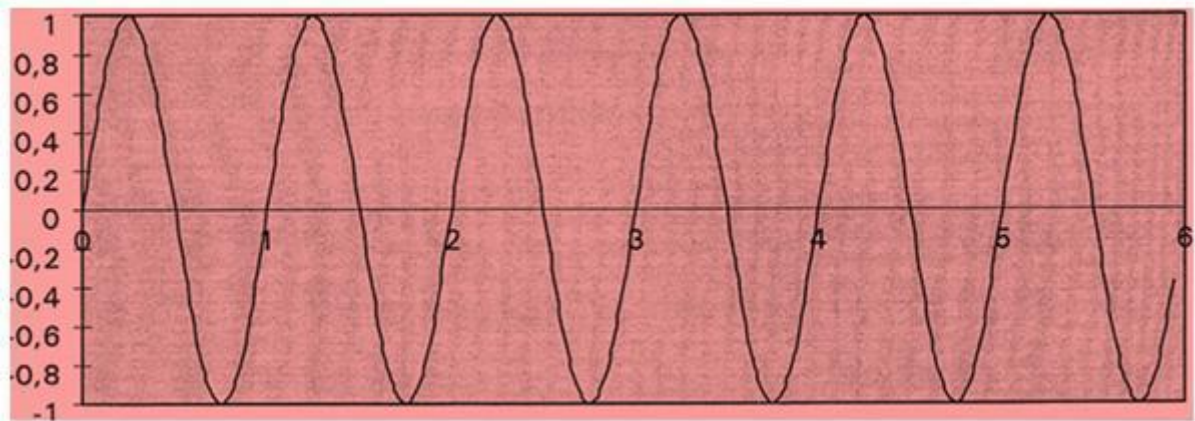


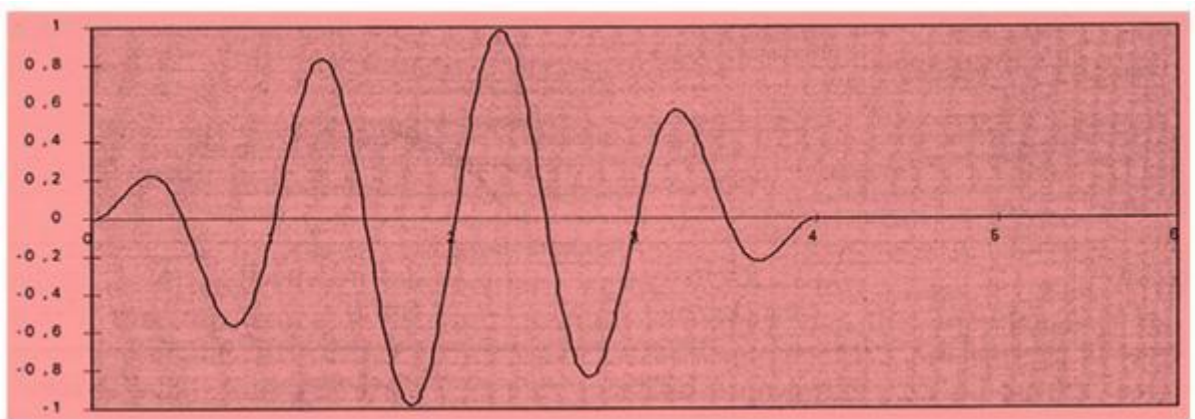
## Principios Físicos de las Ondas de Choque

### Parámetros Acústicos

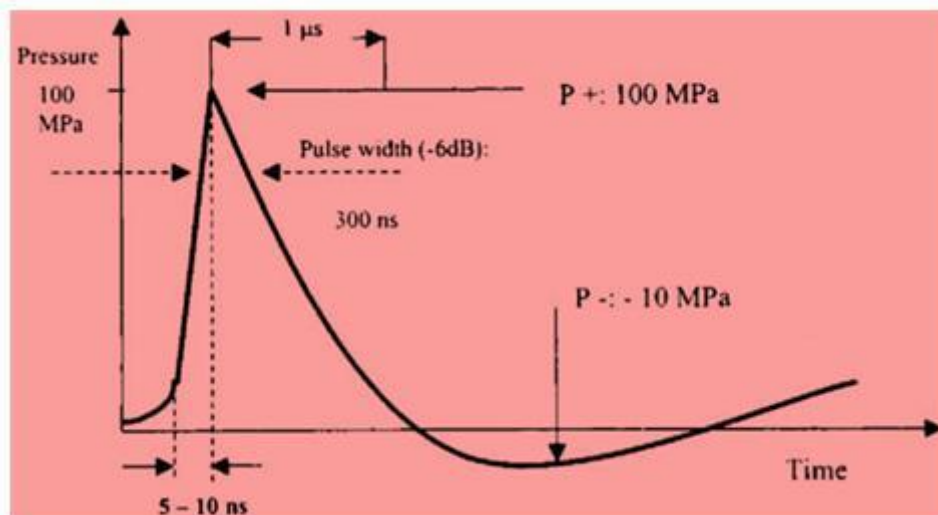
El sonido son ondas mecánicas elásticas longitudinales u ondas de presión. La forma de una onda simple de sonido es una secuencia sinusoidal de fases de presión positivas y negativas (fig. 1).



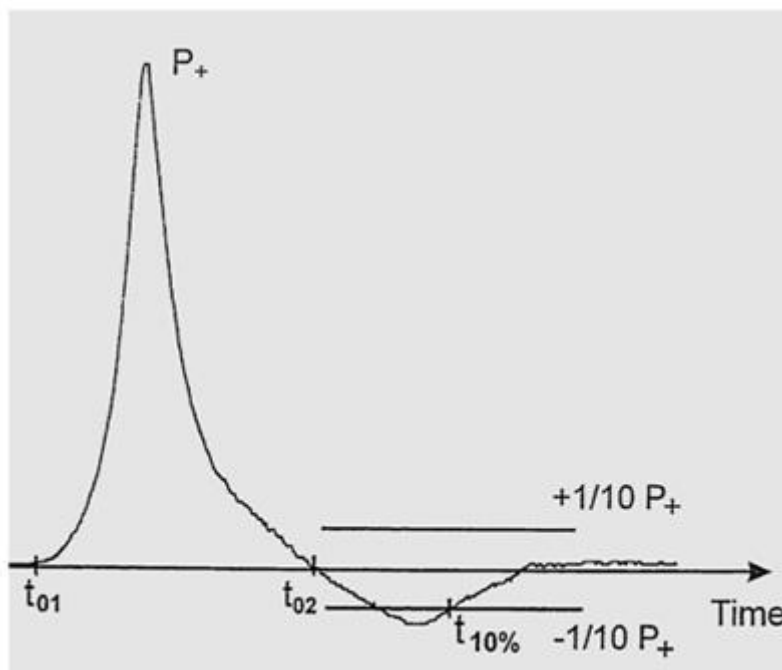
Cuando las oscilaciones son de una frecuencia elevada por encima del espectro audible del oído humano (16.000-20000 Hz) se denomina ultrasonido. En contraposición a esto, un pulso sónico es una fase corta de uno o pocos periodos de señal. (fig.2)



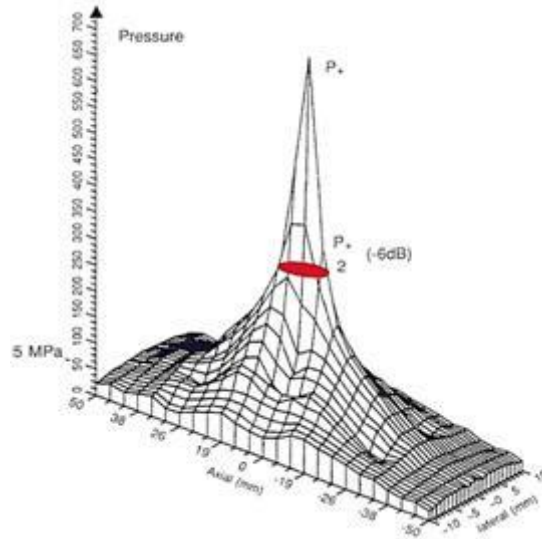
Una onda de choque es una onda acústica o sónica que se eleva por encima de la presión atmosférica en nanosegundos ( $10^{-9}$  s) alcanzando una presión de 100 MPa y después decrece exponencialmente en 1-5 ms hasta la presión atmosférica pasando por una fase de presión negativa de -10 MPa (fig. 3).



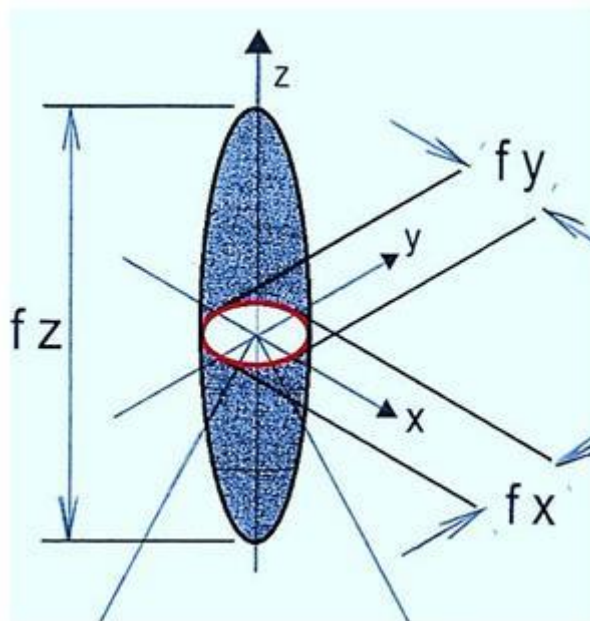
En medicina se utilizan ondas de presión con un rango entre 10-100 megapascales (1 MPa = 10 Bar). Como vemos en la figura 4, la presión rápidamente se eleva hasta un valor pico llamado pico de presión positiva  $P_+$ .



Para obtener información espacial del campo total de una onda de choque, se puede hacer una representación espacial en 3-D de los trazos de la Presión positiva. Acorde con esta representación espacial de la presión, **EL FOCO** se define como la localización del máximo pico de presión acústica positiva  $P_+$  (fig.5).



Las dimensiones del foco son dadas por el contorno de la mitad del pico de presión máximo  $P+/2$ . El volumen de foco a -6db se representa en la (fig.6) donde la distribución  $f_{x(-6dB)}$  y  $f_{y(-6dB)}$  simbolizan la anchura del foco y la longitud del foco viene representada por la  $f_{z(-6dB)}$

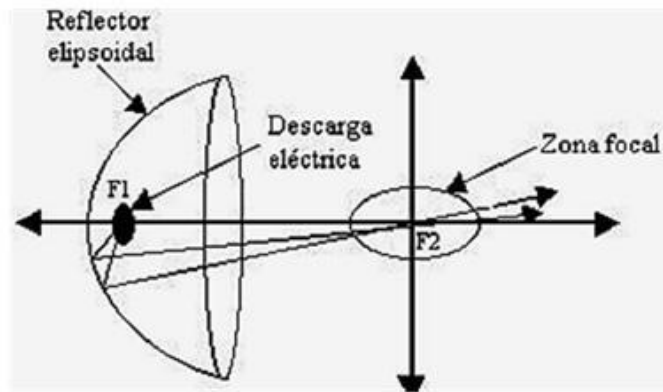


Otro parámetro importante a tener en cuenta es la máxima cantidad de energía acústica transmitida a un área de 1 mm<sup>2</sup> por pulso denominada densidad de flujo energético (ED) y se mide en milijulios (mJ/mm<sup>2</sup>).

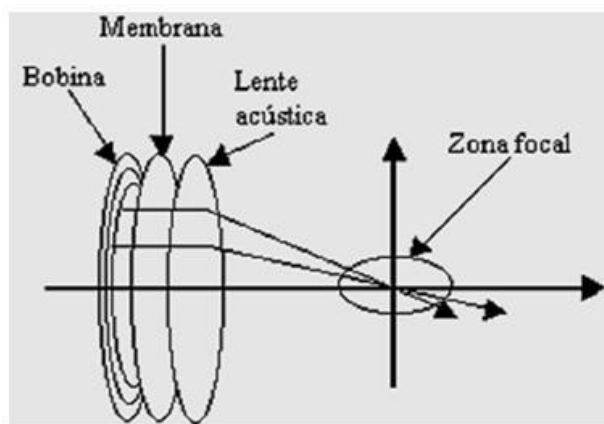
### Generadores de Ondas de Choque

Actualmente los tres tipos de fuentes productoras de ondas de choque son la electrohidráulica, electromagnética y la piezoeléctrica.

La fuente electrohidráulica consiste en una bujía con dos electrodos conectados a un capacitor de alto voltaje de más de 40 nano faradios en un medio líquido conductor, lo que provoca una burbuja de plasma y una onda de choque en el foco 1 y es reflejada y transmitida al foco 2 (fig.7).



En la fuente electromagnética, el pulso eléctrico pasa por una bobina enrollada en forma de espiral próxima a una lámina metálica rodeada de agua. La lámina se flexiona y emite una onda que es focalizada por una lente acústica (fig.8).



En la fuente electromagnética, el pulso eléctrico pasa por una bobina enrollada en forma de espiral próxima a una lámina metálica rodeada de agua. La lámina se flexiona y emite una onda que es focalizada por una lente acústica (fig.8).

### Efectos mecánicos de las ondas de choque

A la distinta resistencia que ofrecen los tejidos del cuerpo humano al paso de las ondas de choque se denomina *impedancia sónica*. En la siguiente tabla se muestra las distintas propiedades acústicas de los medios.

Material	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Velocidad del sonido m/s	Impedancia Ns/m <sup>3</sup>
Aire	1.293	331	429
Agua	998	1.483	$1,48 \cdot 10^6$
Tejido Graso	920	1.410-1.479	$1,33 \cdot 10^6$
Tejido Muscular	1.060	1.540-1.603	$1,67 \cdot 10^6$
Hueso	1.380-1.810	2.700-4.100	$4,3-6,6 \cdot 10^6$
Cálculo renal	1.360-2.160	1.995-4.659	$3,2 \cdot 10^6$
Cálculo biliar	1.100-1.500	1.700-2.100	$1,9-3,1 \cdot 10^6$

Cuando las Impedancias son de medios diferentes, p.e. grasa-músculo, la onda en parte se refleja hacia el medio 1 y en parte se transmiten al medio 2. Si la impedancia del medio 2 es menor que la del medio 1, la presión reflejada tiene un signo negativo. En la transición de un tejido con un órgano con aire como la mayoría de la energía se refleja y no se transmite al medio 2, en esta interfase se producen desgarros y rotura de órganos como el pulmón o intestino (fig.9).

Interfase	Presión reflejada	Energía sonido reflejada	Energía de sonido transmitida
Agua-Grasa	-5%	0,25%	99,75%
Grasa-Músculo	11%	1,2%	98,8%
Músculo-Grasa	-11%	1,2%	98,8%
Músculo Hueso	44-60%	19-36%	81-64%
Músculo-aire	-99,9%	99,9%	0,1%

*Efecto Hopkins:* en una calcificación el efecto destructivo se inicia en la parte contraria a la zona de entrada de la onda donde las fuerzas tensiles sobrepasan la resistencia del material. La onda al salir se transmite de un medio de alta impedancia a uno de baja impedancia como ocurre con el músculo que rodea a una calcificación (fig.10).

