

13
2Ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**DISEÑO DE IMPLEMENTACION DE PRACTICAS
PARA LABORATORIO DE FISICA DE LA FACULTAD
DE QUIMICA SOBRE EL PROGRAMA DE QUIMICA.**



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Q U I M I C O

P R E S E N T A:

DALIA GARCIA HERRERA

MEXICO, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Página
Introducción	4
Generalidades	5
Descripción de las prácticas	28
Práctica No. 1: Un juego de dados	32,113
Práctica No. 2: Un método para calcular incertidumbres	36,126
Práctica No. 3: Oscilador armónico simple	40,131
Práctica No. 4: Péndulo físico y péndulo simple	44,143
Práctica No. 5: La cuba de ondas	49,154
Práctica No. 6: Tubo de resonancia	57,173
Práctica No. 7: Cuerdas vibrantes	63,183
Práctica No. 8: Flautas	69,199
Práctica No. 9: Imágenes en espejos planos	74,208
Práctica No.10: Interferencia y difracción; Experimentos de Young y Michelson	80,221
Práctica No.11: Polarización de la luz	87,232
Práctica No.12: Placas retardadoras	94,246
Práctica No.13: Análisis fotoelástico	97,253
Práctica No.14: Ley de Malus	99,256
Práctica No.15: Actividad óptica; Sacarímetro de Ventzke-Soleil	102,265
Práctica No.16: Polarización de un láser	106,278
Conclusiones	291
Bibliografía	292

INTRODUCCION

"El concepto científico es la síntesis en la cual se expresan los conocimientos adquiridos acerca de un proceso o un grupo de ellos. Para establecerlo, los datos conocidos se agrupan, ordenan y entrelazan, con el fin de reconstruirlos racionalmente en una representación unitaria que refleje el proceso o grupo de procesos en su totalidad.

Los conceptos formulados en el pensamiento, como resultado de la actividad científica, son abstracciones de los procesos y sus relaciones. La abstracción consiste en considerar el proceso desde un punto de vista único, prescindiendo de todas las demás propiedades de su existencia. Así, abstraer es aislar y destacar una propiedad respecto de otras. El fundamento objetivo de la abstracción se encuentra en el hecho de que el universo es susceptible de descomponerse en partes aisladas, sin que por ello pierda su unidad indisoluble. Sobre esa base, la formación del concepto se hace por abstracciones sucesivas que permitan destacar las propiedades comunes y los vínculos de varios procesos semejantes, aunque no iguales, de modo que las propiedades singulares de cada proceso se fundan en la unidad general del concepto.

Por tanto, el concepto es la cristalización del conocimiento"

Eli de Gortari,
Dialéctica de la Física.

GENERALIDADES

Breve semblanza de la Física en general y de la óptica en particular.

El estudio de la Física es en definitiva una investigación en busca de ley y orden en los fenómenos, de suerte que no puede florecer sin las herramientas necesarias para el descubrimiento y discusión de cualquier ley y orden que puedan existir. Las herramientas fundamentales que se necesitan en la Física clásica son: la aritmética, la geometría y las técnicas para medidas de tiempo y espacio.

Ahora bien, estas herramientas parece que estuvieron disponibles en el Egipto primitivo, en Babilonia y muy probablemente en Fenicia, lugares donde se fue acumulando el conocimiento. Empero, la investigación de ese conocimiento por sí mismo no apareció si no hasta muchos siglos más tarde, en una pequeña colonia griega en las costas del mar Egeo llamada Jonia, y más especialmente, en Mileto, la mayor ciudad de Jonia y quizá de Grecia, aunque su población no pasaba de 10 000 habitantes. Tales de Mileto, Anaximandro, Pitágoras, fueron enormes geómetras. Empédocles hizo una muy valiosa contribución: que la luz viaja por el espacio con velocidad finita; emplea tiempo en pasar de un sitio a otro, desde el objeto visto hasta el ojo que ve. En cambio, Aristóteles, con su enorme influencia y personalidad, dirigió el pensamiento científico encasillando a la Física durante muchos siglos, hasta que los hombres empezaron a pensar por sí mismos en el Renacimiento,

cuando Stevin y Galileo empezaron a experimentar para descubrir si las cosas eran como había dicho Aristóteles y encontraron que no lo eran.

El físico moderno enfoca sus problemas según un plan completamente definido que los griegos apenas reconocieron y que fue enseñado a los modernos por Roger Bacon, Leonardo da Vinci, Francis Bacon, Galileo y otros. Su esencia es enfocar el problema, no en su totalidad, sino por fragmentos, y comenzar, no basándose en principios generales preconcebidos, sino en el conocimiento experimental establecido firmemente. Se elige un fenómeno especial o una propiedad de la materia para hacer de ello un estudio experimental detallado, con la esperanza de que por ese medio se puedan descubrir la ley y el orden en un pequeño rincón del Universo. Conseguido ésto, el campo del conocimiento se extiende un poco más, interrogando a cada paso a la naturaleza mediante experimentos inequívocos.

Euclides, el primero de los grandes matemáticos alejandrinos, nació hacia el año 330 A.C., probablemente de padres griegos, y murió hacia el año 275 A.C. Se supone que fue educado en Atenas y dió sus enseñanzas en Alejandría. Su obra más famosa es la llamada "Elementos de Geometría". Aparte de ello, escribió sobre astronomía, música y óptica. En éste presentó las leyes de reflexión de la luz con toda exactitud; las leyes de la refracción no le fueron conocidas. Pero Euclides tuvo opiniones acerca de la naturaleza de la luz. Habían enseñado los pitagóricos que la luz se propaga desde un objeto luminoso hasta el ojo del observador en forma de partículas (anticipación de la teoría corpus-

cular de Newton y de la teoría cuántica de la luz de nuestros días). Había enseñado Empédocles que la luz es una especie de perturbación que se propaga a través de un medio usando tiempo para ello, anticipación de las teorías ondulatorias de los siglos XVIII y XIX y de la concepción de hoy. Platón y otros habían imaginado, totalmente errados, que la luz consiste en rayos que se propagan desde el ojo del observador hasta chocar con un objeto, que entonces ve aquel. Cuando buscamos un objeto, pensaban, lo buscamos con estos rayos, de la misma manera que palpamos algo en la oscuridad. Euclides aceptó esta última alternativa, razonando que la luz no puede venir del objeto al ojo, puesto que si así lo hiciera, "no dejaríamos de percibir una aguja en el suelo, como frecuentemente nos sucede".

Arquímedes fue el más grande de los matemáticos alejandrinos y el mejor conocido después de Euclides. De él se dice que inventó por medio de espejos y lentes convergentes los barcos que tenían sitiada a Siracusa, narración de la cual muchos dudan.

La ciencia, al principio de los tiempos históricos, vino del oriente al occidente, encontrando primero a la Grecia Jónica, después Atenas y la Grecia continental, así como el sur de Italia. Por último, cuando la luz comenzaba a declinar en Grecia, volvió de nuevo al oriente y halló morada en Alejandría, Bizancio, Persia y finalmente todos los caminos convergieron al gran imperio medieval fundado por los árabes, quienes se convirtieron en los guardianes del conocimiento científico del mundo.

Sobresalieron como escritores y traductores de tratados. Su objetivo no era tanto aumentar el conocimiento como recoger todo el que existía en el imperio. En química y óptica, sin embargo,

se realizaron grandes progresos.

Hubo una creciente apreciación de las posibilidades de los instrumentos ópticos y se conocen tratados sobre refracción de la luz escritos por Alkindi de Basora y Bagdad e Ibn-al-Haithan o Alhacén en El Cairo. Este último estudió la acción de los espejos esféricos y parabólicos, el aumento producido por las lentes y resolvió el problema (todavía conocido como el problema de Alhacén) de hallar la relación entre las posiciones de una fuente de luz y su imagen formada por una lente. Dió una explicación exacta de la visión, diciendo que vemos porque algo que viene del objeto visto pasa al interior del ojo, en oposición a lo que habían dicho Euclides y otros, de que vemos porque algo que sale del ojo toca al objeto. Con Alhacén empieza la óptica a asumir su forma moderna.

Uno de los últimos dones de la ciencia mahometana fue su notación de los números y sus métodos para operar con ellos. Posteriormente a ésto (aproximadamente año 1000 de nuestra era), la ciencia decayó en oriente y nuevamente adquirió vitalidad en occidente, empujando por España, donde hubo algunos avances en astronomía. Posteriormente, ya en plena Edad Media, se fundaron las primeras universidades y dos órdenes monásticas, la de los franciscanos y los dominicos. De entre los franciscanos destacaron Robert Grosseteste, canciller de la Universidad de Oxford y John de Peckham, quienes escribieron sobre problemas de óptica del género estudiado por Alhacén; Grosseteste hizo además experimentos con espejos, pero el franciscano más importante como hombre de ciencia fue Roger Bacon (1214-1294), quien comprendió las leyes de la refracción y reflexión de la luz y explicó cómo pueden dig

ponerse las lentes para servir de anteojos (con frecuencia se le atribuye la invención de éstos) y telescopios, aunque no hay evidencia de que los hubiera construido jamás. Vivió en las postrimerías de la Edad Media y fue su muerte precisamente la que marcó el final de esa era y el surgimiento del Renacimiento, durante el cual la iglesia se permitió ser tolerante, al menos por un tiempo, con las opiniones opuestas a su doctrina. Con esta actitud de la iglesia se combinaron otros factores, como el uso de la imprenta, por ejemplo, que auguraron a la ciencia un porvenir brillante.

En 1452 nace Leonardo da Vinci, a quien muchos saludan como el primer científico que abordada el estudio de la naturaleza con espíritu verdaderamente moderno y uno de los intelectos más sobresalientes de la raza humana: pintor, escultor, arquitecto, ingeniero, astrónomo, fisiólogo, filósofo. Realizó algunos trabajos experimentales de género muy práctico en óptica, donde su éxito más conocido es probablemente la explicación de la débil iluminación que aparece en la parte oscura de la luna en los momentos de la luna nueva "la vieja Luna en brazos de la Luna joven". Leonardo acertó al atribuirlo al resplandor que despide la Tierra al reflejar la luz que recibe del sol.

Pasó el tiempo. Las ciencias siguieron avanzando y la astronomía tuvo nuevo auge con Kepler y sus dos primeras leyes del movimiento de los cuerpos celestes. El mismo año en que Kepler publicó su Astronomia Nova, Galileo fabricó su primer telescopio.

El verdadero origen del telescopio es incierto, aunque la in-

vención práctica de aparatos como el telescopio y el microscopio debe atribuirse a los constructores de gafas holandeses que a principio del siglo XVII estuvieron haciendo instrumentos telescópicos del tipo gemelos de teatro, usándolos como juguetes. Se dice que un tal Hans Lippersberg de Middleburg, en 1608, manejando ciega combinación de lentes, la enfocó hacia una distante veleta y quedó sorprendido al verla muy agrandada. Cuando Galileo supo ésto, comprendió su importancia científica y pronto construyó un excelente antejo que agrandaba los objetos aproximadamente 1000 veces en área reduciendo sus distancias aparentes a casi 30 veces menos. Al año siguiente, Kepler ideó una mejor disposición de las lentes y pocos años después, Huygens hizo aún mayores perfeccionamientos, los que dieron al instrumento su forma actual.

Después de la astronomía, la ciencia que hizo mayores progresos durante el siglo XVII fue la óptica, debiéndose la mayor parte de ellos a Newton.

Hemos visto cómo los griegos habían conocido las leyes fundamentales de la propagación de la luz (que marchaba por el espacio en línea recta y era reflejada por un espejo de tal modo que el rayo incidente y el reflejado formaban ángulos iguales con la superficie reflectora). Después, Tolomeo, o positivamente algún otro de su tiempo, estudió la refracción y determinó una ley, que si no exacta, era lo bastante buena para su propósito. En este trabajo, que fue traducido al árabe en el siglo XII, describe detalladamente los efectos de la refracción atmosférica.

Con estas leyes como cimiento para una buena edificación, los griegos de la última época, así como los árabes, estudiaron con cierta intensidad la óptica, en particular Albacén y los hombres de ciencia europeos medievales, desde Roger Bacon en adelante. Habían éstos aprendido cómo construir lentes y espejos y entendían que podían utilizarse para cambiar la convergencia o divergencia de un haz luminoso y concentrar sus rayos en un foco. Esta vía investigadora alcanzó su ápice con la invención del telescopio a principios del siglo XVII y su perfeccionamiento a manos de Galileo, Kepler, Huygens y otros. En 1621, Willebrord Snell, profesor de matemáticas de la universidad de Leiden, descubrió la verdadera ley de refracción, pero no la publicó, de suerte que permaneció desconocida hasta que Descartes la anunció en 1637; no se sabe si ello fue como resultado de un descubrimiento independiente o de algún otro origen.

De todo esto nació la ciencia de los instrumentos de óptica; sus principios básicos se establecieron a fines del siglo XVII y sus desarrollos posteriores en lo tocante a la tecnología no nos interesan ahora.

Todo esto forma parte de lo que hoy conocemos como "óptica geométrica", la cual se ocupa de los problemas puramente geométricos que tienden a hallar qué camino tomarán los rayos de luz propagándose en línea recta, salvo cuando sufren la refracción en la interfase con un medio diferente. Hay u-

na segunda rama de la óptica, conocida como "óptica física", que trata de una cuestión muy diferente: de qué sea la luz y por qué se comporta como la hace. Esta rama empezó apenas a existir a principios del siglo XVII.

Ya hemos visto que Euclides y Tolomeo habían tenido una concepción equivocada acerca de la naturaleza de la luz y la visión. Siguieron a los pitagóricos, considerando la luz como una emanación ocular, que explora hasta que cae sobre el objeto que el ojo está buscando. Pero Alhacén había dado una explicación exacta en un tratado que era todavía un modelo en el siglo XVII.

Kepler desarrolló más las doctrinas de Alhacén en su *Ad Vitelliones Paralipomena* (1604) y *Dioptrice* (1611). Describió la visión como la "sensación de un estímulo de la retina", y decía que la lente o cristalino del ojo forma una imagen del objeto de la visión sobre la retina. Creía que la retina poseía un espíritu sutil: el *spiritus visivus*, el cual se descomponía cuando la luz caía sobre él a la manera de como una materia combustible emprende un cambio químico cuando la luz del sol la hiere a través de una lente: notable anticipación de la "púrpura visual", cuyos cambios químicos producen la sensación visual, como ahora se sabe. Señalaba que el cambio químico en el *spiritus visivus* debe ser algo duradero, puesto que una imagen persiste en la retina durante un cierto tiempo después de mirar una luz brillante. Explicaba la vio-

pía y la presbicia con entera exactitud, como debidas a que el cristalino concentre los rayos de luz en un foco que no coincide con la retina. Explicaba así mismo y también con igual certeza, que estimamos la distancia de un objeto debido a la pequeña diferencia entre las dos direcciones en que nuestros ojos tratan de ver: de manera subconciente "resolvemos" el triángulo que tiene como vértice el objeto distante y como base la línea que une nuestros dos ojos.

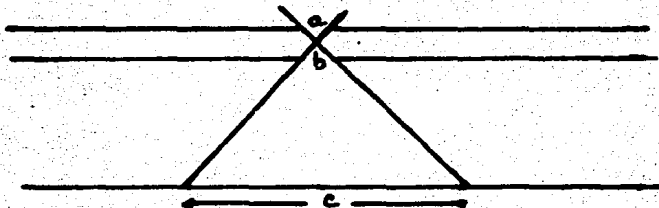
Todo esto significa progreso sustancial; pero no convencerá a nadie. En particular Descartes volvió a la antigua idea de que la luz es una emanación del ojo. Decía que vemos los objetos a nuestro alrededor como un ciego siente con su bastón. Precisaba estas ideas suponiendo que la luz se propaga instantáneamente por medio de presiones de partículas a partículas del medio que suponía llenaba el espacio. Edificando sobre esta falsa base, Descartes concibió una prueba errónea y no convincente a las leyes de la óptica la cual consiguió algún crédito en aquél tiempo e inevitablemente retardó la aceptación general del descubrimiento de Huygen de la velocidad finita de la luz. Dedicó parte de su meditación a la naturaleza de la luz y supuso que las diferencias de color eran producidas por partículas girando a diferentes velocidades, de manera que las partículas que giraban con mayor rapidez producían la sensación del rojo, mientras que las rotaciones más lentas producen sensaciones de amarillo, verde y

azul, en este orden.

Pero ninguno llegó suficientemente lejos para dar una respuesta convincente a la cuestión fundamental de " lo que la luz es " o a una explicación satisfactoria del origen y significado del color. Muchas conjeturas flotaban en el aire, pero no había bastante conocimiento experimental que pudiera utilizarse para comprobarlo. Hubo de transcurrir la mitad de este siglo antes de que se lograran reunir los conocimientos del género requerido para contestar esas interrogantes.

En 1665 se publicó un libro titulado *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, obra póstuma del jesuita Francesco Grimaldi (1618 - 1663), que había sido profesor de la Universidad de Bolonia. Contiene la primera descripción del fenómeno de " difracción " (fenómeno en el cual se muestra la cualidad ondulatoria de la luz del modo más claro y convincente) y daba cuenta de un cierto número de experimentos sobre este punto.

Uno de los más sencillos es el que muestra la figura:



Dos pantallas, en las cuales se han hecho unos orificios,

a y b, se ven en sección transversal, en tanto que debajo de ellos hay una tercera pantalla, paralela a las otras dos, que se ha dejado intacta. Si se envía directamente una fuerte luz sobre la abertura de la pantalla superior, se iluminará parte del fondo, y parte quedará en la sombra. Si la luz se propagara en línea recta, se vería fácilmente que la parte comprendida dentro del trozo c recibe alguna iluminación, débil o fuerte, pero que las porciones que quedan fuera de este trozo permanecen en completa oscuridad, puesto que la luz sólo podría alcanzarlas inclinándose en los bordes. Pero Grimaldi halló que, como hecho real, la iluminación se extendía mucho más allá del trozo c, demostrando que la luz no se limitaba a propagarse en línea recta. Grimaldi y los experimentadores que le siguieron ejecutaron muchas variaciones de este sencillo experimento y todas dieron el mismo resultado. Encontré, además, que no había una brusca transición de la luz a la oscuridad en el límite de la sombra, sino una banda de colores irisada que pensó tendría el mismo origen que el arcoiris. El límite de la sombra no sólo estaba coloreado, sino que mostraba alteraciones rítmicas de luz y oscuridad. Le recordaban éstas la sucesión de rizos en círculos concéntricos que se producen cuando se arroja una piedra a un charco, y le llevó a suponer, como Leonardo había supuesto antes, que la luz es algo que va asociado con el movimiento ondulatorio. Consiguió bandas de colores semejantes reflejando la

luz del sol en una lámina metálica en la cual había grabado una serie de líneas paralelas muy cercanas entre sí. Este instrumento toscamente hecho fue el primer ejemplo de la "red de difracción" que hoy forma parte esencial de todo laboratorio de óptica.

Todo esto constituía un caudal de prueba experimental de las cuestiones de la naturaleza de la luz y significación del color, pero Grimaldi no emitió ninguna opinión aprovechable fuera de insistir que el color es una modificación de la luz que resulta en algún modo de la estructura de la materia.

También el año 1665 vió publicar en Inglaterra otro libro, titulado Micrographia, de Robert Hooke. Había experimentado éste con varias láminas delgadas de sustancias en las cuales se podían ver colores iridiscentes: láminas de mica, pompas de jabón, manchas de aceites flotantes en el agua y así sucesivamente. Halló que el color que se veía en cada punto dependía del grosor de la capa de materia. En lugares donde el grosor cambiaba gradualmente, había, por consiguiente, una banda de colores continuamente cambiante, y descubrió que en tales lugares los colores eran los mismos del arco iris y se presentaban en el mismo orden que en éste.

Imaginó Hooke que la luz blanca ordinaria era producida por rápidas vibraciones del cuerpo luminoso, que emanaban en pulsaciones esféricas. El color aparecía donde quiera que se perturbaba la emisión simétrica de estas pulsaciones. Los

"colores fundamentales", azul y rojo, resultaban de que las pulsaciones se hacían "oblicuas y confusas" de maneras diferentes: azul cuando la parte débil de la pulsación se propagaba en primer lugar y rojo cuando lo hacía en último lugar.

En medio de esta confusión llegó Newton, para quien, en palabras de Einstein, "la naturaleza era un libro abierto cuyas letras leía sin esfuerzo. La concepción que utilizó para poner en orden el material experimental parecía brotar espontáneamente de la misma experiencia, de los bellos experimentos que situó en orden como juguetes, y que describe con amorosa riqueza de detalles. En una misma persona se combinaban el experimentador, el teórico, el mecánico y, no menos, el artista en el modo de hacer la exposición. Permanece en pie ante nosotros, fuerte, seguro y solitario".

Cuando aún era estudiante en Cambridge, leyó Newton la Dioptrice de Kepler; también se había ocupado en pulir lentes y en pensar en las posibilidades de los telescopios. En 1666 compró un prisma en la feria de Stourbridge, cerca de Cambridge, con objeto de "ensayar en él los tan celebrados fenómenos de los colores". El empleo que hace de esta frase demuestra que los colores del prisma eran bien conocidos en aquellos tiempos; verdaderamente, sabemos que el diamantista tallaba sus piedras preciosas de modo que mostraran sus colores lo mejor posible. Un prisma que se vendía en una feria local pudo muy bien haber sido poco más que un juguete, pero

con aquel juguete iba a descubrir Newton los secretos del color.

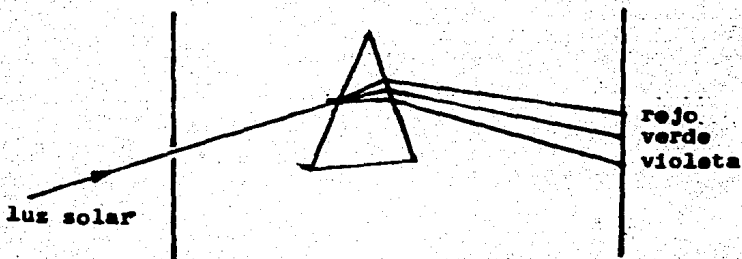
Parece que al principio no hubo ningún descubrimiento, porque muy poco después de aquella compra estuvo ayudando al Dr. Farrow, su predecesor en la cátedra de matemáticas en Cambridge, a revisar para publicación sus lecciones de óptica. Aparecieron éstas en 1669, año en que Newton sucedió a Farrow en el profesorado, y en ellas expuso Barrow de manera totalmente fantástica ideas imposibles sobre el significado del color: el blanco es una "luz copiosa", el rojo es luz condensada interrumpida por intersticios de sombra; el azul es luz enrarecida, como en los cuerpos en que alternan partículas azules y blancas, como en el éter puro o en el zar, donde la sal blanca está mezclada con agua oscura, etc.

La primera descripción de experimentos con su prisma fue publicada en 1672. Fue éste su primer documento científico, y uno de los pocos que publicó sin necesidad de presión ni persuasión por parte de sus amigos. Por él fue tan ferozmente atacado, y le comprometió en tanta controversia, que parece que llegó a molestarle toda discusión científica y a repugnarle publicar cualquier cosa; no soportaba la crítica.

Su primer experimento reveló el auténtico significado del color. Hizo un pequeño orificio en la persiana de su habitación a través del cual podía penetrar un pequeño haz de luz solar y pasar a través del prisma. Halló que el haz de luz

se extendía en una banda coloreada de luz (un "espectro"), en la cual se veían todos los colores del arcoiris, del rojo al violeta, en el mismo orden que en el arcoiris; esta banda era unas cinco veces más larga que ancha. Cualquier otro pudo hacer la misma cosa, e indudablemente muchos la hicieron, la diferencia está en que Newton se puso a la obra para averiguar porqué el espectro se dispersaba de esta forma. El prisma había, naturalmente, dispersado la luz violeta y la roja en la posición que habrían ocupado en otro caso, pero el espectro mostraba que el violeta había sido más dispersado que el rojo. Se había revelado la primera parte del secreto: colores diferentes significaban diferentes grados de refrangibilidad; un rayo de luz violeta se refractaba en ángulo mayor que otro de luz roja cuando encontraban una superficie que produjera refracción. Para comprobar esta aseveración, hizo que luces de colores variados del espectro sufrieran una segunda refracción en ángulos rectos con la primera, para ver si experimentaban el mismo grado de refracción o sufrían otros cambios, como por ejemplo, descomponerse en otros colores. Halló que los colores no variaban al pasar por la segunda refracción: el rojo permanecía rojo, y el violeta permanecía violeta, y cada uno de ellos experimentaba la misma refracción que antes. Continuó extendiendo y restringiendo sus observaciones en una serie de experimentos muy bien planeados y, finalmente, anunció su conclusión de que la luz

del sol era una mezcla de luces de todos los colores del arco-iris, siendo los colores cualidades permanentes, o, como él decía, " originales e innatas " de varios ingredientes, los cuales experimentaban la refracción en grados diferentes.



Aquello dio, por lo menos, una contestación parcial a la interrogación de " qué sea el color ", pero la cuestión más fundamental de " qué sea la luz " quedó sin contestar.

Muy a pesar de que las teorías de Sir Isaac Newton sobre el color habían sido comprobadas y atacadas de todas las maneras imaginables, no convencieron a todos. Hooke y otros las criticaron, de donde resultó una prolongada polémica, durante la cual frecuentemente se especulaba sobre la naturaleza de la luz. Newton trataba de eludirla, pero finalmente tuvo que referirse a otros puntos de vista para defender su teoría del color. Mencionó, por ejemplo, que la hipótesis de Hooke se interpretaría mejor si se suponía que los cuerpos se podían excitar de tal manera que causaran vibraciones del éter " de varios grados de magnitud " y que las de mayor tamaño o consideración producen la sensación del color rojo y la menor o de onda más pequeña, el morado. Sugería la asociación de diferentes colo -

res con las vibraciones del éter en diferentes longitudes de onda, que es precisamente lo que constituyó la teoría ondulatoria un siglo después. Pero Newton no proponía estas interpretaciones como suyas, siempre dice que le gustaría otra teoría mejor y que la suya es una mezcla de la corpuscular y la ondulatoria. La luz empieza como partículas que producen ondulaciones en el éter, pero que no son ellas mismas ondulaciones. "Suponiendo que los rayos de luz sean corpúsculos emitidos en todas direcciones por las sustancias brillantes cuando chocan con cualquier superficie refringente o reflectante, deben excitar en el éter vibraciones de modo tan fatal como lo hacen las piedras arrojadas sobre el agua" y cree que pueden explicarse muchos fenómenos ópticos por la hipótesis de las diferentes vibraciones son "diferentes longitudes de onda de acuerdo con los dichos rayos corpusculares de variados tamaños y velocidades que las exciten". Añade que si tuviera que establecer una hipótesis, sería la anterior, pero expuesta "con mayor generalidad, de suerte que no determine lo que es la luz, sino es como una cosa u otra capaz de excitar vibraciones en el éter". Según Newton, la luz puede imaginarse como "multitudes de inimaginables, pequeños y velocísimos corpúsculos de varios tamaños" que brotan de los cuerpos luminosos y aumentan continuamente su velocidad hasta que la resistencia del éter los detiene. Todo esto es muy vago, y sin embargo, es la única hipótesis sobre la naturaleza de la luz a la que Newton parece haber dado su cautelosa a -

probación.

Parece un hecho que Newton jamás fue capaz en su mente de determinar si la luz era corpuscular u ondulatoria; corrientemente escribía como si comenzara como corpúsculos y terminara como vibraciones que los corpúsculos hubieran producido en el éter. Pero como la cuestión de los corpúsculos era más fácil de entender que la de las ondulaciones y aportaba una explicación más evidente de la propagación lineal de la luz, se extendió la idea de que Newton había declarado que la luz era corpuscular.

Cuando Newton pensaba todavía en la naturaleza de la luz, en Holanda, Christian Huygens (1629-1695) construía otra teoría.

Se contentaba con considerar a la luz enteramente ondulatoria. También se imaginaba que el espacio entero estaba lleno de un medio "muy sutil y elástico" y suponía que un objeto luminoso producía perturbaciones en dicho medio en intervalos de tiempo perfectamente regulares. Estos impulsos regulares producían ondulaciones regulares en el medio, las cuales se propagaban en todos sentidos en forma de ondas esféricas. Huygens suponía que cada punto de estas ondas contenía una perturbación, la cual formaba a su vez nueva fuente de ondas esféricas; de esta manera las ondas se propagaban a sí mismas.

Pasado en ésta hipótesis, pudo explicar cierto número de

propiedades observadas en la luz.

La ley de reflexión de la luz se explicaba con facilidad, y la presunción adicional de que la luz se propagaba con menor rapidez en medios más densos condujo inmediatamente a la ley de refracción de Snell. También probó Huygens que la luz se propaga en línea recta, pero esto no quedaba enteramente libre de objeciones y había otros fenómenos donde fallaba completamente la teoría.

Polarización de la luz.- Si una lámina de vidrio se pone sobre una página impresa, vemos claramente las letras, aunque un poco desplazadas en razón de la refracción que éstas experimentan al pasar a través de un vidrio. Pero si se pone sobre la hoja una lámina de calcita (espato de Islandia), vemos cada letra duplicada, porque la calcita tiene la notable propiedad de romper cada rayo de luz que la atraviesa en dos rayos distintos que se propagan en direcciones diferentes (propiedad llamada "doble refracción"), la cual descubrió el físico danés Frasco Bartholinus en 1670. La teoría de Huygens explicaba algunas propiedades de la calcita, pero otras no. Las teorías de Newton también fracasaban aunque se aproximaban más a la verdad de lo que Huygens logró jamás cuando sugirió que los fenómenos necesitaban rayos que tuvieran "la dos". En aquel momento estaba presentando el concepto de lo que ahora llamamos "polarización de la luz".

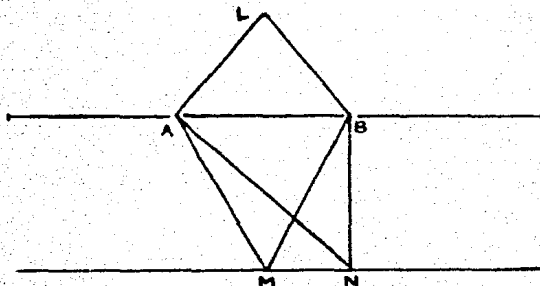
En una onda sonora, cada partícula de aire se mueve en lo

que se llama movimiento "longitudinal"; se mueve a uno y otro lado en la dirección en que se propagan las ondas. Por ejemplo, en las ondas sonoras de una campana, cada partícula de aire se mueve alternativamente acercándose y alejándose de la campana. Es diferente en las ondas de agua en un estanque; las ondas se propagan en la superficie del estanque, pero las partículas individuales de agua, no; su movimiento es de arriba hacia abajo y, por tanto, en ángulos rectos con la superficie del agua; es "transversal" a la dirección en que las ondas de agua se propagan.

Las ondas de Huygens habían seguido movimiento longitudinal, pero entonces ideó Hooke que la luz podía consistir en ondas transversales, de manera que cada partícula de éter se moviera en ángulo recto respecto a la dirección en que la luz se estaba propagando, y esto implicaba que un rayo de luz tenía "lados" en el sentido newtoniano: dos lados en la dirección en que se movía la partícula y dos más en una dirección que formaba ángulo recto con ésta, y así mismo con la dirección de la onda.

Sólo con haber combinado estas sugerencias de Hooke y de Newton con los resultados obtenidos por Huygens, la teoría de la luz podía haberse establecido sobre una satisfactoria base ondulatoria, porque entonces no había hechos conocidos que no se hubieran podido explicar con esta teoría. Pero prevalecía la teoría corpuscular de Newton debido a su gran influ

encia. La óptica permaneció en letargo hasta que Young, en 1801 descubrió la propiedad del movimiento ondulatorio llamado "interferencia" en base a la cual se podían resolver muchos problemas ópticos en términos de concepción de la luz como puramente ondulatoria mediante un experimento en que una luz monocromática, emanada de L, iluminara una tarjeta en la cual se habían hecho dos agujeros con alfiler, A y B. Después de pasar por ellos llegaba a otra pantalla MN más alejada. La luz podía llegar a M por la vía LAM o LBM:



Si el punto M está exactamente debajo de L, las dos vías son de igual longitud, de suerte que las crestas de las ondas de A coincidieran con las de B y se refuerzan mutuamente. Si la luz llega a N por LAN y LBN, las vías no son iguales. Si difieren en una onda (una "longitud de onda" o un número exacto de ondas) la cresta de un lado caerá sobre la cresta del otro y se sumarán. Si la diferencia es media longitud o un número exacto más media longitud, una cresta cae sobre un valle, se interfieren y se neutralizan. No habrá luz en N,

sino obscuridad. Así, se podrá tener luz en M, obscuridad en N, luz en O, etcétera, en lo que se conoce como pauta de interferencia.

Fresnel desarrolló matemáticamente el tema y demostró que la teoría ondulatoria podía explicar todos los fenómenos de óptica conocidos entonces, incluyendo la doble refracción del espato de Islandia; sin embargo, la pregunta de "qué era la luz" permaneció sin resolverse hasta 1831 cuando Faraday encontró que el movimiento de un imán próximo a un circuito eléctrico provocaba en éste una corriente. Maxwell, en 1856 expresó las ideas de Faraday en lenguaje matemático, y en 1864 demostró que toda perturbación producida en el éter por cambios eléctricos o magnéticos se propaga en forma de ondas, estando las fuerzas eléctricas y magnéticas en ángulos rectos entre sí e igualmente a la dirección en que las ondas se propagan.

Estas ondas se propagan a velocidad uniforme, que es igual a la velocidad de la luz, de donde se estableció que la luz es un fenómeno electromagnético.

En 1887, Hertz, en Alemania, construyó unos generadores de electricidad que emitieron oscilaciones del tipo predicho por Maxwell, con propiedades de ondas luminosas, pero longitud mucho mayor (ondas cortas de radio). De aquí se desarrolló la radiotransmisión. Demostró además la simetría que existe entre la acción eléctrica y la magnética, cosa muy in

portante para la definitiva significación de la electricidad y el magnetismo; por tanto, una onda de luz no tendría que depender de la vibración de la materia. Tal onda podría brotar de la región alrededor de una carga acelerada y desplazarse en el espacio con la velocidad de la luz.

La confirmación de la teoría electromagnética de la luz sugirió que no era necesaria la idea o postulado del éter.

En 1887 A.A. Michelson y Morley demostraron concluyentemente que la velocidad de la luz es una constante, independientemente del movimiento de la fuente. No pudieron detectar ninguna diferencia entre la velocidad de la luz que viajaba en dirección - del movimiento de la Tierra y la que lo hacía en dirección opuesta . Poco tiempo después, Einstein interpretó los resultados de Michelson según los cuales la noción del éter debía abandonarse en favor de un espacio completamente vacío.

DESCRIPCION DE LAS PRACTICAS

Se ha considerado que la preparación de instructivos de prácticas para las materias que los requieren y que se imparten en la Facultad de Química constituye una fase importante dentro del binomio enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales.

El programa de Física V insiste en que la médula del aprendizaje está constituido por la experimentación realizada por los estudiantes con el fin de comprobar las teorías expuestas en la clase, utilizando el equipo existente en el laboratorio, complementado en algunas ocasiones con aparatos elaborados por los alumnos.

Se han preparado 16 instructivos que cubren las necesidades del programa y con los que se pretende ofrecer material básico, lo más claramente explicado y sistematizado que a nuestro juicio se ha podido lograr.

Las dos primeras prácticas hacen las veces de introducción al tratamiento de datos, una en forma estadística y otra por el método diferencial.

El resto tiende a que el alumno capte el hecho de que todos los fenómenos ondulatorios se rigen por los mismos principios, y que al aprender cómo se comporta cierta clase de ondas en cierto medio, se puede transportar ese conocimiento a otros tipos de ondas en otros medios. Para ello, será menester:

-Estudiar el movimiento armónico simple, utilizando un resorte

para encontrar la relación entre masa, período y constante del resorte.

- Comparar los resultados de medir el período de oscilación en un péndulo físico y un péndulo simple.

- Medir longitudes de onda y velocidad de propagación en cuerdas vibrantes.

- Captar auditivamente el fenómeno de ondas estacionarias y obtener la velocidad del sonido en el aire.

- Observar fenómenos de difracción e interferencia en:

a).- ondas en la superficie de un líquido

b).- ondas sonoras

c).- ondas luminosas.

- Obtener, por diversos métodos, luz linealmente polarizada.

- A partir de luz linealmente polarizada, obtener luz elíptica y circularmente polarizada.

- Analizar algunos compuestos con actividad óptica.

- Verificar la relación entre intensidad luminosa y ángulo entre dos polarizadores.

- Determinar las relaciones que existen entre un objeto y su imagen con respecto a un espejo plano.

La presentación de los experimentos se ha hecho aproximadamente de acuerdo a las unidades que cubre el programa y numeradas progresivamente, si bien en ocasiones se altera este orden.

Cada instructivo consta de las siguientes partes:

I.- Objetivo.- Para tener claro el fin que se persigue al efectuar la práctica, se especifica el o los objetivos que tiene, siempre apegados a la unidad teórica correspondiente.

II.- Fundamento teórico.: Aun cuando las prácticas tienen una relación muy estrecha con el curso de teoría, en el laboratorio se sigue un desarrollo autónomo, por lo que algunos temas se tratan aquí antes que en el salón de clase. Ello hace necesario que para cada instructivo se haga una pequeña disertación acerca de los puntos teóricos en que se basa la práctica.

III.- Material: Se proporciona una lista del material o equipo mínimo que se requiere para realizar la práctica y alcanzar los objetivos propuestos.

IV.- Procedimiento: En esta parte se señalan los lineamientos generales para el montaje y uso del equipo; se marcan progresivamente las distintas fases del experimento y la forma de realizar las mediciones.

V.- Conclusión: Una vez obtenidos los datos experimentales, es necesario elaborar los resultados. Esta parte corresponde a los alumnos.

Algunas veces las prácticas terminan aquí; en otras ocasiones llevan un pequeño cuestionario, problemas donde se apliquen los conocimientos recién adquiridos o bien, a fin de ampliar y complementar el conocimiento o la experiencia del alumno, puede ser conveniente que desarrolle algún trabajo o investigación extra-clase.

Aunque el trabajo y la discusión de cada experimento se lleva a cabo en equipo, se sugiere que el informe sea individual.

Los experimentos están planeados para equipos entre cinco y diez personas y pueden ser desarrollados en sesiones de dos horas.

Los instructivos pueden iniciarse con estas notas para los alumnos:

La calidad de cualquier trabajo experimental será juzgada por el informe escrito que se rinda de él, por lo que es necesario redactar el informe por lo menos con el mismo cuidado con que se haya realizado el experimento.

Cómo realizar un experimento:

1.- Léanse completamente las instrucciones. Asegúrese de comprender el objetivo de la práctica y cómo ha de ser realizada.

2.- Si no se está familiarizado con la teoría, repásela antes de empezar.

3.- Asegúrese de comprender cómo funciona el o los aparatos que haya de usar. Si es necesario, consulte al profesor de laboratorio.

4.- Realice el experimento registrando cada una de las observaciones que se hagan.

5.- Calcúlese los resultados y dibújense todas las gráficas que sean necesarias. Es muy conveniente ir haciendo las gráficas según va avanzando el experimento, ya que si el resultado no parece razonable o algunos puntos sueltos quedan fuera de la gráfica, se pueden repetir los pasos o las observaciones donde sea necesario comprobar su veracidad.

6.- Rinda su informe por escrito en forma completa, ordenada y limpia.

PRACTICA No. 1
UN JUEGO DE DADOS.

Duración. 40 min. manipulación y 1h 20 min. para graficar los resultados.

Objetivo.- Comprobar la validez de un modelo teórico utilizando el método estadístico.

Fundamento teórico.- Históricamente, la noción de probabilidad adquirió una forma precisa en conexión con los juegos de azar, tales como los dados y las cartas, a principios del siglo XVII. El problema abordado por los primeros matemáticos que se interesaron en este asunto, Pascal, Fermat, Bernoulli y Laplace, fue el de encontrar una forma teórica de calcular las "ventajas justas". De entonces acá han contribuido a su perfeccionamiento muchos matemáticos y científicos célebres, pero sólo se axiomatizó entre los años treinta y cuarenta de este siglo. Este desarrollo axiomático, llamado teoría moderna de la probabilidad, precisó los conceptos de la probabilidad y los colocó sobre una sólida base matemática.

En la teoría de la probabilidad, se define un modelo matemático asignando "probabilidades" (valores límite de las frecuencias relativas) a los eventos asociados con un experimento. Esto da origen entonces a los problemas de verificación y confiabilidad que constituyen el tema principal de la estadística.

Con la ayuda del concepto de probabilidad ha sido posible desarrollar una extensa teoría matemática, que expresa las probabilidades de complicadas combinaciones de acontecimientos en función de las probabilidades de combinaciones más simples. Esta teoría ha

demostrado su utilidad en muchos campos donde existen objetos o acontecimientos dependientes de las contingencias del azar que surgen fuera del contexto bajo consideración. Sin embargo, en las aplicaciones de esta teoría debe recordarse que las leyes causales junto con las leyes del azar son las que producen el desarrollo real de las cosas, de tal manera que cualquiera de ellas por sí sola es, a lo sumo, una representación parcial y aproximada de la realidad, que posteriormente deberá ser corregida con ayuda de la otra.

Para el caso que nos ocupa, un juego de dados, tendremos (suponiendo que no están cargados), que: cada uno de sus seis lados tiene la misma probabilidad de quedar en la cara superior y teóricamente las caras superiores de los dados arrojados quedarán repartidas en partes iguales: para los seis números, esto es, tendremos $1/6$ de dados con el número 1 en su cara superior, $1/6$ con el número 2, etc., de manera que si retiramos los de un cierto número escogido previamente por nosotros, para la siguiente tirada quedarán únicamente $5/6$ de los dados iniciales. Si llamamos N_0 al número inicial de dados y N_1 al número de dados "vivos" resultantes de la primera tirada, tendremos entonces que, teóricamente, $N_1 = 5/6 N_0$. En las jugadas subsiguientes teóricamente debe repetirse el proceso, de modo que $N_2 = 5/6 N_1$; $N_3 = 5/6 N_2$; ...; $N_n = 5/6 N_{n-1}$. Así, haciendo sustituciones sucesivas, tendremos, por ejemplo, para la cuarta tirada:

$$N_4 = 5/6 N_3 = 5/6(5/6 N_2) = 5/6(5/6(5/6 N_1)) = 5/6(5/6(5/6(5/6 N_0)))$$

De aquí podemos concluir que, para la tirada n , tendremos:

$$N_n = (5/6)^n N_0$$

Intentaremos comprobar este modelo teórico.

Material:

100 dados

Papel semilog

Actividades:

Tomar 100 dados; elegir un número del 1 al 6; hacer doce tiradas retirando en cada caso los dados que hayan salido con el número elegido. A éstos los llamaremos "dados muertos". Los restantes serán los dados "vivos"; contar los dados vivos después de cada tirada; calcular los valores promedio, comparar con los resultados teóricos y graficar ambos.

Experimentación:

- 1.- Realizar varias veces el juego de doce tiradas, utilizando en cada ocasión un sólo número (número fatídico).
- 2.- Anotar en cada ocasión el número de dados vivos.
- 3.- Con los datos de todos los juegos, calcular los valores promedio correspondientes a cada jugada o tirada.
- 4.- Compárense estos valores con los resultados teóricos obtenidos mediante la ecuación que representa el modelo propuesto.

Conclusiones:

Si graficamos en papel semilog nuestro modelo teórico, obtendremos una recta. Como el propósito de la práctica es comparar ese modelo con los resultados experimentales, lo más conveniente es graficar ambos en la misma hoja. Grafique los valores promedio con su desviación estándar.

Cuestionario:

- 1.- ¿Existe concordancia entre la teoría y la práctica?

2.- ¿Qué sucederá si tomamos un número mayor de datos o un número mayor de juegos para determinar nuestro resultado experimental?

3.- ¿Por qué?

Observaciones.- Utilice la desviación estándar como incertidumbre para cada tirada.

PRACTICA No. 2

UN METODO PARA CALCULAR INCERTIDUMBRES.

Duración: 1:30 Hs.

Objetivo.- Proporcionar al alumno una herramienta para verificar la precisión de sus experimentos, enseñándolos a calcular incertidumbres por un método diferencial.

Fundamento teórico.- Hemos visto que un problema importante relacionado con el trabajo experimental, es el de asociar una incertidumbre a cada resultado obtenido. Sabemos que en el caso de una observación directa (medición con una regla, cronómetro, etc.), es relativamente fácil y básicamente depende de la precisión del instrumento, considerándose generalmente como incertidumbre la mitad de la escala mínima del instrumento con que estemos trabajando. En el caso de una variable, o la función de una variable, es fácil asociar una incertidumbre. Pero cuando se trata de varias variables, a partir de las cuales vamos a calcular indirectamente la magnitud de una cantidad física, el problema se complica; en estos casos es preferible emplear el sistema diferencial descrito aquí.

Supongamos que, mediante un cierto experimento, vamos a determinar la fuerza gravitacional entre dos cuerpos. La ecuación que nos proporciona la fuerza es la ley universal de gravitación de Newton:

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} G$$

donde m_1 y m_2 son las masas de los cuerpos, r es la distancia que separa sus centros de masa y G es una constante universal (constante de gravitación). Así, F es una variable dependiente de tres va-

riables independientes. Matemáticamente:

$$F(m_1, m_2, r)$$

En este caso consideramos que la incertidumbre en F depende de las incertidumbres en m_1 , m_2 y r (despreciamos la incertidumbre en G por ser demasiado pequeña). Así, tenemos que llamando δF a la incertidumbre en F y δm_1 , δm_2 , δr a las incertidumbres en las variables independientes, entonces:

$$\delta F = f(\delta m_1, \delta m_2, \delta r)$$

F es función de las otras tres.

Si recordamos que el procedimiento para obtener una variación (concepto matemático que podemos asociar a una incertidumbre experimental) es semejante al que empleamos para obtener una diferencial total, tenemos, en el ejemplo citado:

$$\begin{aligned}\delta F &= \frac{\partial F}{\partial m_1} \delta m_1 + \frac{\partial F}{\partial m_2} \delta m_2 + \frac{\partial F}{\partial r} \delta r \\ &= G \frac{m_2}{r^2} \delta m_1 + G \frac{m_1}{r^2} \delta m_2 + (-) G \frac{m_1 m_2}{r^3} \delta r \\ dF &= \frac{\partial F}{\partial m_1} dm_1 + \frac{\partial F}{\partial m_2} dm_2 + \frac{\partial F}{\partial r} dr = \dots\end{aligned}$$

Ahora bien, el signo negativo del tercer término puede conducirnos a un resultado ilógico, ya sea anulando o disminuyendo a los dos primeros. No es lógico que una incertidumbre anule o disminuya a las otras. Lo que debemos suponer es que la incertidumbre en cada variable independiente contribuya, aunque con un peso diferente, en el mismo sentido a la determinación de la incertidumbre de la variable dependiente; en este caso, la fuerza gravitacional entre dos cuerpos. Por lo tanto, y a fin de evitar la introducción de signos negativos en nuestro resultado final, se deben tomar los va

lores absolutos de las derivadas parciales. Nuestra ecuación quedaría entonces:

$$\begin{aligned}\delta F &= \left| \frac{\partial F}{\partial m_1} \right| \delta m_1 + \left| \frac{\partial F}{\partial m_2} \right| \delta m_2 + \left| \frac{\partial F}{\partial r} \right| \delta r \\ &= \left| G \frac{m_1 m_2}{r^2} \right| \delta m_1 + \left| G \frac{m_1 m_2}{r^2} \right| \delta m_2 + \left| G \frac{m_1 m_2}{r^3} \right| \delta r\end{aligned}$$

En general, tenemos que, para una función de n variables $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$:

$$\delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x_1} \right| \delta x_1 + \left| \frac{\partial F}{\partial x_2} \right| \delta x_2 + \left| \frac{\partial F}{\partial x_3} \right| \delta x_3 + \dots + \left| \frac{\partial F}{\partial x_n} \right| \delta x_n$$

MATERIAL:

Papel y lápiz.

ACTIVIDADES:

Aplicar el método antes descrito para resolver algunos problemas.

EXPERIMENTACION:

1.- Supongamos que, en el caso hipotético mencionado en la parte teórica, tenemos los siguientes valores:

$$\begin{aligned}m_1 &= 20 \text{ Kg}; & m_2 &= 100 \text{ Kg}; & r &= 60.5 \text{ cm.} \\ \delta m_1 &= 0.2 \text{ Kg}; & \delta m_2 &= 0.2 \text{ Kg}; & \delta r &= 0.5 \text{ cm.}\end{aligned}$$

¿Cuál es el valor de nuestros resultados? (Recordemos que se debe expresar como $F \pm \delta F$).

2.- En el experimento de Young tenemos que, para ángulos pequeños, es válida la ecuación:

$$= \frac{x^2}{nL}$$

donde x es la distancia entre dos máximos cualesquiera; n es un número entero determinado por el número de máximos de intensidad existentes entre los dos considerados y L es la distancia entre la re-

jilla de difracción y la pantalla.

Si tenemos los siguientes valores:

$$x = 10 \pm 0.05 \text{ cm}$$

$$d = (20 \pm 0.2)10^{-3} \text{ cm}$$

$$n = 2$$

$$L = 5.0 \pm 0.05 \text{ m}$$

¿Cuál es el valor de longitud de onda que obtendremos?

PRACTICA No. 3
OSCILADOR ARMONICO SIMPLE.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Encontrar empíricamente la relación entre masa, período de oscilación y constante de un resorte.

FUNDAMENTO TEORICO:

Se dice que existe un movimiento armónico cuando un sistema cualquiera vibra alrededor de una configuración en equilibrio. Cuando un resorte adecuadamente construido es estirado por una fuerza aplicada a él, se encuentra que su deformación es proporcional a la fuerza aplicada, siempre que ésta no sea demasiado grande. Al anterior enunciado se le conoce como Ley de Hooke para un resorte. Matemáticamente:

$$F = c y \quad \text{o} \quad F = ky$$

donde:

k = constante del resorte
 y = elongación producida
 F = fuerza aplicada.

Una masa vibrante colgada de un resorte realiza lo que se llama movimiento armónico simple. El objeto oscila con aceleración variable, proporcional a la elongación del resorte, o sea, a la distancia de la posición de equilibrio. El movimiento armónico simple es un ejemplo importante del movimiento periódico.

En el movimiento ondulatorio de un cuerpo suspendido de un resorte se observan cuatro variables: el período de oscilación, la masa del cuerpo suspendido, la constante del resorte y la amplitud de oscilación. Mantendremos dos de ellas constantes para comprobar

en qué forma varían las otras dos.

ACTIVIDADES:

-Medir períodos de oscilación de un resorte usando diferentes masas, regla y cronómetro.

-Medir períodos de oscilación de varios resortes usando una masa constante, regla y cronómetro.

-Elaborar dos tablas de datos: variación de período vs masa y variación de período vs constante del resorte.

-Graficar los datos. En caso necesario hacer un cambio de variable y volver a graficar.

MATERIAL:

Soporte para resortes

Resortes calibrados

Pesas de: 100 g, 200 g, 500 g y 1 Kg.

Regla

Cronómetro

PARTE A

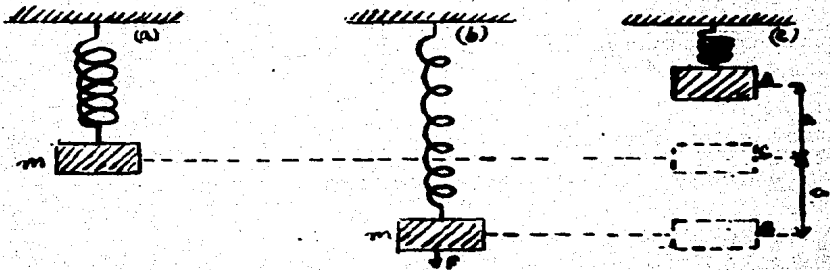
EXPERIMENTACION

1.- Coloque un resorte en el soporte. En esta parte no importa su calibración.

2.- Adapte al final de él una masa inicial de 100 g.

3.- Desplace el resorte verticalmente, cuidando siempre de dar la misma amplitud y de que el resorte no tenga movimiento lateral.

Observe el dibujo:



Mida por lo menos tres veces el período de oscilación y promedie los resultados.

Repita el proceso variando la masa de 100 en 100g, hasta tener de 10 a 15 datos.

Tabule los resultados obtenidos.

Grafique los datos, incluyendo incertidumbres. El período de oscilación será la variable dependiente y la masa del cuerpo, la variable independiente.

Si la gráfica no corresponde a una relación lineal, intente un cambio de variable para obtener una recta.

CUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué es una onda plana? ¿Y una onda longitudinal?
- 2.- ¿A qué se llama respectivamente amplitud, frecuencia, período y fase?
- 3.- ¿A qué se llama velocidad de propagación?
- 4.- ¿Cuál es la incertidumbre en las medidas?
- 5.- ¿Cómo puede ser reducida?
- 6.- Una vez obtenida la gráfica que relacione nuestras variables mediante una recta, ¿Qué se concluye sobre la relación entre masa y período?

PARTE B

EXPERIMENTACION

- 1.- Coloque en el soporte un resorte calibrado estáticamente.
- 2.- Usando el cronómetro y la regla, mida el período de oscilación del resorte. Repita la operación tres veces y promedie los resultados. Recuerde que debe dar siempre la misma amplitud y evitar movimientos laterales del resorte.
- 3.- Repita el proceso con los demás resortes calibrados.
- 4.- Tabule los resultados incluyendo incertidumbres y grafique. La constante del resorte será la variable independiente y el período de oscilación, la variable dependiente. Si la relación entre ambas no es lineal, grafique en papel log-log.

QUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué se concluye de la gráfica anterior?
- 2.- Escriba la ecuación que relaciona el período y la constante de un resorte.
- 3.- ¿Es la misma que nos proporcionan los libros de teoría?

CONCLUSIONES

Si los resultados del experimento no son satisfactorios, discuta las causas de ello.

¿Sería conveniente realizar de nuevo el experimento, ya sea para eliminar las causas de error o para mejorar la precisión de los resultados?

FRACTICA No. 4
PENDULO FISICO Y PENDULO SIMPLE.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Comparar los resultados de medir los periodos de un péndulo simple y uno físico, usando la misma longitud y tomando en cuenta los resultados teóricos para ambos casos.

FUNDAMENTO TEORICO:

Liámase péndulo a todo cuerpo sujeto únicamente a la acción de su propio peso y que puede girar alrededor de un punto o de un eje horizontal superior a su centro de gravedad. Como ejemplos tenemos el péndulo simple, ideal o matemático; el péndulo físico, el péndulo de Sterneck, el péndulo reversible de Kater, los péndulos compensados, etc.

Péndulo simple.- Teóricamente está formado por una masa puntual unida a un hilo inextensible y sin peso y que oscila bajo la acción de la gravedad con un movimiento armónico simple, o casi. En la práctica se puede lograr algo muy parecido uniendo una esfera o lenteja pesada al extremo de un hilo de seda o nylon.

Péndulo físico.- Es todo cuerpo pesado que puede oscilar alrededor de un punto o de un eje horizontal colocado por encima de su centro de gravedad. En la práctica se le da, generalmente, la forma de varilla con unos ensanchamientos en los extremos.

La distancia entre el eje de suspensión y el eje de oscilación es la longitud del péndulo simple que oscilaría con el mis-

no período que el físico en cuestión.

ACTIVIDADES:

-Usar como péndulo simple una cuerda delgada unida a una masa pequeña y como péndulo físico, una barra de metal puesta a oscilar sujetándola por un extremo.

-Comprobar que los péndulos se mueven con movimiento armónico simple.

-Medir el período de los péndulos, usando la misma longitud.

-Comparar los resultados teóricos con los experimentales.

MATERIAL:

Soporte horizontal

Cilindro o lenteja de acero o plomo, con un gancho para colgarse, pesada.

Cilindro de madera, corcho o hule, pesado y provisto de un gancho.

Hilo de nylon o seda, de aproximadamente 2 m.

Cono de papel

Arena fina, sal seca o ardúcar

Regla

Cronómetro

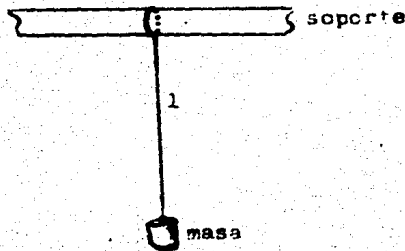
Transportador

EXPERIMENTACION:

a).- Determinación del período

1.- Ate una masa pequeña de metal al hilo de nylon.

2.- Sujete el extremo libre del hilo contra el soporte horizontal, según indica la figura:



3.- Mida cuidadosamente la longitud del péndulo (desde el punto de suspensión del hilo hasta el centro de gravedad de la masa).

4.- Sin encoger o estirar el hilo, apétese a la masa de su punto de equilibrio unos $10-15^\circ$ y permítasele oscilar libremente.

5.- Deje pasar la primera oscilación y mida con un cronómetro entre 10 y 20 oscilaciones completas. Repita tres veces los ejercicios 3, 4 y 5. Saque la media.

6.- Varíe la longitud del péndulo y haga mediciones para 2 longitudes distintas.

7.- Tabule sus resultados experimentales y compárelos con los obtenidos teóricamente.

8.- Grafique en papel milimétrico longitud vs período. Si no obtiene una recta, haga un cambio de variables.

9.- Repita todo el procedimiento, usando una masa de distinto material y peso (por ejemplo, corcho, madera, hule).

b).- Comparación entre el movimiento pendular y el movimiento armónico simple.

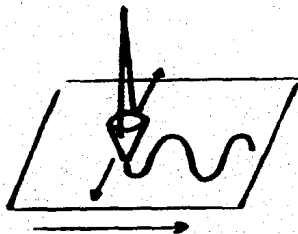
Ambos son muy parecidos, siempre y cuando el ángulo de desplazamiento no exceda de $10-15^\circ$.

1.- Cuelgue un cono de papel lleno con arena muy fina, sal seca o azúcar granulada fina.

2.- Coloque bajo él, apoyada en la mesa, una hoja de papel.

3.- Haga un corte en la punta del cono, de modo que el contenido se vacíe lentamente.

4.- Haga oscilar el cono con amplitud pequeña y deslice lentamente, a velocidad constante, la hoja. El deslizamiento de la hoja debe ser perpendicular con respecto al movimiento del cono. El polvo que cae dibuja la gráfica del movimiento del péndulo. Esta tiene forma sinusoidal y muestra el valor variable de sus desplazamientos con el tiempo.



CUESTIONARIO:

1.- Compare los resultados teóricos con los experimentales.

¿Hay coincidencia?

2.- ¿Cuáles son los factores que introducen incertidumbre en el experimento?

3.- ¿De qué factores depende el período de un péndulo?

4.- ¿Halló diferencias entre las determinaciones hechas usando una masa ligera y una pesada?

5.- Observe la gráfica siguiente, semejante a la que formó la arena al caer desde el cono. Marque el punto donde los ángu-

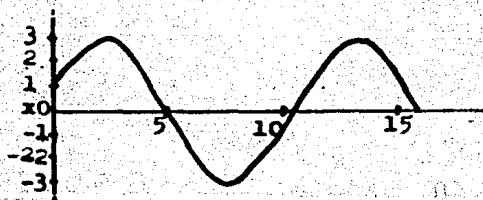
los de fase corresponden a: 0° , 90° , 180° , 270° y 360° . ¿ Por qué se dice que la curva formada es de tipo sinusoidal?

6.- Suponiendo que x sea una función de t , siendo la unidad de tiempo = 0.1 s, la unidad de longitud = 10 cm,

a).- ¿Cuál es la amplitud del péndulo?

b).- ¿Cuál es su período?

c).- ¿Cuál es la frecuencia?



PRACTICA No. 5
LA CUBA DE ONDAS

Duración: 2 Hs.

"En el Universo se encuentran toda clase de ondas, desde rayos gamma de longitud de onda pequeñísima, emitidos por partículas nucleares, hasta inmensas ondulaciones en las nubes de polvo interestelar. Dado que todas las ondas tienen en común transportar energía, no resulta sorprendente que todas se comporten de manera similar; se mueven en línea recta y a velocidad constante en medios uniformes y cambian de velocidad y dirección en fronteras donde las propiedades físicas del medio cambian.

Una onda sonora en el aire choca con un muro, rebota hacia la fuente del sonido y da lugar al fenómeno del eco. Este fenómeno es idéntico en principio al que da lugar a la aparición de una imagen en un espejo o a los disturbios sísmicos que rebotan entre las capas de la corteza terrestre. Todos ellos son ejemplos del fenómeno de reflexión.

La existencia de transformadores en los postes de conducción de electricidad, es debida a las discontinuidades de los medios de propagación de las ondas. A primera vista, esto parece tener poco que ver con la capa púrpura que cubre las lentes fotográficas o con los megáfonos utilizados durante las reuniones masivas, pero los tres dispositivos tienen algo en común: ayudan a las ondas a atravesar fronteras entre medios con diferentes características sin que haya reflexión de energía hacia la fuente. Los tres son transformadores.

Estas semejanzas sugieren la simplicidad y el orden que caracterizan a la naturaleza. Al aprender como se comporta cierta clase de ondas, el experimentador aprende qué puede esperar del comportamiento de otras y los problemas resueltos por el estudio de ondas en ciertos medios pueden explicarse, con las modificaciones del caso, a ondas en otros medios. Por ejemplo, algunas de las propiedades acústicas de un auditorio pueden investigarse observando la acción de ondas superficiales en una extensión de agua con poco fondo. Una extensión de agua de poco fondo manejable en el laboratorio es una Cuba de Ondas".

C. L. STRONG.
Scientific American

OBJETIVO:

Observar los fenómenos de interferencia, difracción y reflexión de ondas en una superficie líquida para establecer una analogía entre ellas y ondas luminosas, sonoras, etc.

FUNDAMENTO TEORICO:

Cuando un tren de ondas ocupa un cierto medio, el lugar geométrico de los puntos que en un instante dado tienen la misma fase de vibración constituye una superficie de onda. Si el medio es homogéneo e isótropo, la dirección de propagación es normal a la superficie de onda. La línea normal a las superficies de onda que nos indica el sentido de propagación de las ondas recibe el nombre de rayo.

Las superficies de onda se propagan sin impedimento alguno a través de un medio uniforme, rodea los obstáculos (difracción), cambian de dirección al penetrar en otro medio (refracción) o rebota

tan contra una superficie (reflexión). Estos comportamientos son comunes a todos los fenómenos ondulatorios.

ACTIVIDADES:

E emplear la cuba de ondas para:

- La producción de ondas planas
- La producción de ondas esféricas
- Que existe una relación inversa entre frecuencia y longitud de onda
- Reflexión producida en una onda plana
- Difracción de ondas planas
- Reflexión de ondas planas en un espejo cóncavo
- Interferencia producida por dos ondas esféricas.

MATERIAL:

Una cuba de ondas

Retroproyector

Generador de ondas de frecuencia variable, provisto de una barra y dos brazos terminados en esfera

Placas de madera, acrílico o vidrio, de 15x2x1 cm aproximadamente

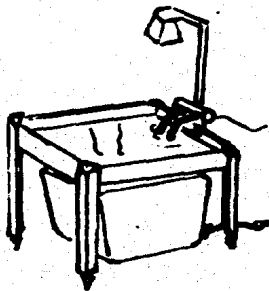
Espejo esférico (puede ser una tira de aluminio o acrílico en forma de arco)

Objetos circulares, de 0.5 a 12-15 cm de diámetro (lápices, vasos de precipitados, etc)

PARTE I

EXPERIMENTACION

1.- Monte el aparato según muestra la figura;



2.- Llene la cuba con agua hasta una altura aproximada de 2 cm.

3.- Debajo de la cuba coloque el retroproyector.

4.- Enfoque la imagen de la cuba sobre el pizarrón o una pared lisa.

a) Forma de las ondas.

Coloque el agitador en forma de barra tocando la superficie del agua.

Encienda el generador y observe cómo la vibración de la barra provocará una serie de ondas planas periódicas sobre la superficie del agua.

Varíe la frecuencia de vibración y observe lo que sucede. Dibuje lo observado.

Cambie la barra del agitador por una esfera. Observará que en esta ocasión se producen ondas esféricas. Varíe la frecuencia y observe si hay alguna relación entre longitud de onda y frecuencia. Dibuje lo observado.

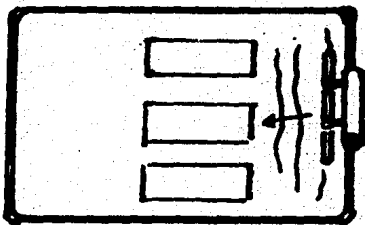
La proyección en la pantalla (pared) se debe a lo siguiente:

El disturbio provoca una ondulación en la superficie del agua. Al llegar la luz a esta superficie, la capa de agua se comporta como una lente. Las partes altas de la ondulación (crestas) se comportan como lentes convergentes mientras que las bajas (valles) se comportan como divergentes. Por ello, sobre la pantalla observaremos como zonas luminosas las proyecciones de las crestas o como zonas oscuras las proyecciones de los valles.

b) Interferencia

Ponga en contacto con el agua las dos esferas del generador y hágalas vibrar para obtener dos centros de perturbación esféricos. Observe y dibuje el fenómeno de interferencia.

Coloque tres bloques, como se indica en la figura. Envíe un frente de ondas plano hacia ellos. Observe lo que le sucede al frente de ondas cuando emerge de las aberturas. Junte poco a poco las placas a fin de estrechar las aberturas. Observe y dibuje lo que le pasa a la figura detrás de ellas.



c) Reflexión

Por medio del generador de arista recta, envíe un pulso. Coloque

una placa de vidrio de modo que el ángulo de incidencia sea de 0° . Observe lo que sucede. Gire la placa a fin de variar el ángulo de incidencia. Dibuje sus observaciones.

Saque la placa rectangular e introduzca el espejo cóncavo. Genere un frente de onda plano y observe lo que pasa con la onda al chocar contra el espejo. Varíe la frecuencia de las ondas y observe la formación de puntos focales. Dibuje sus observaciones.

d) Difracción

Coloque dos obstáculos rectos, situados de tal forma que queden paralelos a la superficie de onda y separados entre sí unos 10 cm. Genere un frente de onda recto y observe la forma de la onda al emerger. Repita la experiencia con los bloques separados cada vez por distancias menores, hasta una separación aproximada a 1 cm. Haga el dibujo correspondiente.

Varíe la frecuencia de las ondas, manteniendo la abertura constante, a fin de observar qué efecto produce el que la longitud de onda sea mucho mayor o mucho menor que el ancho de la abertura.

Ahora coloque un obstáculo circular, de unos 12 ó 15 cm de diámetro. Genere un frente de onda recto. El área que queda más allá del objeto, donde la onda desaparece, se llama sombra del cuerpo. Reemplace el obstáculo por otros de diámetro cada vez menor y observe qué le pasa a la sombra cuando disminuye el diámetro del objeto. Varíe la frecuencia y repita las experiencias.

Questionario

- 1.- Cuando dos grupos de ondas se cruzan, las ondas pueden estar en fase o desfasadas. Explique lo que sucede en cada caso.
- 2.- Cuando un tren de ondas choca contra un obstáculo, ¿Qué fog

¿ma tiene la onda reflejada si el ángulo de incidencia es de 0° ?
¿Y si es mayor?..

3.- ¿Cómo es influenciada la difracción por el ancho de la abertura? ¿Cómo lo es por la longitud de onda?.

4.- Tomando en cuenta que la velocidad de una onda depende de las características del medio y es igual al producto $v = f\lambda$, ¿Cómo podemos medir la velocidad de las ondas en la superficie del agua? ¿Es necesario emplear el generador de ondas?.

Recordemos que al idear un procedimiento para medir una cantidad física, debemos considerar la precisión que deseamos lograr.

PARTE II.

Ondas estacionarias en la superficie de un líquido.

Objetivo:

Medir la longitud de onda en la superficie del agua.

La manera más sencilla de medir una longitud de onda es establecer ondas estacionarias en el medio que nos interesa. De esta manera "congelamos" la onda y podemos medirla, ya que los nodos son fácilmente observables. Sabemos que todas las ondas se comportan igual y que la distancia entre dos nodos es igual a $\frac{1}{2}\lambda$, por lo que conociendo la frecuencia podemos determinar su velocidad. Es lo mismo que se hace en las prácticas de cuerdas vibrantes y tubo de resonancia. Debemos investigar si es igualmente sencillo hacerlo con ondas en un líquido.

EXPERIMENTACION:

Para medir la frecuencia podemos aplicar un estroboscopio al generador de ondas, o usar un generador de frecuencia conocida o re-

gular. Para obtener ondas estacionarias, lo más fácil es usar un recipiente de borde circular (un cristallizador, por ejemplo). En un recipiente de este tipo, si dejamos caer una gota al centro del mismo, surgirá una onda circular que, después de chocar con el borde, regresará al centro. Dejando caer gotas de agua periódicamente en el centro del recipiente es posible, por tanto, crear ondas estacionarias en la superficie del líquido. Todo depende de que encontremos la frecuencia adecuada para que el radio del recipiente y la longitud de onda sean proporcionales, de acuerdo con la relación $L = n(\frac{1}{2} \lambda)$, donde n es un número entero y L , en este caso particular, es el radio.

Siguiendo estas ideas, diseñar un procedimiento, lo más sencillo posible, para observar este fenómeno. A partir de allí, medir, con la mayor precisión posible, la longitud de onda para una cierta frecuencia, así como la velocidad de propagación. Investigar además la dependencia de la velocidad de propagación con respecto a:

- a).- La profundidad de la capa del líquido
- b).- La densidad del líquido.

CONCLUSIONES:

Parte I.- Haga un breve resumen de sus observaciones y las conclusiones a las que llegó.

Parte II.- Describa someramente el método empleado para la observación de las ondas estacionarias y los resultados que obtuvo. ¿Es un método confiable o debe hacerle modificaciones? ¿Cuál es la incertidumbre en las medidas?

PRACTICA No. 6
TUBO DE RESONANCIA
PARTE A

DURACION: 1 h.

OBJETIVO:

Observar cualitativamente el fenómeno de ondas estacionarias para el caso de ondas sonoras, obteniendo la velocidad del sonido en el aire.

FUNDAMENTO TEORICO:

Para formar una onda debe haber un cuerpo vibrante. Si la fuente vibra a un ritmo regular, se produce una onda uniforme. Si ésta, al viajar, topa con un medio distinto al que venía viajando, se refleja y se forman dos ondas que viajan en sentidos opuestos. Ambas se combinan y forman un patrón como éste:



A los lugares que cruzan y están casi estacionarios se les llama nodos y a los que tienen la máxima vibración se les llama antinodos. Un patrón de éste tipo, formado cuando las ondas se cruzan en sentidos opuestos, se llama patrón de ondas estacionarias.

Para que se establezca una onda estacionaria en un tubo abierto por un extremo, es necesario que la longitud de la columna de aire sea igual a un número entero de medias longitudes de onda más un cuarto, esto es:

$$a = (n + \frac{1}{4}) \lambda / 2, \text{ donde}$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Entonces, si iniciamos el experimento con el tubo lleno de agua y lentamente dejamos que el nivel de ésta descienda, cuando $a = \frac{1}{4}\lambda$ escucharemos que aumenta la intensidad del sonido, situación que se repite cuando $a = \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda$, etc.

ACTIVIDADES:

- Emplear un tubo de resonancia y observar cómo varía la frecuencia del sonido incidente con respecto a la longitud de onda.
- Obtener la velocidad de las ondas sonoras en el aire.

MATERIAL:

Un tubo de resonancia (tubo de vidrio de aproximadamente 5cm de diámetro interior y 1 m de largo, en cuyo interior se hace incidir una onda sonora que se refleja en la superficie de una columna de agua, produciéndose un patrón de interferencia entre la onda incidente y la reflejada, el cual captamos cualitativamente. En la parte inferior se adapta un tapón conectado a una manguera de hule que a su vez desemboca en un recipiente con agua. Este se puede subir o bajar para variar la altura de la columna de aire en el interior del tubo).

Bocina de automóvil

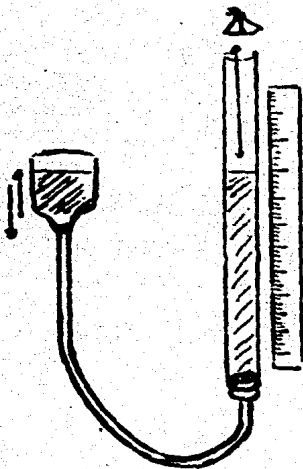
Aparato para medir la frecuencia del sonido

Regla

Soporte para el tubo

EXPERIMENTACION:

- 1.- Montar el aparato según muestra la figura:



2.- Ajustar a cero el nivel de agua en la columna.

3.- Encender la bocina (fuente sonora) a 400 mHz.

La onda sonora proveniente de la fuente choca con la superficie del agua y se refleja, defasándose 180° . Así, la onda incidente y la reflejada se superponen dentro del tubo.

4.- Variar la altura de la columna subiendo o bajando el recipiente con agua, de modo que la resultante de la superposición de las ondas tenga una amplitud máxima, este es, que se oiga con mayor intensidad. Decimos que se ha formado una onda estacionaria y la columna de aire resuena.

5.- Medir la altura de la columna de aire.

6.- Repetir el procedimiento para intervalos de 100 mHz, de 400 hasta 1000 mHz, midiendo la altura de la columna cada vez que resuene. Se observará que según va subiendo la escala, el sonido es más agudo y la distancia entre un máximo de intensidad y otro, menor cada vez.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Qué tipo de ondas son las sonoras?
- 2.- ¿Cuál es la principal diferencia entre ondas transversales y longitudinales?
- 3.- Dibuje el patrón de ondas estacionarias dentro del tubo.
- 4.- Calcule la velocidad del sonido en el aire, de acuerdo a las frecuencias utilizadas. Explique los resultados y cómo se calcularon las incertidumbres.
- 5.- Compare los resultados obtenidos con el valor que se da en los libros de teoría. ¿Qué concluye con relación a la precisión de las mediciones hechas en el laboratorio?
- 6.- ¿Cuáles le parecen que son las causas de error más probables en el experimento?
- 7.- ¿Cuáles son los factores externos que modifican la velocidad del sonido?

PARTE B

OBJETIVO:

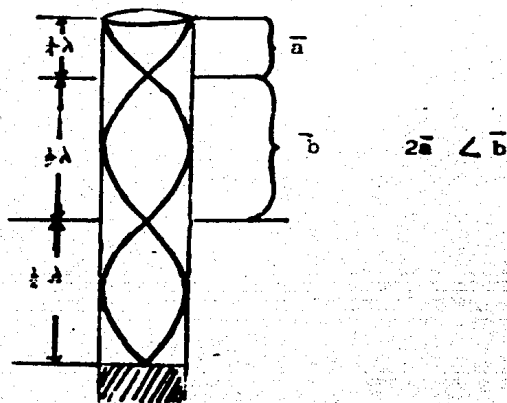
Analizar las causas del llamado "error de borde" en el tubo de resonancia.

FUNDAMENTO TEORICO:

En la primera parte, el objetivo fue medir la velocidad del sonido en el aire, a través de la resonancia de una columna de aire. El procedimiento fue el de medir la distancia entre los puntos de máxima intensidad sonora para una frecuencia dada. Las ondas estacionarias en la columna de aire tienen un nodo de desplazamiento en la superficie del agua y un antinodo en la boca del tubo. Así, teóricamente, la distancia entre la boca del

tubo y el primer nodo de intensidad debe ser igual a $\frac{\lambda}{4}$ de longitud de onda, tomando la distancia entre dos nodos sucesivos como la distancia de la boca del tubo al primer nodo.

En la práctica, sin embargo, se observa una discrepancia entre esos resultados, pues la segunda distancia no resulta ser exactamente igual a la primera. De hecho, \bar{a} es menor que \bar{b} . Hemos supuesto que la reflexión en el extremo abierto de un tubo tiene lugar exactamente en el plano del extremo. En realidad esto no es rigurosamente cierto, ya que la reflexión tendrá lugar tras una cierta expansión más allá del extremo abierto.



ACTIVIDADES:

- Analizar las causas de la discrepancia mencionada.
- Diseñar un procedimiento para tratar de eliminarla.

EXPERIMENTACION:

Al diseñar el experimento deben relacionarse las variaciones en el radio del tubo y la frecuencia con la distancia de la boca del tubo al primer nodo de intensidad, cuidando de reducir

al máximo las incertidumbres, dado que las relaciones van a ser determinadas empíricamente.

CUESTIONARIO:

- 1.- En el caso de haber logrado determinar las funciones de $a = f(R)$ y $a = f(F)$, ¿Cuál es su rango de validez?
- 2.- Sería fácil establecer una sola función $a = f(R, F)$?
- 3.- ¿Puede ser que la distancia \bar{a} dependa también del material del tubo, de la densidad del aire, etc.? Discuta estas posibilidades.

CONCLUSIONES:

Exponga brevemente las conclusiones a las que llegó después de discutir esas posibilidades.

PRACTICA No. 7
CUERDAS VIBRANTES

PARTE A

DURACION: 1:30 Hs.

OBJETIVO:

Investigar el comportamiento de las cuerdas vibrantes, midiendo los cambios en la longitud de onda y su velocidad de propagación cuando se introducen cambios en el sistema.

FUNDAMENTO TEORICO:

Cuando por un medio se propagan en sentidos opuestos dos trenes de ondas de igual período y amplitud, se producen ondas estacionarias que pueden ser transversales, longitudinales o superficiales. En estas ondas pueden distinguirse posiciones de interferencia total llamadas nodos, separadas entre sí por una distancia igual a media longitud de onda, y posiciones de máxima elongación, equidistantes de los nodos, llamadas antinodos.

Las ondas estacionarias que se producen en una cuerda tensa se pueden estudiar mediante el experimento de Malde, en el cual una larga cuerda tensada por una masa se une por el otro extremo a una fuente vibratoria (diapasón, corriente alterna, etc.).



Para ciertos valores de la tensión se pueden observar ondas estacionarias con 1, 2, ..., n nodos.

Si a la cuerda tensa se le aplica una fuerza periódica se obtienen las llamadas vibraciones forzadas.

ACTIVIDADES:

- Observar cualitativamente el fenómeno de ondas estacionarias.
- Graficar longitud de onda vs. tensión de la cuerda.
- Para cada valor de longitud de onda obtener el correspondiente valor de velocidad y graficar velocidad vs tensión.

MATERIAL:

Soporte de aproximadamente 1m de longitud. En un extremo debe tener un transformador con clavija y un soporte para cuerda; en el extremo opuesto, una polea.

Un alambre de cobre de aproximadamente 1.20 m de longitud,

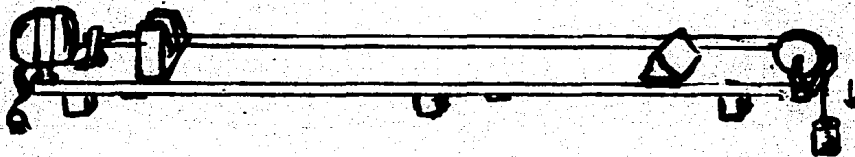
Pesas

Imán

Un "puente" de madera para variar la longitud del alambre.

EXPERIMENTACION:

- 1.- Montar el aparato según lo muestra la figura. El alambre de cobre se sujeta en el soporte correspondiente, se pasa sobre la polea y se tensa colgándole pesas.



2.- Conecte la clavija del transformador a la toma de corriente. Se crea así alrededor del alambre un campo magnético variable que oscila con la misma frecuencia que la corriente que lo genera: 60 Hz.

3.- Coloque un imán que rodee al alambre, de manera que interactúe con el campo generado por la corriente alterna. Se genera así una fuerza variable que actúa en el plano vertical y que hará oscilar al alambre con la misma frecuencia de la corriente.

4.- Para hacer una primera observación, coloque una pesa de 50 g para tensar el alambre. Coloque el "puente" cerca de este extremo y recórralo lentamente en dirección al imán.

5.- Si la separación entre el puente y el soporte es tal que la frecuencia natural de la vibración del alambre sea igual a la de la frecuencia de la corriente suministrada, se presentará el fenómeno de resonancia y tendrá lugar una gran vibración del alambre.

Observar la forma que toma el alambre al vibrar y al ir modificando la distancia (frontera) con el puente.

6.- Mida la longitud de onda cada vez que se forma claramente un nodo.

Una vez realizadas estas observaciones, investigaremos la relación entre las variables del sistema. Para ello, escogemos la tensión como variable independiente y medimos los cambios en la longitud de onda.

7.- Variando la tensión de la cuerda mediante diferentes pesos y midiendo la longitud de onda para cada valor de masa, hacer una tabla de tensión contra longitud de onda, incluyendo incertidumbres. Para cada valor de longitud de onda, obtener el correspondiente va-

lor de velocidad.

8.- Grafique velocidad contra tensión. Con los mismos datos, haga el cambio de variable necesario para obtener una recta.

9.- Ahora supongamos que hicimos otro experimento, buscando encontrar la relación entre velocidad de propagación y densidad lineal de la cuerda, obteniendo los siguientes resultados:

Densidad lineal (g/m)	Vel. de propagación (m/s)
1.57 ± 0.005	25.4 ± 0.5
1.34 " "	27.3 " "
1.21 " "	28.3 " "
1.02 " "	31.4 " "
0.91 " "	33.0 " "
0.77 " "	36.1 " "

Grafique estos datos. Haga un cambio de variable para obtener una recta.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Qué representan los puntos inmóviles que se observan al vibrar la cuerda?
- 2.- ¿Cuál es la longitud de onda?
- 3.- ¿Cuál es la velocidad?
- 4.- ¿Cuál es la incertidumbre en la medida de la velocidad?
- 5.- ¿Qué tipo de función relaciona la velocidad con la tensión?

CONCLUSIONES:

Reuniendo los resultados de velocidad-tensión y velocidad-densidad, encuentra la ecuación que relaciona las tres variables.

PARTE B

El propósito de esta parte es el de responder a la pregunta: ¿Qué pasa cuando una onda llega a la frontera entre dos medios?. Para responderla recurrimos al aparato empleado en la parte A, más dos alambres de diferente densidad lineal.

Recordemos que la velocidad de propagación de una onda que viaja en un medio homogéneo es constante y depende de ese medio; en una cuerda, $v = \sqrt{T/\mu}$; en general, $v = f\lambda$. Las condiciones que deben cumplirse para establecer una onda estacionaria en un medio son muy estrictas.

EXPERIMENTACION:

- 1.- Colocar en el dispositivo de cuerdas vibrantes dos alambres de diferente densidad lineal, unidos entre sí.
- 2.- Haciendo vibrar las cuerdas mida la longitud de onda de cada una de ellas y encuentre la relación que existe entre ambas.
- 3.- Calcule teóricamente la relación entre las longitudes de onda (y consecuentemente, entre las velocidades), considerando que las densidades lineales de las cuerdas son proporcionales a sus diámetros.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿La relación entre las longitudes de onda obtenida experimentalmente es igual a la obtenida teóricamente?
- 2.- Si no es así, ¿Puede explicar por qué?
- 3.- ¿Cuál fue la incertidumbre en sus medidas?

Resuelva estos problemas:

Dos cuerdas, con densidades lineales μ_1 y μ_2 , están unidas y sujetas

a la misma tensión.

a).- Si una onda tiene una longitud de 2 cm en la cuerda 1, ¿Cuál longitud tiene en la cuerda 2?

b).- Si la frecuencia es de 100 Hz en la cuerda 1, ¿Cuál es la frecuencia en la cuerda 2?

c).- Si una onda con una amplitud de 4 mm llega a la frontera desde la cuerda 1, y la onda transmitida tiene una amplitud de 2 mm en la cuerda 2, ¿Cuál es la amplitud de la onda reflejada?

CONCLUSIONES:

Haga un breve resumen acerca de las conclusiones a que llegó, las dificultades que tuvo para desarrollar la práctica y cómo las solucionó.

PRACTICA No. 8

FLAUTAS

DURACION: Indeterminada.

"Una familia muy importante de instrumentos musicales está basada en los movimientos de columnas de aire contenidas en recipientes de cualquier forma, por ejemplo, una jarra con agua.

En el caso de una cuerda, iniciamos las vibraciones jalándola y luego soltándola, con lo cual la cuerda se mantiene vibrando y radiando sonido por algún tiempo. No podemos hacer (en sonidos en columnas de aire) ningún experimento paralelo totalmente exitoso, pero algo se puede lograr. Tomamos una serie de tubos de ensaye iguales, algunos con cierta cantidad de agua, otros casi vacíos, cerrados con tapones de corcho. Al jalar los tapones, las columnas de agua contenidas en cada tubo se ponen a vibrar tal como una cuerda cuando la tañemos. Sin embargo, las notas duran muy poco tiempo; la energía es radiada al exterior muy rápidamente, mucho más que en el caso de la cuerda.

Cuando se vierte agua de una botella llena se oye un sonido que consiste en una sucesión de notas de muy corta vida. Se observa, además, que el tono disminuye a medida que la cantidad de aire en la botella aumenta. Al llenar la botella en la llave de agua también se oye un sonido. En este caso el tono aumenta al disminuir el espacio libre.

Es tan fácil obtener una variedad de notas con estas masas vibrantes de aire como con una cuerda. Tenemos que usar columnas largas o grandes masas de aire para obtener notas bajas y

columnas cortas o pequeñas masas de aire para las notas altas.

Si queremos que la nota suene continuamente, no podemos limitarnos a producir un disturbio aislado en la columna; necesitamos mantenerlo. Todos lo hemos hecho alguna vez".

Sir William Bragg
"The world of sound"

OBJETIVO:

Construir una flauta u otros instrumentos de funcionamiento similar haciendo uso de los conocimientos adquiridos (resonancia, ondas estacionarias) y otros que se introducirán con esta práctica.

FUNDAMENTO TEORICO:

Siempre que un cuerpo capaz de oscilar es sometido a una serie periódica de impulsos con una frecuencia igual a la de una de las frecuencias naturales de oscilación del cuerpo, éste entra en vibración con una amplitud relativamente grande. Este fenómeno se denomina resonancia y se dice que el cuerpo resuena con los impulsos aplicados.

La mayoría de los focos sonoros musicales tienen formas de onda muy complejas que pueden considerarse como el resultado de la superposición de un cierto número de vibraciones simples, cuyas frecuencias sean múltiplos enteros de una frecuencia fundamental que es la más baja de todas. Las componentes de frecuencia más elevada que la fundamental se denominan armónicos.

En 1859, Helmholtz demostró que el timbre de todo sonido depende del número de armónicos que acompañan al fundamental, así como de sus intensidades y frecuencias.

Una clase importante de instrumentos musicales, los instrumentos de viento, aprovechan las vibraciones libres de columnas de aire contenidas en tubos de paredes rígidas.

En un tubo cerrado, todos los armónicos pares generados son nulos, en tanto que en un tubo abierto figuran todos. Los sonidos emitidos por los tubos abiertos serán, pues, más ricos en timbre que los de tubo cerrado. Esto se debe a que en el extremo final habrá un nodo en el tubo cerrado y un antinodo en el tubo abierto.

Nota fundamental.- El sonido emitido en un tubo cerrado tiene una longitud de onda aproximadamente igual al cuádruplo de la longitud ya que durante el tiempo que se emplea en una vibración del chorro del aire, la longitud l es recorrida dos veces por la condensación y dos veces por la rarefacción. En un tubo abierto de igual longitud, el sonido tendrá una frecuencia doble de la nota emitida en un tubo cerrado (será una octava más alto).

ACTIVIDADES:

- Construir una flauta de cualquier material.

EXPERIMENTACION:

Hacer una flauta es fácil e instructivo. Puede usarse un tubo de casi cualquier material para que funcione. La siguiente información es útil aunque no exhaustiva:

Relación de frecuencias entre las notas de una octava:

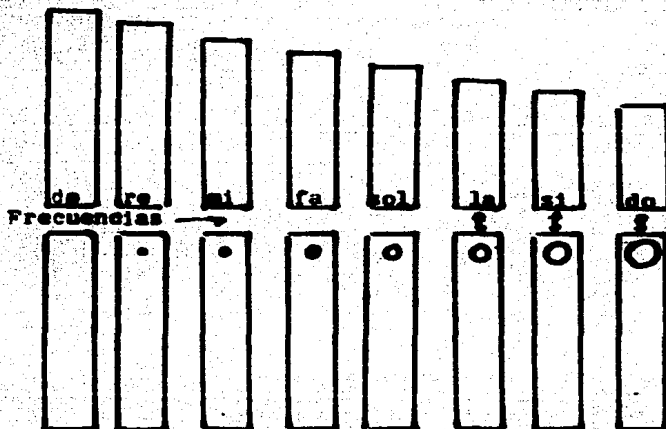
Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1
1.000	1.125	1.250	1.333	1.500	1.667	1.875	2.000

Frecuencias correspondientes a cada nota (octava natural)

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
264	297	330	353	396	440	495	528

Para que un tubo abierto por un extremo resuene, su longitud no debe ser exactamente igual a la cuarta parte de la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de resonancia, sino un poco menos. La corrección está dada por: $\frac{1}{4}\lambda = l + 0.6r$, donde "r" es el radio del tubo.

Por otra parte, el tamaño de un agujero colocado en un costado del tubo afecta a su frecuencia de vibración, ya que varía la longitud efectiva de la flauta. La magnitud del efecto se ilustra en la figura, comparándose agujeros de distintos diámetros con longitudes de tubos que dan la misma frecuencia:



Con los datos anteriores determine la longitud que debe tener su tubo para producir las notas que se deseen y construya su flauta.

CUESTIONARIO:

- 1.- El material usado para su flauta fue:
- 2.- La longitud:
- 3.- Diámetro interior:
- 4.- ¿Con cuántos agujeros la hizo?
- 5.- ¿Es abierta o cerrada?
- 6.- ¿Qué notas da y en qué frecuencia se producen?
- 7.- Haga un esquema de su flauta indicando las medidas y datos que considere pertinentes.

CONCLUSIONES:

Exponga brevemente las dificultades que encontró para construir su instrumento y cómo las solucionó.

PRACTICA No. 9
IMAGENES EN ESPEJOS PLANOS.

DURACION: 1:30 Hs.

OBJETIVOS:

- Comprobar que el ángulo de incidencia y el de reflexión en un espejo plano son iguales.

- Determinar la distancia entre el espejo y la imagen virtual de un objeto; compararla con la distancia entre el espejo y el objeto puesto frente a él.

FUNDAMENTO TEORICO:

El ojo responde a la luz. Todos los objetos son vistos con luz y casi cada momento del día proporciona experiencias que están relacionadas con la reflexión de la luz. Podemos leer estas líneas, porque la luz se refleja en ellas. La luz reflejada en un espejo nos permite vernos. Al ver nuestra imagen en un espejo o en la superficie del agua, sabemos que ésta debe ser brillante y plana para no producir una reflexión distorsionada.

Una superficie muy bien pulida en la que se forman imágenes por reflexión se llama espejo. Casi todos los espejos comerciales están hechos de una capa de plata o cualquier metal reflector que recubre la parte posterior de una pieza de vidrio. La capa próxima al vidrio será la superficie reflectora.

La reflexión de la luz obedece a la ley de la mecánica que gobierna otros fenómenos de rebote como el eco, el retorno de una bola de billar al chocar con una banda, etc., ley que nos dice que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, ambos medidos con respecto a la normal a la superficie y todos ellos se

encuentran en el mismo plano.

Las imágenes que se forman en espejos planos son virtuales (sólo parecen existir) y cumplen con los siguientes enunciados:

1.- La distancia de una imagen atrás de un espejo es igual a la distancia del objeto frente al espejo (la imagen está simétricamente situada con respecto al objeto real colocado frente al espejo).

2.- El tamaño de la imagen es el mismo que el del objeto.

3.- La recta que une un punto de la imagen al punto correspondiente del objeto es perpendicular a la superficie del espejo.

4.- Las imágenes aparecen invertidas izquierda-derecha.

ACTIVIDADES:

-Adquirir y disponer correctamente los artículos que se requieren para el experimento.

-Observar la trayectoria de un rayo de luz al llegar y al salir de un espejo.

-Dibujar la imagen de un objeto.

-Medir las distancias objeto-espejo y espejo-imagen; comprobar que son iguales.

MATERIAL:

Un espejo plano, rectangular o cuadrado (aproximadamente 18x12 cm o 15x15 cm)

Un trozo rectangular de madera o plástico, aproximadamente del tamaño del espejo,

Hojas blancas

Alfileres

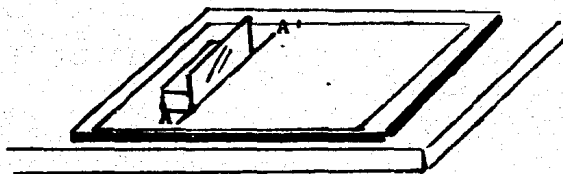
Regla

Transportador

Cartón corrugado

EXPERIMENTACION:

Arme el arreglo experimental según indica la figura:



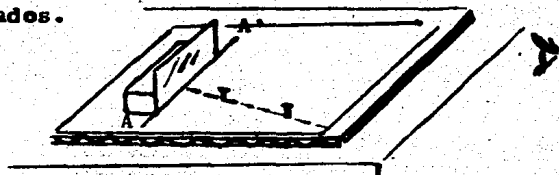
a).- Determinación del ángulo de incidencia, de reflexión y de la normal.

1.- Trace la línea AA' cerca de la orilla superior de la hoja de papel y coloque la superficie reflectora (la superficie trasera si es un espejo de vidrio) sobre ella.

2.- Fije alfileres en dos lugares diferentes del papel y trace una línea punteada a lo largo de ellos.

3.- Colóquese en una posición tal que pueda ver, con un sólo ojo al ras de la superficie de la mesa, las imágenes alineadas de los alfileres.

4.- Clave otros dos alfileres en el papel de tal modo que los cuatro, dos vistos por visión directa y dos por visión reflejada, parezcan estar alineados.



5.- La línea punteada representa el rayo de luz incidente. A lo largo de los dos últimos alfileres se puede trazar una recta que representa al rayo reflejado. Identifique las dos rectas con sus nombres respectivos. Ambas rectas deben converger en la superficie reflectora. Si no sucede así, se debe a que cometió algún error y debe repetir el procedimiento en otra hoja.

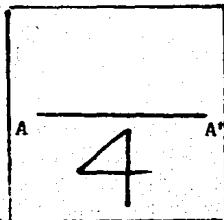
6.- El ángulo de incidencia se define como el ángulo que forman el rayo incidente y una línea perpendicular a la superficie reflectora en el punto de reflexión. Esta línea se conoce como la normal. El ángulo de reflexión es el formado por el rayo reflejado y la normal. En la hoja de papel trace la normal y mida los ángulos de incidencia y reflexión, señalándolos con sus nombre y dimensiones.

El dibujo es la hoja de datos. Recuerde que la incertidumbre debe reducirse al máximo.

7.- Quite los alfileres que colocó sobre el rayo incidente y clávelos en algún otro lado del papel. Trace la línea punteada de este nuevo rayo incidente y repita todo el procedimiento dos o tres veces.

b).- Imágenes

1.- En otra hoja de papel trace nuevamente AA', pero en esta ocasión hágalo en el centro del papel. Dibuje un número 4 como se muestra en la figura:



2.- Coloque el espejo con su superficie reflectora sobre AA' y clave un alfiler en la parte superior del 4. Con un ojo cerca de la esquina inferior derecha del papel coloque la regla de tal modo que quede alineada con la imagen del alfiler. Trace esta recta a lápiz. Colóquese a la izquierda del papel. Trace otra recta de la misma forma.

3.- Retire el espejo y prolongue cada recta hasta AA' y de allí, con una línea punteada, hasta que se intersecten. El punto de intersección es el lugar donde aparentemente está el alfiler que se colocó sobre el número 4. Este sitio se llama la imagen virtual del punto.

4.- Repita el procedimiento para los puntos izquierdo, derecho e inferior del número 4, y para la intersección del centro. Con estos cinco puntos de imagen virtual, construya la imagen virtual del número.

CONCLUSIONES:

Trace una recta que conecte cualquier punto del objeto con el punto correspondiente de su imagen. ¿Que ángulo forma esta recta con el plano de la superficie reflectora?; ¿Es este ángulo el mismo para otros puntos, objetos e imágenes?.

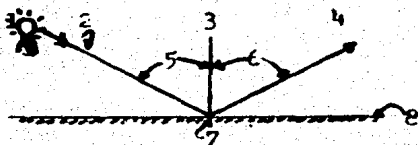
Compare la distancia que hay del vértice del número 4 a la superficie reflectora con la distancia de su imagen virtual a la misma superficie. Repita esta comparación con otras partes de la figura. anote las medidas en el dibujo. ¿Qué podemos concluir de ellas?.

Resuma sus conclusiones sobre el tamaño, forma y posición de la imagen que forma un espejo plano.

CUESTIONARIO:

1.- Defina los siguientes términos: Imagen real, imagen virtual, reflexión especular, reflexión difusa, óptica geométrica.

2.-Escriba los nombres que se piden:



3.- ¿Cuál es la relación entre el ángulo de incidencia y el de reflexión para un espejo plano?. Esta relación también se aplica para espejos curvos; ¿Cómo se podrían medir los ángulos mencionados en una superficie curva?.

4.- Si estamos parados a 2m de un espejo plano, ¿Dónde parece que está la imagen?.

5.- Trace el diagrama de rayos localizando las imágenes de una fuente puntual S formadas por dos espejos colocados a 90° .



6.- ¿Cómo puede demostrarse que los objetos vistos en un espejo plano son imágenes formadas por reflexión?.

7.- ¿Qué sucede si se ve uno en el vértice de dos espejos colocados en ángulo recto?.

8.- La imagen que construyó, ¿Cumple con lo dicho en teoría? De no ser así, discuta las causas.

PRACTICA No. 10
INTERFERENCIA Y DIFRACCION
EXPERIMENTOS DE YOUNG Y MICHELSON.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVOS:

- Observar el fenómeno de interferencia en ondas sonoras y luminosas.

- Observar y explicar el espectro de difracción de un haz de luz monocromática que atraviesa una rejilla de n rendijas.

- Determinar la longitud de onda de nuestra fuente luminosa con la menor incertidumbre posible.

- Explicar la forma del patrón de interferencia observado en el interferómetro de Michelson.

FUNDAMENTO TEORICO:

Uno de los conceptos fundamentales en el estudio del movimiento ondulatorio es el principio de superposición. Consecuencia de ello es que el encuentro de dos o más ondas en el espacio no afecta en lo absoluto la historia posterior de cada una de ellas. Pensemos en una onda como "vehículo de información". Supongamos que deseamos lanzar señales desde A y B hasta A' y B'. Podríamos hacerlo, por ejemplo, lanzando unas piedras o unas ondas. Supongamos ahora que, al lanzar las piedras, por una extraña casualidad se encuentran en el camino, chocan y como consecuencia, cambian su trayectoria. En tal caso, ni A' ni B' recibirían los mensajes. En el caso de las piedras el choque afecta, y a veces muy seriamente, su historia posterior. En el caso de las ondas no. Si lanzamos dos ondas y éstas se encuentran en el transcurso de sus

viajes, alterarán momentáneamente la configuración del medio en que viajan, pero un instante después continúan conservando cada una su trayectoria y características como si tal encuentro no hubiese ocurrido, llegando puntualmente a sus destinatarios.

Ahora bien, si la onda A tiene una amplitud a y la onda B tiene una amplitud b , al medirse la amplitud en la zona del encuentro tendremos que es, punto a punto, la suma algebraica de las amplitudes a y b . Decimos en tal caso que las ondas se interfieren. La amplitud resultante en esta región es lo que llamamos un patrón de interferencia. El estudio de estos patrones proporciona mucha información acerca de las ondas que los producen: si en algún punto la amplitud es mayor que cualquiera de las ondas originales, decimos que la interferencia es constructiva; si en menor, decimos que es destructiva. Los puntos donde la amplitud es cero son los nodos.

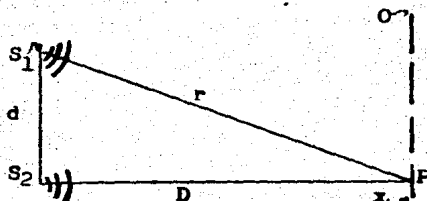
Para obtener patrones de interferencia ordenados, constantes en el tiempo, fáciles de analizar, es necesario que las fuentes generadoras estén en fase. De lo contrario, el patrón varía.

El fenómeno de interferencia puede producirse con cualquier tipo de onda distinto a la de la luz, por ejemplo, con ondas sonoras, de TV, de agua, etc.

Interferencia con ondas sonoras.- Si colocamos dos generadores puntuales S_1 y S_2 que emitan ondas en fase, podemos localizar las posiciones de los máximos sobre una línea determinada de acuerdo con la relación:

$$D = \frac{d^2 - n^2 \lambda^2}{2n}$$

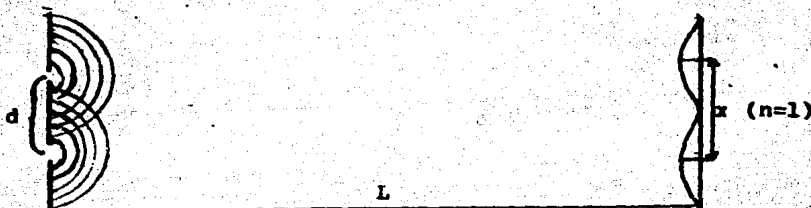
Para que haya un máximo, es necesario que $r-D=n\lambda$, siendo $n=0,1,2,3,\dots$; por otra parte, $r^2=D^2+d^2$ según Pitágoras:



Experimento de Young.- No hay distinción física significativa entre interferencia y difracción. Sin embargo, es común, aunque no siempre apropiado, hablar de interferencia cuando se trata de la superposición de unas cuantas ondas y difracción cuando se está considerando un gran número de ellas.

En el experimento de Young están involucradas tanto la interferencia como la difracción, permitiéndonos medir la longitud de onda de un haz luminoso. Se utilizan una rejilla y una fuente puntual de luz, preferiblemente monocromática (de láser).

La ecuación $\lambda = xd/nL$, válida para ángulos pequeños, proporciona el valor de la longitud de onda de la luz que estamos utilizando. En nuestro caso emplearemos una luz de láser de Helio-Neón, que emite luz de helio (6320 Å). Esquemáticamente, el arreglo experimental es el siguiente:

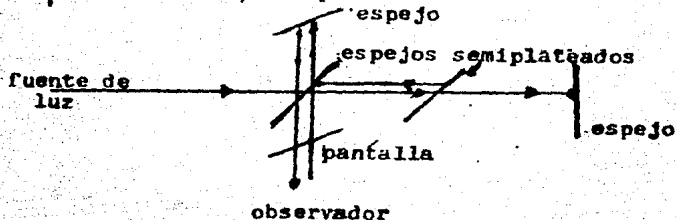


Interferómetro de Michelson.- También sirve para medir longitudes de onda de haces luminosos.

El aparato posee varios espejos para hacer la longitud del camino que siguen los rayos luminosos lo más grande posible; además está colocado sobre una plataforma móvil para variar la distancia entre los espejos.

Si de un haz luminoso hacemos dos al incidir sobre un espejo semiplatado (en el que se refleja el 50% de la luz y pasa el otro 50%), podemos hacer que posteriormente se interfieran y analizar su patrón de interferencia.

Esquemáticamente, el aparato es:



Si montamos el arreglo óptico de manera que la distancia entre el espejo B y el semiplatado sea variable, al variar la distancia cambiará el patrón de interferencia y encontraremos máximos y mínimos a cada variación correspondiente a $\frac{1}{2} \lambda$, pudiendo así obtener los valores de λ de la luz empleada. Para esto, el arreglo óptico se monta sobre una plataforma que tiene una parte móvil (sobre la cual se coloca el espejo B), que se desplaza mediante un mecanismo ajustable con un tornillo micrométrico, de modo que la lectura de las distancias recorridas es muy precisa.

ACTIVIDADES:

- Conectar dos bocinas en paralelo para localizar las zonas de interferencia.

- Emplear el láser de He-Ne para:

- Reproducir el experimento de Young

- Reproducir el experimento de Michelson

- Determinar la longitud de onda de la luz utilizada.

MATERIAL:

Dos bocinas, regla

Micrófono

Osciloscopio

Láser de He-Ne

Rejillas de difracción

Espejes

Espejos semiplataados

Base giratoria para los espejos

Pantalla (se puede utilizar la pared como tal).

EXPERIMENTACION:

Interferencia en ondas sonoras:

1.- Conectar dos bocinas en paralelo.

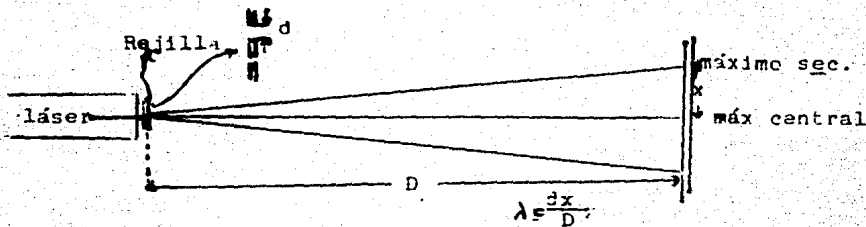
2.- Generar voltaje para hacerlas sonar.

3.- Mover el micrófono conectado al osciloscopio, primero en círculos concéntricos alrededor de las bocinas y luego a lo largo de una línea separada 2-3m de las mismas. Tratar de localizar las líneas nodales.

4.- Hacer un diagrama de acuerdo a lo observado.

Experimento de Young:

1.- Monte el arreglo experimental mostrado en la figura:



2.- Conecte el láser y espere cinco minutos antes de hacer las determinaciones.

3.- Observe el fenómeno de difracción en la pantalla; existe un punto central que es el más luminoso y se le llama máximo central, los puntos que se hallan a los lados se llaman máximos secundarios.

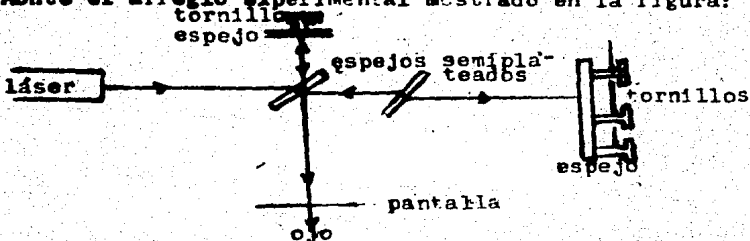
4.- Mida la distancia de la rejilla a la pantalla y del máximo central a uno de los secundarios.

5.- Determine la longitud de onda de la luz del láser.

6.- Cambie de rejilla y compruebe si coincide la longitud de onda con la obtenida antes. Calcule las incertidumbres correspondientes.

Experimento de Michelson:

1.- Monte el arreglo experimental mostrado en la figura:



2.- Haga incidir el rayo de luz láser y observe el diagrama de interferencia.

3.- Con el tornillo micrométrico se hace variar el camino óptico; podrá observarse que el patrón de interferencia cambia y la mancha central es brillante en unas posiciones (interferencia constructiva) y oscura en otras (interferencia destructiva). Al mismo tiempo se intercambian las franjas.

4.- Mida la longitud de onda tomando en cuenta que cada alternación de blanco y negro corresponde a un desplazamiento del espejo igual a $\frac{1}{2}\lambda$. Determine sus incertidumbres.

CUESTIONARIO:

1.- Haga los diagramas correspondientes a cada experimento.

2.- Determine la longitud de onda de la luz del láser según los experimentos de Young y Michelson. ¿Coinciden?; de no ser así, ¿A qué atribuye la diferencia?.

3.- ¿Cuál es la incertidumbre asociada a cada experimento?; ¿Puede ser reducida?.

Nota: Recuerde que nunca debe observar directamente el rayo del láser.

PRACTICA No. 11
POLARIZACION DE LA LUZ.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Obtener luz polarizada por:

- a).- Reflexión
- b).- Transmisión
- c).- Dicroísmo
- d).- Doble refracción
- e).- Dispersión

FUNDAMENTO TEORICO.

La luz es una perturbación electromagnética que puede presentarse en dos modalidades: luz natural y luz polarizada. Ambas están constituidas por dos sistemas de ondas que vibran en planos perpendiculares entre sí, pero mientras que en la luz natural esto se verifica en todas direcciones, en la luz polarizada sólo vibran en un plano.

Históricamente, los estudios sobre polarización se llevaron a cabo para verificar que la luz está formada por ondas transversales, ya que los fenómenos de difracción e interferencia no lo aclaran, pues las ondas longitudinales también los sufren.

La polarización consiste básicamente en la transformación de una onda luminosa, cuyas vibraciones transversales están bajo todos los ángulos posibles perpendiculares a la dirección de propagación, a otra onda con vibración en un sólo plano, mediante el uso de filtros adecuados. A la luz así obtenida se le llama linealmente polig

rizada y a partir de ella se puede lograr luz elíptica y circularmente polarizada.

Los efectos de la polarización se utilizan no solo en el laboratorio, sino también en la industria y la vida diaria.

a).- Polarización por reflexión.- Cuando la luz natural incide con cierto ángulo sobre una superficie reflejante, el rayo que se refleja está polarizado en un plano; la tangente del ángulo de incidencia (ángulo de Brewster) es igual al índice de refracción del medio (ley de Brewster). En estas condiciones, el rayo reflejado hace un ángulo de 90° con el rayo refractado, debido a lo cual, el ángulo de incidencia i (o θ) y el de refracción r son complementarios; el $\text{sen } r$ en la ley de Snell ($n = \text{sen } i / \text{sen } r$) puede reemplazarse por $\text{cos } \theta$, quedando $n = \text{sen } \theta / \text{cos } \theta$ o bien $n = \text{tan } \theta$, donde n es el índice de refracción y θ el ángulo de Brewster.

b).- Polarización por transmisión.- Si ahora analizamos el rayo refractado, encontraremos que está parcialmente polarizado, y que la polarización es máxima (aunque no total) para el ángulo de Brewster.

c).- Polarización por dicroísmo.- Existen sustancias anisotrópicas como la turmalina y la herapatita, que absorben el rayo ordinario y el extraordinario en proporciones muy diferentes (se dice que polarizan la luz por absorción selectiva). De aquí resulta el dicroísmo, en el cual emerge polarizado uno solo de los rayos, ya sea el ordinario o el extraordinario, debido a que el otro es, casi completamente absorbido.

El dicroísmo constituye una de las maneras más simples y económicas para producir y analizar luz polarizada.

d).- Polarización por doble refracción.- Algunas sustancias cristalinas como la mica, el cuarzo, la calcita, tienen la particularidad de que su índice de refracción es distinto para diferentes planos, ocasionando que un haz luminoso que incida perpendicularmente a su eje óptico sufra una bipartición y se obtengan dos rayos refractados; uno, el ordinario, obedece las leyes de refracción, mientras que el extraordinario tiene un comportamiento anormal.

El cuarzo y la calcita no solamente refractan doblemente la luz, sino que polarizan ambos rayos. El rayo ordinario está polarizado en un plano y el extraordinario lo está en un plano perpendicular al primero. El prisma de Nicol se basa en este fenómeno; toma luz ordinaria y la transmite polarizada.

e).- Polarización por dispersión.- Cuando un haz luminoso atraviesa un medio con partículas en suspensión (polvo, humo, polen, etc) la luz es absorbida y vuelta a radiar, es decir, es dispersada. La luz radiada en esta forma está parcialmente polarizada y la máxima polarización se obtiene en la luz que es radiada perpendicularmente a la luz incidente.

ACTIVIDADES:

-Hacer incidir luz natural en una superficie, analizar la luz reflejada con un polarizador; analizar el rayo refractado.

-Analizar con el filtro polaroid la luz que atraviesa un cristal dicroico e identificar el eje de polarización de dicho filtro.

- Observar la luz que pasa a través de un cristal de calcita e identificar el rayo ordinario y el extraordinario.

-Analizar la luz dispersada por miel de abeja utilizando como fuente luminosa un láser de He-Ne.

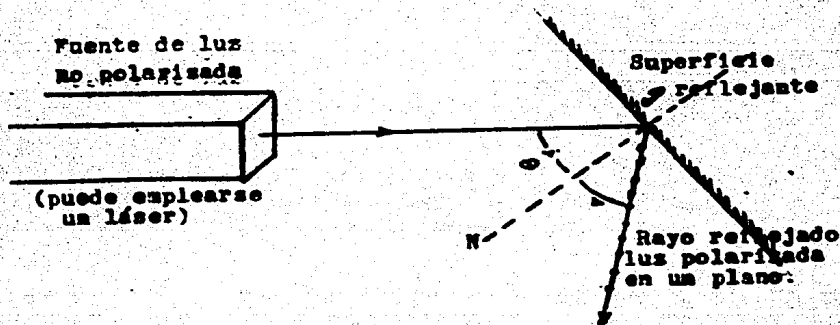
MATERIAL:

- Fuente de luz blanca (lámpara)
- Filtros polaroid
- Soporte para los filtros
- Pantalla
- Luxómetro
- Láser de He-Ne
- Cristal de calcita o cuarzo
- Semicilindro de lucita o espejo
- Transportador
- Regla
- Prisma de nicol
- Papel celofán
- Tubo de ensaye con miel
- Tubo de ensaye con tintura de yodo

EXPERIMENTACIÓN:

a).- Polarización por reflexión.

Montar el aparato descrito a continuación:



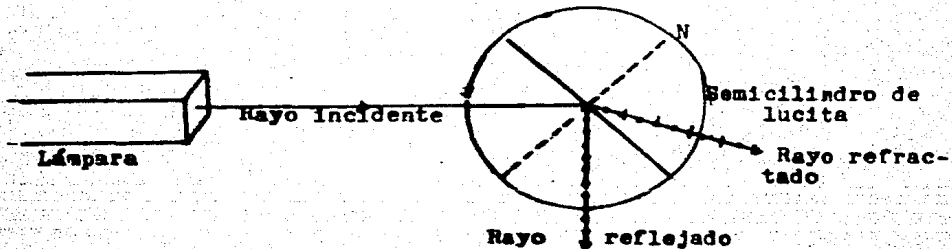
1.- Mida los ángulos de incidencia y reflexión.

2.- Determinase por medio de un filtro si la luz reflejada está o no polarizada. Compare con la luz incidente.

3.- Encuentre el ángulo para el cual es total la polarización del rayo reflejado.

b).- Polarización por transmisión.

Se sustituye en el aparato anterior el espejo por un semicilindro de lucita y se analiza el rayo refractado.

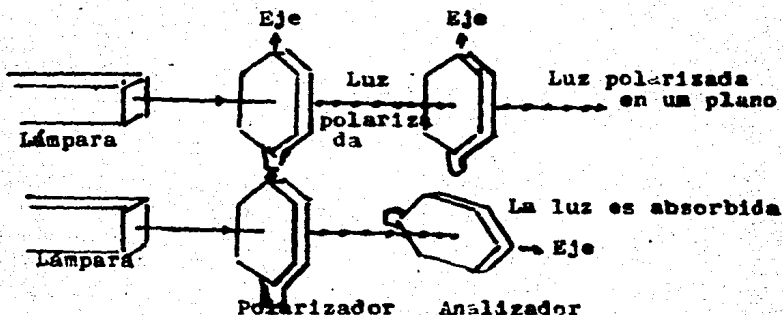


Comprobar que la máxima polarización se obtiene cuando el ángulo de incidencia es igual al de Brewster.

c).- Polarización por difracción.

Los filtros polaroid están contruidos en base a este principio. Explicar detalladamente su construcción.

Compruebe que dos láminas polarizadoras colocadas con sus ejes paralelos, transmiten la luz y cuando se cruzan, con sus ejes perpendiculares, son opacas.



d).- Polarización por doble refracción.

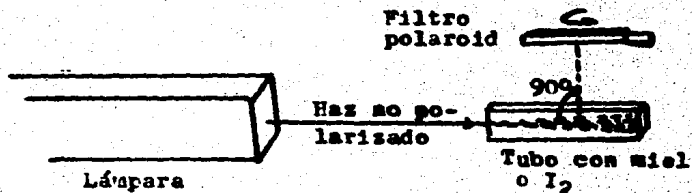
Observar con un analizador la luz que pasa a través de un cristal de calcita. Repetir lo anterior sustituyendo la calcita por un prisma de nicol. Identificar el rayo ordinario y el extraordinario en el cristal de calcita haciéndolo girar.

Analizar entre dos polarizadores cruzados (esto es, a 90° entre sí) un trozo de papel celofán. Anotar las observaciones hechas.

e).- Polarización por dispersión.

Analice la luz del cielo con un filtro polaroid, viendo hacia el cenit.

Monte el aparato descrito a continuación y analice la luz dispersada por el tubo que contiene miel; ésta puede sustituirse por agua a la cual se le ha añadido 2-3 gotas de tintura de yodo.

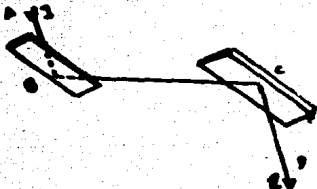


Si utilizó luz monocromática en lugar de luz blanca, recuerde que nunca debe observar directamente el haz luminoso del láser.

Resuma lo observado durante toda la práctica.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿A qué se llama ángulo de polarización?
- 2.- ¿A qué se llama plano de polarización?
- 3.- Se puede obtener luz linealmente polarizada mediante reflexiones sucesivas, según la figura siguiente:



¿Qué condiciones debe reunir el arreglo experimental?

- 4.- ¿Cuáles fueron los valores para los diferentes ángulos pedidos en el inciso a?. Incluya incertidumbres.
- 5.- Haga un diagrama para señalar el plano en que está polarizada la luz transmitida (inciso b).
- 6.- ¿Qué es un polarímetro?
- 7.- ¿Qué observó al analizar la luz dispersada por el tubo con miel?

PRACTICA No. 12
PLACAS RETARDADORAS.

DURACION: 1 H.

OBJETIVO:

Obtener luz elíptica y circularmente polarizada a partir de luz polarizada linealmente.

FUNDAMENTO TEORICO:

Se llama placa retardadora a cualquier lámina hecha de un material birrefringente, con dos planos perpendiculares entre sí, en los cuales la luz viaja a diferente velocidad. Así, un haz de luz linealmente polarizada que incide con su plano de polarización a 45° de ambos planos del cristal puede ser dividido en dos componentes iguales y paralelas a cada plano.

Se puede observar que, al salir de la placa, una de las componentes se ha retrasado respecto a la otra y la luz resultante de ambas, por lo general, no presenta las mismas características de polarización que la luz incidente. En el caso especial de que el espesor de la placa sea tal que el retraso es de $\frac{1}{2}\lambda$, la luz resultante está circularmente polarizada; si el retraso es de $\frac{1}{4}\lambda$, la luz resultante está linealmente polarizada, pero en un plano perpendicular a la luz incidente. Cualquier retraso produce luz elípticamente polarizada, cuyos casos extremos son la lineal y la circular.

ACTIVIDADES:

- Hacer incidir un haz de luz linealmente polarizada con su plano de polarización a 45° de ambos planos del cristal.

- Observar cuándo la luz resulta polarizada elípticamente y cuando lo es circularmente.

MATERIAL:

Placas de material birrefringente (placas retardadoras) de diferentes espesores.

Base para las placas y los polarizadores

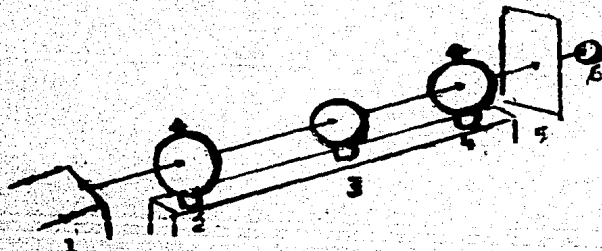
Fuente de luz (lámpara o láser)

Pantalla

Luxómetro

EXPERIMENTACION:

Monte el aparato descrito a continuación:



- 1.- Fuente de luz
- 2.- Polarizador
- 3.- Placa retardadora
- 4.- Analizador
- 5.- Pantalla
- 6.- Luxómetro

- 1.- Haga incidir normalmente el haz de la fuente de luz sobre el polarizador. En este momento no deben estar montadas 3 ni 4.
- 2.- Mida la intensidad de la luz polarizada linealmente.
- 3.- Coloque un analizador con el eje paralelo al del polarizador.
- 4.- Gire el eje del analizador y observe qué sucede con el haz que emerge de él, desde que la diferencia entre los dos ejes sea 0° hasta los 90° .
- 5.- Mida la luz transmitida al principio y al final.

6.- Coloque nuevamente ambos ejes paralelos. Introduzca una placa retardadora y observe los resultados que se obtienen.

7.- Gire el eje del analizador 90° y observe lo que sucede. Mida la intensidad de la luz resultante.

Haga un breve resumen de lo acontecido durante la práctica.

CUESTIONARIO:

a) Explicar detalladamente lo que sucede con las componentes del haz que se propaga en ambos lados del retardador, al pasar la luz por retardadores de $\frac{1}{2}\lambda$ y $\frac{1}{4}\lambda$. ¿Cómo será la luz resultante en el caso de un retardador de $\frac{1}{2}\lambda$ cuando el plano de la luz incidente no está a 45° ?

b) Una placa delgada de material birrefringente funciona como lámina de cuarto de onda para la luz de $750 \text{ m}\mu$ de longitud de onda cuando se interpone en el camino del rayo de luz precisamente detrás de un polarizador lineal, y con su eje óptico a 45° al eje de transmisión del polarizador. Describir el estado de polarización de la luz emergente.

PRACTICA No. 13
ANALISIS FOTOELASTICO

DURACION: 1 H.

OBJETIVO:

Analizar algunos materiales sometidos a esfuerzos mecánicos.

FUNDAMENTO TEORICO:

Como ya se ha dicho, cuando se tienen dos polarizadores cruzados, una fuente luminosa colocada en un extremo no podrá ser vista desde el otro; pero si se coloca un material birrefringente entre ambos polarizadores, el resultado es distinto, ya que se observa luz elípticamente polarizada. Algunas sustancias (vidrio, lucita, celofán) presentan birrefringencia al someterse a esfuerzos como tensiones y compresiones; es precisamente en las zonas afectadas donde se presenta la birrefringencia. Esto nos permite observar la distribución de esfuerzos dentro del material que se analiza.

ACTIVIDADES:

-Colocar algunos materiales sujetos a esfuerzos entre un polarizador y un analizador.

-Observar y describir el fenómeno de birrefringencia.

MATERIAL:

Placas de vidrio, lucita o celofán

Fuente de luz

Filtro polarizador

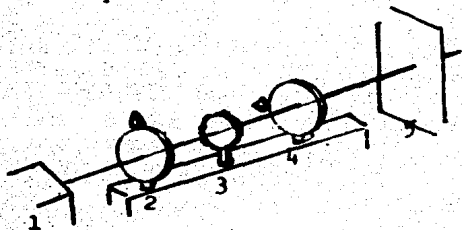
Analizador

Base para los filtros

Pantalla

EXPERIMENTACION:

Montar el aparato:



- 1.- Lámpara
- 2.- Polarizador
- 3.- Celofán
- 4.- Analizador
- 5.- Pantalla

1.- Probar la extinción de luz al cruzar el polarizador con el analizador.

2.- Colocar la placa de material birrefringente y observar los efectos de la luz transmitida en diferentes puntos.

3.- Girar 90° el analizador y observar lo que sucede.

CUESTIONARIO:

Describir el fenómeno y su utilidad.

PRACTICA No. 14

LEY DE MALUS

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Verificar la relación que existe entre intensidad luminosa y el ángulo formado por los ejes de dos polarizadores.

FUNDAMENTO TEORICO:

El hecho de que la luz se pueda polarizar demuestra que está formada por ondas transversales, según lo predice la teoría electromagnética. Para estudiar esta naturaleza transversal, debe encontrarse una forma que permita separar los diferentes planos de vibración de las ondas.

La ley de Malus tiene gran importancia práctica; basándose en ella se puede disminuir, según una proporción conocida, la intensidad luminosa de un haz de luz polarizada en un plano. Presentemente se usan como filtros de intensidad variable para la luz un par de prismas de Nicol o láminas polaroid. Uno de ellos se mantiene fijo mientras el otro se hace girar alrededor del haz luminoso. Se puede variar la intensidad del rayo transmitido por el par entre un máximo y un mínimo. Se dan máximos y mínimos sucesivos cada 90°.

Malus fue el primero que expresó las variaciones de transmisión de un par de polarizadores con el ángulo de rotación. Para polarizadores ideales, la intensidad de la luz transmitida es

$$I_C = I_M \cos^2 \theta$$

donde:

θ = ángulo entre los ejes de polarización de ambos polarizadores

I_m = intensidad máxima de la luz transmitida cuando $\theta=0$ y $\cos\theta=1$.

ACTIVIDADES:

-Hacer atravesar un haz luminoso a través de dos polarizadores.

-Variar el ángulo del analizador con respecto al polarizador.

-Determinar los valores de la luz transmitida y verificar la

ley de Malus.

MATERIAL:

Lámpara (puede usarse el láser)

Filtro polarizador

Filtro analizador

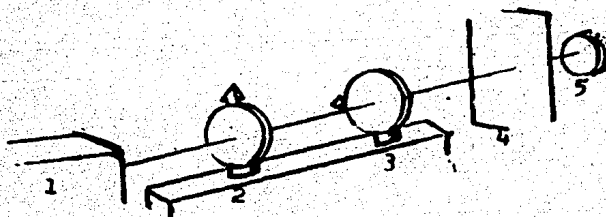
Base para los filtros

Pantalla

Luxómetro

EXPERIMENTACION:

Montar el aparato:



- 1.- Láser
- 2.- Polarizador
- 3.- Analizador
- 4.- Pantalla
- 5.- Luxómetro

- 1.- Verificar que los ejes de ambos filtros estén paralelos.
- 2.- Encender el láser y hacer incidir el haz en forma normal a los dos filtros.
- 3.- Tomar la lectura inicial.
- 4.- Variar de 5 en 5° el ángulo del analizador con respecto al polarizador y medir la luz transmitida en cada caso. Finalizar el experimento cuando la intensidad de la luz transmitida sea cero o un valor muy cercano a él.
- 5.- Tabular los datos obtenidos.
- 6.- Graficar ángulo entre ambos ejes vs intensidad transmitida y $\cos^2\theta$ vs intensidad.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Qué tipo de gráficas obtuvo?
- 2.- ¿A qué ángulos obtuvo las lecturas mínima y máxima respectivamente?
- 3.- ¿Cuál fue la incertidumbre en las medidas?
- 4.- Supongamos que tenemos dos polarizadores ideales. ¿Cuál será la intensidad máxima que se transmita a través de ellos?
- 5.- Un polarizador y un analizador están orientados de modo que se transmita la cantidad máxima de luz. ¿A qué fracción de este valor máximo se reduce la intensidad de la luz transmitida cuando se gira el analizador: a) 30°, b) 45°, c) 60°?

PRACTICA No. 15
ACTIVIDAD OPTICA
SACARIMETRO DE VENTZKE-SCLEIL

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Calcular los efectos de propagación de luz polarizada en sustancias con actividad óptica.

Analizar soluciones de sacarosa, y de ser posible, de fructosa.

FUNDAMENTO TEORICO:

Quando se envía un haz de luz polarizada linealmente a través de ciertos cristales (p.ej. cuarzo cristalino) o líquidos (solución acuosa de sacarosa), se encuentra que la dirección de vibración de la luz polarizada que emerge es diferente a la inicial. Este fenómeno se denomina rotación del plano de polarización y a las sustancias que lo presentan, ópticamente activas. Aquellas que giran el plano de rotación a la derecha, viendo a lo largo del haz que avanza, se les llama dextrógiras y a las que lo giran a la izquierda, levógiras. En cualquier caso se dice que el plano se ha desviado en un ángulo α . Por convención se le atribuye el signo + cuando la sustancia es dextrógira y - cuando es levógira.

A igualdad de las demás condiciones, α depende de la longitud de onda de la luz empleada.

La actividad óptica puede deberse a la presencia de carbonos asimétricos en las moléculas (actividad molecular) o a la estructura cristalina enantiomorfa (actividad cristalina).

El aparato que permite medir el poder rotatorio de las sustan-

cias es el polarímetro. Cuando se le emplea para medir en los azúcares se le denomina sacarámetro. El de Ventzke-Soleil es uno de los más populares. Con él se obtiene rápida y fácilmente la concentración del azúcar en agua.

El análisis polarimétrico es más rápido que el análisis químico y no requiere la destrucción de la sustancia que se examina.

ACTIVIDADES:

-Hacer soluciones con diferentes concentraciones de azúcar.

-Observar el ángulo de giro al colocar esas soluciones en el sacarámetro.

-Determinar si la sustancia es dextrógira o levógira.

MATERIAL:

Sacarosa

Agua destilada

Termómetro

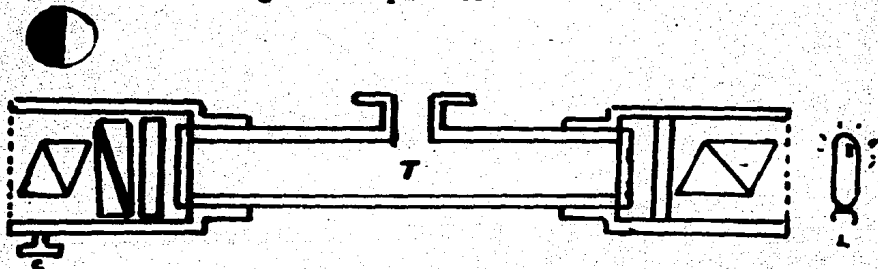
Sacarámetro

Fructosa (optativa)

Jarabe de maíz (optativo).

EXPERIMENTACION:

Se utilizará el siguiente aparato:



1.- Haga soluciones al 1, 5, 10, 20 y 50% de sacarosa en agua destilada.

2.- Determine su temperatura

3.- Llene el tubo T con agua destilada, encienda la lámpara y enfoque hasta que se vean bien las dos mitades del campo.

4.- Iguale las dos mitades y ajuste la escala a cero mediante el tornillo S.

5.- Quite el agua del tubo, enjuague con un poco de la solución más diluida, llene el tubo con ella y colóquelo otra vez en su lugar.

6.- Gire el tornillo compensador hasta obtener igualdad de iluminación en ambos hemisferios.

7.- Tome la lectura y añada el signo + ó - según el plano haya girado a la derecha o a la izquierda.

8.- Vacíe el tubo, llénelo con la siguiente solución y restablezca la igualdad de iluminación. Tome la nueva lectura.

Cada vez que cambie de solución, enjuague con una pequeña porción de la nueva concentración y deseche esa parte.

9.- Repita el proceso para todas las concentraciones.

10.- De ser posible, use fructuosa para hacer una segunda serie de determinaciones.

CUESTIONARIO:

1.- Tabule los datos.

2.- Grafique ángulo de rotación vs concentración. ¿Qué tipo de gráfica obtuvo?.

3.- ¿Cuál fue la incertidumbre en sus medidas?

- 4.- La sustancia analizada, ¿es dextrógira o levógira?
- 5.- ¿Cuáles son las sustancias ópticamente activas?
- 6.- ¿De qué depende el poder rotatorio?

PRACTICA No. 16
POLARIZACION DE UN LASER.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Determinar los efectos de polarización del láser.

FUNDAMENTO TEORICO:

Todo sistema físico está formado por átomos, que energéticamente pueden estar en estado basal (de energía mínima) o excitados (con energía superior a la de su estado basal). Si se encuentran en el primer caso, pueden absorber energía, y si están excitados pueden emitirla, ya sea en forma espontánea o inducida por fotones.

En una fuente convencional de luz, por ejemplo una lámpara de tungsteno, los átomos del filamento se excitan por calentamiento y enseguida pasan a un estado de menor energía emitiendo fotones (luz). Este proceso es desordenado y da lugar a una radiación isotrópica incoherente que posee un espectro continuo de frecuencias.

Otro tipo de fuente luminosa, en este caso monocromática, es el formado por las lámparas de sodio, mercurio, neón, etc., que son frías y están formadas por un tubo donde se encuentran un gas enrarecido y dos electrodos a los que se les aplica un voltaje elevado que provoca una corriente de descarga acompañada de emisión de luz, de color característico según el gas utilizado. La radiación es isotrópica, incoherente, casi monocromática y de mayor intensidad que la anterior. Se dice que su concentración

espectral es mayor.

La concentración espectral de ambas fuentes ocupa una región bastante amplia del espectro electromagnético, lo cual es un in conveniente para muchas aplicaciones que requieren de ondas que pertenezcan a una franja muy estrecha del espectro.

La luz de cualquier fuente convencional es incoherente espacial y temporalmente. Espacial porque las fuentes no son puntuales y los rayos llegan a un punto siguiendo diferentes caminos ópticos; temporalmente incoherente porque la radiación es impura, es decir, policromática. En cualquier caso, las ondas se re fuerzan o cancelan al azar.

La luz espacialmente coherente surge de un punto y es totalmente monocromática. Esto se puede lograr haciendo que una luz convencional pase por un pequeño punto y después por un filtro, pero se desperdicia la mayor parte y el haz coherente que se ob tiene es muy débil. Esta serie de problemas se elimina utilizando el láser (siglas de light amplification by stimulated emission of radiation), que posee cuatro propiedades que lo caracterizan: gran intensidad, monocromaticidad, coherencia espacial y direc tividad o colimación, propiedades que facilitan enormemente la realización de prácticas tradicionalmente muy difíciles de lograr.

Las bases teóricas del láser fueron sentadas por Schawlow y Townes en 1959; en 1960 Maiman creó el láser de rubí. El primer aparato de He-Ne fue construido por Javan, Bennet y Harriot en los Laboratorios de la Bell Telephone también en 1960, con todas las líneas en el infrarrojo. El láser de He-Ne de espectro visi

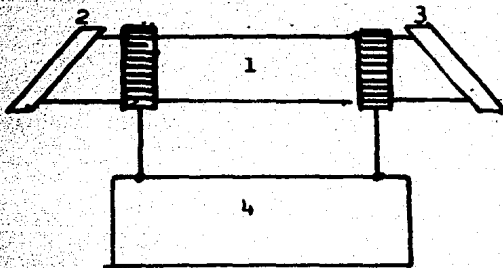
ble fue hecho por White y Ridgen en 1962.

Cualquiera que sea el tipo de láser, es un oscilador óptico que debe poseer:

1.- Un mecanismo que ceda energía a los átomos a fin de excitarlos; ésto puede lograrse por excitación de fotones, comunmente llamado bombeo óptico. Se usa en láseres sólidos y líquidos; por excitación electrónica (descarga eléctrica a través de un gas). Se usa en láseres iónicos como el de argón. Un tercer método es mediante una descarga eléctrica sobre una mezcla de gases en los cuales la energía de excitación es igual o parecida, de modo que los átomos de un gas excitan a los del otro y éstos, al volver a su estado basal, emiten radiación. Es el método usado en el de He-Ne.

2.- Un resonador, generalmente formado por dos espejos colocados frente a frente, donde se confine la radiación, se fije la frecuencia y también la fase de los fotones emitidos a fin de que emerja una onda coherente.

El esquema básico del dispositivo del láser utilizado en el laboratorio es el siguiente:



- 1.-Tubo de descarga con la mezcla de gases
- 2,3.-Espejos reflectores del resonador
- 4.-Fuentes de excitación de la mezcla gaseosa.

El mecanismo de funcionamiento es el siguiente:

El tubo de descarga, cuyo diámetro interior aproximado es de 2 mm, se somete a un intenso vacío (0.01 mm Hg) y se llena con una mezcla de 85% de He y 15% de Ne. Mediante un generador se provoca una descarga de aproximadamente 30 MHz, la cual excita a los átomos de He; dado que las energías de excitación de ambos son parecidas, las colisiones con el He excitan a los átomos de Ne. Se logra así una inversión de población en los átomos de Ne que pueden decaer a estados de menor energía emitiendo radiaciones; para llegar a su estado basal desprenden calor.

La cavidad resonante consiste casi siempre en un espejo plano en la parte de atrás y uno cóncavo en la parte por donde sale el haz, formando lo que se conoce como arreglo semiconfocal; ésto reduce la potencia pero a cambio hace al aparato tan estable que puede soportar los maltratos y vibraciones típicas de un laboratorio escolar. El espejo cóncavo tiene su foco en el espejo plano, por lo que el haz sale divergente. En compensación el espejo de salida tiene una superficie convexa en la parte exterior. Este espejo es un reflector parcial que refleja aproximadamente el 99% de la luz y transmite el 1%. El espejo de la parte posterior refleja el 99.9% y sólo deja pasar el 0.1%. (la eficiencia del láser es de 0.1%), es decir, la energía convertida en radiación coherente es una parte mínima de la energía proporcionada al sistema.

Teóricamente, el haz emergente del láser, al igual que la luz del sol, no debería estar polarizada. Sin embargo, en un lá

ser real se observan efectos de polarización semejantes a los observados en la luz solar.

ACTIVIDADES:

-Utilizar un polarizador, una lente convergente o divergente de pequeño diámetro y un fotómetro para determinar los efectos de polarización del láser.

MATERIAL:

Láser de He-Ne

Polarizador de pequeño diámetro

Lente convergente o divergente de pequeño diámetro

Cinta adhesiva

Fotómetro

Pantalla , cronómetro.

EXPERIMENTACION:

1.- Pegar en la parte delantera del láser un polarizador de muy pequeño diámetro, que cubra poco más del ancho del haz, usando cinta adhesiva para ello.

2.- Coloque enfrente una lente convergente o divergente para expandir el haz, el cual se dirige a una pared o pantalla colocada a 2-3 m de distancia.

3.- Gire lentamente el polarizador y observe la brillantez de la mancha. Gírelo hasta obtener la máxima brillantez.

4.- Coloque el fotómetro enfrente del haz ensanchado y ajústelo a que dé una lectura máxima.

5.- Después de dejar calentar unos minutos al láser, determine el tiempo que tarda en variar la intensidad una cierta can-

tividad.

6.- Tabular los datos obtenidos y graficar tiempo vs intensidad.

CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Qué es fundamentalmente un láser?
- 2.- ¿A qué se llama inversión de población?
- 3.- ¿Cómo se puede obtener una inversión de población?
- 4.- El láser de He-Ne emite luz coherente en el rojo; ¿sabe si además emite otras radiaciones?
- 5.- ¿Encontró dificultades para realizar la práctica?
- 6.- ¿Cuál fue la incertidumbre en sus medidas?
- 7.- ¿Qué tipo de gráfica obtuvo?

PARTE EXPERIMENTAL Y PROPOSICION
DE UN MANUAL.

Cada práctica se realizó varias veces para comprobar su validez. En el manual que se propone a continuación se incluyen los resultados, así como las observaciones que se consideraron importantes

PRACTICA No. 1
UN JUEGO DE DADOS.
MANUAL

Duración: 40 minutos manipulación y 1h 20 min. para graficar resultados.

Objetivo.- Comprobar la validez de un modelo teórico utilizando el método estadístico.

Fundamento teórico.- Históricamente, la noción de probabilidad adquirió una forma precisa en conexión con los juegos de azar, tales como los dados y cartas. La probabilidad tuvo sus comienzos a principios del siglo XVII como resultado de investigaciones de matemáticos como Pascal, Fermat, Bernoulli y Laplace, quienes trataban de encontrar una forma teórica para calcular lo que llamaban las "ventajas justas" en los juegos de azar. De entonces a acá han contribuido a su perfeccionamiento muchos matemáticos y científicos célebres, pero a pesar de su larga y activa historia sólo se axiomatóizó durante la tercera y cuarta década de este siglo. Este desarrollo axiomático, llamado teoría moderna de la probabilidad, precisó los conceptos de la probabilidad y los colocó sobre una sólida base matemática.

La importancia de la probabilidad ha crecido enormemente en los últimos años; hoy aparece junto con su disciplina gemela, la estadística, en casi todos los campos: la física, la química, biología, medicina, sicología, ciencia política, educación, economía, etc.

Los padres de la probabilidad son: Carneades, Girolomo Gurdano, físico y astrónomo (1501-1576) y Sir Ronald Alymer Fisher, especialista inglés en genética (1620-1692).

Se dice que probabilidad es el estudio de experimentos aleatorios o libres de determinación. Si un dado es lanzado al aire, hay certeza que caerá, pero no es cierto afirmar que aparecerá un seis. Sin embargo, supongamos que repitiendo el experimento de lanzar el dado, sea "s" el número de aciertos, esto es, el número de veces que un seis aparece, y sea "n" el número de jugadas. Se sabe entonces que la relación empírica $f = s/n$, llamada frecuencia relativa, tiende a estabilizarse a la larga, o sea que se aproxima a un límite. Esta estabilidad es la base de la teoría de la probabilidad.

En la teoría de la probabilidad, definimos un modelo matemático de los fenómenos anteriores asignando "probabilidades" (valores límite de las frecuencias relativas) a los eventos asociados con un experimento. Esto da origen entonces a los problemas de verificación y confiabilidad que constituyen el tema principal de la estadística.

La probabilidad p de un evento A se definió como sigue:

Si A puede ocurrir de s maneras entre un total de n igualmente posibles, entonces:

$$p = P(A) = s/n$$

Se supone que en ciertos eventos hay un número "ideal" al que nos acercamos al calcular la frecuencia relativa de un evento A . Este número ideal se llama probabilidad matemática de A .

Se llama probabilidad matemática al cociente de dividir el número de casos en que puede resultar un evento entre el número de casos posibles.

La probabilidad teórica de un evento, cuando todos los elementos del espacio tienen igual probabilidad de ocurrir, se calcula:

$$P(E) = \frac{\text{número de muestras del evento}}{\text{número de muestras del espacio}} = \frac{n(E)}{n(S)}$$

mientras que la probabilidad frecuencial que se estima al realizar un experimento aleatorio un gran número de veces, se obtiene con la fórmula:

$$P(E) = \frac{\text{número de éxitos o frecuencias}}{\text{número de experimentos}} = \frac{f}{n}$$

Con la ayuda del concepto de probabilidad ha sido posible desarrollar una extensa teoría matemática, que expresa las probabilidades de acontecimientos más simples. Esta teoría ha demostrado su utilidad en muchos campos donde existen objetos o acontecimientos dependientes de las contingencias del azar que surgen fuera del contexto bajo consideración. Sin embargo, en las aplicaciones de esta teoría debe recordarse que las leyes causales, junto con las leyes del azar, son las que producen el desarrollo real de las cosas, de tal manera que cualquiera de ellas es, por sí sola, a lo sumo una representación parcial y aproximada de la realidad, que ulteriormente deberá ser corregida con ayuda de la otra.

Para el caso que nos ocupa, un juego de dados, tendremos que: cada uno de sus seis lados tiene la misma probabilidad de quedar en la cara superior y teóricamente las caras superiores de los dados arrojados quedarán repartidas en partes iguales para los seis números, esto es, tendremos 1/6 de dados con el número 1 en su cara superior, 1/6 con el número 2, etc., de manera que si retiramos los de un cierto número escogido previamente por nosotros, para la siguiente tirada quedarán únicamente 5/6 de los dados iniciales. Si llamamos N_0 al número inicial de dados y N_1 al número de dados "vivos" resultantes de la primera tirada, tendremos entonces que,

teóricamente, $N_1 = 5/6 N_0$. En las jugadas subsiguientes teóricamente debe repetirse el proceso, de modo que $N_2 = 5/6 N_1$; $N_3 = 5/6 N_2$; ...; $N_n = 5/6 N_{n-1}$. Haciendo sustituciones sucesivas, en la cuarta tirada, por ejemplo, resultará así:

$$N_4 = 5/6 N_3 = 5/6(5/6 N_2) = 5/6(5/6(5/6 N_1)) = 5/6(5/6(5/6(5/6 N_0))).$$

De aquí podemos concluir para la tirada n :

$$N_n = (5/6)^n N_0$$

Intentaremos comprobar este modelo teórico.

Material:

100 dados

Papel semilog

Actividades:

Tomar 100 dados; elegir un número del 1 al 6; hacer doce tiradas retirando en cada caso los dados que hayan salido con el número elegido. A éstos les llamaremos "dados muertos"; los restantes serán los "dados vivos"; contar los dados vivos después de cada tirada; calcular los valores promedio, comparar con los resultados teóricos y graficar ambos.

Experimentación:

- 1.- Realizar varias veces el juego de doce tiradas, utilizando en cada ocasión un sólo número (número fatídico).
- 2.- Anotar en cada ocasión el número de dados vivos.
- 3.- Con los datos de todos los juegos, calcular los valores promedio correspondientes a cada jugada o tirada.
- 4.- Compárense estos valores con los resultados teóricos obtenidos mediante la ecuación que representa al modelo propuesto.

Se repitió cinco veces el juego para cada número. Los resultados:

Número fatídico: 1

Tirada	Resultados	\bar{N}_{exp}	$\bar{N}_{teór}$	D_s
N_0	100	100	100	
N_1	70, 72, 79, 82, 84	77	83	
N_2	62, 62, 68, 68, 74	67	69	
N_3	53, 54, 61, 59, 60	57	57	
N_4	44, 42, 49, 48, 51	47	48	
N_5	35, 36, 45, 43, 43	40	40	
N_6	28, 30, 37, 38, 34	33	33	
N_7	24, 25, 31, 34, 27	28	28	
N_8	20, 23, 30, 30, 24	25	23	
N_9	15, 18, 27, 26, 20	21	19	
N_{10}	12, 18, 24, 22, 16	18	16	
N_{11}	12, 16, 22, 20, 13	16	13	
N_{12}	10, 14, 16, 14, 9	12	11	

Número fatídico: 2.

N_0	100	100	100
N_1	69, 88, 80, 81, 87	81	83
N_2	57, 76, 79, 68, 70	70	69
N_3	49, 63, 59, 59, 66	59	57
N_4	42, 48, 46, 49, 55	48	48
N_5	36, 37, 34, 45, 42	39	40
N_6	34, 32, 30, 41, 36	34	33
N_7	27, 27, 27, 37, 31	30	28
N_8	26, 21, 25, 33, 26	26	23

Tirada	Resultados	\bar{N}_{exp}	$\bar{N}_{teór}$	D_s
N_9	23, 17, 21, 31, 24	23	19	
N_{10}	18, 16, 18, 27, 16	19	16	
N_{11}	14, 12, 17, 24, 14	17	13	
N_{12}	12, 9, 11, 21, 13	15	11	

Número fatídico: 3

N_0	100	100	100
N_1	75, 87, 89, 84, 86	84	83
N_2	68, 71, 75, 71, 68	70	69
N_3	59, 68, 64, 55, 58	61	57
N_4	48, 53, 60, 51, 49	52	48
N_5	39, 47, 51, 49, 40	45	40
N_6	33, 40, 39, 41, 34	37	33
N_7	29, 36, 31, 37, 27	32	28
N_8	23, 28, 26, 27, 23	27	23
N_9	17, 26, 25, 23, 19	22	19
N_{10}	17, 22, 18, 23, 14	19	16
N_{11}	14, 20, 15, 22, 9	16	13
N_{12}	12, 18, 12, 20, 9	14	11

Número fatídico: 4.

N_0	100	100	100
N_1	80, 87, 90, 77, 82	83	83
N_2	64, 76, 76, 63, 67	69	69

Tirada	Resultados	\bar{N}_{exp}	\bar{N}_{teor}	D_s
N ₃	58, 64, 65, 56, 56	60	57	
N ₄	44, 56, 51, 49, 38	48	48	
N ₅	37, 47, 38, 45, 33	40	40	
N ₆	35, 40, 27, 40, 29	34	33	
N ₇	33, 32, 22, 33, 23	28	28	
N ₈	28, 27, 21, 27, 21	25	23	
N ₉	27, 23, 21, 23, 18	22	19	
N ₁₀	23, 18, 13, 22, 14	18	16	
N ₁₁	19, 16, 9, 18, 10	14	13	
N ₁₂	13, 14, 9, 14, 9	12	11	

Número fatídico: 5

N ₀	100	100	100
N ₁	72, 85, 80, 79, 82	80	83
N ₂	62, 77, 72, 68, 68	69	69
N ₃	50, 64, 62, 63, 55	59	57
N ₄	38, 52, 50, 50, 48	48	48
N ₅	29, 42, 38, 46, 40	39	40
N ₆	23, 33, 29, 38, 35	31	33
N ₇	22, 28, 23, 30, 30	27	28
N ₈	19, 21, 22, 28, 27	23	23
N ₉	13, 17, 19, 24, 22	19	19
N ₁₀	12, 15, 13, 20, 19	16	16
N ₁₁	11, 14, 12, 17, 13	13	13
N ₁₂	6, 13, 11, 16, 13	12	11

Número fatídico: 6

Tirada	Resultados	$\bar{N}_{exp.}$	$\bar{N}_{teór.}$	D_s
N_0	100	100	100	
N_1	80, 84, 78, 82, 82	81	83	
N_2	65, 71, 67, 69, 68	64	69	
N_3	55, 60, 57, 57, 56	57	57	
N_4	49, 50, 44, 47, 49	48	48	
N_5	39, 44, 37, 39, 40	40	40	
N_6	32, 38, 30, 32, 34	33	33	
N_7	27, 27, 27, 27, 33	28	28	
N_8	21, 23, 22, 18, 27	22	23	
N_9	17, 18, 17, 15, 24	18	19	
N_{10}	14, 15, 14, 14, 16	15	16	
N_{11}	12, 12, 10, 13, 13	12	13	
N_{12}	9, 9, 8, 11, 9	9	11	

Los resultados anteriores se pueden condensar en esta tabla:

N_0	100	100	100
N_1	77, 81, 84, 83, 80, 81	80	83
N_2	67, 70, 70, 69, 69, 64	68	69
N_3	57, 59, 61, 60, 59, 57	59	57
N_4	47, 48, 52, 48, 48, 48	48	48
N_5	40, 39, 45, 40, 39, 40	40	40
N_6	33, 34, 37, 34, 31, 33	34	33
N_7	28, 30, 32, 28, 27, 28	29	28
N_8	25, 26, 27, 25, 23, 22	24	23
N_9	21, 23, 22, 22, 19, 18	20	19
N_{10}	18, 19, 19, 18, 16, 15	18	16

Tirada	Resultados	\bar{N}_{exp}	$\bar{N}_{teór}$	D_s
N_{11}	16, 17, 16, 14, 13, 12	15	13	
N_{12}	12, 15, 14, 12, 12, 9	12	11	

Las gráficas correspondientes son la 1 a la 7.

Questionario:

1.- ¿Existe concordancia entre la teoría y la práctica?

Sí.

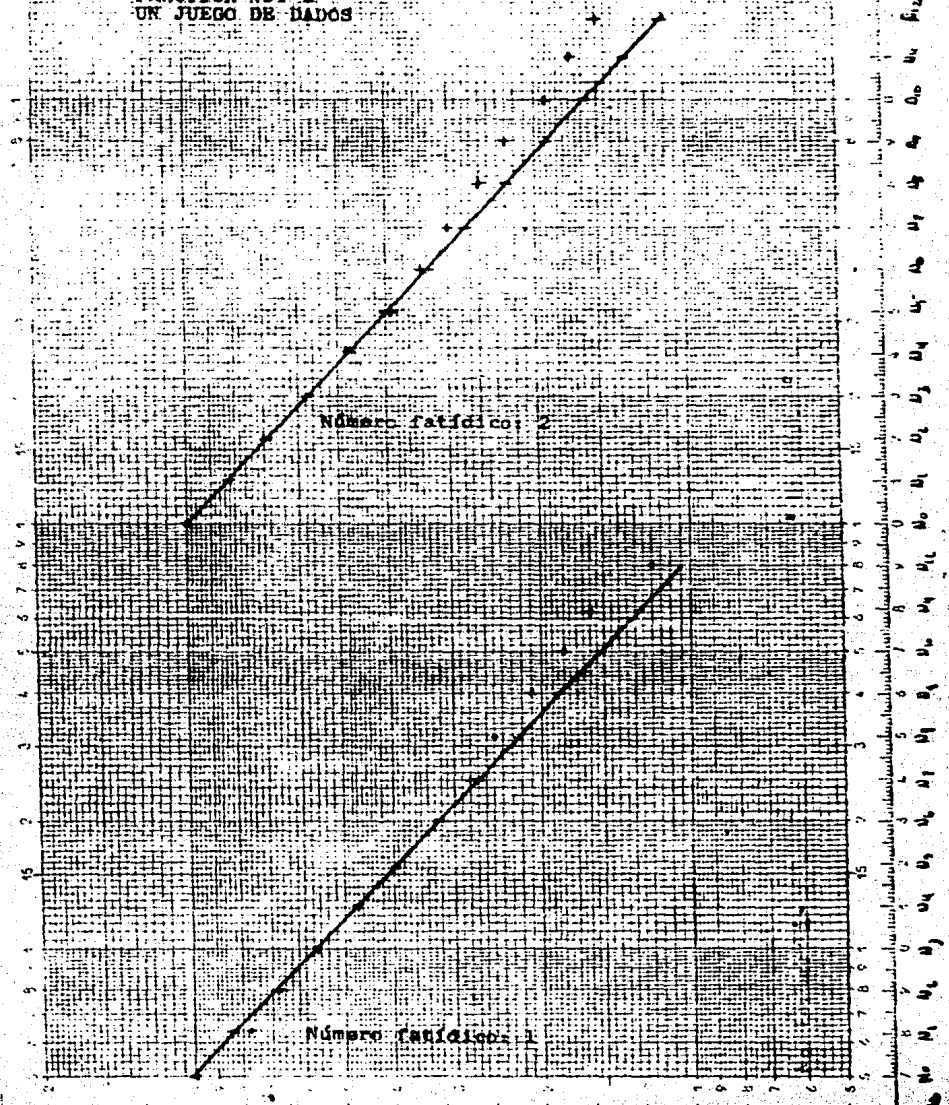
2.- ¿Qué sucederá si tomamos un número mayor de datos o un número mayor de juegos para determinar nuestro resultado experimental?

En cualquier caso los resultados prácticos se acercarán más a los teóricos.

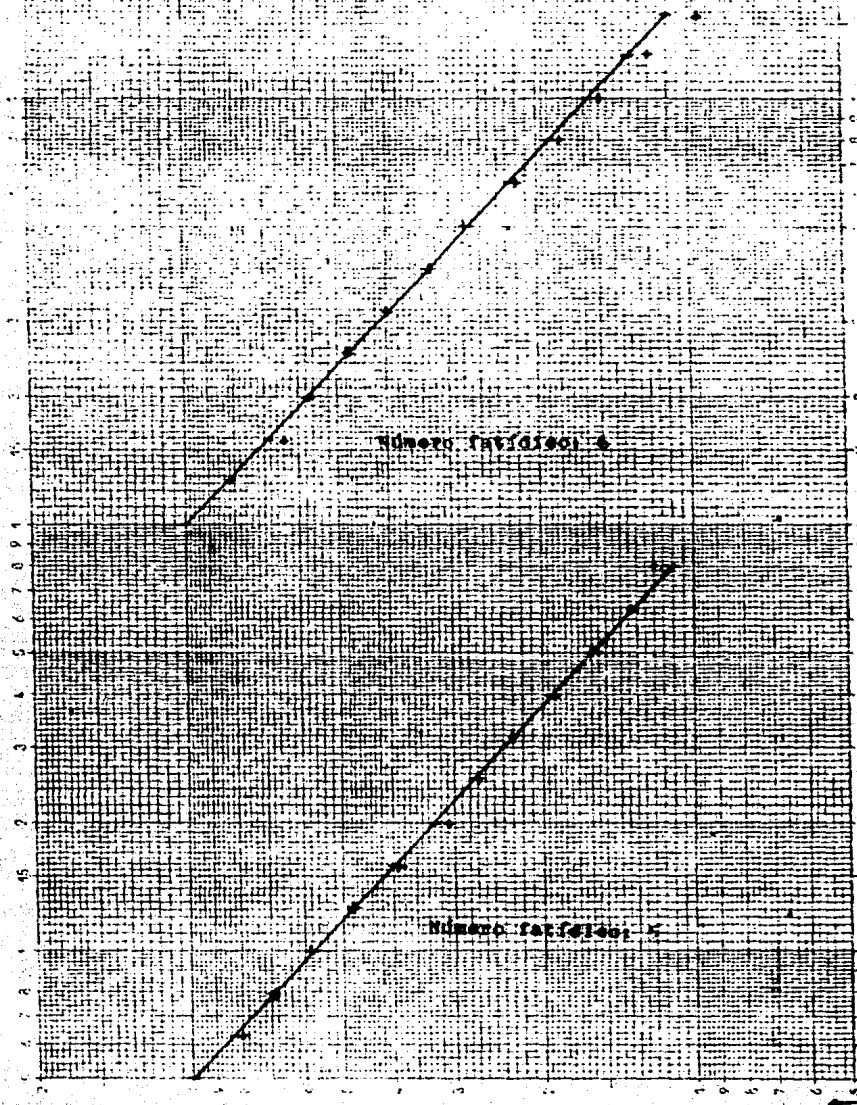
¿Por qué?

Porque tienden a un límite, que es el marcado por el resultado teórico.

MANUAL
PRACTICA No. 1
UN JUEGO DE DADOS



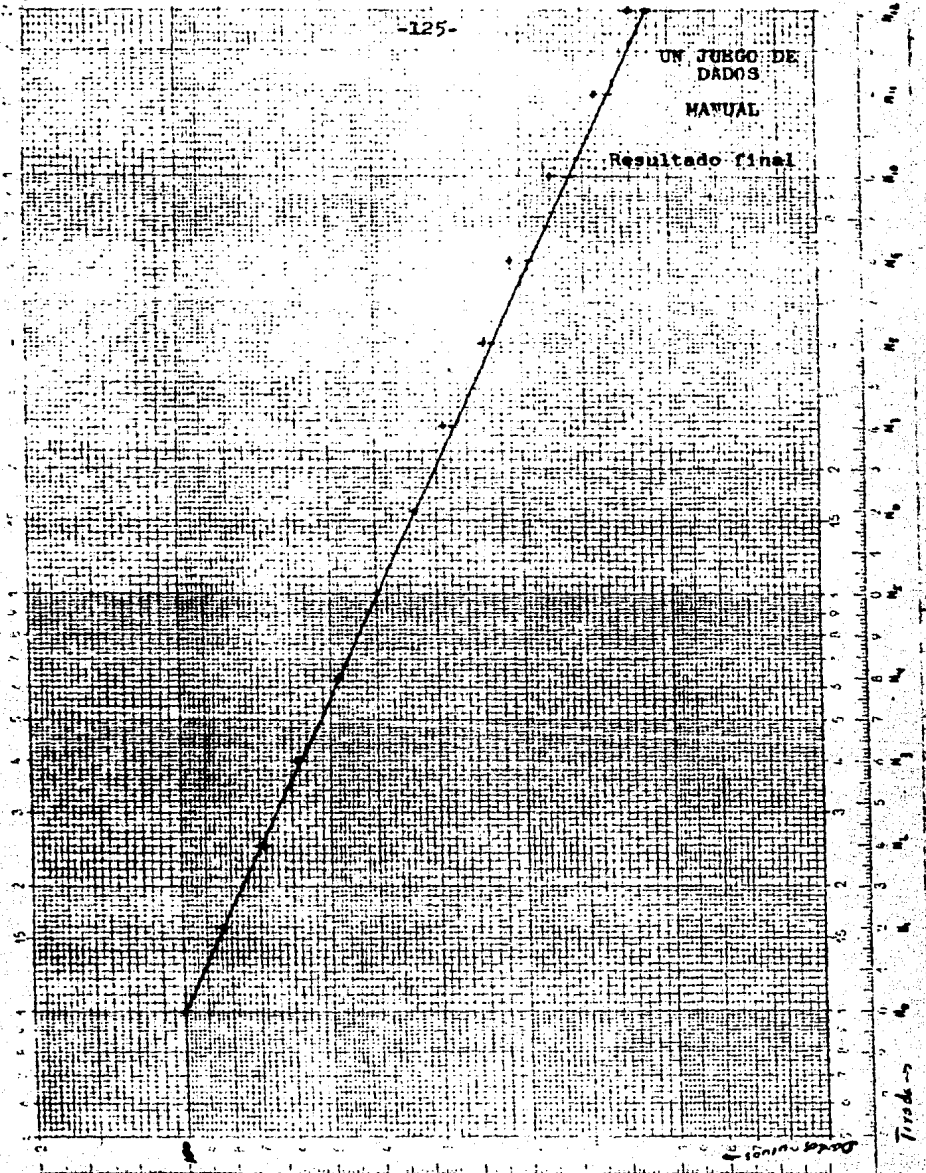
Un juego de dados Manual



10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 0
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200
 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300
 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400
 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500
 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600
 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700
 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800
 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900
 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000
 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100
 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200
 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300
 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400
 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500
 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600
 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700
 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800
 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900
 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000
 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100
 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200
 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300
 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400
 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 245

UN JUEGO DE
DADOS
MANUAL

Resultado final



© 1980

Tiempo

PRACTICA No. 2.

MANUAL

UN METODO PARA CALCULAR INCERTIDUMBRES.

Duración: 1:30 Hs.

Objetivo: Proporcionar al alumno una herramienta para verificar la precisión de sus experimentos, mostrándole la forma de calcular incertidumbres por un método diferencial.

Fundamento teórico: Hemos visto que un problema importante relacionado con el trabajo experimental es el de asociar una incertidumbre a cada resultado obtenido. Sabemos que en el caso de una observación directa (medición con una regla, cronómetro, etc.) esto es relativamente fácil y depende de la precisión del instrumento, considerándose generalmente como incertidumbre la mitad de la escala mínima del instrumento con que estemos trabajando. En el caso de una variable o la función de una variable, es sencillo asociar una incertidumbre, pero cuando se trata de varias variables, a partir de las cuales vamos a calcular indirectamente la magnitud de una cantidad física, el problema se complica y en estos casos es preferible emplear el método diferencial aquí descrito.

Supongamos que, mediante un cierto experimento, vamos a determinar la fuerza gravitacional entre dos cuerpos. La ecuación que nos proporciona la fuerza es la ley universal de gravitación de Newton:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

donde m_1 y m_2 son las masas de los cuerpos, r es la distancia que separa sus centros de masa y G es una constante universal (constante de gravitación). Así, F es una variable dependiente de tres va-

riables independientes. Matemáticamente:

$$F(m_1, m_2, r)$$

En este caso consideramos que la incertidumbre en F depende de las incertidumbres en m_1 , m_2 y r (Despreciamos la incertidumbre en G por ser demasiado pequeña). Así, tenemos que llamando δF a la incertidumbre en F y δm_1 , δm_2 , δr a las incertidumbres en las variables independientes, entonces:

$$\delta F = f(\delta m_1, \delta m_2, \delta r)$$

" F es función de las otras tres".

Si recordamos que el proceso para obtener una variación (concepto matemático que podemos asociar a una incertidumbre experimental) es semejante al que empleamos para obtener una diferencial total, tenemos, en el ejemplo citado:

$$\begin{aligned}\delta F &= \frac{\partial F}{\partial m_1} \delta m_1 + \frac{\partial F}{\partial m_2} \delta m_2 + \frac{\partial F}{\partial r} \delta r \\ &= G \frac{m_2}{r^2} \delta m_1 + G \frac{m_1}{r^2} \delta m_2 + (-) G \frac{m_1 m_2}{r^3} \delta r \\ dF &= \frac{\partial F}{\partial m_1} dm_1 + \frac{\partial F}{\partial m_2} dm_2 + \frac{\partial F}{\partial r} dr = \dots\end{aligned}$$

Ahora bien, el signo negativo del tercer término puede conducirnos a un resultado ilógico, ya sea anulando o disminuyendo a los dos primeros. No es lógico que una incertidumbre anule o disminuya a las otras. Lo que debemos suponer es que la incertidumbre en cada variable independiente contribuya, aunque con un peso diferente en el mismo sentido a la determinación de la incertidumbre de la variable dependiente; en este caso, la fuerza gravitacional entre dos cuerpos. Por lo tanto, y a fin de evitar la introducción de signos negativos en nuestro resultado final, se deben tomar los va

lores absolutos de las derivadas parciales. Nuestra ecuación quedaría entonces:

$$\begin{aligned}\delta F &= \left| \frac{\partial F}{\partial m_1} \right| \delta m_1 + \left| \frac{\partial F}{\partial m_2} \right| \delta m_2 + \left| \frac{\partial F}{\partial r} \right| \delta r \\ &= \left| G \frac{m_1 m_2}{r^2} \right| \delta m_1 + \left| G \frac{m_1 m_2}{r^2} \right| \delta m_2 + \left| G \frac{m_1 m_2}{r^3} \right| \delta r\end{aligned}$$

En general, tenemos que, para una función de n variables

$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$:

$$\delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x_1} \right| \delta x_1 + \left| \frac{\partial F}{\partial x_2} \right| \delta x_2 + \left| \frac{\partial F}{\partial x_3} \right| \delta x_3 + \dots + \left| \frac{\partial F}{\partial x_n} \right| \delta x_n$$

MATERIAL:

Papel y lápiz.

ACTIVIDADES:

Aplicar el método antes descrito para resolver algunos problemas.

EXPERIMENTACION:

1.- Supongamos que, en el caso hipotético mencionado en la parte teórica, tenemos los siguientes valores:

$$m_1 = 20 \text{ Kg}; \quad m_2 = 100 \text{ Kg}; \quad r = 60.5 \text{ cm}$$

$$\delta m_1 = 0.2 \text{ Kg}; \quad \delta m_2 = 0.2 \text{ Kg}; \quad \delta r = 0.5 \text{ cm.}$$

¿cuál es el valor de nuestros resultados? (Recordemos que se debe expresar como $F \pm \delta F$).

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ dinas cm}^2/\text{g}^2$$

$$m_1 = 20 \text{ Kg} = 2 \times 10^4 \text{ g}; \quad m_2 = 100 \text{ Kg} = 10^5 \text{ g}$$

$$r = 60.5 \text{ cm}; \quad r^2 = 366025 = 3.6 \times 10^5 \text{ cm}^2$$

$$F = 6.67 \times 10^{-8} \left(\frac{2 \times 10^4 \times 10^5}{3.6 \times 10^3} \right) \text{ dinas} = \frac{6.67 \times 2 \times 10^{-2}}{3.6} = 0.1334 / 3.6 = 0.0364 \text{ dinas}$$

Determinación de la incertidumbre:

$$F = G \left\{ \frac{m_2}{r^2} \right\} \delta m_1 + G \left\{ \frac{m_1}{r^2} \right\} \delta m_2 + G \left\{ \frac{m_1 m_2}{r^3} \right\} \delta r$$

$$G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ dinas}$$

$$m_1 = 20 \text{ Kg} = 2 \times 10^4 \text{ g}; \quad \delta m_1 = 0.2 \text{ Kg} = 2 \times 10^2 \text{ g}$$

$$m_2 = 100 \text{ kg} = 10^5 \text{ g}; \quad \delta m_2 = 0.2 \text{ Kg} = 2 \times 10^2 \text{ g}$$

$$r^2 = 3660.25 \text{ cm}^2 = 3.6 \times 10^3; \quad r^3 = 221445.125 = 2.2 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

$$\delta r = 0.5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-1} \text{ cm}$$

$$F = 6.67 \times 10^{-8} \left(\frac{10^5}{3.6 \times 10^3} \right) 2 \times 10^2 + 6.67 \times 10^{-8} \left(\frac{2 \times 10^4}{3.6 \times 10^3} \right) 2 \times 10^2$$

$$+ 6.67 \times 10^{-8} \left(\frac{2 \times 10^4 \times 10^5}{2.2 \times 10^5} \right) 5 \times 10^{-1}$$

$$= \left(\frac{6.67 \times 10^{-4}}{3.6} \right) 2 + \left(\frac{6.67 \times 2 \times 10^{-5}}{3.6} \right) 2 + \left(\frac{6.67 \times 2 \times 2 \times 10^{-5}}{2.2} \right) 5$$

$$= 0.37 \times 10^{-5} + 7.41 \times 10^{-5} + 30.3 \times 10^{-5} = 38.08 \times 10^{-5} \text{ dinas}$$

$$F = \pm 0.00038 \text{ dinas}$$

$$\underline{F \pm \delta F = 3.64 \times 10^{-2} \pm 3.8 \times 10^{-4} \text{ dinas}}$$

2.- En el experimento de Young, tenemos que, para ángulos pequeños, es válida la ecuación

$$\lambda = \frac{x d}{n L}$$

donde:

d = distancia entre dos rendijas de difracción sucesivas

x = distancia entre dos máximos cualesquiera
n = número entero determinado por el número de máximos de intensidad existentes entre los dos considerados

L = distancia entre la rejilla de difracción y la pantalla.

Si tenemos los siguientes valores:

$$x = 10 \pm 0.05 \text{ cm} ; \quad \delta x = 0.1 \text{ cm}$$

$$d = (20 \pm 0.02) 10^{-3} \text{ cm} ; \quad \delta d = 0.0004 \text{ cm}$$

$$n = 2$$

$$L = 5.0 \pm 0.05 \text{ m} ; \quad \delta L = 10 \text{ cm}$$

¿Cuál será el valor de longitud de onda que obtendremos?

$$\lambda = \frac{x d}{n L}$$

$$\begin{aligned} \delta \lambda &= \left| \frac{\partial \lambda}{\partial x} \right| \delta x + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial d} \right| \delta d + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial L} \right| \delta L \\ &= \left| \frac{d}{n L} \right| \delta x + \left| \frac{x}{n L} \right| \delta d + \left| \frac{x d}{n L^2} \right| \delta L \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{x d}{n L} = \frac{10 \times 0.020}{2 \times 500} = 0.0002 = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \delta \lambda &= \left| \frac{0.020}{2 \times 500} \right| 0.1 + \left| \frac{10}{2 \times 500} \right| 0.0004 + \left| \frac{10 \times 0.020}{2 \times (500)^2} \right| 10 \\ &= 0.000002 + 0.000004 + 0.000004 = \pm 0.00001 = \pm 1 \times 10^{-5} \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\therefore \underline{\lambda \pm \delta \lambda} = (2 \times 10^{-4}) \pm (1 \times 10^{-5}) \text{ cm.}$$

OSCILADOR ARMONICO SIMPLE.

MANUAL.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Analizar empíricamente el comportamiento de un arreglo experimental formado por un cuerpo que oscila suspendido de un resorte, a fin de encontrar la relación entre las variables del sistema.

FUNDAMENTO TEORICO:

A fin de entender algunos fenómenos ondulatorios tales como el sonido, la luz, la TV, etc., es indispensable estudiar el movimiento de tipo oscilatorio llamado armónico simple, porque éste los explica de un modo sencillo y convincente.

El movimiento armónico simple es un movimiento periódico, ó sea, que se repite a intervalos regulares de tiempo. Para describir una vibración periódica se usan tres términos importantes: Período o tiempo requerido para efectuar un movimiento de vaivén; frecuencia o número de vibraciones completas (ciclos) por unidad de tiempo y amplitud o desplazamiento máximo del cuerpo que vibra, medido desde el punto central.

Para que un cuerpo vibre debe:

- a).- Tener inercia para seguir moviéndose más allá de su trayectoria.
- b).- Haber una fuerza elástica restauradora para acelerar al cuerpo hacia el centro.
- c).- Existir poca fricción que se oponga al movimiento.

Hay un teorema matemático, conocido como Teorema de Fourier, que expresa lo siguiente:

"Cualquier movimiento periódico se puede considerar como la superposición o suma de un grupo de movimientos armónicos simples que pueden diferir en amplitud, frecuencia y fase".

En el movimiento armónico simple, la fuerza restauradora que obra sobre el cuerpo que vibra es proporcional a su desplazamiento (obedece la ley de Hooke). El ejemplo más sencillo lo constituye una masa unida a un resorte que se estira y se hace vibrar.

El período de un vibrador armónico depende de:

a).- La rigidez del resorte que hace que el cuerpo regrese a su posición de equilibrio. La rigidez se expresa mediante la constante K , que es la fuerza restauradora por unidad de desplazamiento.

b).- La masa del vibrador.

El período es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la constante del resorte y directamente proporcional a la raíz cuadrada de la masa del vibrador:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{masa}}{\text{cte. resorte}}} = 2\pi \sqrt{m/k}$$

Es, además, independiente de la amplitud del movimiento. Un sistema que obedece la ley de Hooke tiene movimiento armónico simple.

En esta práctica tendremos como variables independientes: la masa, la constante del resorte y la amplitud. La variable dependiente será el período.

Actividades:

-Medir períodos de oscilación de un resorte usando diferentes masas, regla y cronómetro.

-Medir períodos de oscilación de varios resortes usando una masa constante, regla y cronómetro.

- Elaborar dos tablas de datos: variación de período vs masa y variación de período vs constante del resorte.

- Graficar los datos. En caso necesario hacer un cambio de variable y volver a graficar.

MATERIAL:

Soporte para resortes

Resortes calibrados

Pesas de 100 g, 200 g, 500g y 1 Kg.

Regla

Cronómetro.

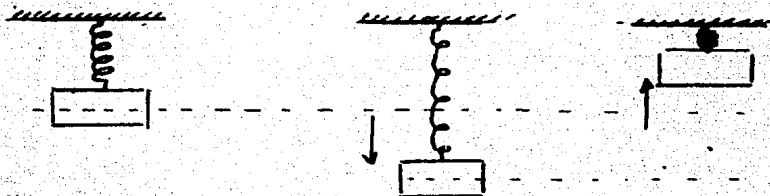
PARTE A

EXPERIMENTACION:

1.- Coloque un resorte en el soporte. En esta parte no importa la calibración.

2.- Adapte al final de él una masa inicial de 100 g.

3.- Desplace el resorte verticalmente, cuidando siempre de dar la misma amplitud y de que el resorte no tenga movimiento lateral. Observe el dibujo:



Mida por lo menos tres veces el período de oscilación y promedie los resultados.

Repita el proceso hasta tener un mínimo de 8 datos, variando la masa de 100 en 100g.

Tabule los datos obtenidos. Unos datos representativos serian:

Resorte No.	1	2	3	6	7	10	11	12
Ampl. osc. (cm ± 1.0)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

Período (seg ± 0.025)

Masa (g)

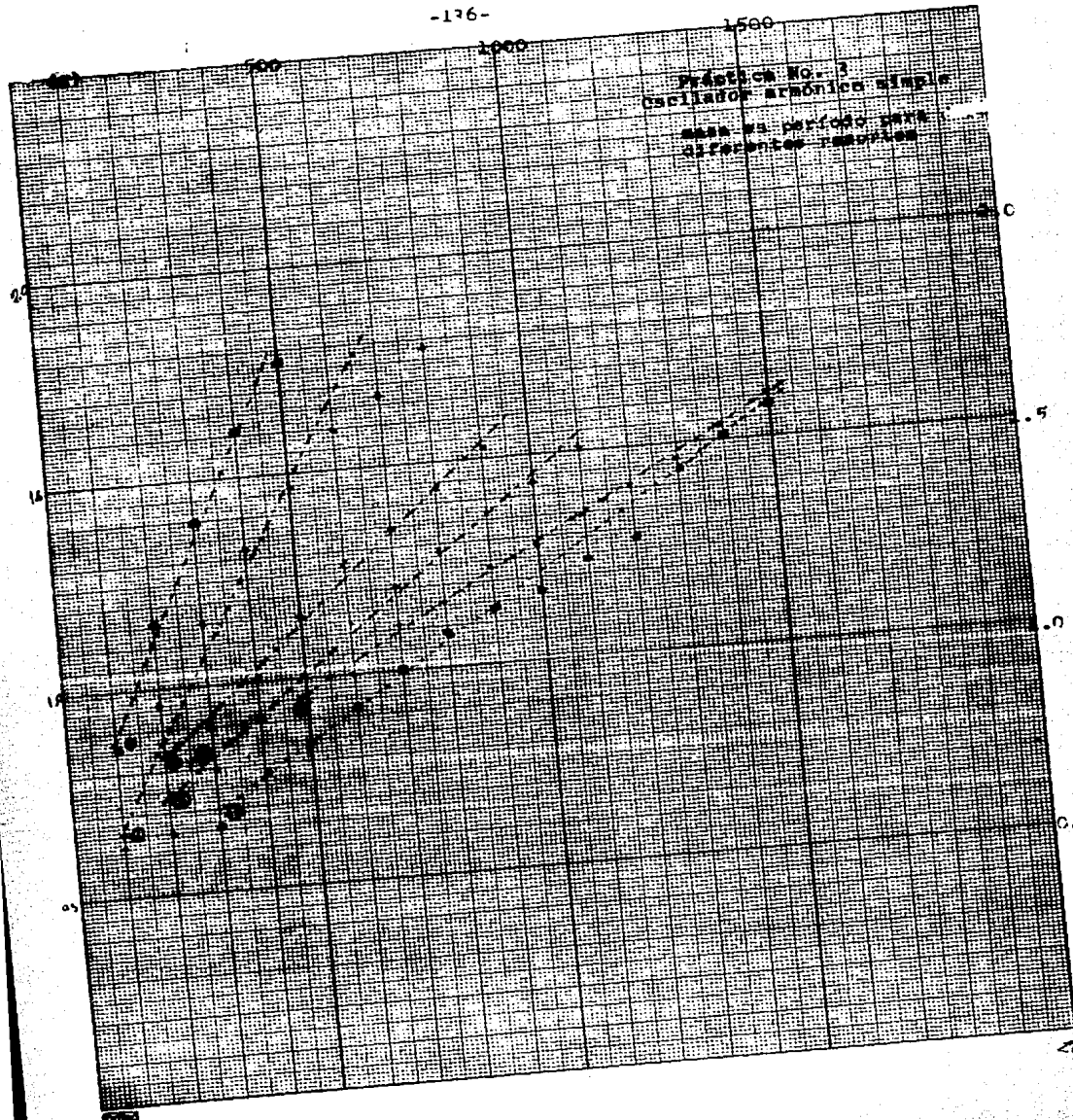
100	0.86	0.65	0.575	0.85	---	---	---	---
	0.86	0.66	0.65	0.64	---	---	---	---
	0.86	0.65	0.62	0.65	---	---	---	---
Promedio	0.86	0.655	0.62	0.72	---	---	---	---
200	1.15	0.96	0.85	0.76	0.65	---	---	---
	1.17	0.955	0.85	0.75	0.65	---	---	---
	1.165	0.96	0.85	0.75	0.65	---	---	---
Promedio	1.164	0.958	0.85	0.752	0.65	---	---	---
300	1.39	1.15	0.90	0.87	0.78	0.66	---	---
	1.40	1.15	0.90	0.93	0.80	0.66	---	---
	1.41	1.15	0.95	0.92	0.82	0.66	---	---
Promedio	1.40	1.15	0.92	0.907	0.80	0.66	---	---
400	1.605	1.325	1.04	1.04	0.92	0.80	---	---
	1.625	1.32	1.04	1.03	0.925	0.785	---	---
	1.61	1.325	1.04	1.03	0.90	0.77	---	---
Promedio	1.613	1.323	1.04	1.033	0.915	0.783	---	---
500	1.775	1.465	1.145	1.15	1.02	0.835	0.84	0.92
	1.785	1.465	1.155	1.16	1.025	0.85	0.82	0.93
	1.775	1.46	1.15	1.15	1.104	0.85	0.86	0.925
Promedio	1.778	1.463	1.15	1.153	1.049	0.845	0.84	0.925
600	---	1.595	1.280	1.25	1.13	0.89	1.01	0.98
	---	1.60	1.27	1.26	1.12	0.94	1.01	0.98
	---	1.60	1.27	1.26	1.125	0.94	1.007	0.98
Promedio	---	1.598	1.273	1.256	1.125	0.923	1.009	0.98
700	---	1.675	1.315	1.35	1.205	1.02	1.13	1.05
	---	1.675	1.355	1.345	1.205	1.04	1.08	1.05
	---	1.675	1.375	1.35	1.205	1.02	1.11	1.05
Promedio	---	1.681	1.348	1.348	1.205	1.03	1.11	1.05

Resorte no.	1	2	3	6	7	10	11	12
Ampl. osc. (cm ± 1.0)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Periodo (seg ± 0.025)								
Masa (g)								
800	---	1.775	1.44	1.445	1.29	1.10	1.18	1.11
	---	1.795	1.455	1.445	1.28	1.08	1.143	1.12
	---	1.785	1.455	1.44	1.285	1.08	1.16	1.11
Promedio	---	1.785	1.438	1.443	1.285	1.083	1.16	1.113
900	---	---	1.52	1.52	1.37	1.13	1.25	1.12
	---	---	1.535	1.545	1.37	1.12	1.22	1.12
	---	---	1.536	1.52	1.37	1.16	1.23	1.12
Promedio	---	---	1.53	1.528	1.37	1.136	1.233	1.12
1000	---	---	---	1.60	1.425	1.18	1.29	1.24
	---	---	---	1.61	1.44	1.14	1.27	1.26
	---	---	---	1.58	1.445	1.16	1.28	1.24
Promedio	---	---	---	1.59	1.435	1.16	1.28	1.246
1100	---	---	---	---	1.51	1.25	1.35	1.29
	---	---	---	---	1.515	1.23	1.35	1.34
	---	---	---	---	1.515	1.24	1.35	1.29
Promedio	---	---	---	---	1.513	1.24	1.35	1.306
1200	---	---	---	---	---	1.29	1.41	1.37
	---	---	---	---	---	1.285	1.41	1.36
	---	---	---	---	---	1.28	1.41	1.36
Promedio	---	---	---	---	---	1.28	1.41	1.363
1300	---	---	---	---	---	1.45	1.455	1.41
	---	---	---	---	---	1.46	1.47	1.41
	---	---	---	---	---	1.43	1.46	1.41
Promedio	---	---	---	---	---	1.442	1.462	1.41
1400	---	---	---	---	---	1.51	1.53	1.45
	---	---	---	---	---	1.51	1.56	1.45
	---	---	---	---	---	1.51	1.53	1.45
Promedio	---	---	---	---	---	1.51	1.54	1.45
1500	---	---	---	---	---	1.58	1.60	1.48
	---	---	---	---	---	1.58	1.62	1.49
	---	---	---	---	---	1.58	1.61	1.49
Promedio	---	---	---	---	---	1.58	1.61	1.486

Las gráficas correspondientes son las marcadas 1 a 3:

Práctica No. 3
Oscilador armónico simple

masa en período para
diferentes masas



CUESTIONARIO:

1.- ¿Qué es una onda plana?

Es la producida por una fuente muy lejana y cuyo frente puede considerarse recto o plano.

¿Y una onda longitudinal?

Esta es una onda de tipo particular, en la cual las partículas se mueven en el mismo sentido que la propagación del movimiento. En él no se producen las ondas en la forma que estamos acostumbrados a observar: no hay crestas ni valles, porque las partículas que oscilan no se levantan por encima de la línea recta en que se propaga el movimiento, sino que unas partículas se juntan a otras produciendo condensaciones de materia mientras que otras se separan produciendo enrarecimientos o rarefacciones de materia.

2.- ¿A qué se llama respectivamente amplitud, frecuencia, período y fase?

Amplitud: Es la distancia que media entre la posición de equilibrio y la posición de máxima elongación.

Frecuencia: Es el valor recíproco del período. Representa al número de oscilaciones completas que efectúa una partícula en un segundo.

Período: Es el tiempo en que una partícula hace una oscilación completa (una ida y una vuelta).

Fase: Es la parte del camino total que en un tiempo cualquiera ha descrito una partícula, contando desde su posición de equilibrio.

3.- ¿A qué se llama velocidad de propagación?

Al cociente que resulta de dividir el espacio recorrido por la onda entre el tiempo empleado en hacerlo. En este caso la onda está representada por la pesa móvil y el tiempo por el período.

4.- ¿Cuál es la incertidumbre en las medidas?

Lo más usual es que se tome una incertidumbre igual a la mitad de la medida más pequeña que se pueda hacer. En este caso fue de ± 1.0 cm para la amplitud y ± 0.025 seg en el período.

5.- ¿Cómo puede ser reducida?

Las respuestas pueden ser varias, todas ellas tendientes a disminuir el error (mayor número de determinaciones, reglas más precisas, etc)

6.- Una vez obtenida la gráfica que relaciona nuestras variables, ¿Qué concluye sobre la relación entre masa y período? Que son proporcionales.

PARTE B

EXPERIMENTACION

- 1.- Coloque en el soporte un resorte calibrado estáticamente.
- 2.- Usando el cronómetro y la regla, mida el período de oscilación del resorte. Repita la operación tres veces y promedie los resultados. Recuerde que debe dar siempre la misma amplitud y evitar movimientos laterales del resorte.
- 3.- Repita el proceso con los demás resortes calibrados.
- 4.- Tabule los resultados incluyendo incertidumbres. Grafique los. La constante del resorte será la variable independiente y el período de oscilación, la variable dependiente. Si la relación entre ambas no es lineal, grafique en papel log-log.

Resultados obtenidos para una masa constante de 500 g.:

Resorte No.	Constante (± 1.0)	Período (seg ± 0.025)	Promedio
1	7.0	1.76, 1.71, 1.74	1.736
2	10.0	1.45, 1.41, 1.43	1.43
3	11.0	1.36, 1.30, 1.34	1.33
4	14.5	1.20, 1.15, 1.16	1.17
5	15.0	1.15, 1.12, 1.11	1.126
6	16.0	1.11, 1.14, 1.10	1.116
7	19.5	1.01, 1.00, 0.99	1.00
8	25.5	0.86, 0.85, 0.86	0.856
9	26.5	0.83, 0.83, 0.83	0.83
10	29.0	0.81, 0.80, 0.80	0.803
11	31.2	0.74, 0.75, 0.75	0.746
12	38.0	0.73, 0.75, 0.72	0.733

QUESTIONARIO:

1.- ¿Qué se concluye de la gráfica anterior?

Que hay una relación lineal entre los parámetros estudiados.

2.- Escriba la ecuación que relaciona el período y la constante de un resorte:

$$T = 2\pi \sqrt{1/k}$$

De acuerdo a los resultados de las partes A y B, escriba la ecuación que relaciona las tres variables:

$$T = 2\pi \sqrt{m/k}$$

3.- ¿Es la misma que proporcionan los libros de teoría?

Sí.

Observaciones.- Al medir el período de oscilación es necesario aclarar que es difícil, e introduce mucho error, el hacer la determinación con una sola oscilación. Se prefiere por tanto tomar 10 o más oscilaciones (a criterio del maestro) y sacar el promedio correspondiente.

En los resortes de K pequeña es preferible hacer las mediciones desde 100 hasta 1000-1200g y en los de K mayor, empezar en 500 g y llegar a 1500g o más.

Calibración estática de los resortes:

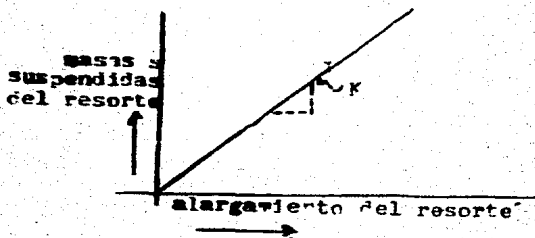
Es conveniente dar a los alumnos el valor de K para cada resorte, ya que si ellos tratan de determinarla, generalmente cometen errores de medición muy apreciables.

La forma de determinar K es la siguiente:

Se coloca el resorte en su soporte y se mide cuidadosamente la longitud.

Se van colocando pesas cada vez mayores en el extremo libre y cada vez se mide el estiramiento. Debe tenerse cuidado en que no haya movimientos que alteren el reposo del arreglo experimental.

Considerando que los resortes obedecen la ley de Hooke, al graficar alargamiento vs masa suspendida, tendremos que la pendiente de la recta obtenida representa la constante del resorte.



Sus unidades son newtons por metro en el sistema mks y como éstas lo implican, K es una medida de la fuerza requerida para producir estiramiento unitario si el resorte fuera completamente extensible.

CONCLUSIONES:

Si los resultados del experimento no son satisfactorios, discutir las causas de ello.

¿Sería conveniente realizar de nuevo el experimento, ya sea para eliminar las causas de error o para mejorar la precisión de los resultados?

Estos puntos dependen exclusivamente del cuidado con que hayan trabajado los alumnos.

BIBLIOGRAFIA:

Blackwood, Oswald & Kelly, William.- Física General, Cfa Editorial Continental, S.A. México, 1967; p 241-245.

Bueche, Frederick.- Física para estudiantes de ciencias e ingeniería, Cuaderno de Trabajo, Vol. I; McGraw-Hill, México, 1978, p 231-240.

Kittel, Charles.- Refferley Physics Course, Vol I; Ed. Reverté, Barcelona, 1968; p p 193-210.

PRACTICA No. 4
PENDULO SIMPLE
MANUAL.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Comparar los resultados de medir los períodos de un péndulo simple y uno físico usando la misma longitud y tomando en cuenta los resultados teóricos para ambos casos.

FUNDAMENTO TEORICO:

Uno de los sistemas físicos más sencillos que se mueven con movimiento armónico simple, o casi, es el péndulo.

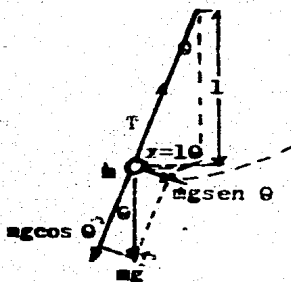
El péndulo simple o matemático es un cuerpo ideal que consiste en una masa puntual, suspendida de un hilo sin peso e inextensible. El péndulo simple citado así es imposible de realizar aunque en la práctica se puede construir uno que se le aproxime.

Cuando se separa de su posición de equilibrio y se suelta, el péndulo oscila en un plano vertical según la acción de la gravedad. El movimiento es periódico y oscilatorio. En esta práctica deseamos calcular su período; para ello contamos con los siguientes datos:

Se llama oscilación simple al movimiento desde los puntos de máxima elongación (en la figura, de M a M'); oscilación completa es el movimiento de ida y vuelta; fase es una fracción cualquiera de oscilación y período de la oscilación es el tiempo empleado en una de las oscilaciones completas.

Aunque no es estrictamente cierto, se considera que el péndulo

lo efectúa un movimiento armónico simple. El error involucrado es muy pequeño.



Llamemos l a la distancia entre el punto de suspensión del hilo y el centro de gravedad de la masa. Suponiendo que las oscilaciones no excedan de 20° , el período se expresa por:

$$T = 2\pi \sqrt{m/k} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{l/g}$$

donde:

- T = período
- l = longitud del hilo
- g = aceleración de la gravedad en el sitio considerado.

Nótese que es independiente de la masa de la partícula suspendida.

Cuando la amplitud de oscilación es mayor, la ecuación general del período es:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g} (1 + 1/2^2 \text{sen}^2 \theta_m/2 + 1/2^2 \cdot 3^2/4^2 \text{sen}^4 \theta_m/2 + \dots)$$

donde θ_m es el desplazamiento angular máximo y los términos subsiguientes se hacen más y más pequeños. El período se puede calcular entonces tomando un número suficiente de términos en la serie infinita. Cuando $\theta_m = 15^\circ$, correspondiente a un desplazamiento angular total en un sentido y en otro de 30° , el período e-

racto difiere en menos del 0.5% del determinado con oscilaciones pequeñas.

El péndulo simple proporciona un método conveniente para medir el valor de g , la aceleración de la gravedad. En este caso no es necesario efectuar un experimento de caída libre, sino simplemente medir l y T .

De $T=2\pi\sqrt{l/g}$ podemos deducir las leyes del movimiento pendular:

1.- Las oscilaciones de poca amplitud son isócronas, es decir, duran el mismo tiempo.

En la fórmula vemos que T es independiente de θ ; se comprueba experimentalmente contando el tiempo que un péndulo emplea en efectuar un número n de oscilaciones, viéndose que aun cuando las amplitudes disminuyen, el tiempo en que se efectúan n oscilaciones es el mismo. Esta ley fue descubierta por Galileo cuando era un anciano y aprovechada por Huygens para construir un reloj de péndulo.

2.- La duración de las oscilaciones no depende de la sustancia de que está formada la masa ni de su peso.

Esta ley se comprueba haciendo oscilar con la misma amplitud varios péndulos simples, todos de igual longitud, pero de distintos materiales y pesos diferentes (p. ej. madera y plomo). El período será el mismo para todos los cuerpos.

Puesto que el movimiento del péndulo es debido a la gravedad, queda confirmado que el valor de g en un sitio determinado es el mismo para todos los cuerpos.

3.- La duración de las oscilaciones es proporcional a la raíz

cuadrada de la longitud del péndulo.

Se deduce inmediatamente de la fórmula del péndulo simple. Se comprueba fácilmente que para longitudes que sean entre sí como los números 1, 4, 9, ..., los periodos guardan la relación 1, 2, 3, ..., .

4.- La duración de las oscilaciones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la intensidad del campo de la gravedad en el lugar donde oscila el péndulo.

Esta ley se deduce también de la fórmula del péndulo. Para comprobarla sería preciso determinar el periodo en distintos lugares, donde el valor de g fuese suficientemente diferente.

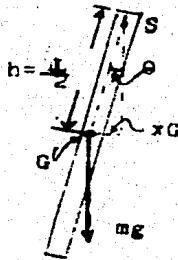
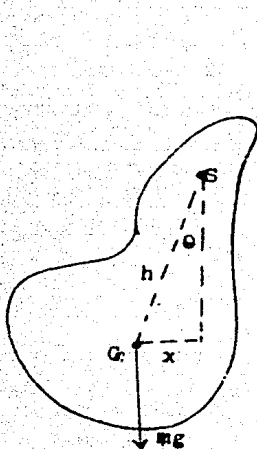
Péndulo físico o compuesto.- Es todo cuerpo pesado que puede oscilar alrededor de un punto o de un eje horizontal (eje de suspensión), colocado por encima de su centro de gravedad; en la práctica se le da, generalmente, la forma de una varilla colgada de un extremo. En este caso la masa está distribuida y el periodo está dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgh}}$$

donde:

- T = Periodo
- I = Momento de inercia
(para una varilla delgada de masa m y longitud l , con el eje de suspensión normal a la varilla y en el extremo de ésta es $= \frac{1}{3} ml^2$. Igual, pero en el centro es $= \frac{1}{12} ml^2$).
- m = masa de la varilla
- g = aceleración de la gravedad
- h = distancia del centro de gravedad al eje de susp.

La distancia entre el eje de suspensión y el eje de oscilación es la longitud del péndulo simple que oscilaría con el mismo período que el físico en cuestión.



S = eje de suspensión
G = centro de gravedad
T = 2

$$T = 2 \sqrt{\frac{I}{mgh}}$$

$$= 2 \sqrt{\frac{\frac{ml^2}{2}}{\frac{mg}{2}l}} = 2 \sqrt{\frac{2l}{3g}}$$

Ejemplos de péndulos físicos y manera de hallar el período.

ACTIVIDADES:

- Usar como péndulo simple una cuerda delgada unida a una masa pequeña y como péndulo físico, una barra de metal puesta a oscilar sujetándola por un extremo.

- Comprobar que los péndulos se mueven con movimiento armónico simple.

- Medir el período de los péndulos usando la misma longitud.

- Tabular, graficar y comparar los resultados teóricos con los experimentales.

MATERIAL:

Soporte horizontal

Cilindro o lenteja de acero o plomo, con un gancho para colgarse, de peso conocido.

Cilindro de madera, corcho o hule, pesado y provisto de un gancho.

Hilo de nylon o seda, delgado y de aproximadamente 2 m.

Varilla, de preferencia metálica y con orificios para colgarse.

Cono de papel

Arena fina, sal seca. o azúcar.

Regla

Cronómetro

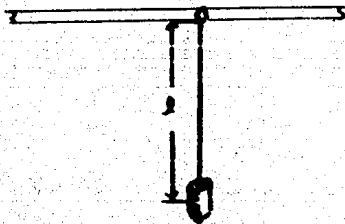
Transportador

EXPERIMENTACION:

a).- Determinación del período:

1.- Ate una masa pequeña de metal al hilo de nylon

2.- Sujete el extremo libre del hilo contra el soporte horizontal, según indica la figura:



3.- Mida cuidadosamente la longitud del péndulo (desde el punto de suspensión del hilo hasta el centro de gravedad de la masa).

4.- Sin encoger o estirar el hilo, apártese a la masa de su punto de equilibrio unos $10-15^{\circ}$ y permítasele oscilar libremente.

5.- Deje pasar la primera oscilación y mida con un cronómetro

entre 10 y 20 oscilaciones completas. Repita tres veces los incisos 3, 4 y 5. Saque la media.

6. Varíe la longitud del péndulo y haga mediciones para tres longitudes distintas.

7.- Tabule sus resultados experimentales y compárelos con los obtenidos teóricamente

8.- Grafique en papel milimétrico longitud vs período. Si no obtiene una recta, haga un cambio de variables.

9.- Repita todo el proceso, usando una masa de distinto material y peso (corcho, madera, hule).

10.- Quite el hilo con la masa y cuelgue la varilla. En la misma forma en que lo hizo con el péndulo simple, determine el período del péndulo físico o compuesto. Tabule y grafique sus resultados.

b).- Comparación entre el movimiento pendular y el movimiento armónico simple.

Ambos son muy parecidos, siempre y cuando el ángulo de desplazamiento no exceda de $10-15^\circ$.

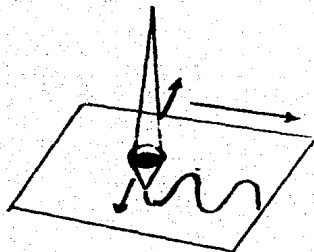
1.- Cuelgue un cono de papel lleno con arena muy fina, sal seca o azúcar granulada fina.

2.- Coloque bajo él, apoyada en la mesa, una hoja de papel.

3.- Haga un corte en la punta del cono, de modo que el contenido se vacíe lentamente.

4.- Ponga a oscilar el cono con amplitud pequeña y deslice lentamente, a velocidad constante, la hoja. El deslizamiento debe ser normal al movimiento del cono.

El polvo que cae dibuja la gráfica del movimiento pendular. Esta tiene forma sinusoidal y muestra el valor variable de sus desplazamientos con el tiempo.



CUESTIONARIO:

1.- Compare los resultados teóricos con los experimentales.

¿Hay coincidencia?.- Sí. Se obtuvieron los siguientes resultados:

1.- Cilindro de madera, 2.5x5 cm; 13.56 g; amplitud de las oscilaciones: 15°.

$$T_{\text{teór.}} = 2\pi \sqrt{l/g} ; g = 979.0 \text{ cm/s}^2; 2\pi = 6.2632.$$

Para cada longitud de la cuerda se hicieron 3 determinaciones midiendo 10 oscilaciones y 3 midiendo 20 oscilaciones.

l (cm) ± 0.05	Oscilaciones		T ₁₀ (± 0.01)	T ₂₀ (± 0.01)
	10	20		
94.3	19.6	39.2	1.952	1.947
	19.4	39.1		
	19.4	39.2		
73.9	17.7	34.6	1.72	1.71
	17.2	34.4		
	17.3	34.4		
55.2	15.0	29.8	1.50	1.59
	15.0	29.8		
	15.0	29.6		
34.2	11.8	23.5	1.175	1.174
	11.6	23.5		
	11.6	23.45		

2.- Cilindro de plomo (2.5x5 cm); 276.25g; amplitud de las oscilaciones = 15°. Resto de las condiciones igual.

l	Oscilaciones		Temp.	Tteór.
	10	20		
94.3	19.6 19.6 19.5	38.8 38.8 38.8	1.948	1.936
72.4	17.0 17.0 17.0	34.1 34.0 34.1	1.700	1.707
53.1	14.9 14.9 14.85	29.4 29.4 29.4	1.478	1.462
31.7	11.4 11.6 11.4	22.8 22.9 23.2	1.147	1.130

Como se ve, la masa no influye en el período.

2.- ¿De qué factores depende el período de un péndulo?

Básicamente de la longitud de la cuerda de la cual cuelga la masa.

3.- ¿Cuáles son los factores que introducen incertidumbre en el experimento?

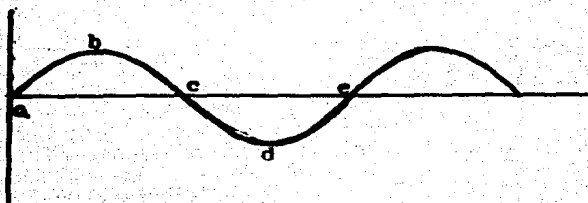
- a).- el cronómetro
- b).- la regla
- c).- medir pocas oscilaciones

4.- ¿Halló diferencias entre las determinaciones hechas con una masa de madera y una de metal?

No.

En la gráfica siguiente, análoga a la que formó la arena al caer desde el cono, marque los puntos donde el ángulo de fase corresponde a:

a).- 0° ; b).- 90° ; c).- 180° ; d).- 270° ; e).- 360° .



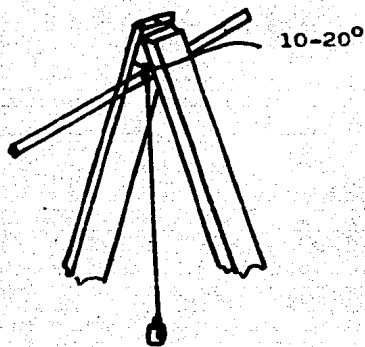
¿Por qué se dice que la curva es de tipo sinusoidal?

Porque es semejante a la obtenida cuando se grafican los valores de los senos de los ángulos dados:

ángulo	seno
0°	0.0
90°	1.0
180°	0.0
270°	-1.0
360°	0.0

Observaciones.- El error introducido al medir pocas oscilaciones se puede reducir contando 50 en vez de 10 o 20, aunque para ésto es necesario usar masas pesadas (como la de plomo, por ej.)

Para conservar la amplitud de las oscilaciones dentro de límites aceptables al ir acortando el hilo, se sugiere colocar dos tiras de madera o reglas formando el ángulo deseado, detenidas del soporte horizontal, como indica la figura:



BIBLIOGRAFIA

Ballard, S.- Principios de Física.- Ed; Reverté Mexicana, 1957.- p 497-502.

Bueche, F.- Fundamentos de Física.- McGraw-Hill, México, 1977 p 356-357.

Duff, W & Masios, M.- College Physics.- John Wiley & Sons Inc. New York, 1947, p 166-171.

Eldridge, J.- College Physics, John Wiley & Sons Inc., New York, 1947.- p 330-331; 342.

Josephs, J.J.- La física del sonido musical.- Ed. Reverté Mexicana, México, 1969.- p 1-29.

Perkins, H.- Basic College Physics.- Prentice Hall Inc., New York, 1953.- p 253-257.

Weichner R & Sells, R.- Física elemental clásica y moderna.- Cfa Editorial Continental S.A.- México, 1979.- p 309-316.

PRACTICA NO. 5
LA CUBA DE ONDAS.

MANUAL.

DURACION: 2 Ho.

En el Universo se encuentran toda clase de ondas, desde rayos gamma de longitud de onda pequeñísima emitidos por partículas nucleares, hasta inmensas ondulaciones en las nubes de polvo interestelar. Dado que todas las ondas tienen en común transportar energía, no resulta sorprendente que todas se comporten de manera similar: se mueven en línea recta y a velocidad constante en medios uniformes y cambian de velocidad y dirección en fronteras donde las propiedades físicas del medio cambian.

Una onda sonora en el aire choca con un muro, rebota hacia la fuente del sonido y da lugar al fenómeno del eco. Este fenómeno es idéntico en principio al que da lugar a la aparición de imágenes en un espejo o a los disturbios sísmicos que rebotan entre las capas de la corteza terrestre. Todos estos son ejemplos del fenómeno de Reflexión.

La existencia de transformadores en los postes de conducción de electricidad, es debida a las discontinuidades de los medios de propagación de las ondas. A primera vista, esto parece tener poco que ver con la capa purpúrea que cubre las lentes fotográficas o con los megáfonos utilizados durante los mítines, pero los tres dispositivos tienen algo en común: ayudan a las ondas a atravesar fronteras entre medios con diferentes características sin que haya reflexión de energía hacia la fuente. Los tres son transformadores.

Estas semejanzas sugieren la simplicidad y el orden que caracterizan a la naturaleza. Al aprender cómo se comporta cierta clase de ondas, el experimentador aprende qué puede esperar del comportamiento de otras y los problemas resueltos por el comportamiento de ondas en ciertos medios pueden explicarse, con las modificaciones del caso, a ondas en otros medios. Por ejemplo, algunas de las propiedades acústicas de un auditorio pueden investigarse observando la acción de ondas superficiales en una extensión de agua con poco fondo. Y una extensión de agua de poco fondo manejable en el laboratorio es una Cuba de Ondas."

C. L. STRONG
American Scientific.

OBJETIVO:

Observar los fenómenos de interferencia, reflexión y difracción de ondas en una superficie líquida para establecer una analogía entre ellas y ondas luminosas, sonoras, etc.

FUNDAMENTO TEORICO:

Vivimos rodeados de ondas, unas visibles y otras invisibles. Una de las formas en que se transmite energía de un lugar a otro es por medio de ondas. Cuando caen gotas de lluvia en un estanque y se forman pequeños círculos, estamos observando ondas. Cuando una niña salta la cuerda, está produciendo ondas. Podemos ver gracias a la luz, que se transmite en forma de ondas. Todavía más comunes son las ondas invisibles: ondas sonoras, ultravioleta, de televisión. Todas ellas tienen características comunes que se pueden estudiar en ondas visibles, como las del agua, y una vez que se han encontrado las leyes que rigen su comportamiento, el siguiente paso es averiguar si las ondas invisibles obedecen esas reglas.

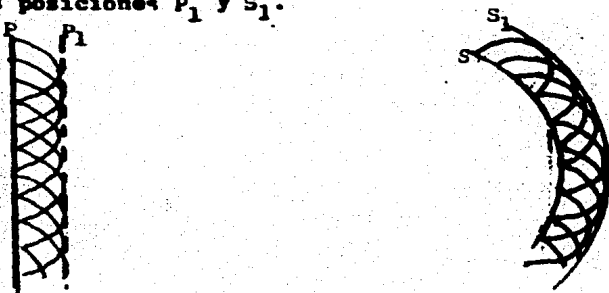
Algunas ondas requieren de un medio físico para propagarse, otras no. Casi todas las ondas pertenecen a una de dos clases: longitudinales o transversales. En las primeras, las partículas vibrantes se mueven hacia adelante y hacia atrás, paralelamente a la dirección en que se propagan las ondas. En una onda transversal las partículas vibran normalmente a la dirección de propagación. Así, la propagación de una onda supone dos movimientos distintos: en un medio homogéneo la onda misma se propaga hacia adelante a velocidad uniforme y las partículas del medio que transmite el movimiento vibran con movimiento armónico. Sus posiciones instantáneas dependen del período, de la amplitud y de la fase de la vibración, conceptos ya revisados en prácticas anteriores.

Se llama frente de onda a una superficie cuyos puntos vibran todos con la misma fase. Los puntos pueden ser las partículas vibrantes del medio, como sucede con el aire cuando se transmite sonido o bien pueden ser los valores instantáneos de la intensidad de los campos eléctrico y magnético tratándose de ondas luminosas o de radio.

En un medio homogéneo el frente de onda producido por una perturbación situada en un punto es esférico, pero a distancias muy grandes de la fuente, una porción pequeña del frente de onda se puede considerar plana. Analizando los cambios que sufre el frente de onda al avanzar ésta, se pueden predecir los efectos que se producirán cuando la onda encuentre un obstáculo, cuando se refleje o se refracte. Este análisis se facilita mucho sirviéndose de un principio que se atribuye al científico holandés Christian Huygens (1629 - 1695).

El principio de Huygens afirma que cada uno de los puntos del frente de ondas actúa como si a su vez fuese una fuente de perturbación ondulatoria, enviando ondas propias que dan por resultado total un nuevo frente de onda.

En la figura siguiente se aplica esta construcción a un frente de onda plano, P, y a uno esférico, S. Ambos avanzan en un tiempo t a las nuevas posiciones P_1 y S_1 .



Reflexión.— Mediante la construcción de Huygens se puede demostrar que cuando una onda incide en una superficie plana, invierte su dirección, esto es, se refleja, y el ángulo en que lo hace, llamado ángulo de reflexión, es igual al ángulo con que llega, llamado ángulo de incidencia. Ambos están en el mismo plano.

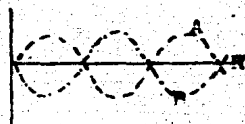
La línea AB representa la sección transversal de un frente de onda plano que choca contra la superficie MN, también plana, y por donde la onda no puede pasar. Si esta superficie no estuviera allí la onda se propagaría sin cambiar de dirección y en un tiempo determinado llegaría a la posición CD. Pero la presencia de la superficie reflectora provoca un cambio de dirección en el frente de onda. En un tiempo determinado, B llega a D; A se regresa sobre MN reco-

rriendo una distancia igual a AC; cualquier punto E regresa recorriendo una distancia igual al radio PG. Por el principio de Huygens, la línea DH representa el frente de onda reflejado y la línea AB el frente de onda incidente. Los ángulos i y r que estos frentes de onda forman con la superficie reflectora se llaman ángulo de incidencia y de reflexión respectivamente.. Trazando el arco de radio AH tangente a H y observando que $BD = AC = AH$, vemos que los triángulos rectángulos ADH y DAB son iguales y por lo tanto los ángulos i y r son iguales y coplanares, ya que A, B, D y H están en el mismo plano.

Interferencia.- Cuando dos ondas se mueven simultáneamente en la misma región, se propagan independientemente, causando cada una su perturbación propia en el medio. El efecto combinado se obtiene sumando algebraicamente las ordenadas de las ondas componentes en cada uno de los puntos de las curvas.



Interferencia constructiva



I. destructiva

Difracción.- La difracción explica el hecho que la luz no siempre se propaga en líneas exactamente rectas, sino que puede "doblar esquinas". Dicho en otras palabras, cuando las ondas pasan por una abertura o el borde de un obstáculo, siempre se deflexionan un poco hacia la región que no está expuesta directamente a la

fuelle productora de ondas. Las ondas difractadas se originan según el principio de Huygens.

ACTIVIDADES:

Emplear la cuba de ondas para:

- La producción de ondas planas
- La producción de ondas esféricas
- Comprobar que existe una relación inversa entre frecuencia y longitud de onda
- Observar la interferencia producida por dos ondas esféricas
- Observar la reflexión de una onda plana.
- Observar la reflexión de ondas planas en un espejo cóncavo.
- Observar la difracción de ondas planas.

MATERIAL:

Una cuba de ondas

Retroproyector

Generador de ondas de frecuencia variable, provisto de una barra y dos brazos terminados en esfera.

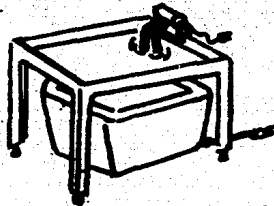
Placas rectangulares de madera, acrílico o vidrio, de aproximadamente 15x21 cm.

Espejo esférico (puede ser una tira de aluminio o acrílico en forma de arco)

Objetos circulares, de 0.5 a 12-15 cm de diámetro (lápices, vasos de precipitados, etc).

EXPERIMENTACION:

- 1.- Monte el aparato según muestra la figura:



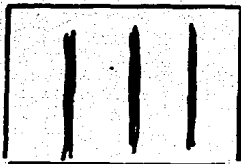
- 2.- Llene la cuba con agua hasta 1-2 cm.
- 3.- Debajo de la cuba acomode el retroproyector.
- 4.- Enfoque la imagen de la cuba sobre un pizarrón o una pared lisa.

a) Forma de las ondas

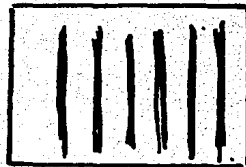
Adapte el generador de ondas a una pared de la cuba y coloque el agitador en forma de barra rozando apenas la superficie del agua.

Encienda el generador y observe cómo las vibraciones de la barra provocan una serie de ondas planas periódicas sobre la superficie del agua.

Varié la frecuencia de vibración y observe lo que sucede. Dibuje lo observado; Claramente se nota que al aumentar la frecuencia disminuye la longitud de onda:

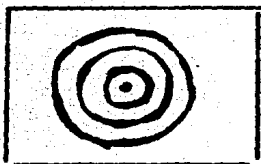


Baja frecuencia

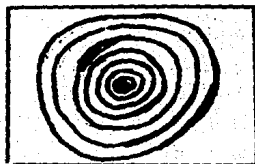


Frecuencia mayor

Cambie la barra del agitador por una esfera. Verá que en esta ocasión se producen ondas esféricas. Varíe la frecuencia y observe si hay alguna relación entre longitud de onda y frecuencia. Dibuje lo observado. La relación es inversa: a mayor frecuencia, menor longitud de onda:



Baja frecuencia



Frecuencia mayor

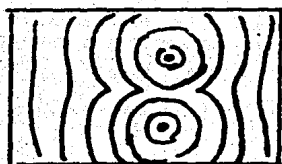
La proyección en la pantalla (pared) se debe a lo siguiente: El disturbio provoca una ondulación en la superficie del agua. Al llegar la luz a esta superficie, la capa de agua se comporta como una lente. Las partes altas de la ondulación (crestas) trabajan como lentes convergentes mientras que las bajas (valles) se comportan como divergentes. Por ello, sobre la pantalla veremos como zonas luminosas las proyecciones de las crestas y como zonas oscuras las proyecciones de los valles.

b) Interferencia

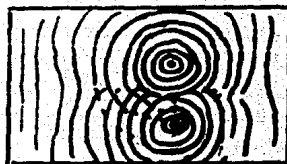
Ponga en contacto con el agua las dos esferas del generador y hágalas vibrar para obtener dos centros de perturbación. Observe y dibuje el fenómeno de interferencia.

Cuando dos frentes se cruzan, a veces una cresta que sale de una onda se encuentra con una cresta que sale de la otra; en este caso se obtiene una cresta de altura doble. Si se encuentran dos

valles, el valle resultante tiene doble profundidad que cualquiera de los componentes. Por otra parte, si la cresta que proviene de una fuente se reúne con el valle que proviene de la otra, se cancelan mutuamente y desaparecen.

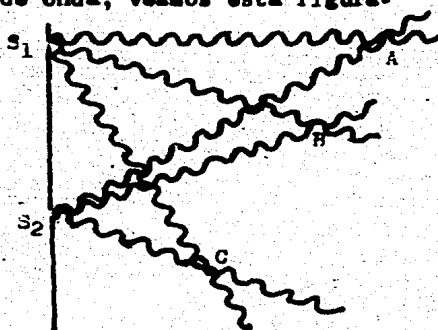


Frecuencia baja



Frecuencia mayor

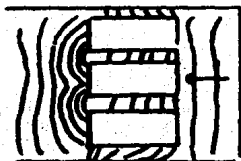
Para entender la figura de interferencia que se produce cuando se encuentran dos grupos de ondas, que se inician en fase y con igual longitud de onda, veamos esta figura:



S_1 y S_2 son dos fuentes de vibraciones que generan ondas de la misma frecuencia y que se inician en fase. El punto A está a 1λ de S_1 y 1λ de S_2 ; por consiguiente las ondas están en fase y se genera una onda del doble de amplitud (punto lu-

minoso). B está a 10 longitudes de onda de cada fuente. Las ondas que llegan estarán en fase y se verá como zona luminosa en la pantalla. El punto C está a 11 longitudes de onda de S_1 y $5\frac{1}{2}$ de S_2 ; las ondas están desfasadas, la amplitud resultante es cero y en la pantalla se verá una zona oscura.

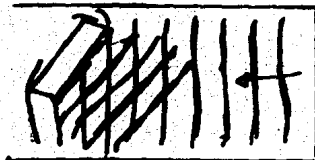
Ahora coloque tres bloques paralelos. Envíe un frente de ondas plano y observe lo que sucede a las ondas emergentes. Junte poco a poco las placas a fin de estrechar las aberturas. Observe y dibuje lo que sucede.



Lo que vemos es que las ondas emergentes se difractan e interfieren.

c) Reflexión

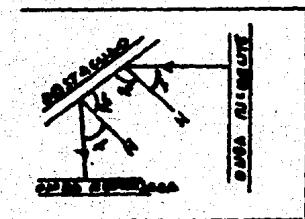
Envíe un pulso recto. Coloque una placa de vidrio de modo que el ángulo de incidencia sea 0° . Observe. Varíe el ángulo de incidencia. Dibuje sus observaciones.



Cuando el ángulo de incidencia es 0° , no se nota diseño alguno. Al aumentar, las crestas forman un diseño de triángulos luminosos al reflejarse.

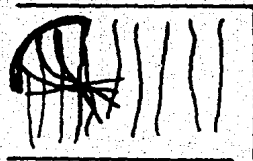
Se pueden tratar de medir los ángulos de incidencia y refracción en la siguiente forma:

Se dibuja (en el pizarrón si se usa retroproyector o en una hoja de papel si únicamente se está usando la lámpara de la cuba) una línea paralela al obstáculo recto, una paralela a las ondas generadas y otra paralela a las ondas reflejadas. Apague la lámpara y trace las normales (líneas perpendiculares a la recta que corresponde al obstáculo) y determine los ángulos de incidencia y reflexión como se indica en la figura:



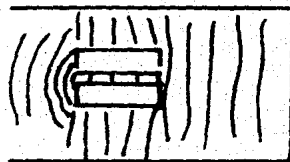
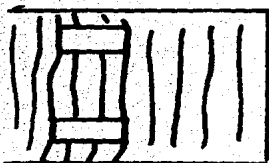
También se puede pedir a los alumnos que hagan rebotar en forma oblicua una canica contra la pared para que vean en ángulo se regresa (refleja). Se comprobará que $\hat{i} = \hat{r}$.

Seque la placa rectangular e introduzca un espejo cóncavo. Genere un frente de onda plano y observe lo que pasa con la onda al chocar contra el espejo. Varíe la frecuencia de las ondas y observe la formación de puntos focales. Dibuje lo que vea.



d) Difracción;

Coloque dos obstáculos rectos, situados de tal forma que queden paralelos y separados entre sí unos 10 cm. Genere un frente de onda recto y observe la forma de éste al emerger. Repita la experiencia con los bloques separados cada vez por distancias menores, hasta una separación aproximada a 1 cm. Haga el dibujo correspondiente.



Varíe la frecuencia de las ondas, manteniendo la abertura constante, a fin de observar qué efecto produce el que la longitud de onda sea mucho mayor o mucho menor que el ancho de la abertura.

Puede notarse que la difracción es considerable sólo cuando la abertura es pequeña comparada con la longitud de onda; en caso contrario, el fenómeno es difícil de apreciar.

Sustituya las placas rectangulares por un obstáculo circular, de unos 12-15 cm de diámetro. Genere un frente de onda recto. El área que queda más allá del objeto, donde la onda desaparece, se llama sombra del cuerpo. Reemplace el cuerpo cilíndrico por otros de diámetro cada vez menor y observe qué le pasa a la sombra cuando disminuye el diámetro del obstáculo. Varíe la frecuencia y repita las experiencias. Al disminuir el diámetro se reduce la sombra.

Cuestionario.

1.- Cuando dos grupos de ondas se cruzan, pueden hacerlo en fase o defasadas. Explique lo que sucede en cada caso.

Ya fue explicado en la parte teórica.

2.- Cuando un tren de ondas choca contra un obstáculo, ¿Cue forma tiene la onda reflejada si el ángulo de incidencia es de 0° ? ¿Y si es mayor?

Si el ángulo de incidencia es 0° no se nota onda reflejada, únicamente se ve cómo se difracta en las orillas del obstáculo; si el ángulo es mayor se nota claramente un diseño en el cual las crestas forman triángulos luminosos.

3.- ¿Cómo es influenciada la difracción por el ancho de la abertura?; ¿Cómo lo es por la longitud de onda?

A menor abertura, mayor difracción; a menor longitud, mayor difracción.

4.- Tomando en cuenta que la velocidad de una onda depende de las condiciones del medio y es igual al producto $v = f \lambda$, ¿Cómo podemos determinar la velocidad de las ondas en la superficie del agua?; ¿Es necesario emplear el generador de ondas?

Recordemos que al idear un procedimiento para medir una cantidad física, debemos considerar la precisión que deseamos lograr.

Esta pregunta será contestada en la Parte II.

PARTE II

Ondas estacionarias en la superficie de un líquido.

OBJETIVO:

Medir la longitud de onda en la superficie del agua.

Un modo sencillo de medir la velocidad de las ondas consiste en engendrar un pulso recto y medir con un cronómetro el tiempo t que emplea el pulso en recorrer una distancia determinada. La velocidad v es entonces igual a la distancia recorrida, dividida entre el tiempo empleado:

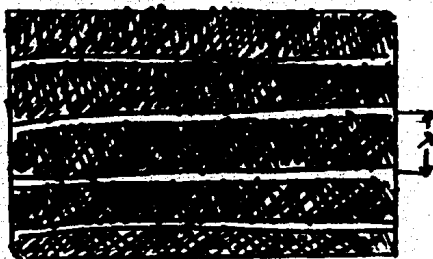
$$v = \frac{l}{t}$$

Otro procedimiento consiste en originar dos pulsos consecutivos. Cuando, después de un tiempo t , se engendra el segundo pulso, el primero ha recorrido una distancia l . A partir de este momento, los dos pulsos viajan juntos, separados por una distancia l ; podemos medir esa distancia con una regla y de nuevo se obtiene $v=l/t$.

Estos métodos son simples en principio, pero en la práctica es difícil seguir pulsos y medir las distancias y tiempos requeridos.

Un tercer método está basado en la formación de una serie de pulsos a intervalos regulares T . Al hacer ésto, el generador de ondas repite su movimiento una vez en cada intervalo T . Tal movimiento se denomina periódico y el intervalo de tiempo T es el período. Otra forma de describir el movimiento periódico es especificar el número de veces que el movimiento se repite en un segundo, es decir, especificar la frecuencia f ; si, por ejemplo, el movimiento se repite cada $1/10$ de seg, la frecuencia es de 10 ciclos/seg. En general, $f = 1/T$.

Concentrémonos en un punto del estanque. Los pulsos producidos por el generador se desplazan hacia dicho punto, por donde pasan con la misma frecuencia con que fueron originados. Si se emiten 10 cada segundo, pasarán por ese punto 10 pulsos en cada segundo. Por tanto, la frecuencia de la onda también viene dada por la ecuación $f = 1/T$, siendo T el tiempo transcurrido entre el paso de ondas sucesivas. Además, cuando las ondas se desplazan, la distancia entre dos puntos adyacentes permanece constante, y se le llama longitud de onda (λ). El diagrama ondulatorio se llama onda plana periódica.



La velocidad de propagación de una onda periódica puede determinarse en una forma semejante a la que se utiliza para un par de pulsos. Sabemos que los pulsos están separados por una distancia y que cada uno emplea el tiempo T en recorrer esa distancia. Por tanto, la velocidad de propagación es:

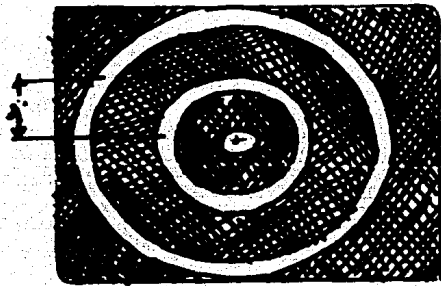
$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Utilizando la relación $f = 1/T$, resulta:

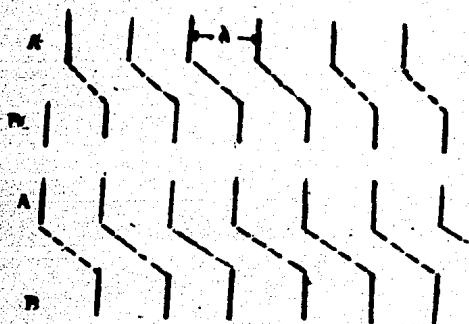
$$v = f\lambda$$

es decir, la velocidad de propagación de una onda periódica es igual al producto de la frecuencia por la longitud de onda.

La relación obtenida no está restringida a las ondas formadas en una cuba de ondas. Es válida para cualquier onda periódica, independientemente de que sea o no plana y no depende para nada de la naturaleza de la cuba o de las propiedades del líquido. En particular, siguiendo el mismo procedimiento con ondas circulares se obtiene de nuevo la relación $v = f \lambda$. En este caso, la longitud de onda se mide a lo largo del radio. La velocidad de las ondas circulares es igual a la que poseen las ondas planas en el mismo medio. Además, se pueden aplicar idénticos argumentos a cualquier tipo de ondas periódicas, deduciendo siempre la relación $v = f \lambda$.



Supongamos que en vez de observar directamente la onda, lo hacemos a través de un estroboscopio. La primera vez que se abre la rendija se observa el diagrama de ondas con una determinada posición. Durante el tiempo que permanece cerrada, todos los pulsos se desplazan una distancia igual al producto de este tiempo por la velocidad de propagación.



A y B: aperturas sucesivas de la rendija del estroboscopio

La frecuencia del estroboscopio es mayor que la de las ondas.

Frecuencia del estroboscopio igual a la de las ondas.

Mirando a través de la rendija, observaremos normalmente que el diagrama se despalza. Supongamos, sin embargo, que el período de la apertura de la ventana coincide con el de la onda. En estas condiciones, durante el tiempo que la rendija está cerrada, cada pulso se desplaza hasta ocupar la posición del pulso que le antecede y vemos el mismo diagrama cada vez que la rendija se abre, es decir, tenemos un patrón estacionario en el que es fácil medir λ . Además podemos saber la frecuencia contando el número de veces que se abre la rendija en un tiempo determinado. Conocidas λ y f para la onda, podemos utilizar la relación general $v = f\lambda$.

ACTIVIDADES:

Producir un diagrama de ondas estacionarias utilizando la cuba de ondas y una luz estroboscópica.

Medir la longitud de ondas.

Conociendo f y λ , determinar la velocidad de propagación de las ondas.

MATERIAL:

Cuba de ondas

Generador de ondas esféricas

Luz estroboscópica de frecuencia regulable

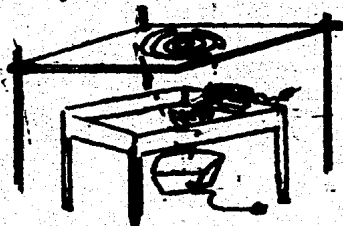
Pantalla translúcida

Soportes universales

Regla

EXPERIMENTACION:

1.- Monte el aparato según muestra la figura:



2.- Genere una onda circular periódica.

3.- Encienda la luz estroboscópica y varíe la frecuencia hasta "congelar" la onda.

4.- Con la regla mida λ sobre la pantalla.

5.- Con los datos anteriores determine el valor de v .

Se encontraron estos datos:

$$\lambda = 2 \text{ cm} \quad \text{Incertidumbre} = \pm 0.05 \text{ cm.}$$

$$f = 4 \text{ ciclos/s}$$

$$v = 8 \text{ cm/s} \pm 0.05 \text{ cm.}$$

CONCLUSIONES

En general, se considera que este método es confiable.

OPSERVACIONES:

Las ondas son más visibles cuando la profundidad del agua es entre 0.5 y 1 cm. Con mayor o menor profundidad, las ondas "se pierden" y es más difícil apreciarlas.

BIBLIOGRAFIA:

Eldrige, John A.; College Physics, John Wiley & Sons Inc., New York, 1947, p 314-318.

Haber Schaim Uri, Cross Judson B, PSSC; Física, Ed. Reverté, Barcelona, 1980; p 102-166.

Kronig, R, de Boer J., Textbook of Physics; Pergamon Press; London, 1959, p 182-183.

Pinzón, Alvaro E.; Física I: Conceptos fundamentales y su aplicación; Harla S.A. de C.V.; Bogotá, 1977; p 312-314.

Sintes O. Francisco; Física General Aplicada; Ed. R. Sopena, Barcelona, 1959; p222-223; 227.

Stollberg, Robert & Fitch H.F., Física: Fundamentos y fronteras Publicaciones Cultural, S.A. México, 1982; p478-488.

Stollberg, R., & Fitch, H.F. Física: Fundamentos y fronteras Laboratorio; Publicaciones Cultural, S.A., México, 1978; p L87-L94.

PRACTICA No. 6
TUBO DE RESONANCIA
MANUAL
PARTE A.

DURACION: 1 H.

OBJETIVO:

Observar cualitativamente el fenómeno de ondas estacionarias para el caso de ondas sonoras y obtener la velocidad del sonido en el aire.

FUNDAMENTO TEORICO:

El sonido está formado por ondas mecánicas longitudinales (pero éstas son difíciles de representar en dibujos y se acostumbra esquematizarlas como ondas transversales). Para que se transmita requiere de un medio material en el cual las moléculas de éste vibren en torno a cierta posición de equilibrio cuando el tren de ondas va pasando. De aquí se infiere que en el vacío no hay transmisión de sonido.

El sonido viaja con velocidad definida, por cierto muy inferior a la de la luz. Las primeras mediciones al respecto fueron hechas por Marin Mersenne, un físico francés, en 1640 y en 1656 por Giovanni Borelli, Vincenzo y Viviani, físicos italianos. Las más recientes fueron hechas en 1934 por Dayton C. Miller, físico estadounidense.

Por regla general, el sonido viaja más aprisa en los líquidos y los sólidos que en los gases. En el aire a 0°C viaja a 331 m/s.

Por cada grado centígrado de aumento en la temperatura del aire, la velocidad del sonido aumenta en 0.61 m/seg:

$$V = V_0 + 0.61t \quad \text{donde:}$$

V_0 = velocidad en m/s a 0°C
 t = temperatura en $^\circ\text{C}$

Las ondas mecánicas longitudinales se pueden generar dentro de unos límites de frecuencia muy amplios, pero las ondas sonoras están restringidas a las frecuencias que estimulan al oído y cerebro humanos (aproximadamente entre 20 ciclos/seg y 20000 ciclos/seg). Una onda cuya frecuencia sea inferior al límite audible se llama onda infrasónica. Un ejemplo son las ondas de los terremotos. Cuando la frecuencia es superior a los 20 000 ciclos/seg la onda se denomina ultrasónica. Estas se pueden producir mediante vibraciones elásticas de un cristal de cuarzo, inducidas por resonancia con un campo eléctrico alterno que se aplique (efecto piezoeléctrico).

Las ondas sonoras, si no son obstruidas, se propagan en todas direcciones a partir de la fuente emisora; sin embargo, es más fácil estudiarlas en una sola dimensión, por lo que consideraremos que están viajando dentro de un tubo. Si éste se encuentra abierto por ambos extremos, las ondas se denominan viajeras y no interesan para el desarrollo de la práctica. En cambio, si un extremo del tubo está cerrado, hablaremos de vibraciones forzadas. Al llegar la onda a la pared o frontera, se refleja, invierte su dirección de propagación manteniendo su frecuencia e interfiriendo con las que avanzan en sentido contrario. La onda incidente y la reflejada tienen una diferencia de fase de

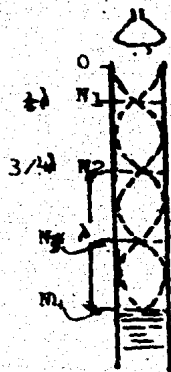
180° formándose lo que se llama un patrón de ondas estacionarias (llamadas así porque no viajan, únicamente vibran hacia arriba y hacia abajo con segmentos en fase opuesta alternados).

En una onda estacionaria se pueden distinguir zonas de máxima vibración llamadas vientres o antinodos y zonas de vibración cero, llamadas nodos. En el caso de un tubo cerrado en un extremo, en la interfase entre ambos medios se produce una interferencia destructiva y por lo tanto esa es una región nodal. Cuando la onda se ha alejado de la frontera media longitud de onda, las ondas original y reflejada están en la misma fase y forman un antinodo. Estarán en resonancia. (En general, siempre que sobre un sistema capaz de oscilar obran una serie de impulsos periódicos con frecuencia igual o casi igual a la frecuencia natural de oscilación del sistema, éste vibra con mayor amplitud. A éste fenómeno se le llama resonancia y se dice que el sistema resuena con los impulsos aplicados).

Durante esta práctica haremos vibrar una columna de aire dentro de un tubo cerrado por un extremo (tubo de resonancia), con una columna de agua cuyo nivel se puede variar.

En el extremo abierto se coloca una fuente productora de ondas sonoras (por ejemplo, una bocina, diapason, etc.). Al avanzar la perturbación y chocar contra la superficie del agua, el tren de ondas cambia su fase en 180° y se regresa. Si se varía el nivel del agua, se observara que, para ciertas dimensiones de la columna de aire que está vibrando, aumenta notoriamente el volumen del sonido. Esto se debe a que se forman ondas estacionarias que resuenan.

En la figura, la primera resonancia se presenta en N_1 , cuando el nivel del agua está muy cerca de la boca del tubo. La segunda se presenta en N_2 , a una distancia tres veces mayor que N_1 , la tercera viene en N_3 , a cinco veces la distancia de N_1 , etc. Se producen fracciones impares porque en la frontera con el agua siempre habrá un nodo y un vientre en la boca del tubo.



Si se conoce la frecuencia de la fuente productora del sonido se puede calcular la velocidad del sonido en el aire.

La distancia entre dos nodos consecutivos es $\lambda/2$, así que $\lambda = 2$ segmentos según el diagrama. La fórmula usada será:

$$v = n\lambda$$

donde:

n = frecuencia del sonido
 λ = longitud de onda

ACTIVIDADES:

- Emplear un tubo de resonancia y observar cómo varía la longitud de onda respecto a la frecuencia del sonido incidente.

- Obtener la velocidad de las ondas sonoras en el aire.

MATERIAL:

Un tubo de resonancia (tubo de vidrio de aproximadamente 5cm de diámetro interior y 1 m de largo, en cuyo interior se hace incidir una onda sonora que se refleja en la superficie de una columna de agua, produciéndose un patrón de interferencia entre la onda incidente y la reflejada, el cual captamos cualitativamente. En la parte inferior se adapta un tapón conectado a una manguera de hule que a su vez desemboca en un recipiente con agua. Este se puede subir o bajar para variar la altura de la columna de aire en el interior del tubo).

Bocina de automóvil

Aparato para medir la frecuencia del sonido (sonómetro)

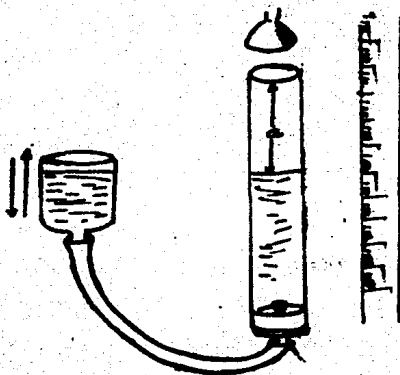
Regla

Sopote para el tubo

Termómetro

EXPERIMENTACION:

1.- Monte el aparato según muestra la figura:



2.- Ajuste a cero el nivel del agua de la columna. Tome la temperatura del aire en el interior del tubo.

3.- Encienda la bocina (fuente sonora) y ajústela a 400 mHz. La onda sonora proveniente de la fuente choca con la superficie del agua y se refleja, defasándose 180° . Así, la onda incidente y la reflejada se superponen dentro del tubo.

4.- Varíe la altura de la columna subiendo o bajndo el recipiente con agua, de modo que la resultante de la superposición de lasondas tenga una amplitud máxima, esto es, que se oiga con mayor intensidad. Decimos que se ha formado una onda estacionaria y la columna de aire resuena.

5.- Mida la altura de la columna de aire.

6.- Repita el proceso con intervalos de 100 mHz, desde 400, hasta 1000 mHz, midiendo la altura de la columna cada vez que resuene. Se observará que según va subiendo la escala, el sonido es más agudo y la distancia entre un máximo de intensidad y otro, menor cada vez.

CUESTIONARIO:

1.- ¿Qué tipo de ondas son las sonoras?

Longitudinales.

2.- ¿Cuál es la principal diferencia entre ondas transversales y longitudinales?.

En una onda transversal las partículas vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda; en una onda longitudinal, las vibraciones tienen lugar en la dirección de propagación de las ondas.

3.- Dibuje el patrón de ondas estacionarias dentro del tubo.



4.- Calcule la velocidad del sonido en el aire, de acuerdo a las frecuencias utilizadas. Explique los resultados y cómo se calcularon las incertidumbres.

Tenemos:

$$v = \lambda/T ; T = 1/f$$

$$v = \lambda f ; \text{si } \lambda = 2l$$

$$v = 2lf$$

La tabla que sigue contiene los promedios de los datos experimentales:

f (Hz)	l (cm \pm 0.5)	2l (cm \pm 1.0)	v (m/s)	\pm
100	176.5	342	342	1.0
200	86.0	172	344	2.0
300	56.0	112	336	3.0
400	42.5	85	340	4.0
500	34.0	68	340	5.0
600	28.5	57	342	6.0
700	24.0	48	336	7.0
800	21.0	42	336	8.0
900	19.0	38	342	9.0
1000	16.0	32	320	10.0

Se obtuvieron estos valores en el tubo de resonancia:

f (Hz)	l (cm ± 0.5)	λ (cm ± 1.0)	v (m/s)
100	185	371	371
	176.5	342	342
	Promedio 180.7	356.5	356.5
200	86	172	344
	87	174	348
	Promedio 86.5	173	346
300	56	112	336
	54	108	324
	Promedio 55	110	330
400	42.5	85	340
	41	82	328
	42	84	336
	44.1	88.2	352.8
	Promedio 42.4	84.8	339.2
500	34	68	340
	34.5	69	345
	35	70	350
	30	60	300
	Promedio 33.5	67	335
600	28.5	57	342
	29	58	348
	28.2	56.4	338.4
	29.5	59	354
	Promedio 28.8	57.6	345.6
700	24	48	336
	24	48	336
	24.3	48.6	340.2
	24	48	336
	Promedio 24.07	48.1	336.7
800	21	42	336
	21	42	336
	21.1	42.2	337.6
	Promedio 21.03	42.06	336.5
	900	19	38
18.5		37	333
19		38	342
Promedio 18.8		37.6	339
1000	16	32	320
	17	34	340
	16	32	320
	Promedio 16.3	32.6	326

Promedio de velocidades:

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{n}$$

$$\bar{v} = 3378/10 = 337.8 \text{ m/s}$$

Promedio de incertidumbres:

$$\bar{l} = \frac{\sum l}{n} = 55/10 = \pm 5.5 \text{ m.}$$

Se tomó como incertidumbre en l la mitad de la medida más pequeña de la regla. Aunque es constante en " l ", influye en diversos grados al determinar la velocidad.

$$v_{\text{Exp}} = 337.8 \text{ m/s} \pm 5.5 \text{ m}$$

$$v_{\text{Teór.}} = 340 \text{ m/s}$$

El resultado queda dentro de los límites permisibles.

5.- Compare los resultados obtenidos con el valor que se da en los libros de teoría. ¿Qué concluye con relación a la precisión de las mediciones hechas en el laboratorio?

Al comparar ambos resultados se observa que están aceptablemente cercanos y por tanto, las mediciones hechas en el laboratorio fueron razonablemente precisas.

6.- ¿Cuáles le parece que son las causas de error más probables en el experimento?

En primer lugar, la dificultad para encontrar exactamente el punto de mayor resonancia; en segundo y tercer lugar, dificultades para medir la longitud, ya sea por errores de paralaje o por mover la regla y el no determinar la temperatura del experimento.

7.- ¿Cuáles son los factores externos que modifican la velocidad del sonido?

La temperatura del aire, su humedad, el viento.

OBSERVACIONES:

Es recomendable registrar la temperatura ambiente.

Para eliminar errores de paralaje, es conveniente marcar con ligas alrededor del tubo los puntos de resonancia, ajustarles minuciosamente y medirlos:



Es difícil determinar con precisión los puntos de resonancia, por lo que se recomienda tomar el promedio de varias lecturas, la mitad de ellas tomadas cuando aumenta la longitud del tubo y la otra mitad cuando disminuye.

PARTE B

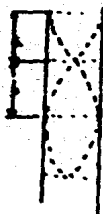
OBJETIVO:

Analizar las causas del llamado "error de borde" en el tubo de resonancia.

FUNDAMENTO TEORICO:

En la primera parte, el objetivo fue medir la velocidad del sonido en el aire, a través de la resonancia de una columna de aire. El procedimiento fue el de medir la distancia entre dos puntos de máxima intensidad sonora para una frecuencia dada. Las ondas estacionarias tienen un nodo de desplazamiento en la superficie del agua y un antinodo en la boca del tubo. Así, teóricamente, la distancia entre la boca del tubo y el primer nodo de intensidad debería ser igual a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, tomando la distancia entre dos nodos sucesivos como el doble de la distancia de la boca del tubo al primer nodo.

En la práctica, sin embargo, se observa una discrepancia entre esos resultados, pues la segunda distancia no resulta ser exactamente igual a la primera. De hecho, \bar{a} es menor que \bar{b} :



El objetivo de esta parte es analizar las causas de tal discrepancia, generalmente llamada "error de borde".

ACTIVIDADES:

- Analizar las causas de la diferencia mencionada
- Diseñar un procedimiento para tratar de eliminarla.

EXPERIMENTACION:

Hemos supuesto que la reflexión en el extremo abierto tiene lugar exactamente en el plano del extremo. Esto no es rigurosamente cierto, ya que la reflexión tendrá lugar tras una cierta expansión en la región más allá del extremo del tubo. Como en los tubos de gran diámetro vibra una masa de aire mayor que en un tubo de pequeño diámetro, el efecto de la inercia llevará más lejos la expansión en el caso del tubo mayor.

Al diseñar el experimento deben relacionarse las variaciones en el diámetro del tubo y la frecuencia con la distancia de la boca del tubo al primer nodo, cuidando de reducir al máximo las incertidumbres, dado que las relaciones van a ser determinadas empíricamente.

○ La experiencia muestra que el "error de borde" se puede eliminar aplicando una corrección del extremo que depende de la sección transversal de la columna. En los tubos en que el diámetro interior es pequeño comparado con la longitud de onda, hay que añadir una distancia igual a 3 décimas del diámetro al extremo abierto para localizar el antinodo.

BIBLIOGRAFIA:

Busche, F.- Fundamentos de física; Mc Graw-Hill, México, 1977, p 3:21-326; 353-356.

Dalsh, C.B. & Pender D.H.- Física experimental para estudios elementales y superiores.- Unión Tipográfica Editorial Hispano-americana. México, 1964. p 208-209; 211-214.

Eldrige, J.A.- College Physics.- John Wiley & Sons Inc., New York, 1947. P. 329-330.

Lewin, G.F.- Physics for engineers.- Butterworths, London, 1963. p 160-162; 169-188.

Perkins, H.- Basic College Physics.- Prentice-Hall Inc., New York, 1953. p 266-270.

Resnick, R. & Halliday, D.- Física para estudiantes de ciencias e ingeniería.- Vol. I.- Cía. Editorial Continental, S.A., 1963; p 657; 674; 1331.

Sears, F. & Zemansky, M.- Física General.- Aguilar S.A. de ediciones, Madrid, España, 1967. p 392.

Stollberg, R. & Pitch, F.- Física. Fundamentos y fronteras.- Publicaciones Cultural, S.A., México, 1982. p 496-500.

Tippens, P.-Física, conceptos y aplicaciones.- McGraw-Hill, México, 1981. p290-293; 302.

White, H.- Física descriptiva.- Ed. Reverté Mexicana, S.A., México, 1966. p 214-217.

PRACTICA No. 7
CUERDAS VIBRANTES
PARTE A.

DURACION: 1:30 Hs.

OBJETIVO:

Investigar el comportamiento de las cuerdas vibrantes, midiendo los cambios en la longitud de onda y su velocidad de propagación cuando se introducen variaciones en el sistema.

FUNDAMENTO TEORICO:

Las leyes fundamentales para la frecuencia de vibración de las cuerdas parecen haber sido descubiertas independientemente por Marsenne y Galileo en 1635. Noticias de estos descubrimientos se encuentran en "Harmonie Universalle" del primero, y en "Dos nuevas ciencias", del segundo.

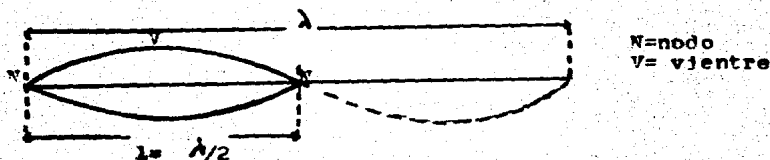
Consideremos dos ondas que se mueven simultáneamente en la misma región. Las dos se propagan independientemente, causando cada una su propia perturbación; el efecto total variará según las características de cada una:

Dos ondas de la misma frecuencia, en concordancia de fase, producen interferencia constructiva. Dos ondas de la misma frecuencia, en oposición de fase y que se mueven en la misma dirección producen interferencia destructiva. Dos ondas cuyas frecuencias son parecidas producen una interferencia periódica que se conoce como trémolo o pulsación.

Hay otro tipo de interferencia que se produce cuando ondas diferentes, pero de frecuencia y amplitud iguales, se propagan en un ángulo

die en sentidos opuestos. El resultado son las llamadas ondas estacionarias, donde existen puntos, líneas o superficies siempre en reposo. Los sitios donde la amplitud es cero se llaman nodos y aquellos donde es máxima se llaman vientres o antinodos.

La distancia entre dos nodos consecutivos o dos vientres consecutivos es igual a $\lambda/2$ (media longitud de onda):



Los patrones de ondas estacionarias se utilizan para medir longitudes de onda.

Cuando una onda vibra formando un sólo vientre en el centro y un nodo a cada extremo, se dice que está vibrando en su frecuencia fundamental, o primer armónico. Esta vibración corresponde a la frecuencia mínima. Se producen otros modos de vibración al establecer nodos entre los extremos de la cuerda. Los otros modos de vibración en 2, 3, 4, ..., n curvas, de frecuencias 2, 3, 4, ..., n veces la fundamental, son el 2º, 3º, 4º armónicos.

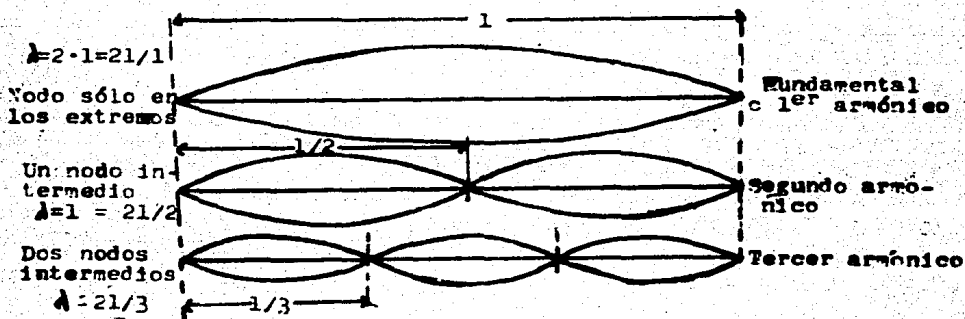
La palabra armónica se originó en el estudio de los instrumentos musicales de cuerda, pero se aplica también a vibraciones no relacionadas con la música.

En una cuerda de longitud l, que vibra en n husos, la longitud de onda del armónico correspondiente es:

$$\lambda = 2l/n$$

La ecuación de la velocidad de una onda es:

$$v = f\lambda$$



La frecuencia de la vibración puede expresarse en función de las constantes de la cuerda:

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{s}{m_1}}$$

donde:

- n = número de husos que se forman
- l = longitud de la cuerda
- s = tensión a la que está sujeta la cuerda
- m_1 = masa de la cuerda por unidad de longitud.

Se puede verificar esta ecuación utilizando un sonómetro (experimento de Melde), que consiste en una cuerda o alambre montado sobre una caja resonante y apoyado en un puente móvil. Uno de los extremos de la cuerda está fijo y el otro pasa por una polea y remata en un contrapeso que da tensión a la cuerda. Se puede hacer que vibre de modos distintos, ya sea con un emisor de ondas colocado en el extremo fijo o tocándola suavemente. La tensión se varía cambiando las masas colgantes (contrapesos) y la longitud, desplazando el puente móvil.

ACTIVIDADES:

-Hacer observaciones cualitativas de fenómeno de ondas estacionarias

rias.

-Graficar longitud de onda vs tensión de la cuerda.

-Para cada valor de longitud de onda obtener el correspondiente valor de velocidad y graficar velocidad vs tensión.

MATERIAL:

Soporte de madera de aproximadamente 1m de longitud, con un transformador, clavija y soporte para el alambre en un extremo, y en el extremo opuesto, una polea.

Un alambre de cobre delgado, de aproximadamente 1.20 m de longitud.

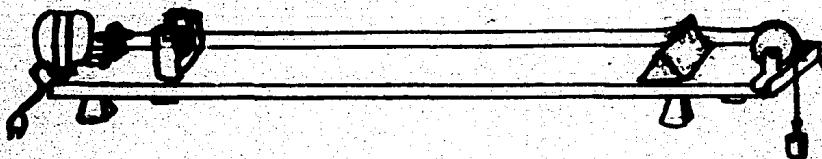
Pesas de 10, 20 y 50g

Imán en forma de herradura

"Puente" de madera o aluminio para variar la longitud del alambre.

EXPERIMENTACION:

1.- Montar el aparato según lo muestra la figura. El alambre de cobre se sujeta en el soporte correspondiente, se pasa sobre la polea y se tensa colgándole pesas.



2.- Conecte la clavija del transformador a la toma de corriente. Se crea así alrededor del alambre un campo magnético variable que oscila con la misma frecuencia que la corriente que lo genera.

3.- Coloque un imán que rodee al alambre, de manera que interactúe con el campo generado por la corriente alterna. Se genera así una fuerza variable que actúa en el plano vertical y hará oscilar al alambre con la misma frecuencia de la corriente.

4.- Para hacer una primera observación, coloque una pesa de 50g para tensar el alambre. Coloque el "puente" cerca de este extremo y recórralo lentamente en dirección al imán.

5.- Si la separación entre el puente y el soporte es tal que la frecuencia natural de vibración del alambre sea igual a la de la corriente suministrada, se presentará el fenómeno de resonancia y tendrá lugar una gran vibración del alambre.

Observe la forma que toma el alambre al vibrar y al ir modificando la distancia (frontera) con el puente.

6.- Mida la longitud de onda cada vez que se forme claramente un nodo.

Una vez realizadas estas observaciones preliminares, investigaremos la relación entre las variables del sistema. Para ello, escogemos la tensión como variable independiente y medimos los cambios en la longitud de onda.

7.- Variando la tensión de la cuerda mediante diferentes masas, mida la longitud de onda para cada valor de masa. Haga una tabla de tensión contra longitud de onda incluyendo incertidumbres.

Para cada valor de longitud de onda, obtenga el correspondiente valor de velocidad.

Tenemos:

$$f = 60 \text{ Hz};$$

$$v = \lambda f$$

Se obtuvieron estos valores:

Tensión (g)	$\frac{1}{2} \lambda$ (cm \pm 0.05)	Promedio (cm \pm 0.05)
10	20.9, 20.6, 20.6	20.7
15	23.0, 23.0, 23.6	23.2
20	25.0, 25.0, 25.0	25.0
25	27.6, 27.9, 27.7	27.7
30	30.0, 29.8, 30.1	30.0
35	33.3, 33.3, 33.4	33.3
40	34.0, 34.5, 33.5	34.0
45	36.4, 36.4, 36.7	36.5
50	39.3, 39.4, 39.0	39.2
55	41.6, 41.6, 41.9	41.7
60	43.3, 43.6, 43.0	43.3
65	45.7, 45.8, 45.8	45.8
70	48.0, 48.6, 48.3	48.3
75	50.0, 50.0, 50.0	50.0
80	52.0, 52.7, 52.5	52.5
85	53.9, 53.8, 54.3	54.0

A partir de los cuales se calculó la velocidad de propagación para cada caso:

\sqrt{F}	Tensión (g)	$\frac{1}{2} \lambda$ (cm \pm 0.05)	λ (cm \pm 0.10)	Velocidad (m/s \pm 0.06)
3.16	10	20.7	41.4	24.80
3.87	15	23.2	46.4	27.84
4.47	20	25.0	50.0	30.00
5.00	25	27.7	55.4	33.20
5.47	30	30.0	60.0	36.00

\sqrt{T}	Tensión	λ	λ	Velocidad
5.91	35	33.3	66.6	40.00
6.32	40	34.0	68.0	40.80
6.70	45	36.5	73.0	43.80
7.07	50	39.2	78.4	47.00
7.41	55	41.7	83.4	50.00
7.74	60	43.3	86.6	52.00
8.06	65	45.8	91.6	55.00
8.36	70	48.3	96.6	58.00
8.66	75	50.0	100.0	60.00
8.94	80	52.5	105.0	63.00
9.21	85	54.0	108.0	65.00

8.- Grafique velocidad vs tensión. Con los mismos datos, haga el cambio de variable necesario para obtener una recta.

La relación velocidad vs tensión se muestra en la gráfica 1.

La relación velocidad vs \sqrt{T} se muestra en la gráfica 2. Podremos observar que $v = k \sqrt{T}$.

9.- Ahora supongamos que hicimos otro experimento, buscando en contrar la relación entre velocidad de propagación y densidad lineal de la cuerda, obteniendo los siguientes resultados:

$\sqrt{\mu}$	Densidad lineal (g/m)	Vel. de propagación (m/s)
1.25	1.57 ± 0.005	25.4 ± 0.5
1.15	1.34 " "	27.3 " "
1.10	1.21 " "	28.3 " "
1.00	1.02 " "	31.4 " "
0.95	0.91 " "	33.0 " "
0.87	0.77 " "	36.1 " "

Grafique estos datos. Haga un cambio de variable para obtener una recta.

Las gráficas correspondientes son las número 3 y 4.

CUESTIONARIO:

1.- ¿Qué representan los puntos inmóviles que se observan al vibrar la cuerda?

Son los nodos, sitios donde la amplitud es cero.

2.- ¿Cuál es la longitud de onda?

Es la obtenida al multiplicar por dos la distancia entre dos nodos o dos vientres consecutivos.

3.- ¿Cuál es la velocidad?

La que resulta de la ecuación $v = f\lambda$; si suponemos que $f=60$ Hz, tendremos que $v = (60 \text{ seg}^{-1})(\lambda)$.

4.- ¿Cuál es la incertidumbre en la medida de la velocidad?

$$\delta\lambda = \pm 0,15 \text{ cm}$$

δv = incertidumbre de la velocidad

$$v = f\lambda \quad ; \quad f = 60 \text{ Hz}$$

$$\delta v = \left(\frac{\partial v}{\partial \lambda}\right) \delta \lambda$$

$$\delta v = (60 \text{ s}^{-1})(0,15 \text{ cm}) = \pm 6,0 \text{ cm/s.}$$

5.- ¿Qué tipo de función relaciona la velocidad con la tensión?

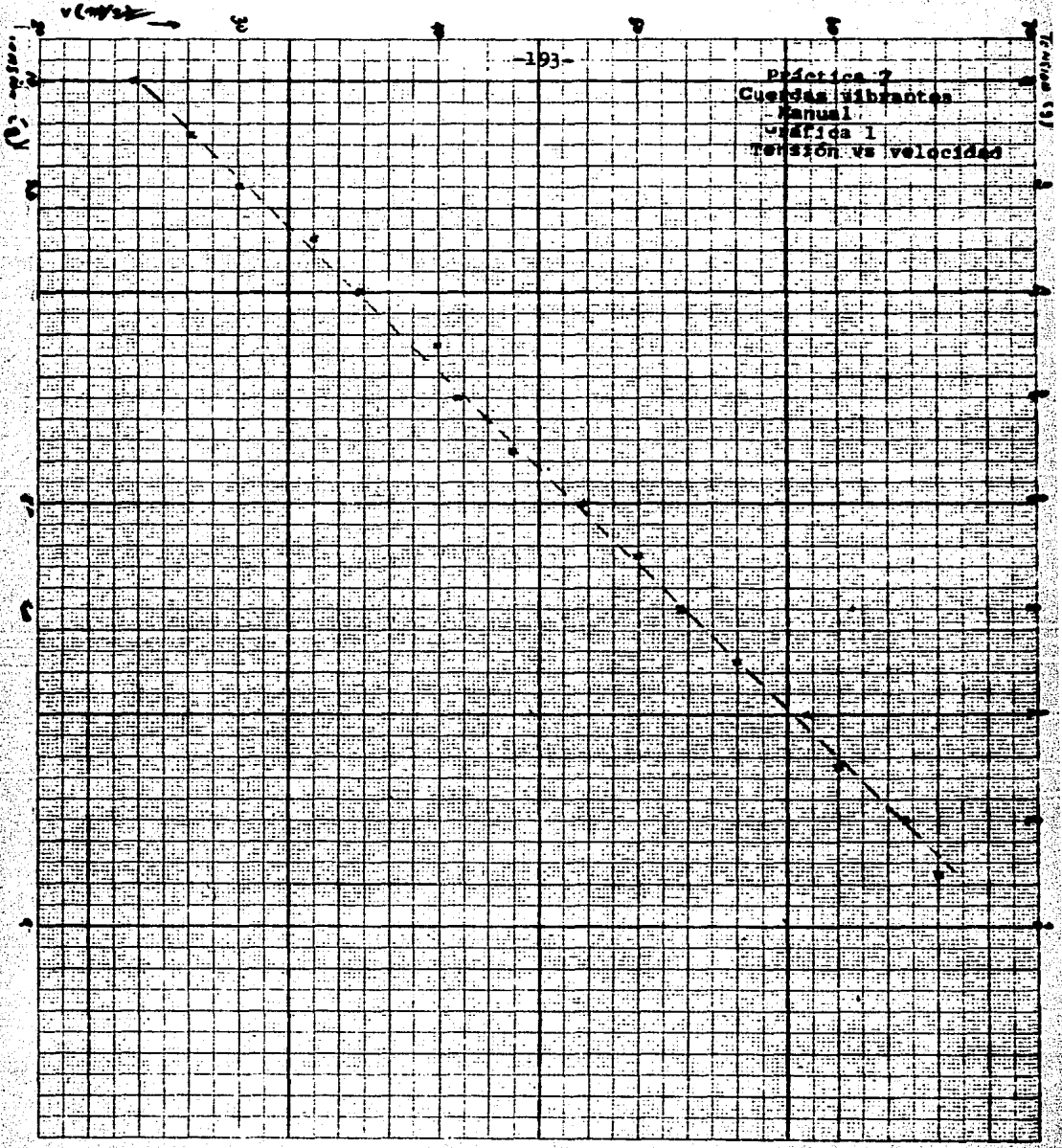
La función cuadrática $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

CONCLUSIONES:

Reuniendo los resultados de velocidad-tensión y velocidad-densidad, encuentre la ecuación que relaciona las tres variables.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Práctica 7
Cuerdas vibrantes
Manual
Gráfica 1
Tensión vs velocidad

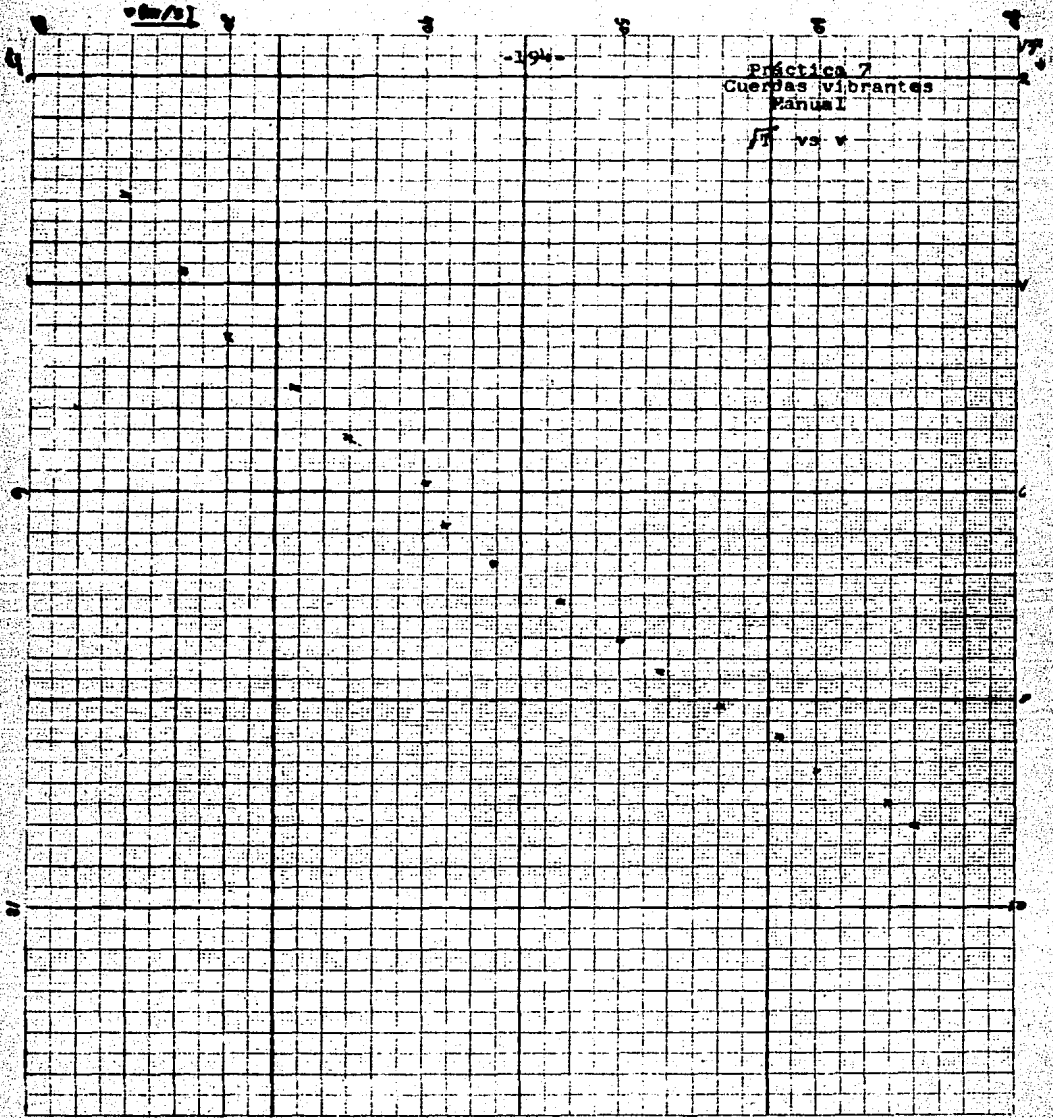


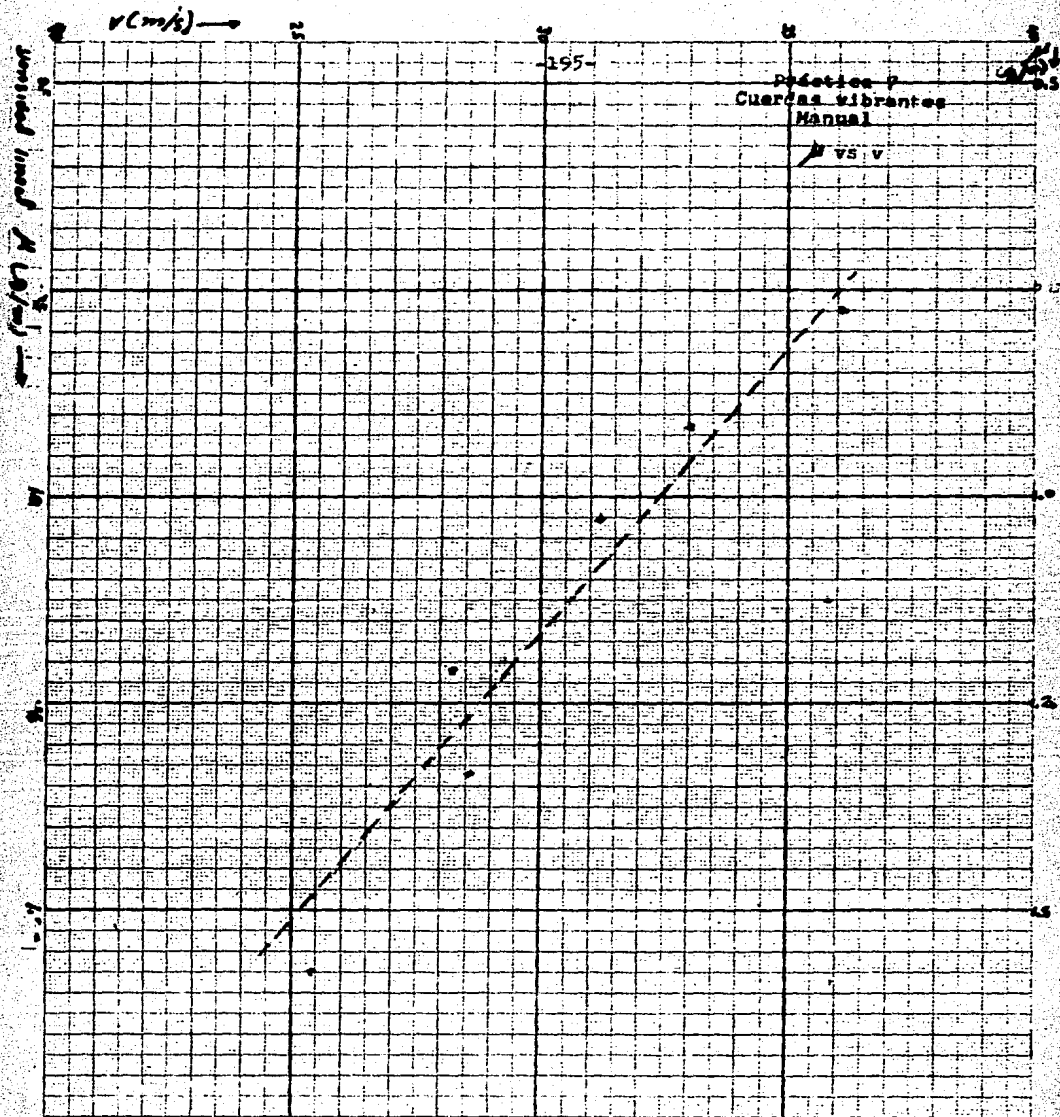
0.001

-194-

Práctica 7
Cuerdas vibrantes
Párrafo I

\sqrt{f} vs v



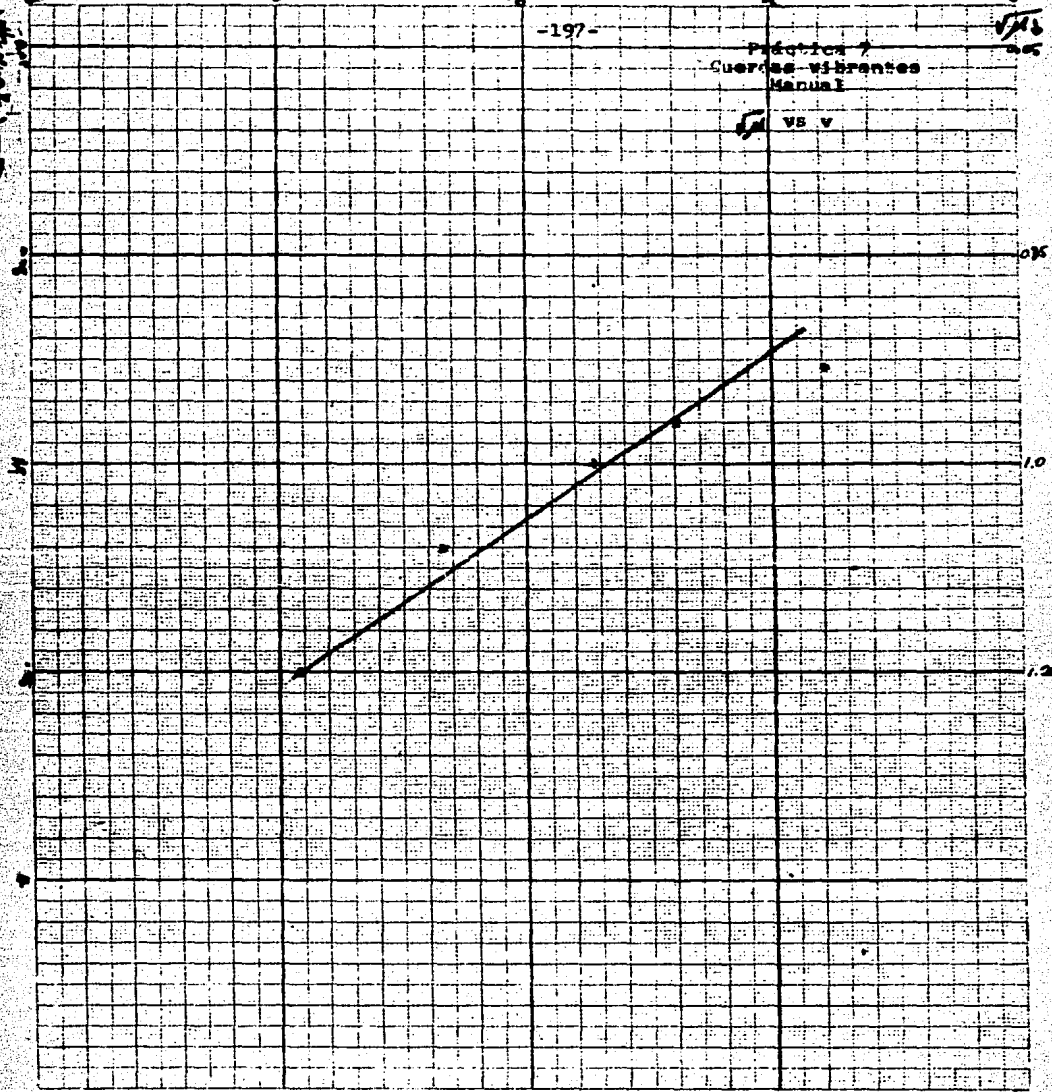


$v(m/s) \rightarrow$

-197-

Práctica 7
Cuerdas vibrantes
Manual

VS v



BIBLIOGRAFIA

Blackwood, O.- Física General.- Cía. Ed. Continental, México, 1967.- p 251-254.

Bueche, H.- Fundamentos de Física.- McGraw-Hill, México, 1947 p 321-357.

Daish, C.B.- Física Experimental para estudios elementales y superiores.- Unión Tipográfica Editorial Hispano Mexicana, México, 1964.- p 208-214.

Eldrige, J.- College Physics.- Prentice-Hall Inc., New York, 1953.- p 329-330.

Lewin, G.F.- Physics for engineers.- Butterworths, London, 1963 p 160-162; 169-188.

Perkins, H.- College Physics.- Prentice-Hall Inc., New York, 1948.- p 267-269.

Resnick, R.- Física. Parte I.- Cía. Ed. Continental, México, 1979.- p 657; 674; 1331.

Sears, F.- Física General, Aguilar, S.A.- Madrid, 1967.- p 392.

Stolberg, R.- Física. Fundamentos y fronteras.- Publicaciones Cultural, S.A.- México, 1982.- p 496-500.

Tippens, P.- Física, conceptos y aplicaciones.- McGraw-Hill México, 1981.- p 290-293; 302.

White, H.- Física descriptiva.- Ed. Reverté Mexicana, México, 1966; p 214-217.

PRACTICA No. 8

FLAUTAS

MANUAL.

DURACION: Indeterminada.

Una familia muy importante de instrumentos musicales está basada en los movimientos de columnas de aire contenidas en recipientes de cualquier forma, por ejemplo, una jarra de agua.

En el caso de una cuerda, iniciamos las vibraciones jalándola y luego soltándola, con lo cual la cuerda se mantiene vibrando y radiando sonido por algún tiempo. No podemos hacer (en sonidos de columnas de aire) ningún experimento paralelo totalmente exitoso, pero algo se puede lograr. Tomemos una serie de tubos de ensaye iguales, unos con cierta cantidad de agua, otros casi vacíos, cerrados con tapones de corcho. Al jalar los tapones, las columnas de agua contenidas en cada tubo se ponen a vibrar como una cuerda cuando la tañemos. Sin embargo, las notas duran muy poco tiempo; la energía es radiada al exterior muy rápidamente, mucho más que en el caso de la cuerda.

Cuando se vierte agua de una botella llena se oye un sonido que consiste en una sucesión de notas de muy corta vida. Se observa, además, que el tono disminuye a medida que la cantidad de aire en la botella aumenta. Al llenar la botella en la llave también se oye un sonido. En este caso el tono aumenta al disminuir el espacio libre.

Es tan fácil obtener una variedad de notas con estas masas vibrantes de aire como con una cuerda. Tenemos que usar colum-

nas largas o grandes masas de aire para obtener notas bajas y columnas cortas o pequeñas masas de aire para las notas altas.

Si queremos que la nota suene continuamente, no podemos limitarnos a producir un disturbio aislado en la columna; necesitamos mantenerlo. Hay muchas formas de conseguirlo. Una es soplando a través de la boca del tubo. Todos lo hemos hecho alguna vez".

Sir William Bragg,
"The world of sound"

OBJETIVO:

Construir una flauta u otro instrumento de funcionamiento similar haciendo uso de los conocimientos adquiridos (resonancia, ondas estacionarias) y otros que será necesario adquirir.

FUNDAMENTO TEORICO:

Hay un marcado paralelismo entre las ondas transversales formadas por una cuerda en vibración y las ondas longitudinales formadas por las ondas de compresión que se forman al soplar dentro de un tubo. Los fenómenos de reflexión, superposición, ondas estacionarias, resonancia, se aplican sin cambio esencial. La principal diferencia es la siguiente: la propiedad que describe la perturbación ondulatoria ya no es un desplazamiento transversal, sino un desplazamiento longitudinal, una variación de la densidad o una variación de la presión. Son las llamadas ondas de compresión. Es condición esencial para la existencia de ondas longitudinales que el medio (en nuestro caso el aire) posea inercia y sea deformable elásticamente.

Des ondas de compresión interfieren de manera constructiva cuando la densidad o la presión aumentan de valor por la superposición de los cambios separados y recíprocamente para la interferencia destructiva.

Las ondas estacionarias pueden presentarse en un medio en el que se propague una perturbación ondulatoria, cuando se mueven en sentidos opuestos ondas que tengan la misma longitud de onda. La perturbación resultante es una onda estacionaria, con nodos y vientres alternados. Los antinodos y los nodos adyacentes están separados por medias longitudes de onda.




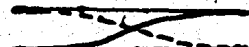
Cuando una onda sonora se propaga a través de un tubo, los modos de oscilación permitidos y las frecuencias características dependen de si el tubo está abierto por los dos extremos o por uno solo. En ambos casos se deben considerar las condiciones de los límites:

En un tubo abierto por ambos extremos debe haber un vientre de desplazamiento o nodo de presión en cada uno de los extremos abiertos. La longitud L del tubo siempre es un múltiplo entero de $\frac{1}{2}\lambda$; las frecuencias permitidas corresponden a las de todos los armónicos de la fundamental (se llama frecuencia fundamental a la frecuencia mínima $v = \sqrt{T/\mu} / 2L$ y las frecuencias que son múltiplos enteros de ella son llamados sobretonos, los cuales forman una serie armónica. La frecuencia $2v$ es el primer sobretono, o sea, el segundo armónico; la frecuencia $3v$ es el segundo armónico y así sucesivamente.





La flauta funciona mediante un chorro de aire que pega contra un borde afilado, lo que causa una perturbación que sube y baja

por el tubo, forzando al chorro mismo a moverse hacia adentro y hacia afuera periódicamente mientras persista la corriente de aire. Las frecuencias están determinadas por las dimensiones del tubo, que a su vez están condicionadas por los agujeros que se le hayan hecho.

Tubo abierto por ambos extremos: Frecuencias permitidas

		$L=4(\lambda/2); f_4=4f_1=4v/\lambda$
3 ^{er} armónico		$L=3(\lambda/2); f_3=3f_1=3v/\lambda$
2 ^o armónico		$L=2(\lambda/2); f_2=2f_1=2v/\lambda$
1 ^{er} armónico		$L=\lambda/2; f_1=f_1=v/\lambda$

Cuando el tubo está cerrado por un extremo, debe haber un antinodo o vientre de presión en el extremo abierto y un nodo en el extremo cerrado. Los modos de oscilación permitidos y las frecuencias características son las siguientes:

	Frecuencias permitidas	
	$L=7(\lambda/4)$	$7f_1$
	$L=5(\lambda/4)$	$5f_1$
	$L=3(\lambda/4)$	$3f_1$
	$L=\lambda/4$	f_1

Si el largo del tubo es de aproximadamente 0.5 m, la frecuencia fundamental es:

$$f_1 = \frac{c}{4L} = \frac{344 \text{ m/s}}{4(0.5 \text{ m})} = 172 \text{ Hz}$$

En un tubo cerrado, el extremo abierto es un vientre como ya se dijo y el extremo cerrado es un nodo; la longitud del tubo es un cuarto de onda para el modo fundamental de vibración.

En el tubo abierto por ambos extremos, la condensación se refleja formando un enrarecimiento y hay vientres en ambos extremos. Si sólo hay un nodo entre los extremos, la columna de aire vibra a su frecuencia fundamental y la longitud del tubo es una semilongitud de onda.

En la expresión de las frecuencias:

$$f = v/\lambda = nv/2L$$

tenemos:

v= velocidad del sonido en
aire o en otro gas

n= número de hucos en la
onda estacionaria
(en tubos cerrados

$n=1, 3/2, 5/2, \dots$; en
tubos abiertos $n=1, 2, 3, \dots$)

Esta ecuación de las columnas de aire no se verifica exactamente a no ser que se aplique una "corrección del extremo", que depende de la sección transversal de la columna. En tubos cilíndricos cuyo radio interior r es pequeño comparado con la longitud de onda, hay que añadir una distancia de $0.6r$ al extremo abierto para localizar el antinodo con mayor precisión.

La música se basa en la mezcla y sucesión de sonidos que produzcan sensaciones auditivas agradables. El oído humano reconoce que el intervalo musical entre dos sonidos es igual al que hay entre otros dos cuando los cocientes entre las frecuencias

son iguales en los dos casos, sea la que fuere la diferencia entre las mismas. Luego, el intervalo musical entre los tonos cuyas frecuencias son f_1 y f_2 es f_2/f_1 y no f_2-f_1 .

La sucesión completa de los tonos que se usan en música constituye una escala y los tonos se llaman notas de la escala. Las escalas musicales se fundan en relaciones de 2 a 1, 4 a 3, 5 a 3, 5 a 4 y 6 a 5.

La escala mayor diatónica o natural, fundándose en el La normal de concierto, tiene las siguientes frecuencias e intervalos. La nota más baja se llama tónica.

Nota	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do	Re
Frecuencia	264	267	330	352	396	440	495	528	594

Intervalos sucesivos (1)	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$...
--------------------------	---------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	---------------	-----------------	-----

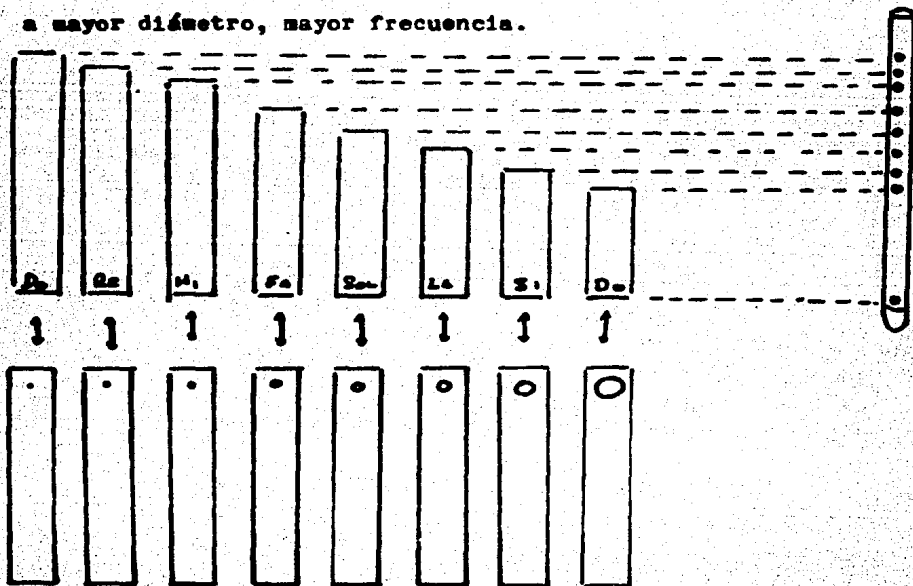
Intervalo entre cada nota de la escala y la tónica (2)	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
	1.0	1.125	1.25	1.333	1.5	1.67	1.875	2.000

(1).- Los intervalos $9/8$ y $10/9$ se llaman tonos y el $16/15$ se llama semitono.

(2).- Esto quiere decir que la segunda nota corresponde a un movimiento vibratorio cuya frecuencia vale $8/8 + 1/8 = 9/8$ de la que produzca la fundamental; la tercera, $9/8 + 1/8 = 10/8 = 5/4$, etc.

En las flautas, flautín, quena, etc., el aire vibra al introducirse al tubo; la longitud de la columna de aire se hace variar descubriendo los agujeros del tubo; al variar la longitud se obtienen las diferentes notas. Cuanto mayor es la distancia entre la boca del tubo y el orificio, más grave es la nota producida. El diámetro del agujero también afecta a la frecuencia. A mayor diámetro, notas más agudas.

En la figura se ilustra la magnitud de estos efectos. Cada agujero en la flauta de la derecha es equivalente a un tubo de la longitud marcada a su izquierda. Puede notarse que, a menor longitud, mayor frecuencia o tono de la nota. Por otra parte, cada tubo de la parte inferior tiene una frecuencia igual a la del tubo colocado encima de él. También se puede apreciar que, a mayor diámetro, mayor frecuencia.



ACTIVIDADES:

- Conseguir un carrizo o tubo de cualquier material.
- Hacerle los agujeros adecuados para que resuene armónicamente.

EXPERIMENTACION:

Hacer una flauta es fácil e instructivo. Puede usarse un tubo de casi cualquier material para que funcione. La información dada en la parte teórica es útil aunque no exhaustiva.

Determine la longitud que debe tener su tubo para producir las notas que se deseen y construya su flauta.

CUESTIONARIO:

- 1.- El material usado para su flauta fue:
- 2.- La longitud:
- 3.- Diámetro interior:
- 4.- ¿Con cuántos agujeros la hizo?
- 5.- ¿Es abierta o cerrada?
- 6.- ¿Qué notas da y en qué frecuencia se producen?
- 7.- Haga un esquema de su flauta indicando las medidas y datos que considere pertinentes.

Esta práctica se diseñó con la intención de que los alumnos tuvieran una experiencia personal y más o menos divertida acerca del movimiento vibratorio. Las preguntas son abiertas y las respuestas innumerables.

CONCLUSIONES:

Exponga brevemente las dificultades que encontró para construir su flauta y cómo las solucionó.

BIBLIOGRAFIA

- Ballard, S.- Principios de Física.- Ed. Reverté, México, 1957
p 497-502.
- Cueche, F.- Fundamentos de Física.- McGraw-Hill, México, 1977
p 356-357.
- Duff, W.- College Physics.- John Wiley & Sons, New York, 1947
p 166-171.
- Eldrige, J.- College Physics.- John Wiley & Sons, New York,
1947.- p 330-331; 342.
- Josephs, J.- La física del sonido musical, Ed. Reverté Mexicana,
México, 1969, p 1-29; 118-122.
- Perkins, H.- Basic College Physics.- Prentice-Hall Inc., New
York, 1953.- p253-257.
- Sintes, F.- Física General aplicada, E. R Sopena, Barcelona,
1962.- 244-249.
- Stollberg, R.- Física. Fundamentos y fronteras.- Pub. Cultural
Mexicana, 1982.- p 495-496; L95-L96.
- Tippens, Paul.- Física. Conceptos y aplicaciones.- McGraw-
Hill, México, 1981.- p 284-286; 296.
- White, H.- Física descriptiva.- Ed. Reverté Mexicana, México,
1966.- p 212-234.

PRACTICA No. 9
IMAGENES EN ESPEJOS PLANOS
MANUAL.

DURACION: 1:30 Hs.

OBJETIVOS:

- Comprobar que el ángulo de incidencia y el de reflexión en un espejo plano son iguales.

-Determinar la distancia entre el espejo y la imagen virtual de un objeto; compararla con la distancia entre el espejo y el objeto puesto frente a él.

FUNDAMENTO TEORICO:

Cuando ondas electromagnéticas tales como las de la luz llegan a una frontera entre dos medios, pueden retornar al primer medio causando el fenómeno de reflexión o bien, pueden seguir su camino y atravesar el segundo medio. En esta práctica nos ocuparemos del primer caso, que por cierto cas dentro de los dominios de la óptica geométrica.

En la reflexión es importante que la fracción de luz reflejada sea lo más grande posible, cosa que se obtiene utilizando la superficie muy pulimentada de un metal, o aplicando una fina capa metálica a una superficie pulida. En el pasado se hacían generalmente recubriendo vidrio con plata, escogiéndose esta última por ser reflectora tanto en el ultravioleta como en el infrarrojo, y el primero por su rigidez. En tiempos recientes los recubrimientos de aluminio evaporados al vacío sobre sustratos altamente pulidos han quedado como prototipos de espejos de cali-

dad.

A menudo se depositan también sobre el aluminio capas protectoras de monóxido de silicio o fluoruro de magnesio. En aplicaciones especiales, por ejemplo láseres, donde no se pueden tolerar ni aún las pequeñas pérdidas debidas a superficies metálicas, se están haciendo indispensables los espejos formados por películas dieléctricas múltiples. Se está desarrollando una nueva generación de espejos livianos de precisión para usarse en telescopios en órbita.

Los espejos se pueden recubrir en la superficie frontal o posterior. El último tipo es el que se encuentra en la vida diaria porque la cubierta reflectora queda protegida por el vidrio. En cambio, la mayoría de los espejos diseñados para uso más técnico, se cubren al frente; puede así lograrse que la luz reflejada sea casi el 100% de la incidente. Espejo será, por tanto, el cuerpo que cumpla con este requisito.

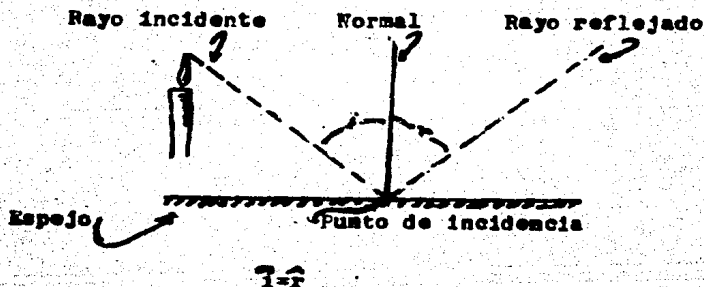
En óptica geométrica se acostumbra hablar de rayo luminoso, entendiéndose como tal a la trayectoria de la energía radiada; coincide con la normal a la onda en los medios isótropos. Las observaciones se hacen siempre en el aire, que es isótropo y el rayo se representa con una flecha.

Se demuestra experimentalmente que siempre que un rayo de luz se refleja en una superficie plana, la naturaleza de la luz reflejada puede describirse con leyes simples y bien definidas. La más simple de ellas es conocida como Ley de la reflexión, y dice: el ángulo con que cae (incide) un rayo de luz sobre una superficie reflectora, es exactamente igual al ángulo que forma el ra-

yo que sale (reflejado) con la misma superficie. En lugar de medir ambos ángulos desde la superficie del espejo, se acostumbra medirlos desde una línea, llamada normal, perpendicular al espejo. Para todos los ángulos de incidencia tenemos:

$$\text{ángulo } i = \text{ángulo } r$$

Estas desviaciones que sufren los rayos luminosos van acompañados de la formación de imágenes.



La segunda ley establece que el rayo reflejado está dentro del plano de incidencia, definiéndose este plano como el determinado por el rayo incidente y la normal; en otras palabras, el rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano, que a su vez es perpendicular al plano del espejo.

Existe un dispositivo llamado "horizonte artificial", mediante el cual pueden demostrarse dichas leyes.

Puede considerarse que las imágenes vistas en un espejo se forman por el conjunto de muchos objetos puntuales arreglados según la forma y tamaño del objeto, que son reflejados según

las leyes de la reflexión.

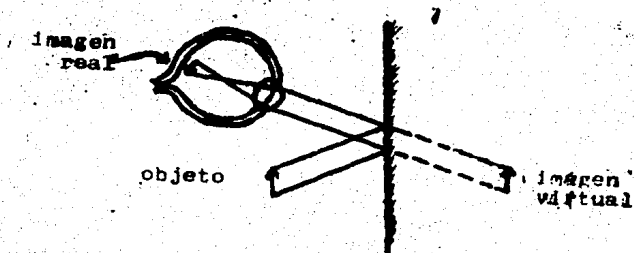
Las imágenes que se ven en un espejo plano o extendido no son reales, sino virtuales. Esto significa que los rayos que provienen del objeto parecen venir de la imagen, pero verdaderamente no pasan por ella. Además se describen técnicamente como falsas, ya que están invertidas izquierda-derecha.

En todos los casos la imagen virtual que aparece detrás del espejo está simétricamente situada con respecto al objeto real colocado frente a él. En consecuencia, puede decirse que la distancia del objeto al espejo (\bar{p}) es siempre de igual magnitud que la distancia del espejo a la imagen (\bar{q}).

$$\bar{p}=\bar{q}$$

Una imagen virtual no puede proyectarse sobre una pantalla.

No pueden formarse imágenes reales en un espejo plano debido a que la luz reflejada en una superficie plana diverge. Lo que sucede, entre otras cosas, es que el cerebro está condicionado a la propagación rectilínea de la luz e interpreta las imágenes como si se originaran detrás del espejo.



ACTIVIDADES:

-Adquirir y disponer correctamente los artículos que se requieren para el experimento.

-Observar la trayectoria de un rayo de luz al llegar y al salir de un espejo.

-Dibujar la imagen de un objeto no puntual.

- Medir las distancias objeto-espejo y espejo-imagen; comprobar que son iguales.

MATERIAL:

Un espejo plano, rectangular o cuadrado (aproximadamente 18 x 12 cm o 15x15 cm).

Un trozo rectangular de madera o plástico, aproximadamente del tamaño del espejo.

Hojas blancas

Alfileres

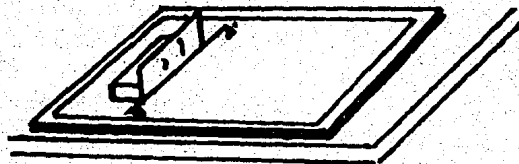
Regla

Transportador:

Cartón corrugado, un poco mayor que la hoja.

EXPERIMENTACION:

Arme el arreglo experimental según indica la figura:



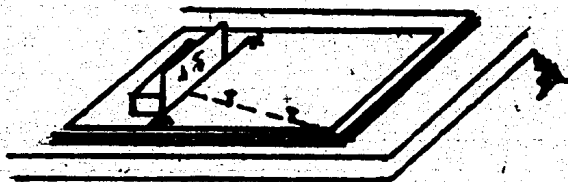
a).- Determinación del ángulo de incidencia, de reflexión y de la normal.

1.- Trace la línea AA' cerca de la orilla superior de la hoja de papel y coloque la superficie reflectora (la superficie trasera si es un espejo de vidrio) sobre ella.

2.- Fije alfileres en dos lugares diferentes del papel y trace una línea punteada a lo largo de ellos.

3.- Colóquese en una posición tal que pueda ver, con un sólo ojo al ras de la superficie de la mesa, las imágenes alineadas de los alfileres.

4.- Clave otros dos alfileres en el papel de tal modo que los cuatro, dos vistos por visión directa y dos por visión reflejada, parezcan estar alineados.



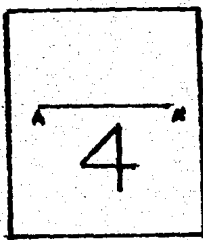
5.- La línea punteada representa el rayo de luz incidente. A lo largo de los dos últimos alfileres se puede trazar una recta que representa al rayo reflejado. Identifique las dos rectas con sus nombres respectivos. Ambas rectas deben converger en la superficie reflectora. Si no sucede así, se debe a que cometió algún error y debe repetir el procedimiento en otra hoja.

6.- El ángulo de incidencia se define como el ángulo que forman el rayo incidente y una línea perpendicular a la superficie reflectora en el punto de reflexión. Esta línea se conoce como la normal. El ángulo de reflexión es el formado por el rayo reflejado y la normal. En la hoja de papel trace la normal y mida los ángulos de incidencia y reflexión, señalándolos con su nombre y dimensiones. El dibujo es la hoja de datos. Recuerde que la incertidumbre debe reducirse lo más posible.

7.- Quite los alfileres que colocó sobre el rayo incidente y clávelos en algún otro lado del papel. Trace la línea punteada de este nuevo rayo incidente y repita todo el procedimiento dos o tres veces.

b).- Isógenas.

1.- En otra hoja de papel trace nuevamente AA' , pero en esta ocasión hágalo en el centro del papel. Dibuje un número 4 como se muestra en la figura:



2.- Coloque el espejo con su superficie reflectora sobre AA' y clave un alfiler en la parte superior del 4. Con un ojo cerca de la esquina inferior derecha del papel coloque la regla de tal modo que quede alineada con la imagen del alfiler. Trace es-

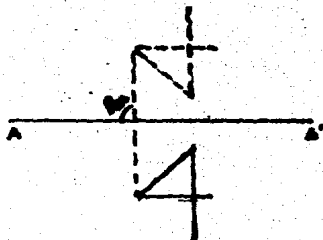
ta recta a lápiz. Colóquese a la izquierda del papel. Trace otra recta de la misma forma.

3.- Retire el espejo y prolongue cada recta hasta AA' y de allí, con una línea punteada, hasta que se intersecten. El punto de intersección es el lugar donde aparentemente está el alfiler que se colocó sobre el número 4. Este sitio se llama la imagen virtual del punto.

4.- Repita el procedimiento para los puntos izquierdo, derecho e inferior del número 4, y para la intersección del centro. Con estos cinco puntos de imagen virtual construya la imagen virtual del número.

Trace una recta que conecte cualquier punto del objeto con el punto correspondiente de su imagen. ¿Qué ángulo forma esta recta con el plano de la superficie reflectora?; ¿Es este ángulo el mismo para otros puntos, objetos e imágenes?.

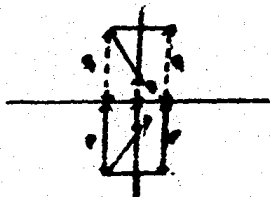
El ángulo formado mide 90° y es el mismo para cualquier punto y su imagen,



Compare la distancia que hay del vértice del número 4 a la superficie reflectora con la distancia de su imagen virtual a la misma superficie. Repita esta comparación con otras partes de la figura. Anote las medidas en el dibujo. ¿Qué podemos con-

cluir de ellas?

Que las distancias p y q son iguales y por lo tanto las figuras son simétricas.



Resume sus conclusiones sobre el tamaño, forma y posición de la imagen que forma un espejo plano.

La imagen resulta ser del mismo tamaño, forma y posición que el objeto aunque está invertida izquierda-derecha.

CUESTIONARIO:

1.- Defina los siguientes términos: Imagen real, imagen virtual, reflexión especular, reflexión difusa, óptica geométrica.

Imagen real.- Es la formada por rayos de luz verdaderos que pasan por ella. Puede proyectarse sobre una pantalla.

Imagen virtual.- Parece formarse por luz proveniente de la imagen, pero en realidad los rayos de luz no pasan por ella. No puede proyectarse sobre una pantalla.

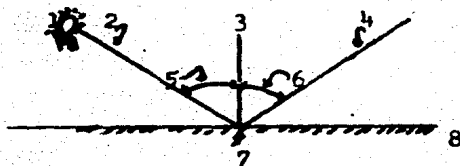
Reflexión especular.- Es la producida por una superficie pulida.

Reflexión difusa.- Es la producida por las superficies irregulares. En ellas la luz se dispersa e ilumina la superficie.

Óptica geométrica.- Subdivisión de la óptica que se basa en el concepto puramente geométrico del rayo luminoso y en las le-

yes, también puramente geométricas, a que obedece su propagación.

2.- Escriba los nombres que se piden:



- 1.- Fuente luminosa
- 2.- Rayo incidente
- 3.- Normal
- 4.- Rayo reflejado
- 5.- Ángulo de incidencia
- 6.- Ángulo de reflexión
- 7.- Punto de incidencia
- 8.- Espejo

3.- ¿Cuál es la relación entre el ángulo de incidencia y el de reflexión para un espejo plano? Esta relación también se aplica para espejos curvos; ¿Cómo se podrían medir los ángulos mencionados en una superficie curva?

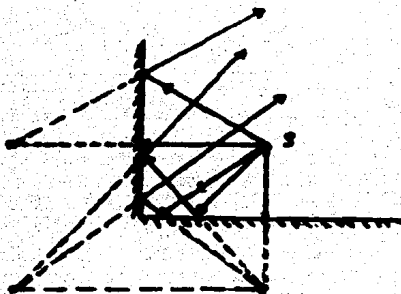
Ambos ángulos son iguales. En una superficie curva se pueden medir aplicando los mismos métodos geométricos que los usados en espejos planos: $i=r$, pero la normal a la superficie cambia en cada punto a lo largo de la misma, lo que ocasiona una relación compleja entre el objeto y su imagen.

4.- Si estamos parados a 2 m de un espejo plano, ¿Donde parece que está la imagen?

Parece que está 2m atrás del espejo, o sea, a 4 m de nosotros.

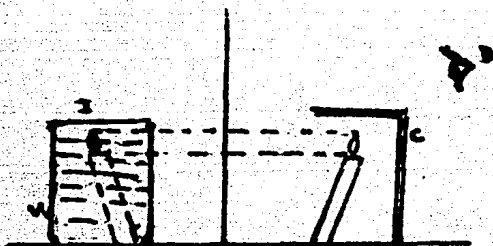
5.- Trace el diagrama de rayos localizando las imágenes de una fuente puntual S formadas por dos espejos colocados a 90° .





6.- ¿Como puede demostrarse que los objetos vistos en un espejo plano son imágenes formadas por reflexión?

Una forma sería mediante el siguiente experimento: Se coloca una vela encendida detrás de la caja C; estando el observador colocado en D, ve solamente la imagen reflejada en I. Si se coloca un vaso con agua V, la imagen parece tan real como si la vela estuviera ardiendo dentro del agua.



7.- ¿Qué sucede si se ve uno en el vértice de dos espejos colocados a 90° ?

Cuando se colocan dos espejos a 90° , se pueden ver tres imágenes y la persona se ve como la ven los demás, o sea, la parte

derecha del observador se ve como la parte derecha de la imagen debido a dos reflexiones sucesivas.

Este experimento puede realizarse para comprobar que la cara de muchas personas es asimétrica: las irregularidades se invierten al verse en los espejos a 90° , aparecen de doble magnitud y son muy fáciles de apreciar.

El objeto y las tres imágenes se encuentran en un círculo cuyo centro es la intersección de los dos espejos.

E.- La imagen que construí ¿Cumple con lo dicho en teoría? De no ser así, discuta las causas.

La mayor parte de las veces los errores se deben a que los alumnos trabajan con poco cuidado.

BIBLIOGRAFIA

- Hetch., E.- Optica.- Fondo Educativo Interamericano, S.A., México, 1974.- p 128-131; 170-175.
- Lagemann, R.- Ciencia Física Experimental, Ed. Norma, Cali, Colombia, 1968.- p 159-161.
- Rossi, B.- Fundamentos de Optica, Ed. Reverté S.A.. Barcelona, España, 1978, p 7 - 11; 67.
- Sears, F. & Zemansky, M.- Física General.- Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, España, 1967.- p 772-775.
- Sintes, O.- Física General explicada.- Ed. R. Sopena, Barcelona, España, Biblioteca Hispania.- 1959.- p 617-619.
- Stollberg - Hill P.- Física. Fundamentos y fronteras.- Publicaciones Cultural, S.A., México, 1982.- p 417-422.
- Stollberg- Hill, P.- Física. Fundamentos y fronteras. Laboratorio.- Publicaciones Cultural, S. A., México, 1978.- p L143-L 146.
- Tippen, P.- Física, conceptos y aplicaciones.- McGraw-Hill, México, 1981. p 327-328.
- White, H.- Física descriptiva.- Ed. Reverté Mexicana, S.A., México, 1966.- p 237-239.

PRACTICA No. 10
INTERFERENCIA Y DIFRACCION
EXPERIMENTOS DE YOUNG Y MICHELSON
MANUAL.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVOS:

Observar el fenómeno de interferencia en ondas sonoras y luminosas.

Medir la longitud de onda de una fuente luminosa con la menor incertidumbre posible.

FUNDAMENTO TEORICO:

Hacia mediados del siglo XVII la teoría corpuscular de la luz era totalmente aceptada, ya que explicaba satisfactoriamente fenómenos tales como su propagación rectilínea, la refracción, la formación de imágenes en espejos, etc. A partir de aquella fecha empezó a progresar la idea de que la luz podría tratarse de algún tipo de movimiento ondulatorio.

Huygens demostró, el 1690, que las leyes de la refracción y la reflexión podían explicarse basándose en la teoría ondulatoria.

La flexión de una onda luminosa en los bordes de un objeto, fenómeno conocido como difracción, fue conocido por Grimaldi en 1665.

En 1827 se demostró, mediante los experimentos de Thomas Young y A. Fresnel sobre interferencias y las mediciones de la velocidad de la luz en líquidos, realizadas por Foucault en fecha algo pos-

terior, que existían fenómenos ópticos que no se podían explicar con la teoría corpuscular. Los experimentos de Young le permitieron medir la longitud de onda de las radiaciones luminosas y Fresnel demostró que la propagación rectilínea de la luz, lo mismo que los efectos de difracción observados por Grimaldi podían explicarse por el comportamiento de ondas de pequeña longitud.

El principio de superposición, concepto muy importante, tiene, entre otras consecuencias, la de que el encuentro de dos o más ondas en el espacio, altera momentáneamente la configuración del medio en que viajan, pero no afecta en lo absoluto la historia posterior de cada una de ellas, ya que inmediatamente continúan su viaje conservando cada una su trayectoria y características como si el encuentro no hubiera ocurrido.

Si consideramos una onda A, con amplitud a , que al viajar en el espacio se encuentra con una onda B, de amplitud b , al medir la amplitud en la zona del encuentro tendremos que es, punto a punto, la suma algebraica de las amplitudes a y b . Decimos en tal caso que las ondas se interfieren. La amplitud resultante en esta región es lo que llamamos un patrón de interferencia. El estudio de estos patrones proporciona mucha información acerca de las ondas que lo producen: si en algún punto la amplitud es mayor que la de cualquiera de las ondas originales, decimos que la interferencia es constructiva; si es menor, decimos que es destructiva. Los puntos en donde la amplitud es cero son los nodos.

Para obtener patrones de interferencia ordenados, constantes en el tiempo, fáciles de analizar, es necesario que las fuentes

generadoras estén en fase. Si no lo están, el patrón varía en el tiempo.

El fenómeno de interferencia puede producirse con cualquier tipo de ondas distintas a las de la luz, por ejemplo, con ondas sonoras y de T.V., de agua, etc.

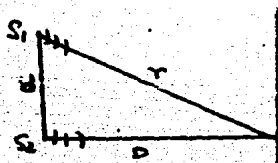
Interferencia con ondas sonoras:

Si colocamos dos generadores puntuales S_1 y S_2 que emitan ondas en fase, podemos localizar las posiciones de los máximos sobre una línea determinada de acuerdo con la relación:

$$D = d^2 - n^2 \lambda^2 / 2n\lambda$$

Para que haya un máximo, es necesario que $r-D=n\lambda$ siendo $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Por otra parte, $r^2 = D^2 + d^2$



Experimento de Young.-

No hay distinción física significativa entre interferencia y difracción. Sin embargo, es común, aunque no siempre apropiado, hablar de interferencia cuando se está hablando de la superposición de unas cuantas ondas y difracción cuando se están considerando un gran número de ellas.

En el experimento de Young se ven involucradas tanto la interferencia como la difracción, permitiéndonos medir la longitud de onda de un haz luminoso. Se utiliza una rejilla de difracción y

una fuente de luz puntual, preferiblemente de láser. En este experimento, la ecuación $\lambda = xd/nL$, válida para ángulos pequeños, proporciona el valor de la longitud de onda de la luz que estamos utilizando. En nuestro caso utilizaremos un láser de He-Ne, que emite luz de helio (6328 \AA).

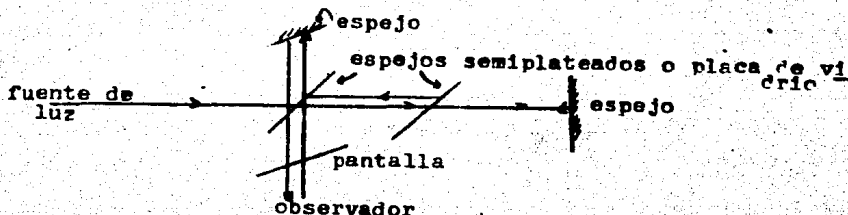
Interferómetro de Michelson:

También sirve para medir la longitud de onda de la luz empleada. Es el sistema interferométrico más versátil y conocido. El aparato original, construido alrededor de 1880, tenía muchos espejos para hacer el camino lo más largo posible; estaba colocado sobre una plataforma móvil para variar la distancia entre los espejos.

Si dividimos un haz luminoso en dos, haciéndolo incidir sobre un espejo semiplateado con el que se refleja el 50% de la luz y pasa el otro 50%, podemos hacer que posteriormente se interfieran y analizar su patrón de interferencia. Variando la distancia entre los espejos cambia el patrón de interferencia y se encuentran máximos y mínimos a cada variación correspondiente a $\frac{1}{2}\lambda$, pudiendo así obtener los valores de λ de la luz empleada.

Puede construirse un interferómetro sumamente simplificado usando unos espejos y un vidrio transparente, todos del mismo tamaño y una lente para ensanchar el haz, con una distancia focal pequeña.

El diseño esquemático es el siguiente:



La luz de la fuente incide sobre la placa de vidrio (que normalmente es semiplataada); el haz se divide en dos, llegan a los espejos y se reflejan de nuevo hacia la placa. Si se trabajara con luz blanca, sería necesario interponer otra placa cerca del espejo de la derecha para que las trayectorias ópticas incluyan el mismo grueso de vidrio, pero utilizando luz de láser esto no es necesario. La placa de vidrio es una superficie parcialmente reflectora, por lo que parte de la luz reflejada en el espejo superior se transmite hasta la pantalla y parte de la luz reflejada en el espejo de la derecha se refleja en ella y también va a dar a la pantalla. Como ambos rayos provienen del mismo haz coherente, en la pantalla se observa un patrón de interferencia, que podremos cambiar variando entonces el patrón.

ACTIVIDADES:

-Conectar dos bocinas en paralelo para localizar zonas de interferencia.

Emplear el láser de He-Ne para:

-Reproducir el experimento de Young

- Reproducir el experimento de Michelson

-Determinar la longitud de onda de la luz utilizada.

MATERIAL:

Dos bocinas

Regla

Micrófono

Osciloscopio

Láser de He-Ne

Rejillas de difracción

Espejos

Espejos semiplatedados o placa de vidrio

Bases para los espejos

Mastique o plastilina (optativo)

Pantalla. Se puede utilizar la pared.

EXPERIMENTACION:

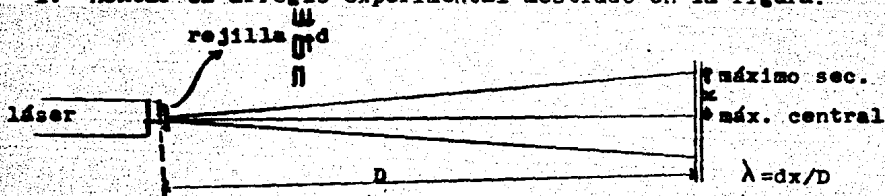
Interferencia de ondas sonoras.

- 1.- Conectar dos bocinas en paralelo
- 2.- Generar voltaje para hacerlas sonar.
- 3.- Mover el micrófono conectado al osciloscopio, primero en círculos concéntricos alrededor de las bocinas y luego a lo largo de una línea separada 2-3 m de las mismas. Tratar de localizar las líneas nodales.

4.- Hacer un diagrama de acuerdo a lo observado.

Experimento de Ypung.

1.- Montar el arreglo experimental mostrado en la figura:



2.- Conecte el láser y espere cinco minutos antes de hacer las determinaciones.

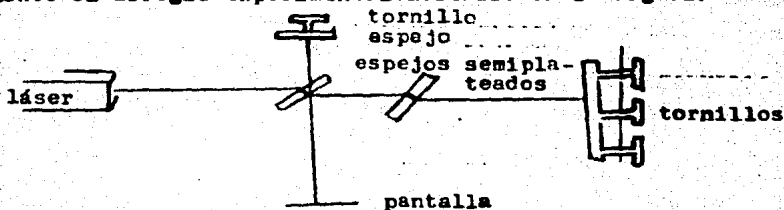
3.- Observe el fenómeno de difracción en la pantalla; existe un punto central que es el más luminoso. Es el llamado máximo central; los puntos a los lados son los máximos secundarios.

4.- Determine la longitud de onda de la luz del láser con el máximo cuidado posible.

5.- Cambie de rejilla y compruebe si coinciden ambas determinaciones de la longitud de onda. Calcule las incertidumbres correspondientes.

Experimento de Michelson:

1.- Monte el arreglo experimental mostrado en la figura:



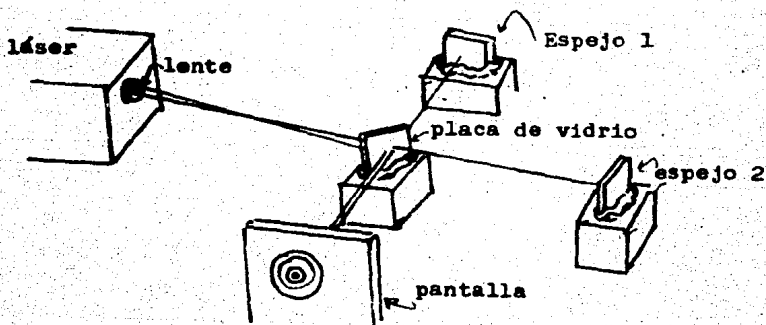
2.- Haga incidir el rayo del láser y observe el patrón de interferencia.

3.- Con el tornillo micrométrico se hace variar el camino óptico. Podrá observarse que el patrón de interferencia cambia y la mancha central es brillante en unas posiciones (interferencia constructiva) y oscura en otras (interferencia destructiva). Al mismo tiempo se intercambian las franjas.

4.- Mida la longitud de onda tomando en cuenta que cada alternación de blanco y negro corresponde a un desplazamiento del espejo igual a $\frac{\lambda}{2}$. Determine sus incertidumbres.

Puede construirse una versión muy simplificada usando dos espejos y un vidrio transparente colocados sobre unos soportes de una altura tal que el haz quede centrado en los espejos y en el vidrio. Es fundamental tener una buena alineación de los espejos y la pla-

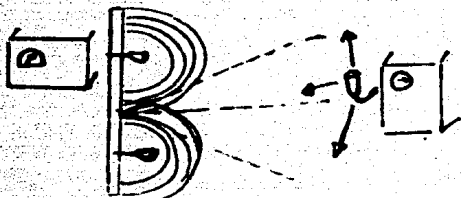
ca. Para ello se coloca el espejo #2 perpendicular al haz a fin de que el ángulo de incidencia sea 0° (el reflejo debe coincidir con la apertura del láser). Después se coloca la placa de vidrio en tal forma que el haz la atraviesa por el centro y esté a 45° con respecto al espejo 2. Enseguida se pone una pantalla donde incida el reflejo del haz y por último, el espejo #1 se acomoda haciendo coincidir su reflejo con algún punto de los que se ven en la pantalla. Con esto se cumplen las condiciones para obtener interferencia. Frente al láser se coloca una lente de distancia focal pequeña para ensanchar el haz. En este momento deben aparecer los anillos del patrón de interferencia. Para observarlo bien deben evitarse las vibraciones mecánicas. Se pueden reducir bastante colocando todo el arreglo experimental sobre algún amortiguador (por ejemplo, una placa soportada por hule espuma u otro material semejante). Este arreglo experimental quedaría aproximadamente así:



CUESTIONARIO:

1.- Haga los diagramas correspondientes a cada experimento.

a).- Interferencia de ondas sonoras.



En la región en que las ondas se superponen se produce interferencia. Si es positiva, el sonido aumenta; si negativa, prácticamente desaparece.

Se localiza un máximo de interferencia y a partir de allí se desplaza el micrófono a lo largo de la línea nodal para localizar una serie de puntos de máxima vibración y otros de mínima.

b).- Young. El diagrama fue dibujado antes.

c).- Michelson. No se efectuó el experimento debido a falta de equipo.

2.- Determine λ del láser mediante el experimento de Young.

$$\lambda = dx/D$$

$$\text{teór.} = 6320 \text{ \AA}$$

Para la rendija $1/40 \text{ cm}^{-1}$ ($0.025 \text{ cm} = d$):

$D \pm 0.5$	$x \pm 0.05$	λ
400	1.1	6880
450	1.3	2220
500	1.4	7000
550	1.5	6820
600	1.6	6667
Promedio:		6900

Rendija $1/20 \text{ cm}^{-1}$ ($0.0125 \text{ cm} = d$)

D cm ± 0.5	x cm ± 0.05	λ Å
300	1.6	6670
350	1.7	6070
400	2.2	6880
450	2.4	6670
500	2.7	6750
	Promedio	6600

Rendija $1/1000 = 0.001 \text{ cm}$

150	9.3	6200
200	12.2	6100
250	15.8	6320
300	18.4	6130
350	21.7	6320
	Promedio	6190

Promedio global: $6560 \text{ Å} \pm 300 \text{ Å}$

Queda dentro de los límites permitidos.

3.- Determine del láser con el interferómetro de Michelson.

¿Coinciden los resultados con el de Young?

Teóricamente deben coincidir, pero el experimento de Michelson no se pudo hacer.

4.- ¿Cuál es la incertidumbre asociada a cada experimento y cómo se puede reducir?

La incertidumbre fue de $\pm 300 \text{ Å}$. Depende básicamente de x y D, por lo que se puede reducir midiendo más veces, más cuidadosamente y usando una rejilla con más ranuras.

BIBLIOGRAFIA

Hetch, E.- Optica.- Fondo Educativo Interamericano, S.A.-Im-
preso en EUA por Addison Wesley Publisching Corp., 1977.- p8; 218;
299-302; 411-412; 418; 440; 451-453; 462-463; 465; 481; 525; 667.

Rossi, B.- Fundamentos de Optica.- Ed. Reverté, Barcelona,
1978.- p 141-153; 243.

The Open University.- Curso básico de Ciencias.- Unidad 28
Naturaleza ondulatoria de la luz.- McGraw-Hill Cali, Colombia,
1974.p 19-31.

PRACTICA No. 11
POLARIZACION DE LA LUZ.

MANUAL

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Obtener luz polarizada por:

- a).- Reflexión
- b).- Transmisión
- c).- Dicroísmo
- d).- Doble refracción
- e).- Dispersión.

FUNDAMENTO TEORICO:

La luz es una perturbación electromagnética que puede presentarse en dos modalidades: natural y polarizada. Ambas están constituidas por dos sistemas de ondas que vibran en planos perpendiculares entre sí, pero mientras en la luz natural esto se verifica en todas direcciones, en la luz polarizada sólo vibran en un plano.

Históricamente, los estudios sobre polarización se llevaron a cabo para verificar que la luz está formada por ondas transversales, ya que los fenómenos de difracción e interferencia no lo aclaran, pues las ondas longitudinales también los sufren.

La polarización consiste básicamente en la transformación de una onda luminosa, cuyas vibraciones viajan bajo todos los ángulos posibles perpendiculares a la dirección de propagación, a otra onda con vibración en un sólo plano, mediante el uso de filtros adecuados. A la luz así obtenida se le llama linealmente polarizada y a partir de ella se puede lograr luz elíptica y circularmente polg

rizada.

a).- Polarización por reflexión.- El primero que estudió la polarización de la luz por reflexión fue el ingeniero francés Etienne Malus (1775-1812), que en 1808 descubrió que cuando la luz natural propagada en el aire, incide en una superficie de vidrio, el rayo que se refleja está en parte polarizado. Se puede mostrar fácilmente que el grado de polarización varía según el ángulo de incidencia, y es máximo para un valor determinado que se llama ángulo de polarización. Para este ángulo, la polarización lineal del rayo reflejado es total, y la dirección de las vibraciones es normal respecto al plano de incidencia. Se halló experimentalmente que el valor del ángulo de polarización dependía de los índices de refracción del material reflector y del medio en el cual está colocado; este descubrimiento lo hizo en 1812 el físico escocés Sir David Brewster (1781-1868)

b).- Polarización por transmisión.- Cuando la superficie reflectante es vidrio, por ejemplo, aproximadamente el 15% de las componentes perpendiculares al plano de incidencia son reflejadas (este valor depende del índice de refracción de la sustancia), y el resto es transmitido, junto con todas las componentes paralelas al plano, en el haz refractado. Analizándolo encontramos que está parcialmente polarizado, y que la polarización es máxima, aunque no total, para el ángulo de Brewster.

c).- Polarización por difracción.- Existen sustancias cristalinas incoloras que, aunque homogéneas, son anisótropas, es decir, cuando una onda luminosa se propaga por ellas es descompuesta en dos ondas secundarias (onda o rayo ordinario y extraordinario), tangen

tes entre sí en una dirección llamada eje óptico del cristal. Se dice que el cristal es birrefringente.

Se ha encontrado que las ondas ordinaria y extraordinaria en un cristal birrefringente están polarizadas linealmente en direcciones perpendiculares entre sí. Existen, además, ciertos cristales birrefringentes como la turmalina y la herapatita, que presentan dicroísmo, esto es, una de las componentes polarizadas es absorbida con mayor intensidad que la otra. Por consiguiente, si el cristal se corta a un espesor adecuado, una de las componentes se extingue prácticamente por absorción (absorción selectiva se le suele llamar) y la otra se transmite en proporción apreciable.

El dicroísmo constituye una de las maneras más simples y económicas para producir y analizar luz polarizada. Los filtros polaroid son una muestra de ello.

d).- Polarización por doble refracción.- El espato de Islandia, el cuarzo, la mica y otras sustancias cristalinas presentan el fenómeno de doble refracción: a cada rayo incidente corresponden dos rayos emergentes debido a que su índice de refracción es distinto para diferentes planos. Uno de los rayos, el llamado ordinario, obedece las leyes de Snell, mientras que el extraordinario tiene un comportamiento anormal. Si la luz incide normalmente a la superficie, el rayo ordinario atraviesa el cristal sin desviarse y el extraordinario se refracta un cierto ángulo, saliendo luego paralelo al incidente, pero algo desplazado. Haciendo girar el cristal alrededor del rayo incidente, el rayo ordinario permanecerá estacionario mientras el extraordinario gira alrededor de él.

El cuarzo y la calcita no solamente refractan doblemente la luz,

sino que polarizan ambos rayos. El rayo ordinario está polarizado en un plano y el extraordinario lo está en un plano perpendicular al primero. El prisma de Nicol se basa en este fenómeno; toma luz ordinaria y la transmite polarizada.

e).- Polarización por dispersión.- Cuando un haz luminoso atraviesa un medio con partículas en suspensión (polvo, humos, polen), la luz es absorbida y vuelta a radiar, es decir, es dispersada. La luz radiada en esta forma está parcialmente polarizada y la máxima polarización se obtiene en la luz que es radiada perpendicularmente a la luz incidente.

ACTIVIDADES:

-Hacer incidir luz natural en una superficie; analizar la luz reflejada con un polarizador; analizar la luz refractada.

-Analizar con un filtro polaroid la luz que atraviesa un cristal dicroico e identificar el eje de polarización de dicho filtro.

-Observar la luz que pasa a través de un cristal de calcita e identificar el rayo extraordinario y el ordinario.

-Analizar la luz dispersada por miel de abeja utilizando como fuente luminosa un láser de He-Ne.

MATERIAL:

Fuente de luz blanca (lámpara)

Filtros polaroid

Soporte para los filtros

Pantalla

Luxómetro

Láser de He-Ne

Cristal de calcita o cuarzo

Transportador

Regla

Prisma de Nicol

Papel celofán

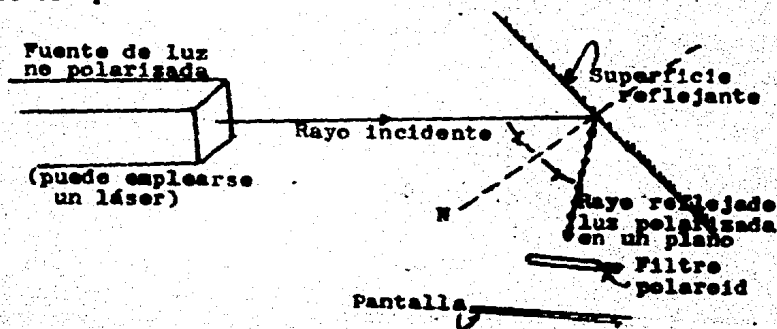
Tubo de ensaye con miel

Tubo de ensaye con tintura de yodo

EXPERIMENTACION:

a).- Polarización por reflexión.

Monte el aparato descrito a continuación:



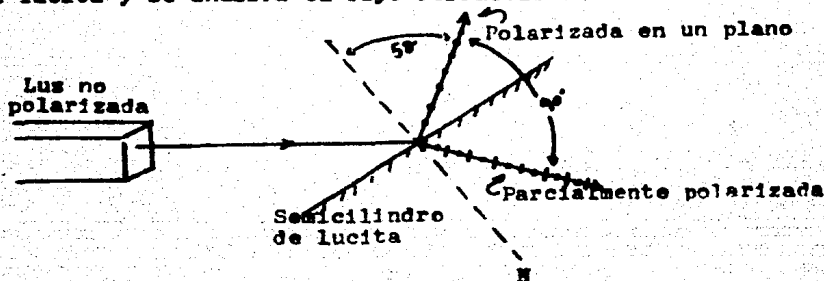
- 1.- Mida los ángulos de incidencia y reflexión.
- 2.- Determine por medio de un filtro si la luz reflejada está o no polarizada. Compare con la luz incidente.
- 3.- Localice el ángulo para el cual es total la polarización del rayo reflejado.

Usando una lámina polarizadora se examina la luz reflejada en un ángulo oblicuo. Haciendo girar el polarizador se verá que la intensidad de la luz transmitida varía, lo que significa que debe estar parcialmente polarizada. Se cambia el ángulo de reflexión hasta que, ajustando el polarizador, el haz reflejado se pueda detener

totalmente. En estas condiciones, toda la luz reflejada queda polarizada en el plano paralelo a la superficie del reflector. Se mide el ángulo de incidencia con un transportador. Para el vidrio común, el ángulo polarizante de incidencia es de $57^{\circ} \pm 3^{\circ}$; para el agua es de 53° . Puede usarse cualquier superficie pulida, o un semicilindro de lucita, en cuyo caso el dispositivo sirve también para el inciso b.

b).- Polarización por transmisión.

Se sustituye en el aparato anterior el espeje por un semicilindro de lucita y se analiza el rayo refractado.

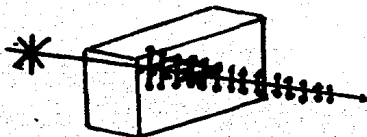


Se puede comprobar que la máxima polarización se obtiene cuando el ángulo de incidencia es igual al de Brewster.

c).- Polarización por difracción.

Los filtros polaroid están contruidos en base a este principio. Explique detalladamente su construcción.

Observemos la figura siguiente:



El haz incidente, en cuanto penetra en la sustancia, se separa en un rayo ordinario y uno extraordinario; uno de ellos es absorbido y el otro emerge linealmente polarizado.

El científico norteamericano Edwin H. Land, fundador de la Polaroid Corp., ha fabricado polaroides sintéticos dicroicos de gran superficie. Empezó esta producción antes de graduarse en el Harvard College. Desde 1936 se han fabricado láminas polarizadoras comerciales y su utilización ha favorecido no poco la regulación de la luz y facilitado aplicaciones prácticas de imposible realización con los polarizadores antiguos.

El tipo primitivo de polarizador sintético fundamenta su acción en agujas dicroicas submicroscópicas de una variedad cristalina de perydureo de sulfato de quinina llamada herapatita en memoria de su descubridor, el físico y químico inglés William B. Herapath (1796-1868). Se hace una suspensión de estas agujas en un medio viscoso que luego se hace fluir a lo largo de una rendija estrecha y larga. De aquí se obtiene una hoja en la que las agujas están orientadas paralelamente a una dirección común determinada por las trayectorias del proceso de escurrimiento. Una vez seca la película polarizadora, de sólo 0.0025 cm de espesor, se guarda inmediatamente entre dos cubiertas protectoras de plástico o vidrio.

Otro tipo más reciente se obtiene por absorción de yodo en una hoja estirada de alcohol polivinílico, plástico transparente e incoloro que se vuelve como hule al calentarlo. El proceso de estiramiento produce la conveniente orientación y el polímero de yodo absorbe, el dicroísmo. Estos polarizadores, cuyos elementos son de dimensiones moleculares, dispersan la luz en un grado mucho menor

que los primeros polarizadores microcristalinos. Se logra un tercer tipo de hoja de polarizador calentando una película estirada de alcohol polivinílico en presencia de un catalizador activo de deshidratación, después de lo cual la película se oscurece ligeramente y adquiere dicroísmo por la formación de un sistema molecular en cadenas largas compuesto de enlaces simples y dobles. Este polarizador es muy estable y resiste temperaturas y humedades elevadas, por lo que se usa con frecuencia para menesteres al aire libre.

Si observamos un foco luminoso a través de una lámina delgada de un filtro polaroid, no observamos ninguna variación en la luz transmitida al hacer girar la lámina, pero si colocamos un filtro detrás de otro y giramos uno de ellos (al que llamaremos analizador) hallaremos que la intensidad de la luz transmitida varía desde un valor máximo, para una posición determinada, hasta anularse prácticamente cuando se gira 90° a partir de aquella posición, o sea, cuando polarizador y analizador están cruzados. Para los ángulos intermedios, y dado que la cantidad de energía es proporcional al cuadrado de la amplitud, se tiene:

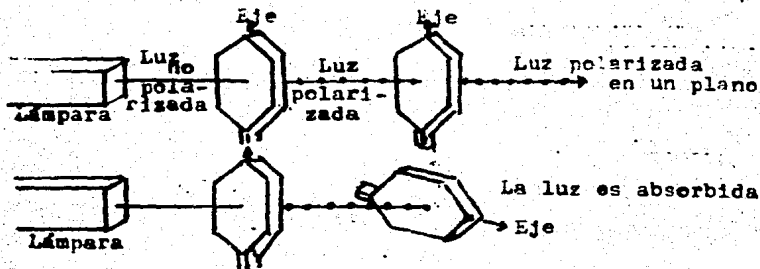
$$I = I_{\text{máx}} \cos^2 \theta$$

en la que $I_{\text{máx}}$ es la máxima cantidad de luz transmitida e I , la cantidad transmitida para el ángulo θ . Esta relación fue descubierta por Etienne Louis Malus en 1809 y se denomina Ley de Malus.

Compruebe que dos láminas polarizadoras colocadas con sus ejes paralelos transmiten la luz y cuando se cruzan, con sus ejes perpendiculares, son opacas.

Es fácil ver en la pantalla cómo desaparece la luz al cruzar

los ejes de los polarizadores.



d).- Polarización por doble refracción.

Observar con un analizador la luz que pasa a través de un cristal de calcita. Repetir lo anterior sustituyendo la calcita por un prisma de nicol. Identificar el rayo ordinario y el extraordinario en el cristal de calcita haciéndolo girar.

Analizar entre dos polarizadores cruzados (este es, a 90° entre sí) un trozo de papel celofán. Anotar las observaciones hechas.

Se carece en el laboratorio de material para efectuar esta parte de la práctica; sin embargo, teóricamente se puede decir que:

Cuando un rayo de luz no polarizada incide normalmente sobre la cara de un cristal de calcita, el rayo se divide en dos: uno, llamado ordinario, atraviesa el cristal sin desviación. Se le llama ordinario porque obedece la ley de refracción. El otro rayo (extraordinario) se desvía a pesar de su incidencia normal. Ambos rayos emergentes son paralelos entre sí y además al incidente. Si el cristal se gira sobre el rayo ordinario, el extraordinario gira con el movimiento, lo cual sirve para identificarlos. Al observarlos con un analizador se encuentra que los dos son polarizados y los dos ejes de polarización son mutuamente perpendiculares.

Al repetir el experimento con un prisma de Nicol, se ve que ambos rayos se separan totalmente. El rayo ordinario incide en la cara interna del nicol, se refleja totalmente y sale por un lado del prisma. El rayo extraordinario se transmite en forma de luz polarizada.

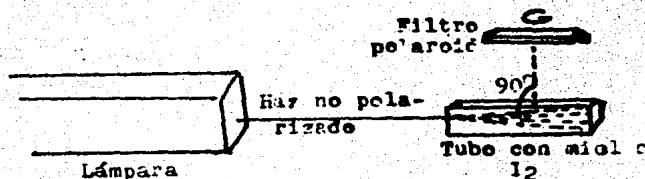
Al analizar entre dos polarizadores cruzados el trozo de papel celofán encontramos que en general se restablece la luz y se observan manchas de colores en el papel. Estas manchas se deben a que el celofán se obtiene por un proceso de laminación que produce tensiones y deja estrías en la superficie del papel, las que producen una birrefringencia notable y permanente. El celofán se comporta como una lámina paralela al eje de un cristal uniaxial; el eje óptico coincide con la dirección de laminación.

e).- Polarización por dispersión.

Analice la luz del cielo con un filtro polaroid, viendo hacia el cenit.

Al hacerlo, se comprueba que está polarizada, ya que la intensidad de la luz aumenta o disminuye según se gire el filtro.

Monte el aparato descrito a continuación y analice la luz dispersada por el tubo con miel; ésta puede sustituirse por agua a la cual se han añadido 2-3 gotas de tintura de yodo.



Lo mismo sucede con el tubo de ensayo con miel o tintura de yodo. El efecto es más perceptible si se observa directamente desde arriba.

Pueden probarse otras partículas en suspensión como: humo de cigarro, azufre coloidal (a una solución acuosa de hiposulfito de sodio se le añaden unas gotas de ácido sulfúrico concentrado y se agita. Se tienen 2-3 minutos para observar la dispersión), pero en estos casos debe usarse luz blanca, son más laboriosas de preparar las muestras y no siempre salen bien. El color de la luz que se dispersa con máxima intensidad depende del tamaño de la partícula. Las más pequeñas dispersan la luz azul, de menor longitud de onda que la roja. Lord Rayleigh pudo demostrar que la intensidad de la luz dispersada por pequeñas partículas varía en razón inversa de la cuarta potencia de la longitud de onda. El cielo, el humo del cigarro son azules porque sus partículas son tan pequeñas que dispersan la luz azul más que la roja. Los ocasos son rojizos debido a que las nubes de occidente dispersan lateralmente la luz azul y transmiten la roja. Las partículas que son grandes comparadas con la longitud de onda de la luz, dispersan casi igualmente todos los colores, por eso las nubes son blancas. Y toda esa luz dispersada está parcialmente polarizada.

CUESTIONARIO:

1.- ¿A qué se le llama ángulo de polarización?

Al ángulo de incidencia que cumple con la relación

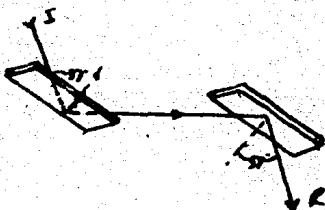
$$\tan i = n \quad (n = \text{índice de refracción})$$

2.- ¿A qué se le llama plano de polarización?

Al que es perpendicular a la vibración, en el medio homogéneo

en que se observa ésta.

3.- Se puede obtener luz linealmente polarizada mediante reflexiones sucesivas, según la figura siguiente:



¿Qué condiciones debe reunir el arreglo experimental?

Que los espejos y la luz incidente estén colocados en tal posición que los ángulos de incidencia sean iguales al ángulo de Brewster a fin de obtener la máxima polarización.

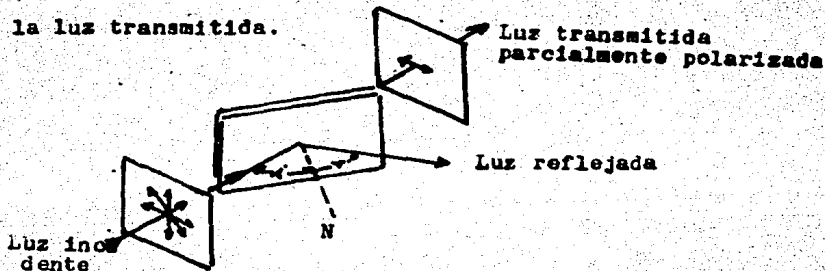
4.- ¿Cuáles fueron los valores para los diferentes ángulos pedidos en el inciso a?. Incluya incertidumbres.

La superficie reflejante usada fue un espejo de vidrio.

Angulo de incidencia: $56^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$

Angulo de reflexión: $56^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$

5.- Haga un diagrama para señalar el plano en que está polarizada la luz transmitida.



6.- ¿Qué es un polarímetro?

Un sistema óptico formado por un polarizador y un analizador.

7.-¿Qué observó al analizar la luz dispersada por el tubo con miel?

Que está parcialmente polarizada.

Observaciones.- Es conveniente iniciar el estudio de la luz polarizada con experimentos de este tipo, que aunque sencillos y ya "muy hechos", darán al estudiante una buena experiencia práctica. En caso de tenerlos, se le pueden proporcionar cristales de turmalina, espejos de vidrio negro, etc., para que el alumno los identifique y descubra sus funciones.

El láser de He-Ne tiene grandes ventajas sobre la luz blanca como fuente de iluminación en esta práctica debido a sus propiedades, a saber:

1.- Gran intensidad. Debido a ello, debe recomendarse a los alumnos que no la vean directamente.

2.- Gran monocromaticidad.- El láser usado en el laboratorio radia en la longitud de onda 6328 \AA , que corresponde al rojo en el espectro visible.

3.- Gran directividad o colimación.- Este hecho se refiere a que el ancho del haz es constante aún a grandes distancias.

4.- Gran coherencia espacial.- El haz sale prácticamente de un punto; la parte más intensa está en el centro de ese punto y se aprovecha en las experiencias donde se muestra el carácter ondulatorio de la luz (interferencia y difracción). Teóricamente, su luz no debe estar polarizada, pero en realidad lo está ligeramente.

BIBLIOGRAFIA:

Alonso, M.- Física, Vol II: Campos y ondas; Fondo Educativo Interamericano; 1970; p. 826-827; 830-831.

Ballard, S. & Slack, E.- Principios de Física.- Ed. Reverté, Barcelona, 1957; p. 427-482; 665-674.

Blackwood, C. & Kelly, W.- Física General; Cía Editorial Continental, S.A., México, 1967; p519-525.

Bueche, F.- Fundamentos de Física; McGraw-Hill, México, 1977; p. 668-676.

Buganus, B.T., The Lloyd William Taylor Manual of Advanced Undergraduated Experiments in Physics; Addison Wesley Publishing Co. Inc., London, 1961. p 236-248.

Eldrige, H. A.- College Physics; John Wiley & Sons Inc., New York 1947; p672-678.

Ganoro, G.- Materia, Tierra y Cielo.- Cía Editorial Continental México, 1964; p199.

Hetch E. & Zajak A.- Optica; Fondo Educativo Interamericano, S. A., Bogotá, 1977; p 233-292.

Fronig, R. & de Boer, J.- Textbook of Physics; Pergamon Press, London; 1959; p444-456.

Perkins, H.- Basic College Physics; Prentice-Hall Inc., New York, 1953; p357-361.

Sintes, O. F., Física General Aplicada; Ed. Sopena, Barcelona, Biblioteca Hispania, 1959; p224-227; 678-683.

The Open University, Curso básico de Ciencias, U 28: La naturaleza ondulatoria de la luz. McGraw-Hill, Cali, 1974; p33-36.

PRACTICA Nº. 12
PLACAS RETARDADORAS
MANUAL.

DURACION: 1 H.

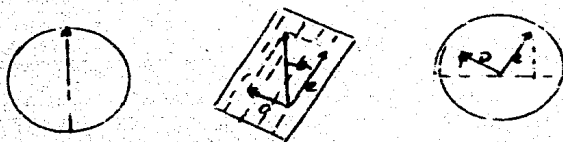
OBJETIVO:

Obtener luz elíptica y circularmente polarizada a partir de luz polarizada linealmente.

FUNDAMENTO TEORICO:

Se llama placa retardadora a cualquier lámina hecha de un material birrefringente, con dos planos perpendiculares entre sí, en los cuales la luz viaja a diferente velocidad.

La luz polarizada linealmente representa un caso sencillo de polarización. Cuando se coloca un cristal birrefringente (mica, por ejemplo) entre dos polarizadores cruzados y se hace incidir un rayo de luz sobre el polarizador, la luz sale linealmente polarizada; al llegar al cristal se forman dos rayos, el ordinario (o) y el extraordinario (e). Cada rayo por separado está polarizado linealmente, pero con las direcciones de vibración perpendiculares entre sí. Si el cristal se corta con sus caras paralelas al eje óptico, de modo que la luz, incidiendo normalmente sobre una de ellas atraviese al cristal en una dirección perpendicular al eje óptico, los rayos ordinario y extraordinario no se separan, siguen la misma trayectoria pero con velocidades diferentes, de modo que al salir por la segunda cara del cristal están defasados y dan lugar a la luz lineal, circular o elípticamente polarizada, según la diferencia de fase con que salgan.



Rayos ordinario y extraordinario



Diferencias de fase de ambos rayos

El defasamiento varía según el espesor del cristal birrefringente, la frecuencia de la radiación luminosa y los índices de refracción del cristal para la luz de e y o . Los resultados serán:

- 1.- Cuando la diferencia de fase es 0 , 2π o un múltiplo par de π , se obtiene una vibración lineal con una diferencia de fase de 45° respecto a ambas vibraciones componentes.
- 2.- Cuando la diferencia de fase es π , 3π o un múltiplo impar de π , la polarización también es lineal, pero perpendicular a la que corresponde al múltiplo par de π .
- 3.- Cuando la diferencia es $\pi/2$, $3\pi/2$ o un múltiplo impar de $\pi/2$, la polarización resultante es circular.
- 4.- Para los demás casos la polarización es elíptica.

Si el cristal tiene un espesor tal que origine una diferencia de fase de $\pi/2$ para una frecuencia dada, se produce luz polariza-

da circularmente y al cristal se le llama lámina de cuarto de onda o $\frac{\lambda}{4}$; si se observa con un solo analizador, se tendrá el mismo resultado que cuando se utiliza luz no polarizada (la intensidad será máxima). Dicho de otro modo, el analizador no detiene la luz.

Si el espesor del cristal origina una diferencia de fase de para una frecuencia dada, se produce una vibración lineal perpendicular a la dirección de vibración incidente. La luz que sale de este cristal está polarizada linealmente y al girar el analizador se encuentra la posición que detiene totalmente la luz. Una lámina de este tipo se denomina semionda.

Cuando la diferencia de fase producida por el cristal es tal que las vibraciones se encuentran entre los límites anteriores, se dice que la luz emergente está polarizada elípticamente y atraviesa al analizador en una proporción intermedia entre la semionda y la de $\frac{\lambda}{4}$.

ACTIVIDADES:

-Hacer incidir un haz de luz linealmente polarizada con su plano de polarización a 45° de ambos planos de la placa retardadora.

-Observar cuándo la luz resulta polarizada elípticamente y cuándo lo es circularmente.

MATERIAL:

Placas de material birrefringente (placas retardadoras) de diferentes espesores.

Base para las placas y los polarizadores

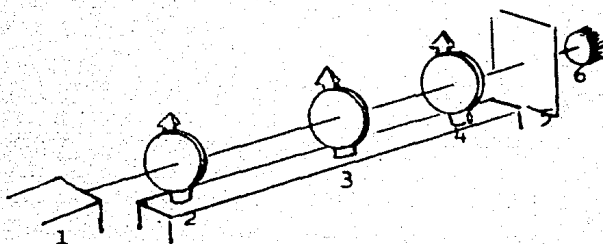
Fuente de luz (lámpara o láser)

Pantalla

Luzómetro

EXPERIMENTACION:

Monte el aparato descrito a continuación:



- 1.- Fuente de luz
- 2.- Polarizador
- 3.- Retardador
- 4.- Analizador
- 5.- Pantalla
- 6.- Luxómetro

1.- Haga incidir normalmente el haz de la fuente sobre el polarizador. En este momento no deben estar montados 3 ni 4.

2.- Mida la intensidad de la luz polarizada linealmente.

3.- Coloque un analizador con el eje paralelo al del polarizador.

4.- Gire el eje del analizador y observe qué sucede con el haz que emerge de él, desde que la diferencia entre los dos ejes sea 0° hasta los 90° .

5.- Mida la luz transmitida al principio y al final.

6.- Coloque nuevamente ambos ejes paralelos. Introduzca una placa retardadora y observe los resultados que se obtienen. Pueden suceder tres cosas al girar el analizador:

a).- La intensidad de la luz no varía.

b).- Disminuye

c).- Desaparece y se restablece cada 90° .

a) se debe a que la luz emerge polarizada circularmente y el cristal es de $\frac{1}{2}\lambda$.

b) la luz emerge polarizada elípticamente y c) la luz sale linealmente polarizada y el cristal es semionda para esa frecuencia.

Haga un breve resumen de lo acontecido durante la práctica.

Al medir la intensidad de la luz polarizada linealmente, sin placa retardadora ni analizador, se obtuvo una intensidad de 860. Enseguida se pusieron una placa y el analizador. La intensidad disminuyó, por lo que se deduce que esta primera placa es de $\frac{1}{4}\lambda$.

Se quitó la placa de $\frac{1}{4}\lambda$, se sustituyó por otra y en este caso los resultados fueron:

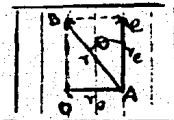
Angulo	Intensidad
0°	860.0
90°	19.5
180°	860.0
270°	20.0

Por lo que se concluye que esta placa es semionda para la luz del láser, que transmite en la longitud de 6328 \AA .

CUESTIONARIO:

a).- Explicar detalladamente lo que sucede con las componentes del haz que se propaga en ambos lados del retardador, al pasar la luz por placas de $\frac{1}{4}\lambda$ y $\frac{1}{2}\lambda$. ¿Cómo será la luz resultante en el caso de un retardador de $\frac{1}{4}\lambda$ cuando el plano no está a 45° ?

Supongamos un rayo que incide normalmente sobre un polarizador. Al salir, la luz estará polarizada en un plano paralelo al eje del polarizador. Este rayo polarizado incide sobre una lámina retardadora. El rayo se descompone en sus dos componentes, una paralela al eje óptico de la placa y otra a 90° de él.



La amplitud del rayo incidente es r , su dirección de vibración AB; θ es el ángulo entre AB y el eje óptico. Cuando el rayo se descompone, las amplitudes de los rayos ordinario y extraordinario son:

$$r_o = r \sin \theta$$

$$r_e = r \cos \theta$$

La trayectoria óptica y la velocidad de estos rayos dentro de la placa son distintas, por lo que salen desfasados. La luz que sale está polarizada elípticamente porque las componentes representan dos vibraciones de la misma frecuencia pero diferentes amplitudes r_o y r_e .

Si acontece que las dos componentes tengan la misma amplitud y además el espesor de la placa haga que la diferencia de fase entre las dos vibraciones sea de 90° o 270° ($\pi/2$ o $3\pi/2$ radianes), resulta una vibración circular. La lámina es de $\frac{1}{4}\lambda$. Si la diferencia de fase es de 180° o π radianes (lámina semionda o de $\frac{1}{2}\lambda$), resulta luz polarizada en un plano con el vector eléctrico orientado a 90° respecto de la luz polarizada linealmente que incide sobre la placa.

Cuando un rayo incide sobre una placa de $\frac{1}{4}\lambda$ en un ángulo diferente a 45° , la luz resultante está polarizada elípticamente.

b).- Una placa de material birrefringente funciona como lámina de cuarto de onda para la luz de 750 m de longitud de onda cuando se interpone en el camino del rayo de luz precisamente detrás de un polarizador lineal, y con su eje óptico a 45° al eje de transmisión del polarizador. Describir el estado de polarización de la luz emergente. Sale polarizada circularmente.

BIBLIOGRAFIA:

Alonso, M.- Física, Vol. II; Fondo Educativo Interamericano, México, 1981, p 817-821.

Bueche, F.- Fundamentos de Física; McGraw-Hill, Mexico, 1977. P 661-665.

Fronig, R. & de Boer, J.- Textbook of Physics, Pergamon Press, London, 1957; p456-457.

Perkins, H.- Basic College Physics; Prentice-Hall Inc., New York, 1953; p365-366.

Perucca, E.- Física General y Experimental, Vol II, Ed. Labor Barcelona, 1958; p 326-336.

Sears, F. & Zemansky, M.- Física General. Aguilar S.A. de Ediciones; Madrid, 1967; p 906-909.

Sintes, C.- Física General aplicada. Ed. Sopena, Barcelona, Biblioteca Hispania, 1959; p683-684.

PRACTICA No. 13
ANALISIS FOTOELASTICO
MANUAL

DURACION: 1 H.

OBJETIVO:

Analizar algunos materiales sometidos a esfuerzos mecánicos.

FUNDAMENTO TEORICO:

Cuando se colocan materiales que hayan sido sometidos a esfuerzos mecánicos entre un polarizador y un analizador, se observan efectos de polarización.

Si el polarizador y el analizador se montan con sus ejes a 90° , no se transmite luz a través del conjunto. Pero si se intercala un cristal birrefringente entre ellos, la luz, después de atravesar la placa, está en general polarizada elípticamente y parte de ella será transmitida por el analizador. Así, el campo visual, oscuro en ausencia del cristal, se hace luminoso al introducirlo.

Algunos materiales transparentes como el vidrio, celofán, etc., que no son birrefringentes normalmente, adquieren estas características al ser sometidos a tensiones o compresiones. El análisis fotoelástico se basa en tal circunstancia para evidenciar los esfuerzos a que son sometidas piezas opacas como vigas, engranes, etc. Se fabrica un modelo transparente de la pieza por analizar, se le somete a esfuerzos similares a los que debe soportar el original y se examina entre polarizadores cruzados. Las zonas sometidas a mayores esfuerzos presentan mayor birrefringencia. La

distribución de esfuerzos queda evidenciada mediante bandas luminosas de colores en la imagen final. De este modo se analizan por métodos ópticos artefactos que no podrían examinarse de otra forma. Las manchas de colores cambian a sus complementarios al girar 90° el analizador.

ACTIVIDADES:

- Colocar algunos materiales sujetos a esfuerzos entre un polarizador y un analizador.

- Observar y describir el fenómeno de birrefringencia ocasionada por esfuerzos mecánicos.

MATERIAL:

Placas de vidrio, lucita, celofán u otro plástico transparente.

Fuente de luz

Filtro polarizador

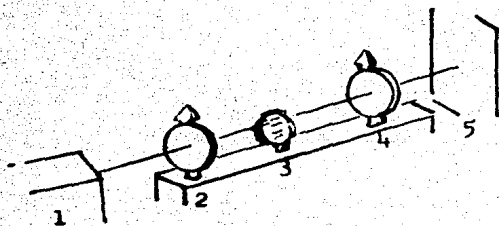
Analizador

Base para los filtros

Pantalla

EXPERIMENTACION:

Monte el aparato:



- 1.- Lámpara
- 2.- Polarizador
- 3.- Celofán
- 4.- Analizador
- 5.- Pantalla

1.- Probar la extinción de luz al cruzar el polarizador y el analizador.

2.- Colocar la placa de celofán o plástico y observar los efectos de la luz transmitida en diferentes puntos.

3.- Girar 90° el analizador y observar lo que sucede.

CUESTIONARIO:

Describir el fenómeno y su utilidad.

La descripción se hizo en la parte teórica.

Utilidad.- En la industria se le utiliza muchísimo; por ejemplo, en la fabricación de lentes ópticos se analiza el vidrio antes de pulirlo y tallarlo; en la industria metal-mecánica, para averiguar los esfuerzos en engranes, pistones y otras piezas; asimismo en la industria de la construcción, la automovilística, la aviación, etc.

Observaciones:

Se logran efectos muy notables arrugando un pedazo de celofán o poniendo varias capas juntas, o bien, aplastando con unas pinzas un trozo de plástico rígido transparente.

BIBLIOGRAFIA:

Ballard, S. & Slack, E.- Principios de Física. Ed. Reverté,
Barcelona, 1957. p 675-678; 680-683.

Bueche, P.- Fundamentos de Física. McGraw-Hill, México, 1977.
p 661-662.

Kronig, R. & de Boer, J.- Textbook of Physics. Pergamon Press,
London, 1959. p 184-186.

Perucca, E.- Física General y Experimental, Vol. II. Ed. Labor,
Barcelona, 1958. p 337-339.

PRACTICA No. 14

LEY DE MALUS

MANUAL.

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Verificar la relación que existe entre intensidad luminosa y el ángulo formado por los ejes de dos polarizadores.

FUNDAMENTO TEORICO:

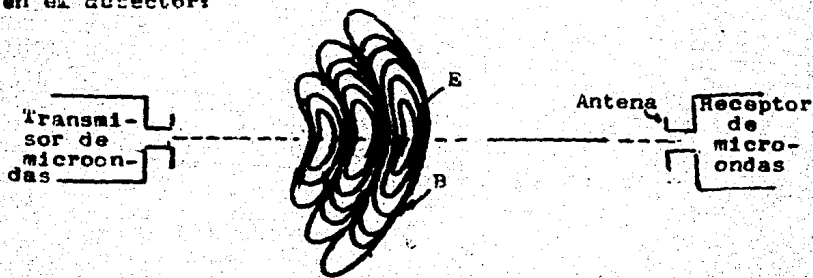
La luz, de acuerdo con la teoría electromagnética, debe ser una onda transversal; por tanto, las direcciones de los vectores vibratorios eléctrico y magnético deben ser perpendiculares entre sí y normales a la dirección de propagación, no paralelos a ella como en las vibraciones longitudinales.



Las vibraciones del vector eléctrico (E) son paralelas entre sí en todos los puntos de la onda. En un punto cualquiera, el vector E y la dirección de propagación forman un plano, llamado plano de vibración. En una onda linealmente polarizada, todos estos planos son paralelos.

En una onda transversal polarizada en un plano es necesario especificar dos direcciones: la de la perturbación ondulatoria (E, por ejemplo) y la de propagación. En una onda longitudinal estas direcciones son idénticas. En las ondas transversales po-

larizadas en un plano, pero no en las longitudinales, podemos esperar, por consiguiente, una falta de simetría con respecto a la dirección de propagación. Las ondas electromagnéticas en la zona del radio y las microondas muestran fácilmente esta falta de simetría. Una onda de este tipo, generada por el flujo y reflujo de las cargas en el dipolo que constituye la antena transmisora tiene, a grandes distancias del dipolo y perpendicularmente a él, un vector del campo eléctrico paralelo al eje del dipolo. Cuando esta onda polarizada en un plano llega a otro dipolo conectado con un detector de microondas, la componente alterna eléctrica de la onda hará que los electrones se muevan en un sentido y en otro en la antena receptora, produciendo una lectura en el detector:

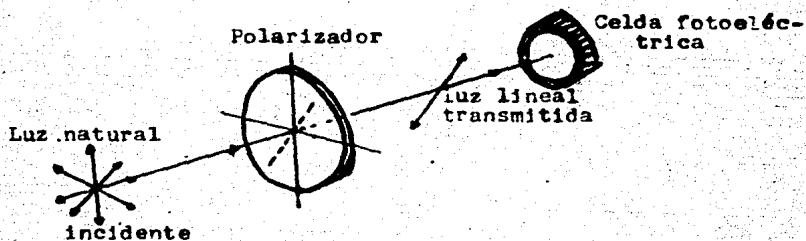


Si hacemos girar 90° la antena receptora con respecto a la dirección de propagación, la lectura del detector cae a cero. En esta orientación, el vector del campo eléctrico no es capaz de hacer que las cargas se muevan a lo largo del eje del dipolo porque el vector apunta perpendicularmente a él.

Las fuentes usuales de luz visible difieren de las fuentes de radio y microondas en que los radiadores elementales, esto es,

los átomos y las moléculas, obran independientemente. La luz que se propaga en una dirección dada consiste en trenes de ondas independientes cuyos planos de vibración están orientados al azar con respecto a la dirección de propagación. Esta luz, si bien sigue siendo transversal, es no polarizada. La orientación al azar de los planos de vibración origina una simetría con respecto a la dirección de propagación. Para encontrar la naturaleza transversal de la luz, debe encontrarse una manera de separar los diferentes planos de vibración. Esto se logra utilizando láminas polarizadoras, cuyo fundamento hemos visto en prácticas anteriores.

Cuando la luz incide sobre un polarizador, sólo transmite luz polarizada linealmente. El polarizador puede ser una pila de láminas, un prisma de Nicol o un filtro polaroid:



La línea de puntos que atraviesa el polarizador indica la dirección del vector eléctrico en la luz transmitida. Esta incide sobre una celda fotoeléctrica y la corriente que circula por un microamperímetro conectado a la celda es proporcional a la cantidad de luz que incide sobre ella.

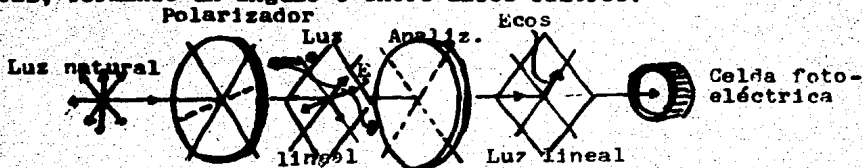
Si la luz incidente no está polarizada, entonces, aunque se

haga girar el analizador tomando el rayo incidente como eje, la indicación del microamperímetro permanece constante. El polarizador transmite las componentes de las ondas incidentes en las cuales el vector E es paralelo a la dirección de transmisión del polarizador y, por simetría, las componentes paralelas a esa dirección.

Si al hacer girar el polarizador se observa alguna variación en la indicación del amperímetro, la luz incidente no es natural y se dice que está parcialmente polarizada, pero mediante una sola prueba no es posible saber de qué clase de luz se trata. Supongamos que la lectura del microamperímetro varía. Representemos por $I_{\text{máx}}$ e $I_{\text{mín}}$ los valores máximo y mínimo de la cantidad de luz que incide sobre la célula fotoeléctrica, o sea, las indicaciones máximas y mínimas del microamperímetro, ya que ambas son proporcionales. Se define el porcentaje de polarización como:

$$\% \text{ polarización} = \frac{I_{\text{máx}} - I_{\text{mín}}}{I_{\text{máx}} + I_{\text{mín}}} \times 100$$

Supongamos ahora que se interpone un segundo polarizador entre el primero y la célula fotoeléctrica, y que la dirección de transmisión de este segundo polarizador o analizador es vertical, formando un ángulo θ entre ambos filtros:



La luz lineal transmitida por el analizador se descompone en dos: componentes paralela y normal, respectivamente, a la dirección de transmisión del analizador. Por supuesto, sólo la componente paralela, de amplitud $E \cos \theta$ será transmitida por el analizador. La luz transmitida es máxima para $\theta = 0$ y nula para $\theta = 90^\circ$, o sea, cuando polarizador y analizador están cruzados. Para ángulos intermedios, como la cantidad de luz es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico, tenemos:

$$I = I_{\text{máx}} \cos^2 \theta$$

siendo $I_{\text{máx}}$ la máxima cantidad de luz transmitida e I la cantidad transmitida para el ángulo θ . Esta relación, descubierta experimentalmente por Etienne Malus en 1890, se denomina Ley de Malus.

Evidentemente, en general, el significado del ángulo θ es el del ángulo formado por las direcciones de transmisión del polarizador y el analizador. Si se hace girar cualquiera de los dos, la amplitud del haz transmitido varía al mismo tiempo que el ángulo formado por ellos.

ACTIVIDADES:

- 1.- Hacer atravesar un haz luminoso a través de dos polarizadores.
- 2.- Variar el ángulo del analizador con respecto al polarizador de 0 a 90° .
- 3.- Determinar los valores de la luz transmitida y verificar la Ley de Malus.

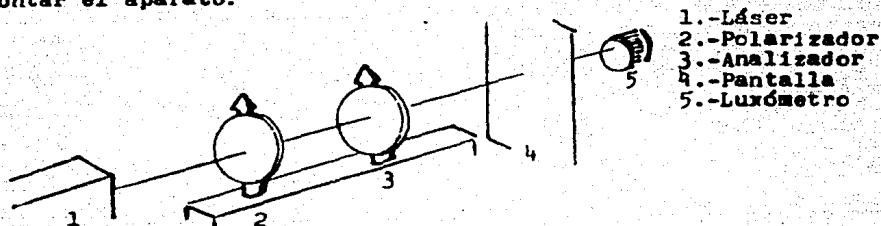
MATERIAL:

Lámpara (puede usarse el láser)

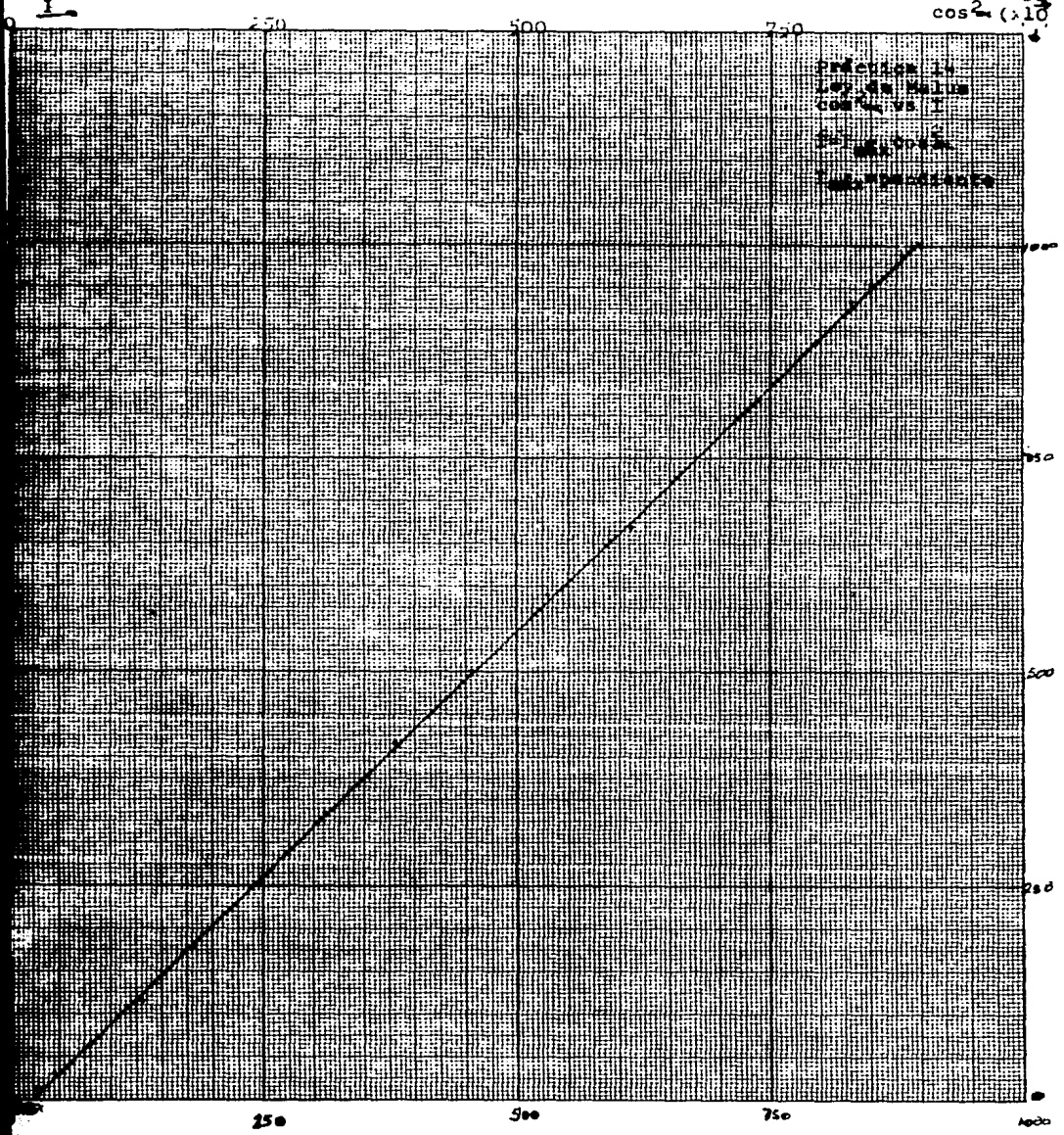
Filtro polarizador
Filtro analizador
Base para los filtros
Pantalla
Luxómetro

EXPERIMENTACION:

Montar el aparato:



- 1.- Verificar que los ejes de ambos filtros estén paralelos.
- 2.- Encender el láser y hacer incidir el haz en forma normal a los dos filtros.
- 3.- Tomar la lectura inicial.
- 4.- Variar de 5 en 5° el ángulo del analizador con respecto al polarizador y medir la luz transmitida en cada caso. Finalizar el experimento cuando la intensidad de la luz transmitida sea cero o un valor muy cercano a él.
- 5.- Tabular los datos obtenidos.
- 6.- Graficar ángulo entre ambos ejes vs intensidad transmitida y $\cos^2 \theta$ vs intensidad.



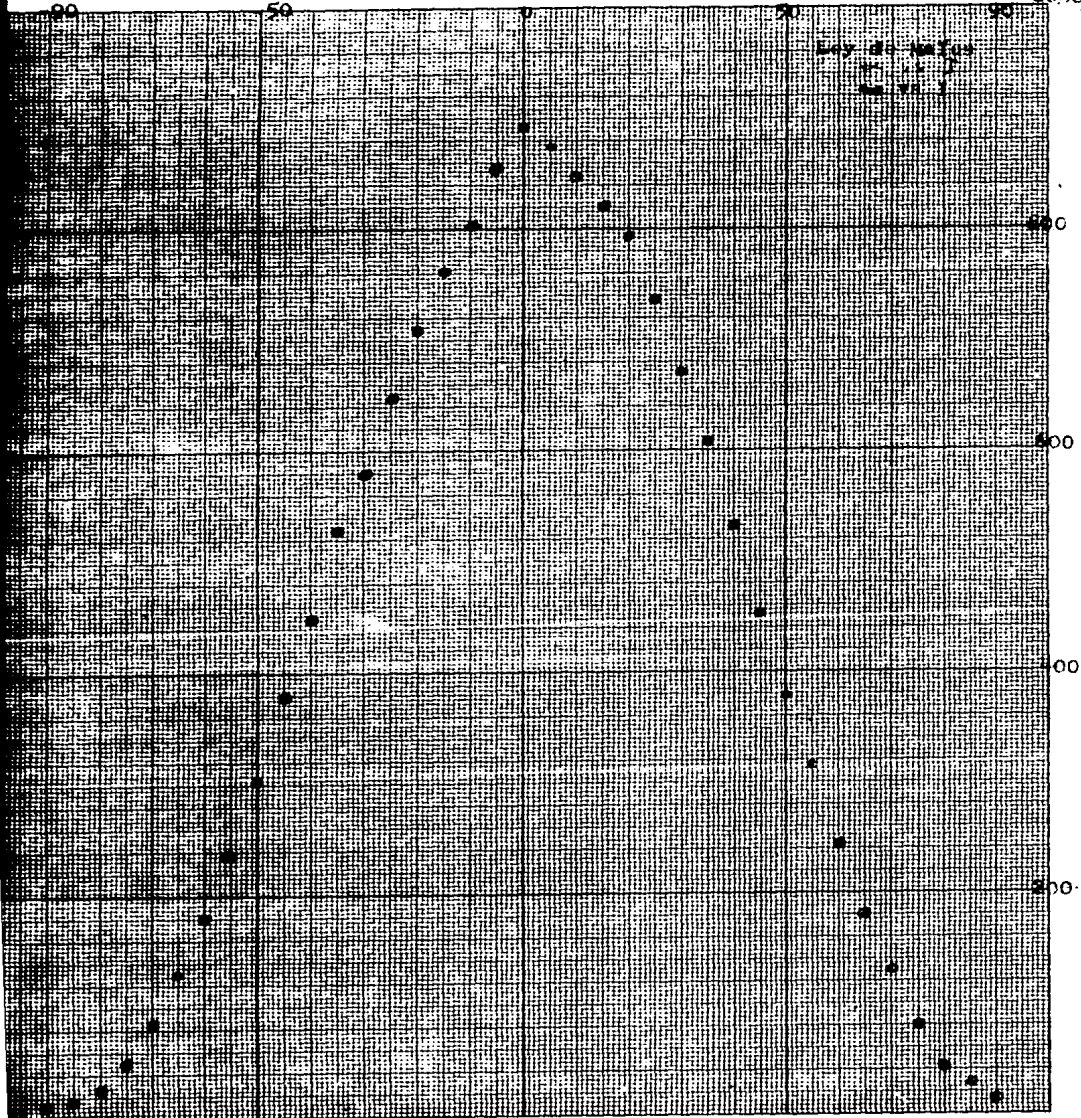
Práctica 14
Ley de Hooke
Cuerpos I
Elongación
Elasticidad

250

500

750

1000



Los datos experimentales fueron recomodados a fin de facilitar la elaboración de las gráficas correspondientes:

Tabla I

ángulo α	Intensidad transmitida I	Medida I	Incertidumbre \pm
90	12, 18, 18, 4	14	2.2
85	20, 35, 35, 20	28	4.0
80	45, 50, 50, 30	44	3.5
75	80, 80, 80, 80	80	0.0
70	155, 135, 135, 100	131	8.0
65	170, 185, 185, 178	180	3.0
60	240, 240, 240, 254	244	2.2
55	305, 320, 320, 319	316	2.7
50	370, 380, 380, 384	379	2.0
45	440, 460, 460, 454	454	3.2
40	530, 540, 540, 524	534	3.2
35	610, 610, 610, 604	609	1.0
30	670, 670, 670, 684	674	2.7
25	735, 730, 730, 750	736	3.4
20	785, 780, 780, 830	794	9.1
15	820, 800, 800, 865	821	10.9
10	850, 825, 825, 900	850	12.5
5	865, 850, 850, 940	876	26.8
0	870, 860, 860, 980	893	44.0
-5	850, 820, 820, 900	848	27.5
-10	830, 780, 780, 820	802	22.5
-15	785, 750, 750, 770	764	13.3

α	I	\bar{I}	\pm
-20	740, 700, 700, 700	710	15.0
-25	675, 630, 630, 650	646	16.3
-30	620, 560, 560, 580	580	20.0
-35	545, 525, 525, 530	531	6.8
-40	450, 450, 450, 450	450	0.0
-45	380, 380, 380, 380	380	0.0
-50	305, 300, 300, 310	304	3.8
-55	230, 240, 240, 240	238	3.5
-60	170, 180, 180, 190	180	5.0
-65	121, 136, 136, 135	132	5.5
-70	75, 84, 84, 95	85	5.5
-75	44, 50, 50, 50	49	2.0
-80	17, 26, 26, 30	25	3.8
-85	8, 18, 18, 15	15	3.3
-90	6, 16, 16, 10	12	4.0

Para $\alpha = 0^\circ$, $I = 893 \pm 22$

para $\alpha = 90^\circ$, $I = 13 \pm 2.5$

En la gráfica 1 se han utilizado estos valores. Para la gráfica 2 tenemos:

α	$\cos \alpha$	$\cos^2 \alpha$	I
0	1.0000	1.0000	893
5	0.9962	0.992	876
10	0.9847	0.967	850
15	0.9659	0.933	821
20	0.9397	0.883	794

25	0.9063	0.8214	736
30	0.8660	0.7500	674
35	0.8192	0.6711	609
40	0.7660	0.5860	534
45	0.7071	0.5000	454
50	0.6428	0.4131	379
55	0.5736	0.3290	316
60	0.5000	0.2500	244
65	0.4226	0.1786	180
70	0.3420	0.1170	131
75	0.2588	0.0670	80
80	0.1736	0.0301	44
85	0.0872	0.0076	28
90	0.0000	0.0000	14

Se obtiene una recta de pendiente $I_{\text{máx}}$ ya que la relación entre I y $\cos^2 \alpha$ es lineal según la ec. $I = I_{\text{máx}} \cos^2 \alpha$

$$I_{\text{máx}} = 8.75/10 = 0.875 \times 10^3$$

De la ec. de una recta:

$$y = mx + b,$$

$$b = 13.5$$

de donde:

$$I = 875 \cos^2 \alpha + 13.5$$

CUESTIONARIO:

1.- ¿Qué tipo de gráficas obtuvo?

La No. 1, ángulo vs intensidad transmitida, es sinusoidal,
la No. 2, $\cos^2 \alpha$ vs I , indica una relación lineal.

2.- ¿A qué ángulos obtuvo las lecturas mínima y máxima respectivamente?

La lectura mínima correspondió a un ángulo de 90° y la máxima a los 0° .

3.- ¿Cuál fue la incertidumbre en las medidas?

Está anotada en los resultados.

4.- Supongamos que tenemos dos polarizadores ideales. ¿Cuál será la intensidad máxima que se transmita a través de ellos?

Teniendo en cuenta que el polarizador absorbe la mitad de la luz incidente, la intensidad máxima a través del polarizador y el analizador es el 50% de la luz original.

5.- Un polarizador y un analizador están orientados de modo que se transmita la cantidad máxima de luz. ¿A qué fracción de este valor máximo se reduce la intensidad de la luz transmitida cuando se gira el analizador: a) 30, b) 45, c) 60° ?

Cuando el ángulo es de 30° , la intensidad transmitida corresponde a $2/3$ del valor original; a los 45° es la mitad y a los 60° se transmite $1/3$ de la cantidad máxima. Estos valores son teóricos, pues en la práctica difieren un poco.

BIBLIOGRAFIA

Blackwood, O.- Física General, Cfa. Editorial Continental, S.A. México, D.F.- 1967, p 519-527.

Bueche, F.- Fundamentos de física; McGraw-Hill Co., México, 1977; p 668-676.

Gamero, G.- Materia, tierra y cielo; Cfa Editorial Continental, México, 1964; p 199.

Hetch, E.- Optica; Fondo Educativo Interamericano, EUA, 1974; p 233-292.

Resnick & Halliday.- Física, Vol. II.- Cfa Editorial Continental, México, 1983, p

Rossi, B.- Fundamentos de Optica.- Ed. Reverté, México, 1978; p. 258-263.

FRACTICA No. 15
ACTIVIDAD OPTICA
SACARIMETRO DE VENTZKE-SOLEIL
MANUAL

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Calcular los efectos de propagación de luz polarizada en sustancias con actividad óptica.

Analizar soluciones de sacarosa, y de ser posible, de fructosa.

FUNDAMENTO TEORICO:

Otro fenómeno relacionado con el carácter transversal de las ondas electromagnéticas es el de la rotación del plano de polarización, llamado actividad óptica cuando se observa en la región visible del espectro electromagnético.

La forma en que la luz interactúa con diversas sustancias puede dar una gran cantidad de información acerca de las estructuras moleculares. Además del interés específico que tiene para la óptica, es de gran importancia en química y biología.

En el siglo pasado se descubrió que el plano de polarización de un haz lineal sufría una rotación continua conforme se propagaba a lo largo del eje óptico de una placa de cuarzo o sustancias como el aguarrás. El valor final del ángulo formado resulta ser proporcional a la longitud que haya recorrido el rayo dentro de la sustancia, a su concentración y naturaleza, e independiente del sentido en que la luz atravesase al cuerpo activo.

Desde el punto de vista de un observador que reciba la luz transmitida, las sustancias se clasifican en dextrógiras y levógiras. Si el plano de vibración parece voltearse un cierto ángulo en el sentido de las manecillas del reloj, se dice que son dextrógiras (del latín dextros, derecha) y si es en sentido contrario, se dice que son levógiras (de levos, izquierda); se abrevian d y l respectivamente y por convención se escribe + cuando son dextrógiras y - cuando son levógiras.

Las sustancias ópticamente activas pueden dividirse en:

a).- Activas en cualquier estado de agregación o en solución en un disolvente ópticamente inactivo, p. ej., alcanfor. La actividad es debida a la especial asimetría de las moléculas de la sustancia en cuestión. Se dice que su actividad es molecular.

b).- Activas sólo en estado cristalino, como el cuarzo, clorato de sodio, etc. En este caso la actividad depende de la capacidad que tienen las moléculas para construir cristales con una asimetría especial, sin planos ni centros de simetría.

En una sustancia con actividad molecular puede suceder que existan "antípodas ópticos" o sea, isómeros con actividad óptica igual y opuesta, en cuyo caso, la sustancia en conjunto será inactiva. En el caso de sólidos pueden existir cristales enantiomorfos, que producen el mismo resultado.

En los cristales activos, los planos característicos de la asimetría óptica no son necesariamente visibles.

Como ejemplo de sustancia pura, líquida, químicamente definida que sólo presenta actividad molecular, tenemos al limoneno.

El NaClO_3 es una sustancia pura, químicamente determinada, en

forma de cristal isotrópico y que presenta actividad cristalina.

El caso más común es el de una solución donde el soluto posee actividad molecular y el disolvente es inactivo, por ejemplo, azúcar disuelto en agua.

La actividad óptica se rige por las llamadas Leyes de Biot:

1.- La rotación del plano de polarización no es la misma para los diversos colores simples, sino que es tanto mayor cuanto más refrangibles sean estos colores.

2.- En un mismo color simple y en lámina de un mismo cristal, la rotación es proporcional al espesor:

$$\alpha = K \cdot c \cdot h$$

donde:

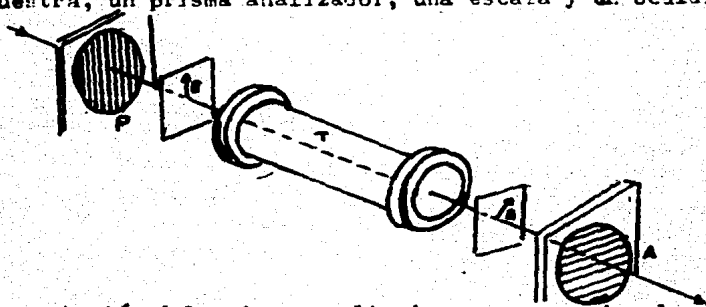
α = ángulo que se desvía la luz
K = poder rotatorio específico, en grados
c = concentración de la solución, generalmente en g/ml de solución
h = espesor, en dm, de la solución atravesada por la luz.

3.- En la rotación de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, el giro es el mismo para un espesor igual.

Poder rotatorio específico.- Es la rotación producida por una columna de 10 cm de líquido que contenga 1 g de sustancia activa por ml de solución. Es característica para cada sustancia y se ve afectado por la temperatura, la longitud de onda de la luz utilizada, la naturaleza del disolvente, etc.

Los aparatos para medir con precisión la rotación producida en el plano de polarización por sustancias activas se denominan polarímetros. Cuando miden específicamente la concentración de solu-

ciones azucaradas toman el nombre de sacarímetros. Constan esencialmente de una fuente de luz, un prisma polarizante, un tubo para la muestra, un prisma analizador, una escala y un ocular:



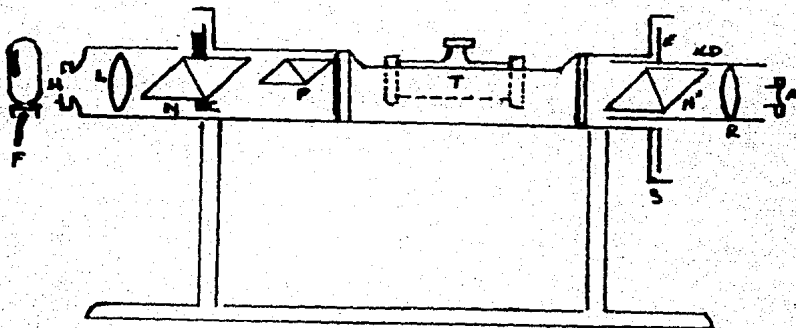
La rotación del prisma analizador con respecto al prisma polarizante permite medir en forma directa el poder rotatorio. La introducción de un dispositivo de penumbra permite comparar dos porciones del campo para lograr el punto de balance.

El sacarímetro de Ventzke-Soleil es uno de los más usados por ser sumamente sensible y utilizar luz blanca. Comercialmente, la pureza del azúcar se mide con estos aparatos.

El sacarímetro mencionado trabaja con la luz blanca de un foco intenso F que penetra en el instrumento a través de una abertura circular H, en un primer tubo en el cual hay un nicol N y una lámina de cuarzo tallada normalmente al eje C; este sistema puede hacerse girar desde M por el observador.

En un tubo que ajusta en el anterior hay una lente L, cuyo objeto es dar una buena iluminación, un bicuarzo B y un nicol P, que colorean un hemisferio del campo visual. Hay después un espacio libre donde se coloca la sustancia activa, en un tubo T. En la

porción KD está un compensador; el tornillo S actúa sobre él. Hay además un nicol analizador N', un pequeño anteojo A y, paralelamente al sistema anterior, una lupa R a la cual llegan los rayos que, provenientes de la escala, se reflejan en el espejo E.



Después de ajustar a cero la escala usando agua destilada, se mide el ángulo de desviación de las soluciones azucaradas y del valor obtenido se deduce la proporción de azúcar mediante un sencillo cálculo, utilizando la segunda ley de Biot. También es común el empleo de curvas de calibración empíricas que relacionan la rotación óptica con la concentración. Estas curvas pueden ser lineales, parabólicas o hiperbólicas.

ACTIVIDADES:

- Hacer soluciones con diferentes concentraciones de azúcar.
- Observar el ángulo de giro al colocar esas soluciones en el sacarámetro.
- Determinar si la sustancia es dextrógira o levógira.

MATERIAL:

Sacarosa

Agua destilada

Termómetro

Sacarímetro

Balanza

Vasos de precipitados

Fructuosa (optativa)

Jarabe de maíz (optativo)

EXPERIMENTACION:

Se utilizará el aparato descrito en la parte teórica.

1.- Haga soluciones al 1, 5, 10, 20 y 50% de sacarosa en agua destilada.

2.- Determine su temperatura.

3.- Llene el tubo T con agua destilada, cuidando que no queden burbujas. Encienda la lámpara y enfoque hasta que se vean bien las dos mitades del campo.

4.- Iguale las dos mitades y ajuste la escala a cero mediante el tornillo S.

5.- Quite el agua del tubo, enjuague con un poco de la solución más diluida, llene el tubo con ella y colóquelo otra vez en su lugar.

6.- Gire el tornillo compensador hasta obtener igualdad de iluminación en ambos hemisferios.

7.- Tome la lectura y añada el signo + o -, según el plano haya girado a la derecha o a la izquierda.

8.- Vacíe el tubo, llénelo con la siguiente solución y resta-

blesca la igualdad de iluminación. Tome la nueva lectura.

Cada vez que cambie de solución, enjuague con una pequeña porción de la nueva concentración y deseche esa parte.

9.- Repita el proceso para todas las concentraciones.

10.- De ser posible, use fructuosa para hacer una segunda serie de determinaciones.

CUESTIONARIO:

1.- Tabule los datos:

$$\alpha = K \cdot h \cdot c$$

c g/ml	h dm	K n ^o	n ^o
0.0	2.0	-	0.0
0.01	2.0	65.9	+1.32
0.0502	2.0	65.9	+6.59
0.10	2.0	65.9	+13.18
0.20	2.0	65.9	+26.36
0.26	2.0	65.9	+34.265
0.50	2.0	65.9	+65.9

2.- Grafique concentración vs ángulo de rotación. ¿Qué tipo de gráfica obtuvo?

Lineal.

3.- ¿Cuál fue la incertidumbre en sus medidas?

Se considera que el error introducido por h y K es insignificante; únicamente influyen la forma en que se hayan preparado las soluciones (si el azúcar se pesó en balanza granataria o analítica, cómo se midió el agua) y la precisión con que se igualaron los campos. Aquí el error suele ser de unos cuantos minutos.

4.- ¿La sustancia analizada es dextrógira o levógira?

Dextrógira.

5.- ¿Cuáles son las sustancias ópticamente activas?

Todas las transparentes enantiomorfas como el cuarzo, sacarosa en solución, NaBrO_3 , etc.

6.- ¿De qué depende el poder rotatorio?

En los cristales, de la distribución estructural de sus moléculas; en los líquidos, de la asimetría de sus moléculas individuales.

Observaciones:

Se puede apreciar muy fácilmente la actividad óptica usando jarabe de maíz incoloro:

Se llena a medias un vasito de precipitados con jarabe. Se coloca entre dos polarizadores cruzados y se ilumina con una lámpara (puede usarse el láser). Se gira el analizador y aparecen colores en la pantalla debidos al efecto conocido como dispersión rotatoria. Usando luz monocromática se puede obtener el poder rotatorio del jarabe.

BIBLIOGRAFIA:

Bueche, F.- Fundamentos de Física.- McGraw-Hill, México, 1977 p. 661-665.

Bekerley, Physics Course, Vol III, Waves.- McGraw-Hill, New York 1968, p. 425-426.

Eldrige, J.- College Physics, John Wiley & Sons Inc., New York 1947, p. 672-678.

Hamilton, .- Cálculos de Química Analítica,

Hetch, E.- Optica. Fondo Educativo Interamericano S.A., Bogotá
1977. p271-276.

Heyrovsky, J.- Practical Polarography. An introduction for Chemistry students.

Fronig, R.- Textbook of Physics.- Pergamon Press, London, 1959
p. 456-460.

Perkins H., Basic College Physics, -Prentice-Hall Inc., New
York, 1953. p 365-366.

Rossi, B.- Fundamentos de óptica, Ed. Reverté, Barcelona, 1978
p. 289-291.

Sears, F.- Física General, Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid,
1967. p 906-909.

Sintes, F.- Física General aplicada, Ed. Sopena, Barcelona,
España, Biblioteca Hispania, 1959. p 683-684.

PRACTICA No. 16
POLARIZACION DE UN LASER
MANUAL

DURACION: 2 Hs.

OBJETIVO:

Determinar los efectos de polarización del láser.

FUNDAMENTO TEORICO:

El láser día a día cobra mayor importancia en el laboratorio de óptica porque sus características permiten mostrar las propiedades de la luz con claridad y sencillez, ya que evitan el uso de aditamentos y aparatos engorrosos, que frecuentemente entorpecen los experimentos.

La palabra láser está formada por las siglas de "light amplification by stimulated emission of radiation". Físicamente constituye una fuente de radiación monocromática, que puede trabajar en la región infrarroja, visible o ultravioleta del espectro electromagnético.

Todo sistema físico está formado por átomos, que energéticamente pueden estar en estado basal (de mínima energía) o excitados (con energía superior a la de su estado basal). Si se encuentran en el primer caso, pueden absorber energía y si están excitados pueden emitirla, ya sea en forma espontánea o inducida. Todas las fuentes luminosas se basan en este fenómeno.

En una fuente convencional de luz, como una lámpara de tungsteno, los átomos del filamento se excitan por calentamiento y ense-

guida pasan a un estado de menor energía emitiendo fotones (luz). Este proceso es desordenado y da lugar a una radiación isotrópica incoherente que posee un espectro continuo de frecuencias.

Otra fuente luminosa, casi monocromática, es la formada por vapores o gases, ya sean de sodio, mercurio, neon u otros elementos. Son frías y están formadas por un tubo donde se encuentra el gas enrarecido y dos electrodos a los que se les aplica un voltaje elevado que provoca una corriente de descarga acompañada de luz de color característico del gas empleado. La radiación resultante es isotrópica, incoherente, casi monocromática y de mayor intensidad que la anterior. Se dice que su concentración espectral es mayor.

La concentración espectral de ambas fuentes ocupa una parte relativamente amplia del espectro electromagnético, lo cual es un inconveniente para muchas aplicaciones que requieren de ondas que pertenezcan a una región muy estrecha del espectro.

Se dice que la luz de cualquier fuente convencional es incoherente espacial y temporalmente. Espacial porque las fuentes no son puntuales y llegan a un lugar recorriendo diferentes caminos ópticos. Temporalmente incoherente porque la radiación es impura, es decir, policromática. Por ser incoherentes, las ondas emergentes se refuerzan o cancelan al azar. La luz espacialmente coherente surge de un punto y es totalmente monocromática. Puede hacerse que una fuente convencional adquiera estas características o sea por un pequeño orificio y después por un filtro, pero se desperdicia la mayor parte y el haz coherente que se obtiene es muy débil.

Todos estos problemas se eliminan utilizando el láser, que es un oscilador óptico que posee cuatro propiedades que determinan

su enorme importancia actual. Ellas son:

1.- Intensidad.- La luz del láser puede ser tan intensa que al concentrarse mediante lentes sobre un objeto (metal, roca, etc.) lo perfora. Aun los láseres de laboratorio, cuya intensidad es mínima, aproximadamente 1.5 mW, son potencialmente dañinos para los ojos y debe evitarse mirar directamente al haz o su reflejo.

2.- Monocromaticidad. La luz del láser es casi monocromática, característica que se conoce como coherencia temporal; se refiere a que los fotones emitidos tienen la misma frecuencia.

3.- Coherencia espacial. Se refiere al hecho de que el haz sale prácticamente de un punto (el diámetro del haz es menor de 1.5 mm) y la parte más intensa está en el centro.

4.- Directividad o colimación. El ancho del haz es casi constante a lo largo de grandes distancias, ya que su divergencia es de apenas 1 milirradián.

Las bases teóricas del láser fueron sentadas por Schawlow y Townes en 1959. En 1960 Maiman creó el láser de rubí. También en 1960 fue construido el primer láser de He-Ne por Javan, Bennet y Harriot en los laboratorios de la Bell Telephone Co., con todas las líneas en el infrarrojo. El láser de He-Ne de espectro visible fue hecho por White y Ridgen en 1962.

Cualquier tipo de láser debe poseer:

-Un mecanismo artificial que ceda energía a los átomos a fin de excitar la mayor parte de ellos (se dice que se debe establecer una inversión de población). La energía puede ser suministrada mediante:

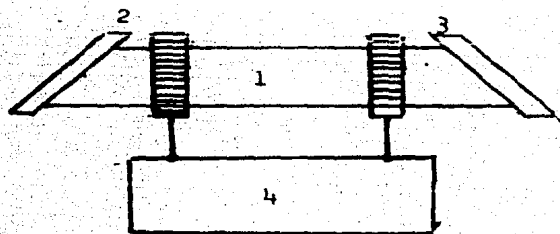
a).- excitación de fotones, o sea, el llamado bombeo óptico. La radiación sobre el medio proviene de una fuente intensa de luz. Se usa en láseres sólidos y líquidos.

b).- descarga eléctrica a través de un gas (excitación electrónica). Se usa en láseres iónicos como el de argón.

c).- descarga eléctrica sobre una mezcla de gases en los cuales la energía de excitación es igual o parecida, de modo que los átomos de un gas exciten a los del otro y éstos, al regresar a su estado basal, emitan radiación. Es el método usado en el de He-Ne.

-Un resonador, generalmente dos espejos colocados frente a frente, donde se confine la radiación y se fijen tanto la frecuencia como la fase de los fotones emitidos, a fin de que emerja una onda coherente.

El esquema básico del dispositivo del láser de gas es:



- 1.-Tubo de descarga con gas activo.
- 2,3.-Espejos reflectores del resonador.
- 4.-Fuentes de excitación de la mezcla gaseosa.

El mecanismo de funcionamiento es el siguiente:

El tubo de descarga, con un diámetro aproximado de 2mm, contiene una mezcla de He-Ne a baja presión -aproximadamente 85% de He y 15% de Ne a 0.01 mm Hg- que es excitada por una corriente moderada de descarga (menos de 10 mA) de corriente directa. La descar

ga excita a los átomos de He y dado que los estados excitados de éste coinciden con los del Ne, las colisiones entre ambos excitan a los átomos del último. Se logra así una inversión de población en los átomos de Ne que pueden decaer a estados de menor energía. En este caso las emisiones inducidas no retornan a los átomos de Ne a su estado basal, sino sólo a estados de menor energía que los excitados por la interacción con los átomos de He. Posteriormente, los átomos de Ne decaen hasta su estado basal desprendiendo calor.

Las principales frecuencias de radiación están en el visible (6328 \AA) y en el infrarrojo (3.39 y $1.15 \text{ }\mu\text{m}$). Se obtiene una sola longitud de onda ajustando la reflectividad de los espejos con recubrimientos llamados de multipaca, de modo que sea máxima la longitud de onda elegida.

La cavidad resonante consiste generalmente en un espejo plano en la parte de atrás y uno cóncavo en el extremo por donde sale el haz (llamado arreglo semi-confocal), con lo cual se sacrifica algo de potencia, pero se hace al aparato sumamente estable al maltrato propio de un laboratorio escolar. El espejo cóncavo tiene su foco en el espejo plano, por lo que el haz sale divergente; para compensar ésto, el espejo de salida tiene una superficie convexa en la parte exterior. Este espejo es un reflector parcial que refleja aproximadamente el 99% de la luz y transmite el 1%. El espejo de atrás tiene mayor reflectividad (99.9%) y únicamente deja pasar el 0.1%, que es la eficiencia del láser. Además de la luz coherente, emite radiación incoherente en el azul y el verde.

Teóricamente, el haz emergente del láser, al igual que la luz del sol, no debería estar polarizada; sin embargo, se observan efectos de polarización semejantes a los vistos en la luz solar.

ACTIVIDADES:

-Utilizar un polarizador, una lente convergente o divergente de pequeño diámetro y un fotómetro para determinar los efectos de polarización del láser.

MATERIAL:

Láser de He-Ne

Polarizador de pequeño diámetro

Lente convergente o divergente de pequeño diámetro

Cinta adhesiva

Fotómetro

Cronómetro

Pantalla

EXPERIMENTACION:

1.- Pegue en la parte delantera del láser un polarizador de muy pequeño diámetro, que cubra poco más del ancho del haz, usando cinta adhesiva para ello.

2.- Coloque enfrente una lente convergente o divergente para expandir el haz, el cual se dirige a una pared o pantalla colocada a 2-3^{ra} de distancia.

3.- Gire lentamente el polarizador y observe la brillantez de la mancha. Gírelo hasta obtener la máxima brillantez.

4.- Coloque el fotómetro enfrente del haz ensanchado y ajústelo a que dé una lectura máxima.

- 5.- Después de dejar calentar unos minutos al láser, determine el tiempo que tarda en variar la intensidad una cierta cantidad.
- 6.- Tabule los datos obtenidos y grafique tiempo vs intensidad.
- Unos datos obtenidos fueron los siguientes:

Tiempo (seg \pm 1)	Intensidad (\pm 3)
0	0
10	5
21	10
34	15
55	20
78	25
122	29
146	28
165	25
214	20
236	15
251	10
268	5
295	0
317	5
330	15
343	20
364	20
384	25
408	28
424	27

Tiempo (s \pm 1)	Intensidad (\pm 3)
434	27.5
481	20
500	15
514	10
526	15
544	0
556	0
575	0
589	5
607	10
629	15
654	20
689	25
700	25
761	20
792	25
814	10

En la gráfica se pueden observar los máximos y mínimos obtenidos.

CUESTIONARIO:

1.- ¿Qué es fundamentalmente un láser?

Es un oscilador óptico; una fuente de radiación constituida por un medio amplificador donde ésta se genera y una cavidad resonante que la contiene.

2.- ¿A qué se llama inversión de población?

Al hecho de obtener, mediante algún método, que la mayoría de los átomos que se encuentran en el medio amplificador estén excitados.

3.- ¿Cómo se puede obtener la inversión de población?

Mediante: a) bombeo óptico

b) excitación electrónica directa

c) colisiones inelásticas

4.- El láser de He-Ne emite luz coherente en el rojo; ¿sabe si además emite otras radiaciones?

Sí. Emite luz incoherente azul y verde, que emergen formando un cono centrado en el haz. Pueden verse pintando estos colores en una hoja que se coloca enfrente del haz.

5.- ¿Encontró dificultades para realizar la práctica?

Es una respuesta que corresponde enteramente a los alumnos.

6.- ¿Cuál fue la incertidumbre en las medidas?

Las registradas en la tabla.

7.- ¿Qué tipo de gráfica obtuvo?

Una de máximos y mínimos, donde se aprecia claramente la variación de la polarización en función del tiempo.

8.- ¿Cuáles son las propiedades que distinguen la luz del láser de la de otras fuentes luminosas?

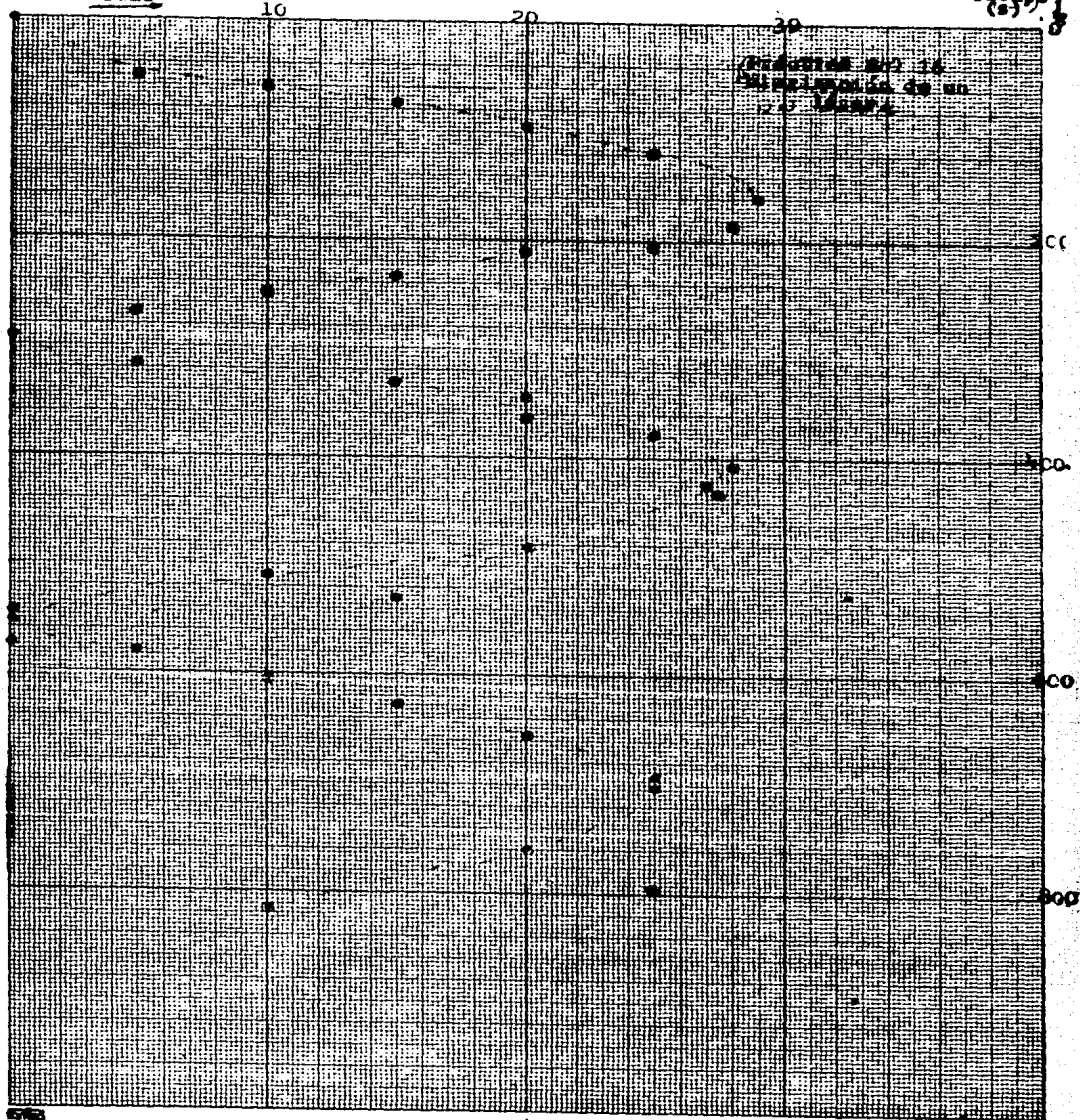
La intensidad, monocromaticidad, coherencia espacial y colimación, que son mucho mayores que en las fuentes convencionales de luz.

OBSERVACIONES:

Otra forma de tomar los datos es anotar las lecturas de intensidad a intervalos de tiempo fijos.

Intensidad

Tiempo
(s)



El láser ofrece posibilidades para demostrar claramente fenómenos ópticos diversos. Entre ellos están:

-Difracción por una rendija y por apertura circular; rejillas de difracción mono y bidimensionales. Medición de objetos muy pequeños como: diámetros de cabellos, orificios en metales, partículas (polen, sangre, etc.).

- Interferencia. Experimento de Young. Interferómetros de Michelson y Phol.

-Determinación de la longitud de onda del láser, ya sea por interferencia de dos rendijas o por difracción usando una regla de plástico.

-Dispersión.

-Refracción.

-Hologramas.

- Divergencia del haz del láser.

-Figuras de Lissajous

-Efecto Doppler.

BIBLIOGRAFIA:

- Hetch, E.- Optica. Fondo Educativo Interamericano, EUA, 1974.
p 233-292.
- Meiners, H.- Experimentos de Física. Ed. Limusa, S.A., México,
1980. p 345.
- Ostapchenko, E.- Iniciación al láser.- Marcombo Jude Pozareu
Editores. Barcelona, España, 1980. p 10-74.
- Resnick & Halliday.- Física, Vol. II.- CECSA, México, 1963.
p 213.
- Ruiz, B.R.- Láser. UNAM, México, D.F., 1985. p 9-47.

CONCLUSIONES

Los instructivos propuestos en esta tesis fueron planeados en tal forma que se cumplieran en lo posible tres propósitos:

- 1.- Cubrir el programa correspondiente.
- 2.- Usar el equipo existente ya que, debido a la crisis económica actual, es difícil pensar en adquirir nuevo equipo.
- 3.- Ampliar el horizonte a los estudiantes a fin de que integren sus conocimientos, que confirmen que aunque los fenómenos físicos se manifiesten en diferentes formas, una explicación es válida para todos.

Creo que si el maestro y los alumnos organizan su tiempo de modo que se efectúen todas las prácticas, se puede obtener algún provecho de ellas.

BIBLIOGRAFIA

Alonso, M.- Física, Vol. II.- Fondo Educativo Interamericano, México, 1979. p 817- 821.

Rallard, S. & Slack, E.- Principios de Física.- Ed. Reverté, Barcelona, 1957. p 130-135; 473-475; 477-482; 485-486; 493-495; 497-499; 526-529; 547; 595; 617-662; 665-674; 675;683.

Pokerley Physics Course.- Vol. III, Waves.- McGraw-Hill, New York, 1968. p 425-450.

Blackwood, O. & Kelly, W.- Física General.- Cía. Editorial Continental, S.A., México, 1967. p 241-245; 251-270; 473-487; 444-453; 503-510; 513-515; 519-525.

Bueche, F.- Fundamentos de Física. McGraw-Hill, México, 1977. p 28-29; 44-45; 303; 307-331; 337-349; 352-356; 357; 371; 603-604; 645-678.

Daish, C.B. & Fender, D.H.- Física experimental para estudios elementales y superiores.- Unión tipográfica Editorial Hispanoamericana, México, 1964. p 202-207; 208-209; 211-214.

Duff, W. & Masius, M.- College Physics. Longmans Green & Co., New York, 1941. p 98; 152-153; 166-171.

Eldrige, J.- College Physics.- John Wiley & sons Inc., New York, 1947. p.127-181; 198; 220-226; 314-318; 329-331; 672-678.

Gamoro, G.- Materia, Tierra y Cielo.- Cía. Editorial Continental, México, 1964. p 199.

Hamilton, J.- Cálculos de Química Analítica.- Mc Graw-Hill, Cali, 1974. p 227-234.

- Hetch, E.- *Optica*. Fondo Educativo Interamericano, EUA, 1974.
p 233-292; 293-296.
- Heyrovsky, B.- *Practical Polarography. An introduction for chemistry students.*- John Wiley & Sons. Inc., N.Y., 1974. p 340-349.
- Holton, G. & Roller, D.- *Fundamentos de la Física Moderna*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, España, 1963. p 579-604.
- Kronig, R. & de Roer, J.- *Textbook of Physics.*- Pergamon Press London, 1959. p 5-12; 152-156; 182-188; 444-453; 456-463.
- Lagemann, R.- *Ciencia Física Experimental.*- Ed. Norma, Cali, 1968. p 21-25; 146-148; 159-161.
- Meiners, H.- *Experimentos de Física*, Ed. Limusa, México, 1980.
p 345-346.
- Mosqueira, S.- *Física General*. Ed. Patria, México, 1977. p 248-255.
- Ostapchenko, E.- *Iniciación al láser.*- Marcombo Jade Boxareu Editores, Barcelona, 1983. p 10-74.
- Perkins, H.- *Basic College Physics*. Prentice-Hall Inc., New York, 1953. p 253-257; 266-276; 357-361; 365-366.
- Perucca, E.- *Física General y experimental*, Vol. II. Ed. Labor, Barcelona, 1958. p 923-932.
- Pinzón, A.- *Física I. Conceptos fundamentales y su aplicación* Harla, S.A. de C.V., Bogotá, 1977. p 191-194; 312-315.
- Rossi, B.- *Fundamentos de Optica.*- Ed. Reverté Mexicana, 1978.
p 258-263; 270-276; 289-291.
- Resnick, R.- & Halliday, D.- *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería*, Vol. I,- Cfa. Editorial Continental, S.A., México, 1963. p 387-403; 420-422.

Ruiz, B.- Láser. UNAM, México, 1985. p 9-47.

Stollberg, R. & Fitch, F.- Física. Fundamentos y fronteras. - Publicaciones Cultural, S.A., México, 1982. p 41-42; 197-199; 417-422; 472-474; 476-488; 495-500; 515-517; L41-42; L 87-104.

Sears, F. & Zemansky, M.- Física General. Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, 1974. p 207-210; 384-392; 745-831; 864-913.

Sears, F.- Fundamentos de Física, Vol. III Óptica.- Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, 1974. p 181-185.

Squires, G.L.- Física Práctica.- McGraw-Hill, México, 1972. p 7-55; 112-128; 178-179.

Sintes, O.F.- Física General aplicada. Ed. Sopena, Barcelona 1959. p 217-227; 243-246; 617-619; 671-674; 678-684.

Tippens, P.E.- Física, conceptos y aplicaciones. McGraw-Hill, México, 1981. p 163-166; 170-171; 277-280; 282-286; 290-293; 296; 302; 312-313; 327-328; 363-373; 376-379.

The Open University.- Curso básico de Ciencia, Unidad 28: La naturaleza ondulatoria de la luz. McGraw-Hill, Cali, 1974. p 18-20; 32-36; 37-40.

White, H.E.- Física descriptiva.- Ed. Reverté Mexicana, S.A., México, 1966. p 102-104; 193-201; 211-234; 237-239.