

# EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS Y SUS APLICACIONES

*Mg. Rolando Arellano Rossmann*

## RESUMEN

*Se expone los fundamentos por los cuales los seres humanos pueden percibir las ondas electromagnéticas a través de sus cinco sentidos y también de aquellas ondas que no las pueden percibir. El conocimiento de ambas ondas es una tarea de la ciencia física, en el cual se fundamentan las múltiples aplicaciones que dan confort a la nuestra vida cotidiana. Basta mencionar algunas de estas aplicaciones: las telecomunicaciones (teléfono, radio, televisión, internet, etc.), audio, video, sismógrafo, rayos X, densitometría ósea, ecografía, sonar, etc.*

## INTRODUCCIÓN

Este artículo pretende dar a conocer un fenómeno que los hombres a través de los tiempos y mediante la física ha tratado de entender, estudiar y aplicar, fenómeno que los seres vivos usamos en todo momento, para interactuar en nuestro entorno y para mejorar nuestra calidad de vida. Esta interacción lo realizamos desde que nacemos hasta el momento que dejamos de existir. Ese fenómeno lo constituye el *efecto oscilatorio de las partículas y de las ondas electromagnéticas*. Muchos nos preguntaremos, ¿qué tiene que ver el efecto oscilatorio con los seres vivientes? ¿Podemos percibir el movimiento de las partículas o de las ondas electromagnéticas?, ¿cuál es el interés de conocer estos efectos?, ¿qué provecho se puede obtener de ello? Estas preguntas y muchas otras vamos a tratar de responderlas.

Como un adelanto diremos que todos los seres vivos pueden percibir estos efectos a través de sus sentidos. Así, a través del tacto y de la piel podemos sentir las vibraciones que produce un sismo o las radiaciones solares;

a través del oído podemos percibir las señales audibles, la música, el habla; a través de la vista podemos ver la luz del día, los colores de las flores y de los campos. Además de la percepción de estos efectos, el hombre ha logrado usarlos para transmitir la voz y las imágenes a grandes distancias y como si fuera poco, estas señales oscilatorias se utilizan en la medicina, en la biología, para examinar las partes internas de los cuerpos y para investigar las características de todos los seres en el universo; y muchas aplicaciones más que en este artículo no es posible detallar.

## 1. LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Para entender el movimiento oscilatorio de las partículas y de las ondas electromagnéticas es necesario conocer algunas variables que intervienen para su descripción y análisis; esto lo presentaremos de la manera más simple para que sea accesible a todos, dado que el objeto de este artículo es el de difundir estos conceptos que los considero de interés general.

Gráficamente presentamos el movimiento oscilatorio de una partícula, ésta se muestra en la figura 1, en la que se observa que su movimiento es el tipo sinusoidal y como tal las oscilaciones tienen una amplitud, tienen un período y una frecuencia. Las variables que intervienen en los movimientos oscilatorios son los siguientes:

**Período ( $\lambda$ )** = Es el tiempo comprendido entre dos valores máximos (entre dos crestas) su unidad es el segundo.

**Ciclo** = Es el recorrido que hace una partícula durante un periodo

**Frecuencia** = Es el número de ciclos que se genera durante una unidad de tiempo, su unidad es el hertz.

Cuando una señal oscilatoria se desplaza puede encontrar muchos medios, por ejemplo el aire, se puede desplazar a través de un medio metálico, líquido, gaseoso; cada uno de estos medios tiene una temperatura, una presión y una densidad razón por la cual su velocidad de desplazamiento estará condicionado a todos estos factores y a los que tiene la onda que se desplaza; de aquí es por el que consideramos los siguientes otros factores que intervienen en el desplazamiento de estas señales.

- **Impedancia acústica:**

Es la detección y representación del sonido reflejado o ecos. Para que se produzca un eco debe existir una interfase reflecto-

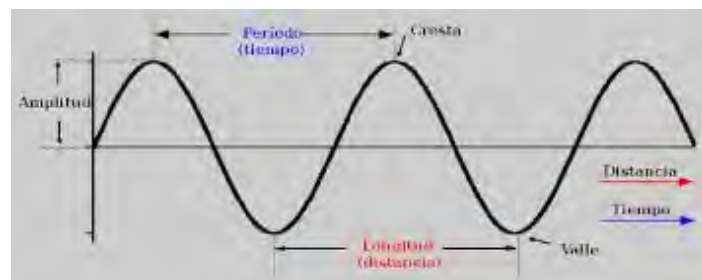


Fig. 1. Movimiento de una partícula

**Amplitud** = Es el valor máximo que toma en el sentido positivo o negativo de la onda.

Entre estas variables se tiene las siguientes relaciones;

**Frecuencia ( $f$ )** =  $1/\lambda$  se expresa en hertz

**Periodo( $\lambda$ )** =  $1/f$  se expresa en segundos

**La función que describe esta onda es :**

$$f(t) = A \sin(\omega t)$$

Donde  $\omega = 2\pi f$

$$f = \frac{1}{t}$$

ra. Un medio completamente homogéneo no encuentra interfases en que reflejarse y el medio aparece con áreas sin ecos. La cantidad de reflexión o dispersión hacia atrás depende de la impedancia acústica de los materiales.

$$Z = \rho v$$

- **Z**= impedancia
- $\rho$ = densidad del medio que propaga
- $v$ = velocidad del sonido.

- **Reflexión:**

Está dada por el tamaño y la superficie de la interfase. Y este no es más que el cam-

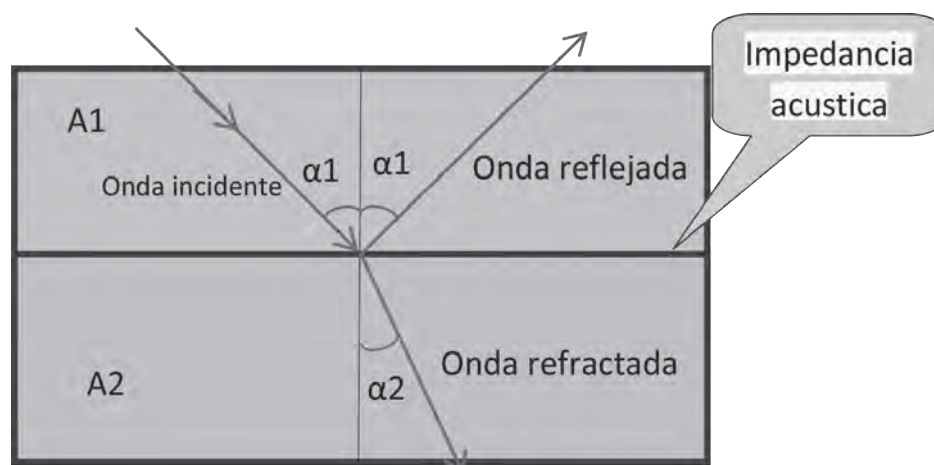


Fig. 2. Medios de diferente densidad

bio que experimenta la dirección de una onda cuando esta choca con la interfase entre dos medios de diferente impedancia acústica.

La figura 2 muestra dos medios de diferente densidad A1 y A2 por la cuales pasa una onda mecánica; por la superior de la muestra A1 ingresa una onda incidente con un ángulo  $\alpha_1$ , al tocar con la impedancia acústica, una parte de esta onda se refleja con el mismo ángulo  $\alpha_1$  y otra parte ingresa al medio A2 refractándose con un ángulo  $\alpha_2$ . Debe de entender que todo cuerpo orgánico puede estar formado por medios o capas de diferente densidad (hueso, carne, grasa, hígado, etc.) y cuando una onda mecánica pasa de un medio a otro se producen reflexiones de diferente intensidad dependiendo de la impedancia acústica que encuentre en su recorrido. Esto hace que las señales reflejadas tengan diferentes intensidades, las cuales se pueden observar en una pantalla como zonas de mayor o menor iluminación. El análisis de estas señales permite estudiar o diagnosticar el estado de dichos órganos

- **Refracción:**

Cambio de dirección de propagación que experimenta una onda al cruzar una interfase entre dos medios con diferentes

velocidades de propagación del sonido. Y se encuentra gobernada por la ley de SHELL.

$$\text{Sen } \theta^1 / \text{Sen } \theta^2 = d_1 / d_2$$

$\theta^1$ = ángulo de incidencia del sonido que se aproxima a su interfase.

$\theta^2$ = ángulo de refracción.

$d_1$ ,  $d_2$  representan las densidades de los medios.

- **Atenuación:**

El movimiento de la energía acústica a través de un medio uniforme conlleva a la realización de un trabajo, transfiriéndose la energía el medio en forma de calor. Esta depende de la frecuencia y la naturaleza del medio.

**Ondas**

Una onda es la oscilación ocasionada por la perturbación de alguna propiedad de un medio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, y se propaga a través de dicho medio, implicando un transporte de energía sin transporte de materia. El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa como aire, agua, un trozo de metal, incluso, inmaterial como el vacío.

Cuando estas ondas necesitan de un medio material para propagarse, se llaman **ondas mecánicas**. Las únicas ondas que pueden propagarse en el vacío son las **ondas electromagnéticas**.

La diferencia entre las ondas mecánicas y ondas electromagnéticas es :

**Ondas mecánicas**

Las ondas mecánicas son generadas por la perturbación de la propiedad de algún medio, por ejemplo cuando hablamos frente a un micrófono se hace vibrar un diafragma, son estas vibraciones las que se propagan, otro ejemplo lo constituye cuando se hace pasar una corriente oscilante por un parlante, el cono del mismo comienza a vibrar y son estas vibraciones las que producen compresiones y expansiones del aire y que son las que se propagan como ondas sónicas.

Las ondas mecánicas tienen las siguientes características:

- Necesitan un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso ) para propagarse, no se propagan a través del vacío
- Las partículas oscilan alrededor de un punto fijo por lo que no existe transporte neto de energía.
- La velocidad de propagación del sonido depende de las propiedades físicas de los tejidos o del medio por el que se propaga.
- La resistencia del medio a la compresión depende de la elasticidad del medio, de su rigidez y de su densidad. Al aumentar

la rigidez del medio aumenta la velocidad y al aumentar la densidad disminuye la velocidad.

- La velocidad de propagación en los tejidos es de más o menos 1540 m/s.

$$v = f\lambda \text{ (fórmula).}$$

**Ondas electromagnéticas**

- Se generan mediante dispositivos electromagnéticos, normalmente se usan cristales que oscilan debido a su efecto piezoeléctrico o circuitos formados por capacidades e inductancias las que oscilan a una frecuencia determinada y generan las señales oscilantes. Para que estas señales se puedan propagar al espacio se utilizan amplificadores que le proporcionan la energía necesaria y a través de antenas emisoras se emiten al espacio
- Se propagan por el espacio sin la necesidad de un medio, por ende pueden propagarse por el vacío.
- Se propagan a la velocidad de la luz, aproximadamente a  $c=3 \times 10^8$  m/s

**Espectro de frecuencias**

El espectro de frecuencias es una representación gráfica de las ondas y su campo de aplicación en función de la frecuencia, éste se muestra en la figura 3. En este gráfico el eje x es un eje logarítmico que representa la frecuencia que va desde 1 hz hasta los  $10^{20}$  hz.

El eje de frecuencia además de estar de-

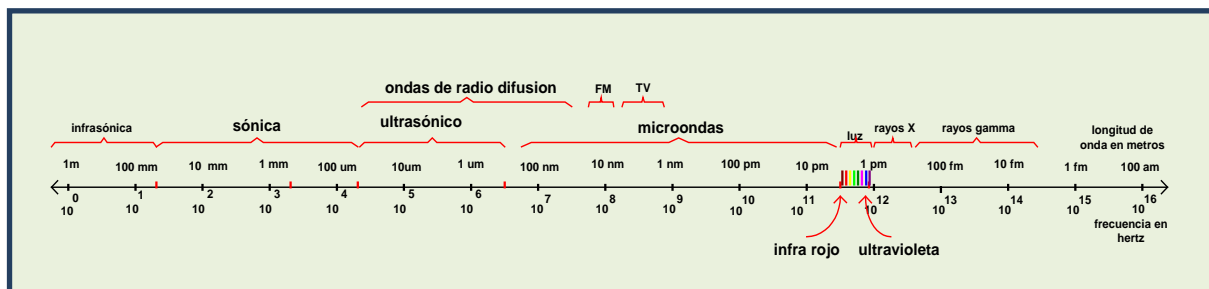


Fig. 3 Espectro de frecuencias

marcado logarítmicamente está rotulado por campos de acción, nos referimos de izquierda a derecha a los campos: frecuencias infrasónicas, frecuencias audibles o sónicas, frecuencias ultrasónicas, frecuencias que corresponden a la transmisión de las señales de audio y de video, frecuencias que corresponden a las microondas, frecuencias de la luz y a las frecuencias superiores a las de la luz como son los rayos x y rayos gamma.

nombre	símbolo	valor
Metro	m	$10^0\text{m}$
milímetro	mm	$10^{-3}\text{m}$
Micrómetro	um	$10^{-6}\text{m}$
Nanómetro	nm	$10^{-9}\text{m}$
picómetro	pm	$10^{-12}\text{m}$
Fentómetro	fm	$10^{-15}\text{m}$
attómetro	am	$10^{-18}\text{m}$

En la tabla se muestra las unidades de medida que se emplea para graficar en potencias de 10 la escala de frecuencia

## 2. FRECUENCIAS INFRASÓNICAS

Se considera como frecuencia infrasónica a las frecuencias mecánicas inferiores a 20 hz, éstas frecuencias casi no las percibe el oído humano aunque si algunos animales, los humanos lo perciben a través del tacto, así nosotros la podemos percibir mediante las manos o todo nuestro cuerpo como vibraciones; son generadas por los movimientos telúricos u objetos de gran dimensión, por ejemplo cuando arranca o decola un avión.

### **Aplicaciones**

Estas señales son utilizadas por animales de gran tamaño para comunicarse, tales como los elefantes, ballenas.

Las empresas que trabajan con cables, tales como las empresas eléctricas, telefónicas para detectar las interrupciones que se producen en estos cables. En estos casos

se hace uso de las señales infrasónicas por sufrir menos absorción de energía con respecto a las señales ultrasónicas. La forma de determinar la localización de una falla es emitiendo una señal infrasónica y midiendo el tiempo de retorno del eco que se genera cuando se detecta la falla; si se conoce la velocidad con que se desplazan las ondas y se conoce el tiempo que le ha demandado para ir donde se encuentra la falla y el tiempo de retorno se puede calcular la distancia en que se encuentra el desperfecto.

Estas señales también se emplean en la medicina para el tratamiento de la osteoporosis y en las enfermedades de los huesos. También se aplica para detectar y localizar el epicentro y magnitud de un sismo.

### **¿Cuál es el interés de conocer este rango de frecuencias?**

Considero que el interés radica en conocer por ejemplo sus efectos, su velocidad de propagación a través de los diferentes medios (el aire, el agua, los metales y otros), como aislarnos de estas vibraciones; esto nos permitiría protegernos de los sismos y de las vibraciones que producen grandes vehículos. Conociendo su velocidad de propagación podemos predecir el tiempo en que llegará una onda sísmica que se ha producido en un punto determinado e incluso determinar las coordenadas del lugar donde se ha producido si conocemos la direccionalidad de su propagación.

### **Audio frecuencias**

Las frecuencias que el oído humano puede percibir están comprendidas entre los 20 hz hasta 20 kh. Obviamente este rango de frecuencia no lo escucharán todas las personas, dado que en gran medida va a depender de la edad y del estado de nuestro órgano auditivo; en las personas de edad avanzada el rango de frecuencias audibles disminuye. Entiéndase por rango de frecuencias la diferencia entre la frecuencia más alta a la más baja.

Las ondas sonoras se generan con el habla



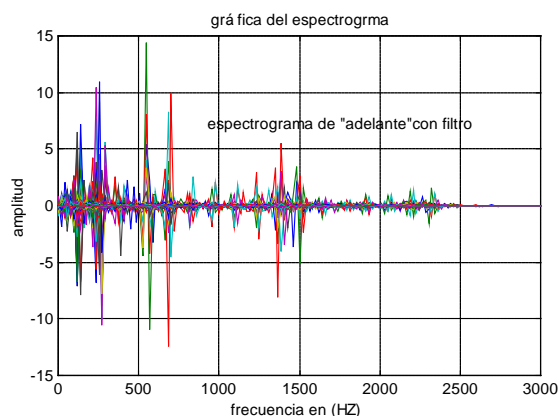


Fig.4 Espectro de una frecuencia de voz

de las personas o los sonidos que producen los animales cuando se manifiestan, mediante los instrumentos acústicos, vibraciones del aire, etc.

En la fig.4 se muestra el espectro de frecuencia de una voz humana, en ésta se puede apreciar que se encuentra formada por la unión de un gran número de frecuencias (cada color representa una frecuencia diferente).

La velocidad del sonido en alguno de los medios es:

- En el aire (a una temperatura de 20°C) es de 343 m/s.
- En el agua (a 35°C) es de 1493 m/s (a 22° C) es de 1500 m/s.
- En la madera de 3900 m/s.
- En el hormigón es de 4000 m/s.
- En el acero es de 6100 m/s.
- En el aluminio es de 5100 m/s.
- En el vidrio es de 5200 m/s.

### **¿Cuál es el interés de conocer el comportamiento de las frecuencias del sonido?**

Estimo que en este punto todos están de acuerdo que el sonido es el medio que no solo nos permite comunicarnos sino también recrearnos mediante la música y por ende necesitamos saber: cómo generarlos,

controlar su amplitud para amplificarlos o reducirlos, necesitamos saber cómo transmitirlos a grandes distancias, saber cómo almacenar y conservar la voz, la música en el tiempo, necesitamos poder reconocer a quien corresponde una determinada palabra, etc. ; todo ello abre un abanico de investigación que nos permita satisfacer todas estas necesidades en las mejores condiciones posibles.

Como una referencia diremos que casi todos los animales vertebrados son capaces de emitir sonidos; así por ejemplo los humanos mediante el habla, los perros mediante el ladrido, las aves mediante su canto etc.; muchos otros sonidos se pueden producir en forma electromecánica o en forma electrónica. Para grabar o reproducir una señal mecánica se hace uso de transductores que se les conocen como micrófonos. Para su amplificación se usan los amplificadores electrónicos a base de semiconductores y para su almacenaje se dispone de dispositivos de memoria a base de cintas o discos optomagnéticos, magnéticas y también de dispositivos de memoria electrónicos.

### **3. FRECUENCIAS ULTRASÓNICAS O ULTRASONIDO**

Se considera frecuencias ultrasónicas a todas aquellas superiores a los 20 khz.; estas frecuencias no pueden ser percibidas por el oído humano pero sí por muchos animales y son a estas frecuencias con las que se comunican o con las que navegan.

Las frecuencias ultrasónicas tienen un campo de aplicación relativamente grande. Para su entendimiento es necesario conocer los factores que intervienen en su entendimiento y aplicación: la frecuencia, potencia radiada, la duración de su radiación, la velocidad de desplazamiento en el medio y los efectos sobre el medio, la reflexión, dispersión y difracción de estas ondas cuando inciden o atraviesan un medio. Del análisis de todas estas

variables nos es posible sacar conclusiones del medio u objeto que se estudia.

### **Aplicaciones**

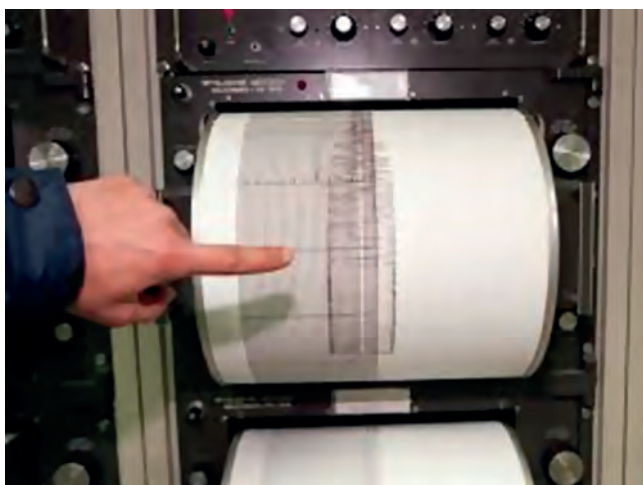
Entre las aplicaciones más importantes de los ultrasonidos se citan: en la navegación submarina utilizados para detectar en el mar bancos de peces, presencia de objetos en las profundidades del mar (barcos, rocas, iceberg); para estas aplicaciones se lanzan pulsos de ondas ultrasónicas, luego de un intervalo de tiempo se recibe el rebote (eco) de estas ondas, conociendo la velocidad de propagación y el tiempo transcurrido se puede determinar la distancia en que se encuentra el objeto que ha ocasionado la reflexión.

Se aplica como detectores de grietas en los materiales metálicos (opacos a las radiaciones electromagnéticas), en este caso se toma en cuenta la velocidad de propagación de los ultrasónicas y la densidad del medio por el cual se propaga; si el metal por el que se propaga la onda tiene una densidad y en su trayectoria encuentra otra densidad, produce un efecto de reflexión. Midiendo el tiempo transcurrido entre el instante en que se emite la onda ultrasónica y el instante en que se mide la reflexión nos da la posición de la grieta.

También se usan en la medida de propiedades elásticas de los sólidos y de materias



Ecocardiografía



Sismógrafo

plásticas artificiales (como altos polímeros); en el trabajo mecánico de materiales extremadamente duros, donde el utensilio se sustituye por una cabeza radiante ultrasónica con una pasta abrasiva intermedia; la producción de emulsiones entre dos líquidos de densidad diferente mediante las irradiaciones de la superficie de separación; la precipitación de partículas en suspensión en un gas por efecto de la coagulación de las mismas y que se produce por la acción de una intensa radiación ultrasonora.

Además, se aplican en ciertos procedimientos metalúrgicos, como el refinado de los granos cristalinos durante el enfriamiento de las coladas fundidas; la ventilación de metales fundidos mediante irradiación por ultrasonido y la soldadura del aluminio mediante la irradiación ultrasónica de las superficies que se van a soldar para eliminar la capa superficial de óxido.

En el campo de la medicina tiene una gran aplicación, las ecografías para detectar la

forma, el tamaño del órgano interno de una persona o de un animal.

Finalmente se aplican también los ultrasonidos en bacteriología (destrucción de microorganismos) y en medicina (curación de enfermedades del oído, neuritis, periartritis, artrosis y úlceras).

En este artículo me he referido solo a las ondas mecánicas, considero que cada uno de los puntos tratados nos presenta todo un campo donde se puede investigar fundamentalmente en cuanto a sus posibles aplicaciones, tomando como base el comportamiento de estas ondas para cada una de las variables que intervienen y la combinación de ellas, así como los dispositivos que la generan, que la detectan e instrumentos que nos permiten realizar las mediciones.

En otro artículo trataré de dar un vistazo a la teoría de las ondas electromagnéticas, este es otro campo de la física que tiene muchas aplicaciones y que considero hay mucho más por conocer.

