

Fundamentos de Sonido e Imagen

Apuntes de clase

Javier Rodrigo López ¹

8 de abril de 2021



¹Correo electrónico: javiolonchelo@gmail.com



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



Introducción

Imagen de la portada: *Corriendo por la playa. Valencia*, de Joaquín Sorolla.

Información para los sentidos de la vista y el oído:

- Luz → Imagen → Vídeo
- Vibraciones → Sonido → Audio
- **Consumo audiovisual:** Consumo humano
- **Análisis:** Procesado, Edición, Interpretación.
- **Síntesis:** Generación, automatización

Luz, óptica, fotometría Magnitudes físicas: Propagación, fuentes, medio, obstáculos Ondas, vibraciones, sonido, acústica S.V. Humano. Color PERCEPCIÓN HUMANA y COMPRENSIÓN Psicoacústica Cámaras, scanners, pantallas, impresión, scanners médicos

Usuario: Utiliza equipo o servicio. Creador de contenido. Artista. **Técnico:** Operar, mantener instalaciones **Ingeniero:**

- Conocimientos básicos fuertes
- Capacidad de trabajo
- Adaptabilidad e Independencia
- Comunicación: Oral, Escrita y en inglés
- Cooperación: Trabajo con otros
- Aprendizaje continuo, curiosidad
- Investigación: Crear algo nuevo
- Experiencia: Intuición, "sabiduría"

Imagen:

Teoría: 16h + 2h parcial Laboratorio: 8h = 4 prácticas online

Sonido:

Teoría 18h online Laboratorio (Aula L8103) 4h = 2 prácticas presenciales

Evaluación

Teoría Imagen: 35 % + Teoría Sonido 35 % + cada laboratorio cuenta 15 %

Hay que sacar más de un 5 en cada parte.

Índice general

Introducción	2
1. Señales, sistemas y medidas acústicas. Revisión de conceptos	5
1.1. Oscilaciones mecánicas	5
1.2. MAS amortiguado en régimen libre	5
1.3. Fasores	7
1.4. Fenómeno de Resonancia	7
1.5. Factor de calidad	7
1.6. Energía	7
1.7. Composición de dos MAS de igual frecuencia	7
1.7.1. Teorema del coseno	7
1.7.2. Cálculo fasorial	7
2. Señales acústicas	9
2.1. Valor RMS y nivel de una señal	9
2.2. Serie de Fourier y Transformada de Fourier	9
2.3. Densidad espectral de potencia	9
2.4. Nivel espectral y nivel en banda	9
2.5. Ruido blanco y ruido rosa	9
2.6. Sistemas y medidas acústicas	9
2.7. Sistema lineal. Función de transferencia. Respuesta al impulso	9
2.8. Métodos de análisis de sistemas	9
2.9. Analogías electro-mecánico-acústicas	9
3. Audición y voz	11
3.1. Fisiología y funcionamiento del sistema auditivo humano	11
3.2. Características de la respuesta auditiva	11
3.3. No linealidad del sistema auditivo	11
3.4. Efecto de enmascaramiento temporal y frecuencial	11
3.5. Audición binaural	11
3.6. Mecanismo de generación de la voz	11
3.7. Características acústicas de voz	11
3.8. Análisis de la señal de voz	11
4. Ondas planas y esféricas	13
4.1. Ecuación de onda plana. Velocidad de propagación	13
4.2. Velocidad vibratoria e impedancia de una onda plana	13
4.3. Presión e intensidad acústicas	13
4.4. Ecuación de una onda esférica	13
4.5. Velocidad vibratoria e impedancia de una onda esférica	13
4.6. Campo acústico originado por una fuente. Divergencia esférica	13
4.7. Potencia radiada por una fuente	13
5. Ondas estacionarias	15
5.1. Reflexión de una onda plana	15
5.2. Impedancia de una línea de transmisión acústica	15
5.3. Intensidad acústica de una onda estacionaria	15
5.4. Transmisión acústica a través de varios medios	15
6. Formación y captación de imágenes	17
6.1. Introducción	17
6.1.1. Diferencias y similitudes entre las vista y el oído	17
6.2. Óptica geométrica	17

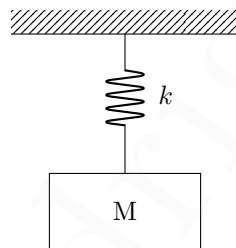
6.3. Fotografía	19
6.4. Fotometría	19
7. El sistema visual humano. Colorimetría	21
7.1. Introducción a la visión	21
7.2. Estructura y óptica del ojo humano	21
7.3. La retina, nuestro sensor	21
7.4. Percepción: Implicaciones en los sistemas de imagen	21
8. Señales utilizadas para la representación de imágenes	23
8.1. Modelos cromáticos para el almacenamiento cuantificado de los colores	23
8.2. Señales de luminancia y de crominancia	23
8.3. Importancia concedida por el ojo a las señales de luminancia y crominancia	23
8.4. Cartas de barras para los estudios cromáticos de imágenes fijas y de vídeo	23
8.5. Relación de aspecto y exploraciones progresivas y entrelazada	23
8.6. Resolución horizontal y vertical de las imágenes (SD, HD, UHD)	23
8.7. Señales normalmente utilizadas para la transmisión de señales de vídeo	23
8.8. Intervalos de vídeo e intervalos de sincronismo	23
A. Prácticas	25
A.1. Introducción. Técnicas de medidas acústicas. Técnicas de análisis de sistemas mecánicos y acústicos	25
A.2. Osciladores mecánicos y acústicos	25
A.3. Ondas acústicas esféricas. Potencia radiada por una fuente	25
A.4. Ondas acústicas estacionarias. Impedancia acústica. Impedancia de radiación de un tubo	25
A.5. Imagen digital	25
A.6. Relación de aspecto y adaptaciones	25
A.7. Brillo y contraste	25
A.8. Color. Saturación y tinte	25

Capítulo 1

Señales, sistemas y medidas acústicas. Revisión de conceptos

1.1 Oscilaciones mecánicas

Figura 1.1. Oscilador simple.



Este oscilador está formado por una masa M que cuelga de un muelle de constante k .

De la segunda Ley de Newton, podemos obtener la ecuación de ondas:

$$\sum F = M \cdot a \quad \Rightarrow \quad M \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0$$

Recordemos el oscilador armónico simple, que es descrito mediante la **Ley de Hooke**:

$$F = -kx$$

Esta ecuación describe un movimiento sin amortiguamiento, perpetuo.

Si resolvemos la ecuación de ondas, el resultado tiene la siguiente forma:

$$x(t) = x_o \cos(\omega_o t + \varphi)$$

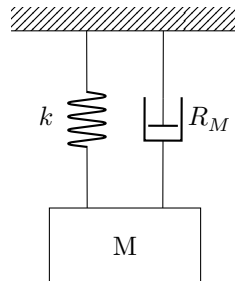
Algunos parámetros importantes:

$$\omega_o = 2\pi \cdot f_o = \sqrt{\frac{k}{M}}$$
$$T_o = \frac{1}{f_o} = \frac{2\pi}{\omega_o}$$

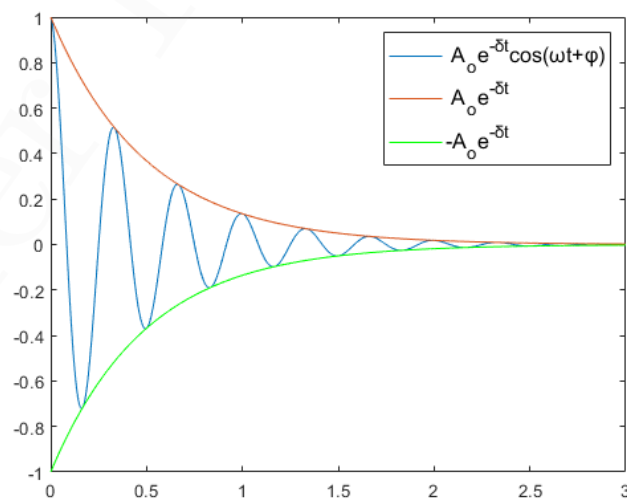
1.2 MAS amortiguado en régimen libre

Si añadimos amortiguación a este movimiento, el resultado tendría la misma forma que antes, pero con una exponencial negativa que hace que decrezca en amplitud con el paso del tiempo.

$$\sum F = M \cdot a \quad \Rightarrow \quad M \frac{d^2 x}{dt^2} + R_M \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad \xrightarrow{\text{Solución}} \quad x(t) = x_o e^{-\delta t} \cos(\omega' t + \varphi)$$

Figura 1.2. Sistema masa-resorte

Este sistema es un oscilador con 1 grado de libertad.

Figura 1.3. Respuesta al impulso del oscilador amortiguado

Este resultado se puede entender como la **respuesta al impulso** del sistema mecánico. En la práctica, usaremos señales rectangulares muy grandes y de duración muy corta para modelar el sistema, como si fueran señales impulso $\delta(t)$. Más adelante aprenderemos a hacer esto.

$$\delta = \frac{R_M}{2M} \omega' = \sqrt{\omega_o^2 - \delta^2} \quad \xrightarrow{\omega_o \gg \delta} \quad \omega' \approx \omega_o$$

$$\tau = \frac{x_o}{e} = \frac{1}{\delta} \quad \tau \equiv \text{Tiempo de relajación del sistema}$$

1.3 Fasores

El acento circunflejo ($\hat{}$) es el símbolo que usaremos para representar los fasores en este documento.

$$\hat{x} = x_o e^{j\varphi}$$

$$\text{Compliance mecánica} \equiv k = \frac{1}{C}$$

1.4 Fenómeno de Resonancia

En los sistemas eléctricos, acústicos y mecánicos (como el de la [Figura 1.2](#)) tiene lugar un fenómeno denominado **resonancia**. Para ciertas frecuencias de oscilación, la resistencia que presenta el sistema puede disminuir considerablemente. A esa frecuencia se la conoce como frecuencia fundamental o **modo propio**.

1.5 Factor de calidad

El factor de calidad no representa la calidad del sistema mecánico que tengamos. Esto se debe a que es un parámetro heredado de la teoría de circuitos.

$$Q = \left. \frac{f_c}{\Delta f} \right|_{-3 \text{ dB}} = \frac{\omega_o \tau}{2}$$

En un altavoz, nos interesa un tiempo de respuesta bajo. Sin embargo, se debe escoger un ancho de banda adecuado para ofrecer una respuesta en frecuencia adaptada a nuestras necesidades.

1.6 Energía

Esto no entra demasiado.

1.7 Composición de dos MAS de igual frecuencia

Esta composición es denominada **suma coherente**.

1.7.1. Teorema del coseno

1.7.2. Cálculo fasorial

Javier Rodrigo López

Capítulo 2

Señales acústicas

2.1 Valor RMS y nivel de una señal

2.2 Serie de Fourier y Transformada de Fourier

2.3 Densidad espectral de potencia

2.4 Nivel espectral y nivel en banda

2.5 Ruido blanco y ruido rosa

2.6 Sistemas y medidas acústicas

2.7 Sistema lineal. Función de transferencia. Respuesta al impulso

2.8 Métodos de análisis de sistemas

2.9 Analogías electro-mecánico-acústicas

Javier Rodrigo López

Capítulo 3

Audición y voz

3.1 Fisiología y funcionamiento del sistema auditivo humano

3.2 Características de la respuesta auditiva

3.3 No linealidad del sistema auditivo

3.4 Efecto de enmascaramiento temporal y frecuencial

3.5 Audición binaural

3.6 Mecanismo de generación de la voz

3.7 Características acústicas de voz

3.8 Análisis de la señal de voz

Javier Rodrigo López

Capítulo 4

Ondas planas y esféricas

4.1 Ecuación de onda plana. Velocidad de propagación

4.2 Velocidad vibratoria e impedancia de una onda plana

4.3 Presión e intensidad acústicas

4.4 Ecuación de una onda esférica

4.5 Velocidad vibratoria e impedancia de una onda esférica

4.6 Campo acústico originado por una fuente. Divergencia esférica

4.7 Potencia radiada por una fuente

Javier Rodrigo López

Capítulo 5

Ondas estacionarias

5.1 Reflexión de una onda plana

5.2 Impedancia de una línea de transmisión acústica

5.3 Intensidad acústica de una onda estacionaria

5.4 Transmisión acústica a través de varios medios

Javier Rodrigo López

Capítulo 6

Formación y captación de imágenes

6.1 Introducción

6.1.1. Diferencias y similitudes entre la vista y el oído

- Ambas tienen alcance cercano y lejano.
- El detalle espacial es alto en la vista y bajo en el oído.
- Ambos tienen alto detalle temporal.
- La vista tiene un bajo detalle frecuencial (colores) mientras que el oído tiene un alto detalle frecuencial (tono y timbre).
- Ambas sensaciones comienzan y acaban rápidamente.

Llamamos **luz** a la parte del espectro electromagnético visible por el Sistema Visual Humano. Comprende aproximadamente las longitudes de onda entre 380nm y 780nm.

Llamamos **sonido** al rango de frecuencias de las vibraciones audibles por el Sistema Auditivo Humano. Comprende frecuencias entre 20Hz y 20kHz.

La propagación de ambos es en forma de ondas, por lo que se puede relacionar la frecuencia, la velocidad de propagación y la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

La velocidad de propagación de la luz es aproximadamente un millón de veces mayor que la del sonido. Sin embargo, el rango de frecuencias de sonido es mucho mayor que el de la luz.

La interacción con medio y obstáculos depende de los rangos de longitud de onda.

Estudiaremos:

- Física en general.
- Óptica geométrica.
- Fotografía: Captura de imágenes.
- Fotometría: Medida de energía transportada, fuentes y objetos iluminados.
- Visión humana y colorimetría.

6.2 Óptica geométrica

Trata sobre reflexión y refracción de luz en fronteras entre medios y su propagación en medios homogéneos.

Simplificación

Medio homogéneo: mismas propiedades en todos los puntos. Viaja en línea recta.

Sucesión de medios homogéneos: Lentes.

Campo luminoso. En un momento dado en un punto del espacio hay:

- Rayos en todas direcciones, provenientes de:
 - Fuentes de luz
 - Superficies
 - Atmósfera

Cámara oscura y modelo de cámara ideal. Es una caja o habitación con apertura muy pequeña. Desde cada punto a la vista solo pasa luz en una dirección y genera una imagen nítida e invertida en el interior. Rayo único”.

Es el modelo de cámara ideal usado en Gráficos 3D.

Cámara estenopeica. *Pinhole*.

El eje Z es perpendicular al eje óptico o eje de la cámara. FALTA AÑADIR IMAGEN

Sensor: tamaño y relación de aspecto.

El tamaño se mide en milímetros.

La relación de aspecto es el ancho entre el alto. Si el objeto es muy grande o está muy cerca, su imagen puede no caber en el sensor.

Círculo de confusión:

En realidad, de cada punto de la vista se proyecta un cono de rayos con la forma de la apertura: círculo de confusión.

Para que la imagen sea nítida basta con que el círculo de confusión sea menor que el tamaño de un fotodetector del sensor.

Por ello, para este modelo de cámara se supone que pasa un único rayo por la apertura.

Ejercicios

Para resolver los ejercicios con cámaras estenopeicas, utilizaremos el **teorema de Tales**. Siendo estas las distancias

EJERCICIO 1 Se cuenta con una cámara que se ajusta el modelo de cámara estenopeica ideal. El tamaño de su sensor de imagen es 36x24 mm

Sensor de Imagen

Capta energía luminosa mediante:

- Proceso fotoquímico. Se debe a una reacción química.
- Proceso fotoeléctrico. Cada celda (pixel) del sensor se carga eléctricamente de forma proporcional a la energía luminosa recibida.

A más energía luminosa, más brillo en la imagen capturada.

Deventajas de la cámara estenopeica

Al entrar muy poca luz, la energía luminosa que recibe el sensor de la cámara estenopeica

Aspectos clave al capturar una imagen

- Imagen enfocada (nítida) para aperturas mayores. Necesitamos óptica de enfoque.
- Cantidad de luz suficiente, depende de:
 - Luz presente en la escena
 - Tamaño de la apertura

- Tiempo de exposición (relacionado con la velocidad de obturación o *shutter*)

Velocidad de la luz e índice de refracción.

La propagación de la luz en un

Refracción en superficie esférica.

La potencia focal.

Ecuación de lente delgada

$$P = \frac{1}{d_f} = (n_l - n_o) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Convención de signos y geometría.

6.3 Fotografía

6.4 Fotometría

Javier Rodrigo López

Capítulo 7

El sistema visual humano. Colorimetría

7.1 Introducción a la visión

7.2 Estructura y óptica del ojo humano

7.3 La retina, nuestro sensor

7.4 Percepción: Implicaciones en los sistemas de imagen

Javier Rodrigo López

Capítulo 8

Señales utilizadas para la representación de imágenes

- 8.1 Modelos cromáticos para el almacenamiento cuantificado de los colores

- 8.2 Señales de luminancia y de crominancia

- 8.3 Importancia concedida por el ojo a las señales de luminancia y crominancia

- 8.4 Cartas de barras para los estudios cromáticos de imágenes fijas y de vídeo

- 8.5 Relación de aspecto y exploraciones progresivas y entrelazada

- 8.6 Resolución horizontal y vertical de las imágenes (SD, HD, UHD)

- 8.7 Señales normalmente utilizadas para la transmisión de señales de vídeo

- 8.8 Intervalos de vídeo e intervalos de sincronismo

Javier Rodrigo López

Apéndice A

Prácticas

A.1 Introducción. Técnicas de medidas acústicas. Técnicas de análisis de sistemas mecánicos y acústicos

A.2 Osciladores mecánicos y acústicos

A.3 Ondas acústicas esféricas. Potencia radiada por una fuente

A.4 Ondas acústicas estacionarias. Impedancia acústica. Impedancia de radiación de un tubo

A.5 Imagen digital

A.6 Relación de aspecto y adaptaciones

A.7 Brillo y contraste

A.8 Color. Saturación y tinte
