

Ondas en dos dimensiones

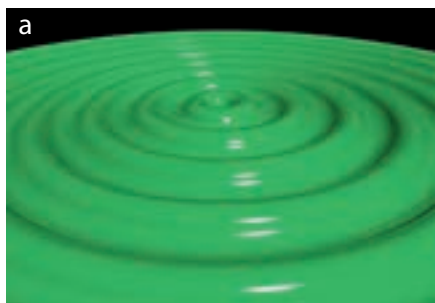


Fig. 1. a) Ondas bidimensionales circulares provocadas por un agente externo puntual,
b) Ondas bidimensionales planas provocadas por un agente externo recto.



Fig. 2. Cubeta de ondas.

Introducción

Hasta ahora hemos estudiado casos en que las ondas se propagan en una sola dirección, llamadas unidimensionales. En una cuerda horizontal, una perturbación puede propagarse a la derecha o a la izquierda, pero no hacia arriba ni hacia abajo. Si perturbamos rítmicamente la superficie del agua, se generan ondas que se propagan en un plano. Recuerda que a éste tipo de ondas se les denomina **ondas bidimensionales**. Si el agente externo que genera la perturbación es puntual, se producirán ondas circulares. Si es un objeto recto extenso como una regla, se producen ondas planas (fig 1)

Denominamos **frente de ondas** a la línea que une todos los puntos contiguos del medio que se encuentran en fase en cierto instante. Los frentes de ondas circulares aumentan uniformemente de radio a medida que pasa el tiempo, mientras que los frentes de ondas planos se mueven paralelos entre sí, en una dirección y sentido determinado.

En los liceos, el estudio experimental de las ondas en dos dimensiones, suele realizarse utilizando una **cubeta de ondas** (fig 2). El generador de ondas vibra y, junto con él lo hace un elemento puntual o plano en contacto con el agua. Este agente externo producirá ondas circulares o planas en la superficie del agua que está en la cubeta. Un foco en la parte superior emite luz que ilumina la cubeta. La luz al atravesar el agua se refracta. Crestas y valles actúan como lentes convergentes y divergentes; y en la pantalla debajo de la cubeta se forman imágenes de las ondas generadas en el agua, que nos facilitan su estudio.

Características de las Ondas

Algunas características de las ondas unidimensionales en una cuerda tensa, siguen siendo válidas en ondas que se propagan en un plano.

- La velocidad de propagación de las ondas depende únicamente de las características del medio.
- Amplitud, frecuencia, período y longitud de onda se definen de la misma forma.
- La frecuencia de las ondas es la misma que la frecuencia de la fuente externa que las origina.
- $v_p = \lambda \cdot f$

Representación de las Ondas Bidimensionales

Para representar este tipo de ondas de forma sencilla, lo haremos siempre utilizando una "vista aérea", donde aparecerá con trazo grueso la línea que representa una cresta (frente de ondas) (fig 3). Si es necesario trazaremos punteado la línea que representa los valles (frente de ondas).

Aquí también podríamos aplicar el concepto de rayo para visualizar el desplazamiento de los pulsos de las ondas. La figura 4 representa frentes de onda que viajan por el agua en la cubeta. Si trazamos líneas perpendiculares a estos frentes, con el mismo sentido que la velocidad de propagación, obtenemos "rayos" que representan dirección y sentido de la propagación del frente de ondas. En el caso de las ondas circulares, obtenemos direcciones radiales y sentido hacia fuera. Para los frentes rectos, líneas paralelas, resultado esperable ya que la dirección y el sentido de la velocidad de propagación es única.

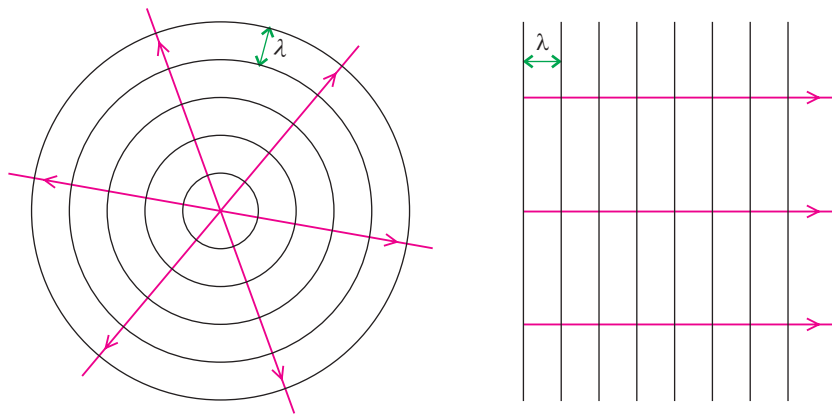


Fig. 4. Representación esquemática de ondas circulares y planas. Los "rayos" representan dirección y sentido de la propagación del frente de ondas. En las ondas circulares son radiales y en las ondas planas son paralelos.

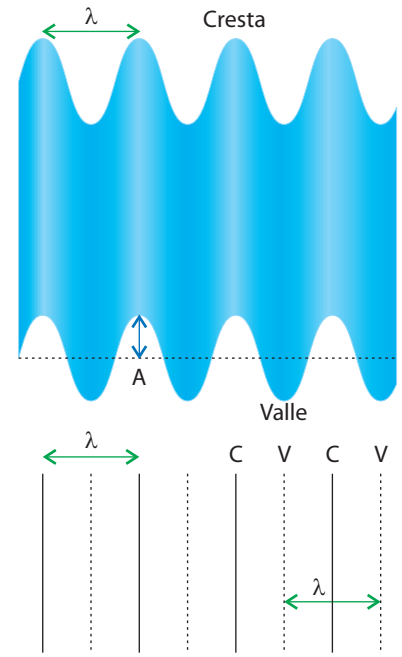


Fig. 3. Representación esquemática de una onda bidimensional. Las crestas se representan con trazo grueso y los valles con trazo punteado. La distancia entre dos frentes de onda consecutivos es la longitud de onda " λ ".

Reflexión de Ondas Bidimensionales

Supongamos que un frente de ondas planas se propaga en la cubeta e incide en una barrera fija también plana (fig 5). El frente de ondas se refleja obteniéndose una onda reflejada también plana. En la figura trazamos los rayos que representan la propagación de los frentes de ondas incidente y reflejado.

Denominaremos:

Ángulo incidente al formado entre las direcciones de los rayos incidentes y la dirección normal a la barrera. Se representa \hat{i} .

Ángulo reflejado al ángulo formado entre las direcciones de los rayos reflejados y la dirección perpendicular (normal) a la barrera. Se representa \hat{r} .

Se cumple la segunda Ley de la Reflexión ya estudiada en el capítulo N° 2, la que nos especifica la relación entre los ángulos incidente y reflejado.

$$\hat{i} = \hat{r}$$

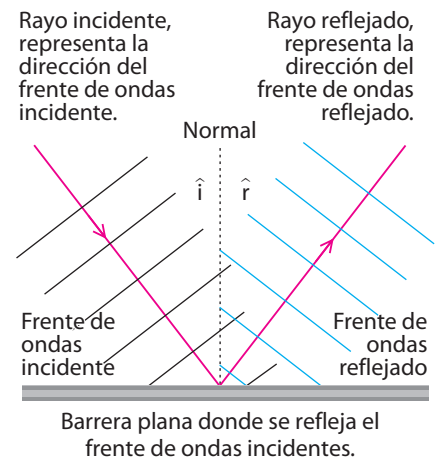


Fig. 5. Reflexión de ondas planas en un obstáculo plano.

Frecuencia, velocidad de propagación y longitud de onda en la reflexión de las ondas bidimensionales.

La frecuencia de las ondas incidente y reflejada es la misma. Como ambas ondas se propagan en un mismo medio, su velocidad es la misma. Recuerda $v_p = \lambda \times f$. Si la v_p y la frecuencia permanecen constantes podemos concluir que las longitudes de onda de las ondas incidente y reflejada son iguales.

Refracción de ondas en dos dimensiones

Ahora supongamos que en lugar de una barrera tenemos en la cubeta dos zonas con diferentes profundidades. El cambio en la profundidad es una modificación de las propiedades del medio, por lo que la velocidad de las ondas en el agua será distinta en ambas regiones. La velocidad en la zona de mayor profundidad será mayor que en la de menor profundidad.

¿Cambia alguna otra característica de las ondas al cambiar la velocidad de propagación?

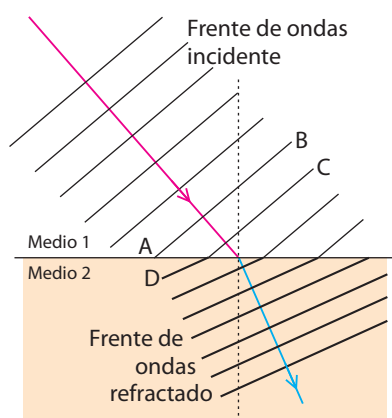


Fig.6. Refracción de una onda plana. Cambio de dirección de un frente de ondas al cambiar de medio. Al disminuir la velocidad de propagación del frente de ondas, su dirección cambia, acercándose a la normal.

Analicemos la figura 6 que representa esta situación. Un frente de ondas planas incide de forma oblicua en la frontera que separa dos medios. El punto "A" del pulso "AB" llega al otro medio y al ingresar al medio 2 cambia de velocidad, moviéndose (en este ejemplo) más lento. El punto "B", que aún no ha cambiado de medio, mantiene su velocidad. Esta diferencia momentánea de velocidades hace que el frente de ondas al cambiar de medio, cambie de dirección.

Esta desviación la podemos explicar de la siguiente forma: en un intervalo de tiempo Δt el punto "A" se desplaza una distancia "AD", mientras que el punto "B" en ese mismo tiempo se desplaza una distancia "BC". Como las velocidades son diferentes (en este caso la velocidad en el medio 1 es mayor que en el medio 2), "BC" es mayor que "AD".

Si trazamos los rayos que representan la dirección de propagación del frente de onda incidente y refractado, observamos que al cambiar de medio se acercan a la normal. Dicho de otra forma, el ángulo que forman los rayos incidentes con la normal \hat{i} , es menor que el ángulo que forman los rayos refractados con la normal \hat{r} . En cambio si la velocidad de las ondas en el medio 2 es mayor que en el medio 1 los rayos refractados se alejan de la normal.

Frecuencia, velocidad de propagación y longitud de onda en la refracción de una onda bidimensional.

En el capítulo anterior vimos que la frecuencia de una onda que se transmite de una cuerda a otra no cambia. Esta propiedad sigue cumpliéndose para ondas en dos dimensiones. La frecuencia de las ondas refractadas e incidentes es la misma. Las velocidades de propagación son diferentes en cada medio.

Como $v_p = \lambda \times f$ se deduce que:

si v_{p1} es mayor que $v_{p2} \Rightarrow \lambda_1$ es mayor que λ_2 (Fig 7).

Analicemos con más detalle la refracción de un pulso plano. La figura 8 muestra un pulso plano "AB", justo en el momento que comienza a cambiar de medio y el pulso A'B' que es el pulso "AB" ya refractado, es decir cuando se transmitió completamente al medio 2. También se muestra la superficie que separa los dos medios y los rayos incidente y refractado.

El ángulo BAB' es igual al ángulo \hat{i} , por tener sus lados perpendiculares entre sí. El ángulo AB'A' es igual al ángulo \hat{r} por la misma propiedad.

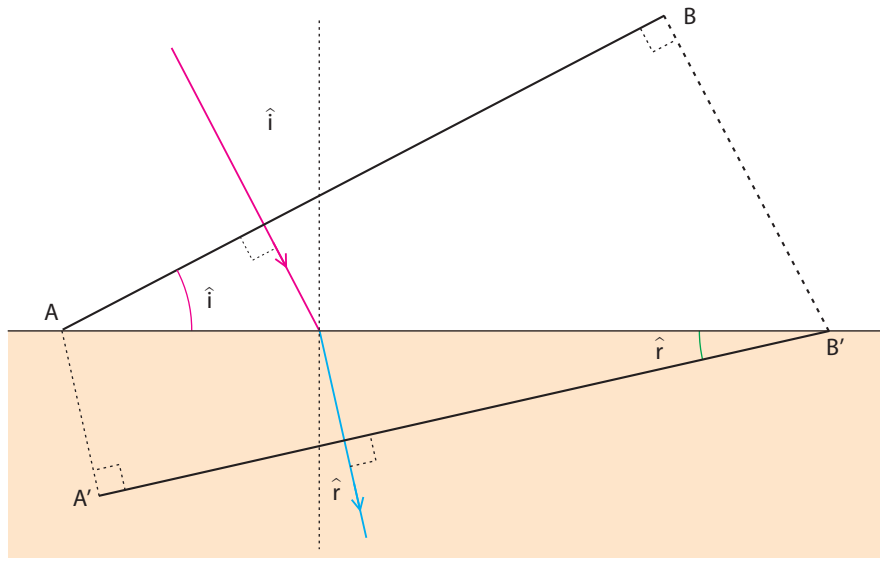


Fig. 8. Relación entre ángulo de incidencia y ángulo de refracción. El pulso A'B' es el pulso AB luego de producida la refracción.

Analizando el triángulo ABB': $\text{sen } \hat{i} = \frac{BB'}{AB'}$

Analizando el triángulo AB'A': $\text{sen } \hat{r} = \frac{AA'}{AB'}$

Si planteamos el cociente entre $\text{sen } \hat{i}$ y $\text{sen } \hat{r}$:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{BB'/AB'}{AA'/AB'} = \frac{BB'}{AA'}$$

Como $v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t} = \frac{BB'}{\Delta t}$ entonces $BB' = v_1 \times \Delta t$

Como $v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t} = \frac{AA'}{\Delta t}$ entonces $AA' = v_2 \times \Delta t$

Δt es el mismo, por lo que podemos simplificarlo

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1 \times \Delta t}{v_2 \times \Delta t} \Rightarrow \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2}$$

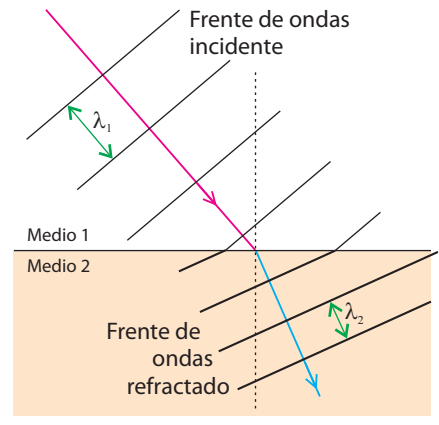


Fig. 7. Cambio de longitud de onda de un frente de ondas al cambiar de medio.

\hat{i} es el ángulo de incidencia
 \hat{r} es el ángulo de refracción

Como el cociente entre los valores de las velocidades de propagación en los medios 1 y 2 es una constante, obtenemos:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \text{constante}$$

Resumiendo, cuando una onda se refracta al pasar de un medio a otro, los ángulos de incidencia y refracción cumplen que el cociente de sus respectivos senos es una constante.

¿Será la luz un fenómeno ondulatorio?

Aquí ya es evidente que la reflexión y la refracción de las ondas presentan una gran similitud con la reflexión y la refracción de la luz. Incluso la última relación encontrada tiene una enorme semejanza con la Ley de Snell.

Ejemplo

En una cubeta de ondas, un frente de ondas plano se propaga por el medio 1 e incide sobre la superficie de separación con otro medio 2, de menor profundidad, formando un ángulo de 30° con respecto a la normal.

Las velocidades de propagación en los medios son las siguientes: $v_1 = 0,40 \frac{m}{s}$ y $v_2 = 0,20 \frac{m}{s}$. Las líneas con las que representamos las crestas del frente de ondas incidente están separadas 2,0 cm.

a) ¿Cuál es el ángulo de incidencia \hat{i} ?

En el dibujo adjunto visualizamos con claridad el ángulo de incidencia. Recuerda que es el formado entre el rayo incidente y la normal. En el enunciado del ejemplo ya se proporciona dicho valor sin mencionar que es el ángulo de incidencia.

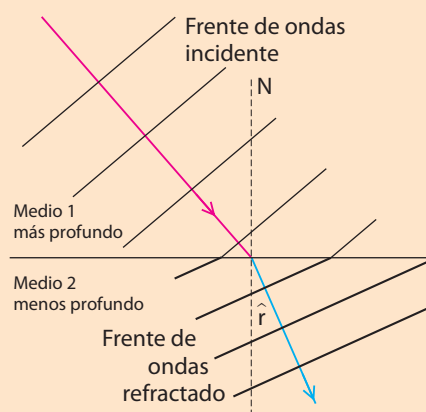
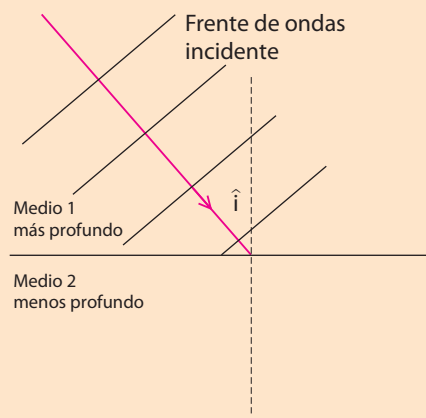
$$\hat{i} = 30^\circ$$

b) Determina cuál es el ángulo de refracción \hat{r} .

El ángulo de refracción es el determinado por el rayo refractado y la normal. Lo calculamos con la siguiente relación:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \text{sen } \hat{r} = \frac{v_2 \times \text{sen } \hat{i}}{v_1} = \frac{0,20 \frac{m}{s} \times \text{sen}30^\circ}{0,40 \frac{m}{s}} \Rightarrow \hat{r} = \text{sen}^{-1}0,25$$

$$\hat{r} = 15^\circ$$



c) Calcula la longitud de onda del tren de ondas refractado.

El valor de la longitud de onda del tren de ondas incidente se proporciona en la letra, no es necesario realizar ningún cálculo. Hay que tener claro conceptualmente que la distancia de separación entre las crestas es la longitud de onda " λ_1 ", en este caso mide 2,0 cm. $\lambda_1 = 2,0$ cm. Ahora buscaremos una relación entre las velocidades de propagación y las longitudes de onda. Para ello partiremos de

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} \text{ Recuerda que } v_1 = \lambda_1 \times f \text{ y } v_2 = \lambda_2 \times f$$

por lo tanto $\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{\lambda_1 \times f}{\lambda_2 \times f}$ la frecuencia no cambia en la refracción,

se cancela. Entonces $\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ y como $\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2}$ sustituyendo

los senos de los ángulos por las velocidades nos queda $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$.

De esta forma encontramos la relación entre las velocidades de propagación y las longitudes de ondas de ambos medios:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{\lambda_1 \times v_2}{v_1} = \frac{2,0\text{cm} \times 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,40 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,0\text{cm}$$

Observa que está expresado en cm que no es la unidad de longitud del Sistema Internacional. Si en la letra del problema si hubiera solicitado que se exprese en unidades del SI, entonces tenemos que expresarlo en metros.

$$\lambda_2 = 0,010\text{m}$$

d) Especifica cuál es la frecuencia del tren de ondas refractado.

Aquí tenemos que recordar que la frecuencia no cambia en la refracción, no depende del medio. La frecuencia está determinada por el agente externo, el foco que produce las perturbaciones.

$f_1 = f_2$ como $v = \lambda \times f$

$$f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f_1 = \frac{0,40 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,020\text{m}} = 20\text{Hz}$$

$$f_1 = 20\text{Hz}$$

Si calculamos la frecuencia de la onda en el medio 2, obtenemos el mismo resultado.

$$f_2 = \frac{0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,010\text{m}} = 20\text{Hz}$$

$$f_2 = 20\text{Hz}$$

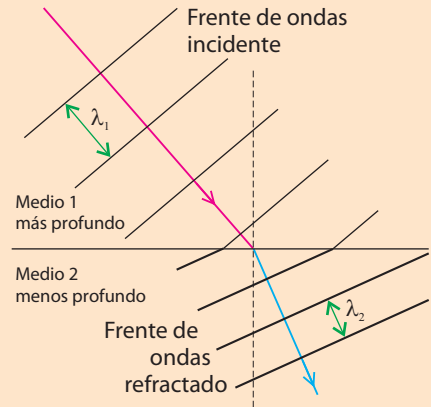


Fig. 9. Cambio de longitud de onda de un frente de ondas al cambiar de medio.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Ecuación que relaciona las velocidades de propagación de ambos medios y las longitudes de ondas respectivas.

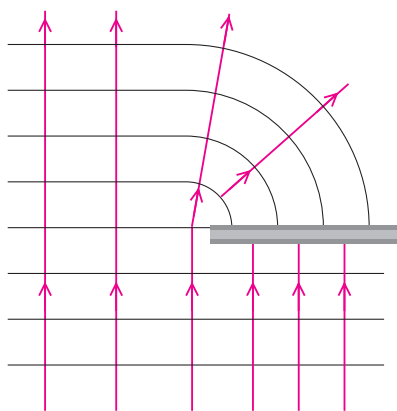


Fig.10. Difracción de un frente de ondas planas al llegar a una barrera. Observamos el cambio de dirección del frente de ondas, al rodear la barrera.

Difracción de una onda

La difracción es otro fenómeno físico característico de las ondas. Es la propiedad de las ondas de poder rodear un obstáculo que se interpone parcialmente en su propagación.

En la figura 10 se observa un onda plana que llega hasta una barrera que se interpone parcialmente a su propagación. La porción del frente de ondas próximo al borde de la barrera, cambia la dirección de su propagación, de tal manera que la rodea. En esa zona deja de ser un frente de ondas plano por ser uno curvo.

Veamos ahora la situación en la que una onda plana incide en dos barreras, dispuestas de tal manera que dejan entre ellas un hueco. (Fig 11 y 12). En este caso la difracción es más fácilmente observable. El frente de ondas luego de pasar por el orificio tiende a ser circular, llegando a todos los puntos de la superficie del agua. La abertura pequeña se comporta como un foco puntual generador de ondas circulares.

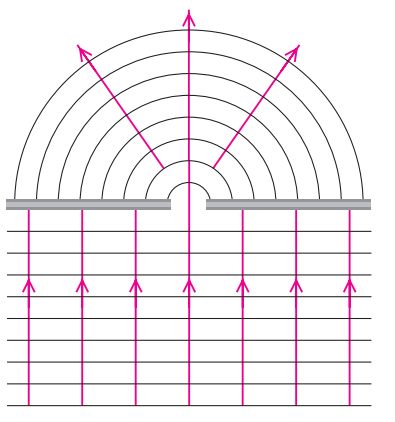


Fig.11. Difracción de un frente de ondas planas por un orificio pequeño.

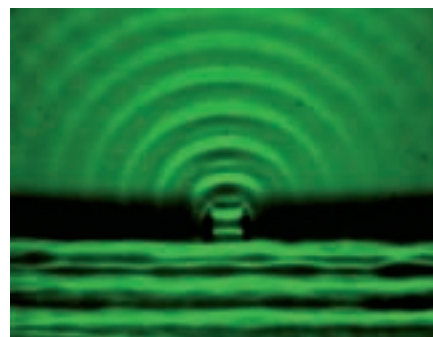


Fig.12. Difracción en la cubeta de ondas.

La difracción de una onda por un orificio es más notoria si el ancho de la abertura y la longitud de onda tienen valores cercanos. Si el ancho de la abertura es mucho mayor que λ , la difracción es poco apreciable (fig 13 a), su dirección de propagación prácticamente no se altera al pasar por el hueco. Si vamos disminuyendo el ancho de la abertura, manteniendo constante la longitud de onda, la difracción es mucho más notoria. (Fig. 13b y 13 c)

El cambio de dirección debido a la difracción no depende separadamente de la longitud de onda y del ancho de la ranura sino de la relación entre ellos.

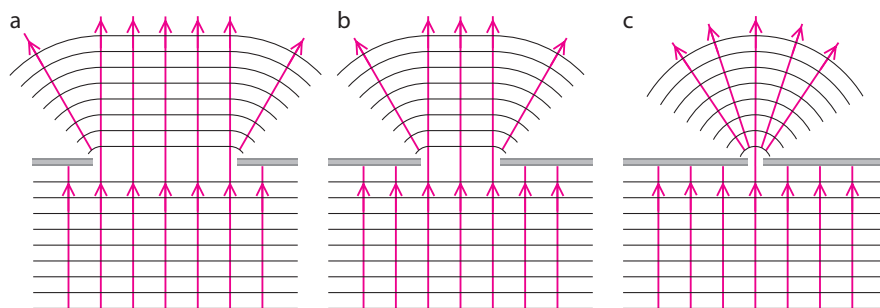


Fig.13. La difracción se hace más notoria a medida que el ancho de la abertura se va acercando al valor de la longitud de onda λ .

Para el caso en que la longitud de onda es mucho mayor que el ancho de la abertura, la onda se refleja completamente en el obstáculo, por lo tanto no se difracta (fig 14).

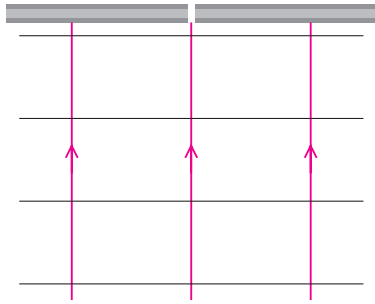


Fig.14. Al llegar a un orificio de ancho mucho menor que λ el frente de ondas no se difracta.



Fig.15. La longitud de onda de las microondas es mucho mayor que el diámetro de los orificios o ranuras de la protección que tienen las puertas. De esa forma las microondas no atraviesan la puerta.

Las ondas de sonido se difractan al ser obstaculizadas parcialmente, lo que facilita percibirlos aún detrás de una barrera sólida (fig 16)

¿Se difracta la luz al atravesar un orificio pequeño? Para obtener una respuesta a esta pregunta tendrás que esperar hasta el capítulo N° 9.

Interferencia

Vimos anteriormente que si golpeamos periódicamente con un objeto pequeño la superficie de una cubeta con agua, obtenemos un frente de ondas circular. ¿Qué sucederá si golpeamos la superficie del agua simultáneamente con dos cuerpos puntuales? Tendremos dos focos que generan ondas que se superponen al propagarse por la cubeta.(fig 17).

Supondremos que los focos puntuales emiten ondas con iguales características: misma forma, amplitud y frecuencia. Aplicando la ecuación $v_p = \lambda \times f$, como la velocidad de propagación es la misma, (es el mismo medio) podemos deducir que la longitud de onda " λ " de las dos ondas emitidas es la misma.

Vamos a considerar que desde los focos se emiten ondas **en fase**. Esto significa que en todo momento los emisores tendrán la misma posición y velocidad. Cuando uno genere una cresta o un valle el otro hará lo mismo. Otra denominación de esta forma de generar ondas es decir que las fuentes emiten en forma **coherente**.

Emitir ondas en forma coherente significa que desde los focos se emiten ondas en fase. Los emisores tienen en todo momento la misma posición y velocidad.

Las ondas emitidas por los dos focos se propagan simultáneamente en el agua en la cubeta. Cada punto de la superficie del agua es afectado por las dos ondas. Se cumple el principio de superposición, o sea que la perturbación resultante en cualquier punto de la cubeta es la suma de los desplazamientos provocados por cada onda en ese punto.



Fig.16. Las ondas sonoras rodean la barrera, permitiendo ser percibidas por otra persona detrás del muro.



Fig.17. Dos focos puntuales generando ondas circulares en la cubeta.

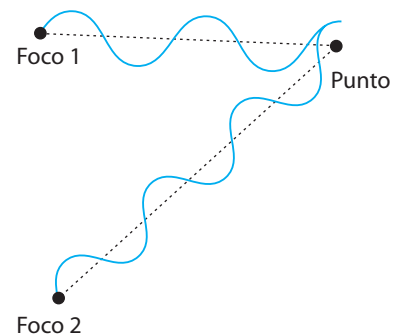


Fig.18. Interferencia constructiva en un punto al superponerse dos crestas.

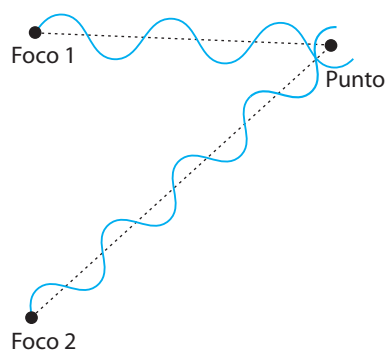


Fig.19. Interferencia destructiva.

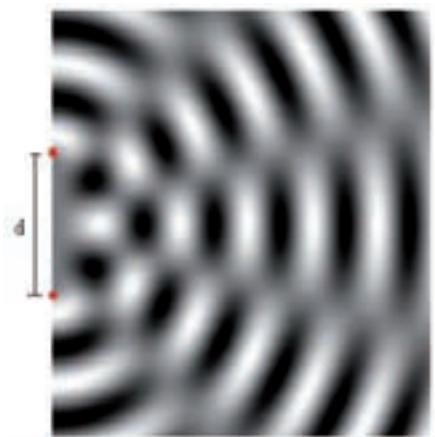


Fig.20. Líneas nodales en la cubeta.

Al igual que cuando estudiamos interferencia en una cuerda, las ondas pueden interferir de forma constructiva o destructiva. En el plano de la superficie del agua, habrá puntos que son alcanzados simultáneamente por dos crestas o dos valles, provenientes de cada uno de los focos. Se produce en este caso interferencia constructiva, es decir, la amplitud resultante será mayor que la de cada una de las ondas emitidas (fig 18).

También existirán puntos donde se produzca interferencia destructiva, o sea que la amplitud resultante sea menor que la de las ondas emitidas desde los focos (Fig 19). Si un punto es alcanzado simultáneamente por una cresta y un valle de igual forma y amplitud, se producirá una interferencia totalmente destructiva. Su amplitud de oscilación será nula, por lo tanto el punto permanece en reposo. A estos puntos se les denomina **nodos**. Si unimos estos puntos con una línea, quedan formadas las **líneas nodales** (fig 20).

Llamamos **línea nodal** a la línea formada por puntos donde se produce en todo momento una interferencia destructiva. Estos puntos siempre permanecen en reposo.

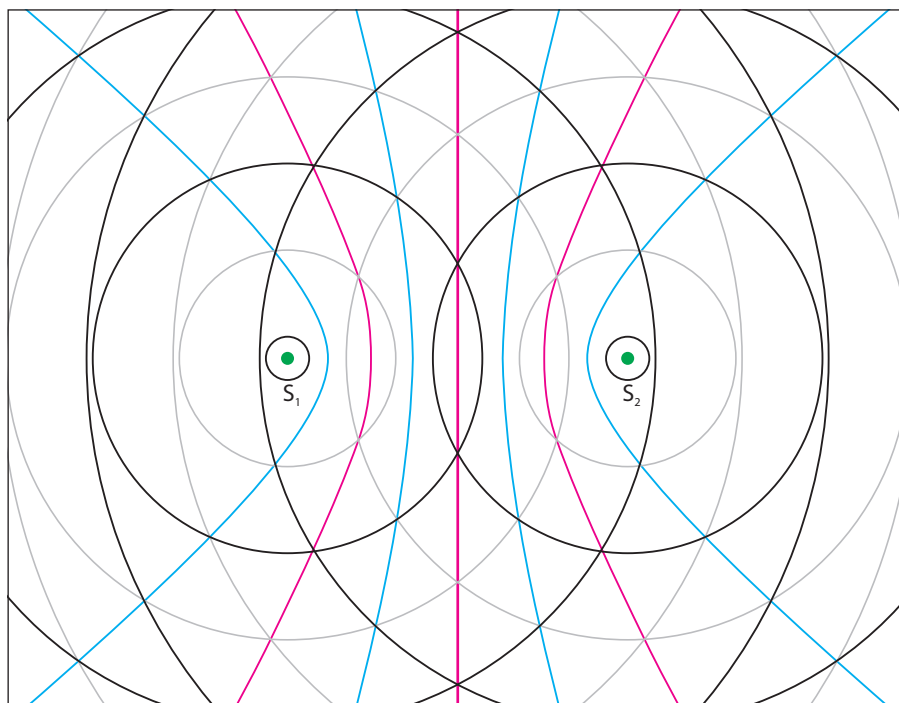


Fig.21.

La figura 21 muestra en negro las crestas y en gris los valles correspondientes a las ondas emitidas por los focos S_1 y S_2 . Los nodos se forman al intersectarse círculos grises con negros, o sea cuando se anulan una cresta con un valle. Las líneas nodales aparecen en azul.

Entre las líneas nodales también aparecen otras líneas de color rojo, donde la amplitud resultante es el doble que la de las ondas emitidas desde los focos. En los puntos pertenecientes a estas líneas siempre se intersectan círculos del mismo color, valle con valle (gris-gris) o cresta con cresta (negro-negro). Cada uno de estos puntos se denomina **antinodo**, y las líneas, **antinodales**. En la figura aparecen en rojo.

Situación interesante

Si los focos son parlantes que emiten en forma coherente sonidos estables, de una frecuencia única (el tono del teléfono es un sonido de este tipo, $f=440\text{Hz}$), la interferencia entre los sonidos emitidos por los parlantes es apreciable. Si nos ubicamos en un punto correspondiente a una línea antinodal, percibiremos un sonido intenso, resultado de la interferencia constructiva de ambas ondas. Si nos ubicamos en una línea nodal, en condiciones ideales no percibiremos sonido. A partir de dos emisores de sonido obtenemos zonas de silencio.

Para poder apreciar la interferencia totalmente destructiva en el sonido, debemos trabajar con dos parlantes idénticos emitiendo coherentemente el mismo sonido estable de una frecuencia sola. Los parlantes deben estar separados una distancia mayor que λ . El experimento debe realizarse en un espacio muy amplio para minimizar la influencia de la reflexión en las paredes.

¿Puede apreciarse interferencia en la luz?
¿Podremos obtener oscuridad a partir de dos focos de luz?

Principio de Huygens

Alrededor de 1660 el físico Huygens usando modelos geométricos elaborados sobre papel construyó un método para explicar la propagación de las ondas, que luego verificó experimentalmente. Con él elaboró **una nueva visión de la propagación de las ondas** que ayuda a entender mejor una variedad de propiedades de las ondas, tales como la difracción, la Ley de Snell de la refracción, etc.

Este método permite construir la forma que tendrá un frente de ondas, a partir de la forma que tenía un instante antes.

Por ejemplo, cuando generamos una perturbación en algún lugar de la cubeta, esta se repite un tiempo después en todos los puntos de ella. Dicho de otra forma, cada punto de la cubeta repite un tiempo después lo que se generó en el foco. Cada punto puede considerarse entonces como un foco desde donde se vuelven a generar ondas. Por lo tanto cada punto de un frente de onda que avanza es el centro de una nueva perturbación y la fuente de un nuevo tren de ondas.

Huygens postuló en su principio: **cada punto al que llega una onda se convierte, a su vez, en centro emisor de ondas.**

El principio supone que cada punto del frente de ondas primario se comporta como una fuente de ondas secundarias, que produce ondas circulares. Éstas tienen la misma frecuencia y se propagan en todas las direcciones, con la misma velocidad que la onda primaria en cada uno de dichos puntos.



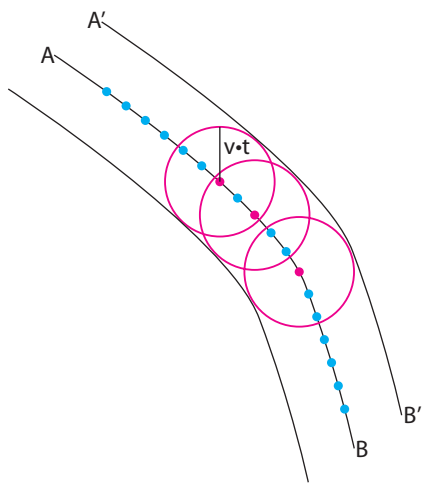


Fig.23. Frente de ondas AB que avanza con una velocidad "v". Luego de un tiempo "t" tendrá la forma A'B'

Para entender mejor el principio analicemos la siguiente situación. Supongamos que conocemos la forma del frente de ondas inicial AB. (Fig. 23). Nuestro objetivo es determinar la forma del frente de ondas A'B' luego de transcurrido un tiempo t, en el que el frente de ondas estuvo avanzando.

¿Cómo dibujamos el frente de ondas A'B' luego de transcurrido el tiempo t?

Sobre el frente de ondas conocido, AB dibujamos varias fuentes de ondas secundarias señaladas por puntos de color rojo y azul. Trazamos una circunferencia de radio "r" centrada en cada una de las fuentes (en color rojo). Dicho radio lo podemos escribir en función de la velocidad y el tiempo de la siguiente forma $r = v \times t$, donde "v" es la velocidad de propagación del frente de ondas. La envolvente de todas las circunferencias es el nuevo frente de ondas luego de transcurrido el tiempo "t".

El radio de las circunferencias será el mismo si el medio es **homogéneo e isótropo**, es decir, tiene las mismas propiedades en todos los puntos y en todas las direcciones.

En resumen: la onda que avanza se puede entender como la suma de todas las ondas secundarias generadas por cada punto del medio ya alcanzado por la perturbación. Las ondas resultantes se convierten en un frente de ondas que avanza en la misma dirección que el que la generó. Cada nuevo frente de ondas se convierte a su vez en un conjunto de focos emisor de un nuevo frente de ondas.

Para finalizar es importante destacar que este principio es válido para cualquier tipo de ondas.

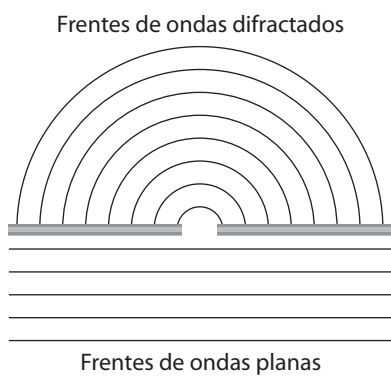


Fig.24. Frente de ondas plano que incide sobre una barrera con un orificio y se difracta.

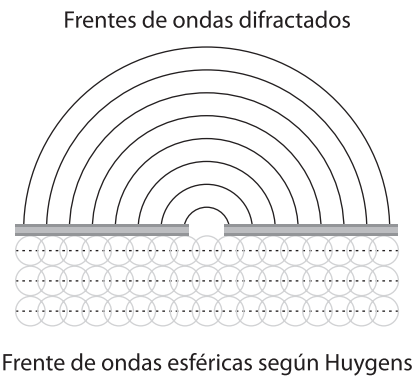
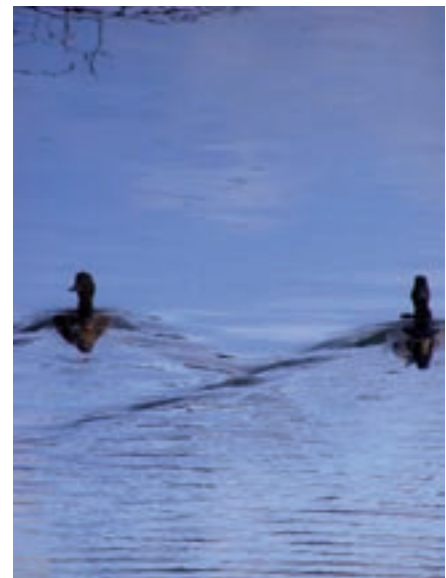


Fig.25. El mismo fenómeno de difracción de la fig. anterior explicado a través del principio de Huygens.

PREGUNTAS

- 1) ¿Cómo se les denomina a las ondas que se propagan en una sola dirección?
- 2) ¿Cómo se les denomina a las ondas que se propagan en dos direcciones?
- 3) ¿A qué se le denomina frente de ondas?
- 4) ¿Qué es una cubeta de ondas y cuál es su utilidad?
- 5) ¿Qué fenómeno físico se produce cuando la luz atraviesa el agua de la cubeta de ondas?
- 6) ¿De qué depende la velocidad de propagación de una onda bidimensional?
- 7) Define: amplitud, frecuencia y período de una onda bidimensional
- 8) ¿Qué determina la frecuencia de las ondas bidimensionales?
- 9) Explica qué ocurre con la frecuencia, velocidad de propagación y longitud de onda, cuando una onda bidimensional se refleja.
- 10) ¿Cómo podemos hacer para que se refracte una onda en dos dimensiones en una cubeta?
- 11) ¿Qué ocurre con la velocidad de propagación de la onda al refractarse en la cubeta?
- 12) ¿Qué ocurre con la frecuencia de una onda cuando se refracta?
- 13) ¿Qué ocurre con la longitud de onda de una onda que se refracta?
- 14) ¿Qué relación hay entre las velocidades de propagación de las ondas incidente y refractada en una onda bidimensional?
- 15) ¿Qué relación hay entre los ángulos de incidencia y refracción en una onda bidimensional?
- 16) ¿En qué consiste el fenómeno físico de la difracción?
- 17) ¿Qué condiciones deben cumplirse para que la difracción sea notoria?
- 18) Describe algunos fenómenos cotidianos en los que se aprecie la difracción de una onda.
- 19) ¿En qué consiste el fenómeno físico de interferencia de ondas?
- 20) ¿Cuándo dos focos emiten ondas de forma coherente?
- 21) ¿Qué es una línea nodal?
- 22) ¿Qué es una línea antinodal?
- 23) ¿Qué condiciones deben cumplirse para poder apreciar la interferencia de ondas sonoras?
- 24) Explica el principio de Huygens.



PROBLEMAS

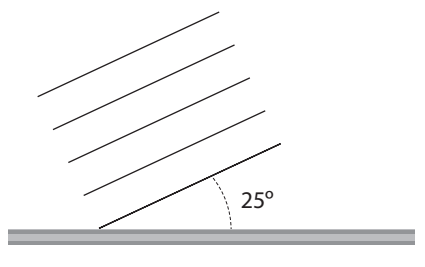


Fig. 26. Problema 1.

- 1) Un frente de ondas planas viaja hacia una barrera fija como se observa en la figura 26.
 - a) ¿Qué representan las líneas rectas?
 - b) Representa en el dibujo donde se encontrarían los valles de la onda en ese instante.
 - c) Determina el ángulo de incidencia.
 - d) Representa el frente de ondas reflejado.
 - e) ¿Cómo será la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de propagación de la onda reflejada, con respecto a la onda incidente?

- 2) La figura 27 muestra una onda que se refracta al pasar del medio 1 al medio 2. Se detallan los frentes de onda y los rayos incidente y refractados.

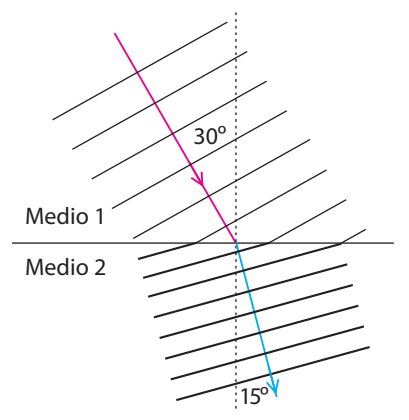


Fig. 27. Problema 2.

- a) ¿En qué medio tiene mayor frecuencia?
 - b) ¿En qué medio tiene mayor longitud de onda?
 - c) Compara las velocidades de propagación de la onda incidente y refractada.
 - d) Si la onda incidiera con un ángulo de 60° , ¿qué valor tendría el ángulo refractado?

- 3) La onda incidente del problema anterior tiene una velocidad de propagación de $0,60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y una frecuencia de 6,0 Hz. Determina:
 - a) La velocidad de propagación de la onda refractada.
 - b) La longitud de onda de las ondas incidente y refractada.

- 4) La figura 28 representa una onda que pasa de un medio a otro.

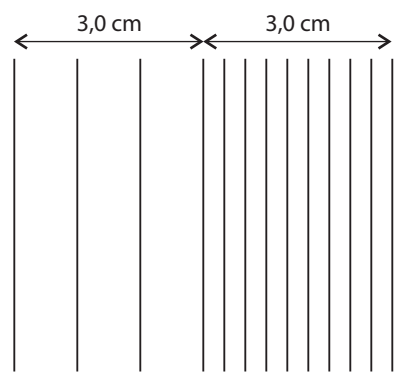


Fig. 28. Problema 4.

- a) ¿Cómo te das cuenta que la onda cambia de medio?
 - b) ¿Existe refracción?, ¿por qué no se observa cambio de dirección?
 - c) ¿Cuánto vale la longitud de onda en cada caso?
 - d) Si la frecuencia con que se generan los pulsos es de 10Hz, ¿cuánto vale la velocidad de propagación en cada medio?

5) Un frente de ondas planas avanza hasta llegar a un barrera que obstaculiza parcialmente su camino. (Fig. 29)

- a) Si no existiera difracción, ¿el punto P oscilaría en algún momento? ¿Por qué?
- b) En un dibujo representa el camino de la onda al difractarse por el obstáculo.

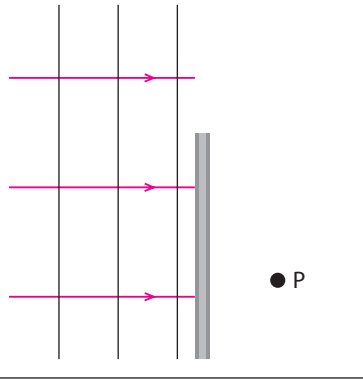


Fig. 29. Problema 5.

6) Un frente de ondas planas llega hasta una abertura. (Fig. 30)

- a) Dibuja el frente de ondas luego que atraviesa la abertura.
- b) ¿En qué cambia tu respuesta si la abertura disminuye a la tercera parte? Justifica.

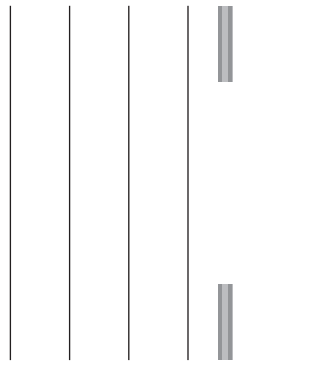


Fig. 30. Problema 6.

- 7) a) ¿Por qué casi no se observa difracción en la onda plana que llega a la abertura de la figura 31?
- b) ¿Cómo debería cambiar la frecuencia con que se generan los pulsos para que se observe mejor la difracción?

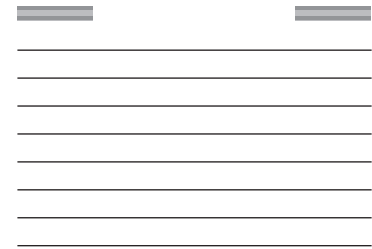


Fig. 31. Problema 7.

- 8) Un frente de ondas circulares llega a una ranura. (Fig. 32)
- a) Dibuja cómo se difracta la onda al pasar por la ranura.
- b) ¿Se puede explicar la forma de la onda difractada aplicando el principio de Huygens?

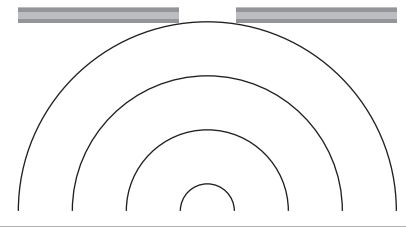


Fig. 32. Problema 8.

9) Un frente de onda llega a una barrera con dos aberturas. (Fig. 33)

- a) Dibuja el frente de ondas luego que se difracta por cada abertura.
- b) ¿Se produce interferencia entre estos dos frentes de ondas difractados?
- c) Explica por qué se observan líneas donde no existe perturbación aparente. ¿Cómo se llaman estas líneas?
- d) Dibuja las líneas que se mencionan en la parte c.

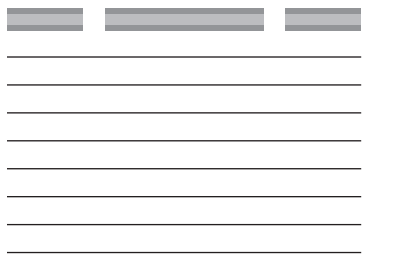


Fig. 33. Problema 9.