

# Ecografías<sup>2D</sup> <sup>3D</sup> <sup>4D</sup>

Ingeniería de ondas I

05/06



Diego Martín Martínez



Ingeniería de ondas I. Curso 2005/06

Ecografías 2D, 3D y 4D

## - Definición:

Técnica de exploración de los órganos internos basada en el **registro y procesamiento** de los ecos de ondas acústicas o electromagnéticas enviadas hacia el lugar que se examina. Imagen obtenida con esta técnica.

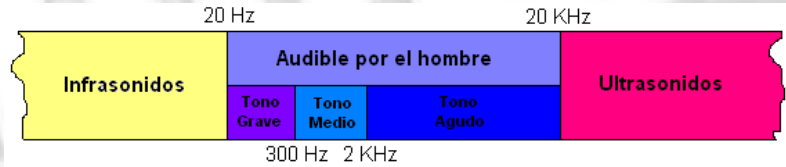
## - Introducción histórica del uso de los ultrasonidos:

- Hundimiento del Titanic (1912): Detección de icebergs. (Utilizado también en la 1ª GM).
- Karl Dussic (1940): Detección de tumores.
- Ian Donald y col. en la U. de Glasgow (1955-1958): Desarrollo del ecógrafo. (Analogía feto inmerso en líquido amniótico con submarino sumergido).
- Avances en la tecnología: Ecografías bidimensionales, tridimensionales, tetradimensionales y Doppler.



- **Ultrasonidos:**

**Perturbaciones acústicas con frecuencia por encima del umbral de audición humano ( $f > 20000 \text{ Hz}$ ).**



- **¿Por qué ultrasonidos?:**

- **Inocuidad (no invasivos ni efectos secundarios relevantes).**
- **Bajo coste.**
- **Mejor capacidad de enfoque:**
  - **Radio de enfoque  $\sim \lambda$  (A mayor frecuencia, menor radio)**
  - **¡¡PROBLEMA: A mayor frecuencia, mayor atenuación!!**



- **Eco:**

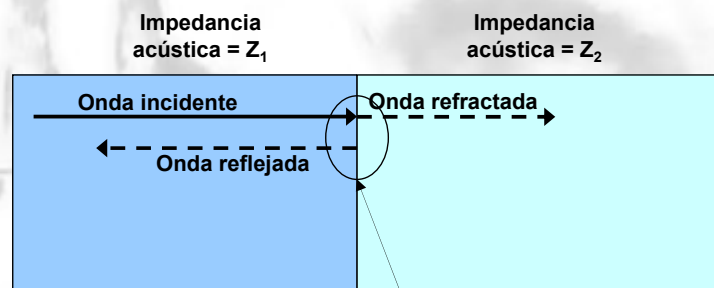
- **(Análogo a LdT):**

Coefficiente de reflexión  $\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

$OR = \Gamma \times OI$

**En la onda reflejada va información del segundo medio (coef. De reflexión)**

**Z = Densidad x Velocidad**



**Se produce una reflexión en la superficie de separación de ambos medios.**



## Tratemos de crear un ecógrafo:

### - Necesidades:

1. Producir sonidos.
2. Recibir sonidos.
3. Procesar lo recibido.
4. Dar formato a la información recibida.
5. Visualizar la información.



## Tratemos de crear un ecógrafo:

### - Soluciones: 1.- *Producir sonidos.*

- Producir sonidos es muy sencillo, pero no todos los sonidos valen.
- Señal acústica con frecuencia y amplitud determinada.
  - No es tan sencillo.
- Señal eléctrica con frecuencia y amplitud determinada.
  - Muy sencillo.

¿Se puede convertir una señal eléctrica en una señal acústica?

**SI. Efecto piezoeléctrico**



## Tratemos de crear un ecógrafo:

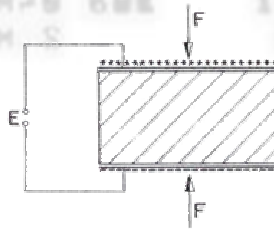
### - Soluciones: 1.- *Producir sonidos.*

#### - Efecto piezoeléctrico:

- Presente sólo en algunos cristales.

- Sin centro pero con eje de simetría.

- Cuando a estos materiales se les aplica una diferencia de potencial entre dos de sus caras, en ellas aparecen fuerzas de compresión o expansión.



## Tratemos de crear un ecógrafo:

### - Soluciones: 1.- *Producir sonidos.*

#### - Solución: TRANSDUCTORES (Sonda)

- Generar una señal eléctrica con los parámetros deseados y transformarla a una acústica:

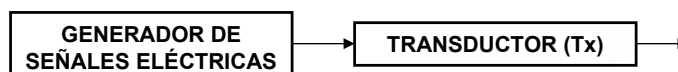
- Frecuencia: Superior a 20000 Hz

- Amplitud: Entre 2 y 300 V

- Forma: De todo tipo (monopolar cuadrada la más sencilla).

- Para mejorar la calidad del haz se emplea una lente acústica.

- Diagrama de bloques:





## Tratemos de crear un ecógrafo:

### - Soluciones: 2.- *Recibir sonidos.*

- Basta con poner el receptor en un lugar donde pueda ser atacado por la onda reflejada (eco).
- ¿Cualquier receptor vale?. Si pero...
  - Lo recibido debe procesarse.
    - ¿Procesar señales acústicas?
    - Mejor procesar señales eléctricas
  - ¿Puedo transformar una señal acústica en una eléctrica?

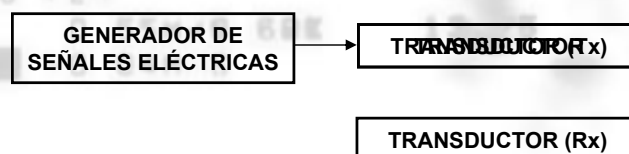
## Si. El efecto piezoeléctrico es reversible



## Tratemos de crear un ecógrafo:

### - Soluciones: 2.- *Recibir sonidos.*

- Emplear como receptor un cristal que presente las propiedades adecuadas para que en él se produzca el efecto piezoeléctrico.
- Lo recibido lo transforma en una señal eléctrica para ser procesada.

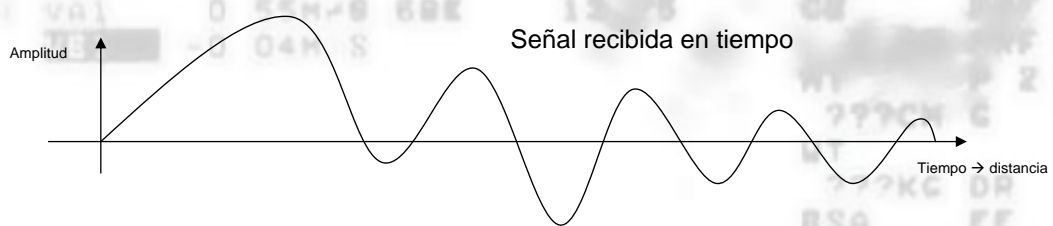




## Tratemos de crear un ecógrafo:

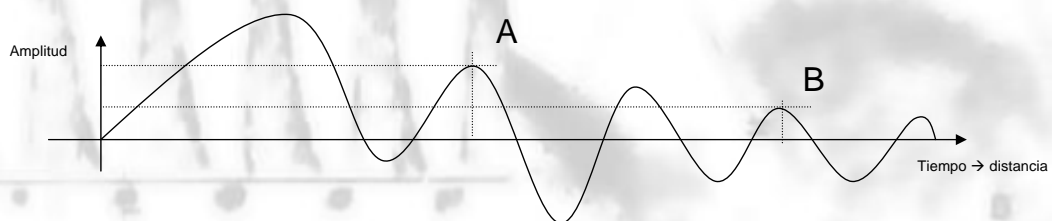
### - Soluciones: 3.- Procesar lo recibido.

- Se ha enviado una señal.
- Se reciben los ecos.
  - Cuanto mayor sea la Impedancia acústica del medio, mayor será la amplitud de la señal recibida.
  - Cuanto más tiempo tarde en llegar, más lejos habrá llegado.



## Tratemos de crear un ecógrafo:

### - Soluciones: 3.- Procesar lo recibido.



¿El medio A presenta una impedancia acústica mayor que B?

~~Si, pues su amplitud es mayor~~

**¡¡NO necesariamente!!**





## Tratemos de crear un ecógrafo:

- Soluciones: 3.- *Procesar lo recibido.*
  - Hay que tener en cuenta la atenuación.
    - Filtro de compensación de ganancia temporal.
  - Si al incidir sobre una superficie de diferente impedancia acústica, parte se refleja, el resto de la señal que continúa tiene menos potencia, y por tanto el eco también será menos intenso.
    - Técnicas de retardo y suma, retardo y desfase, etc...



## Tratemos de crear un ecógrafo:

- Soluciones: 3.- *Procesamiento de lo recibido.*
  - Filtro de compensación de ganancia temporal.
    - Cuanto más penetre una señal, mayor atenuación sufrirá.
    - La amplitud de una señal varía conforme a:

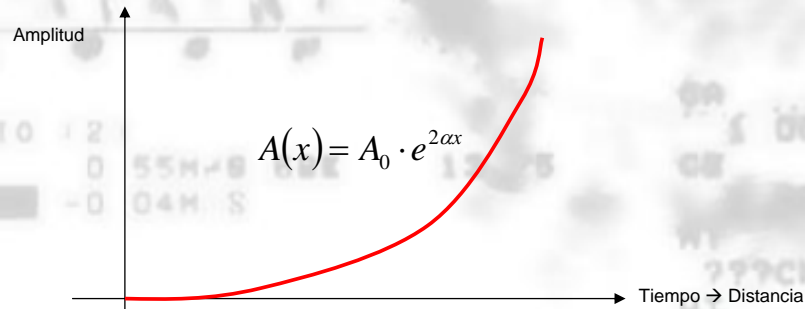
$$A(x) = A_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

- $A_0$  es la amplitud inicial,  $\alpha$  es el coeficiente de atenuación (dependiente de la frecuencia) y  $x$  la distancia.
  - La intensidad se reduce a la mitad cada 0.8 cm para valores normales de  $\alpha$  ( $\alpha = 0.75$  dB/cm/MHz).



## Tratemos de crear un ecógrafo:

- Soluciones: 3.- *Procesamiento de lo recibido.*
  - Filtro de compensación de ganancia temporal.
    - Tiene la forma:



## Tratemos de crear un ecógrafo:

- Soluciones: 3.- *Procesar lo recibido.*
  - Filtro de compensación de ganancia.







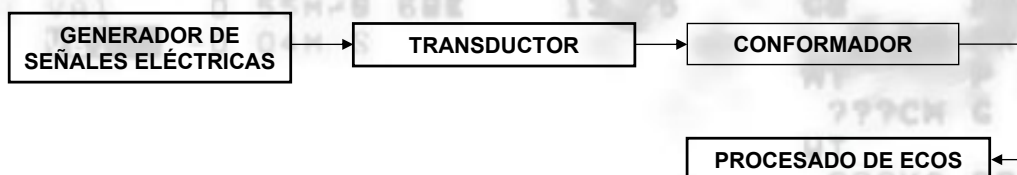
## Tratemos de crear un ecógrafo:

- **Soluciones: 4.- Dar formato a la información recibida.**
  - Se pretender mostrar algo fácilmente entendible, intuitivo a partir de la información.
  - **Posibilidades:**
    - **Mostrar una línea variable en amplitud (Modo A).**
      - Poco intuitivo.
    - **Mostrar una línea con brillo variable: A más amplitud mayor brillo (Modo B).**
      - Relativamente fácil de implementar.
      - Un poco más intuitivo (ayuda a la reconstrucción mental de la imagen)



## Tratemos de crear un ecógrafo:

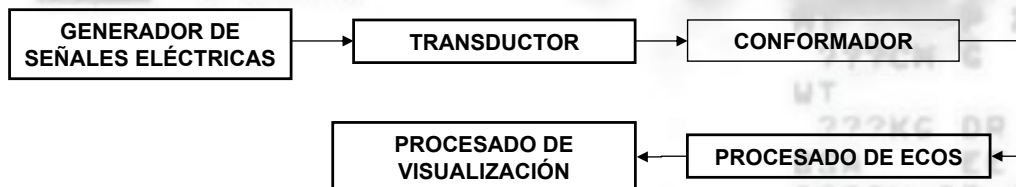
- **Soluciones: 4.- Dar formato a la información recibida.**
  - **Para representar una línea modulada en brillo:**
    - **Detección de envolvente.**
    - **Compresión logarítmica (hacer perceptibles pequeños detalles).**
    - **Ajuste de nivel de grises (normalmente 8 bits).**





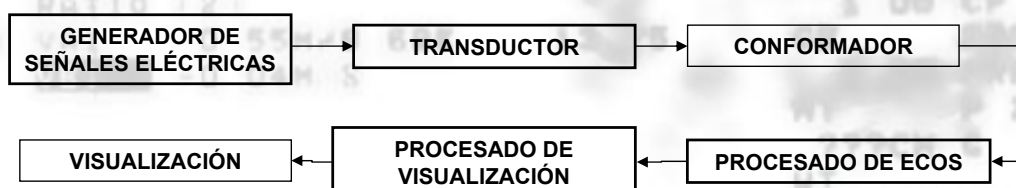
## Tratemos de crear un ecógrafo:

- **Soluciones: 4.- Dar formato a la información recibida.**
  - Se envía una señal variable en brillo al elemento encargado de la visualización.
  - En el se lleva a cabo el tratamiento de la imagen:
    - Correcciones geométricas.
    - Mapeado de escala de grises (o de color).
    - Más operaciones de formateado y etiquetado de datos para información.



## Tratemos de crear un ecógrafo:

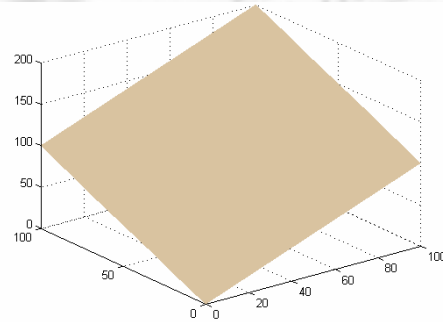
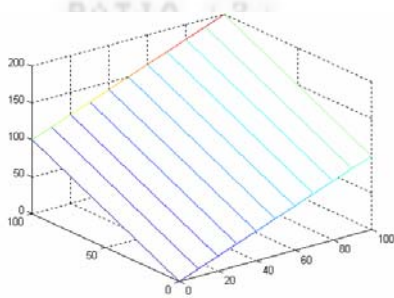
- **Soluciones: 5.- Visualizar la información.**
  - Se recibe la señal preparada del bloque de procesamiento para visualización.
  - Se visualiza mediante un monitor o similar.
  - El diagrama de bloques final es:





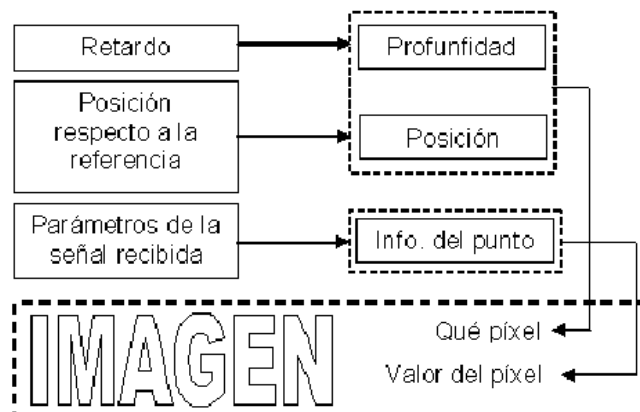
## Tratemos de crear un ecógrafo:

- **Mejoras:**
  - Una línea no está mal, pero...
    - Mejor un plano (Imagen bidimensional).
    - En vez de un solo elemento activo, emplear varios: Array de transductores.



## Tratemos de crear un ecógrafo:

- **Mejoras:**
  - Para obtener una imagen bidimensional (Ecog. 2D):





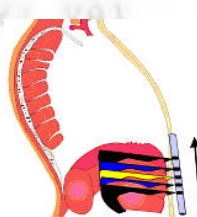
## Tratemos de crear un ecógrafo:

- **Diseño final del sistema.**

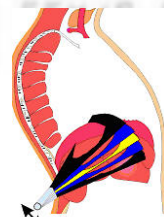


## Ecografías 3D.

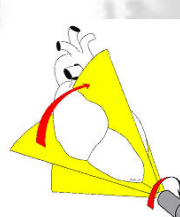
- **Con las ecografías 2D se obtienen planos (Información de planos).**
- **Para obtener información de un volumen:**
  - **Para obtener info. de un plano se obtenía información de varias líneas.**
  - **Extrapolando:** Consiguiendo información de varios planos se puede formar un volumen. Barrido por planos



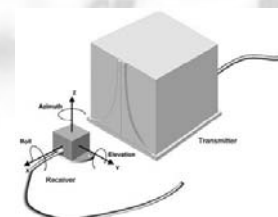
Planos paralelos



Planos en abanico



Planos ortogonales

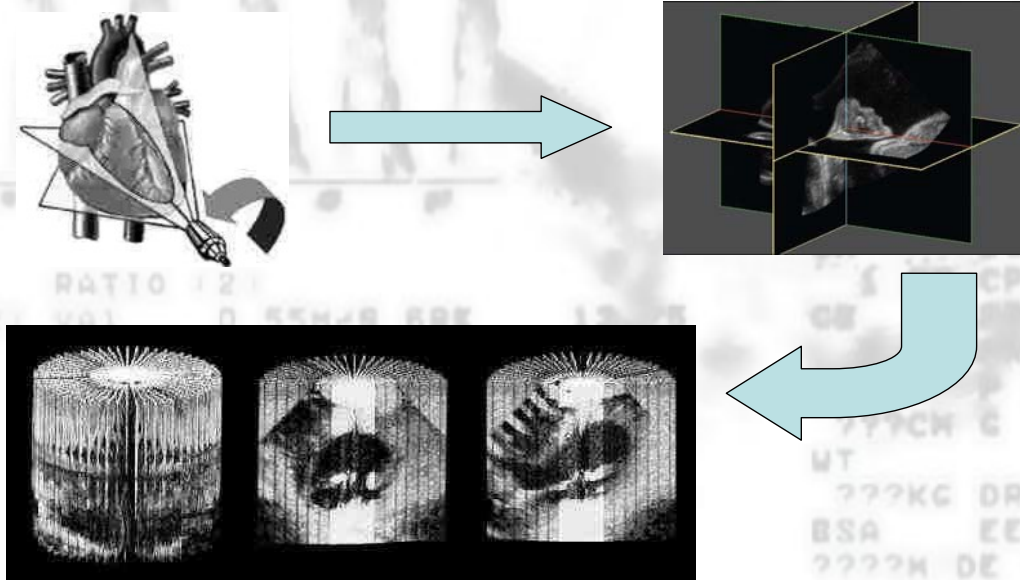


Manos libres



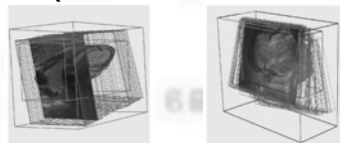
## Ecografías 3D.

- Ejemplo: Barrido por planos ortogonales.

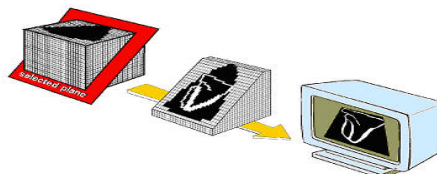


## Ecografías 3D.

- Una vez obtenida la información de los planos, se procesa y se forma un volumen.
- Técnicas de barrido por planos:
  - La más utilizada es la “manos libres”, sin embargo es la que peores prestaciones presenta. Pues depende de la pericia del manipulador (elección adecuada de planos).



- Ejemplo de reconstrucción de un volumen:



8 7C 1  
DA DE 8CC  
1 DB CP 3  
CE 88F 6 0  
88F 5 0  
WT P 2  
777CH G 8  
WT PE  
777KC DR 4  
BSA EE  
7777H DE 13 20





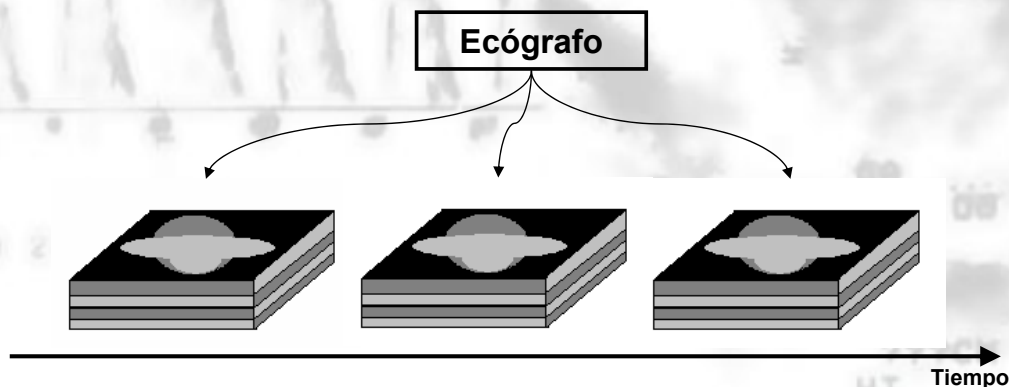
## Ecografías 3D.

- **Modos de visualización:**
  - **Reconstrucción multiplanar:**
    - Despliegue de los tres planos ortogonales en cualquier punto.
  - **Rendimiento de superficie:**
    - Se extraen sólo los ecos más potentes.
    - Se proyecta la imagen tridimensional de un volumen.
  - **Transparencia y máxima intensidad: (Modo de rayos X)**
    - Sólo se extraen los ecos de máxima intensidad.
    - El resto se eliminan



## Ecografías 4D. (Ecografías 3D con movimiento)

- **Mismo procedimiento que en 3D, pero obteniendo información en tiempo real.**







## Ecografías: Evolución.

- Si es tan sencillo aumentar la dimensionalidad de las imágenes, ¿por qué se ha tardado tanto en llevarse a cabo?
  - En 1991 aparecen los primeros ecógrafos 3D.
  - En 1998 tras varias mejoras tecnológicas:
    - 25 segundos en almacenar una imagen.
    - Varios minutos, incluso horas en construir el volumen.
    - Inviabile ecografías tetradimensionales.
  - Actualmente es posible recoger y procesar información en tiempo real.



## Ecografías Doppler.

- Efecto Doppler:

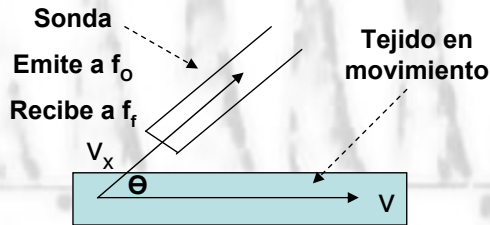


La frecuencia de una señal cambia cuando existe un desplazamiento entre el observador y la fuente.



## Ecografías Doppler.

- Efecto Doppler: Análisis cuantitativo.



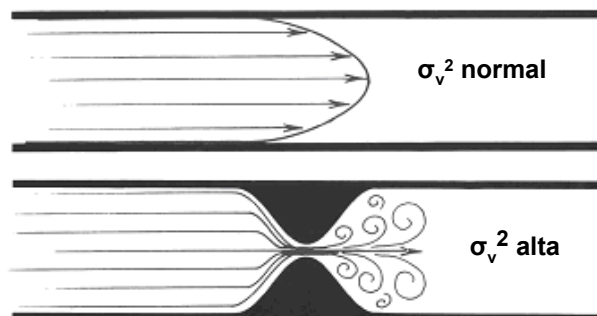
Conociendo la frecuencia a la que emitimos y la que recibimos podemos saber la velocidad del tejido

$$v_x = \frac{c \cdot \Delta f}{2 \cdot f_o \cdot \cos \theta} ; \Delta f = f_f - f_o$$



## Ecografías Doppler.

- EcoDoppler:
  - Útil para analizar tejidos en movimiento:
    - Detección de obstrucción arterial.
    - Estudio de algo parecido a la varianza (Índice de pulsatilidad).

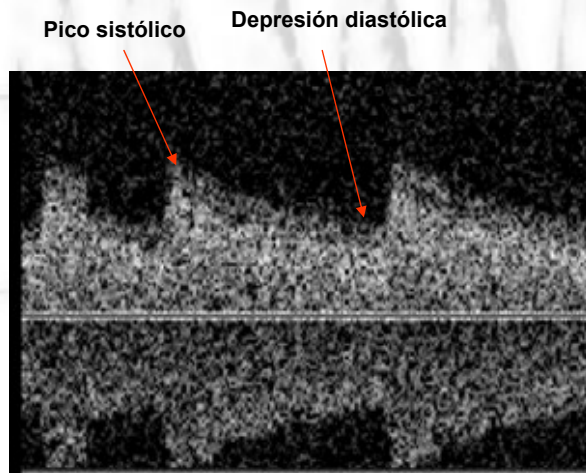




## Ecografías Doppler.

### - EcoDoppler:

#### - Ejemplo de análisis:



Pico sistólico → Velocidad máxima ( $V_s$ )

Depresión diastólica → Velocidad mínima ( $V_d$ )

Velocidad media:  $V_m$ .

Índice de pulsatilidad:  $IP$ .

$$V_m = \frac{V_s + 2 \cdot V_d}{3}$$

$$IP = \frac{V_s - V_d}{V_m}$$



## Ecografías Doppler.

### - Visualizaciones Doppler:

#### - Sistema CW (*Onda continua*):

- Se transmite una onda a una determinada frecuencia.
- Se recibe el eco simultáneamente en otro transductor.
- Se demodula la señal recibida respecto a la frecuencia de transmisión, se calcula su  $F$  y se visualiza.

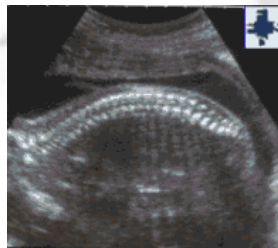
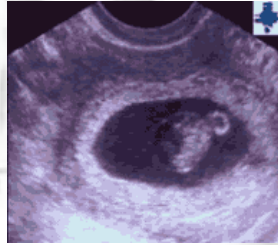
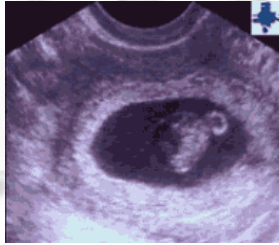
#### - Sistema PW (*Onda pulsada*):

- Proceso parecido.
- No se miden desplazamientos en frecuencia.
- Se visualizan desplazamientos de posición



## Ejemplos de ecografías.

### - Ecografías 2D:



## Ejemplos de ecografías.

### - Ecografías 3D:





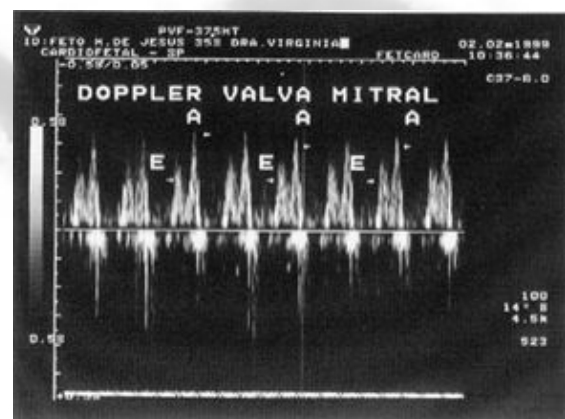
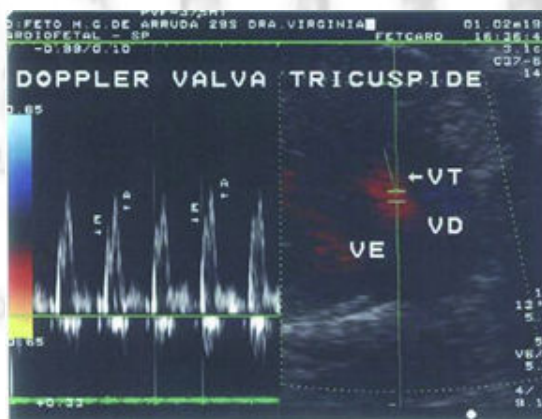
## Ejemplos de ecografías.

- Ecografías 4D:



## Ejemplos de ecografías.

- EcoDoppler:



WT  
???KC DR  
BSA EE  
????H DE 13 20





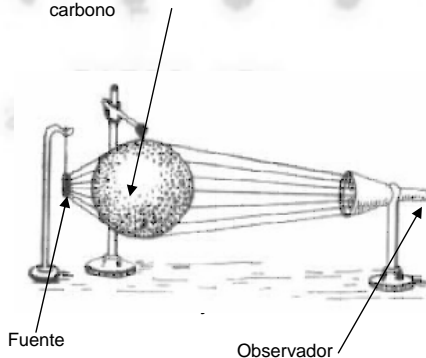
## Aclaraciones y conceptos.

### - 1.- Sistema de enfoque:

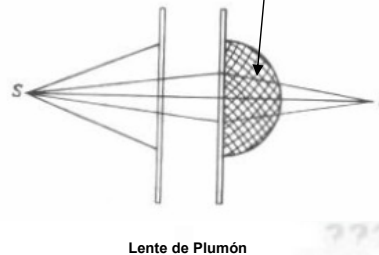
- Para enfocar se utilizan “lentes acústicas”.

- **Lente acústica:**

Esfera hueca hecha de una sustancia preparada a base de colodión, que contiene un gas más denso que el aire, por ejemplo, dióxido de carbono



Semiesfera de malla de alambre llena de plumón que disminuye la velocidad del sonido. Lente convergente para el sonido.



## Aclaraciones y conceptos.

### - 2.- Ventana sónica:

- Normalmente la sonda (transductor) no está en contacto directo con la piel.
- Se expande un gel por la piel, sobre el que se sitúa el transductor. Es lo que se conoce como “ventana sónica”.

- El aire es el “peor enemigo” para la propagación de los ultrasonidos. Donde mejor se propaga es en líquidos.
- Los intestinos (contienen gases) no son ecografiados.
- Para exploraciones ováricas se llena la vejiga.
- También se consideran ventanas sónicas aquellas zonas idóneas para la propagación de ultrasonidos. Ej: Zonas del cráneo de menor grosor, ojo...





## Aclaraciones y conceptos.

### - 3.- Resolución de un ecógrafo:

#### - Dos tipos de resolución:

- Axial: En la dirección de propagación del haz.

$$AR = \frac{\Delta T \cdot c}{2}$$

- Lateral: En la dirección perpendicular al haz.

- Determinada por la anchura del haz.

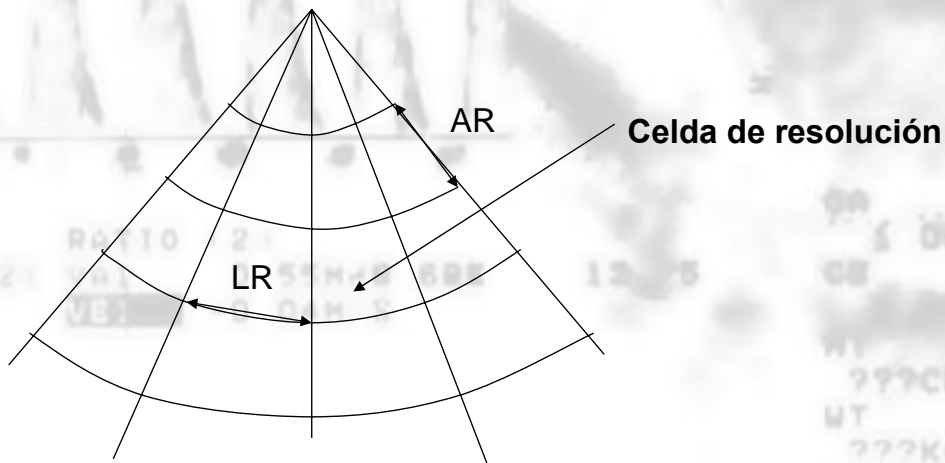
- Varía a lo largo del haz

- Ambos tipos definen la “celda de resolución”.



## Aclaraciones y conceptos.

### - 3.- Resolución de un ecógrafo:





## Aclaraciones y conceptos.

- **Ruido: *Speckle*.**
  - Dentro de una celda de resolución puede haber estructuras microscópicas.
  - Se comportan como dispersores.
  - *Speckle* es el ruido presente en la imagen de ultrasonidos, pero... ¿es beneficioso?
    - No. Es ruido y por tanto modifica la información.
    - Si. Aporta información acerca de la estructura interna del tejido.



## Aclaraciones y conceptos.

- **Ruido: *Speckle*.**
  - La señal a la entrada del receptor es la suma de los ecos procedentes de los dispersores.
    - Componente aleatoria: Pues los dispersores pueden estar colocados aleatoriamente.
    - Componente determinista: Los dispersores pueden presentar periodicidad en la disposición.
  - En recepción se utiliza un detector de envolvente.
    - No coherente → La fase es una VA. Uniforme → Se puede descartar sin problemas.



## Aclaraciones y conceptos.

- **Ruido: *Speckle*.**
  - **Cuatro modelos de ruido:**
    - **Speckle completamente formado: *Número efectivo de dispersores en la celda de resolución es grande.***
    - **Speckle completamente resuelto: *Existen dispersores de alta potencia dentro de la CR.***
    - **Speckle parcialmente formado: *Número efectivo de dispersores bajo dentro de la CR.***
    - **Speckle parcialmente resuelto: *Dispersores presentan cierta periodicidad.***

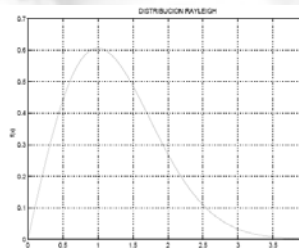


## Aclaraciones y conceptos.

- **Ruido: *Speckle*.**
  - **Speckle completamente formado:**
    - **Fase  $\sim u(-\pi, \pi)$**
    - **Envoltente  $\sim$  Rayleigh.**

$$f_R(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad x > 0,$$

$$\text{SNR}_R = \frac{E(X; f_R)}{\sqrt{\text{var}(X; f_R)}} = 1.91$$

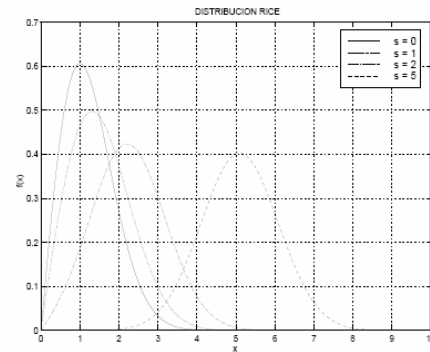


Función densidad de probabilidad Rayleigh para  $\sigma = 1$ .



## Aclaraciones y conceptos.

- **Ruido: Speckle.**
  - **Speckle completamente resuelto:**
    - **Fase**  $\sim u(-\pi, \pi)$
    - **Envoltente**  $\sim$  Rice.



$$f_r(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+s^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{sx}{\sigma^2}\right), \quad x > 0,$$

$$SNR_r = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{s^2}{4\sigma^2}\right) \left[\left(1 + \frac{s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{s^2}{4\sigma^2}\right) + \frac{s^2}{2\sigma^2} I_1\left(\frac{s^2}{4\sigma^2}\right)\right]}{\sqrt{2 + \frac{s^2}{\sigma^2} - \frac{\pi}{2} \exp\left(-\frac{s^2}{2\sigma^2}\right) \left[\left(1 + \frac{s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{s^2}{4\sigma^2}\right) + \frac{s^2}{2\sigma^2} I_1\left(\frac{s^2}{4\sigma^2}\right)\right]^2}}$$

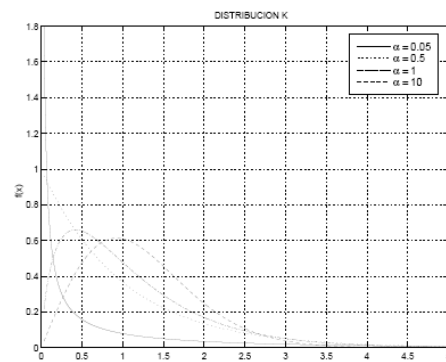


## Aclaraciones y conceptos.

- **Ruido: Speckle.**
  - **Speckle parcialmente formado:**
    - **Fase**  $\sim u(-\pi, \pi)$
    - **Envoltente**  $\sim$  K.

$$f_K(x) = 2 \left(\frac{x}{2}\right)^\alpha \frac{b^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha)} K_{\alpha-1}(bx), \quad x > 0,$$

$$b = \frac{\sqrt{2\alpha}}{\sigma} \quad \left| \quad SNR_K = \left[ \frac{4\alpha\Gamma^2(\alpha)}{\pi\Gamma^2\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)} - 1 \right]^{-\frac{1}{2}}$$



$\alpha$ : Número efectivo de dispersores promedio



## Aclaraciones y conceptos.

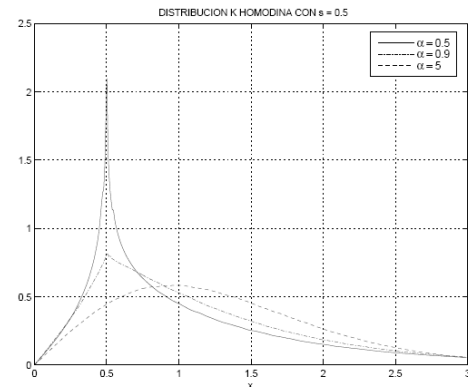
- **Ruido: *Speckle*.**
  - **Speckle parcialmente resuelto:**
  - **Fase  $\sim u(-\pi, \pi)$**
  - **Envolvente  $\sim K$  homodina.**

$$f_{KH}(x) = \int_0^\infty f_r(x/z)f_G(z)dz,$$

$$f_r(x/z) = \frac{x\alpha}{\sigma^2 z} \exp\left(-\frac{\alpha(x^2 + s^2)}{2\sigma^2 z}\right) I_0\left(\frac{sx\alpha}{\sigma^2 z}\right), \quad x > 0$$

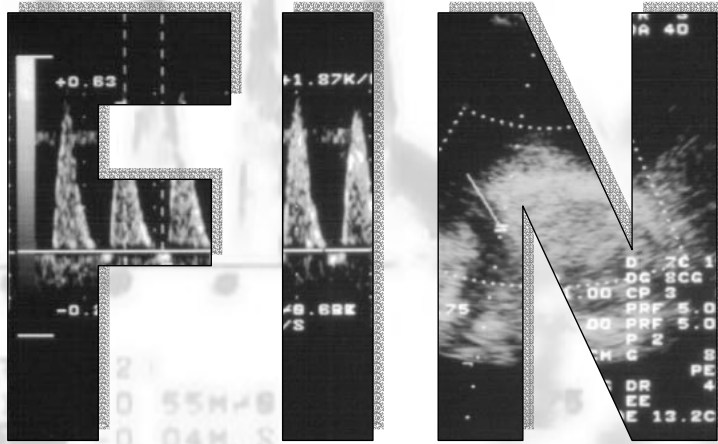
$$f_G(z) = \frac{z^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-z}, \quad z > 0.$$

$$SNR_{KH} = \frac{E(X; f_{KH})}{\sqrt{\text{var}(X; f_{KH})}}$$



## Conclusiones:

- **Sistema eficaz, inocuo y no demasiado costoso.**
- **Fuertemente ligado al desarrollo tecnológico.**
  - **Área electrónica:**
    - **Desarrollo de procesadores.**
  - **Área de procesamiento de señales:**
    - **Obtener mayor resolución con la misma información.**
    - **Paliar efectos del ruido (*Speckle*).**
- **→ Sistema en evolución continua.**
- **Logro de la ingeniería agradecido a la medicina.**



RA 40  
DC 2CC  
CP 3  
DR 4  
EE 13.2C

RA 40  
DC 2CC  
CP 3  
DR 4  
EE 13.2C