



**I. E. D. ESCUELA NORMAL SUPERIOR  
PRIMER PERIODO ACADÉMICO 2021  
GUÍA PEDAGÓGICA**

ASIGNATURA: \_\_\_\_\_ **FÍSICA** \_\_\_\_\_

<b>NOMBRE DEL DOCENTE</b>  <b>EDWIN DAVID ROA NÚÑEZ</b>	<b>GRADO:</b>  <b>UNDÉCIMOS (11-1, 11-2)</b>	<b>FECHA INICIO:</b>  Abril 19 DE 2021  <b>FECHA FINAL:</b>  Junio 11 DE 2021	<b>FECHAS DE ENTREGA DE TRABAJOS Y FINALIZACIÓN DE PERIODO</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Semana del 19 AL 23 de Abril <b>DIALOGO DE SABERES; (según horario de la clase)</b></li> <li>Semana del 3 al 7 de Mayo <b>ESTRUCTURACIÓN DEL CONOCIMIENTO (según horario de la clase).</b></li> <li>Semana del 31 de Mayo al 4 de Junio: <b>(según horario de la clase): CONTEXTUALIZACIÓN Y APLICACIÓN DE SABERES.</b></li> </ul> <b>Finalización del periodo: 11 de Junio.</b>
<b>ESTÁNDAR BÁSICO DE COMPETENCIA</b>		<b>NÚCLEO PROBLÉMICO</b>	
<p><b>C. N. FÍSICA.</b> Determina las condiciones en las cuales se dan los fenómenos ondulatorios.</p> <p>Caracteriza el sonido y los fenómenos asociados con este.</p> <p>Describe y explica el fenómeno de la reflexión de la luz.</p> <p>Construye e interpreta diagramas para representar las imágenes que se forman en los espejos.</p>		<p>¿Cómo propondría explicaciones de algunos fenómenos de la naturaleza basado en observaciones, en patrones y en conceptos propios del conocimiento científico y de la evidencia de su propia investigación y de la de otros?</p>	
<b>HABILIDADES ESPECÍFICAS QUE VA A DESARROLLAR EL ESTUDIANTE:</b>		<b>INTEGRALIDAD, ACORDE AL MODELO PEDAGÓGICO INTEGRADOR CON ENFOQUE SOCIO CRÍTICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifica y clasifica las ondas</li> <li>Identifica las situación en esquemas ilustrativos</li> <li>Describe cuantitativa y cualitativa de una onda</li> <li>Describe cuantitativa y cualitativa las situaciones físicas relacionadas con la óptica geométrica</li> <li>Analiza las variables que describen un movimiento ondulatorio</li> <li>Explica eventos y sucesos físicos estableciendo relaciones entre causa y efecto.</li> <li>Participa activamente e la toma de decisiones para la resolución de problemas</li> </ul>		<p><b>Química:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Caracteriza los compuestos orgánicos</li> </ul> <p><b>Inglés:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>what is the main idea of the text?</li> <li>What aspects from physics and chemistry do you find in the text?</li> </ul>	
<b>NÚCLEOS TEMÁTICOS</b>			
Relación de la física con otras ciencias, Energía, Trabajo, Conservación de la energía, Ondas, Fenómenos Ondulatorios.			
<b>RECURSOS</b>			
Recursos humanos, Recursos del medio. Recursos tecnológicos (Televisor, tabletas, computador). Libros de física. Recursos audiovisuales (YouTube).			
<b>ruta metodológica</b>			
<p>1. <b>DIALOGO DE SABERES</b> A parir de la lectura del artículo científico “ <b>THE PETROLEUM</b>”, contesta las preguntas que se encuentran en el texto. <b>PRIMER AVANCE “SEMANA DEL 19 AL 23 DE Abril DE 2021.</b></p>			



I. E. D. ESCUELA NORMAL SUPERIOR  
PRIMER PERIODO ACADÉMICO 2021  
GUÍA PEDAGÓGICA

**2. ESTRUCTURACIÓN DEL CONOCIMIENTO:**

- Realiza los ejercicios que se presentan en el documento “Ondas” documento anexo 2 a esta guía. SEGUNDO AVANCE “SEMANA DEL 3 AL 7 DE MAYO DE 2021

**3. CONTEXTUALIZACIÓN Y APLICACIÓN DE SABERES. (Saberes aplicados en el contexto de estudio en casa).**

- Realiza los ejercicios que se presentan en el documento “LA LUZ” documento anexo 3 a esta guía. TERCER AVANCE “SEMANA DEL 31 DE Mayo AL 4 DE Junio DE 2021

**4. HACER LA SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EN EL CUADERNO, CON LETRA CLARA, MARCANDO CON SU NOMBRE Y GRADO TODAS LAS PAGINAS DEL TRABAJO.**

**NIVELES DE DESEMPEÑO**

**BAJO:** Se le dificulta comprender y entregar oportunamente las actividades asignadas incumpliendo con los requerimientos y el desarrollo de las habilidades propuestas para la asignatura. No se conecta, no se comunica con la docente y/o no envía actividades.

**BÁSICO:** En ocasiones participa en las sesiones virtuales, ya sea de manera sincrónica o asincrónica, haciendo uso del correo institucional y la plataforma (CLASSROOM), aunque mantiene comunicación con el docente, debe mejorar calidad y puntualidad en la entrega de actividades en las fechas establecidas.

**ALTO:** Mantiene comunicación con el docente, haciendo uso del correo institucional y la plataforma (CLASSROOM), comprende y entrega oportunamente las actividades asignadas cumpliendo con los requerimientos y el desarrollo de las habilidades propuestas para la asignatura.

**SUPERIOR:** Comprende y entrega las actividades asignadas con un excelente compromiso y nivel de responsabilidad, haciendo uso del correo institucional y la plataforma (CLASSROOM), cumpliendo los requerimientos con calidad, puntualidad y honestidad, desarrollando las habilidades propuestas en la asignatura.

**AJUSTES RAZONABLES PARA ESTUDIANTES ATENDIDOS POR INCLUSIÓN: Tener en cuenta los PIAR**

**MODALIDAD DE PRESENTACIÓN Y ENTREGA DE TRABAJOS:**

1. Los trabajos se realizan en el cuaderno de manera organizada, letra legible, correcta ortografía, marcando a mano con su nombre y apellido cada hoja del cuaderno, fotografiar con correcto enfoque y enviar como documento en PDF.
2. Las actividades se enviarán por CLASSROOM, POR CORREO ELECTRÓNICO INSTITUCIONAL, o por WhatsApp según el caso Previo acuerdo con el maestro.
3. Los avances de la guía se revisarán en las clases correspondientes conforme a las fechas, es necesario aclarar que se tendrá toda la semana asignada para la entrega de avances y constituirá un aspecto muy importante para evaluar su puntualidad y entrega.
4. En caso de modelo de alternancia se entregarán los trabajos en el cuaderno físico bien presentados, con letra legible y correcta ortografía.
5. Recuerde que los canales oficiales de comunicación con el maestro son:

FÍSICA	EDWIN DAVID ROA NÚÑEZ	<a href="mailto:edwin.roa@ensubate.edu.co">edwin.roa@ensubate.edu.co</a>	3125403903
--------	-----------------------	--	------------

**Nota: En ningún caso es pertinente la comunicación por WhatsApp o de manera telefónica después de las 3:00 pm de, Ni los fines de semana o festivos.**

**HETEROEVALUACIÓN:**

Los siguientes parámetros serán valorados y evaluados al interior de cada asignatura durante todo el período académico:

1. Asistencia a las sesiones de clase de manera virtual (sincrónica o asincrónica) por el medio acordado.
2. Participación activa dentro de las sesiones de clase.
3. Comunicación asertiva y respetuosa.
4. Seguimiento adecuado de indicaciones
5. Puntualidad y calidad en el desarrollo y entrega de actividades
6. Uso adecuado y asertivo de las TIC.
7. Cumplimiento de los acuerdos y normas, aprendizaje autónomo, pensamiento crítico, creatividad, interés y responsabilidad.

**AUTOEVALUACIÓN:**



**I. E. D. ESCUELA NORMAL SUPERIOR  
PRIMER PERIODO ACADÉMICO 2021  
GUÍA PEDAGÓGICA**

¿Seguí las indicaciones dadas por mi maestro de manera correcta? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Fui respetuoso al comunicarme con mi maestro y compañeros? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Entregué mis trabajos en las fechas establecidas? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Elaboré mis trabajos con calidad y exigencia? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Utilicé adecuadamente las herramientas de comunicación (WhatsApp, Classroom, correo electrónico institucional) cumpliendo los acuerdos de respeto y horarios pactados desde su creación? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Estuve pendiente de la información, instrucciones y explicaciones dadas por mi maestro a través de los grupos de WhatsApp? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Conté con el apoyo de mi familia para el desarrollo de las actividades? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Me apoyé con mis compañeros frente a las dudas o inquietudes que pude llegar a tener? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿Qué dificultades se me presentaron durante este PRIMER período? \_\_\_\_\_  
 ¿Cómo las superé? \_\_\_\_\_  
 ¿Qué nuevos aprendizajes adquirí? Menciona mínimo tres.  
 Considero que mi valoración es \_\_\_\_\_ Menciona tres argumentos que justifiquen tu valoración

**COEVALUACIÓN:** Esta evaluación la debe hacer la familia en el cuaderno y firmarla.

¿El o La estudiante siguió las indicaciones dadas por su maestro de manera correcta? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante fue respetuoso/a al comunicarse con su maestro y compañeros? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante entregó sus trabajos en las fechas establecidas? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante elaboró sus trabajos con calidad y exigencia? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante utilizó adecuadamente la herramienta de WhatsApp cumpliendo los acuerdos de respeto y horarios pactados desde su creación? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante estuvo pendiente de la información, instrucciones y explicaciones dadas por su maestra a través de los grupos de WhatsApp? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante contó con el apoyo de su familia para el desarrollo de las actividades? Sí \_\_\_ No \_\_\_  
 ¿El o La estudiante se apoyó con sus compañeros frente a las dudas o inquietudes que pude llegar a tener?  
 ¿Qué dificultades presentó el o la estudiante durante este tercer período? ¿Cómo las superó?  
 ¿Qué nuevos aprendizajes adquirió el / la estudiante? Menciona mínimo tres.  
 La persona que acompaña mi proceso de aprendizaje considera que mi valoración debe ser \_\_\_\_\_ Ella o él debe mencionar tres argumentos que justifiquen su respuesta.

**Vo.Bo DEL COORDINADOR ACADÉMICO Y OBSERVACIONES:**

*Luz Yajaira Ríos Rodríguez F.*  
 Coordinadora  
 Escuela Normal Superior Ubaté

## **Anexo 1 Dialogo de Saberes**

### **THE PETROLEUM**

The petroleum industry, also known as the oil industry or the oil patch, includes the global processes of exploration, extraction, refining, transporting (often by oil tankers and pipelines), and marketing of petroleum products. The largest volume products of the industry are fuel oil and gasoline (petrol). Petroleum is also the raw material for many chemical products, including pharmaceuticals, solvents, fertilizers, pesticides, synthetic fragrances, and plastics. The extreme monetary value of oil and its products has led to it being known as "black gold". The industry is usually divided into three major components: upstream, midstream, and downstream. Upstream deals with Drilling and Production mainly.

Petroleum is vital to many industries, and is necessary for the maintenance of industrial civilization in its current configuration, making it a critical concern for many nations. Oil accounts for a large percentage of the world's energy consumption, ranging from a low of 32% for Europe and Asia, to a high of 53% for the Middle East.

Other geographic regions' consumption patterns are as follows: South and Central America (44%), Africa (41%), and North America (40%). The world consumes 36 billion barrels (5.8 km<sup>3</sup>) of oil per year,[1] with developed nations being the largest consumers. The United States consumed 18% of the oil produced in 2015. The production, distribution, refining, and retailing of petroleum taken as a whole represents the world's largest industry in terms of dollar value.

Governments such as the United States government provide a heavy public subsidy to petroleum companies, with major tax breaks at virtually every stage of oil exploration and extraction, including the costs of oil field leases and drilling equipment.

In recent years, enhanced oil recovery techniques — most notably multi-stage drilling and hydraulic fracturing ("fracking") — have moved to the forefront of the industry as this new technology plays a crucial and controversial role in new methods of oil extraction.

### **History**

#### **Prehistory**

Petroleum is a naturally occurring liquid found in rock formations. It consists of a complex mixture of hydrocarbons of various molecular weights, plus other organic compounds. It is generally accepted that oil is formed mostly from the carbon rich remains of ancient plankton after exposure to heat and pressure in Earth's crust over hundreds of millions of years. Over time, the decayed residue was covered by layers of mud and silt, sinking further down into Earth's crust and preserved there between hot and pressured layers, gradually transforming into oil reservoirs.

#### **Early history**

Petroleum in an unrefined state has been utilized by humans for over 5000 years. Oil in general has been used since early human history to keep fires ablaze and in warfare.

Its importance to the world economy however, evolved slowly, with whale oil being used for lighting in the 19th century and wood and coal used for heating and cooking well into the 20th century. Even though the Industrial Revolution generated an increasing need for energy, this was initially met mainly by coal, and from other sources including whale oil. However, when it was discovered that kerosene could be extracted from crude oil and used as a lighting and heating fuel, the demand for petroleum increased greatly, and by the early twentieth century had become the most valuable commodity traded on world markets

## Modern history

Imperial Russia produced 3,500 tons of oil in 1825 and doubled its output by mid-century. After oil drilling began in the region of present-day Azerbaijan in 1846, in Baku, two large pipelines were built in the Russian Empire: the 833 km long pipeline to transport oil from the Caspian to the Black Sea port of Batum (Baku-Batum pipeline), completed in 1906, and the 162 km long pipeline to carry oil from Chechnya to the Caspian.

At the turn of the 20th century, Imperial Russia's output of oil, almost entirely from the Apsheron Peninsula, accounted for half of the world's production and dominated international markets. Nearly 200 small refineries operated in the suburbs of Baku by 1884. As a side effect of these early developments, the Apsheron Peninsula emerged as the world's "oldest legacy of oil pollution and environmental negligence". In 1846 Baku (Bibi-Heybat settlement) featured the first ever well drilled with percussion tools to a depth of 21 meters for oil exploration. In 1878 Ludvig Nobel and his Branobel company "revolutionized oil transport" by commissioning the first oil tanker and launching it on the Caspian Sea.

Samuel Kier established America's first oil refinery in Pittsburgh on Seventh avenue near Grant Street in 1853. Ignacy Łukasiewicz built one of the first modern oil-refineries near Jasło (then in the Austrian dependent Kingdom of Galicia and Lodomeria in Central European Galicia), present-day Poland, in 1854–56. Galician refineries were initially small, as demand for refined fuel was limited. The refined products were used in artificial asphalt, machine oil and lubricants, in addition to Łukasiewicz's kerosene lamp. As kerosene lamps gained popularity, the refining industry grew in the area.

The first commercial oil-well in Canada became operational in 1858 at Oil Springs, Ontario (then Canada West). Businessman James Miller Williams dug several wells between 1855 and 1858 before discovering a rich reserve of oil four metres below ground. Williams extracted 1.5 million litres of crude oil by 1860, refining much of it into kerosene-lamp oil. Some historians challenge Canada's claim to North America's first oil field, arguing that Pennsylvania's famous Drake Well was the continent's first. But there is evidence to support Williams, not least of which is that the Drake well did not come into production until August 28, 1859. The controversial point might be that Williams found oil above bedrock while Edwin Drake's well located oil within a bedrock reservoir. The discovery at Oil Springs touched off an oil boom which brought hundreds of speculators and workers to the area. Canada's first gusher (flowing well) erupted on January 16, 1862, when local oil-man John Shaw struck oil at 158 feet (48 m). For a week the oil gushed unchecked at levels reported as high as 3,000 barrels per day.

The first modern oil-drilling in the United States began in West Virginia and Pennsylvania in the 1850s. Edwin Drake's 1859 well near Titusville, Pennsylvania, typically considered[by whom?] the first true[citation needed] modern[citation needed] oil well, touched off a major boom. In the first quarter of the 20th century, the United States overtook Russia as the world's largest oil producer. By the 1920s, oil fields had been established[by whom?] in many countries including Canada, Poland, Sweden, Ukraine, the United States, Peru and Venezuela.

The first successful oil tanker, the *Zoroaster*, was built in 1878 in Sweden, designed by Ludvig Nobel. It operated from Baku to Astrakhan. A number of new tanker designs developed in the 1880s.

In the early 1930s the Texas Company developed the first mobile steel barges for drilling in the brackish coastal areas of the Gulf of Mexico. In 1937 Pure Oil Company (now part of Chevron Corporation) and its partner Superior Oil Company (now part of ExxonMobil Corporation) used a fixed platform to develop a field in 14 feet (4.3 m) of water, one mile (1.6 km) offshore of Calcasieu Parish, Louisiana. In early 1947 Superior Oil erected a drilling/production oil-platform in 20 ft (6.1 m) of water some 18 miles[vague] off Vermilion Parish, Louisiana. Kerr-McGee Oil Industries, as operator for partners Phillips Petroleum (ConocoPhillips) and Stanolind Oil & Gas (BP), completed its historic Ship Shoal Block 32 well in November 1947, months before Superior actually drilled a discovery from their Vermilion platform farther offshore. In any case, that made Kerr-McGee's Gulf of Mexico well, Kermac No. 16, the first oil discovery drilled out of sight of land. Forty-four Gulf of Mexico exploratory wells discovered 11 oil and natural gas fields by the end of 1949.

During World War II (1939–1945) control of oil supply from Romania, Baku, the Middle East and the Dutch East Indies played a huge role in the events of the war and the ultimate victory of the Allies. The Anglo-Soviet invasion of Iran (1941) secured Allied control of oil-production in the Middle East. Operation Edelweiss failed to secure the Caucasus oil-fields for the Axis military in 1942, while the Soviet Union deprived the Wehrmacht of access to Ploesti from 1944. Cutting off the East Indies oil-supply (especially via submarine campaigns) considerably weakened Japan in the latter part of the war. After World War II ended, the countries of the Middle East took the lead in oil production from the United States. Important developments since World War II include deep-water drilling, the introduction of the drillship, and the growth of a global shipping network for petroleum relying upon oil tankers and pipelines. In 1949 the first offshore oil-drilling at Oil Rocks (Neft Dashlari) in the Caspian Sea off Azerbaijan eventually resulted in a city built on pylons. In the 1960s and 1970s, multi-governmental organizations of oil-producing nations OPEC and OAPEC played a major role in setting petroleum prices and policy. Oil spills and their cleanup have become an issue of increasing political, environmental, and economic importance. New fields of hydrocarbon production developed in places such as Siberia, Sakhalin, Venezuela and North and West Africa.

With the advent of hydraulic fracturing and other horizontal drilling techniques, shale play has seen an enormous uptick in production. Areas of shale such as the Permian Basin and Eagle-Ford have become huge hotbeds of production for the largest oil corporations in the United States.

### **ACTIVITIES**

1. Read carefully and write what is the main idea of the text?
2. Identify 3 supporting ideas.
3. What aspects from physics do you find in the text? (list two aspects)
4. According to the text, ask 5 questions by multiple choice and answer them (everything must be Written in English).

## Anexo 2. Ondas

### Formación de las ondas:

En física, una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio, es decir una propagación de una perturbación sin que haya transporte de materia solo de energía. Por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, que se propaga a través del espacio transportando energía.

El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa como aire, agua, un trozo de metal, el espacio o el vacío. Se forman debido a la dilatación y contracción de la materia, la fuerza de las ondas dependen de la intensidad del impacto inicial y la duración depende de donde viajen las ondas y la longitud en los obstáculos que encuentren en relación a su dirección.

### Ondas Periódicas:

La mayoría de las ondas son el resultado de muchas perturbaciones sucesivas del medio, y no sólo una. Cuando dichas perturbaciones se producen a intervalos regulares y son todas de la misma forma, estamos en presencia de una onda periódica, y el número de perturbaciones por segundo se denomina frecuencia de la onda.

Las ondas periódicas son aquellas ondas que muestran periodicidad respecto del tiempo, es decir, describen ciclos repetitivos enteros.

### Características de las Ondas Periódicas:

-**Período T**: Es el tiempo que transcurre hasta que la función comienza a repetirse.

-**Ciclo**: Es la parte de onda comprendida entre  $t$  y  $t+T$ .

-**Frecuencia f**: Número de ciclos en la unidad de tiempo:  $f = 1/T$

-**Fase**: Es el estado de cada uno de los puntos del ciclo. Cada fase se repite a intervalos

A y A' están en fase; B y B' están en fase; C y C' están en fase. Se puede definir la fase por la fracción de un período que ha transcurrido desde el instante correspondiente hasta el valor o estado que se tome como referencia.

- La velocidad de propagación de una onda no depende de la amplitud.

- La velocidad de las ondas depende de la elasticidad del medio.

**Ondas Longitudinales**: Las ondas que provocan un movimiento oscilatorio de las partículas del medio de transmisión en la dirección de propagación se llaman ondas longitudinales.

**Ondas transversales**: Las ondas que provocan un movimiento oscilatorio de las partículas del medio de transmisión en dirección perpendicular a la de propagación se llaman ondas transversales.

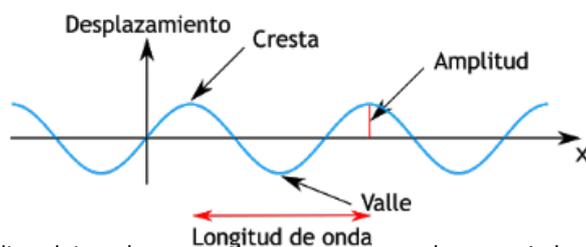
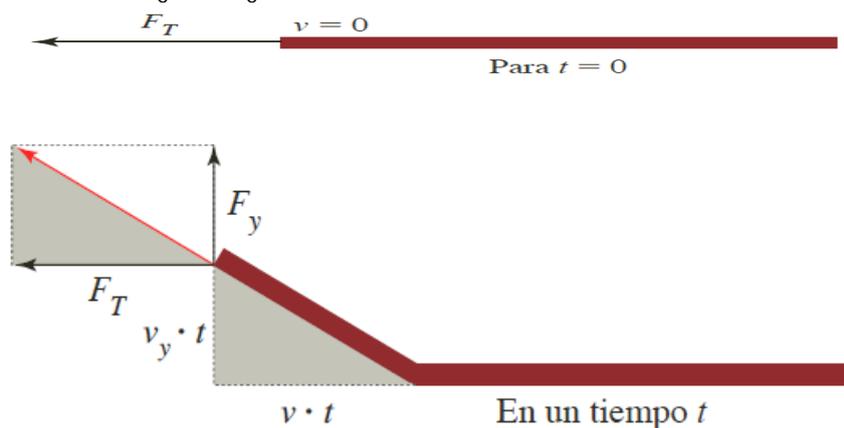
### Velocidad de una onda transversal

Alguna vez habrás observado que, en el proceso de afinación de una guitarra se hace girar la clavija para aumentar o disminuir la tensión en la cuerda. Si la tensión aumenta, todo pulso generado en ella tendrá una mayor velocidad de propagación.

Pero, como no todas las cuerdas tienen el mismo grosor, dicha velocidad también dependerá de este factor, ya que entre mayor sea el grosor de la cuerda, menor será la velocidad de propagación. Se puede afirmar que la velocidad de propagación de una onda en una cuerda es:

- Directamente proporcional a la tensión de la misma.
- Inversamente proporcional al grosor de la cuerda.

Para determinar los factores de los cuales depende la velocidad de propagación de las ondas en una cuerda, supongamos que una cuerda es sometida a una tensión  $F_T$  y que en un instante de tiempo  $t = 0$  se produce, en su extremo, una fuerza en dirección vertical  $F_y$  con el fin de hacerla oscilar, tal como se muestra en la siguiente figura.



Para una sección corta de cuerda, de masa  $m$ , en el instante  $t = 0$ , la velocidad en dirección vertical es cero. En la figura se observa que las partículas de la cuerda se mueven hacia arriba con velocidad constante  $v_2$  hasta el instante  $t$ , es decir que el impulso de la fuerza  $F$  es  $F_y * t$ .

Según la segunda ley de Newton, tenemos que:  $F = m * a = m * \frac{\Delta v}{\Delta t}$  pasando  $t$  al otro lado  $F * t = m * v$  que corresponde a la cantidad de movimiento total en el instante  $t$ , la cual aumenta proporcionalmente con el tiempo.

Los triángulos mostrados en la figura son semejantes, por lo tanto se puede establecer que

$$\frac{F}{F_T} = \frac{v_2 t}{v_1 t} \quad \text{ó} \quad F = \mu * v_1 * t$$

Ahora bien, el impulso producido por la fuerza  $F$  durante el tiempo  $t$  es:

$$I = F * t \qquad I = F_T * \frac{v_2 t}{v_1}$$

La cantidad de movimiento  $P$  de la masa de la parte móvil es:  $P = \mu * v_1 * t * v_2$

Puesto que  $\mu * v_1 * t$  corresponde a la masa de dicha parte. Como se sabe que  $I = \Delta P$  entonces

$$F_T * \frac{v_2}{v_1} * t = \mu * v_1 * t * v_2$$

O sea 
$$v_1 = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

### Ejemplo:

Una cuerda de un arpa sinfónica de 2 m de longitud se somete a una tensión de 500 N. Si su masa es de 60 g, calcular:

- La densidad lineal de la cuerda.
- La velocidad de una onda en dicha cuerda.

**Solución:**

- La densidad lineal está dada por la expresión:  $\mu = \frac{m}{l} = \frac{0.06 \text{ kg}}{2 \text{ m}} = 0.03 \text{ kg/m}$
- Para calcular el valor de la velocidad de propagación en la cuerda se utiliza la ecuación

$$v_1 = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \sqrt{\frac{500 \text{ N}}{0.03 \text{ kg/m}}} = 129,1 \text{ m/s}$$

La velocidad de propagación de la onda en la cuerda es 129,1 m/s

### Energía y Potencia en Ondas

Para producir un movimiento ondulatorio es necesario aplicar una fuerza a un sector del medio, efectuando así un trabajo sobre el sistema. Al propagarse la onda, cada partícula del medio ejerce fuerza sobre las otras y por ende, trabajo en todo el sistema. De esta manera, se puede transportar energía de una región a otra.

En todos los casos en los que se produce una onda armónica nos encontramos con partículas, de mayor o menor tamaño, que están vibrando. Es decir, en ningún caso hay desplazamiento de materia desde el foco hacia los puntos materiales. En esta propagación, punto a punto, la cantidad de movimiento y la energía se propagan. Por ejemplo, considera la espira de un resorte que vibra con movimiento armónico simple; la energía potencial asociada en el punto de su máxima elongación  $A$  es:

$$E_P = \frac{1}{2} * k * A^2$$

Como  $k = m * \omega^2$  tenemos que:  $E_P = \frac{1}{2} * m * \omega^2 * A^2$

Siendo  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , por tanto  $E_P = \frac{1}{2} * m * \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 * A^2 = \frac{1}{2} * m * \frac{4\pi^2}{T^2} * A^2$

Es decir

$$E = 2\pi^2 * m * \frac{1}{T^2} * A^2 = 2\pi^2 * m * f^2 * A^2$$

Ahora, teniendo en cuenta que  $P = E/\Delta t$ , podemos calcular la potencia transmitida:

$$P = \frac{E}{\Delta t} = 2\pi^2 * \mu * v * f^2 * A^2$$

### Ejemplo:

En el extremo de una cuerda tensa muy larga, de masa 0,04 kg y densidad lineal 0,08 kg/m, se produce un MAS, perpendicular a la dirección de la cuerda, de amplitud 0,02 m y frecuencia 8 Hz. Si esta perturbación se propaga a lo largo de la cuerda con velocidad 20 m/s, determinar:

- La amplitud, la frecuencia y la longitud de onda de las ondas generadas.
- La energía que transmiten estas ondas.
- La potencia que transmiten las ondas producidas a lo largo de la cuerda.

**Solución:**

- Teniendo en cuenta el enunciado, se pueden determinar los valores de la amplitud y de la frecuencia, así:

$$A = 0,02 \text{ m}; \quad f = 8 \text{ Hz} \quad v = 20 \text{ m/s} \quad m = 0,04 \text{ kg}$$

La longitud de onda se calcula por medio de la ecuación de velocidad de propagación así:

$$v = \lambda * f$$

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

$$\lambda = \frac{20 \text{ m/s}}{8 \text{ Hz}} = 2,5 \text{ m}$$

b. La energía transmitida se calcula por medio de la ecuación de energía:

$$E = 2\pi^2 * m * f^2 * A^2 = 2\pi^2 * 0,04 \text{ kg} * (8 \text{ Hz})^2 * (0,02 \text{ m})^2 = 0,02 \text{ J}$$

La energía transmitida por las ondas en la cuerda es 0,02 J.

c. La potencia transmitida se calcula por medio de la ecuación:

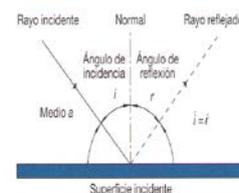
$$P = 2\pi^2 * \mu * v * f^2 * A^2 = 2\pi^2 * 0,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (8 \text{ Hz})^2 * (0,02 \text{ m})^2$$

$$P = 0,8 \text{ W}$$

La potencia transmitida por las ondas en la cuerda es 0,8 W.

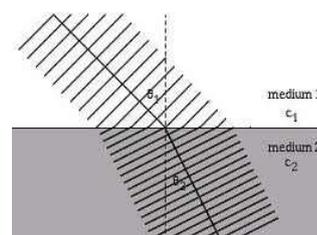
## FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Reflexión:** es el cambio de dirección de un rayo o una onda que ocurre en la superficie de separación entre dos medios, de tal forma que regresa al medio inicial. Es decir el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.  $\theta_i = \theta_r$ . Ejemplos comunes son la reflexión de la luz, el sonido y las ondas en el agua.

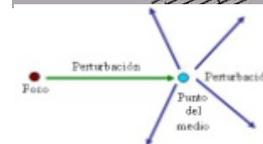


**Refracción:** es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la onda. El índice de refracción es precisamente la relación entre la velocidad de la onda en un medio de referencia (el vacío para las ondas electromagnéticas) y su velocidad en el medio de que se trate.

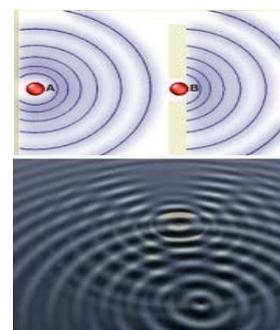
$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$



El principio de **Huygens** nos dice que todo punto alcanzado por una onda se comporta como un emisor de ondas



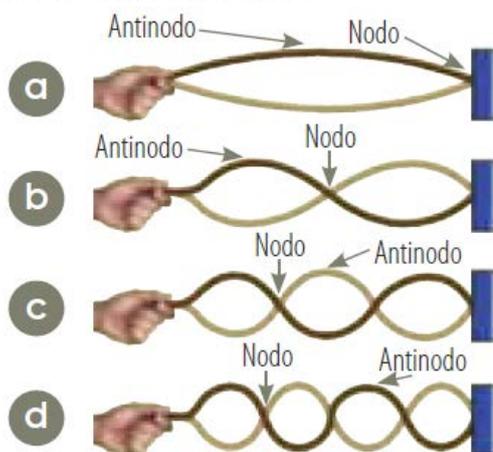
**Difracción:** es un fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo. La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas como la luz y las ondas de radio. También sucede cuando un grupo de ondas de tamaño finito se propaga; por ejemplo, por causa de la difracción, un haz angosto de ondas de luz de un láser debe finalmente divergir en un rayo más amplio a una distancia suficiente del emisor.



**Principio de Superposición:** Establece que cuando dos o más ondas se encuentran en determinado punto de un medio en el mismo instante, el desplazamiento resultante es la suma algebraica de los desplazamientos individuales.

### Ondas estacionarias

Las ondas estacionarias se pueden transmitir en una cuerda con los extremos fijos. Cuando una onda armónica alcanza un extremo fijo, se refleja, originando una onda que viaja en sentido opuesto. Al superponerse la onda original con la reflejada, se genera la onda estacionaria, como se muestra a continuación.



Los puntos de interferencia destructiva, llamados nodos, y de interferencia constructiva, llamados antinodos, permanecen en lugares fijos. La frecuencia mínima de vibración que genera una onda estacionaria se muestra en la parte a de la figura. Las ondas de las partes b y c se generan a una doble y triple frecuencia, de la frecuencia mínima, considerando que la tensión de la cuerda permanece constante. La cuerda también puede vibrar con una frecuencia cuatro veces la mínima (d), y así sucesivamente. Estas frecuencias a las que se producen las ondas estacionarias son frecuencias naturales y frecuencias resonantes de la cuerda.

A medida que aumenta la cantidad de nodos de la onda estacionaria, disminuye la longitud de onda. En cada caso:

$$\lambda = \frac{2 * L}{n}$$

Donde  $L$  es la longitud de la cuerda y  $n$ , el número de armónicos, cada longitud de onda estacionaria implica una distribución de nodos a lo largo de la cuerda. Esta distribución caracteriza la onda estacionaria que representa lo que se llama modo normal de vibración.

Como  $\lambda * f = v$ , la frecuencia en cada caso es:

$$f = \frac{n*v}{2*L}$$

La frecuencia mínima se denomina frecuencia fundamental o primera armónica y corresponde a un antinodo. La longitud completa corresponde a media longitud de onda, es decir:

$$L = \frac{1}{2} * \lambda_1$$

Donde  $\lambda_1$  es la longitud de onda fundamental. El segundo modo, después del fundamental, tiene dos ondas y se llama segundo armónico o primer sobretono; la longitud de la cuerda corresponde a una longitud completa de la onda, lo cual es igual a:

$$L = \lambda_2$$

Para la tercera y cuarta armónicas,  $L = \frac{3}{2}\lambda_3$  y  $L = 2\lambda_4$ , respectivamente, y así sucesivamente. Podemos entonces escribir:

$$L = \frac{n * \lambda_n}{2}$$

Siendo  $n$  el entero que indica número del armónico correspondiente.

#### Ejemplo:

Una cuerda de piano tiene una masa 12 g y una longitud de 1,5 m. Determinar:

- La longitud de onda y la velocidad de propagación de la primera armónica.
- La tensión que deberá tener la cuerda si debe vibrar a una frecuencia fundamental de 131 Hz.
- Las frecuencias de las cuatro primeras armónicas.

#### Solución:

- a. La longitud de onda de la fundamental está dada por la expresión:  $\lambda = \frac{2*L}{n} = \frac{2*1,5}{1} = 3m$

La velocidad de propagación se expresa como:  $v = \lambda * f = 3m * 131Hz = 393 \frac{m}{s}$

La longitud de onda y la velocidad de propagación de la fundamental son 3 m y 393 m/s, respectivamente.

- b. La tensión que debe tener la cuerda es:  $F_T = \frac{m}{L} * v^2 = \frac{0,012 kg}{1,5 m} * \left(393 \frac{m}{s}\right)^2 = 1235,6 * 10^3 N$

La tensión de la cuerda debe ser de  $1235,6 * 10^3 N$

- c. Las frecuencias de las cuatro primeras armónicas son:

Para la primera armónica la frecuencia es:  $f = 131 Hz$

Para la segunda armónica la frecuencia es:  $f = \frac{n*v}{2*L} = \frac{2*393 \frac{m}{s}}{2*1,5 m} = 262 Hz$

Para la tercera armónica la frecuencia es:  $f = \frac{n*v}{2*L} = \frac{3*393 \frac{m}{s}}{2*1,5 m} = 393 Hz$

Para la cuarta armónica la frecuencia es:  $f = \frac{n*v}{2*L} = \frac{4*393 \frac{m}{s}}{2*1,5 m} = 524 Hz$

#### EL SONIDO

Podemos definir el sonido como una sensación auditiva que está producida por la vibración de algún objeto. Estas vibraciones son captadas por nuestro oído y transformadas en impulsos nerviosos que se mandan a nuestro cerebro.

La **frecuencia** es el número de vibraciones u oscilaciones completas que se efectúan en 1 segundo.

El sonido es una onda mecánica longitudinal que se transmite a través de elástico, medio materiales como sólidos, líquidos o gaseosos pero nunca a través del vacío. El sonido es una onda. Una onda es una perturbación que se propaga por el espacio. Recordemos que en una onda se propaga energía, no materia. El sonido se propaga en el aire a una velocidad de 331 m/s a temperatura normal (aproximadamente a 20°). A mayor sea la temperatura mayor es la velocidad del sonido:

$$v = 331 \frac{m}{s} + 0,6 \frac{m}{s} . T. ^\circ C^{-1}$$

En general se propaga a mayor velocidad en líquidos y sólidos que en gases.

MEDIO	TEMPERATURA (C°)	VELOCIDAD (m/s)
Aire	0	331
Argón	0	319
Bióxido de Carbono	0	260,3
Hidrógeno	0	1286
Helio	0	970
Nitrógeno	0	333,64
Oxígeno	0	314,84
Agua destilada	20	1484
Agua de mar	15	1509,7
Mercurio	20	1451
Aluminio	17-25	6400
Vidrio	17-25	5260
Oro	17-25	3240
Hierro	17-25	5930
Plomo	17-25	2400
Plata	17-25	3700
Acero inoxidable	17-25	5740

## Cualidades sonoras

En todos los sonidos que percibimos se pueden distinguir tres cualidades: sonoridad, tono y timbre.

- **La sonoridad** está relacionada con la intensidad del sonido.
- **La intensidad** de un sonido viene determinada por la amplitud del movimiento oscilatorio, subjetivamente, la intensidad de un sonido corresponde a nuestra percepción del mismo como más o menos fuerte. Cuando elevamos el volumen de la cadena de música o del televisor, lo que hacemos es aumentar la intensidad del sonido.

Nivel de intensidad:  $\beta = 10dB \cdot \log \frac{I}{I_0}$

Variación de la intensidad: Existen dos factores que influyen en el aumento o en la disminución de la intensidad: el medio de propagación y la distancia a un foco emisor.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- El tono está relacionado con la frecuencia. El tono de un sonido depende únicamente de su frecuencia, es decir, del número de oscilaciones por segundo. La altura de un sonido corresponde a nuestra percepción del mismo como más grave o más agudo. Cuando mayor sea la frecuencia, más agudo será el sonido. Esto puede comprobarse, por ejemplo, comparando el sonido obtenido al acercar un trozo de cartulina a una sierra de disco: cuando mayor sea la velocidad de rotación del disco más alto será el sonido producido.
- El timbre está relacionado con la forma o la gráfica de la onda. El timbre es la cualidad del sonido que nos permite distinguir entre dos sonidos de la misma intensidad y altura. Podemos así distinguir si una nota ha sido tocada por una trompeta o un violín. Esto se debe a que todo sonido musical es un sonido complejo que puede ser considerado como una superposición de sonidos simples.

## EFECTO DOPPLER

Al cambio de frecuencia de las ondas debido al movimiento relativo entre la fuente y el observador se le llama **efecto Doppler**

- Si el observador está en reposo y la fuente, que se acerca a él emite una señal, esta será percibida por el observador con una mayor frecuencia que la emitida. Entonces, la frecuencia percibida por el observador se expresa como:

$$f_0 = \frac{v}{v + v_f} * f_f$$

Donde  $f_0$  es la frecuencia que percibe el observador,  $v$  es la velocidad de la onda,  $v_f$  es la velocidad de la fuente y  $f_f$  es la frecuencia con la que la fuente emite las ondas.

- Si el observador se encuentra en reposo y la fuente se aleja de él, la señal emitida por la fuente se percibe con una menor frecuencia, es decir, esta será percibida por el observador con una menor frecuencia que la emitida, es decir:

$$f_0 = \frac{v}{v - v_f} * f_f$$

- Si la fuente que emite la señal se encuentra en reposo y el observador se acerca a ella, la frecuencia de la señal emitida se percibe con mayor intensidad, por tanto:

$$f_0 = \frac{v + v_o}{v} * f_f$$

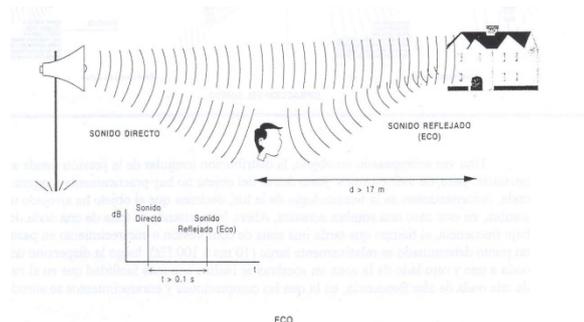
- Si la fuente se encuentra en reposo y el observador se aleja de ella, la señal emitida por la fuente será percibida con una menor frecuencia,

$$f_0 = \frac{v - v_o}{v} * f_f$$

## El sonido se refleja: el eco y la reverberación

El **eco** es un fenómeno consistente en escuchar un sonido después de haberse extinguido la sensación producida por la onda sonora. Se produce eco cuando la onda sonora se refleja perpendicularmente en una pared. El oído puede distinguir separadamente sensaciones que estén por encima del tiempo de persistencia, que es 0.1 s para sonidos musicales y 0.07 s para sonidos secos (palabra). Por tanto, si el oído capta un sonido directo y, después de los tiempos de persistencia especificados, capta el sonido reflejado, se apreciará el efecto del eco. Para que se produzca eco, la superficie reflectante debe estar separada del foco sonoro una determinada distancia: 17 m para sonidos musicales y 11.34 m para sonidos secos.

Se produce **reverberación** cuando las ondas reflejadas llegan al oyente antes de la extinción de la onda directa, es decir, en un tiempo menor que el de persistencia acústica del sonido. Este fenómeno es de suma importancia, ya que se produce en cualquier recinto en el que se propaga una onda sonora. El oyente no sólo percibe la onda directa, sino las sucesivas reflexiones que la misma produce en las distintas superficies del recinto. Controlando adecuadamente este efecto, se contribuye a mejorar las condiciones acústicas de los locales tales como teatros, salas de concierto y, en general, todo tipo de salas. La característica que define la reverberación de un local se denomina tiempo de reverberación. Se define como el tiempo que transcurre hasta que la intensidad del sonido queda reducida a una millonésima de su valor inicial.



## ACTIVIDAD ANEXO 2

1. Un estudiante nota que las ondas en una cubeta corren a una velocidad de 15cm/s, y que la distancia entre dos máximos es de 3cm ¿Cuál es el período de estas ondas?
2. La nota musical sol tiene una frecuencia, por convenio internacional de 440 Hz. Si en el aire se propaga con una velocidad de 340 m/s y en el agua lo hace a 1400 m/s, calcula su longitud de onda en esos medios.
3. Se agita el extremo de una cuerda con una frecuencia de 2 Hz y una amplitud de 3 cm. Si la perturbación se propaga con una velocidad de 0,5 m/s, escribe la expresión que representa el movimiento por la cuerda.
4. Un foco genera ondas de 2 mm de amplitud con una frecuencia de 250 Hz, que se propagan por un medio con una velocidad de 250 m/s. Determina el período y la longitud de onda de la perturbación. Si en el instante inicial la elongación de un punto situado a 3 m del foco es  $y = -2$  mm, determina la elongación de un punto situado a 2,75 m del foco en el mismo instante.
5. En una cuerda elástica se mueve una onda progresiva transversal sinusoidal. Determina su ecuación conociendo las elongaciones de cada partícula de la cuerda en el instante  $t = 0$  s y la elongación en función del tiempo para el origen que ocupa la posición  $x = 0$  m.
6. Una onda transversal de 1 cm de amplitud y 100 Hz de frecuencia se propaga a lo largo del eje de abscisas con una velocidad de 20 m/s. Escribe la expresión de la elongación, velocidad y aceleración de una partícula situada a 10 cm del foco. ¿En qué instante alcanza esa partícula los valores máximos de las expresiones anteriores?
7. Un oscilador vibra con una frecuencia de 500 Hz y genera ondas que se propagan con una velocidad de 350 m/s. Halla:
  - a. La separación de dos puntos consecutivos que vibren con una diferencia de fase de  $60^\circ$ .
  - b. El intervalo de tiempo que transcurre entre dos estados de vibración consecutivos de un punto con una diferencia de fase de  $180^\circ$ .
  - c. Diferencia de fase en un instante cualquiera entre dos puntos separados por una distancia de 3,15 m.
8. Una onda, de 4 cm de longitud de onda, se propaga por la superficie del agua de una cubeta de ondas con una velocidad de 20 cm/s. En un instante dado el frente de ondas accede a una zona menos profunda con un ángulo de  $30^\circ$ , respecto a la superficie de la recta que separa los dos medios. Si la longitud de onda en este segundo medio es 3 cm, deduce la dirección por la que se propaga.
9. Al oscilador de una cubeta de ondas se le acopla un accesorio que consta de dos punzones separados por una distancia de 4 cm. Al incidir sobre la superficie del agua generan ondas coherentes con una frecuencia de 24 Hz, que se propagan con una velocidad de 12 cm/s. Determina el tipo de perturbación que existiera en un punto A que dista 10 cm de un foco y 12 cm del otro y en otro punto C que dista 8 cm de un foco y 9,75 cm del otro.
10. Una cuerda de guitarra de 1 m de larga y fija por ambos extremos vibra formando 4 nodos. Los puntos centrales de la cuerda tienen un desplazamiento máximo de 4 mm. Si la velocidad de las ondas en la cuerda es 660 m/s, halla la frecuencia con la que vibra la cuerda y la expresión de la función de la onda estacionaria.
11. Selecciona la afirmación verdadera:
  - a. El sonido viaja siempre a la misma velocidad
  - b. El sonido se propaga en todas las direcciones
  - c. El sonido se propaga en todos los medios
12. Indica a través de cuáles de los siguientes medios se puede transmitir el sonido.
  - a. Sólidos
  - b. Vacío
  - c. Líquidos
  - d. Gases
13. Un cuerpo efectúa 2300 oscilaciones en 50 s. ¿Cuál es su frecuencia?
14. La frecuencia a la que vibra un cuerpo es de 500Hz ¿Cuántas oscilaciones habrá efectuado al cabo de un minuto?
15. Un cuerpo efectúa 600 vibraciones en 30 segundos ¿cuál es su frecuencia en hertzios?
16. En qué momento llega a nosotros
17. En época de lluvia, es muy común que de momento se observa una luz brillante y posteriormente el trueno. ¿A qué distancia se produce un rayo? Si al observar el relámpago de luz, cuatro segundos después se escucha el trueno.
18. Considerando el problema anterior, si la distancia a la que se produjo un rayo fue de 1360 m, ¿en qué tiempo se escucharía el trueno? Si el sonido ahora viaja por agua.
19. Una tubería de acero es golpeada a una distancia de 3.2 Km. Y el sonido tarda en llegar al punto donde se escucha en 0.53 segundos ¿a qué velocidad viaja el sonido?
20. El sonido de una cuerda indica un tono de DO si la frecuencia de éste es de 261 Hertz. Y se transmite en el aire ¿cuál será la longitud de onda?
21. Un péndulo realiza 10 oscilaciones en un tiempo de 24 segundos, ¿cuál será su período y su frecuencia?

## Anexo 3

### LA LUZ

La luz, al igual que el sonido, es uno de los fenómenos físicos relacionados con nuestra percepción. Mediante ella podemos distinguir formas y colores. También la luz es energía, lo que podemos comprobar cada vez que sentimos en nuestra piel el calor que nos llega del sol. En la naturaleza la luz se manifiesta de distintas maneras: en un relámpago, en las estrellas, en el fuego, incluso existen algunos seres vivos, como las luciérnagas, que emiten luz a partir de procesos químicos.

#### ¿Qué es la luz y cómo se comporta?

Muchas de las características del mundo que nos rodea las podemos percibir a través de la luz. ¿Por qué es importante que comprendamos acerca de su naturaleza y de sus propiedades? A través del entendimiento de fenómenos como este, podemos dar sentido a muchos de los hechos que observamos en nuestro día a día.

#### La Naturaleza de la Luz

El estudio de la luz ha ocupado a la comunidad científica desde hace muchos siglos. A lo largo del tiempo, sólo dos teorías han sido refutadas, una en contra de la otra. Una de estas teorías indica que la luz está compuesta por partículas que viajan en línea recta, mientras la otra defiende el hecho que la luz presenta un comportamiento ondulatorio.

Pero, en el intento por elaborar una interpretación acerca de la naturaleza de la luz, se han presentado distintas visiones a lo largo de historia. A continuación haremos mención de estas teorías. Las primeras participaciones pertenecen a los griegos, entre ellos Leucipo (450 a.C.), quien consideraba que todo cuerpo desprendía una imagen que era captada por los ojos e interpretada por el alma. Posteriormente, Euclides (300 a.C.) introdujo la idea que de que la luz era un rayo emitido por el ojo y que se propagaba en línea recta hasta alcanzar el objeto.

- Aproximadamente en el siglo IV a.C. los seguidores de Demócrito favorecían la teoría que enunciaba que los cuerpos visibles emitían un flujo de partículas llamado luz. Mientras la corriente aristotélica explicaba que la luz era un pulso emitido por los cuerpos visibles.
- El médico árabe Alhazén (956-1039), fue el encargado de determinar que la luz procedía del Sol, siendo los ojos receptores y no emisores; y que en ausencia de la luz los objetos que no tenían luz propia no pueden reflejar nada y, por lo tanto, no se pueden ver.
- Durante la segunda mitad del siglo XVII, el estudio de la naturaleza de la luz cobró gran importancia entre los científicos de la época. En este contexto, Isaac Newton consideró que la luz estaba compuesta por pequeñas partículas denominadas corpúsculos; los corpúsculos se mueven en línea recta y a gran velocidad. Bajo este postulado, Newton construyó la teoría corpuscular, con la cual logró explicar los fenómenos de la reflexión y de la refracción de la luz, aunque para este último supuso que la velocidad de la luz aumenta al pasar de un medio menos denso a uno más denso. Como en aquella época no era posible medir la velocidad de la luz, sólo hasta 1850 el físico Jean Bernard Foucault demostró, vía experimental, la falsedad de este hecho.
- Paralelamente a la teoría corpuscular de Newton, en 1678, surgió la teoría ondulatoria de la propagación de la luz, divulgada por Christian Huygens y Robert Hooke. En ella se consideraba la existencia de un material denominado éter, que cubría todo el universo y por el cual se propagaba la luz. De esta manera, Huygens explicó con bastante sencillez las leyes de la reflexión y de la refracción de luz, así como la doble refracción que exhiben algunos minerales y la lentitud con la que se propaga la luz en los medios más densos, contrario a lo expuesto por Newton.

Aunque la teoría ondulatoria de Huygens explicaba algunos fenómenos observados por Newton, en particular los colores que se formaban en películas delgadas, casi toda la comunidad científica decidió respaldar los fundamentos de Newton, quien para aquella época era considerado como una gran celebridad. Por tanto, la teoría corpuscular se consideró correcta durante todo el siglo XVIII.

- Al comienzo del siglo XIX, surgió nuevamente la polémica entre la teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Huygens. El inglés Thomas Young (1773-1829), quien realizó una serie de experimentos sobre la interferencia y la difracción inclinó la balanza de manera definitiva del lado de la naturaleza ondulatoria de la luz, solucionando así la controversia sobre la dualidad onda-corpúsculo con relación a la naturaleza de la luz.
- Dichas conclusiones fueron reforzadas por los trabajos realizados por el francés Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), quien además del desarrollo de las bases matemáticas de la teoría ondulatoria, demostró que la propagación rectilínea de la luz, era consecuencia del valor extremadamente pequeño de la longitud de onda de las ondas luminosas.
- El respaldo final a la naturaleza ondulatoria de la luz se produjo a mediados del siglo XIX. En primer lugar gracias a la medición de la velocidad de la luz realizada por Foucault y posteriormente, a la predicción de la existencia de las ondas electromagnéticas realizada por James Clerk Maxwell (1831-1879), el cual sugirió que la luz representaba una pequeña porción del espectro de ondas electromagnéticas, aquella cuyo intervalo de longitudes de onda era capaz de impresionar el ojo humano.
- La explicación de Maxwell fue confirmada por Heinrich Rudolf Hertz (1857- 1894), quien generó ondas electromagnéticas a partir de circuitos eléctricos (radioondas), las cuales presentaban los mismos fenómenos de reflexión, refracción, polarización y difracción de la luz.
- A pesar de que se ponía fin a la polémica sobre la naturaleza de la luz, aún faltaba revisar el antiguo concepto del éter. Albert Michelson (1852-1931) y Edward Morley (1875-1955) realizaron un experimento cuyo objetivo era calcular la velocidad de la Tierra con respecto al éter. Debido a que el experimento realizado no mostraba que la Tierra tuviera una determinada velocidad con respecto al éter, se supuso que la Tierra, en su movimiento, arrastraba la capa de éter que la rodeaba. Sin embargo, este experimento no presentó las propiedades del éter, sino que puso en evidencia que su existencia era altamente improbable.

- Por otro lado, Albert Einstein (1879-1955) proponía la teoría de los cuantos de luz (actualmente denominados fotones), en la que explicaba que los sistemas físicos podían tener tanto propiedades ondulatorias como corpusculares. Este concepto lo utilizó para explicar el efecto fotoeléctrico descrito por Hertz.

### Definición de la luz

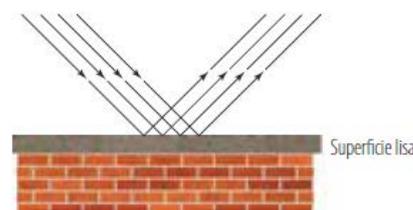
La luz se comporta como una onda electromagnética en todo lo referente a su propagación, sin embargo se comporta como un haz de partículas (fotones) cuando interacciona con la materia. El valor  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s es suficientemente exacto para la mayor parte de las aplicaciones.

## Reflexión de la luz

La reflexión se denomina especular cuando un haz de luz se refleja en una superficie perfectamente pulida, de manera que todos los rayos llegan a ella con el mismo ángulo de incidencia y, por tanto, se reflejan paralelos unos a otros.

Para describir de forma geométrica la reflexión de la luz, es conveniente definir una serie de elementos que se pueden apreciar en la figura 11 (recuerda que nos referiremos a los rayos de luz y no a los frentes de onda).

- El **rayo incidente** es el rayo que llega o incide en la frontera de los medios.
- El **rayo reflejado** es el rayo que se devuelve por el mismo medio, una vez llega a la frontera.
- La **normal, N**, es la recta perpendicular a la línea que divide los dos medios, es decir, la superficie del segundo medio.
- **Ángulo de incidencia, i**, es el ángulo que forma el rayo incidente con la normal.
- **Ángulo reflejado, r**, es el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal.



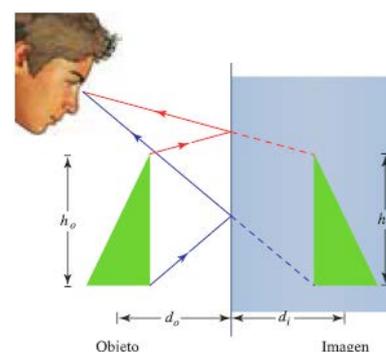
### Imágenes en Espejos planos

Toda superficie lisa y plana que refleje la luz especularmente, es decir, que refleje en una sola dirección un haz de rayos paralelos se denomina espejo plano.

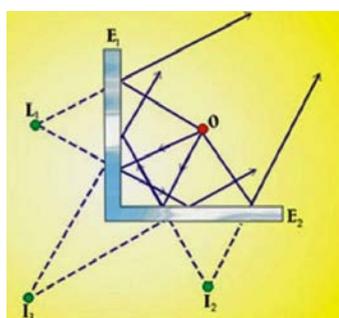
En la siguiente figura se representa la imagen de un objeto reflejada en un espejo plano. Se observa que cada rayo proveniente del objeto se refleja siguiendo la ley de la reflexión:  $i = r$ .

Las características de esta imagen son:

- Para un observador la luz parece provenir de una imagen ubicada detrás del espejo.
- La distancia  $d_o$  del objeto al espejo es igual a la distancia  $d_i$  de la imagen al espejo.
- Tiene una inversión lateral con respecto al objeto.
- Siempre es derecha, es decir nunca aparece invertida.
- El tamaño de la imagen  $h_i$  es el mismo tamaño del objeto  $h_o$ .



### Imagen en espejos angulares



Se conoce como espejos angulares a aquellos espejos planos que se encuentran formando cierto ángulo entre ellos. Si se colocan dos espejos planos formando un cierto ángulo diedro entre sí, y entre ellos se coloca un objeto, se pueden observar varias imágenes, dependiendo su número del ángulo diedro que formen entre sí los espejos.

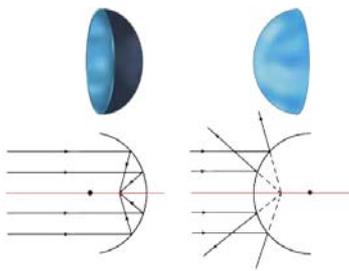
A medida que el ángulo es más pequeño aumenta el número de imágenes. Es muy importante el siguiente concepto: "Cuando dos espejos planos forman un ángulo recto (son perpendiculares) se forman tres imágenes. Si el ángulo entre los espejos varía, el número de imágenes que se obtiene también varía y el número de éstas se puede obtener por medio de la expresión:

$$n = \frac{(360 - x)}{x}$$

Dónde:  $n$  = número de imágenes,  $x$  = ángulo que forman entre sí los dos espejos planos"

### Espejos esféricos

Los espejos esféricos son casquetes de superficies esféricas regularmente reflectoras. De acuerdo con la cara del casquete por donde incida la luz, el espejo puede ser cóncavo o convexo. En un espejo cóncavo la superficie reflectora es la parte interior de la superficie esférica. En un convexo, la luz incide por la parte externa de la superficie esférica. Tal como lo muestra la siguiente figura.



Tanto en los espejos cóncavos como en los convexos, se distinguen los siguientes elementos, que se señalan en la figura anterior:

Radio de curvatura, R, que es el radio de la esfera a la cual pertenece el casquete.

Centro de curvatura, C, punto central de la esfera.

El vértice, V, es el centro topográfico del casquete esférico.

El eje óptico es la línea recta que pasa por el centro de curvatura y el vértice.

El foco, F, del espejo es el punto medio entre el centro de curvatura y el vértice. A la distancia entre el foco y el vértice del espejo se le conoce como distancia focal (f), así que:  $f = \frac{R}{2}$

Por otra parte, en la gráfica se observan tres rayos particulares denominados rayos notables:

- Un rayo paralelo al eje óptico de la lente, el cual incide sobre el espejo y al reflejarse pasa por el foco.
- Un rayo que incide sobre el espejo pasando por el foco, que se refleja en dirección paralela al eje óptico de la lente.
- Un rayo que incide sobre la lente pasando por el centro de curvatura, que se refleja por la misma recta y pasa por el centro de curvatura.

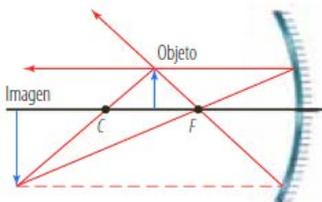
**Ejemplo**

Construir geoméricamente las imágenes de objetos, dadas por los espejos cóncavos y señalar sus características, si el objeto se encuentra:

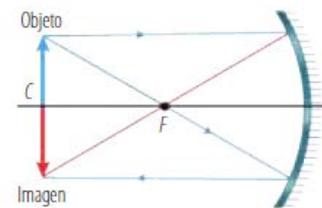
- a) Entre el centro de curvatura y el foco.
- b) En el centro de curvatura.
- c) En el foco.
- d) Entre el foco y el vértice.

**Solución**

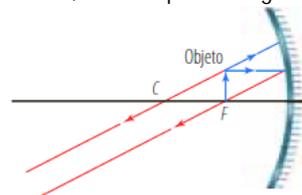
a. La imagen es real, invertida, de mayor tamaño que el objeto y se localiza entre el infinito y centro de curvatura.



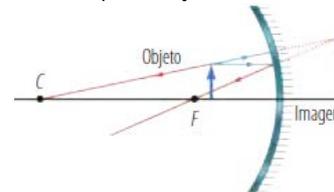
b. La imagen es real, invertida, del mismo tamaño que el objeto y se localiza en el centro de curvatura.



c. A medida que el objeto se acerca al foco, la imagen se aleja del espejo. Cuando está en el foco, todos los rayos reflejados son paralelos, se dice que la imagen está en el infinito.



d. La imagen se forma por la prolongación de los rayos reflejados y aparece detrás del espejo. La imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto.

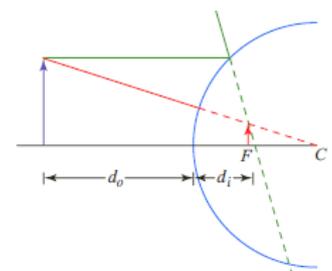


**Imágenes en espejos convexos**

En los espejos convexos la imagen formada siempre tiene las mismas características: virtual (porque la observamos detrás del espejo), derecha

y más pequeña que el objeto. Para determinar la imagen trazamos los mismos rayos notables, sólo que estos divergen al reflejarse, entonces, la imagen se forma con la prolongación de los rayos reflejados detrás del espejo (figura 13). Para trazarlos, debemos tener en cuenta los siguientes aspectos (las líneas punteadas son prolongaciones de los rayos):

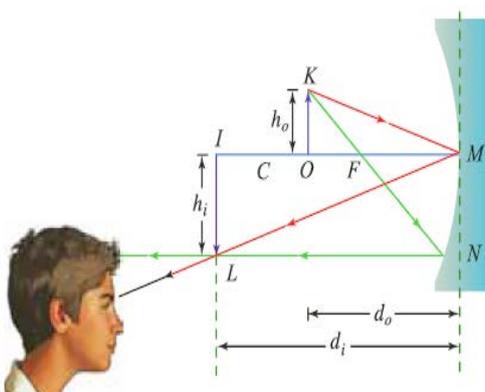
- Cuando el rayo incide en forma paralela, se refleja como si proviniera del foco, detrás del espejo.
- El segundo rayo se traza como si viniera del centro de curvatura y se refleja hasta el objeto.



**Figura 13.** Formación de imágenes en un espejo convexo, con la intersección de la prolongación de los rayos reflejados detrás del espejo.

**Ecuaciones de espejos esféricos**

Es posible encontrar una ecuación que relacione la distancia de la imagen al espejo  $d_i$ , distancia del objeto al espejo  $d_o$ , tamaño o altura de la imagen  $h_i$ , tamaño o altura del objeto  $h_o$  y la distancia focal  $f$ , estas ecuaciones son prácticas en la construcción de los espejos. En la siguiente figura se representa un espejo cóncavo, un objeto, su imagen y dos rayos con sus respectivos reflejos.



Debido a que el rayo ML es el reflejo del rayo KM, el ángulo que forman con la normal (eje óptico) es congruente, por lo tanto, los triángulos MOK y MIL, son semejantes y se establece la proporción:

$$\frac{h_o}{h_i} = \frac{d_o}{d_i}$$

Como, 
$$\frac{h_o}{h_i} = \frac{OF}{FM} = \frac{d_o - f}{f}$$

Al igualar tenemos 
$$\frac{d_o}{d_i} = \frac{d_o - f}{f}$$

Al dividir entre  $d_o$  
$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o}$$

Y al reorganizar términos encontramos la ecuación para los espejos esféricos:

$$\frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o} = \frac{1}{f}$$

El aumento se refiere a la relación entre la altura, o tamaño, de la imagen con respecto a la del objeto. Su ecuación resulta de la primera proporción, establecida anteriormente:

$$\frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$$

El signo menos resulta de las convenciones de signos que a continuación se describen:

- Cuando el objeto, la imagen o el punto focal estén del lado reflejante del espejo (en el mismo lado en que inciden los rayos), la distancia correspondiente ( $d_i$ ,  $d_o$ , o  $f$ , respectivamente) se considera positiva. Si están al otro lado del espejo son negativas.
- Las alturas, o tamaños, del objeto y la imagen ( $h_o$ ,  $h_i$ , respectivamente) son positivas si se encuentran por encima del eje óptico. Si están por debajo son negativas.

### EJEMPLO

Para mejorar la vigilancia, los dueños de un almacén, deciden poner un espejo de distancia focal 240 cm. Si una persona se encuentra en un pabellón a 6 m del espejo.

- Localizar la imagen de la persona.
- ¿Cómo es el tamaño de la imagen de la persona con respecto a su tamaño real?
- Describir las características de la imagen.
- Si la persona mide 2 m, ¿cuál es el tamaño o la altura de su imagen?

### Solución:

a. Como la distancia focal es negativa el espejo es esférico y convexo. Por tanto se tiene que:

$$\begin{aligned} \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o} &= \frac{1}{f} \\ d_o &= 600 \text{ cm} \\ \frac{1}{d_i} + \frac{1}{600 \text{ cm}} &= \frac{1}{-40 \text{ cm}} \\ d_i &= -\frac{600 \text{ cm}}{16} = -37,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

La distancia de la imagen al espejo es 237,5 cm, el signo menos indica que es una imagen virtual.

b. Para encontrar la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño real del objeto, se tiene:

$$\frac{h_i}{h_o} = -\frac{\frac{600 \text{ cm}}{16}}{600} = \frac{1}{16}$$

En el espejo la imagen de la persona es 1/16 comparada con el tamaño real, como la relación es positiva indica que la imagen es derecha.

c. Como es un espejo convexo y de acuerdo con lo hallado anteriormente, la imagen es virtual, derecha y se ubica entre el foco y el espejo.

d. Para encontrar la altura de la imagen:

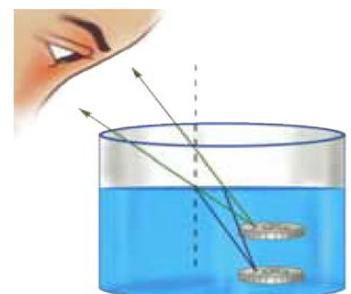
$$\frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = \frac{h_i}{2 \text{ m}} = \frac{1}{16} h_i = \frac{2 \text{ m}}{16} = 0,125 \text{ m}$$

La imagen tiene una altura de 12,5 cm.

### Refracción de la luz

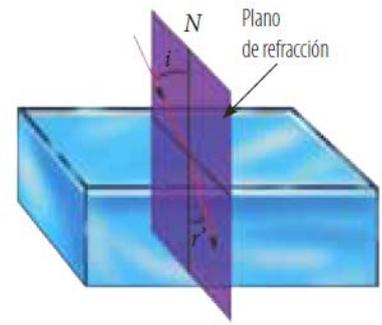
Cuando la luz cambia de medio, su velocidad de propagación cambia, en cuanto a magnitud y dirección, de acuerdo con las características del medio. Por ejemplo, cuando un rayo de luz pasa del medio aire al medio agua, cambia su dirección acercándose a la normal y disminuyendo su rapidez de propagación.

Es por esto que si estamos en el medio aire y observamos a un objeto sumergido en agua lo vemos de mayor tamaño y más cercano comparado a la observación hecha si el objeto está en el mismo medio, aire, como se observa en la figura.



Para describir de forma geométrica la refracción de la luz, es conveniente definir los siguientes elementos, que se ilustran en la siguiente figura:

- El rayo incidente es el rayo que llega o incide en la frontera de los medios.
- El rayo refractado es el rayo que se transmite por el segundo medio, una vez llega a la frontera.
- La normal es la recta perpendicular a la línea que divide los dos medios, es decir, la superficie del segundo medio.
- Ángulo de incidencia es el ángulo que forma el rayo incidente con la normal, se denota con la letra  $i$ .
- Ángulo de refracción es el ángulo que forma el rayo refractado con la normal, se identifica con  $r'$ .
- Al igual que en la reflexión, el rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en un mismo plano.



### La ley de la refracción

La experiencia muestra que los rayos incidentes y refractados cumplen las siguientes leyes:

- Cada rayo de onda incidente y el correspondiente rayo de la onda transmitida forman un plano que contiene a la recta normal a la superficie de separación de los dos medios.
- La relación entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción es una relación constante e igual al cociente entre la velocidad con que se propaga la luz en el primer medio y la velocidad con que se propaga en el segundo medio.

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Por lo tanto, en términos de los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal, obtenemos:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2}$$

El índice de refracción,  $n$ , se define como el cociente entre la rapidez  $c$ , de la luz en el vacío y la rapidez  $v$ , de la luz en otro medio.

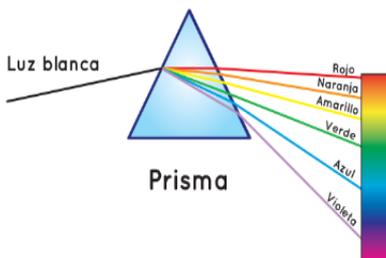
$$n = \frac{c}{v}$$

El índice de refracción siempre es mayor que 1, y varía ligeramente con la temperatura y la longitud de onda de la luz; este fenómeno origina la dispersión de la luz.

Podemos encontrar una expresión que relacione los índices de refracción de dos medios, con la velocidad de la luz en dichos medios. Si en el medio 1 la velocidad de la luz es  $v_1$  y su índice de refracción es  $n_1$  y, en el medio 2 la velocidad de la luz es  $v_2$  y su índice de refracción es  $n_2$  entonces:

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{y} \quad n = \frac{c}{v}$$

## Dispersión de la luz



La dispersión es el fenómeno por el cual una de rayos de luz blanca se descompone en varios colores al refractarse. Fue descubierta por Newton.

Por ejemplo si sobre un prisma de vidrio incide un haz de rayos de luz blanca por la segunda cara emerge un haz luminoso coloreado. Colocando una pantalla se ve la serie de colores rojo anaranjado amarillo verde azul violeta; el color menos desviado es el rojo y el más desviado es el violeta. Ese conjunto de colores se **llama espectro luminoso**.

La dispersión nos sugiere que *la luz blanca es la mezcla o superposición de haces de diversos colores que se separan al refractarse.*

### Actividad 3

1. Un objeto se coloca a colocar como dato los dos últimos dígitos del documento de identidad y con unidades de cm de un espejo cóncavo de colocar como dato los dos últimos dígitos del celular y con unidades de cm de distancia focal, calcular analíticamente y gráficamente la posición de la imagen.
2. Calcular la distancia focal de un espejo cóncavo, si se sabe que de un objeto situado a una distancia de colocar como dato los dos últimos dígitos del documento de identidad y con unidades de cm se obtiene una imagen real, cinco veces mayor.
3. Un objeto se coloca a colocar como dato los dos últimos dígitos del documento de identidad y con unidades de cm de un espejo cóncavo de colocar como dato el último dígito del celular y con unidades de cm de distancia focal, calcular la posición de la imagen, analíticamente y gráficamente.
4. Llenar la siguiente tabla colocando en las casillas en blanco los valores calculados y las características de la imagen (las distancias están medidas en cm).

	1	2	3	4	5	6	7
f	30	-20		40			
$d_o$	40	10	30		6	8	10
$d_i$				-20		16	-20
$h_o$	1	2	4	4	8		4
$h_i$			8		2	1	
Imagen							

- Una persona de 1.80 m de alto quiere comprar un espejo de pared en el cual pueda verse de cuerpo completo. ¿Cuál debe ser la altura mínima que ha de tener dicho espejo para su imagen se vea completa? Consideremos como 0,14 m la distancia de los ojos a la parte superior de la cabeza.
- Cuántas imágenes se ven si hay dos espejos planos formando un ángulo de 23 grados.
- De acuerdo con los índices de refracción absolutos de las sustancias que aparecen en la tabla, calcula la velocidad de propagación de la luz en cada uno de estos medios.

Tabla Índice de refraccion absoluto de algunas sustancias	
Agua	1.33
Alcohol etílico	1.36
Glicerina	1,49
Bencina	1,51
Diamante	2,42
Vidrio común	1,5
Cristal	1,6
Hielo	1.31
Aire	1

- Un rayo de luz pasa del aire a un medio cuyo índice de refracción es de 1,52. Si el ángulo de incidencia es de  $50^\circ$ . ¿Cuál es el valor del ángulo de refracción?