



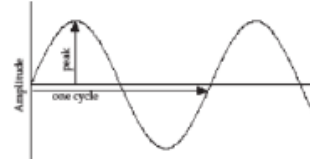
# Tema 2. Señales

## Acústica. Repaso de la clase anterior

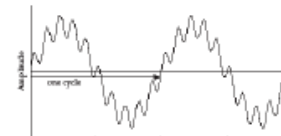
- Sonidos periódicos y aperiódicos.

- Ondas periódicas simples.

- Ciclo, período ( $T$ ), frecuencia ( $f$ ).

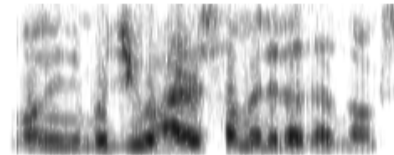


- Ondas periódicas complejas.



- Ruido blanco. Ondas transitorias.

- Análisis de Fourier. FFT. Espectrograma.



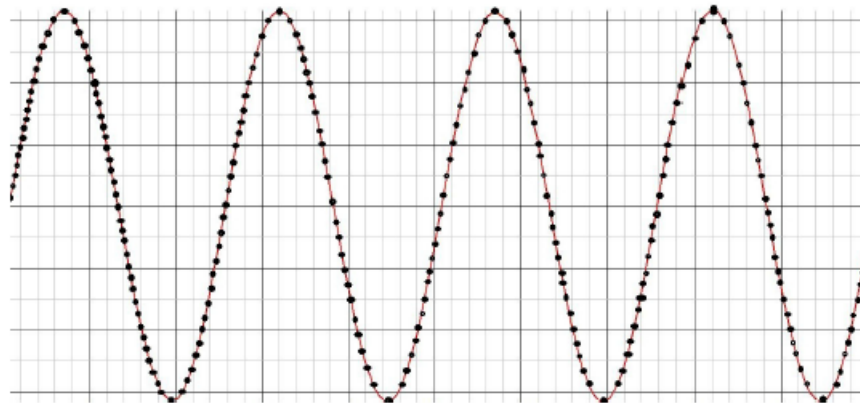


## Tema 2. Señales

---

### Procesamiento Digital de Señales

- **Señal analógica (continua)**: La línea de tiempo tiene valores de amplitud con precisión **infinita** en **todos** los puntos.
- **Señal digital (discreta)**: La línea de tiempo tiene sólo una **secuencia** de valores de amplitud con precisión **finita**.





## Tema 2. Señales

---

### Procesamiento Digital de Señales

- Un **micrófono** convierte oscilaciones de presión en el aire (sonido) en oscilaciones de voltaje.
  - Los dispositivos analógicos (discos de vinilo, cassettes) las guardan como señales continuas.
  - Los dispositivos digitales (computadoras, CDs) las convierten y guardan como señales discretas.
- Conversión Analógica-Digital (Digitalización)
  - 1) **Muestreo**: Discretización del tiempo.
  - 2) **Cuantización**: Discretización de la amplitud.

# Tema 2. Señales

## Conversión Analógica-Digital

- **Tasa de muestreo** (*sampling rate*)
  - ¿Cada cuánto hay que tomar muestras de la señal?
  - **Teorema de Nyquist-Shannon:** Para capturar la periodicidad de una onda con frecuencia  $f$ , es necesaria una tasa de muestreo **mayor que  $2f$** .

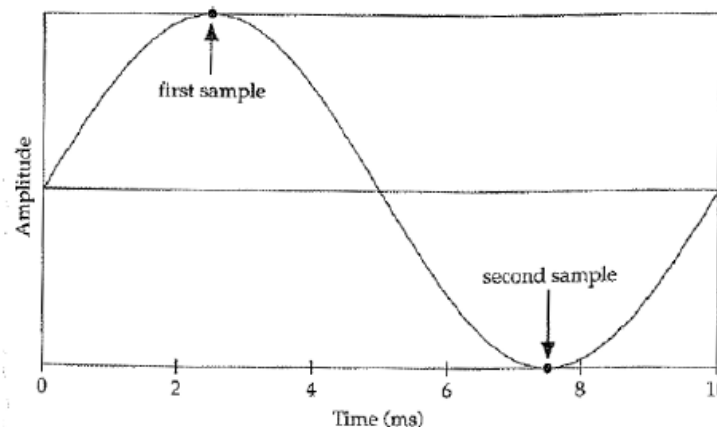


Figure 2.2 This figure illustrates why it takes two samples to capture the periodicity of a sine wave.



## Tema 2. Señales

---

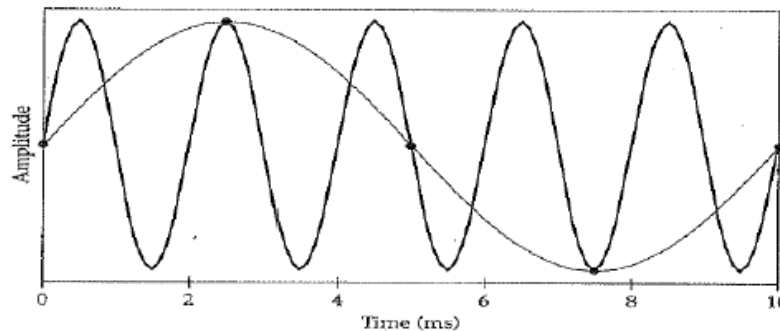
### Conversión Analógica-Digital

- Balance entre muestreo y almacenamiento
  - Oído humano: máxima frecuencia ~20kHz
  - 44.1kHz: calidad de CD de audio
  - ¿Pero realmente necesitamos guardar 44k muestras por segundo si queremos almacenar habla?
  - Teléfono: [300 Hz, 4 kHz] (muestreo = 8 kHz).
  - Algunos sonidos del habla (fonos) tienen frecuencias mayores a 4 kHz: [s], [f].
  - Un tasa de muestreo de 16 kHz suele alcanzar para el procesamiento del habla.
- `sox --info IN.WAV`
  - Sample Rate : 16000

# Tema 2. Señales

## Conversión Analógica-Digital

- Error de muestreo: **aliasing**.
  - Ejemplos ópticos: rueda, turbina, agua.
  - Ocurre cuando la señal contiene frecuencias mayores a la **frecuencia de Nyquist** (mitad de la tasa de muestreo).



- Solución: Filtro anti-aliasing (ej.: *oversampling*).



## Tema 2. Señales

---

### Filtros Acústicos

- Bloquean sonidos de ciertas frecuencias.
  - **Filtro pasa-bajos (*low-pass*)**: Bloquea las componentes con frecuencia mayor a un umbral.
  - **Filtro pasa-altos (*high-pass*)**: Bloquea las componentes con frecuencia menor a un umbral.
  - **Filtro pasa-banda (*band-pass*)**: Bloquea las componentes con frecuencia por fuera de una banda.
- `sox IN.WAV OUT.WAV sinc FREQ`
  - Ejemplos de valores para FREQ:

-4000	<i>low-pass</i>
4000	<i>high-pass</i>
3000-4000	<i>band-pass</i>



## Tema 2. Señales

---

### Conversión Analógica-Digital

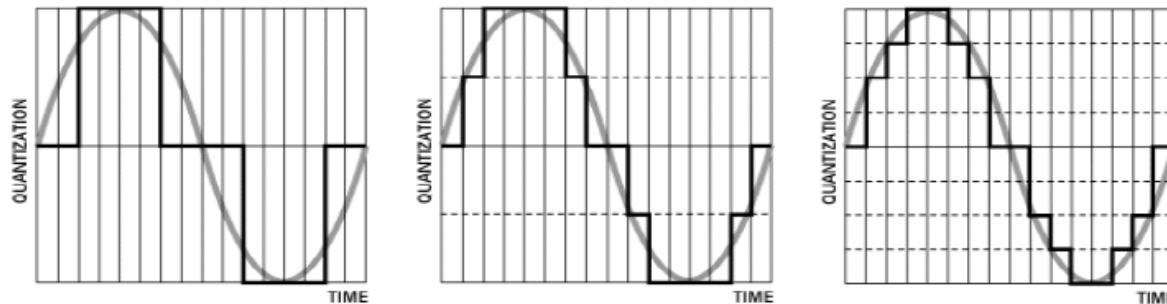
- **Cuantización**
  - Las computadoras no tienen precisión infinita.
  - ¿Cuán precisas deben ser las muestras de amplitud que tomamos de la señal?
  - Ej.: 8, 12, 16, 32 bits por muestra
    - 256, 4096, 65536, 4294967296 niveles de amplitud.
- `sox --info IN.WAV`
  - Precision : 16-bit
- ¿Cuántos niveles es necesario distinguir?



# Tema 2. Señales

## Conversión Analógica-Digital

- Balance entre precisión de cuantización y almacenamiento.
  - Los **errores de cuantización** se reducen aumentando la precisión, pero a costa de más espacio.



- La elección depende de los datos y de la aplicación.
- Habla: 16kHz, 16bits suele ser razonable.

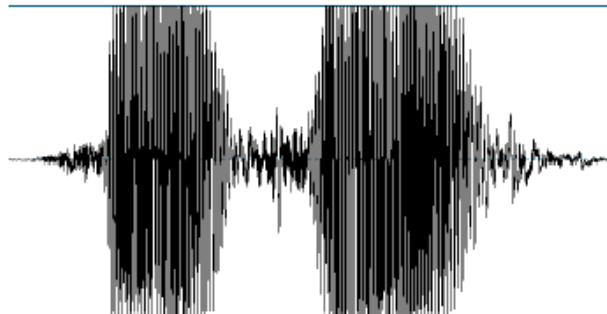


## Tema 2. Señales

---

### Conversión Analógica-Digital

- Problema derivado de la cuantización:
  - **Saturación digital** (*clipping*): La amplitud de la señal es mayor al rango representable.



- Solución #1: Redefinir los niveles de amplitud.
- Solución #2: Disminuir la amplitud de la fuente.



## Tema 2. Señales

---

### **Variables Acusticas:**

- Intensidad
  - Fuerte/ Suave
- Nivel Tonal
  - Aguda / Grave



## Tema 2. Señales

---

Variables Acústicas: Intensidad





## Tema 2. Señales

---

### Intensidad

- Ejemplo: `hola.wav`
- Nivel de presión del sonido.
- Puede medirse en:
  - Unidades de presión (Pa).
  - Unidades de voltaje (V).
- Es más frecuente usar **decibeles** (dB).
  - Escala logarítmica relativa a un nivel de referencia.
  - $20 \log_{10} (P / P_0)$  dB
  - Nivel de referencia  $P_0 = 20$  micropascales =  $2 \times 10^{-5}$  Pa
    - Umbral de audición humana: “silencio”.



## Tema 2. Señales

---

### Percepción de la Intensidad

Evento	Presión (Pa)	Intensidad (dB)
Silencio	$2 \times 10^{-5}$	0
Susurro	200	20
Oficina silenciosa	2K	40
Conversación	20K	60
Colectivo	200K	80
Subte	2M	100
Trueno	20M	120
*DAÑO*	200M	140



## Tema 2. Señales

---

### Cálculo de la Intensidad

- Sean  $x_i$  ( $i = 1 \dots N$ ) muestras de la amplitud de (parte de) una señal.

- Amplitud RMS (*root mean square*) =  $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$

- **Intensidad** =  $20 \log_{10} \frac{\text{RMS}}{P_0}$

donde  $P_0$  es el nivel de referencia para el silencio.



## Tema 2. Señales

---

Variables Acústicas: Nivel tonal (*Pitch*)





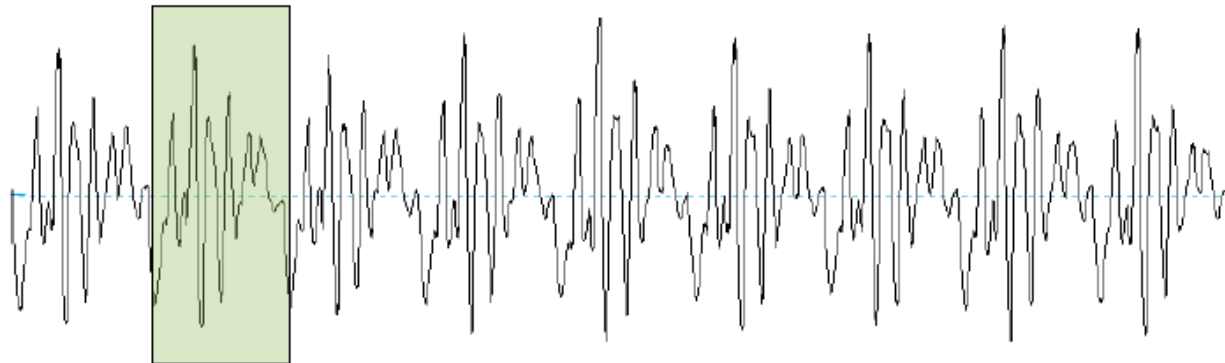


## Tema 2. Señales

---

### Percepción del Nivel Tonal (*Pitch*)

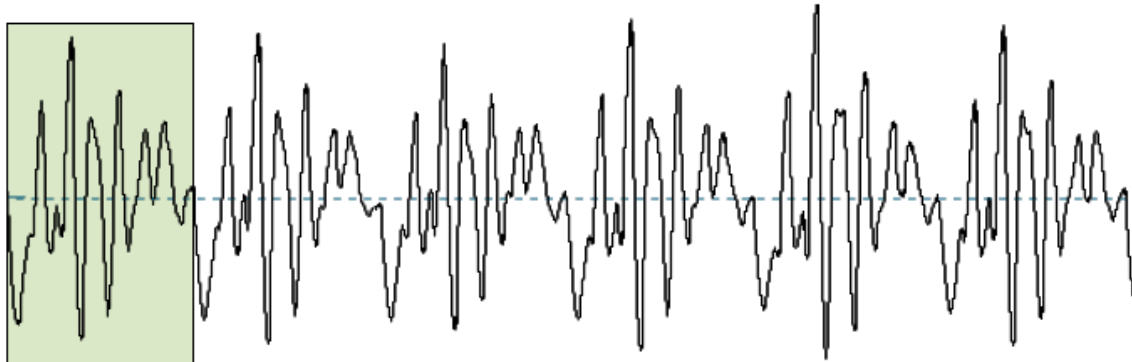
- Ejemplo: a.wav
- Frecuencia fundamental (F0): Frecuencia más baja de una onda periódica.
  - Tasa a la cual se repite el patrón complejo más chico.



## Tema 2. Señales

### Estimación del Tono (*Pitch Tracking*)

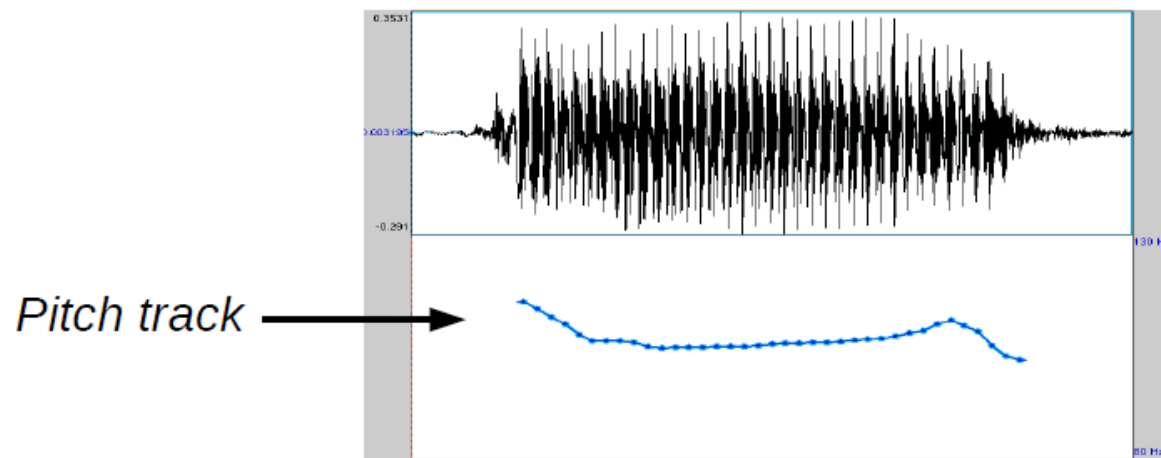
- Método de **auto-correlación**
  - Una onda periódica se correlaciona consigo misma, dado que cada ciclo se parece mucho al siguiente.
  - Deslizar una copia de la onda hacia la derecha, hasta encontrar un punto de máxima correlación. El offset encontrado corresponde a la duración del período ( $T$ ). La inversa ( $1/T$ ) es la  $F0$ .



## Tema 2. Señales

### Estimación del Tono (*Pitch Tracking*)

- Gráfico  $F0 \times \text{tiempo} = \text{Pitch track}$
- Relacionado a la percepción del nivel tonal.



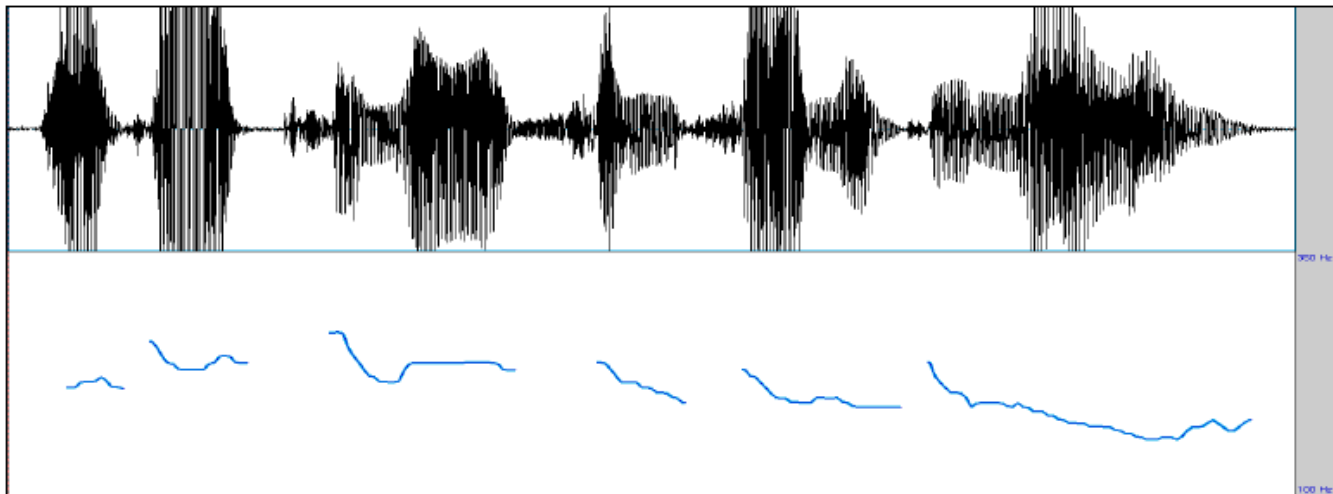
- Rango: mujeres 100-500Hz, hombres 75-300Hz.



## Tema 2. Señales

### Estimación del Tono (*Pitch Tracking*)

- Funciona bien para fonos sonoros: vocales, [m], [b], [l], etc. (ondas periódicas compuestas).
- Funciona mal para fricativas, oclusivas sordas, etc.: [s], [f], [t], [k], [tʃ] (sonidos aperiódicos).





## Tema 2. Señales

---

### Procesamiento Digital de Señales Resumen

- Conversión analógica-digital, tasa de muestreo, precisión, teorema Nyquist-Shannon, aliasing, cuantización, saturación filtros.
- Variables acústicas: intensidad (dB), nivel tonal o *pitch* (Hz).
- Herramientas: Praat y sox.