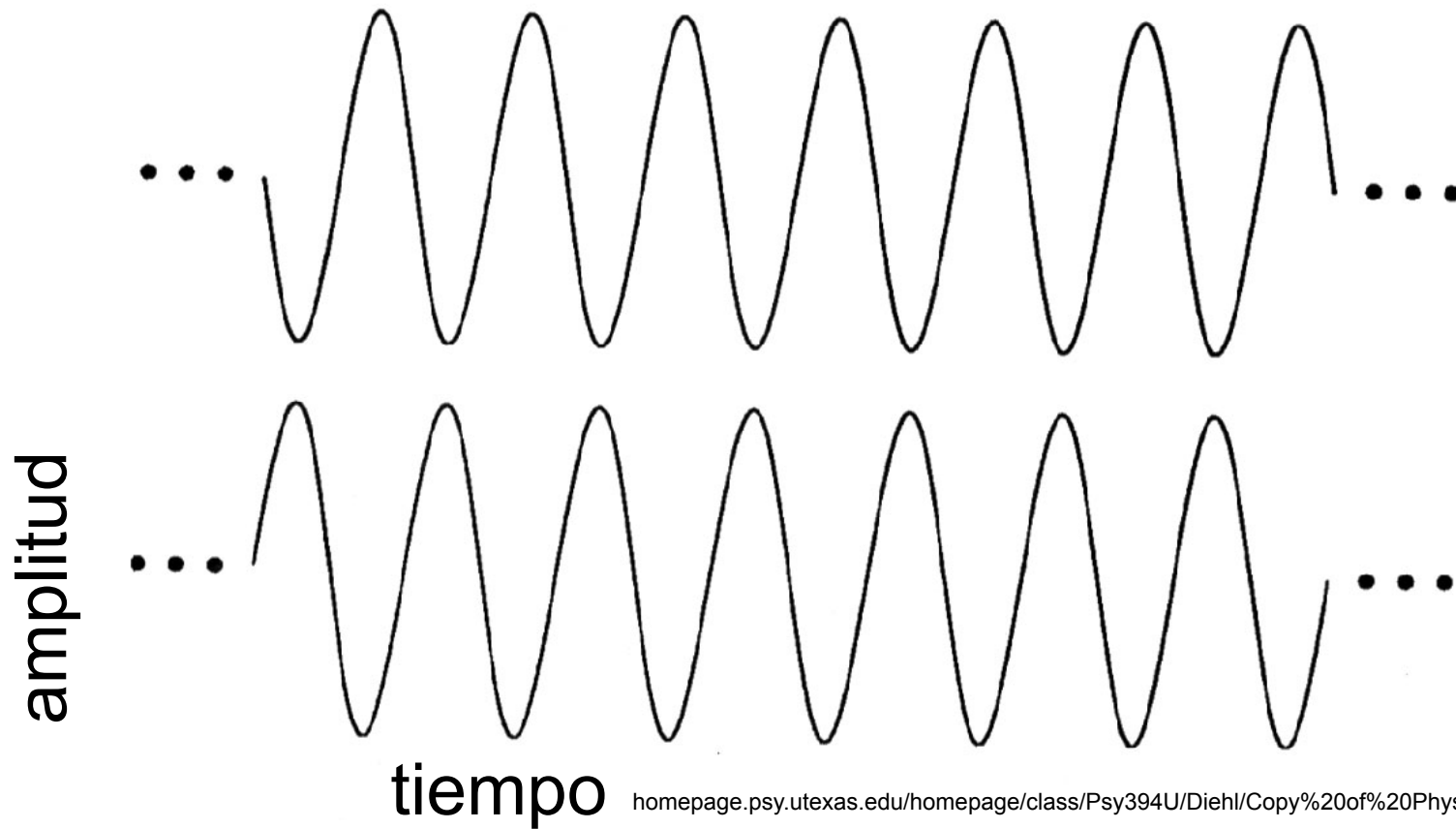
homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

¿En qué se diferencian?

Frecuencia



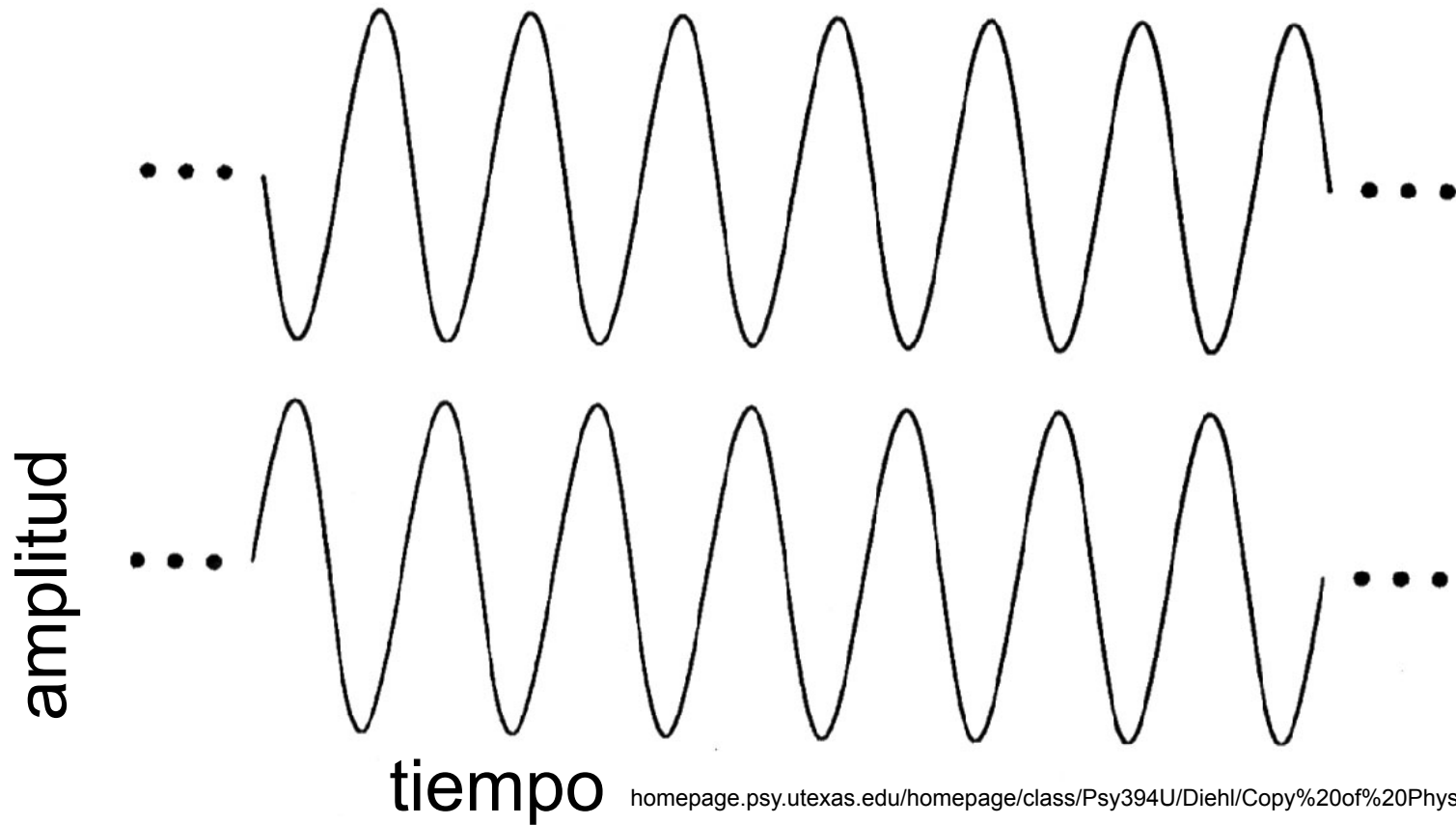
¿En qué se diferencian?



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

¿En qué se diferencian?

Fase



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

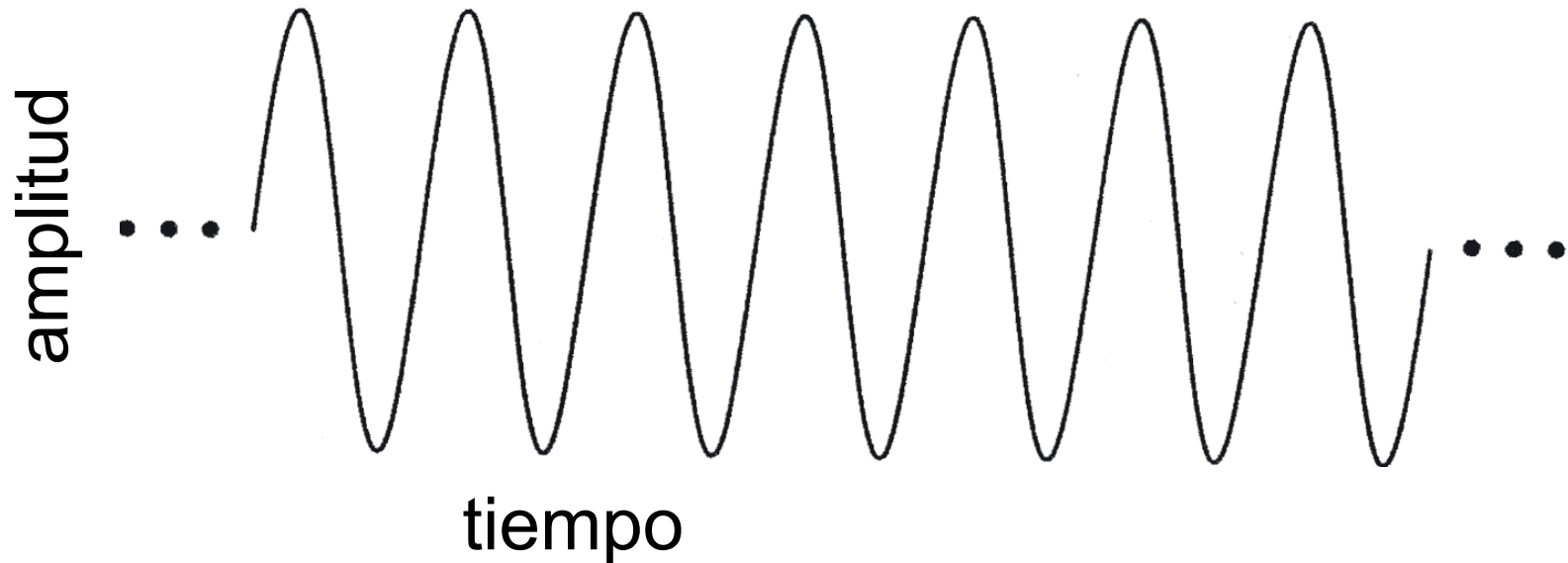
¿Cómo suenan los cambios en amplitud, frecuencia y fase de las ondas sinusoidales?

<http://www.falstad.com/fourier/>

<http://www.falstad.com/mathphysics.html>

Tipos de ondas sonoras

Onda simple o sinusoidal

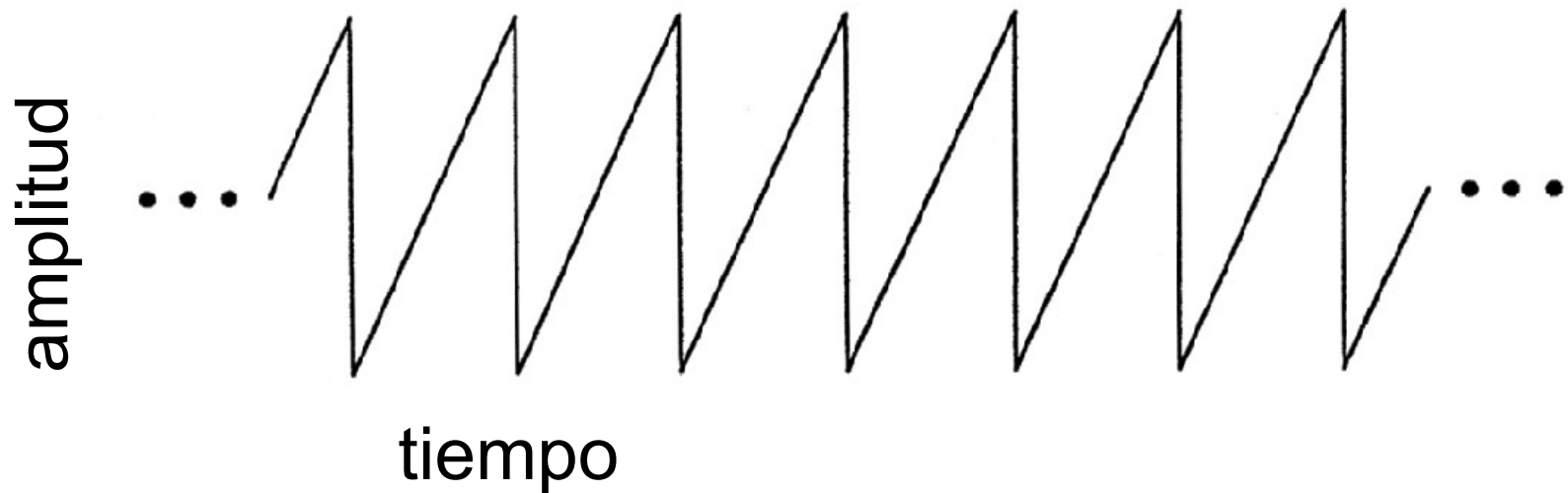


http://youtu.be/P-Umre5Np_0

Ondas simples vs. complejas

- Hasta ahora hemos considerado sólo ondas simples (sinusoides).
- Sin embargo, la mayoría de los sonidos en el mundo real no son simples, sino ondas *complejas*.

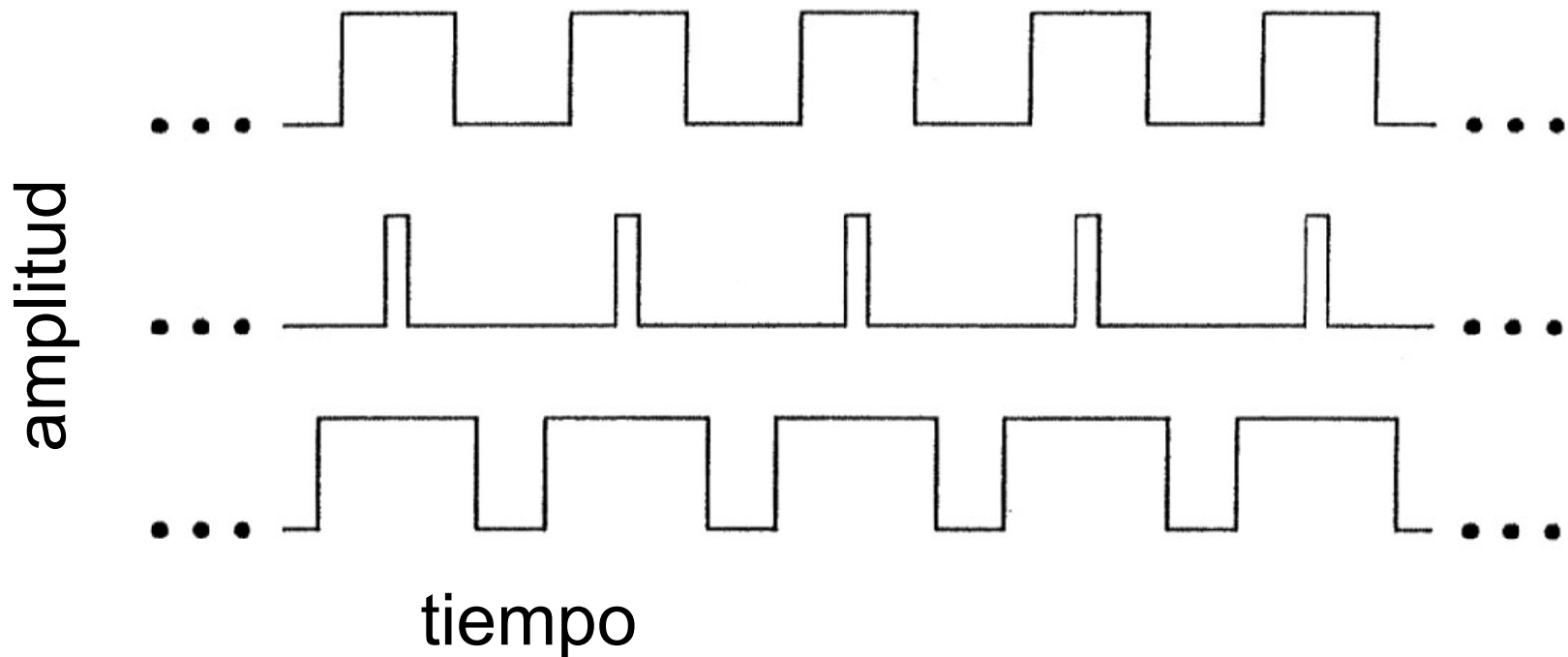
Ejemplo de ondas complejas: diente de sierra



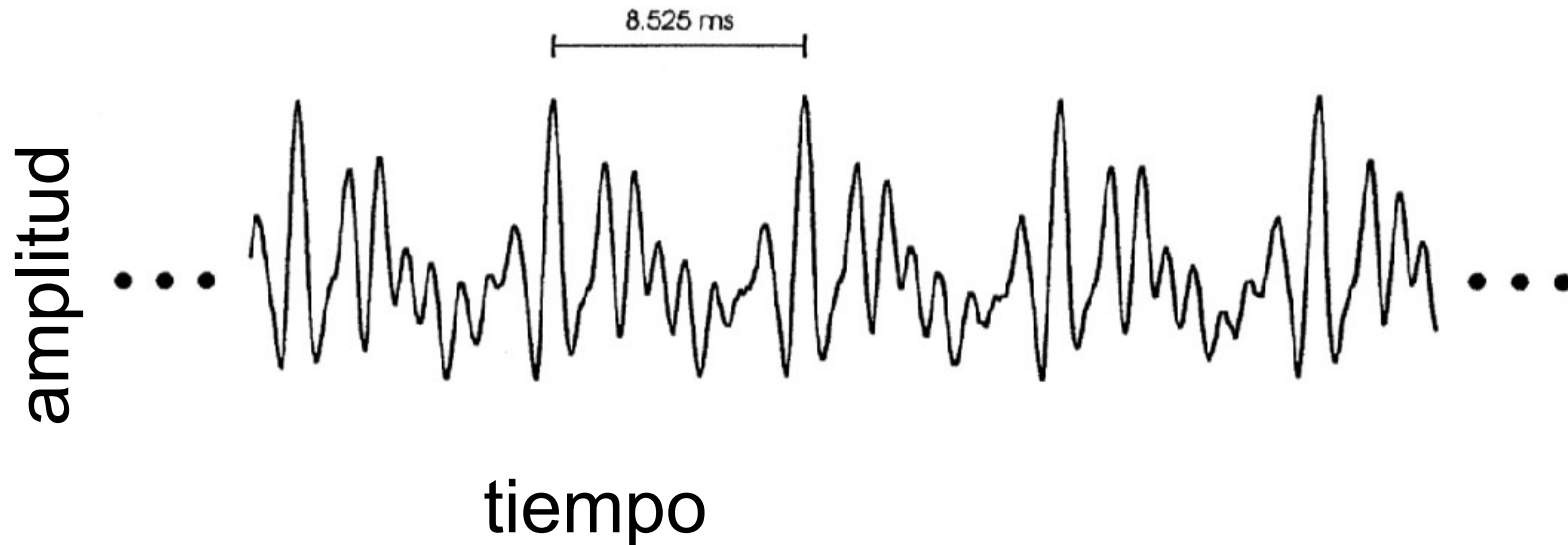
<http://www.falstad.com/fourier/>

<http://www.falstad.com/mathphysics.html>

Ejemplo de ondas complejas: ondas cuadradas



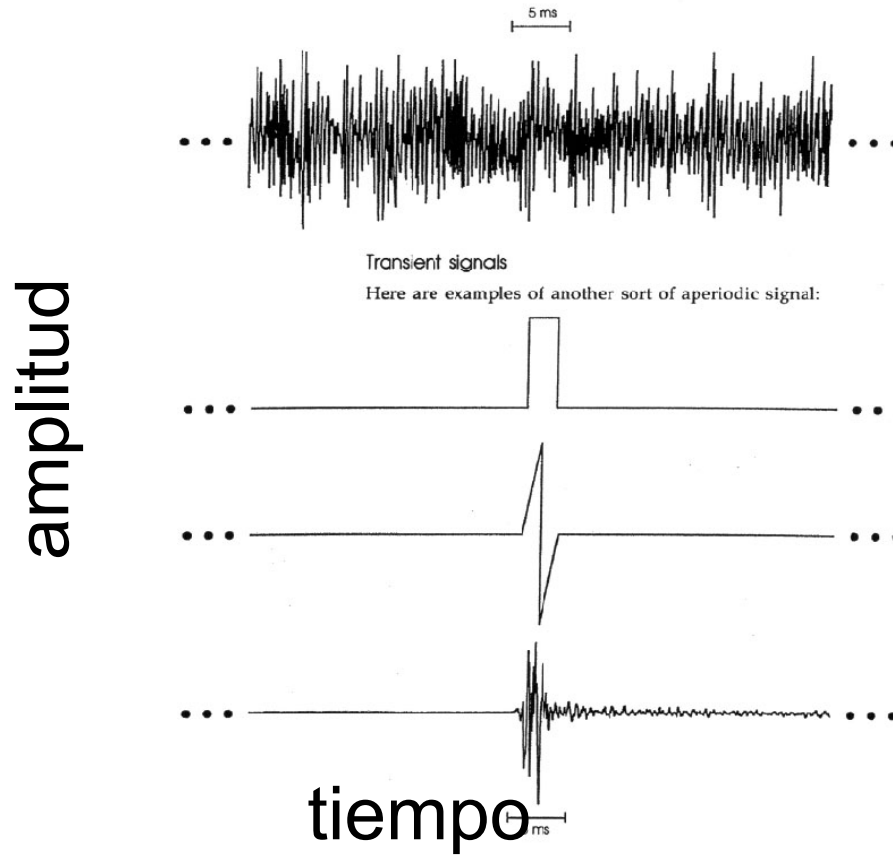
Ejemplo de ondas complejas: sonidos vocales



Ondas periódicas vs aperiódicas

- Hasta ahora, todas las ondas consideradas(simples o complejas) han sido *periódicas*—un intervalo de una onda se repite indefinidamente.
- Muchas ondas son no repetitivas, es decir, son *aperiódicas*.

Ejemplo de onda aperiódica



Ondas simples vs. complejas

- Una senoide se puede describir exactamente especificando su amplitud, frecuencia y fase.
- ¿Se puede describir una onda compleja de la misma forma?

homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

Análisis de Fourier

Joseph Fourier (1768-1830)



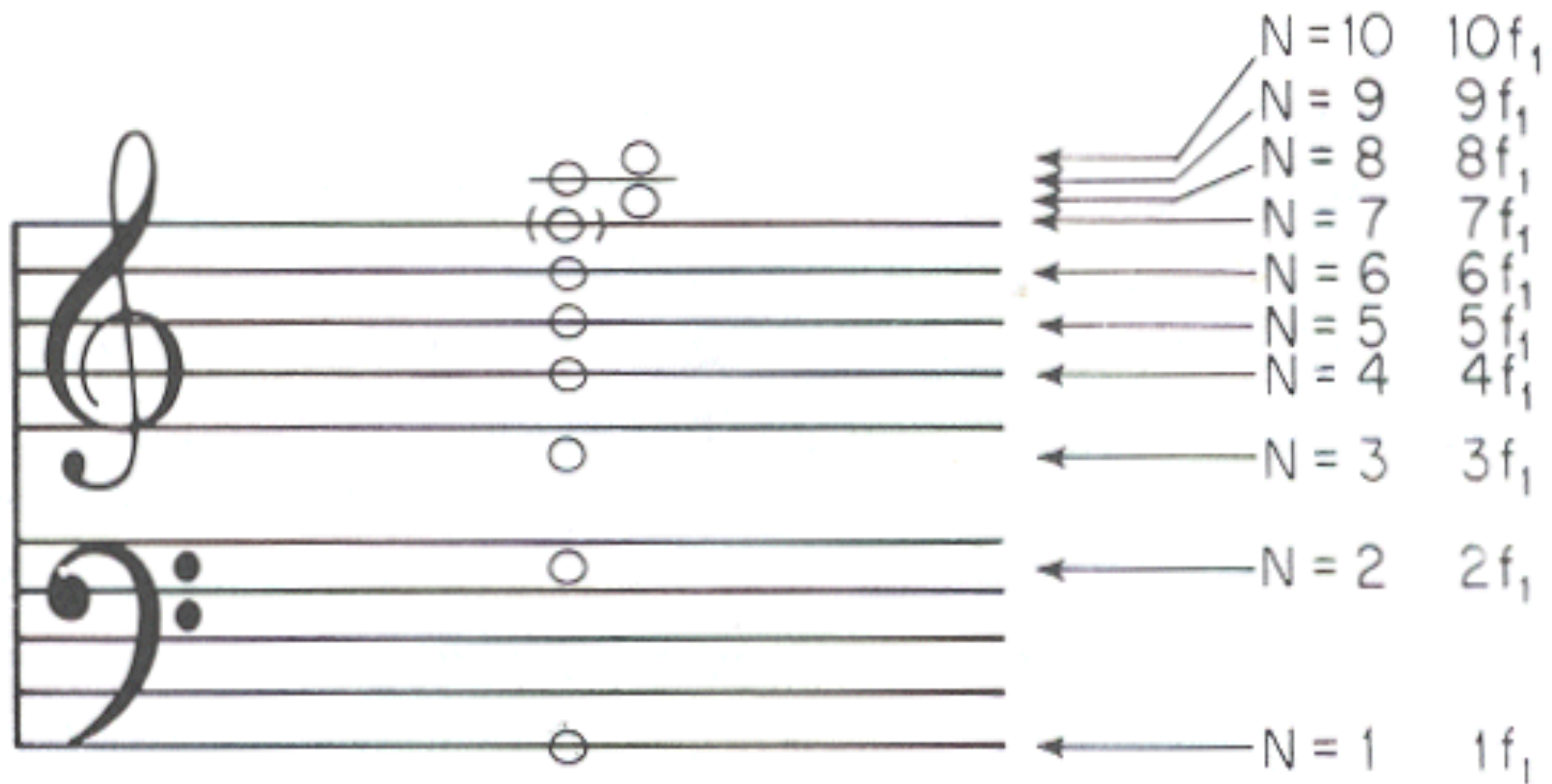
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/a/aa/Fourier2.jpg>

Análisis de Fourier

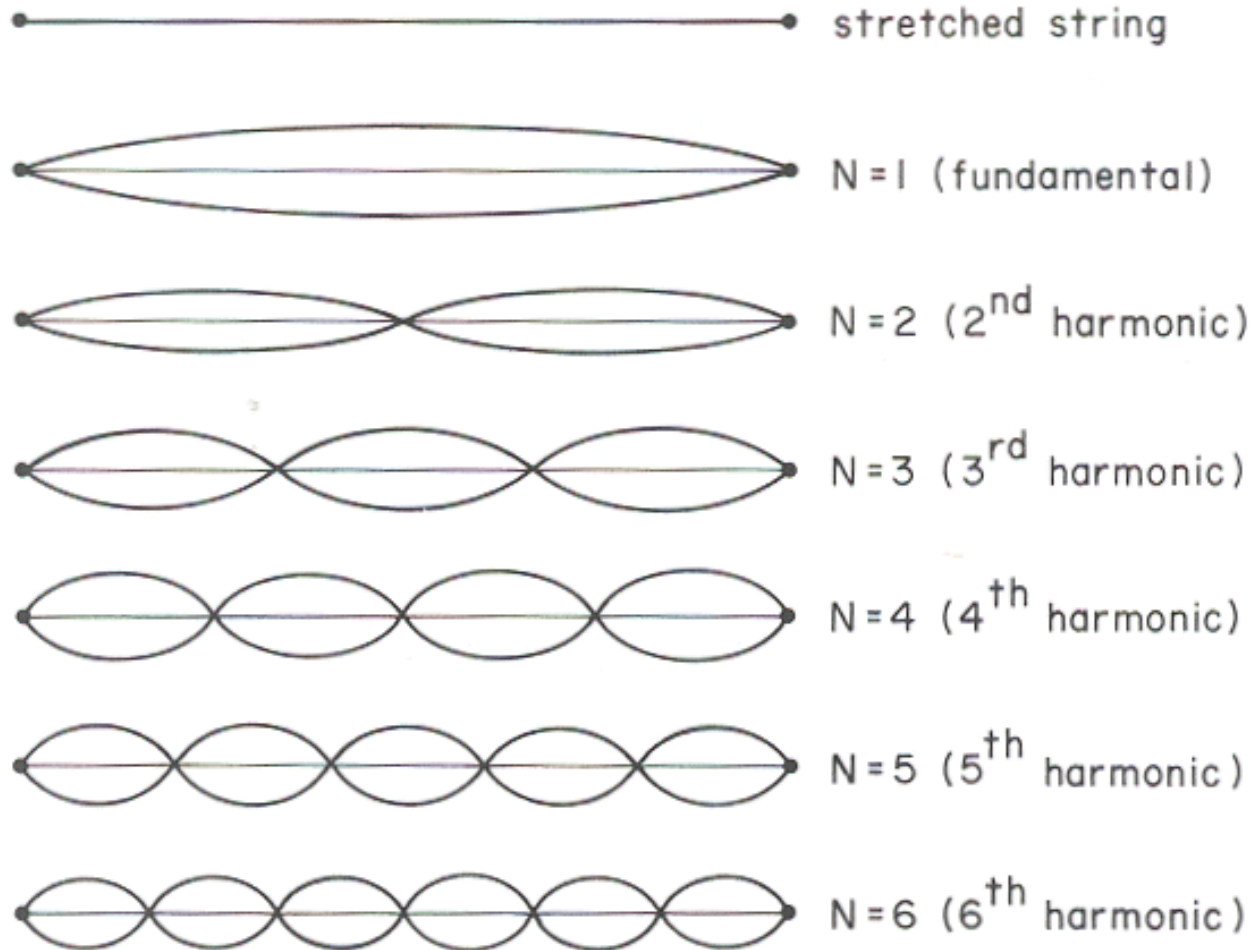
Teorema de Fourier:

Cualquier onda puede ser analizada como la suma de un conjunto de ondas sinusoidales, llamadas armónicos, cada una con una amplitud, frecuencia y fase particular.

La serie armónica



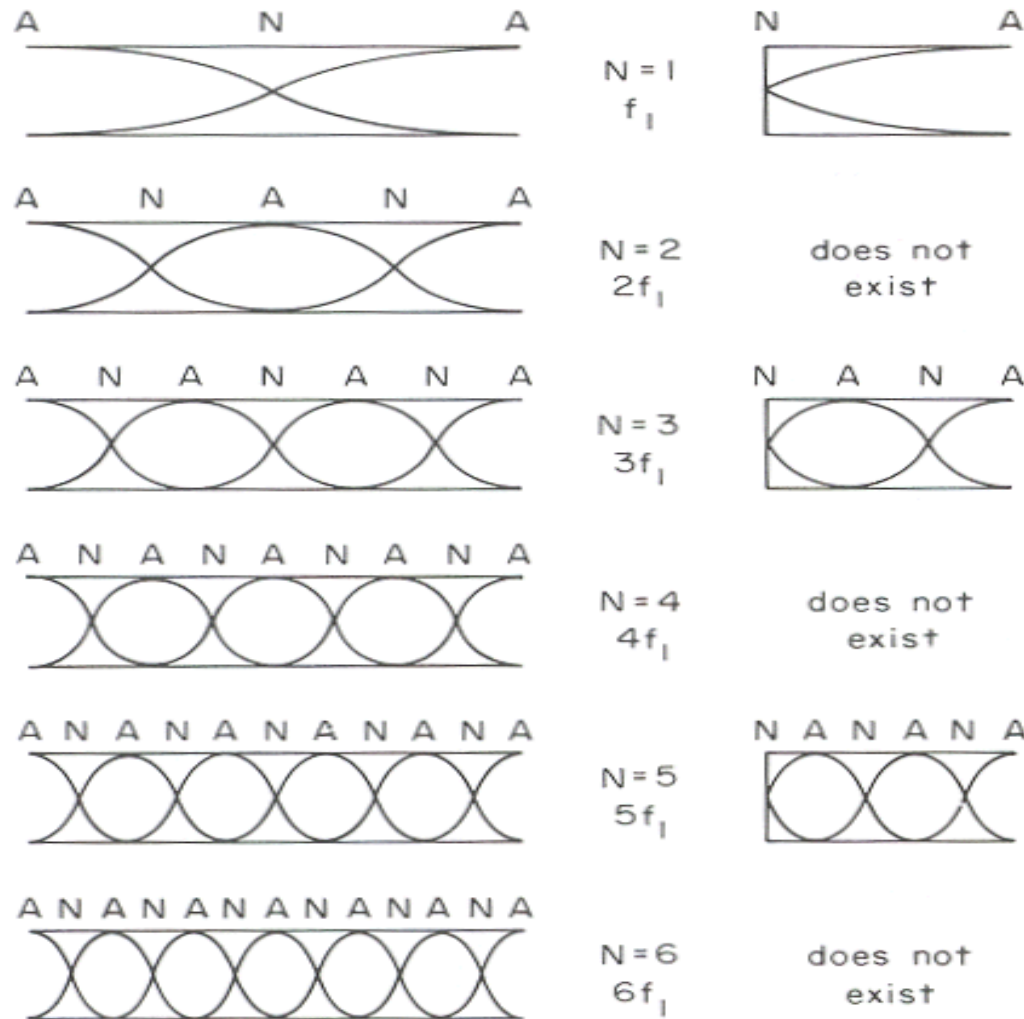
Cuerdas



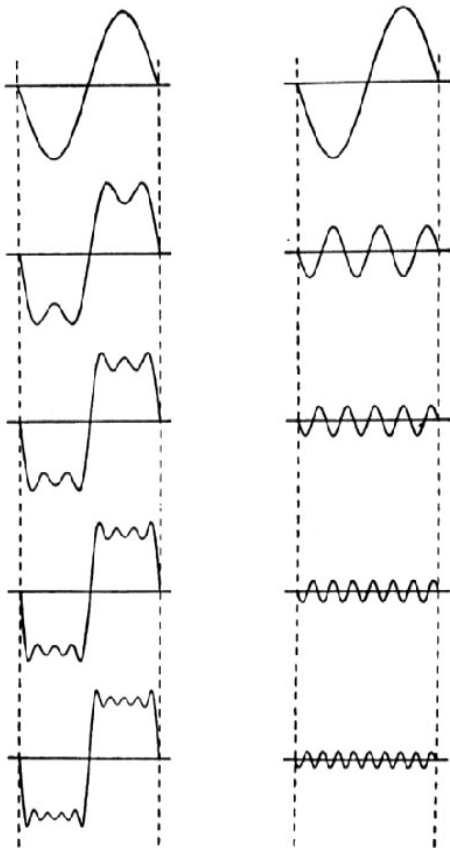
Cuerdas

<http://youtu.be/MT7EpS4OX3k>

Tubos



Cómo aproximar una onda cuadrada



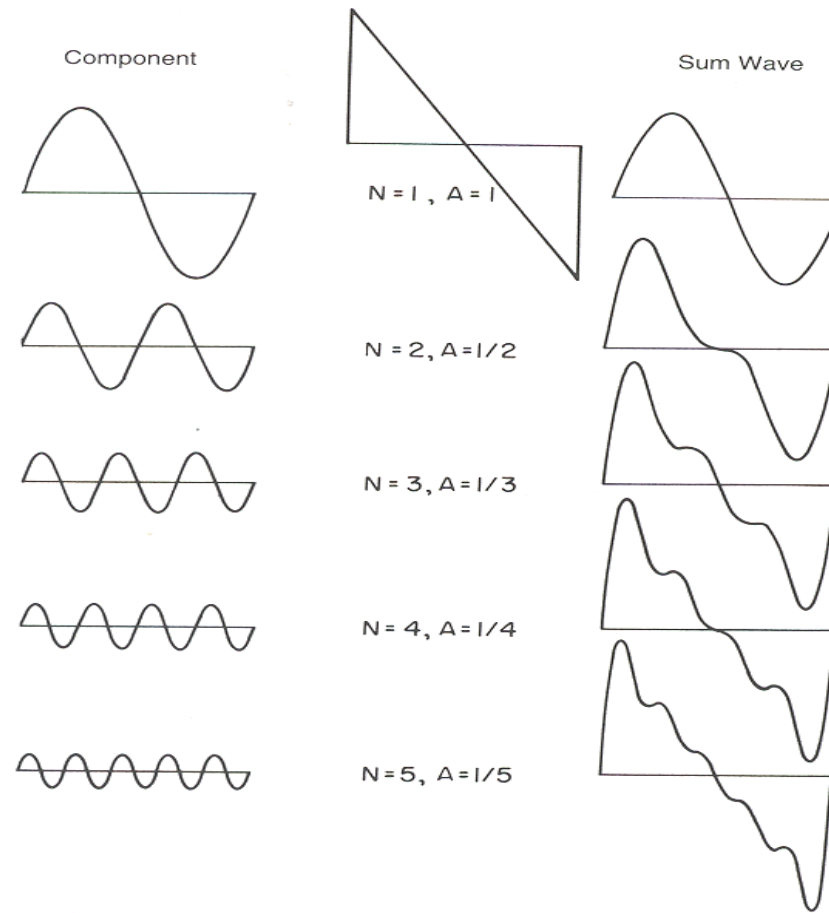
<http://www.falstad.com/fourier/>
<http://www.falstad.com/mathphysics.html>

Formas de onda

- Onda sinusoidal
- Diente de sierra
- Tren de pulsos
- Onda triangular
- Onda cuadrada

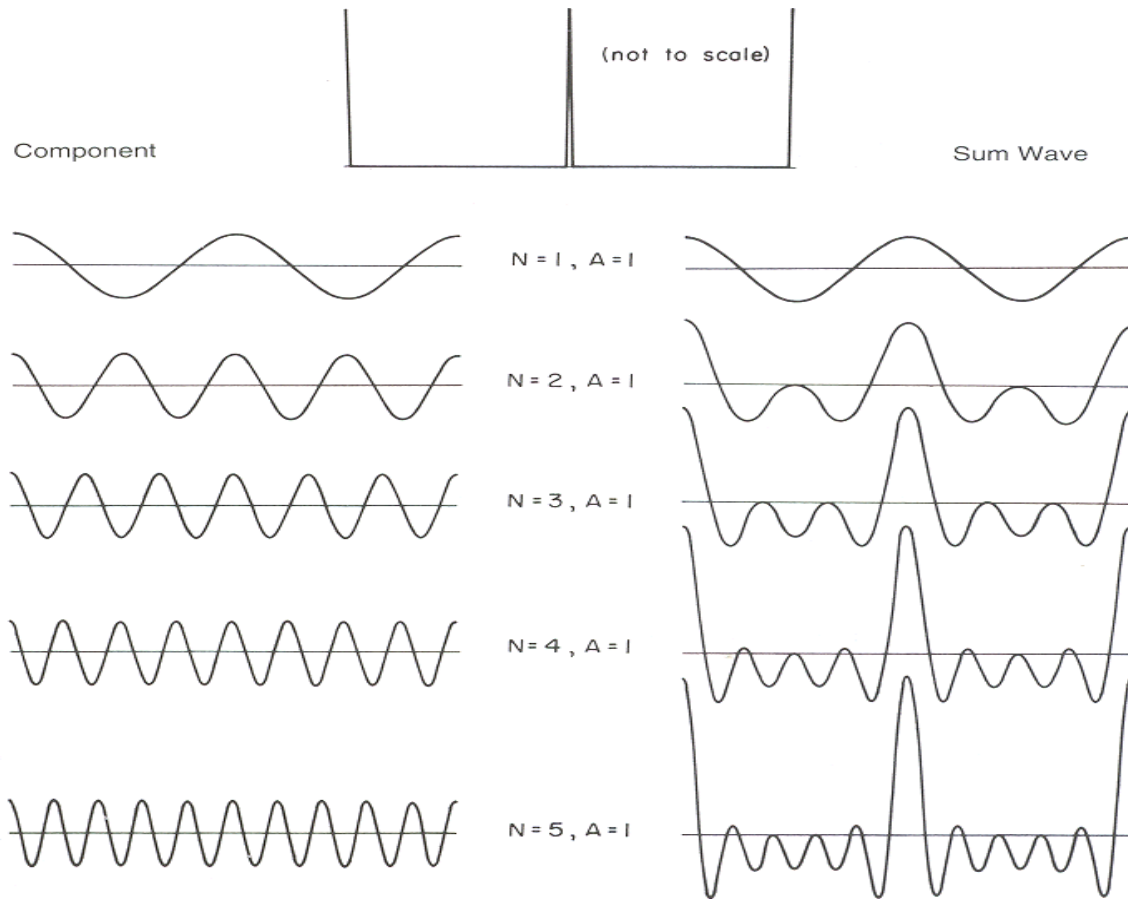
Síntesis de Fourier

Diente de sierra (phasor~)



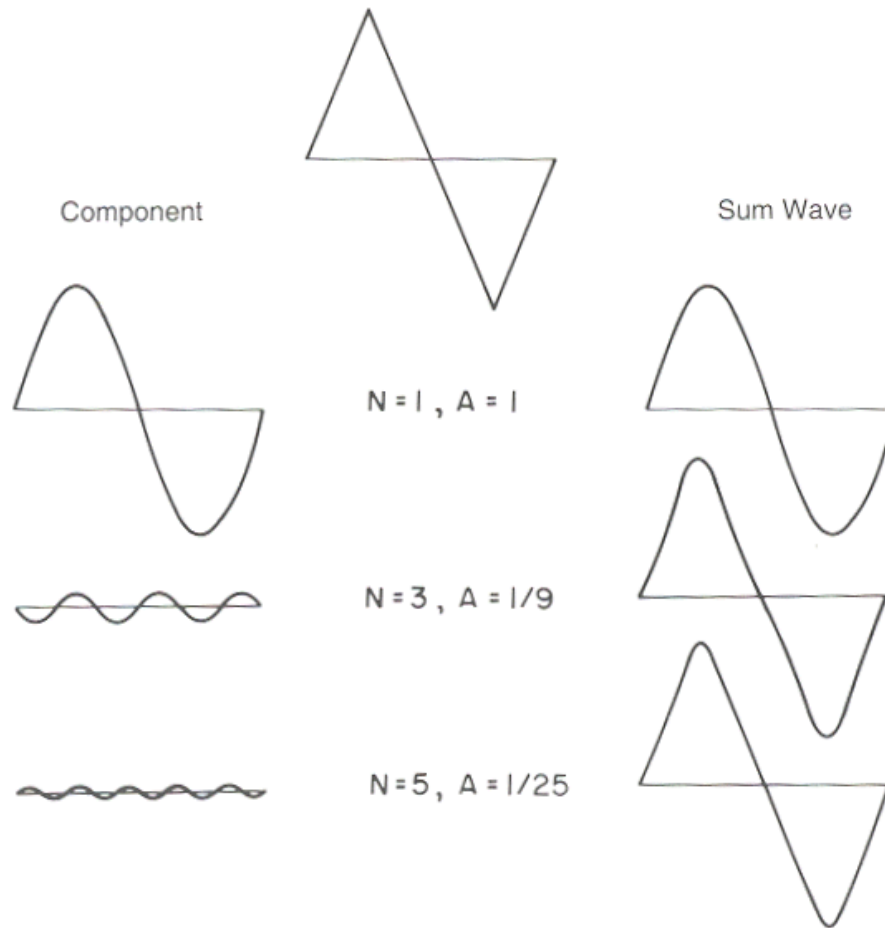
Síntesis de Fourier

Tren de pulsos



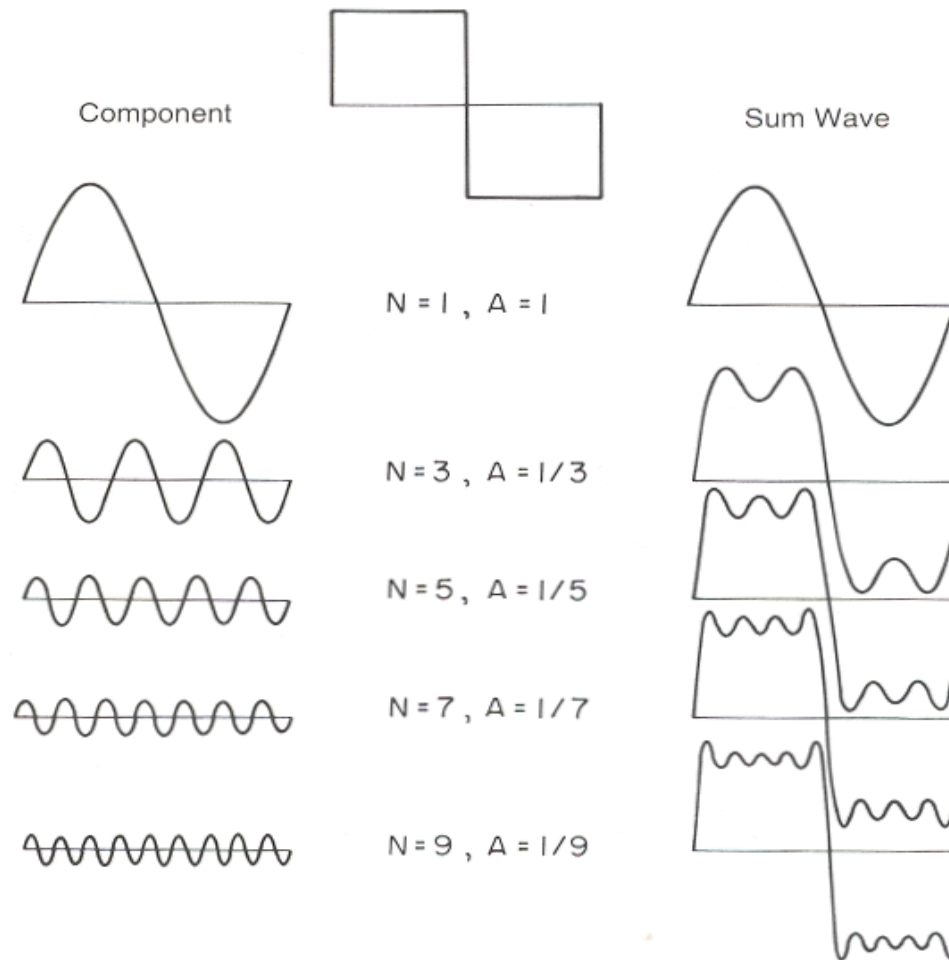
Síntesis de Fourier

Onda triangular



Síntesis de Fourier

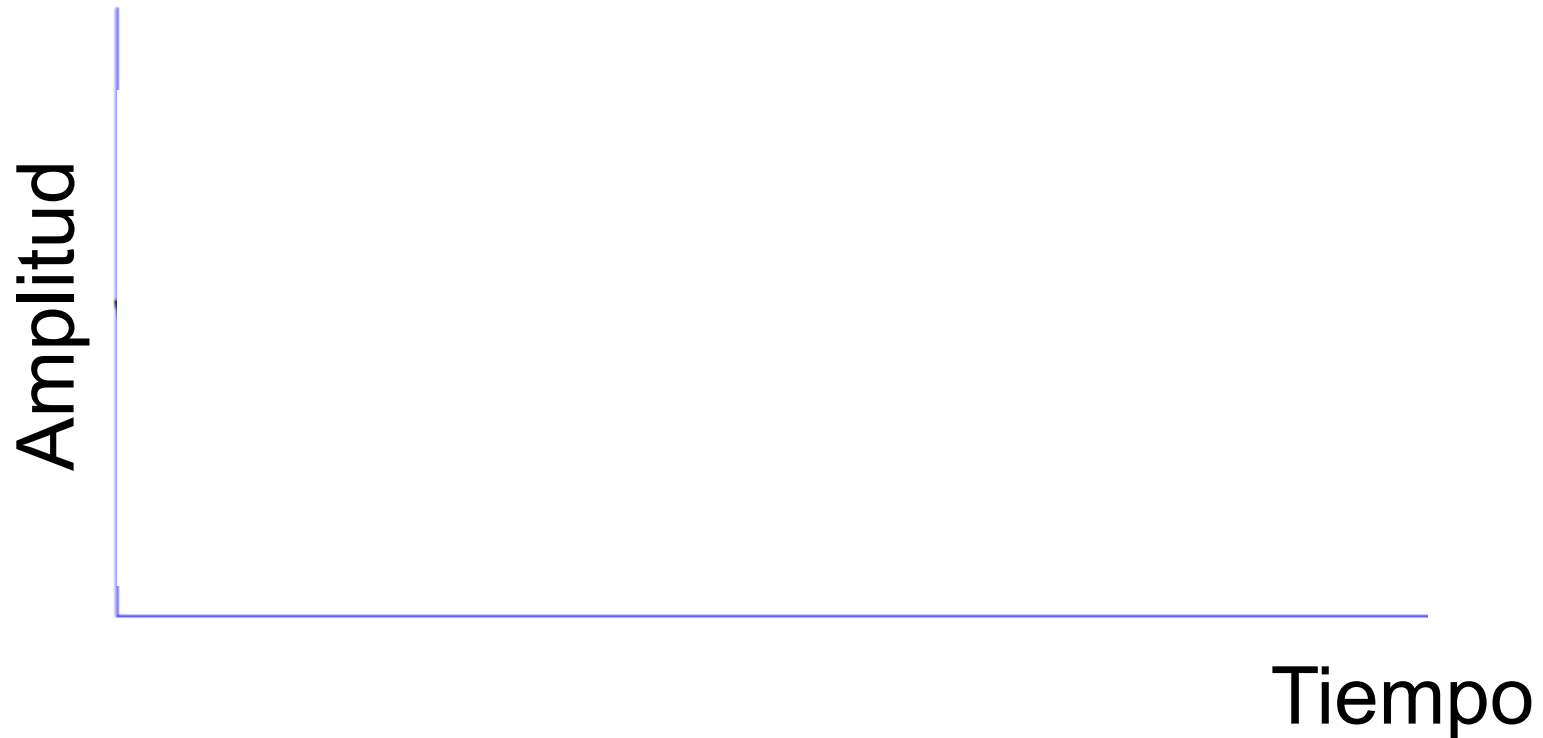
Onda cuadrada



Representación visual del sonido

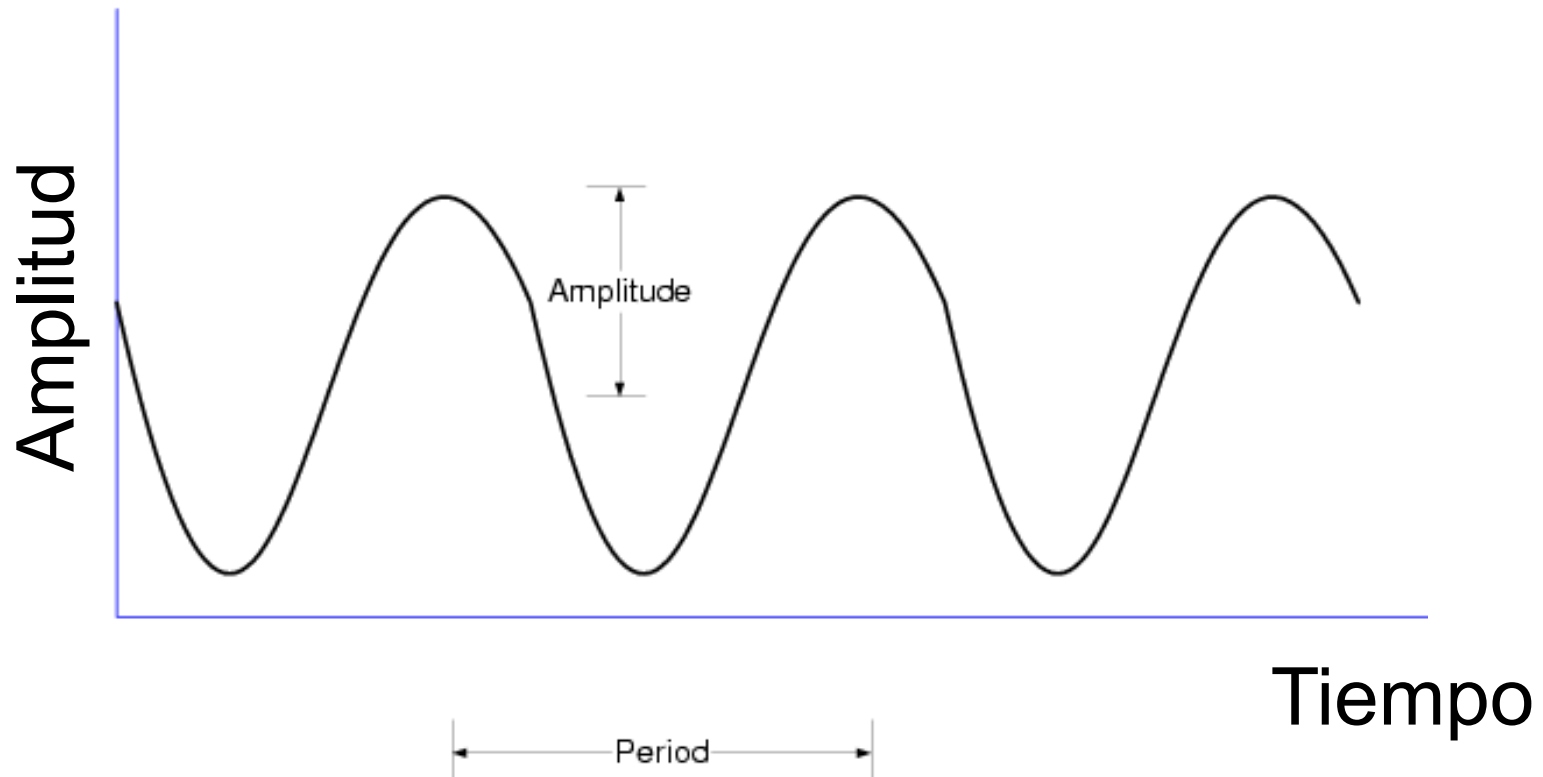
Representación visual

Onda

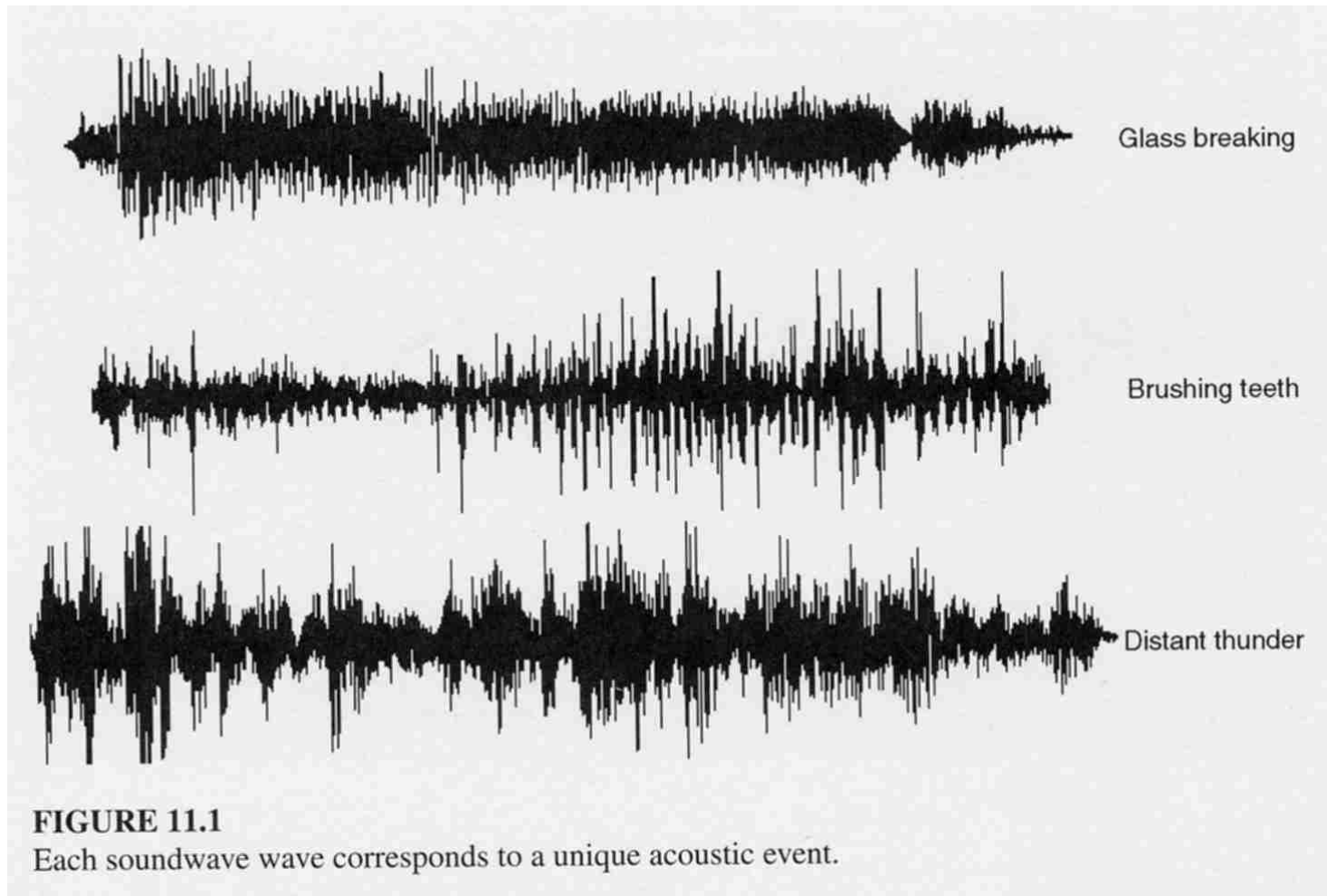


Representación visual

Onda

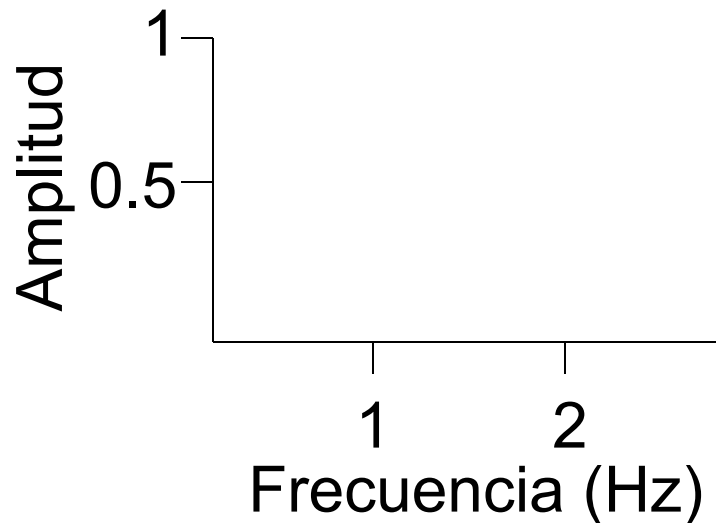


Forma de onda de sonidos ambiente



Representación visual

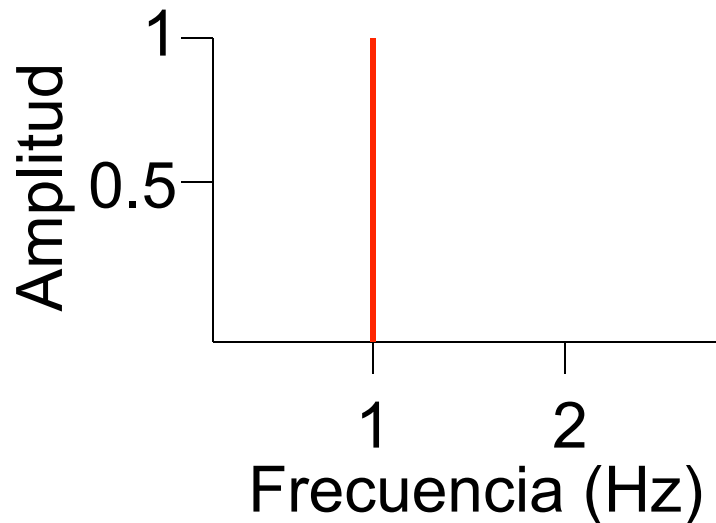
Espectro



Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 250 ms

Representación visual

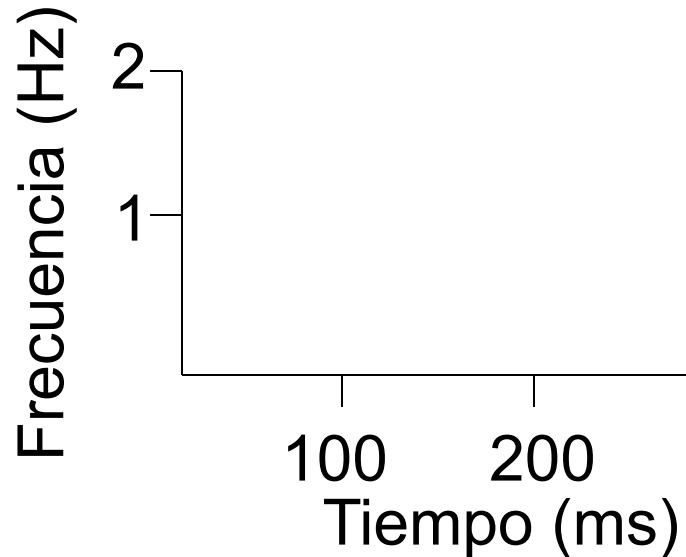
Espectro



Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 250 ms

Representación visual

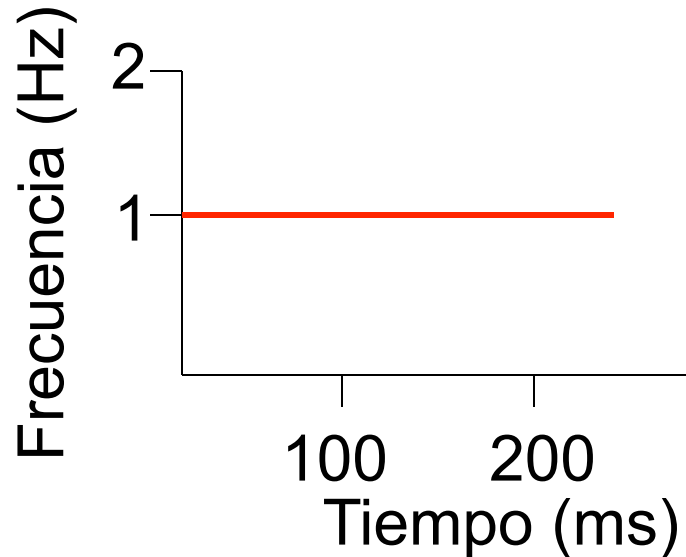
Espectrograma



Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 250 ms

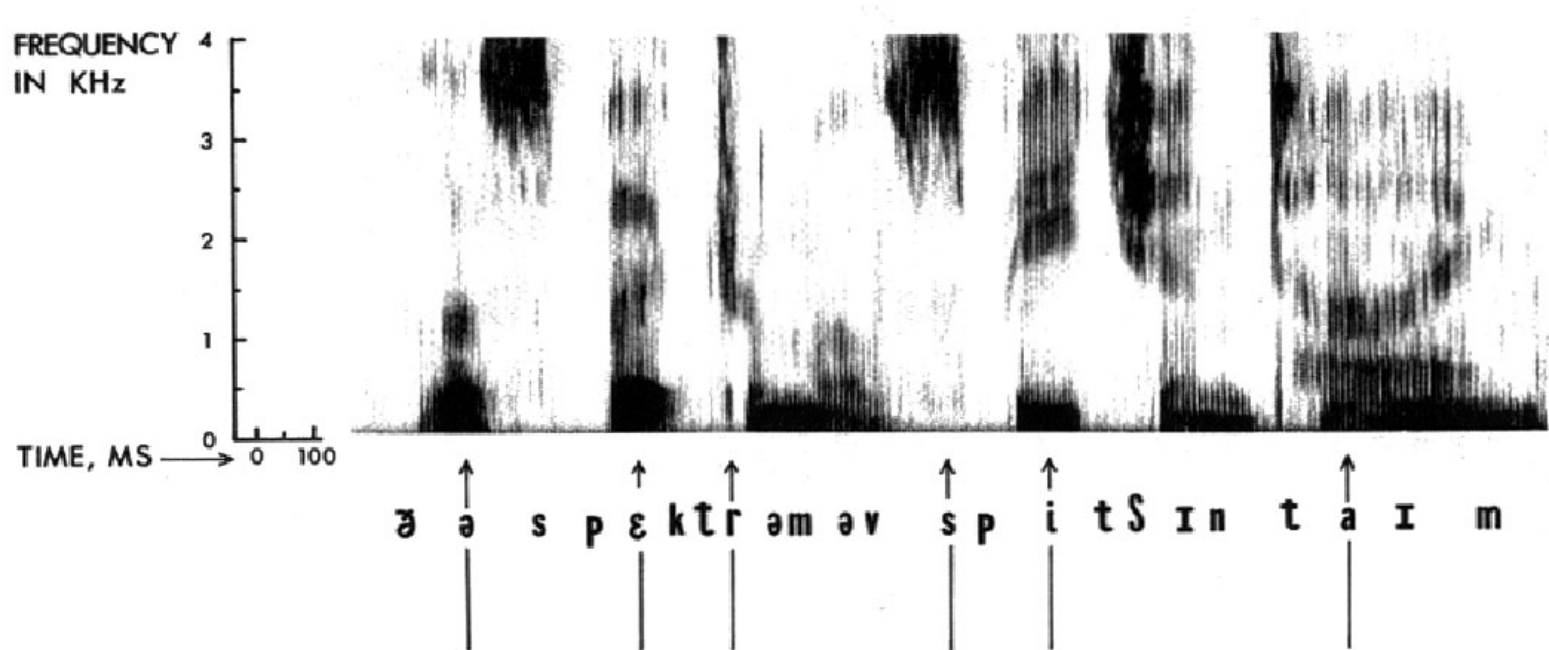
Representación visual

Espectrograma



Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 250 ms

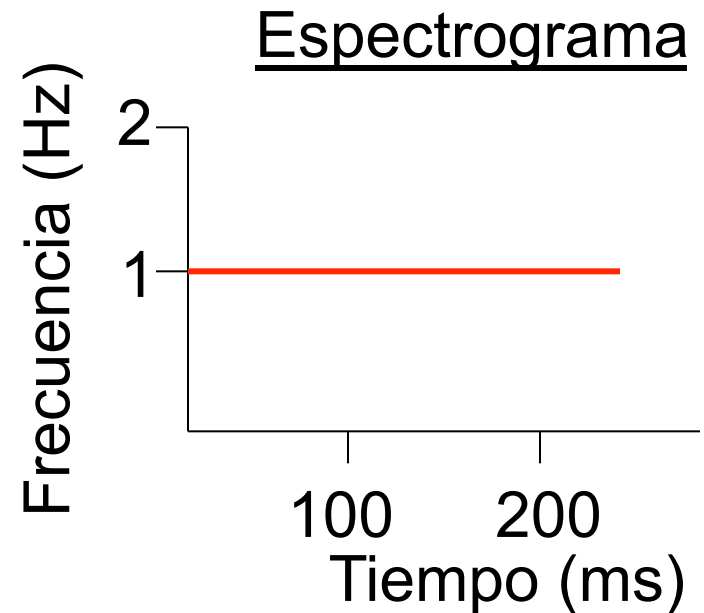
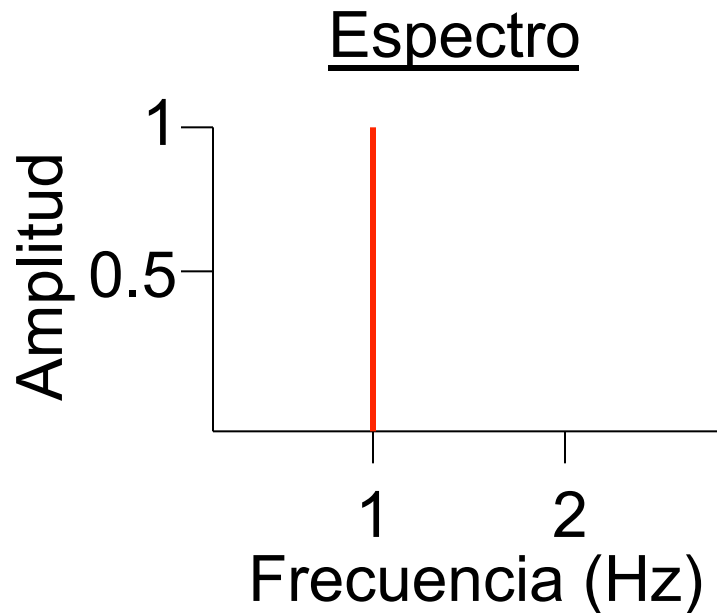
Espectrograma de la voz



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

Representación visual

Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 250 ms

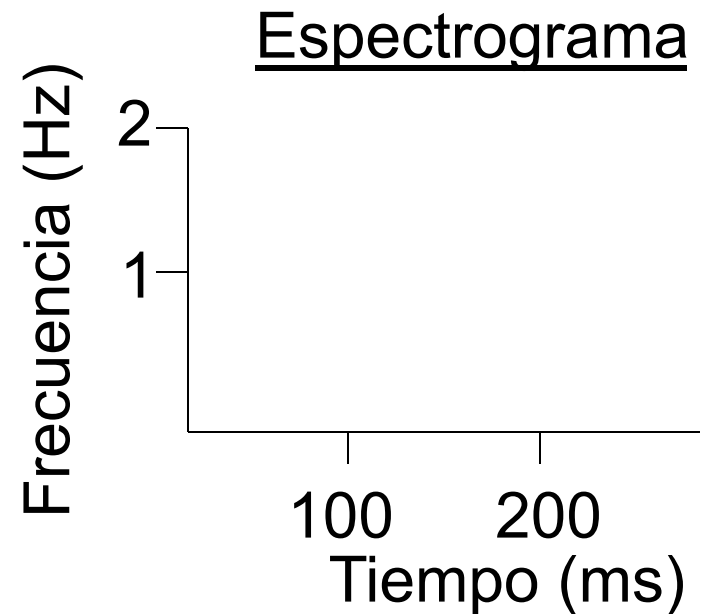
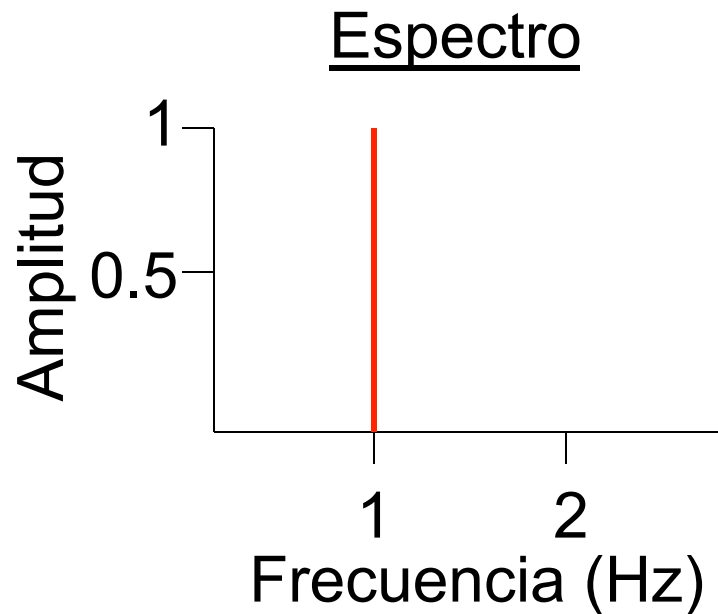


Representación visual

Frecuencia: 1 Hz

Amplitud: 1

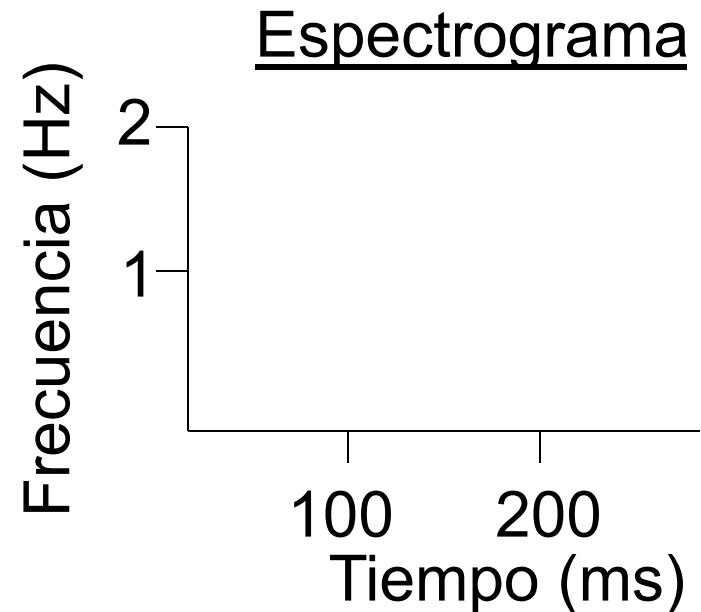
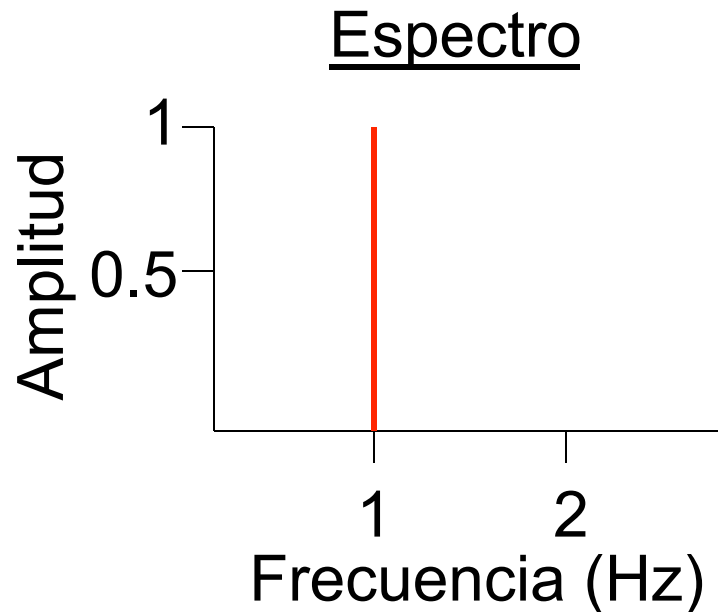
Duración: 100 ms



Representación visual

Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 100 ms

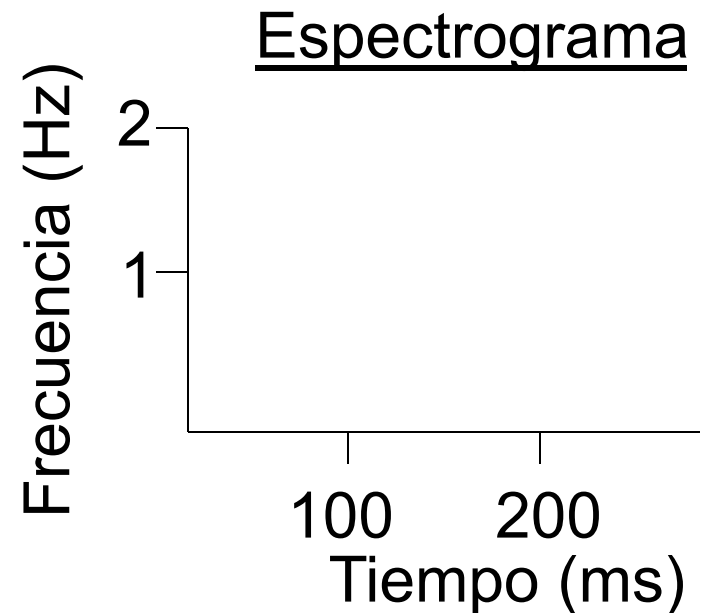
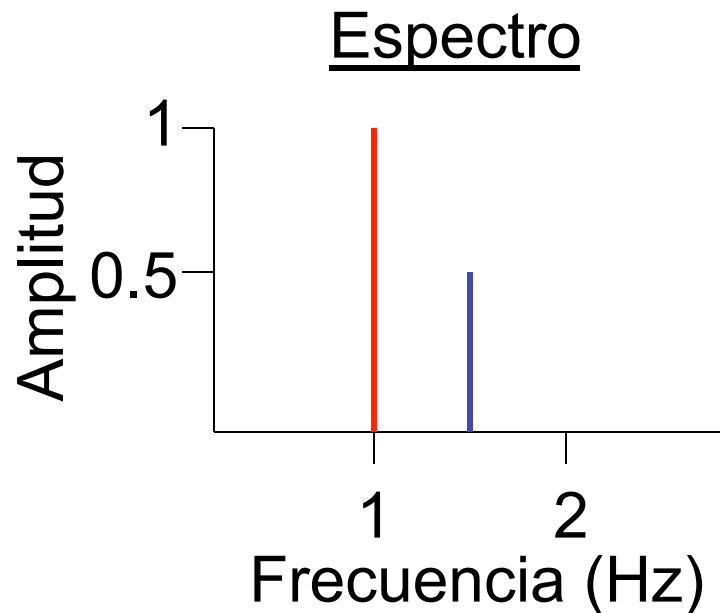
Frecuencia: 1.5 Hz
Amplitud: 0.5
Duración: 250 ms



Representación visual

Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 100 ms

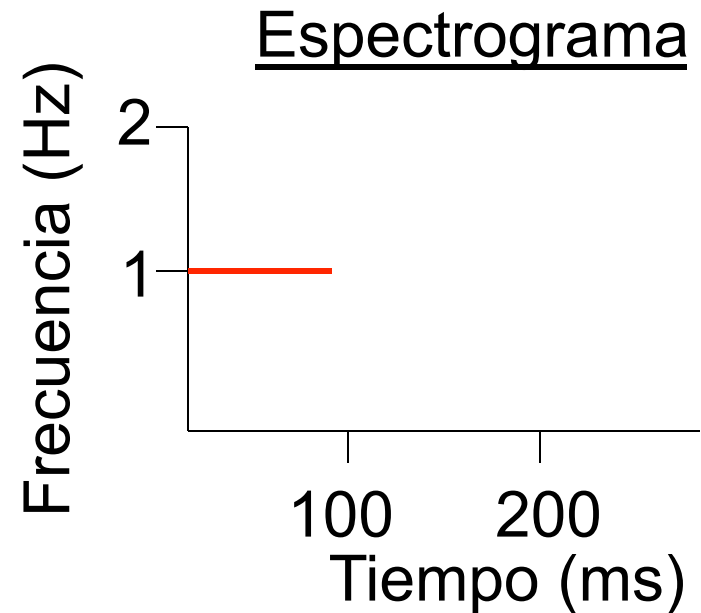
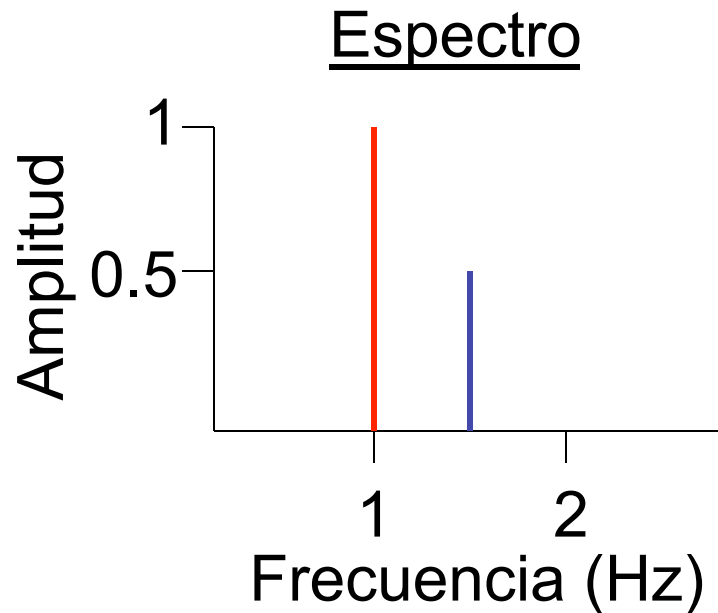
Frecuencia: 1.5 Hz
Amplitud: 0.5
Duración: 250 ms



Representación visual

Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 100 ms

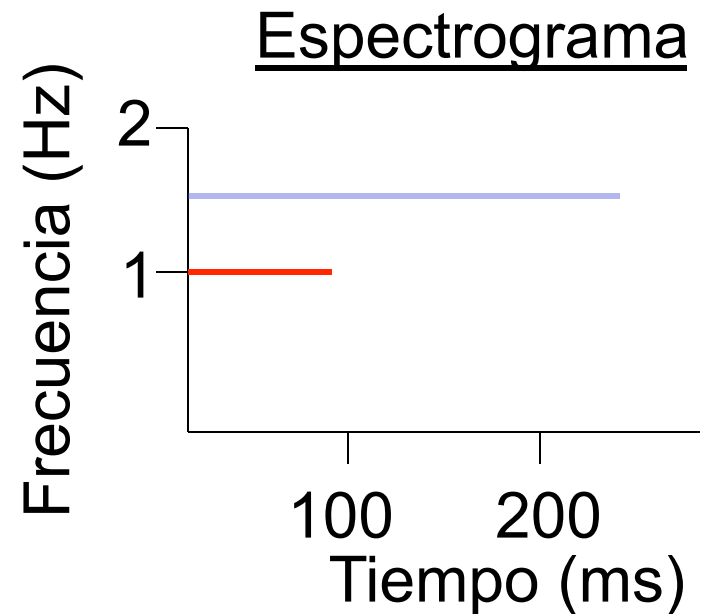
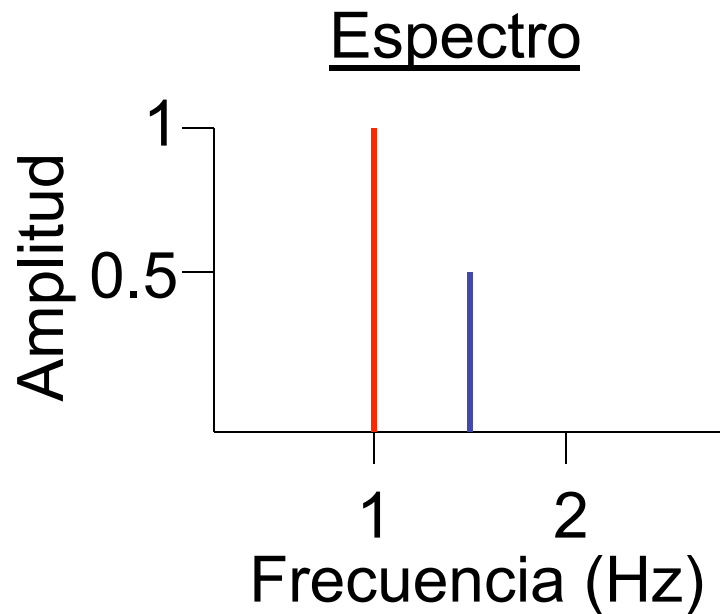
Frecuencia: 1.5 Hz
Amplitud: 0.5
Duración: 250 ms



Representación visual

Frecuencia: 1 Hz
Amplitud: 1
Duración: 100 ms

Frecuencia: 1.5 Hz
Amplitud: 0.5
Duración: 250 ms

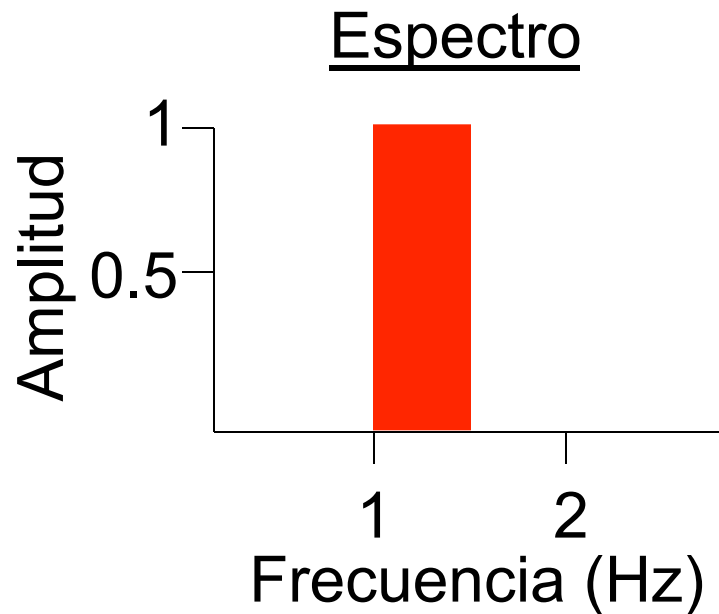


Representación visual

Frecuencia: 1-1.5 Hz

Amplitud: 1

Duración: 250 ms



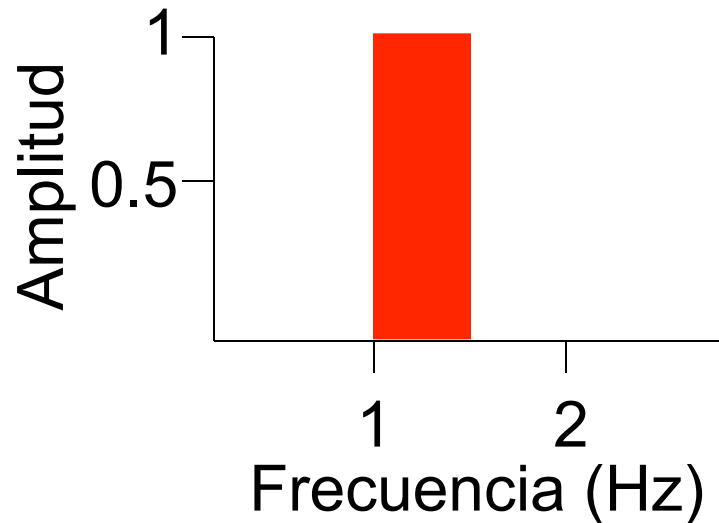
Representación visual

Frecuencia: 1-1.5 Hz

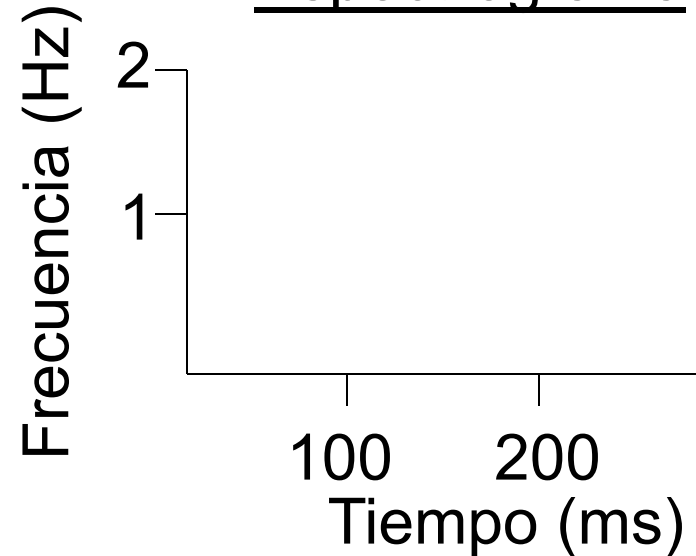
Amplitud: 1

Duración: 250 ms

Espectro



Espectrograma



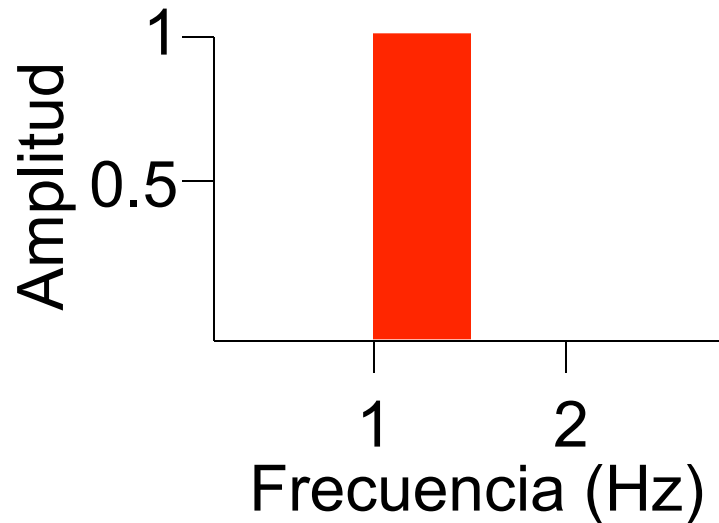
Representación visual

Frecuencia: 1-1.5 Hz

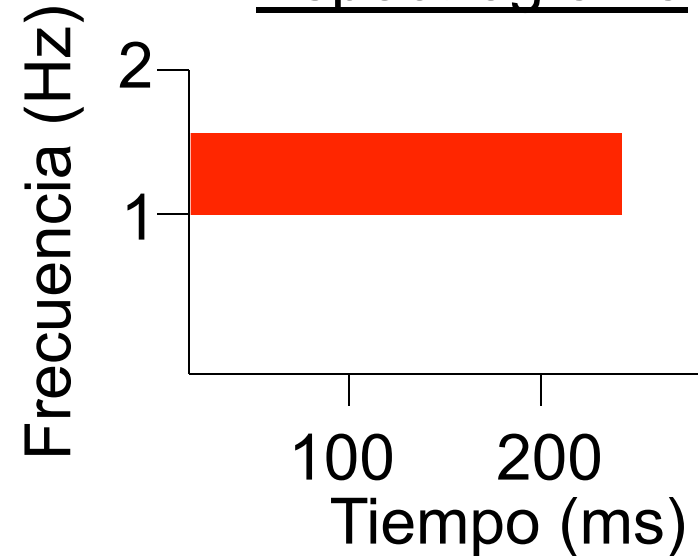
Amplitud: 1

Duración: 250 ms

Espectro



Espectrograma



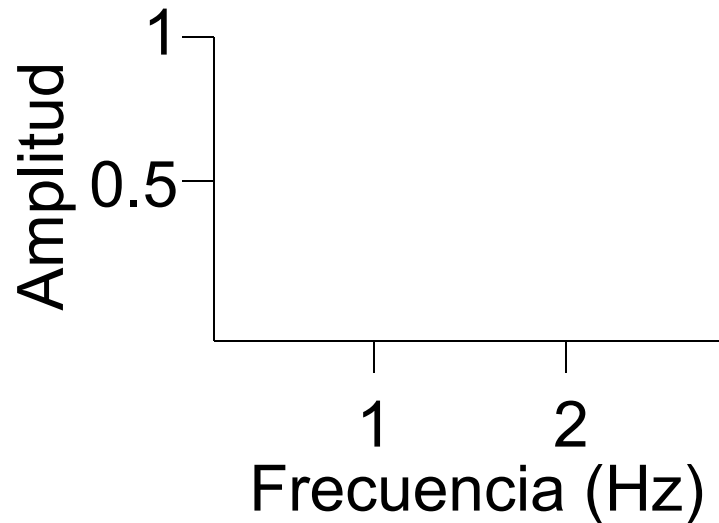
Representación visual

Frecuencia: 0.5-2 Hz

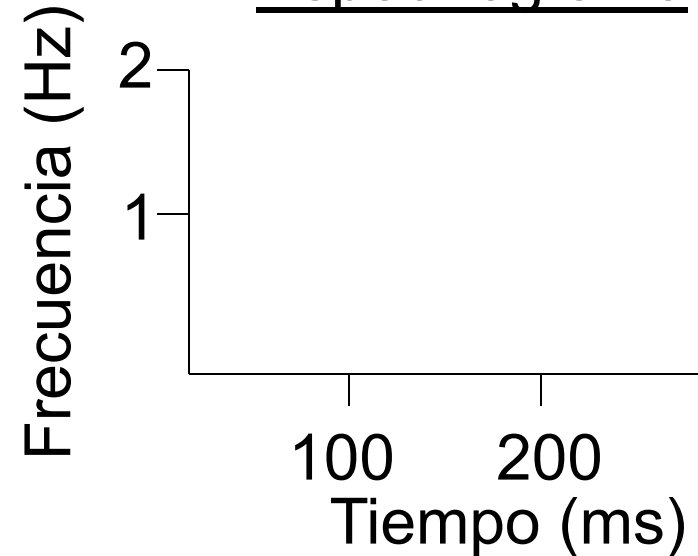
Amplitud: 0.75

Duración: 250 ms

Espectro



Espectrograma



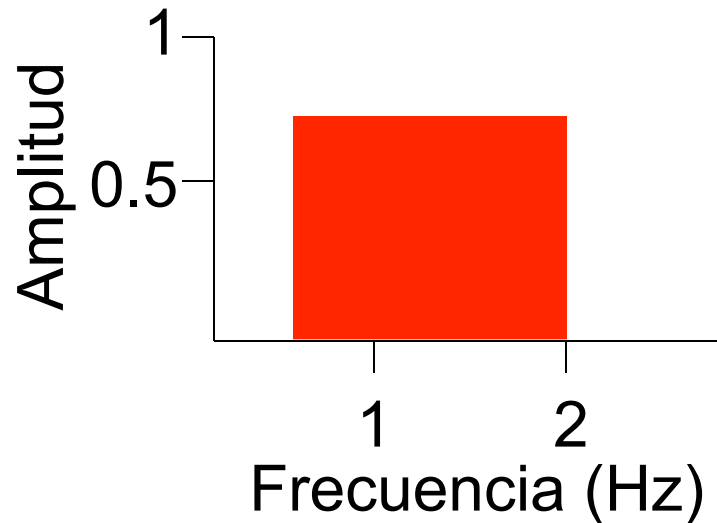
Representación visual

Frecuencia: 0.5-2 Hz

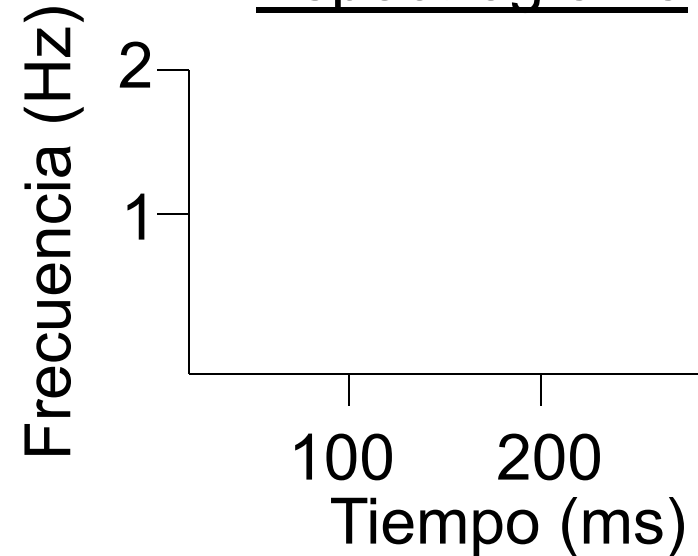
Amplitud: 0.75

Duración: 250 ms

Espectro



Espectrograma



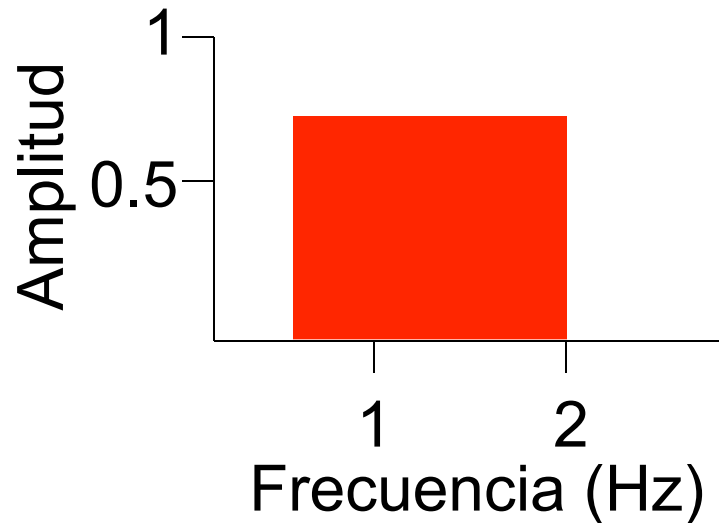
Representación visual

Frecuencia: 0.5-2 Hz

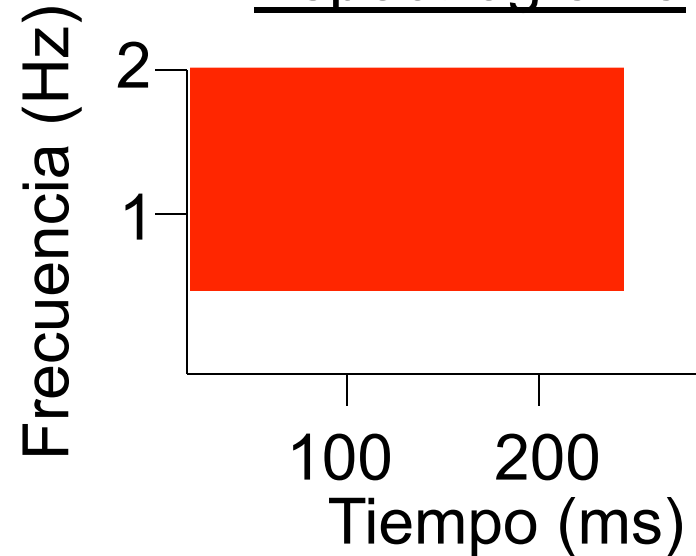
Amplitud: 0.75

Duración: 250 ms

Espectro

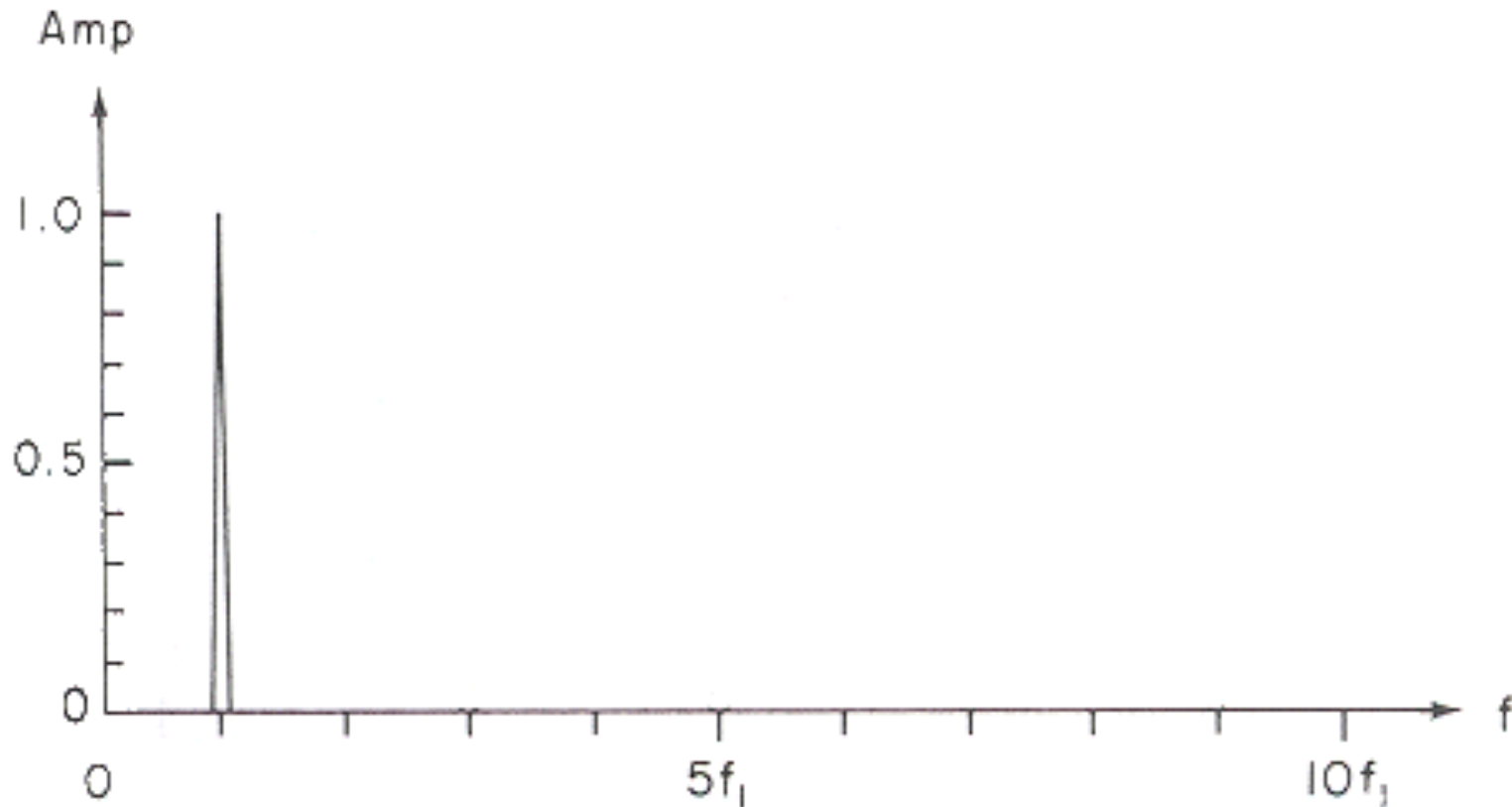


Espectrograma

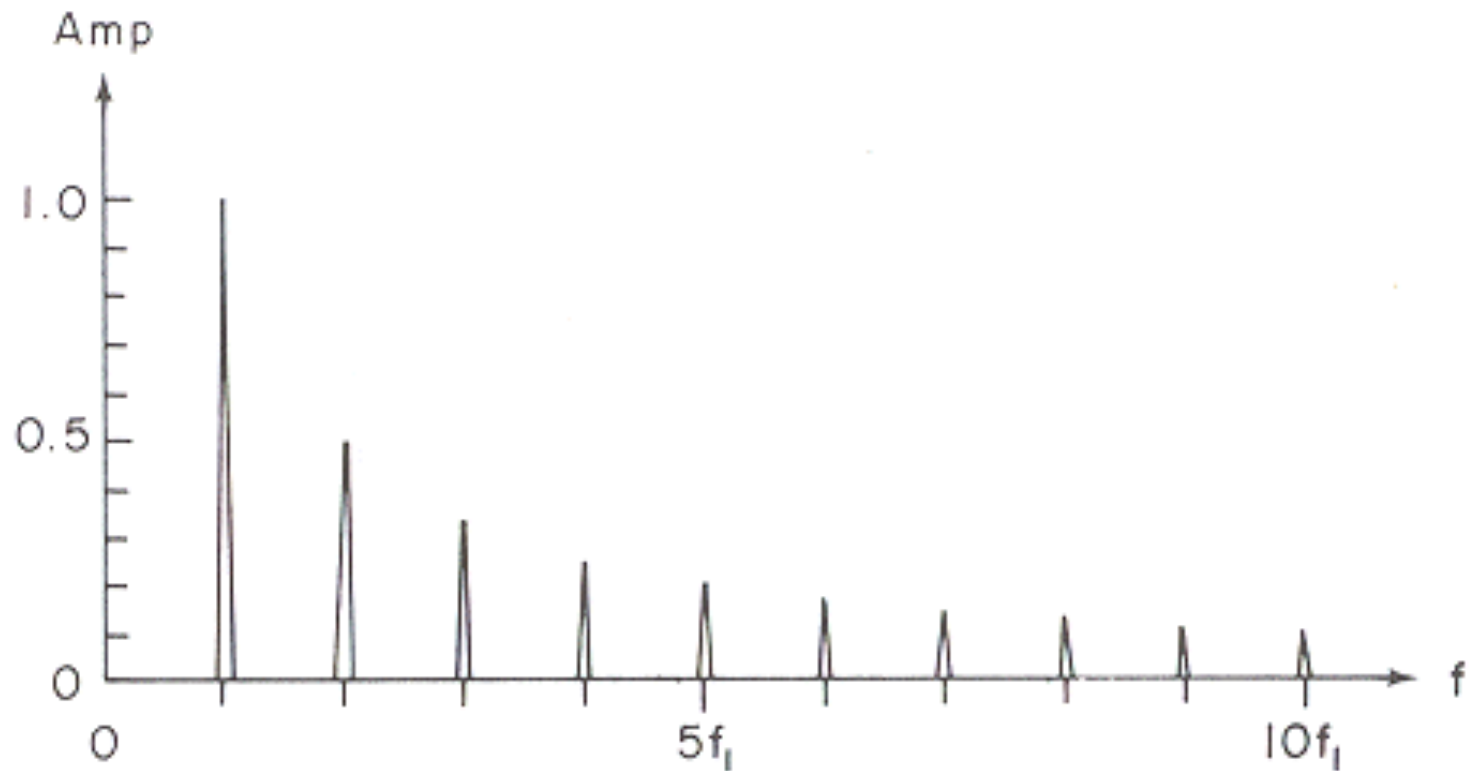


Tipos de Sonidos y su Representación

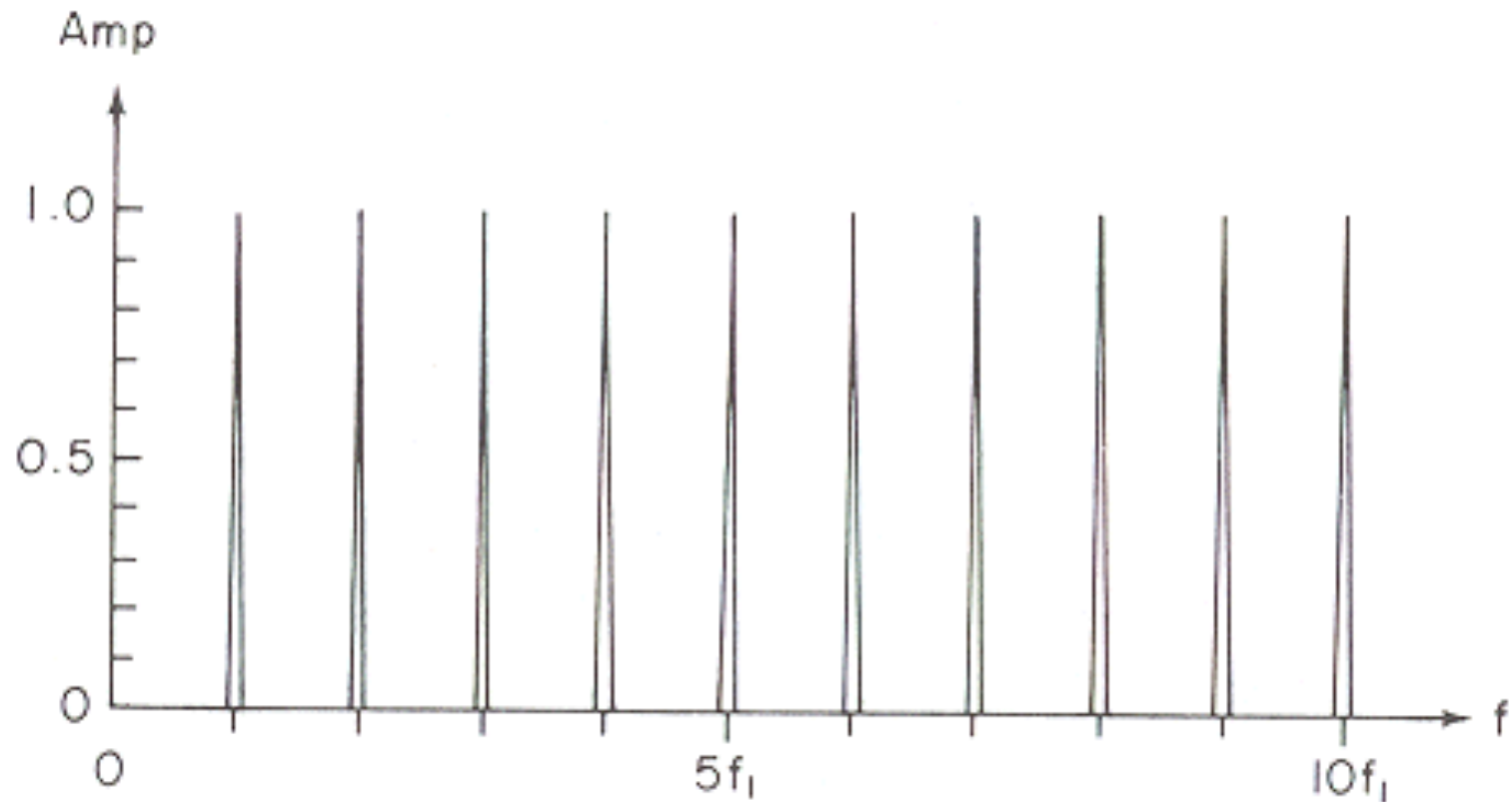
Espectro de una senoide



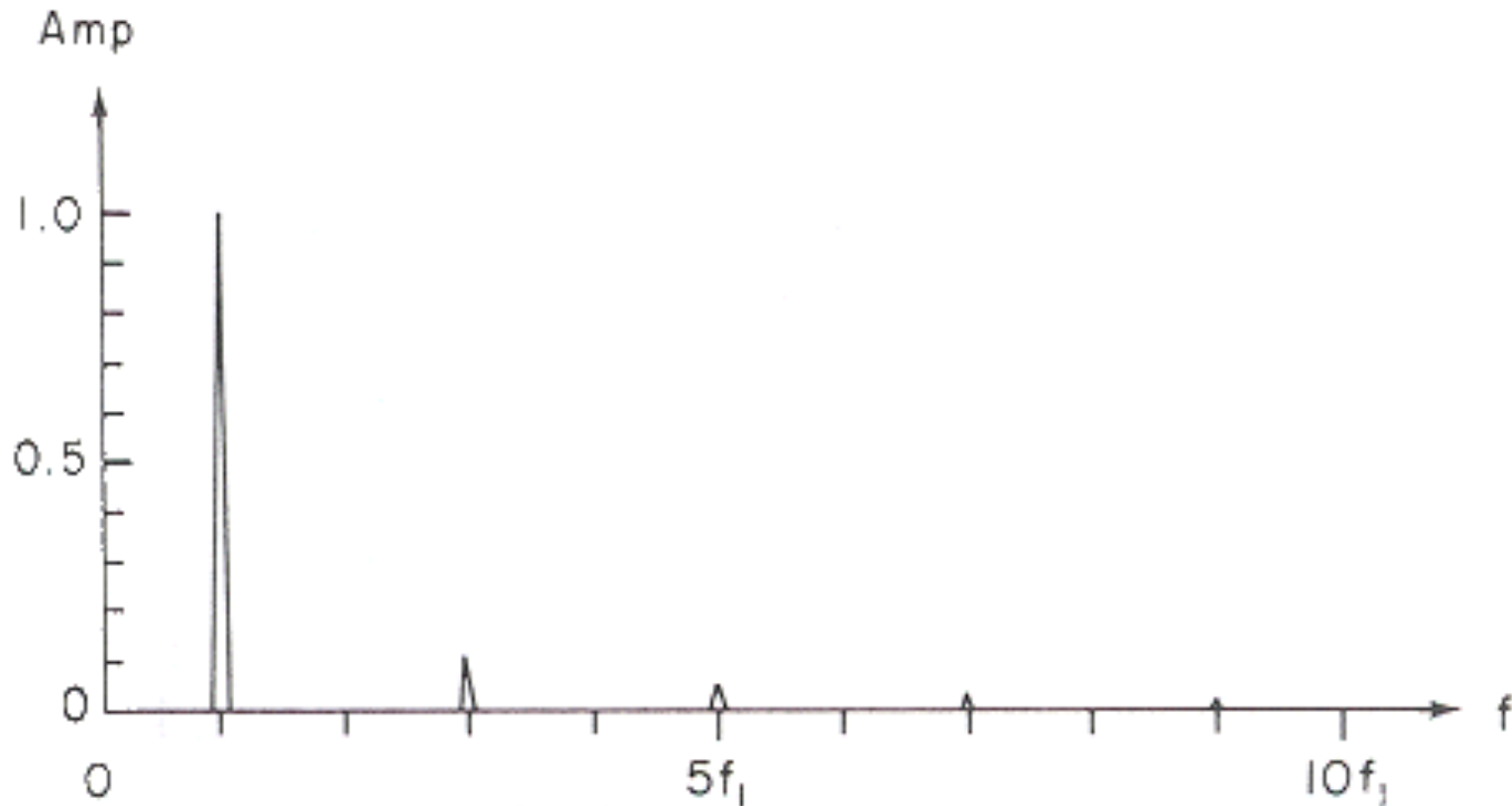
Espectro de un diente de sierra



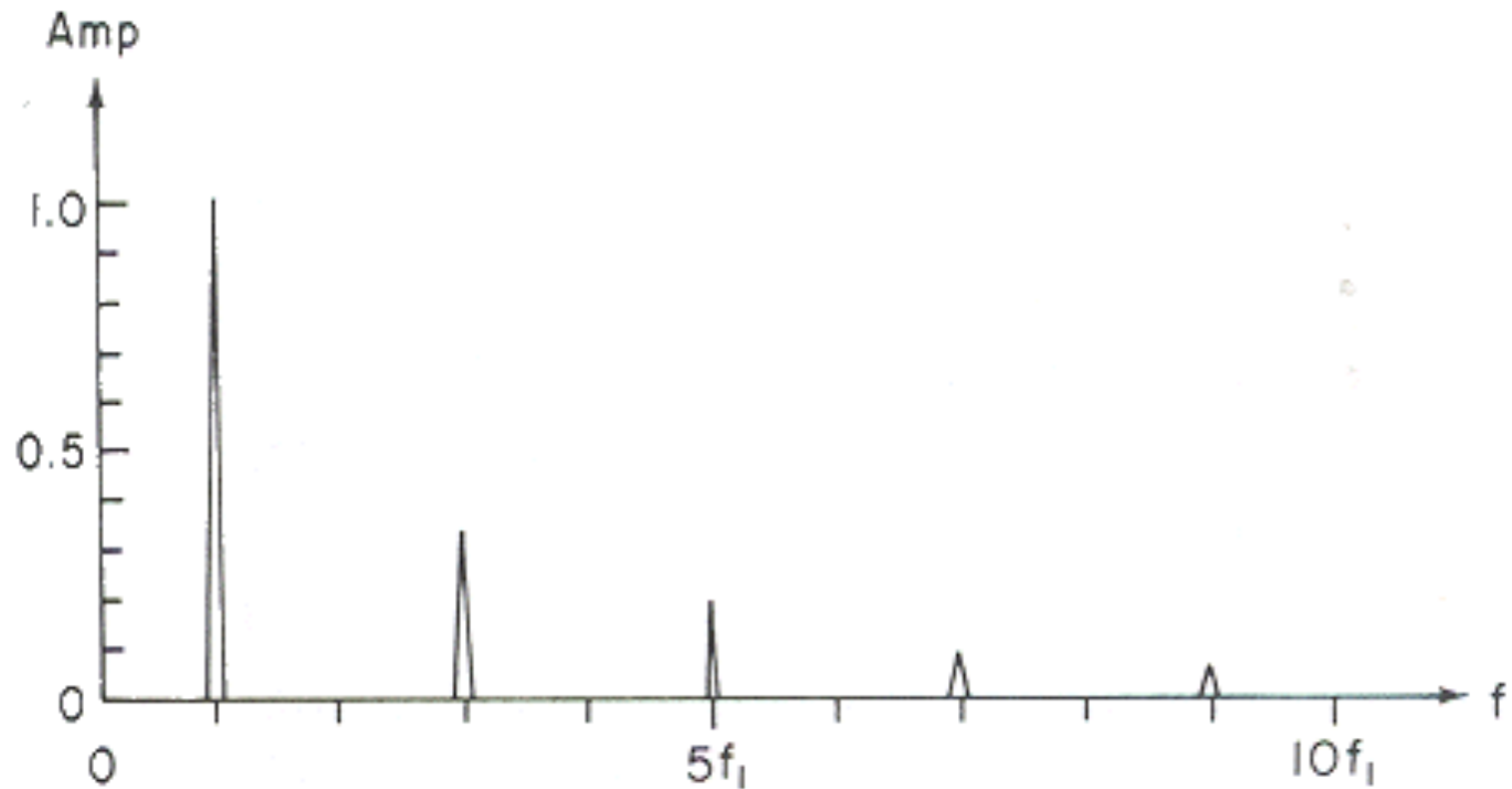
Espectro de un tren de pulsos



Espectro de onda triangular



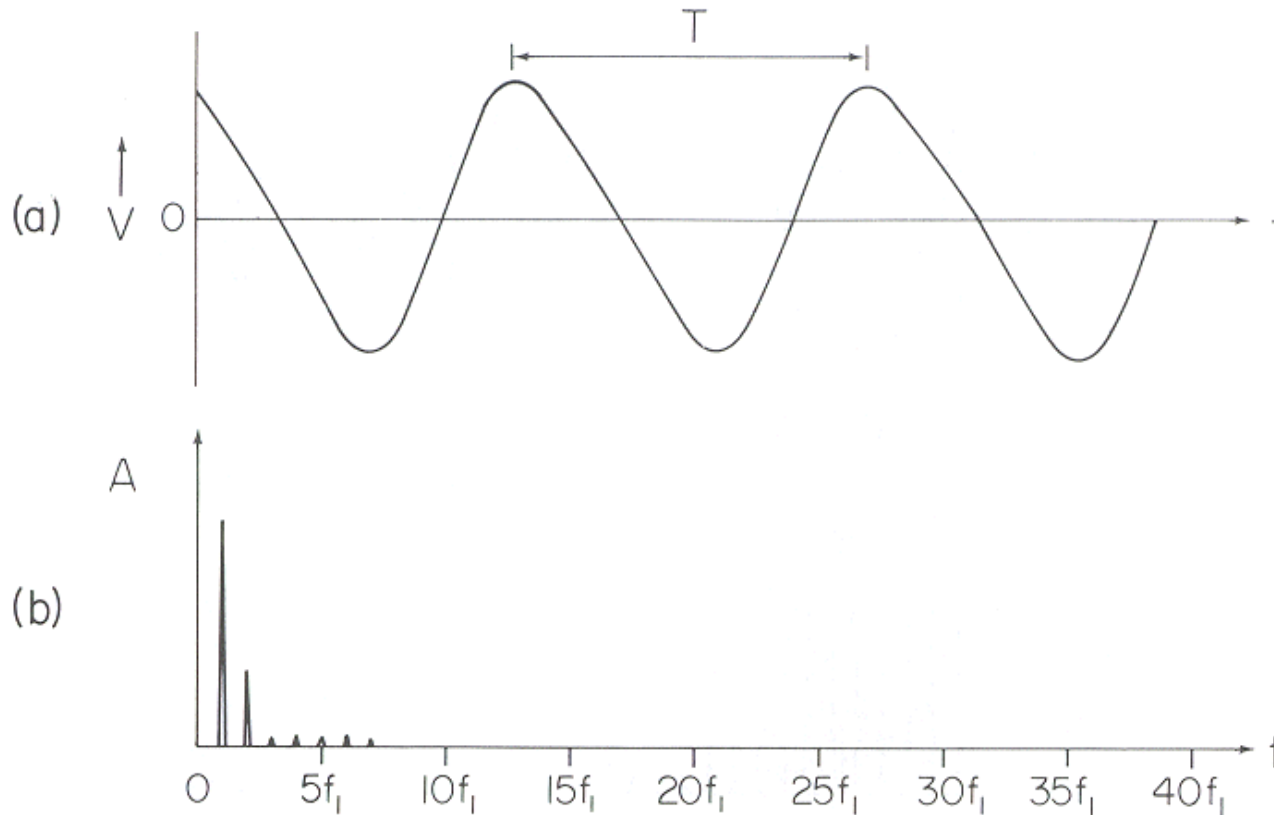
Espectro de onda cuadrada



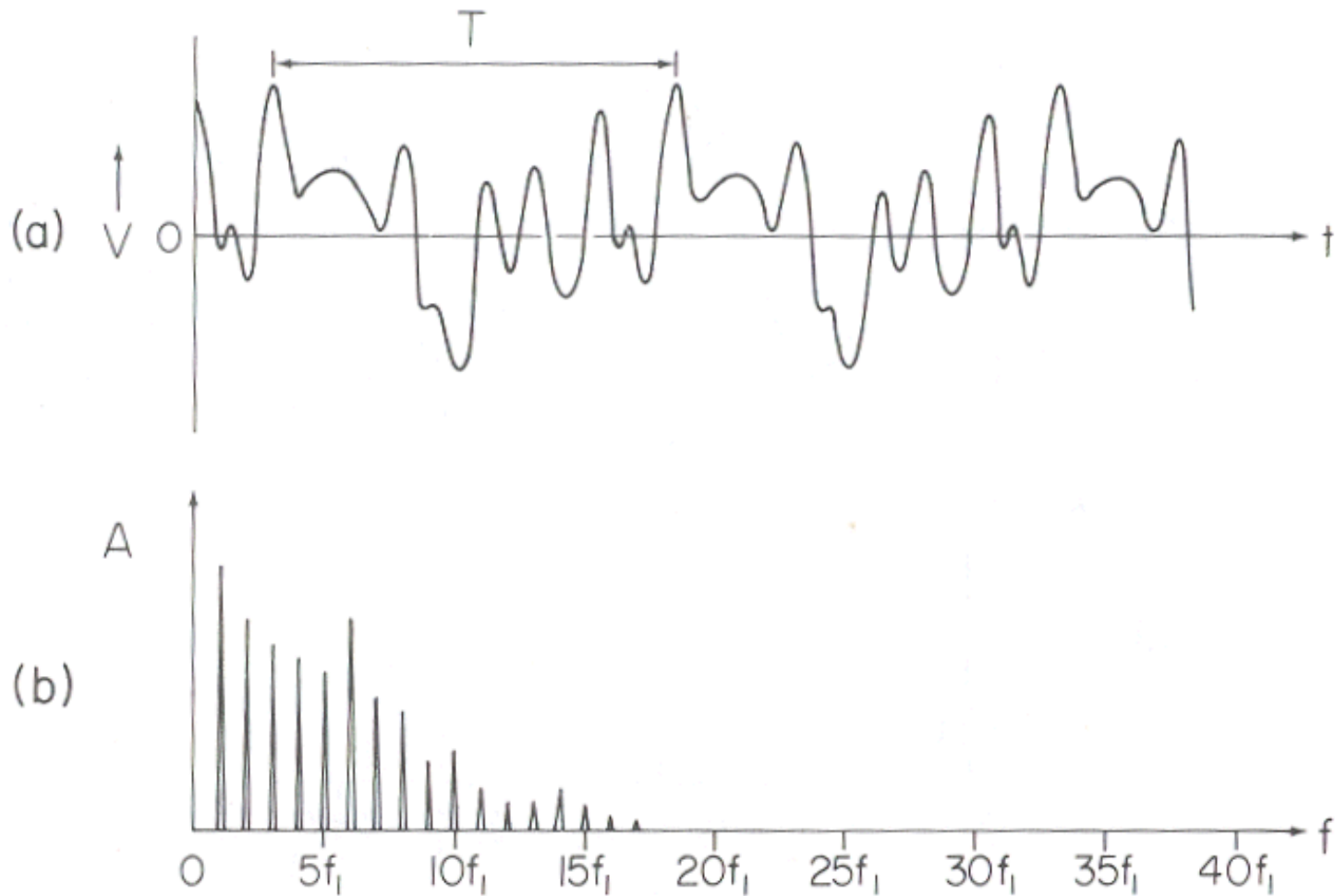
Sonidos musicales

Onda y espectro de una flauta dulce

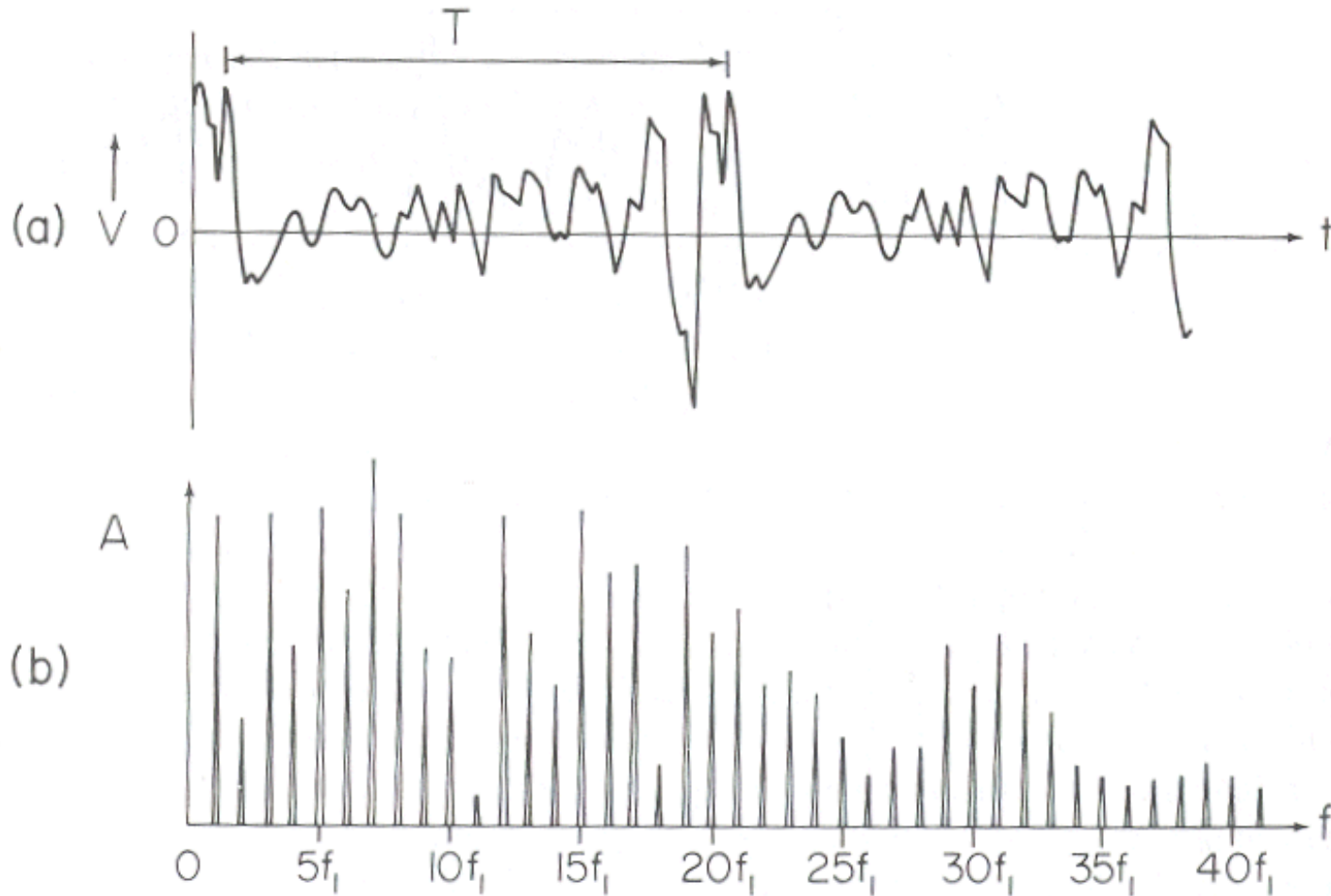
Analysis and Synthesis of Complex Waves 10.7



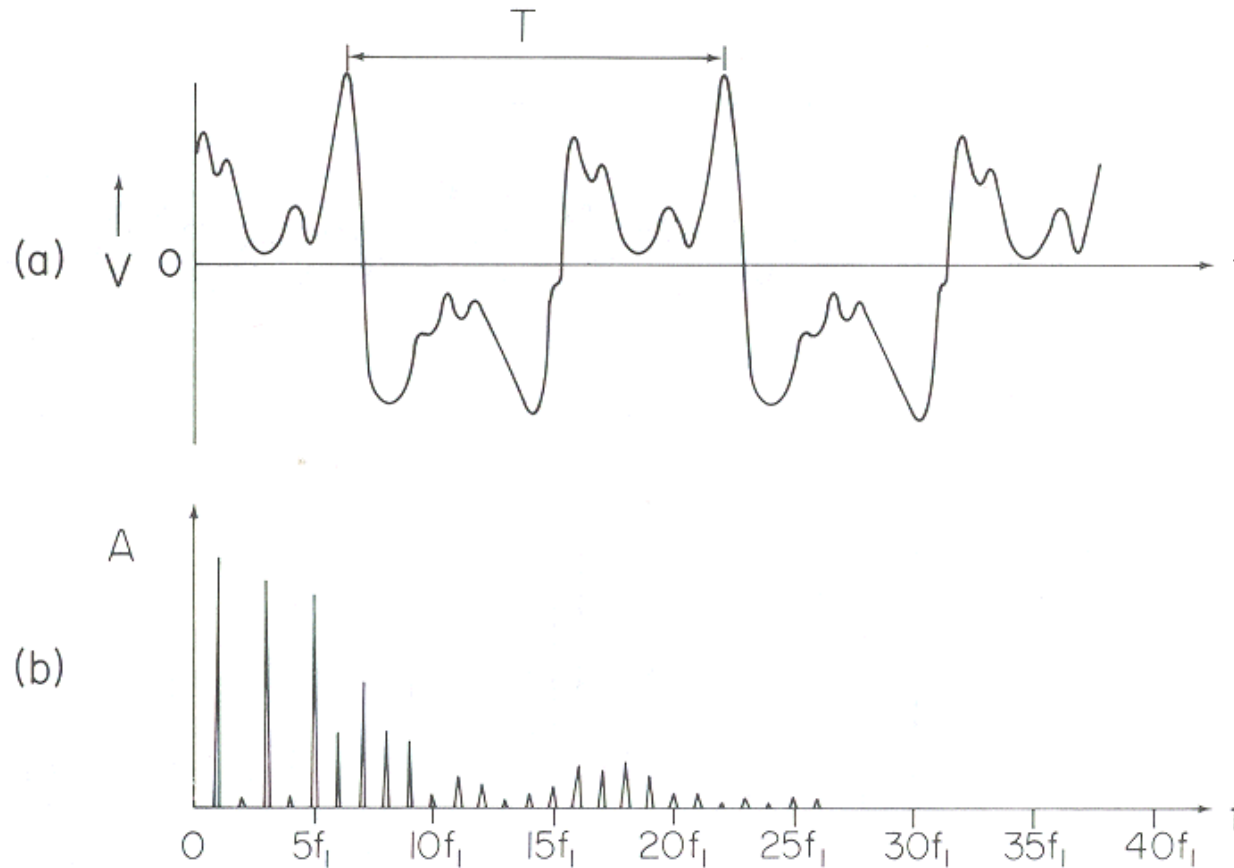
Onda y espectro de un violín



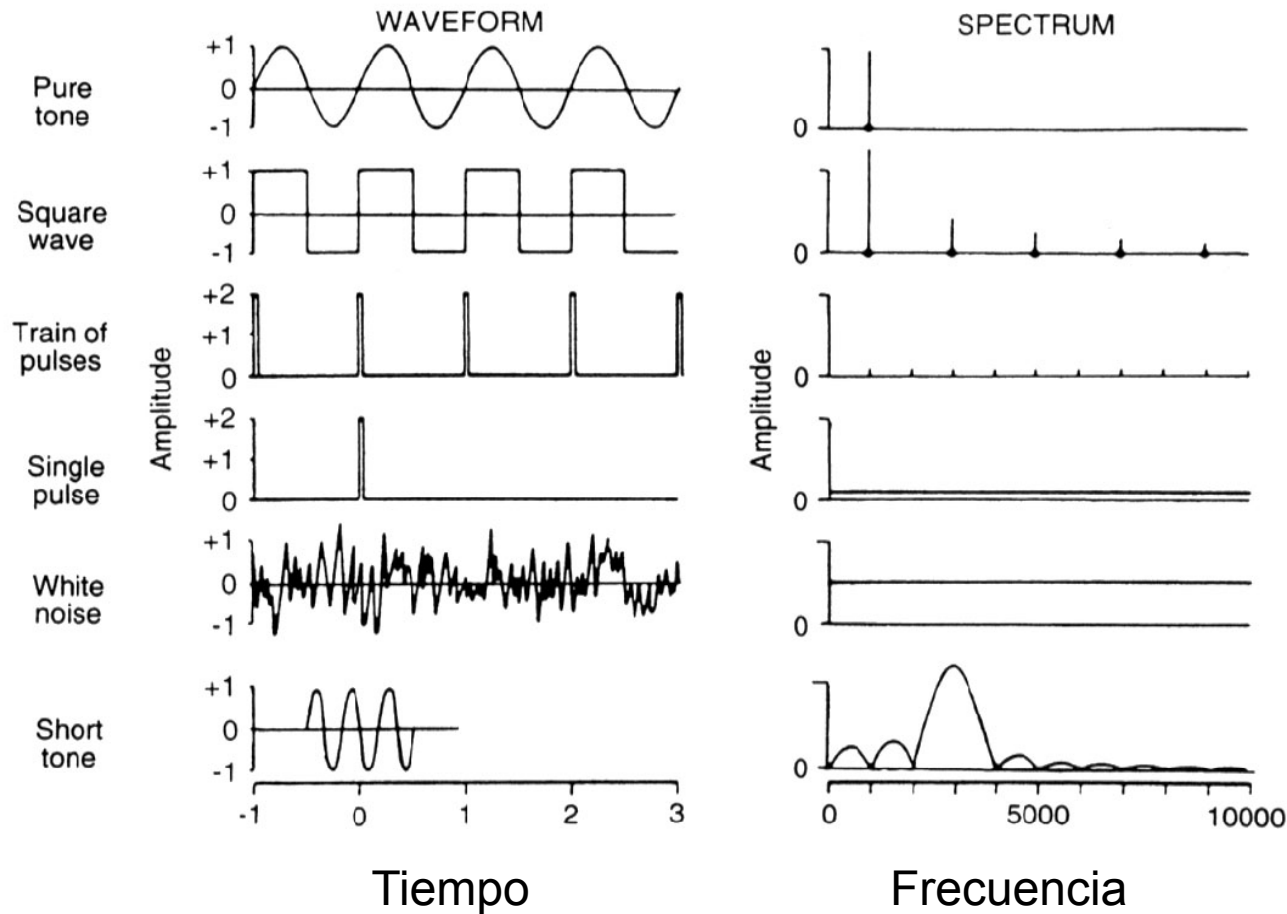
Onda y espectro de un corno



Onda y espectro de un clarinete



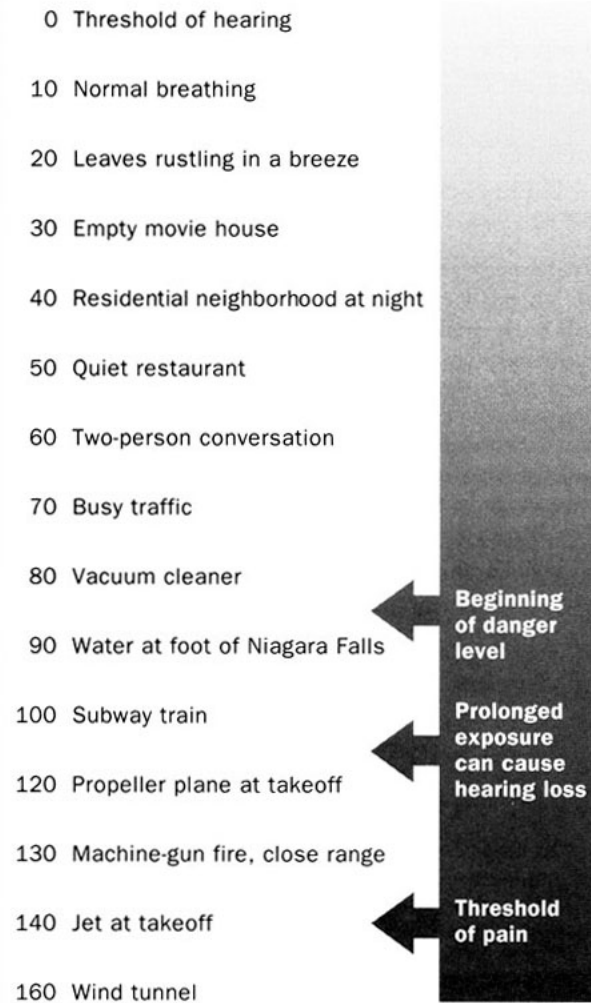
Del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

Escala de decibeleles

Escala de decibeleles



homepage.psy.utexas.edu/homepage/class/Psy394U/Diehl/Copy%20of%20Physics%20of%20Sound.ppt

Presión de sonido e intensidad

Presión sonora (p) = fuerza por centímetro cuadrado (dynes/cm²)

Intensidad (I) = potencia por centímetro cuadrado (Watts/cm²)

$$I = kp^2$$

Presión de sonido e intensidad

Sonido audible de menor presión e intensidad

$$= 2 \times 10^{-4} \text{ dynes/cm}^2$$

$$= 10^{-16} \text{ Watts/cm}^2$$

Problema: entre el sonido apenas audible y el umbral del dolor, la presión varía en una razón de **1:10,000,000**, y la intensidad en una razón de **1: 100,000,000,000,000,000!** Es más conveniente usar escalas basadas en logaritmos.

Presión de sonido e intensidad

$$\begin{aligned}\text{Decibeles (dB}_{\text{SPL,IL}}) &= 20 \log (p_1/p_0) \\ &= 10 \log (I_1/I_0)\end{aligned}$$

donde p_1 es la presión sonora e I_1 es la intensidad del sonido en cuestión, y p_0 e I_0 son la presión e intensidad de un sonido apenas audible.