***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 1 de 23.**

**TEMA: REFLEXION. Introducción Óptica Física**

**OPTICA FISICA**

**Guía de Estudio N° 1**

**\***

**1. INTRODUCCIÓN – RESEÑA HISTORICA:**

La **luz** ha estado intrigando a la humanidad durante siglos. Las teorías más antiguas consideraban a la luz como “algo” que era emitido por el ojo. Posteriormente se comprendió que la luz debía proceder de los objetos que se veían y que entraba en el ojo produciendo la sensación de visión. La cuestión de si la luz está compuesta por un haz de partículas o si es un cierto tipo de movimiento ondulatorio ha sido una de las más interesantes en la historia de la ciencia.

Entre los proponentes y defensores de la teoría corpuscular de la luz el más influyente fue sin duda Newton (1642 – 1727). Utilizando esta teoría pudo explicar las leyes de la **reflexión** y de la **refracción**. Sin embargo, su deducción de la ley de la refracción dependía de la hipótesis de que la luz se mueve con más rapidez en el agua o en el vidrio que en el aire, hipótesis que era falsa, como posteriormente se demostró

Los principales proponentes de la teoría ondulatoria de la luz fueron Christian Huygens y Robert Hooke. Utilizando su propia teoría de la propagación de las ondas, Huygens fue capaz de explicar la reflexión y la refracción suponiendo que la luz viaja más lentamente en el vidrio o el agua que en el aire. Newton se dio cuenta de las ventajas de esta teoría, particularmente porque explicaba los colores formados por las películas delgadas, que había estudiado a fondo. No obstante, rechazo la teoría ondulatoria debido a la aparente propagación rectilínea de la luz. En su época no se había observado aun la **difracción** de la luz, desviación del haz luminoso que le permite rodear obstáculos. Incluso después de disponer de pruebas de la difracción de la luz, los seguidores de Newton intentaron explicarla basándose en un proceso de dispersión de los corpúsculos luminosos en los bordes de las rendijas.

**NOTA:**

En 1665 apareció una obra que pese a sus defectos, inmortalizaría un nombre y describiría por vez primera un fenómeno inherente a la luz: la difracción, es decir, la desviación experimentada por un rayo luminoso cuando pasa por el contorno de un obstáculo.

Ese nombre seria el del Padre jesuita Grimaldi (1618-1663), y la obra: Physico-mathesis de lumine, coloríbus et iride, impresa en Bolonia dos años después de su muerte.

Dividida en dos libros, extenso el primero que abarca 60 proposiciones y breve el segundo de solo 6 proposiciones, constituye uno de los ejemplos más extraordinarios del poder de la autoridad en el campo científico en concordancia a la declaración del autor cuando afirma en el Proemio (prólogo) no atenerse a la opinión de los maestros inmortales.

En efecto, necesitó 472 páginas para enunciar experiencias que entrañaban descubrimientos sensacionales, inspirándose en la idea de estimar la luz como “sustancia”, para, enseguida, en las 63 páginas finales de su obra, contradecirse, titubear y buscar la manera de no lesionar el pensar escolástico que, fiel a Aristóteles, la consideraba “cualidad” o “accidente”. Faltó a Grimaldi el temple de un Galileo capaz de enfrentarse con la opinión dominante para decir su verdad, tal cual creía verla surgir de sus propias meditaciones y experiencias.

Por carecer de esa fortaleza moral, se detuvo a mitad del camino, desestimó conquistas trascendentes como su descubrimiento del fenómeno de interferencia, dejando así la sensación de falta de fe en sus propios resultados.

No aceptamos la tesis –por alguien sostenida- de que el segundo libro debe ser interpretado como una conversión del Padre Grimaldi a la admisión del concepto escolástico. El simple hecho de que la obra aparezca originalmente con sus dos libros antagónicos, es suficiente para pensar, con mayor fundamento, que se trata de una concesión, que si puede justificarse en otro orden de actividades, es absolutamente inaceptable en el campo científico.

Si se desea disculparlo, lo más sensato resulta sostener que, pese a los progresos que el mismo imprime a la óptica con los descubrimientos y observaciones expuestos en el primer libro donde defiende la idea de la luz como “sustancia”, al no poder explicarse íntegramente todos los fenómenos observados en forma satisfactoria, subsistió todavía en el la duda acerca de si la idea prevalente en la época no podía dar una solución más completa a esos mismos fenómenos

***CicloLectivo2020*** **Hoja 2 de 23.**

Su indecisión, su detenerse en mitad de camino, le priva del honor de haber sido un precursor en la teoría ondulatoria y, sobre todo, de haber adelantado en siglo y medio el desarrollo de la óptica, enunciando el principio de interferencia. De ahí que su fama se circunscriba al descubrimiento de la difracción.

Por el papel jugado en la evolución histórica de la óptica, destaquemos lo substancial de la obra de Grimaldi.

Ese “gran misterio” que es la luz –según expresa en el Proemio- “se propaga y se extiende no solamente en línea recta y por reflexión o por refracción, sino todavía de una cuarta manera: por difracción”, dice la primera Proposición. Para demostrar la verdad de esta nueva forma de propagación explica las experiencias que realizara y que pueden agruparse en dos series.

**El enigma de la luz** de “Cortes Pla” - Cap. V. Pto 3: “La obra del Padre Grimaldi”

La teoría corpuscular de Newton fue aceptada durante más de un siglo. Luego en 1801, Thomas

Young revitalizo la teoría ondulatoria de la luz. Fue uno de los primeros en introducir la idea de

**Interferencia** como un fenómeno ondulatorio que se presenta tanto en la luz como en el sonido. Sus

observaciones de las interferencias obtenidas con la luz fueron una clara demostración de su naturaleza

ondulatoria. Sin embargo, su trabajo no fue conocido por la comunidad científica durante más de 10

años. Quizás el mayor avance en lo que se refiere a la aceptación general de la teoría ondulatoria de la

luz, se debió al físico francés Agustín Fresnel (1782 – 1827) que realizo extensos experimentos sobre

interferencia y difracción y desarrollo la teoría ondulatoria sobre una sustentable base matemática.

Demostró por ejemplo que la observada propagación rectilínea de la luz es un resultado de las

longitudes de onda tan cortas de la luz visible. En 1850 Foucault midió la velocidad de la luz en el agua

y comprobó que era menor que en el aire, acabando así con la teoría corpuscular de la luz de Newton.

En 1860, James Clerk Maxwell publica su teoría matemática del electromagnetismo que predecía que

la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan con una velocidad calculada mediante las

leyes de la electricidad y el magnetismo y que resultaba valer 3 x 108 m/s, el mismo valor que el de la

velocidad de la luz. La teoría de Maxwell fue confirmada en 1887 por Hertz, quien utilizó un circuito

eléctrico sintonizado para generar las ondas y otro circuito semejante para detectarlas. En la segunda

mitad del siglo XIX, Kirchhoff y otros científicos aplicaron las leyes de Maxwell para explicar la

interferencia y difracción de la luz y otras ondas electromagnéticas y apoyar los métodos empíricos de

Huygens de construcción de ondas sobre una base matemática firme.

Aunque la teoría ondulatoria es generalmente correcta cuando describe la propagación de la luz (y de

otras ondas electromagnéticas), falla a la hora de explicar otras propiedades de la luz, especialmente la

interacción de la luz con la materia. Hertz en un famoso experimento de 1887 que confirmo la teoría

ondulatoria de Maxwell también descubrió el efecto fotoeléctrico que solo puede explicarse mediante

un modelo de partículas para la luz, como Einstein demostró solo unos pocos años después. Así se

volvió a introducir un modelo corpuscular de la luz. Las partículas de luz se denominan **fotones** y la

energía E de un fotón está relacionada con la frecuencia **f** de la onda luminosa asociada por la famosa

relación de Einstein:

E = h **.** f

h es la llamada constante de Planck

No se logró una comprensión completa de la naturaleza dual de la luz hasta la década de los 20

cuando los experimentos realizados por C.J. Davisson y L. Germer y por G.P. Thompson demostraron

que los electrones (y otras “partículas”) también tenían una naturaleza dual y que presentan las

propiedades de interferencia y difracción además de sus bien conocidas propiedades de partículas.

El desarrollo de la teoría cuántica de los átomos y de las moléculas por Rutheford, Bohr,

Schrodinger y otros científicos de este siglo condujeron a un mejor entendimiento de la emisión y

absorción de la luz por la materia. Ahora se sabe que la luz emitida o absorbida por los átomos es el

resultado de los cambios de energía de los electrones exteriores de los átomos. Debido a que estas

variaciones de energía están cuantizadas en lugar de ser continuas, los fotones emitidos tienen energías

discretas que originan ondas luminosas con un conjunto discreto de frecuencias y longitudes de onda semejante al conjunto de frecuencias y longitudes de onda que se observan en las ondas sonoras estacionarias. Observada a través de un espectroscopio con una abertura en forma de rendija estrecha, la luz emitida por un átomo aparece como un conjunto discreto de líneas o rayas de diferentes colores o longitudes de onda, siendo característicos de cada elemento el espaciado e intensidad de dichas líneas.

Los desarrollos tecnológicos que han tenido lugar en la segunda mitad del siglo XX han conducido a un renovado interés sobre la óptica tanto teórica como aplicada. La consecución de ordenadores de alta velocidad ha permitido unas grandes mejoras en el proyecto de sistemas ópticos complejos. Las fibras ópticas están sustituyendo rápidamente a los conductores eléctricos para la transmisión de datos.

***CicloLectivo2020*** **Hoja 3 de 23.**

El láser, construido por primera vez en 1960, ha llevado al descubrimiento de un cierto número de efectos ópticos. Hoy en día, los láseres se utilizan para leer las etiquetas en los supermercados, para realizar operaciones quirúrgicas en los hospitales, para imprimir revistas y para leer discos compactos en los sistemas de audio ordinarios. La técnica de reconstrucción de frentes de onda conocida como holografía, desarrollada a finales de los 40, se utiliza ahora en ensayos no destructivos y para el almacenamiento de datos.

En esta asignatura empezamos estudiando los fenómenos básicos de la reflexión y la refracción. Luego la dispersión. Todos ellos pueden entenderse adecuadamente utilizando rayos para describir la propagación rectilínea de la luz desentendiéndose de los efectos producidos por la interferencia y la difracción.

**2.- INTRODUCCIÓN A LA OPTICA (Óptica Geométrica):**

El sentido de la vista nos proporciona sensaciones de color, forma y ubicación de los objetos que nos rodean contribuyendo con los otros sentidos a que podamos desenvolvernos en el medio exterior.

Ello es posible porque llegan a nuestros ojos ciertas radiaciones que los cuerpos emiten o reflejan y que se denomina **LUZ**.

**“El estudio de la luz y todos los fenómenos con ella vinculados constituyen una parte de la física llamada Óptica”.**

El conjunto de los fenómenos que constituyen el objeto de la óptica puede separarse en dos grupos:

a) **Óptica Geométrica**: Estudia los fenómenos en que solo **interesa la radiación luminosa como rayo rectilíneo** en cada medio homogéneo, sin intervención de hipótesis sobre su naturaleza, modo de propagación u origen.

b) **Óptica Física:** Comprende el estudio de aquellos fenómenos que se refieren a las características de la fuente o a la velocidad y naturaleza de la radiación luminosa.

En función de lo establecido anteriormente, tendremos:

OPTICA GEOMÉTRICA:

1. Reflexión y Refracción de la luz.

Estudia y resuelve problemas referidos a:

## Fenómenos referidos a la

radiación luminosa como

rayo de luz

2. Espejos.

3. Prismas.

4. Lentes.

5. Instrumentos ópticos.

OPTICA FISICA

Además de abordar los mismos temas que la óptica geométrica permite resolver problemas o temas inherentes a:

1. Velocidad de propagación de la luz.

2. Fotometría.

## Fenómenos referidos a la

naturaleza, propagación y

características de la radiación luminosa

3. Naturaleza de la luz y de su propagación.

4. Descomposición de la luz.

5. Espectroscopia.

6. Interferencia.

7. Difracción.

8. Polarización de la luz.

La óptica geométrica, una vez establecidas las leyes fundamentales, consiste en un estudio puramente geométrico de la marcha de los rayos.

Vamos a definir algunos conceptos o ítems necesarios para este análisis geométrico de la óptica:

**RAYO DE LUZ**: Son semirrectas orientadas que representan gráficamente la dirección y sentido de la propagación de la luz. Por ejemplo:

Dirección de propagación: horizontal

Rayo de Luz Sentido de propagación: Positivo, hacia la derecha.

**HAZ DE LUZ**: Es el conjunto de rayos de luz que parten de una misma fuente (emisora o reflectora).

El haz puede ser convergente, divergente o paralelo.

Haz convergente Haz divergente Haz paralelo

***CicloLectivo2020*** **Hoja 4 de**  **23.**

Los rayos luminosos que provienen del Sol debido a la gran distancia a que este se halla de la Tierra se consideran paralelos.

**FUENTE PUNTUAL DE LUZ:** La fuente de luz se llama puntual (**punto luminoso**) si sus dimensiones son despreciables respecto de las distancias que lo separan de los otros cuerpos. En caso contrario es una **fuente extensa**.

En nuestras experiencias de óptica consideraremos puntual a aquella fuente luminosa de gran intensidad y muy pequeñas dimensiones.

Una estrella es una fuente puntual de luz con respecto a la tierra.

Los equipos LASER se comportan muy bien como fuentes puntuales.

No existen en realidad puntos luminosos.

NOTA: Las fuentes de luz pueden ser **monocromáticas** (de un solo color o frecuencia) o **poli cromáticas** (compuesta por varios colores o longitudes de onda o frecuencias).

**3.- CUERPOS LUMINOSOS E ILUMINADOS:**

El sol, las estrellas, una vela prendida o un tubo fluorescente encendido, son cuerpos que emiten energía luminosa y por eso se denominan **cuerpos luminosos**. En cambio, la Luna, los planetas, la vela apagada, el pizarrón, ustedes mismos y todos los cuerpos que no producen luz sino que reflejan la que reciben, se llaman **cuerpos iluminados.**

Si nos encontramos en una habitación con una lámpara encendida, nuestros ojos no solo reciben la luz proveniente de la lámpara, sino también la que reflejan las paredes, piso, techo, muebles y objetos que se hallan en la habitación y por eso los podemos ver.

La lámpara L emite luz.

El objeto A puede ser visto por qué la luz que proviene de la lámpara L (rayo 1) se refleja en él y llega a los ojos de la persona (rayo 1”).

**L**

**1**

**1”**

**A**

De modo semejante, la Luna refleja la luz que recibe del Sol y entonces resulta visible. Por lo tanto, los cuerpos iluminados son visibles porque reflejan la luz que les envían los cuerpos luminosos.

Sintetizando, los cuerpos se pueden clasificar en:

**Cuerpos luminosos:** son los que emiten luz.

**Cuerpos iluminados:** son los que reflejan la luz que reciben de los cuerpos luminosos.

### Sol

### Luna

**Tierra**

NOTA: **Oscuridad** es sinónimo de falta de luz (si la luz solar no llegase a la Luna, no la veríamos).

***CicloLectivo2020*** **Hoja 5 de 23.**

**4.- FUENTES LUMINOSAS:**

Los cuerpos luminosos constituyen las denominadas **fuentes luminosas** o **fuentes de luz.**

El sol y todas las estrellas son fuentes **naturales**, mientras que las lámparas eléctricas, las linternas

El tubo fluorescente, las velas son fuentes **artificiales** porque son producto de la creatividad humana.

El **Sol** es una notable fuente de luz y calor. El centro solar es un enorme horno, con elevada temperatura y presión, donde 630.000.000 toneladas de hidrogeno se fusionan transformándose en helio a cada segundo. De esta cantidad de hidrogeno, 4.600.000 toneladas desaparecen convirtiéndose en energía luminosa y calórica. Este proceso llamado **fusión nuclear**, ocurre también en cada una de las estrellas del universo.

Las primitivas fuentes artificiales de luz (antorchas, lámparas de aceite, alumbrado de gas, etc.) basan su funcionamiento en el proceso de combustión, en el cual, la **energía química** almacenada en el combustible se transforma en luz y calor.

Las formas actuales de iluminación (lámpara eléctrica, tubo fluorescente, lámpara de vapor de sodio, lámpara de vapor de mercurio, etc.) emiten luz a partir de la **corriente eléctrica.**

Analizando las fuentes luminosas, tanto naturales como artificiales, se deduce que en ellas **la energía luminosa** ( LUZ ) **se produce por la transformación de otras formas de energía**, tales como la nuclear, la química, la eléctrica, etc.

**5.-CLASIFICACION DE LOS CUERPOS ILUMINADOS:**

Si miramos a través del vidrio de una ventana, podemos ver con bastante nitidez todos los detalles de los cuerpos situados del otro lado de ese vidrio. Lo mismo sucede con el agua, el aire, el celofán, etc. A estos cuerpos que dejan pasar la luz y permiten ver claramente a través de ellos, se los denomina **cuerpos transparentes.**

En cambio otros cuerpos tales como el vidrio esmerilado, el papel de calcar, ciertos plásticos, etc., permiten el paso de una parte de luz, y los objetos colocados del otro lado se ven borrosos. Estos cuerpos reciben el nombre de **cuerpos semitransparentes o traslúcidos.**

Por ultimo. Hay cuerpos que no dejan pasar la luz, como una plancha de acero, una pared de hormigón, por lo cual no permiten la visión a través de ellos. Estos cuerpos se denominan **cuerpos opacos.**

En consecuencia, los cuerpos se clasifican, según su comportamiento al recibir luz, en:

**.- Transparentes.**

**.- Semitransparentes o translúcidos.**

.- **Opacos.**

**6.-DEFINICION DE LOS FENÓMENOS DE: REFLEXION – REFRACCION – ABSORCIÓN:**

Cuando un haz de rayos paralelos incide sobre una superficie de separación de dos medios materiales puede suceder:

a) Reflexión b) Reflexión c) Refracción d) Absorción

especular difusa

a) El haz que incide del primer medio retorna a este manteniendo paralelos sus rayos: Estamos en presencia de un fenómeno de **Reflexión** (especular). La superficie de separación de los medios es plana, bien pulida y por ejemplo metálica. Los rayos incidentes y reflejados son paralelos.

Un espejo plano e ideal sería un ejemplo de reflexión especular.

b) El haz de rayos incidentes retorna al mismo medio como en el caso anterior pero bajo distintos ángulos, el haz reflejado no mantiene sus rayos paralelos. Esto se denomina **Reflexión difusa** y se debe a la irregularidad de la superficie de separación de los medios. La difusión permite distinguir los objetos.

*Ejemplos:* La reflexión de la luz en las páginas de este apunte es una reflexión difusa. A veces se utilizan vidrios ligeramente esmerilados para cubrir marcos, de forma que se obtenga una reflexión difusa y se elimine, por tanto, los reflejos y brillos de la luz utilizada para iluminar los cuadros. La reflexión difusa de la carretera es la que nos permite verla cuando se conduce de noche, porque parte de la luz de los faros se refleja difusamente en la superficie de la carretera y vuelve hacia nosotros.

***CicloLectivo2020*** **Hoja 6 de 23.**

c) El haz de rayos paralelos pasa del 1º medio al 2º. Este fenómeno se llama **Refracción** y a los rayos se los nombra como incidente y refractado.

d) El haz de rayos no es reflejado ni refractado. No vuelve a ninguno de los medios. Se dice que hay **Absorción**. Un cuerpo negro es un ejemplo donde se produce absorción, uno blanco donde se produce Difusión.

NOTA: Los fenómenos descriptos no son totales en la práctica, sino que vienen acompañados en mayor o menor grado de los otros fenómenos.

**7.- LEYES FUNDAMENTALES DE LA OPTICA GEOMÉTRICA:**

La óptica geométrica se desarrolla íntegramente admitiendo 4 leyes fundamentales:

**A)**  **Propagación rectilínea de la luz:**

“La luz se propaga en línea recta si el medio es homogéneo”.

Ejemplo 1 : Una comprobación de que la propagación es rectilínea, la tenemos en el hecho de todo cuerpo iluminado por una fuente **puntual** , proyecta una sombra que , sobre una pantalla normal a la dirección media de los rayos, es una figura semejante a la que forma el contorno del cuerpo. Una esfera proyectara una sombra circular, etc. , etc.

Fuente

Haz de

luz

Banco Óptico Sombra

220 V Esfera

Ejemplo 2 : Otra demostración lo constituye la ***cámara oscura*** :

Pantalla

(Tapa posterior)

Objeto Imagen

Ejemplo 3: ***Luz – Sombra – Penumbra***: Si se utiliza una “fuente extensa” de luz para iluminar un objeto, se observara en una pantalla ubicada detrás del objeto la formación de tres zonas: Una de luz donde llegan todos los rayos emitidos por la fuente en esa dirección, otra zona de penumbra donde solo llega parte de la emisión luminosa y por ultimo una zona de sombra donde no llega en forma directa ningún rayo de luz

Vamos a usar una lámpara incandescente relativamente cerca del objeto iluminado para que actué como fuente de luz extensa.

Objeto



Fuente extensa de luz (Lámpara)

LUZ

SOMBRA

LUZ

PENUMBRA

PENUMBRA

***NOTA 1:*** *Lámpara incandescente:* Consta de un filamento de tungsteno muy fino, encerrado en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío (o como se hace actualmente, se rellena con un gas inerte o mezcla de ellos), para evitar que el filamento se volatilice por las altas temperaturas que debe alcanzar.

La ampolla varía de tamaño con la potencia de la lámpara, puesto que la temperatura del filamento es muy alta y, al crecer la potencia y el desprendimiento de calor, ha de aumentarse la superficie de enfriamiento. La presión interna en la ampolla es del orden del 80 % de la atmosférica.

Inicialmente el interior de la ampolla estaba al vacío. Luego se rellenó con algún gas noble o una mezcla de ellos (lo usual es 86 % Argón y 14 % Nitrógeno)

***CicloLectivo2020*** **Hoja 7 de 23.**

La lámpara incandescente es la de menor rendimiento luminoso de las utilizadas: 12 a 18 lm/W

(lúmenes por vatio) y la que menor vida útil tiene, unas 1000 horas, pero fue la más popular por su bajo precio y el color cálido de su luz.. Superadas por las de bajo consumo y actualmente las lámparas LED.

***NOTA 2:*** En los ejemplos, la propagación rectilínea se cumple, siempre que los objetos interpuestos o las ranuras por donde se hace pasar a la luz no sean excesivamente pequeños; pues entonces se pueden producir fenómenos llamados **difracción**.

**B) Principio de independencia de los rayos luminosos:**

“Dado un haz de rayos luminosos si con una pantalla interceptamos una parte, los restantes rayos no modificaran su trayectoria ni experimentaran la más mínima perturbación”.

220 V Luz

Banco Óptico 1º Pantalla Sombra

2º Pantalla

Otra forma de expresarlo es: “Si dos o más rayos luminosos se cruzan, cada uno sigue su trayectoria como si los otros no existieran”.

Esta ley, como la anterior, es válida en general, salvo en el caso ya citado, de que el objeto interpuesto o la abertura que subsiste para el pasaje de la luz no sean excesivamente pequeños.

**C) Leyes de la Reflexión:**

**1º Ley**: “El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie de separación de los medios pertenecen a un mismo plano”.

**2º Ley**: “El rayo incidente forma con la normal un ángulo de incidencia que es igual al ángulo formado entre el rayo reflejado y la normal (ángulo de reflexión)”.

Rayo incidente **i ( i =** Angulo de incidencia**)**

**r** rayo

reflejado **( r =** Angulo de reflexión**)**

**i = r**

**D) Leyes de la Refracción:**

**1º Ley**: “El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación se hallan en un mismo plano”.

**2º Ley**: “El rayo refractado forma con la normal un ángulo r que cumple la siguiente condición”:

**n1 . sen i = n2 . sen r**

“Ley de Snell”

rayo **i**

incidente **n1** y **n 2:** constantes de cada medio denominadas índice de

**n1** refracción absoluto.

**n2** rayo  **( i =** Angulo de incidencia - **r =** Angulo de refracción )

**r** refractado

**Principio de la** **reversibilidad de los caminos ópticos** Establecidas las leyes de la reflexión y de la refracción, se deduce o infiere este Principio que establece: “Si un rayo luminoso pasa por un punto A en una dirección **a** y después de una serie de reflexiones y refracciones pasa por otro punto B en la dirección **b**, otro rayo que pase por B en la dirección **b**, pero en sentido contrario, recorrerá el mismo camino en sentido contrario pasando por el punto A en la dirección **a** y en sentido contrario al anterior”.

Reflexión y Refracción.

**A**

**A**

B

B

**b**

**b**

**a**

**a**

Caja Negra

***CicloLectivo2020*** **Hoja 8 de 23.**

**8.- REFLEXIÓN:**

Cuando unas ondas (radiación) de cualquier tipo inciden sobre una barrera plana como un espejo, se generan nuevas ondas (radiaciones) que se mueven alejándose de la barrera. Este fenómeno se denomina **reflexión**. La reflexión se presenta en un límite entre dos medios diferentes como una superficie aire-vidrio, en cuyo caso parte de la energía incidente se refleja y parte se transmite. La figura 1 muestra un rayo de luz que incide sobre una superficie lisa aire-vidrio. El ángulo ***i***, entre el rayo incidente y la normal (la recta perpendicular a la superficie de separación) se denomina **ángulo de incidencia** y el plano definido por ambas líneas recibe el nombre de **plano de incidencia**. El rayo reflejado yace en el plano de incidencia y forma un ángulo ***r***, con la normal que es igual al ángulo de incidencia como se ve en la figura.

***i* = *r***

*Ley de la reflexión*

Este resultado se conoce como **ley de la reflexión** y es válida para cualquier tipo de onda o radiación.

***i r***

La ley de la reflexión puede deducirse mediante el principio de Huygens o el de Fermat que veremos en esta guía (Ítem 12 y 13).

Figura 1: El ángulo de reflexión ***r*** es igual al de incidencia ***i***.

El mecanismo físico de la reflexión de la luz puede comprenderse en función de la absorción y reradiación de la luz por los átomos del medio reflector. Cuando la luz que se transmite por el aire incide sobre una superficie de vidrio, los átomos de éste absorben la luz y la reradían con la misma frecuencia en todas direcciones. Las ondas radiadas hacia atrás por los átomos de vidrio interfieren constructivamente en un ángulo igual al de incidencia produciendo así la onda reflejada.

**Imagen virtual:**

La figura 2 muestra un haz estrecho de rayos luminosos procedentes de un foco puntual *P* que se reflejan en una superficie plana. Después de la reflexión, los rayos divergen exactamente como si procediesen de un punto *P’* que se encuentra detrás de la superficie. El punto *P’* se denomina **imagen** del punto *P*. Cuando estos rayos entran en el ojo, no pueden distinguirse de los rayos que divergirían de una fuente en *P’* como si no hubiese ninguna superficie presente.

Esta imagen *P’* se denomina **imagen virtual** debido a que la luz no procede realmente de ella.

Otra forma de expresarlo es:

“Imagen virtual pues está formada o definida por la intersección de la prolongación de los rayos reflejados. No puede recogerse en una pantalla”

(Ojo)

**P** Ei

Figura 2: Los rayos procedentes de un foco **P** reflejados por un espejo y que llegan al ojo parecen proceder del punto **imagen P´** detrás del espejo. La imagen puede verse cuando el ojo está en un punto cualquiera de la región limitada por el espejo y los rayos Ei y Ed reflejados en los extremos del espejo. Esta región se suele denominar: **campo visual del espejo** con respecto al punto **P**.

Ed

Espejo:

**P´**

***CicloLectivo2020*** **Hoja 9 de 23.**

Como observamos en la figura 2, la imagen *P’* se forma “del otro lado” del espejo, es decir, detrás del mismo y no delante como ocurre con las imágenes reales que veremos y analizaremos en los espejos esféricos.

La imagen de un objeto en un espejo plano es virtual, del mismo tamaño y equidista del espejo, es decir se halla a la misma distancia del espejo que el objeto (pero del otro lado)

Es necesario tener en cuenta que la imagen no es igual al objeto.



j0078790

Figura 3

Espejo

##### Persona

En la figura 3 observamos que la persona sostiene el cartel en su mano derecha. En la imagen que vemos en el espejo, aparece sostenida por la izquierda. Esto NO quiere decir que el espejo invierte izquierda por derecha. LEER NOTAS 1 a 3 ATENTAMENTE.

NOTA 1: Los espejos engañan y desconciertan. Según la superstición griega, era mala suerte y hasta fatal (de ahí el mito de Narciso) mirarse en el espejo. Y hoy sobrevive el equívoco (incluso en textos de Física) de que los espejos invierten izquierda por derecha.

Si girásemos 180° esta página sobre un eje vertical y la leyésemos desde atrás (a trasluz, usando una lámpara o la luz solar), la palabra:

Al girar 180° las letras quedan hacia abajo y luego se mira a trasluz. Se muestra solo la letra **N** en este proceso

IMAGEN

Se vería:





(Mirar a trasluz)

Si mantenemos la página en la misma posición y usando un espejo la leyéramos, veríamos lo mismo que a trasluz.

El espejo, entonces, no invirtió derecha por izquierda sino adelante por detrás. Dicho desde la geometría nuestra imagen en un espejo es una contraparte visual incongruente de la superficie de nuestra cara, es lo que alguien vería si fuéramos transparentes y pudiera ver nuestra cara por detrás (Ver Nota 2).. La inversión de izquierda por derecha de los espejos es un malentendido semántico que Alhacen (Ver Nota 3) intentaría remediar recordándonos que las imágenes no son objetos sino representaciones ilusorias, meras imitaciones de la realidad.

NOTA 2: Como la superficie de la cara es tridimensional y no plana como un papel (es como si fuese una máscara de goma transparente) hay que darla vuelta “como un guante” para convertirla en la imagen del espejo. Esta operación (la de dar vuelta como un guante) acerca la nariz de la máscara al observador más de lo que acerca, digamos, los pómulos, pero preserva izquierda y derecha.

NOTA 3: Al Haytham autor de más de doscientos trabajos sobre óptica, nació en el año 965 en la ciudad de Basora (desde cuyo puerto partió Simbad el marino). Su nombre en latín es Alhacen.

Fue el primer científico en descubrir la cámara oscura. Con él la ciencia ingreso en la historia de los espejos tan ligada al romance perpetuo que los seres humanos tenemos con nuestra propia imagen, tan vinculada a los mitos, el arte y la religión.

NOTAS 1 a 3: ***“La física en la vida cotidiana”*** *de “Alberto Rojo”. Colección* ***Ciencia que ladra - Siglo veintiuno***

**Cantidad de Imágenes generadas por dos espejos planos:**

La figura 4 muestra dos espejos planos cuyas superficies forman un ángulo α. La expresión matemática que relaciona el ángulo que forman los dos espejos con el número de imágenes N se indica al lado de la figura y se puede comprobar fácilmente colocando un objeto pequeño sobre la bisectriz del ángulo formado por ambos espejos

***CicloLectivo2020*** **Hoja 10 de 23.**

Objeto

Bisectriz

Espejo 2

Espejo 1

**α**

Figura 4:

Se puede comprobar y demostrar la siguiente igualdad:

N + 1 = 360° / α

**Campo visual del espejo:**

Figura 5: Uniendo los puntos extremos del espejo con la imagen **O’** de **O** se obtieneel  **campo visual del espejo** con respecto al punto **O** y seria exactamente la región limitada por el espejo y los rayos EI y ED reflejados en los extremos del espejo.

Se llama campo visual de un espejo con referencia a un punto **O** a la región del espacio que, desde el punto dado, puede verse por reflexión en el espejo

**O .**

EI

ED

E

**O’ .**

**9.-ONDAS - INTRODUCCION:**

Para comenzar este ítem es conveniente preguntarse ¿QUÉ ES UNA ONDA?. Podemos decir sintetizando que:

Una onda es una forma de transmitir ENERGIA sin que haya transporte de MATERIA

En el próximo tema (Ítem 10: “La luz analizada como onda”) veremos las magnitudes que caracterizan una onda.

Otro tema importante y de utilidad es la ***clasificación de ondas.***

Teniendo en cuenta si necesitan o no un medio para propagarse las podemos clasificar en:

MECANICAS Y ELECTROMAGNETICAS

Las **ondas mecánicas** son las que siempre necesitan un medio material (Sólidos o Fluidos) para propagarse. NO se pueden propagar en el vacío.. Un ejemplo clásico de onda mecánica es lo que normalmente percibimos como sonido y que se propaga a través de sólidos y fluidos (líquidos y gases)

Las **ondas electromagnéticas** son las que no requieren necesariamente un medio material para propagarse. Un ejemplo de ellas son las ondas de luz. Cuando miramos el cielo nocturno, la luz de las estrellas ha recorrido millones o miles de millones de kilómetros (según su ubicación en el Universo). El vacío no constituye un impedimento para que estas ondas de luz se propaguen y lleguen a nuestros ojos.

Otra forma de clasificar las ondas es teniendo en cuenta como es la dirección de propagación de la onda respecto de la dirección de la “perturbación” o “movimiento de las partículas” del medio donde se propagan

LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

En las **ondas longitudinales** las partículas oscilan en la misma dirección en la que se propaga la onda. Un ejemplo de onda longitudinal es el sonido.

Una forma de visualizar este tipo de onda es utilizando un resorte.

***CicloLectivo2020*** **Hoja 11 de 23.**

Por ejemplo: Si en un resorte fijo en ambos extremos, comprimimos algunas espiras próximas a uno de sus extremos y luego las soltamos, veremos que la perturbación producida (espiras compactadas o reunidas) se propaga en la misma dirección que la del eje del resorte. En este caso las partículas del resorte vibran u oscilan en la misma dirección que avanza la onda.

En las **ondas transversales** las partículas del medio donde se propaga oscilan en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Por ejemplo: Cuando en un medio como el agua (liquido) se propaga una onda, un objeto que flota en la misma (corcho, hoja de un árbol, etc.) adquiere un movimiento oscilante y perpendicular a la dirección en que se desplaza la onda. Esto nos indica que las partículas del líquido también oscilan del mismo modo.

**10.-LA LUZ ANALIZADA COMO ONDA:**

La luz está constituida por ondas electromagnéticas que no necesitan un medio material para desplazarse, por lo cual se pueden propagar en el vacío.

Las ondas que constituyen la luz son **ondas transversales** y por lo tanto, pueden dibujarse mediante una vista lateral, del siguiente modo:

**λ**

**Y** cresta

amplitud

**O**

**X**

valle valle valle

En este esquema se encuentran indicados los siguientes elementos:

**a) crestas:** Son los puntos más altos de una onda.

**b) valles:** Son los puntos de mayor depresión de la onda.

**c) amplitud de onda:** Es la distancia entre el eje de abscisa **x** y la cresta de la onda.

**d) longitud de onda:** Es la menor distancia entre dos crestas o dos valles sucesivos. Se representa con la letra griega **lambda: λ**. Se indica normalmente en **nm** = nanómetro => 1 nm = 10 -9 m.

Además, en toda onda es importante considerar las siguientes características:

**Periodo de una onda:** es el tiempo que tarda en producirse una oscilación o ciclo. Durante el periodo la onda se mueve una distancia de una longitud de onda. El periodo se mide en segundos y se representa con la letra **T**.

(Esquema de una oscilación)

X

**Frecuencia de una onda:** es el número de oscilaciones que se producen en la unidad de tiempo (segundo). Se representa con la letra **f**. La unidad en el SIMELA es el **hertz** (**Hz**) y equivale a una oscilación o ciclo por segundo. Se infiere claramente que: **f = 1 / T**.

**Velocidad de una onda:** está dada por el producto entre la frecuencia y la longitud de onda. Evidentemente estamos hablando de la velocidad de propagación en la dirección **X** de acuerdo a los esquemas adjuntos.

V = λ / T

V = f . λ

En función del periodo **T**

***CicloLectivo2020*** **Hoja 12 de 17.**

Las ondas electromagnéticas (luz, ondas de radio y TV, rayos ultravioletas, infrarrojos, etc) se propagan en el vacío a una velocidad de aproximadamente 300000 Km/s = 3 **.** 10 8 m/s.

Estas ondas se diferencian entre sí por la frecuencia o por la longitud de onda que las caracteriza,

**Intensidad reflejada:**

La fracción de energía luminosa reflejada en un límite como la superficie aire-vidrio depende de una forma complicada del ángulo de incidencia, de la orientación del vector de campo eléctrico asociado con la onda y de la velocidad relativa de la luz en el primer medio (aire) y en el segundo (vidrio). La velocidad de la luz en un medio como el vidrio, el agua, o el aire, se caracteriza mediante el **índice de refracción*****n***, que se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío: ***c*** y la velocidad en el medio ***v***:

***n = c***

***v***

*Índice de refracción*

El valor de c aproximado que se suele tomar es: c = 300000 Km/s.

**n 1 > n2**

**I**

**n1**

**n2**

**I0**

En el caso especial de incidencia normal ( ***i*** = ***r*** = 0º ), puede demostrarse que la intensidad reflejada vale:

***2***

***n1  - n2***

***I*** **=** \_\_\_\_\_\_\_\_\_ ***. I0***

***n1 + n2***

En donde *I0* es la intensidad incidente y *n1*, *n2* son los índices de refracción de los dos medios. En el caso de una reflexión típica en una superficie vidrio-aire en la que *n1* = 1,5 y *n2 =*1, la ecuación anterior nos da *I* = *I0* / 25. Es decir, sólo alrededor del 4 por ciento de la energía se refleja; el resto se transmite.

**11. TEORIAS SOBRE LA LUZ:**

***¿Qué es la luz?*.** Esta pregunta vienen haciéndose los hombres hace muchísimo tiempo y hoy en día sigue vigente. La búsqueda de una explicación ha llevado al desarrollo de las teorías físicas más avanzadas y sorprendentes como la **Relatividad** y la **Cuántica.**

Explicar la naturaleza de la luz es explicar sus mecanismos de propagación. Vamos a enumerar y explicar brevemente las teorías más sobresalientes y/o vigentes.

***Teoría corpuscular de la luz:*** Isaac **Newton** noto una gran similitud entre la radiación luminosa y la gravitación (la intensidad de ambas disminuye con el cuadrado de la distancia a una fuente puntual).

Oriento sus investigaciones hacia una explicación mecánica unificada del Universo. Como parte de esta concepción supuso que un foco luminoso emite partículas muy veloces que al incidir en los objetos rebotan en ellos e impresionan nuestros ojos produciendo en la retina la sensación luminosa.

Esta teoría no podía justificar que la luz se propagara a menor velocidad en los medios transparentes mas densos, ni explicar los fenómenos de Difracción ya observados por el sacerdote Jesuita Grimaldi (Ver NOTA en carilla 1 de 17).

***Teoría Ondulatoria de la luz:*** El primero en proponer una teoría ondulatoria fue R. Hooke pero recién con **C.** **Huygens** la teoría ondulatoria es presentada y aceptada (Ver Ítem 12). Esta teoría establecía que la luz se propaga en forma de ondas en un medio elástico muy especial al que se llamó ***Éter,*** sustancia que impregnaba todos los materiales transparentes y estaba presente también en el ***vacío.*** Consideraba que la luz se transmitía en ese medio elástico como onda mecánica por vibración de las moléculas del éter. Además, todo punto alcanzado por una perturbación se convertía en un centro emisor de ondas secundarias. Al excitarse las moléculas del éter a nivel retina, se producía la sensación luminosa. La teoría explicaba todos los fenómenos ópticos y recibió las contribuciones de Euler, Young y Fresnel.

Pero el éter debía tener propiedades antagónicas: densidad despreciable que justificara la no perturbación en el desplazamiento de los cuerpos celestes que se verificaba en la uniformidad del movimiento de dichos cuerpos. Al mismo tiempo debía poseer una rigidez superior a la del acero para justificar la velocidad de propagación de la luz: Aproximadamente 300000 Km/s. Por todo lo dicho quedaba invalidada esta teoría mecanicista del proceso luminoso. Sin embargo quedaban en pie todos los experimentos que demostraban que la luz era un fenómeno ondulatorio.

***CicloLectivo2020*** **Hoja 13 de 23.**

***Teoría Electromagnética de la luz:*** **Maxwell** (1833-1879) expone esta teoría realizando una síntesis colosal entre el electromagnetismo y la óptica. Hertz (1857-1894) demostró experimentalmente la

existencia de la onda electromagnética. Se llegó posteriormente a la conclusión de que siendo la luz una onda electromagnética no necesitaba ningún medio para propagarse. Quedo desterrada la existencia del ***éter***. El vector Campo Eléctrico de la onda electromagnética es el que provoca la respuesta de nuestra retina, por eso también se le llama **vector luminoso.**

No obstante esta teoría no podía justificar el efecto fotoeléctrico ni el efecto Compton

**Radiaciones Electromagnéticas y la Luz:** Cuando la energía se propaga a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas constituye las **radiaciones electromagnéticas.**

Las **ondas electromagnéticas** son ondas transversales producidas por la oscilación de campos eléctricos y magnéticos. Transportan a través del espacio la energía de este campo electromagnético.

Las principales o más conocidas radiaciones electromagnéticas son: las ondas de radio y TV, las microondas, los rayos infrarrojos, la **luz**, los rayos ultravioletas, los rayos X, los rayos gamma, etc.. Al conjunto de estas radiaciones también se lo denomina **espectro electromagnético.**

La luz es la parte del espectro electromagnético que impresiona la retina del ojo humano excitando a los conos y bastones generando una reacción electroquímica trasmitida luego a nuestro cerebro a través del nervio óptico. Las otras radiaciones son invisibles para las personas.

La energía que transportan las radiaciones electromagnéticas en general suele llamarse **radiante** y específicamente la que constituye la luz se denomina **energía luminosa.**

Podemos entonces decir que:

“La luz, consiste en ondas electromagnéticas, sensibles al ojo humano, que transportan energía luminosa a través del espacio”

Esto que acabamos de expresar es uno de los dos **modelos** físicos que se utilizan en la actualidad para explicar, analizar, comprobar, prever, (etc) el comportamiento de la luz. Recordemos que al igual que el Átomo, nadie puede asegurar haber visto, olido, tocado, atrapado, (etc) un rayo de luz.

***Teoría Fotonica de la luz:*** Para explicar el efecto fotoeléctrico **Einstein** enuncia que la luz esta formada por fotones o cuantos (paquetes o partículas de energía). La luz consiste en un flujo de partículas diminutas llamadas fotones o cuantos que se propagan rectilíneamente moviéndose a una velocidad inmensa. La observación de eclipses y sombras puede explicarse con este concepto corpuscular. Además enviando un haz de luz muy débil a una pantalla puede detectarse el impacto de cada foto individual.

Esta teoría “Fotonica” no puede explicar la interferencia, la difracción y la polarización, típicos fenómenos ondulatorios

***CONCLUSIONES – OBSERVACIONES FINALES:***

Hoy se acepta que la luz presenta un aspecto dual. Varios fenómenos solo se explican desde el punto de vista ondulatorio y otros desde el punto de vista del cuanto de energía.

La naturaleza ondulatoria de la luz es la propiedad dominante en óptica física aunque su naturaleza dual se evidencia por su propagación como onda y su comportamiento como cuanto de energía electromagnética en los procesos de emisión y absorción.

En las concepciones y teorías actuales ha desaparecido la distinción entre partículas y ondas porque hoy se sabe que todas las partículas tienen también propiedades ondulatorias ( De Broglie: dualidad onda – partícula).

Las dos caras del comportamiento de la luz (onda o partícula: foton) son complementarios. El nexo entre ambos conceptos podría enunciarse de la siguiente manera:

Una onda luminosa solo puede intercambiar energía con el exterior por medio de ***paquetes de energía*** llamados  ***fotones***. Un fotón puede considerarse como una partícula de masa nula que se mueve a 300000 Km/s en el vacío. La energía **E** que transporta cada fotón correspondiente a una onda de frecuencia **f** se calcula como:

**E = h . f** ( h = constante de Planck = 6,63 . 10 - 34 J.s)

En consecuencia a la pregunta ¿Qué es la luz?, solo podemos contestar que es algo que a veces parece ser una onda que se propaga y otras veces un flujo muy veloz de partículas, pero que nos resulta imposible comprender cabalmente que es.

***CicloLectivo2020*** **Hoja 14 de 23.**

**12. PRINCIPIO DE HUYGENS (MODELO ONDULATORIO DE LA LUZ):**

Las ondas, independientemente de su naturaleza, presentan los fenómenos de reflexión, refracción, difracción, interferencia, etc.

Para explicar estos fenómenos se suele utilizar un **modelo ondulatorio** basado en el principio de **Huygens** que fundamentalmente consiste en lo siguiente:

a) Cada punto de una fuente luminosa emite ondas esféricas cuyo centro se encuentra en dicho punto:

Es importante tener en cuenta que las **ondas** son **esféricas**  y NO circulares como hace suponer el dibujo en un plano.

Fuente de luz

(tubo fluorescente) Onda esférica

Punto luminoso

b) El plano tangente a todas las ondas producidas constituye un **frente de ondas**:

B

Fuente de luz Frente de ondas (Plano tangente).

Punto luminoso

A

c) Todos los puntos de un frente de onda se pueden considerar como centros emisores de pequeñas ondas secundarias que se desplazan como ondas esféricas:

**P :** Punto del frente de ondas que actúa como centro emisor

**P\***

**P\* :** Otro punto de un nuevo frente de ondas que actúa como nuevo centro emisor.

**P** **.**

Cada uno de los puntos de un frente de ondas se puede considerar como un centro emisor de ondas esféricas secundarias. Esto es ***básicamente*** lo que plantea el **Principio de Huygens.**

d) Después de un cierto tiempo, el frente de ondas se encontrara a una determinada distancia de la fuente luminosa, formando un plano CD, paralelo al plano AB

Es decir, los frentes de ondas sucesivos se propagan como planos paralelos y a una velocidad (en el vacio) de 300000 Km/s.

A continuación se representa bidimensionalmente (plano X – Y) ambas afirmaciones:

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 15 de23.**

D

B

Fuente Nueva posición del

luminosa frente de ondas

A

C

B D F H J

Fuente

de luz Dirección de

X

propagación

A C E G I

e) La dirección de propagación de la onda es perpendicular al frente de ondas y se puede representar por medio de una recta que se denomina **rayo de luz:**

B D F H J

Rayo luminoso

X

A C E G I

El rayo de luz es una forma simplificada para representar la propagación de las ondas luminosas y que permite explicar de un modo sencillo ciertos fenómenos ondulatorios que veremos en óptica geométrica.

ESQUEMAS – DIBUJOS – APLICACIONES:

En la figura 6 puede verse una porción de un frente de onda esférico que procede de un foco puntual. El frente de onda es el lugar geométrico de los puntos con fase constante. Si en el instante *t* el radio del frente de onda es *r*, su radio en el instante *t* + Δt es *r* + *c* **.** Δt, siendo *c* la velocidad de la onda. Sin embargo, si una parte de la onda se ve bloqueada por un cierto obstáculo, o si la onda pasa a través de distintos medios, como en la figura 7, es mucho más difícil la determinación del nuevo frente de onda en el instante *t* + Δt.

Figura 6: Frente de onda esférico procedente de un foco puntual

Foco puntual

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 16 de 23.**

Vidrio

Foco puntual

Figura 7: Frente de onda procedente de un foco puntual antes y después de atravesar una pieza de vidrio de forma irregular

Frente de onda

La propagación de una onda cualquiera a través del espacio puede describirse utilizando el método geométrico descubierto por Christian Huygens (1629-1695) en 1678 y que ahora se conoce como **principio de Huygens o construcción de Huygens:**

Cada punto de un frente de onda primario sirve como foco de ondas elementales secundarias que avanzan con una velocidad y frecuencia igual a las de la onda primaria. El nuevo frente de onda primario al cabo de un cierto tiempo es la envolvente de estas ondas elementales.

Figura 8a

Figura 8b

Figura 8: Construcción de Huygens para la propagación hacia la derecha de: (a) una onda plana y (b) una onda esférica o circular de partida.

La figura 8 muestra la aplicación del principio de Huygens a la propagación de una onda plana y de una onda esférica. Como es natural, si todos los puntos de un frente de onda fuesen realmente un foco puntual, habría también ondas moviéndose hacia atrás. Huygens no tuvo en cuenta estas ondas en retroceso.

**Importante:** El principio de Huygens fue posteriormente modificado por Fresnel, de modo que se calculaba el nuevo frente de onda a partir del frente de onda primitivo mediante la superposición de las ondas elementales considerando sus amplitudes y fases relativas. Aún más tarde Kirchhoff (Gustav Robert 1824-1887) demostró que el principio de Huygens-Fresnel era una consecuencia de la ecuación de ondas, situándolo así sobre una base matemática firme. Kirchhoff demostró que la intensidad de las ondas elementales depende del ángulo y que es nula en sentido hacia atrás.

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 17 de 23.**

**13.- PRINCIPIO DE FERMAT:**

Hemos visto que la propagación de la luz y de otras ondas puede describirse mediante el principio de Huygens. También puede describirse la propagación de la luz utilizando el **principio de Fermat** enunciado en primer lugar en el siglo XVII por el matemático francés Pierre de Fermat (1601 – 1655):

8

El trayecto seguido por la luz al propagarse de un punto a otro es tal que el tiempo empleado en recorrerlo es un mínimo

Este enunciado de Fermat no cubre todos los casos. El tiempo que tarda en recorrer el camino que sigue la luz no siempre es mínimo. A veces es un máximo. Existe una formulación más completa y general del principio de Fermat (no la expresaremos aquí por no ser necesaria y por su mayor complejidad para interpretarla)..

Utilizaremos este principio para deducir la ley de la reflexión.

A B

Figura 9: Construcción geométrica para la deducción de la ley de la reflexión a partir del principio de Fermat. El tiempo que tarda en ir la luz del punto A al punto B es un mínimo cuando la luz incide en la superficie en el punto P.

**P**

**A’**

En la figura 9 suponemos que la luz sale del punto *A*, incide sobre la superficie plana, que podemos considerar que es un espejo, y viaja hasta el punto *B*. Queremos hallar la trayectoria seguida por la luz. El problema para la aplicación del principio de Fermat a la reflexión puede plantearse del modo siguiente: En la figura 9 ¿en qué punto *P* debe incidir la luz sobre el espejo de forma que el recorrido entre los puntos *A* y *B* se realice en el tiempo más pequeño posible? Como en este problema la luz se está moviendo siempre dentro del mismo medio, el tiempo será mínimo cuando la distancia sea mínima. En esta figura la distancia *APB* es la misma que la distancia *A’ PB*; en donde *A’* es la imagen del foco *A*. El punto *A’* está sobre la perpendicular al espejo trazada desde *A* y está equidistante del espejo y detrás del mismo. Evidentemente, si variamos el punto *P*, la distancia *A’ PB* es mínima cuando los puntos *A’*, *P* y *B* están en línea recta. A partir de la figura se ve fácilmente que esto ocurre cuando el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 18 de 23.**

**14.- ESPEJOS ESFERICOS:**

La superficie de reflexión es esférica. No plana como hemos visto. Este espejo se pude imaginar como un casquete esférico perteneciente a una esfera hueca de espesor despreciable, centro **C** y radio r. Si analizamos la reflexión de la luz incidiendo sobre el casquete esférico desde afuera diremos que es un espejo convexo. Si analizamos sobre la superficie interior se trata de un espejo cóncavo.

Cóncavos.

ESPEJOS ESFERICOS

Convexos.

**Espejo Cóncavo:**

Todo rayo de luz que incide paralelo al eje principal (semieje horizontal con origen V y que pase por el centro **C**) se refleja pasando por un punto de dicho eje que denominaremos foco **F**. Este foco se dice REAL porque por el pasan todos los rayos reflejados que inciden paralelos al eje principal o eje X.

Rayo reflejado 1

Rayo reflejado 2

Rayo incidente 1

Rayo incidente 2

**C**

Eje principall

Eje Xl

**F**

**V**

Luz

**Nota 1**: El eje principal (de dirección horizontal) lo define la recta que contiene a **V** y **C.**

**Nota 2**: La radiación luminosa o rayos de luz se tomaran incidiendo de derecha a izquierda

El eje principal pasa por el centro **C** de la “esfera hueca”. Su dirección es horizontal.

El eje X es el eje del sistema de referencia X-Y-Z. Su origen O coincide con el vértice V del espejo.

**Espejo Convexo:**

Todo rayo de luz que incide paralelo al eje principal o eje X se refleja de tal manera que las prolongaciones de los rayos reflejados pasan por un único punto de dicho eje llamado foco F. Este foco se dice imaginario porque “está definido” o “por el pasan” todas las PROLONGACIONES de los rayos reflejados.

**C**

**F**

Luz

**V**

Eje principall

Eje Xl

Rayo reflejado 1

Rayo incidente 1

Rayo reflejado 2

Rayo incidente 2

El eje principal pasa por el centro **C** de la “esfera hueca”. Su dirección es horizontal.

El eje X es el eje del sistema de referencia X-Y-Z. Su origen O coincide con el vértice V del espejo.

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 19 de 23.**

**Distancia Focal f :**

Se puede demostrar que la distancia entre el vértice V de un espejo esférico (cóncavo o convexo) y el foco F es la mitad del radio de curvatura r del espejo o radio de la “esfera hueca” que define nuestro espejo. Es decir que podemos escribir:

r = VC = radio de curvatura.

r = **2 f**

**f** = VF = distancia focal

Como se observa, de acuerdo a nuestro sistema de referencia (eje de coordenadas X):

Espejo **cóncavo** 🡪 VF **>** 0 🡪 **f >** 0 -----Distancia focal Positiva.

Espejo **cónvexo** 🡪 VF **<** 0 🡪 **f <** 0 -----Distancia focal Negativa.

**15.- RAYOS PRINCIPALES DE LOS ESPEJOS ESFERICOS:**

I) Espejos Cóncavos: Son tres los denominados rayos principales.

A) Al incidir un rayo en el espejo de tal manera que pase por el centro de curvatura **C** y no coincida con el eje principal del espejo se refleja sobre sí mismo.

B) Al incidir un rayo en el espejo de tal manera que pase por el foco **F,** el rayo reflejado es paralelo al eje principal.

C) Al incidir un rayo paralelo al eje principal el reflejado pasa por **F**.

Luz

**C**

Eje principall

Eje Xl

**F**

**V**

Rayo incidente C

Rayo reflejado C

Rayo reflejado B

Rayo reflejado A

Rayo incidente A

Rayo incidente B

NOTA: La radiación luminosa o rayos de luz se tomaran incidiendo de derecha a izquierda

II) Espejos Convexos: Son tres los denominados rayos principales.

A) Al incidir un rayo en el espejo de tal manera que SU PROLONGACION pase por el centro de curvatura **C** y no coincida con el eje principal del espejo se refleja sobre sí mismo.

B) Al incidir un rayo en el espejo de tal manera que SU PROLONGACION pase por el foco **F,** el rayo reflejado es paralelo al eje principal.

C) Al incidir un rayo paralelo al eje principal LA PROLONGACION del reflejado pasa por **F**.

**C**

**F**

Luz

**V**

Eje principall

Eje Xl

Rayo reflejado C

Rayo incidente C

Rayo reflejado B

Rayo incidente B

Rayo incidente y reflejado A

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 20 de 23.**

Conclusiones:

a) En un espejo convexo los rayos principales cumplen las mismas condiciones que en un espejo cóncavo, salvo un detalle ¿puede decir cuál es? :

.................................................................................................................................................................

b) Espejos cóncavos:

El foco queda determinado por la..................................................................... de los rayos reflejados, por eso se dice que es..............................................................

Si un rayo incidente pasa por **F**, el reflejado es..................................... eje principal.

Si el rayo incidente es paralelo al eje principal, el reflejado................................................**..**

Si el rayo incidente pasa por **C**, el reflejado..............................................................................

c) Espejos convexos:

El foco queda determinado por....................................................................................................de los rayos reflejados, por eso se dice que es………………………………………………………………

Si la prolongación de un rayo incidente pasa por **F**, el rayo reflejado es...................................... al eje principal.

Si el rayo incidente es paralelo al eje principal, la prolongación del rayo reflejado….........................................

Si la prolongación de un rayo incidente pasa por **C**, la prolongación del rayo reflejado……………………….

**16.- REPRESENTACION GRAFICA (RESOLUCION) (MEDIANTE EL USO DE LOS RAYOS PRINCIPALES):**

**NOTA:**

Se trazara el espejo esférico como si su superficie de reflexión fuese plana. De esta manera la representación gráfica coincidirá con la resolución analítica que se desarrolla en el próximo tema N° **17** utilizando la ***Formula de Descartes*** ya que en la deducción de esta fórmula al establecer la semejanza de dos triángulos rectángulos uno de ellos tiene un lado curvo (la superficie de reflexión) que se aproxima o toma como recto. Otra forma de explicarlo o justificar este trazado es decir que se trabaja con espejos de pequeña abertura

**OBJETIVOS:** Trazar los rayos principales en espejos cóncavos y convexos.

**Obtener las imágenes en los espejos curvos de objetos ubicados en distintas posiciones.**

Se utilizarán los esquemas de varios espejos (7) curvos, objetos y los rayos principales.

**A. Imágenes en espejos cóncavos:**

Se obtiene, en los cinco espejos cóncavos dibujados, la imagen de un objeto usando los rayos principales. El objeto debe ubicarse en distintas posiciones: más allá del centro **C**, sobre el centro **C**, entre el centro **C** y el foco **F**, sobre el foco **F** y entre el vértice **V** y el foco **F**.

**A.1)** Más allá del centro **C** 🡪  **X > r**

**A**

**C**

**X**

**V**

**F**

**A’**

**B’**

**B**

**X =** posición u abscisa del objeto.

**BA =** Objeto.

**X‘ =** posición u abscisa de la imagen.

**B’A’ =** Imagen.

**V =** Vértice del espejo.

**F =** Foco del espejo.

**C =** Centro del espejo.

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 21 de 23.**

La IMAGEN obtenida es:

**REAL** por obtenerse con la intersección de los rayos reflejados.

**INVERTIDA** como se observa. (Toda imagen real es Invertida)

**MENOR** (tamaño que el objeto) como se observa.

**A.2)** Sobre el centro **C** 🡪  **X = r**

**A**

**C Ξ B Ξ B’**

**X**

**F**

**A’**

**B’**

**V**

La IMAGEN obtenida es:

**REAL** por obtenerse con la intersección de los rayos reflejados.

**INVERTIDA** como se observa. (Toda imagen real es Invertida)

**IGUAL** (tamaño que el objeto) como se observa.

**A.3)** Entre el foco **F** y el centro **C** 🡪  **f < X < r.** Recordar **f =** DISTANCIA FOCAL.

**B’**

**A**

**B**

**C**

**X**

**V**

**F**

**A’**

La IMAGEN obtenida es:

**REAL** por obtenerse con la intersección de los rayos reflejados.

**INVERTIDA** como se observa. (Toda imagen real es Invertida)

**MAYOR** (tamaño que el objeto) como se observa.

**A.4)** Sobre el foco **F** 🡪  **X = f**

Los Rayos reflejados son paralelos. No se “cortan”. No generan imagen.

**A**

**F**

**C**

**V**

**B**

**X**

**B’**

La IMAGEN obtenida es:

NO EXISTE IMAGEN. (Podríamos decir que se forman en el infinito)

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 22 de 23.**

**A.5)** Entre el Espejo (vértice **V**) y el foco **F** 🡪 **X < f.** Recordar **f =** DISTANCIA FOCAL.

**X**

**A’**

**C**

**V**

**F**

**B’**

**B**

**A**

La IMAGEN es:

**VIRTUAL** por obtenerse con la intersección de la prolongación de los rayos reflejados.

**DIRECTA** como se observa. (Toda imagen virtual es Directa)

**MAYOR** (tamaño que el objeto) como se observa.

**B. Imágenes en espejos convexos:**

Se observa en el espejo convexo dibujado a continuación (**B1**)la imagen (**B’A’**)de un objeto (**BA**) usando los rayos principales. El objeto puede ubicarse en distintas posiciones. En el primer ejemplo a una distancia mayor que el radio de curvatura y luego en otra abscisa o posición menor que la distancia focal. La imagen obtenida siempre será VIRTUAL, DIRECTA y MENOR.

**B.1)** Más allá del centro **C** 🡪  **X > r**

**V**

**A**

**C**

**X**

**F**

**A’**

**B’**

**B**

La IMAGEN es:

**VIRTUAL** por obtenerse con la intersección de la prolongación de los rayos reflejados.

**DIRECTA** como se observa. (Toda imagen virtual es Directa)

**MENOR** (tamaño que el objeto) como se observa.

**B.2)** Entre el Espejo (vértice **V**) y el foco **F** 🡪 **X < f.** Recordar **f =** DISTANCIA FOCAL.

La IMAGEN es:

**VIRTUAL** por obtenerse con la intersección de la prolongación de los rayos reflejados.

**DIRECTA** como se observa. (Toda imagen virtual es Directa)

**MENOR** (tamaño que el objeto) como se observa.

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 23 de 23.**

TAREA: A continuación trazar los rayos mostrando claramente cómo se genera la imagen

**A**

**X**

**F**

**C**

**B**

**17.- RESOLUCION ANALITICA (Mediante el uso de la formula de Descartes):**

Se deduce con la aproximación ya explicada en el Ítem anterior (16) la fórmula de Descartes que conlleva o genera errores sistemáticos en los cálculos por su aproximación.

**1/X + 1/X’ = 1/f**

**(I)**

Dónde:

**X** = Posición o abscisa del objeto.

**X’** = Posición o abscisa de la imagen.

**f** = Distancia focal.

**X > 0** Cuando el objeto es Real.

**X’ > 0** 🡪 La imagen es REAL. Se forma en la intersección de los rayos reflejados.

**X’ < 0** 🡪 La imagen es VIRTUAL. Se forma en la intersección de la prolongación de los rayos reflejados.

**f > 0** 🡪 El espejo es Cóncavo.

**f < 0** 🡪 El espejo es Convexo.

AUMENTO LATERAL (AUMENTO): Se define como Aumento **A** al cociente entre las alturas u ordenadas de la imagen y el objeto:

**A = Y’ / Y**

Se deduce geométricamente, analizando la marcha de los rayos: **Y’ / Y = X’ / X.**

Por lo tanto:

**A = Y’ / Y = X’ / X**

**(2)**

Con las ecuaciones **(1)** y **(2)** se resuelve analíticamente los ejercicios de Espejos Esféricos.

***Ciclo Lectivo 2020***  **Hoja 1 de 5.**

**REFLEXION Y OPTICA GEOMETRICA**

**Guía de Problemas Nº 1**

**\***

**A)** PROBLEMAS CORRESPONDIENTES A ESPEJOS PLANOS:

**1.** a)Hallar la imagen del segmento AB dada por el espejo E b) Ídem del triángulo ABC c) Ídem del “cuadrilátero” ABCD

**c)** C

B

A

D

E

**a)** B

## A

E

**b)** E

C

A

B

**2.** En el dibujo se fijan 4 puntos A B C D, un espejo plano E y la posición del observador **O**.

**E**

D

C

O

A

B

a) Para los puntos A, B, C y D trace la marcha de los rayos que ubiquen las imágenes que ve el

observador **O**.

b) Marque (indique) el campo visual del espejo **E** para el observador **O**.

Nota: Respetar las dimensiones, formas y ubicaciones dadas en el dibujo.

**3.** a) Encontrar la imagen del rectángulo ABCD que ve (en el espejo) un observador ubicado en **O**,

b) Indique (marque) el campo visual del observador, c) Trace la marcha de los rayos que parten de A, B, C y D llegando (o no) al observador **O.**

Nota 1: Respetar las dimensiones, formas y ubicaciones dadas en el dibujo.

Nota 2: Indicar claramente la imagen que ve el observador **O** (rayada, coloreada, etc)

**E**

**O**

C

B

D

A

**4.-** a) Encontrar la imagen del triángulo ABC que ve (por reflexión) en el espejo **E** un observador ubicado en **O.** b) Indique (marque) el campo visual del observador. c) Trace la marcha de los rayos que parten de A, B y C llegando ( o no) al observador **O**. Respetar las medidas y posiciones indicadas en el esquema.

2 cm

3,5 cm

5 cm

2 cm

5 cm 4 cm 1 cm

**E:** Espejo

**O:** Observador

**O**

E

A

C

B

Indicar claramente la imagen que ve el observador **O**

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 2 de 5.**

**5.** Calcule la altura mínima h y la ubicación del espejo E para que una persona BA de 1,80 metros de altura (H) se vea entera. Dibuje los rayos (y sus prolongaciones) que permiten obtener la imagen entera

a) Cuando E está a 2 m del observador (distancia d).

b) Cuando E está a 5 m (d = 5 m).

Nota: Suponer que los ojos de la persona (observador) están en el punto A.

H

**d**

**E**

## B

## A

**6.** ¿Cómo se forma o genera una imagen virtual?

Respuesta: Con la *intersección* de las *prolongaciones* de los rayos reflejados.

**7.-** En la figura se representan dos espejos E1 y E2 y dos puntos A y B. Se pide encontrar la marcha de un rayo de luz que partiendo de A y luego de reflejarse en E1 y E2 pase por el punto B.

**B**

**A**

E2

E1

**8.** En un espejo plano se observa la imagen de un árbol de 4,3 m de altura, ubicado a 30 m del espejo. Indique: a) ¿Qué clase de imagen se forma y a que distancia del espejo? b) ¿Bajo qué ángulo se observa desde el pie del árbol? c) ¿Qué altura mínima debe tener el espejo para poder observar toda la imagen desde el pie del árbol? d) Esquema (dibujo) de la situación.

Nota: Dibuje la marcha de los rayos y prolongaciones que permiten ver la imagen.

Respuesta: a) virtual, 30 m b) 4,1º c) 2,15 m d)..........................

**9.** Entre dos espejos planos que forman un ángulo de 45º se ubica (sobre la bisectriz) un punto luminoso. Determine en forma gráfica y analítica el número de imágenes.

Respuesta: 7

**10.** Dos espejos planos en ángulo forman de un objeto ubicado entre ellos y en la bisectriz del ángulo, 8 imágenes. ¿Cuál es el ángulo que forman los espejos?

Respuesta: 40º

**11.** *(Opcional)-* Un rayo de luz incide en un espejo plano con un ángulo de 40º. El espejo rota en sentido anti horario un ángulo α = +10º y no se modifican ni el rayo incidente ni el punto de incidencia: a) ¿cuánto vale el nuevo ángulo de reflexión? b) ¿cuánto rota el rayo reflejado? c) analice si la rotación fuese – 10º (sentido horario).

Respuesta: a) 50º (ί+α = r ,) b) θ = 2 α = 20º c) 30º y 20º respectivamente. Nota: α = - 10º

**B)** PROBLEMAS CORRESPONDIENTES A OPTICA FISICA:

**12.-** Calcular la velocidad de propagación en el vacío de una onda luminosa siendo su frecuencia 4,3 **.** 1014 Hz y su longitud de onda 695 nm (rojo). ¿Cuál es el tiempo que tarda en producirse un ciclo u oscilación?.

Respuesta: 2,99 **.** 10 8 m/s - T = 2,326. 10 **-**15 s NOTA: 1 nm = 10 -9 m - (1 Hz = 1/s).

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 3 de 5.**

**13.-** a) Calcular la longitud de onda en el vacío de una radiación azul cuya frecuencia es 6,1 **.** 10 14 Hz.

b) Calcule el período.

Respuesta: a) 491 nm = λ b) 1,639 **.** 10 **-**15 s = T

**14.-** La velocidad de la luz amarilla en el agua es 226000 km/s. La frecuencia de dicha onda luminosa es 5,1 **.** 1014 Hz. Calcule la longitud de onda y el período.

Respuesta: 443**.** 10 **-**9 m = 443 nm – T = 1,96 **.** 10 -15 s.

**15.-** Sí el período de una onda (violeta) es 1, 333... . **.** 10 **-**15 s.

1. ¿Cuál es su longitud de onda en el vacío?. Exprese el resultado en nm y metros.
2. ¿Cuál es el número de oscilaciones que se producen, en el vacío, en la unidad de tiempo? ¿Y en el agua? Explique (justifique) la respuesta.

Respuesta: a) λ = 400 nm = 400 **.** 10 -9 m b) f = 7,5 **.** 10 14 Hz.en ambos casos.

**16.-** En un medio determinado un rayo de luz (verde) de período 1,754 **.** 10 **-**15 s tiene una velocidad de propagación de 194000 km/s. a) ¿Cuál es su longitud de onda?. b) ¿Cuántas oscilaciones por segundo se producen?

Respuesta: a) 340 nm b) 5,7 **.** 10 14 Hz.

**17.-** ¿Cuál es la velocidad de la luz en medios con índices de refracción 1,520 (vidrio) y 1,422 (solución de azúcar al 50%)?.

Respuesta: 197368 km/s y 210970 km/s.

**18.-** a) Calcule el índice de refracción de un medio en el cual la velocidad de un rayo monocromático (amarillo) es 226000 km/s b) Ídem si la velocidad es 300000 km/s.

Respuesta: a) n = 1,327 (agua) b) n = 1 (vacío).

**19.-** Un rayo de luz monocromático tiene una velocidad de 1,240 **.** 10 8 m/s = 124000 Km/s dentro del diamante (n = 2,417). Calcule la velocidad de la luz en el vacío.

Respuesta: 2,997 **.** 10 8 m/s.

**20.-** Un rayo de luz incide normalmente en una superficie de separación hielo-aire (n = 1,309). ¿Qué porcentaje de la energía o intensidad incidente se refleja y cuánto se transmite?

Respuesta: 1,79 % se refleja; 98,21 % se transmite.

**21.-** Si una radiación luminosa incide normalmente en la superficie de separación zafiro – agua con índices nZ = 1,770 y nA = 1,333, calcule el porcentaje de energía reflejada y transmitida.

Respuesta: 1,98 % se refleja; 98,02% se transmite.

**22.-** Calcule en el caso de incidencia normal en la superficie de separación diamante – aire (n = 2,417) el porcentaje de energía reflejada y transmitida.

Respuesta: 17,2 % se refleja; 82,8 % se transmite.

**23.-** Una radiación luminosa incide normalmente en la superficie de separación zafiro–agua. El índice absoluto del agua es na = 1,333. El porcentaje de energía reflejada es 1,98 %. Calcule el índice de refracción del zafiro

Respuesta: nz = 1,770

**24.-** a) Defina brevemente que es una onda b) Clasifique a las ondas en base al medio necesario para transmitirse. Explique y de algún ejemplo. c) Clasifique a las ondas en base a las direcciones de “propagación” y de “perturbación” u oscilación de las partículas del medio necesario para transmitirse. Explique y de algún ejemplo.

**C)** PROBLEMAS CORRESPONDIENTES A ESPEJOS ESFERICOS. (Cóncavos y Convexos).

**25.** Un espejo cóncavo tiene un radio de 100 cm. Ante él y a 150 cm del vértice se coloca un objeto de 30 cm perpendicular al eje principal a) Hallar gráfica y analíticamente la posición y tamaño de la imagen b) Indicar las características de la misma. Justificar la respuesta.

Respuesta: a) x´= 75 cm y´= -15 cm b) Real, Invertida, Menor

***Ciclo Lectivo 2020***  **Hoja 4 de 5.**

**26.** A 80 cm de un espejo convexo de distancia focal 40 cm se coloca un objeto.

a) ¿Cuál es la abscisa de la imagen?

b) ¿Cuál es el tamaño de la imagen si la ordenada del objeto es 30 cm?

Resolver en forma analítica y gráfica.

Respuesta: a) x´= - 26,7 cm b) y´= 10 cm

**27.** Un objeto real colocado a 60 cm del vértice de un espejo esférico forma una imagen real e invertida a 90 cm del mismo. a) Basándose en el enunciado del problema, indicar el tipo de espejo justificando la respuesta b) ¿Cuál es la distancia focal y el aumento lateral? c) Representar gráficamente la situación resuelta indicando escalas utilizadas. Verifique gráficamente la situación resuelta.

Respuesta: a) Cóncavo b) f = 36 cm A = - 1,5 c)........

**28.** Un objeto real colocado a 60 cm del vértice de un espejo esférico forma con la intersección de las prolongaciones de los rayos reflejados una imagen a 90 cm del mismo. a) Basándose en el enunciado del problema, indicar el tipo de espejo justificando la respuesta b) ¿Cuál es la distancia focal y el aumento lateral? c) Representar gráficamente la situación resuelta indicando escalas utilizadas. Verifique gráficamente la situación resuelta.

Respuesta: a) Cóncavo b) f = 180 cm A = + 1,5 c)........

**29.** Resuelva el problema anterior si la imagen se forma en la intersección de los rayos reflejados.

Respuesta: a) Cóncavo b) f = 36 cm A = - 1,5 c)........

**30.** A 70 cm de un espejo se coloca un objeto (real). Se obtiene una imagen directa y virtual a 30 cm del espejo: a) Halle analíticamente la distancia focal. b) Explicar cuál es el espejo utilizado basándose para justificar la respuesta en el enunciado del problema. c) Represente gráficamente la situación resuelta indicando escalas utilizadas. Verifique gráficamente la resolución analítica.

Respuesta: a) f = - 52,5 cm b) convexo. c)..................

**31.** Un objeto de 20 cm de ordenada se encuentra a 60 cm del vértice de un espejo cóncavo. Sí el radio de curvatura del espejo es de 20 cm. Calcular: a) Características de la imagen y su posición. (En forma analítica y gráfica ) b) Aumento transversal.

Respuesta: a) x´= 12 cm y´= - 4 cm Real, Invertida, Menor b) A = - 0,2

**32.** “Idem” problema **31** sí: r = 60 cm.

Respuesta: a) x´= 60 cm y´= - 20 cm Real, Invertida, Igual b) A = - 1

**33.** “Ídem” problema **31** sí: r = 160 cm.

Respuesta: a) x´= - 240 cm y´= + 80 cm Virtual, Directa, Mayor b) A = + 4

**34.** Resuelva el ejercicio **31** si el espejo es Convexo.

Respuesta: a) x´= - 60/7 cm = - 8,57 cm y´= + 20/7 cm = 2,85 cm b) A = + 1/7 ≈ 0,14.

**35.** Un espejo esférico forma una imagen virtual de un objeto ubicado a 60 cm del vértice. Si la imagen se obtiene a 1,80 m del espejo: a) En base al enunciado del problema, ¿De qué espejo se trata y por qué? b) Resuelva en forma gráfica y analítica calculando la distancia focal.

Respuesta: a) Cóncavo pues A = + 3 b) f = 90 cm

**36.** Un espejo esférico forma con la intersección de los rayos reflejados la imagen de un objeto ubicado a 60 cm del vértice. Si la imagen se obtiene a 1,80 m del espejo: a) En base al enunciado del problema, ¿De qué espejo se trata y por qué? b) Resuelva en forma gráfica y analítica calculando la distancia focal.

Respuesta: a) Cóncavo: la imagen se forma con los rayos reflejados (o A = - 3) b) f = 45 cm

**37.** Un espejo esférico forma con la intersección de la prolongación de los rayos reflejados la imagen de un objeto ubicado a 60 cm del vértice. Si la imagen se obtiene a 1,80 m del espejo: a) En base al enunciado del problema, ¿De qué espejo se trata y por qué? b) Resuelva en forma gráfica y analítica calculando la distancia focal.

Respuesta: a) Cóncavo pues A = + 3 b) f = 90 cm

**38.** Un espejo esférico tiene un radio de curvatura de 60 cm: a) ¿A qué distancia del espejo debe colocarse un objeto para obtener una imagen del doble del tamaño? b) “Ídem” anterior para una imagen real y tres veces menor c) Represente gráficamente las situaciones resueltas.

Respuesta: a) Con A = + 2: x = 15 cm, con A = - 2: x = 45 cm b) x = 120 cm

***Ciclo Lectivo 2020*** **Hoja 5 de 5.**

**39.** Un objeto recto ubicado perpendicularmente al eje de un espejo, forma una imagen real 4 veces mayor sobre una pantalla ubicada a 2,2 m del vértice: a) Calcule la abscisa del objeto b) ¿Cuál es la distancia focal? c) Represente gráficamente la situación resuelta.

Respuesta: a) x = 55 cm b) f= + 44 cm c).........

**40.** Analizar y/o resolver el problema anterior si la pantalla se halla a 4 m del objeto

Respuesta: a) x = 133,3 cm b) f = + 106,7 cm c).........

¡CUIDADO! (Ayuda: Analice la posición de la imagen: ¿esta ubicada detrás o delante del objeto?).

**41.** Un espejo esférico tiene un radio de curvatura de 32 cm.: a) ¿ A que distancia del espejo debe colocarse un objeto para obtener una imagen cuya ordenada sea la quinta parte de la altura del objeto?. b) Represente gráficamente la situación resuelta. c) Analice – resuelva si el enunciado fuese “…radio de curvatura de 32 cm. ***y la imagen es invertida***: a) ¿A que….”

Respuesta: a) Con A = + 1/5, espejo convexo: x = 64 cm., con A = - 1/5, espejo cóncavo: x = 96 cm b)……. c) corresponde a la resolución como espejo cóncavo.

**42.** Un objeto recto ubicado perpendicularmente al eje de un espejo, forma una imagen directa y 3 veces menor ubicada a 15 cm. del vértice: a) Calcule la abscisa del objeto b) ¿Cuál es la distancia focal? c) Represente gráficamente la situación resuelta d) Analice – resuelva si la imagen es invertida.

Respuesta: a) x = 45 cm. b) f = - 22,5 cm. c)......... d) Espejo cóncavo: x = 45 cm., f = 11,25 cm.

**43.** Si un espejo cóncavo tiene una distancia focal de 15 cm: a) ¿En cuanto aumenta el tamaño de un objeto que se sitúa a 10 cm de su vértice? b) ¿Y si se sitúa a 20 cm?.

Respuesta: a) A = + 3, el tamaño de la imagen se triplica b) “Ídem” anterior.

**44.** Indique el tipo de espejo (en cada caso) justificando la respuesta sí:

a) La imagen es directa. b) El aumento transversal es negativo. c) La abscisa de la imagen es positiva. d) La distancia focal es negativa. e) El aumento vale – 2. f) El aumento vale + 3.

En los casos que pueda, indique las características de la imagen.

Respuesta: a) Cóncavo o convexo. Imagen virtual, mayor o menor. Directa por enunciado b) Cóncavo. Real, invertida y mayor, menor o igual c) Cóncavo. Real por lo tanto invertida y mayor, menor o igual d) Convexo. Virtual, directa y menor e) Cóncavo. Real, invertida y mayor f) Cóncavo. Virtual, directa y mayor.

**45.** En un espejo esférico convexo de 20 cm de radio de curvatura, se reflejan los rayos provenientes de un edificio de 25 m de altura que se halla ubicado a 50 m de distancia del espejo: a) ¿Cuál es la altura de la imagen? b) ¿Cuánto vale el aumento?.

Respuesta: a) y´= 4,99 cm (x´ = - 9,98 cm) b) A = + 1/501 ≈ 0,002

**46.** Un espejo esférico produce en una pantalla colocada a 30 cm del mismo una imagen de un objeto situado a 10 cm del vértice: a) ¿Que clase de espejo es?. Justifique b) ¿Cuál es la distancia focal y su radio de curvatura? c) Calcular el aumento lateral d) Resolver en forma gráfica (o representar la situación resuelta).

Respuesta: a) cóncavo b) f= + 7,5 cm , r = 15 cm c) A = - 3 d) ...........

**47.** Un objeto ubicado a 80 cm del vértice de un espejo forma una imagen sobre una pantalla que se encuentra a 80 cm del espejo: a) Hallar el radio de curvatura y la distancia focal b) Representar gráficamente la situación planteada y resuelta.

Respuesta: a) f= + 40 cm , r = 80 cm b) ...........

**48.** Dado AB (objeto) y A´B´ (imagen), ambos reales y su posición sobre el eje principal **e** de un espejo: a) Calcule la distancia focal b) Representar el espejo que corresponda y trazar la marcha de los rayos.

BA = y = 1 cm

A B´A´ = y´ = - 2 cm

Eje **e** B B´

Principal 9 cm

A´

Respuesta: a) f = + 6 cm (x = 9 cm y x´ = 18 cm) b)...........

**49.** Dado el eje **e**, el objeto AB y su imagen A´B´ directa y virtual: a) Calcule la distancia focal, b) Representar el espejo que corresponda en la ubicación correcta y trazar la marcha de los rayos.

A´

A BA = y = 1 cm

B´A´ = y´ = 2 cm

B´ B **e** (Eje principal)

9 cm

Respuesta: a) f = + 6 cm (x = 3 cm y x´ = - 6 cm) b)...........