

41  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**PROPUESTA DE PROGRAMA DE OPTICA PARA EL  
BACHILLERATO DE LA UAEM Y SU IMPLEMENTACION**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**F I S I C O**  
P R E S E N T A  
**VICTOR SANCHEZ GONZALEZ**

**ASESOR: FIS. JUAN AMERICO GONZALEZ MENENDEZ**

MEXICO, D. F.

1992

**FALLA DE COPIA**



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

### 1 PRESENTACION

1. 1.- Resumen. . . . .	6
1. 2.- Introducción. . . . .	9

### CAPITULO I

#### 2 LA IMPORTANCIA DE LA OPTICA EN LA FISICA Y EN LA ENSEÑANZA DE LA FISICA.

2. 1.- Como parte del edificio de la ciencia . . . . .	11
2. 2.- Desarrollo e importancia de la óptica en la actualidad . . . . .	24

### CAPITULO II

#### 3 LA ENSEÑANZA DE LA FISICA EN EL NIVEL MEDIO SUPERIOR DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO Y DE OTRAS INSTITUCIONES.

3. 1.- Los resultados obtenidos por la UAEM en la enseñanza de la física, en el nivel medio superior -sus preparatorias- . . . . .	26
3. 2.- Los resultados de otras instituciones. . . . .	27
3. 3.- a) Principales características de los programas de física de la Escuela Preparatoria de la UAEM . . . . .	29
b) Relación con los resultados obtenidos.	
3. 4.- Propuestas para enfrentar esos resultados:	
a) La formación de profesores, y	
b) Elaboración de nuevos programas de asignatura. . . . .	30

### CAPITULO III

#### 4 LA PROPUESTA DE PROGRAMA DE FISICA I DE ESTA TESIS

4.1.- La óptica como tema de entrada a la enseñanza de la física en el bachillerato:	
a) Dos antecedentes: Las propuestas del PSSC y de la UNESCO . . . . .	31

b) Los problemas de la Mecánica, la entrada clásica . . . . .	33.
4.2 .- Propuesta de Metodología . . . . .	34
4.3 .- Organización del curso de física I . . . . .	36
a) tiempos por temas y otras actividades	
4.4 .- La propuesta: OPTICA.	
4.4.1 El color y la formación de teorías o modelos . . . . .	38
4.4.2 La visión, una historia de complejidad creciente . . . . .	39
4.4.3 Los emisores de luz. Separación del fenómeno físico objetivo, de nuestra percepción de él . . . . .	40
4.4.4 Las evidencias que apoyan nuestros cono- cimientos. La luz viaja en línea recta . . . . .	42
4.4.5 Nuestros conocimientos explican fenómenos. La cámara oscura, o cámara de agujero. . . . .	45
4.4.6 De la identificación de variables al establecimiento de una ley. La reflexión de la Luz . . . . .	47
4.4.7 Nuestros conocimientos predicen la ocurrencia de fenómenos. Los espejos planos y las imágenes . . . . .	54
4.4.8 Las leyes de la reflexión y sus pre- dicciones tienen una amplia aplicación. Imágenes por espejos curvos . . . . .	57
4.4.9 De la observación y descripción de un fenómeno, a la predicción cualitativa. La luz se quiebra al pasar de un medio a otro: la refracción . . . . .	63
4.4.10 Aplicación gráfica de las leyes de la refracción: las lentes y sus imágenes; la matemática y su síntesis . . . . .	70
4.4.11 La construcción de nuestros conocimientos: dos modelos para explicar el comportamiento de la luz . . . . .	74
4.4.12 ¿Cómo explicar lo demás?: polarización, difracción e interferencia . . . . .	79

#### CAPITULO IV

### 5 SOBRE LA FORMACION DE PROFESORES.

5.1.- Su importancia y las experiencias. . . . .	82
ANEXO 1 . . . . .	85
ANEXO 2 . . . . .	93
Bibliografía . . . . .	97

## P R E S E N T A C I O N

En una clase de laboratorio, del curso de óptica de la Fac. de Ciencias, el profesor comentó que una predicción del modelo para la luz que veíamos en ese momento, era que detrás de un cuerpo circular opaco y denso, justo en el centro de la sombra nítida, debía verse una mancha luminosa. Luz detrás del cuerpo opaco, y en el centro de la sombra. Yo, que no sabía de óptica ni de historia de la ciencia, sólo me dije "bueno, y ¿entonces porqué siguen aceptando el modelo ondulatorio si predice algo que no ocurre?". Cuando el profesor se dispuso a hacer el experimento, me pareció excesivo. Era como querer soltar una piedra para mostrar que no se cae hacia arriba. Para mí.

Pudimos observar la mancha luminosa, y fué un golpe severo en el cuerpo de mis intuiciones. Creo que como el conocimiento previo a esa experiencia respecto al comportamiento de la luz, tenemos otros, pero hacen falta el experimento y el momento adecuados para acceder a un nivel de conocimientos más científico.

La aportación de este trabajo quiere ser en la dirección de despertar en el profesor el trabajo práctico, la reflexión y el estudio. Si queremos desarrollar la creatividad en los estudiantes, deberemos desarrollarla primero en el profesor. Después de muchas propuestas para la enseñanza de la física, hoy sostenemos que no hay transformación alguna si no ocurre ésta en el profesor.

Esta propuesta habrá cumplido su cometido si al cabo de pocos años ha sido transformada por los profesores y estudiantes a quienes va dirigida.

## 1.1 RESUMEN .

En el proceso general de evaluación del bachillerato de la Universidad Autónoma del Estado de México se ha acordado reestructurar su plan de estudios. Para el nuevo plan se estudia la propuesta de que el primer curso de física, de tres obligatorios de que constará el mencionado Plan, se inicie con óptica.

La relevancia de estos resultados reside en que este Plan, con sus programas, será de aplicación obligatoria en los ocho planteles del bachillerato de la UAEM, más un número de un orden de magnitud mayor, de preparatorias regionales y particulares incorporadas, en todo el Estado de México.

El que Física I inicie con óptica, tema no incluido en los programas vigentes, es un cambio, ya que el programa actual de ese curso comprende exclusivamente la enseñanza de la mecánica; Las razones en que se fundamenta este cambio son (1):

En el plan aún vigente se tiene a Física I en el tercer semestre, con la idea de que los estudiantes hayan tomado ya Matemáticas I (segundo semestre), y estén tomando Matemáticas II, lo que significa un apoyo para la orientación, fundamentalmente deductiva, con la que se enseña hoy física en esa institución. En cambio, en la reestructuración acordada se buscará que no dependamos, para enseñar física, de que los estudiantes hayan llevado cursos de matemáticas; así como que se relacione más con otros cursos del plan de estudios.

Además, se tiene que:

i) La enseñanza de la mecánica presenta dificultades por el grado de abstracción que requieren algunos de sus conceptos: inercia, velocidad instantánea, aceleración, y otros;

ii) igualmente compleja es la puesta en práctica de su enseñanza a partir de actividades experimentales. Esta va desde la dificultad de obtener equipo adecuado, hasta la definición y el control de variables;

iii) Por otro lado, se presenta la mayor facilidad de visualizar y manipular los fenómenos y leyes de la óptica: reflexión, refracción, camino rectilíneo de la luz, imágenes por espejos y lentes, descomposición de la luz en colores, filtros de colores, y otros; además de una instrumentación experimental más accesible;

iv) La posibilidad de ejemplificar la elaboración y funcionamiento de modelos, como un acercamiento a la realidad física.

v) La importancia que la óptica ha adquirido en el estudio de otros temas de la física, la tecnología moderna, y la cotidianeidad.

#### EL PROBLEMA.

La tarea que se enfrenta con esta tesis es el diseño de la parte de óptica del nuevo programa de Física I para la Escuela Preparatoria de la UAEM, así como una propuesta de estrategia didáctica para su implementación. Estas propuestas deberán ser coherentes con los objetivos de un bachillerato eminentemente formativo, presentados en este nuevo Plan.

Los criterios para la selección de contenidos, su secuencia y actividades tendrán que ver con la facilidad de su instrumentación experimental, con que puedan realizarse con material accesible, y por su relación con las leyes fundamentales de la óptica; además de que no requieran equipo experimental sofisticado.

Por las dificultades que presenta un cambio de este tipo, los profesores que aplicarán el programa deberán tomar cursos de capacitación al respecto, además de que discutirán contenidos, metodologías, etc, de la propuesta en los dos meses anteriores a su puesta en práctica. Se tienen, con todo, dos antecedentes: i) Las reuniones de profesores, en sus respectivos planteles, han hecho ver la necesidad de cambios en la enseñanza de la física, aún cuando no todos han participado en los trabajos de la evaluación al bachillerato; y ii) Dos profesores, de planteles diferentes, hemos realizado trabajo de pilotaje de los contenidos de esta propuesta, y de sus formas de trabajo, con nuestros respectivos grupos académicos. Esto ayudará, en los cursos para los profesores, a despejar dudas sobre detalles de su aplicación. Aún así, un plantel completo llevará el Plan de Estudios propuesto, a manera de plantel piloto, un año antes que todos los demás.

La Comisión de Evaluación del Bachillerato da un plazo de 3 años, una vez aprobado el nuevo plan, para que todos los profesores del área trabajen con el nuevo programa. Por este motivo, en el presente trabajo dedico, en la parte final, unas líneas al tema de la formación de profesores.

## 1.2.- INTRODUCCION

Está en los objetivos de la mayoría, si no es que en todas, de las instituciones que imparten Educación Media Superior, el que la enseñanza de la física contribuya a hacer (2): "i) ciudadanos enterados de la cultura de su tiempo, ii) que los estudiantes formen mecanismos de razonamiento científico, que puedan aplicar a su entorno vital"; y otros más. Esos objetivos, parece ser, se han quedado hasta hoy a medio cumplir, esto es, sin cumplir. Esto lo contemplo así porque, por un lado, las instituciones presentan adecuadamente las motivaciones y aspiraciones propias -cuando menos en el papel-; pero, por otro lado, no es común todavía el curso de física que objetivamente ayude a lograr eso en la práctica.

De esos objetivos institucionales, y de la actividad realizada por muchos docentes -en tareas oficiales y no oficiales-, podemos llegar a la conclusión de que enseñar física es algo más que transmitir información de física. Es posible que la restricción de mostrar sólo contenidos -información-, transforme muy poco o nada de las conductas y valores de los estudiantes, de las estructuras que están en la base de su comportamiento, en la base en que toma decisiones.

Por un sinnúmero de problemas, errores y deformaciones, los profesores de física nos hemos concentrado en enseñar SOLO contenidos de física, especialmente en el nivel medio superior: véanse, al respecto, las conclusiones de los Encuentros sobre la Enseñanza de la Física en el Nivel Medio Superior (3 y 4).

Poco o nada nos hemos preocupado por hacer ver el cómo se construye la física. De los objetivos de las instituciones involucradas en esos Encuentros, así como de las conclusiones de diferentes foros, seminarios, congresos, y encuentros de profesores; nos damos cuenta que la enseñanza de la física debe tener dos metas: alcanzar los elementos necesarios de la ciencia per se, como parte de la cultura general, que sitúen al individuo como un integrante de su época, con conocimientos, habilidades y capacidades que le permitan estar en las decisiones personales, comunales y sociales en las que la información sobre ciencia es relevante; y, por otro lado, pero como condición sine qua non, debe ser un medio para crear en el estudiante capacidades de razonamiento, abstracción y síntesis que le servirán en todas sus actividades de ser pensante.

Pero, ¿podemos presentar ante los estudiantes, "enseñar", sólo uno de estos aspectos -contenidos o métodos-?, ¿Podemos enseñar sólo contenidos de Física?. Mi respuesta es que no se puede, no podemos: a) Quien algo enseña, utiliza un camino, una vía, una forma de hacerlo, esa forma puede ser, entre muchas otras, "el descubrimiento" por experimentación o la repetición cien veces de una ecuación del pizarrón, u otra. Aún cuando la primera no toma en cuenta si los estudiantes han creado las contradicciones internas suficientes y necesarias para que el descubrimiento sea significativo (la caída de una piedra le dice poco a quien no ha desarrollado el concepto de velocidad instantánea, pero mucho a quien compara los sistemas conceptuales detrás de la mecánica de Aristóteles, Galileo y Einstein), y la segunda muestra que la enseñanza de la física puede ser planteada, como las órdenes del policía, desde el poder, entienda o no, me guste o no; a fin de cuentas son métodos también. b) Podemos enseñar dogmas con la segunda de las formas mencionadas antes, pero no obtenemos aprendizajes de ciencia con esos métodos. Así como contenidos dogmáticos no pueden enseñarse con métodos que consideren la posibilidad de "desplegar ante el estudiante la libertad de poner en práctica, de mil modos, y según su propia originalidad, los principios fundamentales de vida que han sido afirmados" (5)

En vista de lo anterior, que no podemos separar contenidos de métodos, y escogidos ya los contenidos, nuestra preocupación deberá dirigirse a seleccionar, o crear de ser necesario, los métodos o mecanismos que hagan que los conocimientos y la actitud científica sean asumidos por nuestros estudiantes, con la conciencia de que, en ese supuesto, apreciarán mejor los contenidos científicos, por más tiempo, y habrán modificado sus esquemas referenciales operativos. Y, a más de todo eso, habrán obtenido pautas de reflexión y comportamiento que les servirán para muchas de sus actividades vitales.

El presente trabajo intenta incidir en ese terreno, en el de las propuestas metodológicas para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

Para este efecto, en este trabajo se han seleccionado ciertos contenidos de óptica que, a más de ser de interés para los alumnos, se prestan para ilustrar una propuesta didáctica para la enseñanza de la física en el bachillerato.

## 2) LA IMPORTANCIA DE LA OPTICA Y DE SU ENSEÑANZA.

### 2.1.- Importancia intrínseca.

Dos vertientes de esta importancia: a) la óptica como parte del edificio de la ciencia, con una evolución y desarrollo propio de sus conceptos; y b) en interacción con las demás partes de la ciencia, siendo causa y efecto de cambios en otras ramas de la ciencia; pueden ser comprendidos mejor cuando se revisa algo de la historia de la óptica.

Pretendo hacer esta presentación con la idea de que observemos que los conceptos que al respecto fueron creando los hombres de ciencia no emergieron desde un principio como los conocemos hoy día, el camino ha sido errático y no siempre en la misma dirección. El establecimiento de un concepto sigue, aproximadamente, el siguiente camino: Primero, el fenómeno respectivo es parte del entorno del hombre, sin que éste llegue a separarlo y hacerlo objeto de estudio. No hay definiciones ni mucho menos conceptos al respecto. La reiterada experiencia en contacto con el fenómeno en cuestión hace notar al hombre, por fin en algún momento, su presencia. Las primeras definiciones o intentos de comprender el fenómeno están siempre en relación con lo que el hombre mismo comprende y entiende ya. Muchas explicaciones de la ciencia medieval y anterior, decimos hoy, eran animistas, se pretendía que la naturaleza tenía intenciones "humanas", como las nuestras. La discusión de esas definiciones y primeros conceptos, creados por el hombre, sobre el fenómeno en cuestión, lleva al posterior establecimiento de conceptos más cercanos a la realidad. Esa discusión desemboca, muchas veces, en la afirmación de predicciones de parte de una u otra posición y es allí donde el experimento, o la experiencia, nos obliga a aceptar más una que otra de esas posiciones. Para este momento, el concepto esta bastante bien establecido, cuando menos en el grupo que lo apoya, y es también hasta entonces que la maduración hace necesario el establecimiento matemático del concepto. Esta nueva formulación permite nuevas definiciones, más precisas, así como la afirmación de otras predicciones, que no siempre pueden ser corroboradas o desmentidas por la técnica de ese momento.

Decía líneas arriba, que el camino no siempre es lineal, en la dirección única planteada antes, pues podemos decir, con mucha confianza, que los hombres de ciencia de hoy han superado, con mucho, la asignación animista de las causas del comportamiento de la naturaleza, cuando menos en química, física, astronomía, y otras afines. Pero me interesa subrayar las características de aquellos momentos de la creación científica pues, según algunos

autores (6), la madurez para enfrentar los problemas de la comprensión de la naturaleza que ha alcanzado la sociedad científica de hoy, no se hereda por el simple hecho de nacer en el siglo XX. Según su posición, todos recorremos un camino, parecido al descrito antes, cuando intentamos conocer la naturaleza. Más temprano unos, después otros, si perseveramos en el intento podremos llegar a la madurez de la sociedad científica de nuestro tiempo. Quiere decir esto, que los profesores de física debemos conocer la historia de nuestra disciplina a la hora de elaborar estrategias de enseñanza-aprendizaje; pero también, que deberemos tener presente que la entrada al conocimiento de los conceptos científicos no puede hacerse por la vía exclusivamente matemática, que es una síntesis o resumen, y resorte para saltar a versiones más completas.

2.1.1 No es difícil encontrar referencias sobre el origen mágico o divino que los primeros hombres, y aún de nuestros días, atribuyen al fenómeno luminoso; aún cuando habían relacionado ya la presencia de luz y calor con la del sol o de una fogata.

Los primeros pasos en una dirección diferente los podemos atribuir a los antiguos griegos. Y no es casualidad. Reconocemos que fue con esa cultura que empiezan a crearse conceptos que lanzan al hombre a buscar relaciones entre características, causas y explicaciones, de los fenómenos de la naturaleza. Ellos dieron ya a la luz una realidad objetiva cuando percibieron que debería existir algo en el espacio comprendido entre nuestros ojos y los objetos que vemos. Y sólo al plantear algo como esto último es que pueden salir las preguntas, nunca antes de ello: "¿viene la luz de los objetos que vemos, o sale de nuestros ojos hacia los mismos?"

La hipótesis de los rayos visuales se encuentra registrada como propuesta del griego Archytas de Tarentum, en la primera mitad del siglo XIV antes de nuestra era (ane). Esta sería, posiblemente, la teoría de variables ocultas más antigua, ya que tales rayos no siempre serían detectables por la visión directa, pero sí responden a propiedades matemáticas en su trayectoria rectilínea. No es difícil aceptar que un posible origen de esta teoría sea el haber observado el paso de la luz del sol a través de las hojas de los árboles, con un poco de polvo o humo en el aire.

Homero, autor de dos de los más grandes poemas épicos de la antigüedad, y que posiblemente vivió en el siglo IX u VIII a.e., afirma que la luz proviene de nuestros ojos. Homero fue inventivo. Evidentemente esto condiciona su respuesta.

Hay controversia (34) en torno a la posición al respecto del creador del grupo de los pitagóricos. De Pitágoras de Samos (580

- 500 ane, aprox.) se dice que defendió la idea de que son los ojos los que reciben los rayos luminosos emitidos por objetos tales como astros, llamas, relámpagos, etc. Pero se afirma también que defendió lo contrario: que la visión ocurre cuando los rayos luminosos que salen de los ojos alcanzan al objeto que se esta observando.

Platón (428 - 348 ane, aprox.) establece que la visión de un objeto dependía de tres haces de partículas (habla ya de partículas): uno parte de los ojos, el segundo proviene del objeto observado, y el tercero proviene de las fuentes luminosas (sol, fogata, lámpara, etc.). Así, el flujo que sale de los ojos se combina en el objeto con los rayos emitidos por la fuente iluminadora, y al regresar esa mezcla a los ojos da lugar a la visión. No deja de afirmar que, para él, la luz es "un fuego divino".

Se atribuye al filósofo griego Epicuro de Samos (341 - 270 ane) la idea de que la visión se debe a los rayos luminosos que llegan a nuestros ojos.

Homero responde a partir de la experiencia personal: "los objetos estan allí, frente a mí, si no los veo es porque mis ojos no emiten luz", Hagamos notar que él no habría podido siquiera imaginar esa respuesta si hubiera nacido antes, cuando no se había atribuido a la luz una realidad objetiva. Pitágoras plantea el problema, seguramente, de un modo más cercano a lo que llamaríamos científico, pero no tiene una respuesta, y el vive 250 años después de Homero. 2 y medio siglos después, Epicuro plantea otra respuesta, la que consideramos, desde entonces, correcta. Especulemos que alguien, antes que él, la hubiera planteado. Aún así, no nos hubiera llegado, pues al no estar dadas las condiciones de pensamiento de sus contemporaneos para aceptarlas, no habría sido tomada en cuenta. Un ejemplo de esto último lo constituye el trato dado a la hipótesis del filósofo griego Empédocles (490 - 430 ane, aprox.) respecto de la luz. El consideraba la velocidad de la luz como finita. Esta hipótesis, nuevamente, no hubiera podido plantearse de no estar inmerso en un ambiente que consideraba que la luz viajaba de un lado a otro. Más aún, Empédocles era partidario de la teoría corpuscular de la luz. Pero la Ciencia no avanzó por allí, hasta el siglo IX de nuestra era con Al - Hazen.

Para Aristóteles (384 - 322 ane), la luz se debe a la actividad de un cierto medio entre el objeto observado y el ojo (27). Idea esta precursora del modelo ondulatorio y que es, a su vez, inspirada por el complejo de actividades que Platón propone como necesarias para la visión. Respecto a una teoría ondulatoria

para la luz, ésta había sido apoyada ya por físicos chinos de la dinastía Qin (221 - 206 a.n.e.). Un grupo de filósofos griegos, los pitagóricos, buscaron y encontraron relaciones numéricas para los sonidos "más agradables". Muy posiblemente esto llevó a Aristóteles a afirmar que los colores "más agradables" deberían obedecer las mismas relaciones numéricas que los sonidos.

Es hasta fines del primer milenio de nuestra era que el físico y matemático iraquí Abu-Alí Al-Hassan Ibn Al-Haytham (935 - 1038, aprox), Al-Hazan para los europeos, aclara definitivamente que la fuente de los rayos luminosos está en el sol o en cualquier otro objeto luminoso, y que la visión se debe simplemente a la reflexión de estos rayos hacia los ojos que contemplan determinado objeto.

Fue Aristóteles también uno de los primeros en intentar una explicación del arcoíris. Puede decirse que desde este momento la historia de la óptica está íntimamente relacionada con el estudio del fenómeno del arcoíris, que fue explicándose paulatinamente en la medida en que ocurrían nuevos descubrimientos.

Aristóteles afirmó que el arcoíris era producido por una multitud de gotitas de agua contenidas en la atmósfera, las cuales reflejaban la luz del sol y causaban una variación del color. Su observación del fenómeno incluye el que la reflexión de la luz del sol, por parte de las gotitas, ocurre para un determinado ángulo, lo que da origen a un cono circular de "rayos de arcoíris". Explicó correctamente la forma circular del mismo e hizo notar que su localización en el espacio dependía del ángulo entre la dirección de los rayos solares incidentes y el de los rayos reflejados por las gotas hasta los ojos del observador. Este ángulo fue medido el siglo XIII por el inglés Roger Bacon, precisándolo en  $42^\circ$ . Afirmaba, además, que el arcoíris eran pequeñas imágenes del sol desvanecidas en numerosas gotas de agua y que sus colores eran un efecto subjetivo producido por el ojo. Pero Bacon parecía un buen pitagórico: decía que el arcoíris sólo debería tener 5 colores porque "el número cinco es ideal para promover una variación de las cualidades".

Es en este siglo, el XIII, cuando el físico persa Ibn Marud Al-Schirazi complementó el trabajo dejado por los griegos y otros árabes, retomando un camino más correcto: afirma que el arcoíris se debe a la doble reflexión y refracción de los rayos solares en las gotitas de agua.

En 1304 el monje alemán Teodorico de Frieberg plantea una hipótesis similar y, parece ser, realiza experimentos con esferas de cristal, huecas, llenas de agua, que reproducen el fenómeno y

verifican su hipótesis. El mismo camino experimental habría seguido el científico polaco Vitelio (1225 - 1275, aprox.). Estos trabajos experimentales consiguieron reproducir tanto arcoiris primario como secundarios; mostrando en estos últimos el orden de los colores invertido respecto del primario, y que el ángulo entre los rayos incidente y saliente era  $11^\circ$  mayor en el arcoiris secundario, respecto al primario. Esto último estaba de acuerdo con las observaciones de arcoiris naturales.

Hasta los trabajos de Teodorico, S. XIV, las preguntas no contestadas respecto al arcoiris eran, fundamentalmente, tres:

- a) el porqué del ángulo de visión del arcoiris,
- b) la razón de la aparición de sus colores, y
- c) la razón de la presencia de arcos extras compuestos por débiles bandas alternadas -rosadas y verdes-, inmediatamente debajo del arcoiris principal.

La primera de las cuestiones fué contestada por Rene Descartes al utilizar la apenas recién redescubierta ley de la refracción para explicar el ángulo de visión del arcoiris, en su libro "Dioptrique".

El filósofo romano Lucius A. Séneca [4 ane - 65 ne], nacido en la actual Córdoba, Esp., fué posiblemente el primero en señalar la descomposición espectral de la luz solar, aunque contemporáneos y coterráneos suyos habían encontrado una relación entre los colores del arcoiris y los vistos en las orillas de vidrios iluminados por luz solar. Pero corresponde a Isaac Newton dar la explicación de tales colores, después del estudio que realiza en 1666 sobre la descomposición de la luz blanca por los prismas. Queda así resuelta la segunda de las tres cuestiones.

La tercera cuestión debió esperar hasta los inicios del siglo XVIII, con la aparición del inglés Thomas Young, quien explica la presencia de tales rayos como debidos a la interferencia de los rayos dispersados por las gotitas del agua de la lluvia.

Otra característica del arcoiris, la casi completa polarización de sus colores, fué observada en épocas ya relativamente recientes. Aún cuando el fenómeno de polarización había sido observado por C. Huygens en 1678 al estudiar la doble refracción en la calcita, el físico francés Etienne - Louis Malus a principios del S. XIX, descubre que esa polarización se hacía evidente bajo reflexión, y que no era inherente a los medios cristalinos. Poco después Sir David Brewster, físico escocés, mostró empíricamente que la máxima polarización ocurre cuando la luz incide sobre una superficie transparente de manera que la

tangente trigonométrica del ángulo de incidencia es igual al índice de refracción del medio considerado.

Hasta aquí, la explicación cualitativa del arcoiris. Un tratamiento más completo, el matemático, inicia el siglo pasado apoyándose, fundamentalmente, en el estudio de la dispersión de la luz por parte de las gotitas de lluvia. Quiero hacer notar que es hasta que se tiene una descripción muy completa del fenómeno cuando están maduras ya las condiciones para entrar en una descripción y explicación cuantitativa, al nivel de la que proporciona la matemática.

El avance en el estudio de la luz hizo posible el planteamiento de nuevas cuestiones, cada vez más complejas: ¿tiene peso?, ¿cuál es su velocidad?, ¿qué leyes gobiernan su interacción con los objetos que ilumina?, ¿cuál es su naturaleza?, y otras.

Entre los antiguos griegos, Platón admitía que la partícula del fuego, la misma que la de la luz, era de forma tetraédrica. Los otros elementos se relacionaban con los demás sólidos pitagóricos. En contra de esa concepción pluralista del universo, la concepción "monista", según la cual todas las cosas están hechas por una sola materia primitiva -átomos en el vacío-, era defendida por filósofos de la talla de Demócrito de Abdera, Leucipo de Mileto, y el romano Tito Lucrecio Caro: para ellos el átomo del fuego y, en consecuencia, el de la luz, era esférico.

La concepción "monista" fué retomada milenio y medio después por el inglés Robert Grosseteste [1175-1253 aprox.] con la tesis de que la luz es la sustancia primordial del universo.

La controversia de si es corpuscular (Pitágoras y Platón), o es una "actividad" del medio (Aristóteles), inicia su resolución hasta el S. XVII con los trabajos de Descartes, Fermat y Newton (modelo corpuscular), y C. Huygens (modelo ondulatorio). Previo a esto, se desarrollaba la técnica con poca o nula relación con los resultados de la investigación básica. Se conocían las propiedades ópticas de las esferas de cristales o de vidrio, y las propiedades reflectoras de las superficies especulares planas y curvas. Parece ser que de la Mesopotamia y Egipto, el conocimiento de esos espejos pasó a China y Europa. El estudio del fenómeno era llamado OPTICA -teoría geométrica de la percepción visual del espacio y de los objetos- (nombre que se mantiene hoy para los establecimientos donde venden anteojos y atiende un optometrista o un oculista); y CATOPTRICA -que

estudiaba principalmente la teoría de los espejos y el fenómeno de refracción-.

Parece ser Euclides el primero en escribir dos tratados con esos nombres: "CATOPTRICA" y "OPTICA", obras en las que utiliza la metodología empleada también en su famoso "ELEMENTOS DE GEOMETRIA". A través de algunas definiciones y 31 proposiciones, en el primero; y definiciones más 58 proposiciones, en el segundo. A partir de la trayectoria rectilínea de un rayo luminoso, y usando resultados de sus "ELEMENTOS...", Euclides presenta correctamente la ley de la reflexión de la luz: "el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión", válida tanto en espejos planos como en curvos. Describe también un conocido fenómeno de la refracción: cómo conseguir que una moneda colocada en el fondo de un vaso, se haga visible con sólo llenar el vaso de agua (28).

Desde la antigua Grecia, los estudios sobre reflexión llevaron a conocer las propiedades de algunos espejos curvos de concentrar, en ciertos puntos, los rayos luminosos incidentes paralelamente. Cuando estos espejos apuntan al sol, el punto de concentración se vuelve muy caliente, por lo que se les llamó espejos incandescentes o ustorios.

El filósofo griego Arquímedes de Siracusa [287 - 212 a.n.e.], gran inventor y teórico, hace referencia a tales espejos en su libro "CATOPTRICA". Cuenta la leyenda que la aplicación de estos, contruidos probablemente en cobre, sirvieron para incendiar los navios romanos que sitiaron Siracusa en el año 214 a.n.e. Los estudios de estos espejos se repiten en Apolonio de Perga [S. II a.n.e.], Diocles [fines del mismo siglo], Pappus de Alejandría, y el renacentista italiano Giambattista della Porta [1535 - 1615].

De los primeros registros que hay sobre la descomposición espectral de la luz solar, aparte del arcoiris, son las observaciones de Séneca en las orillas de los vidrios, y también que una esfera de vidrio llena de agua puede servir de vidrio de aumento.

Herón de Alejandría [S. I n.e.], explicó en su libro "CATOPTRICA" el camino rectilíneo de la luz y formuló, basado en Aristóteles y Euclides, el principio de que "el camino recorrido por el rayo luminoso es mínimo". Parece ser suya la observación de la multiplicidad de imágenes de un objeto colocado entre dos espejos planos que forman un determinado ángulo entre sí. Aún con esto, fue hasta 18 siglos después que Brewster construyó el primer caleidoscopio, que se basa en aquel conocimiento. Herón aplicó sus conocimientos de óptica en la astronomía y en la agrimensura. Respecto a los modelos de la visión, creía en la teoría

corpúscular (34 y 27)

Claudio Ptolomeo, de quien se sabe que nació el siglo I y sus trabajos florecieron al siguiente (II), así como que vivió 78 años (28 y 36) estudió la refracción. En su libro "OPTICA" describe la refracción de la luz solar y de la estelar al atravesar éstas la atmósfera terrestre. Por primera vez se aborda analíticamente el estudio de la refracción, con una tabulación de ángulos de incidencia y de refracción, para superficies de separación en diversos casos (agua, aire, vidrio).

Aún cuando Ptolomeo incluyó en su obra "ALMAGESTO" una tabla de cuerdas de arcos del fenómeno de la refracción, paso anterior inmediato a la formulación matemática actual, no llegó a ella: No había sido definida aún la función trigonométrica seno de un ángulo, ni extendido el uso de la trigonometría más allá de la astronomía y la agrimensura. Sólo a partir del siglo XVII se aplicó a la óptica y a otras ramas de la física.

Las muy esporádicas contribuciones que Europa hace a la ciencia en la Edad Media, son compensadas por los científicos del Medio Oriente. En el libro "TESORO DE OPTICA" (1038, aprox), Al-Hazan ofrece la explicación correcta, para la ciencia de hoy, sobre la visión de los cuerpos. Completa las leyes de la reflexión con la actualmente conocida como primera ley. No logra la formulación actual de la segunda ley de la refracción, pero corrige las tablas correspondientes de Ptolomeo. Muestra también que el poder de amplificación de una lente se debe a su curvatura y para él no es, por tanto, una propiedad del material de que esté hecha la lente. Discute propiedades de espejos esféricos y parabólicos, entre las que destacan la determinación de sus focos. Hizo notar el crecimiento aparente del diámetro lunar cerca del horizonte, y estimó en menos de  $19^\circ$  el ángulo que el sol ha bajado del horizonte, cuando el crepúsculo aún se observa; ambos fenómenos los atribuyó a la refracción. Estudió imágenes en "la cámara oscura" y plantea también el recorrido mínimo de la luz (34 y 27).

"Tesoro de Optica", un libro básicamente geométrico, llevó a muchos europeos a profundizar en la experimentación, pero también a reflexionar en la naturaleza de la luz. Como a R. Grosseteste, quien le agrega la concepción platónica, según la cual la luz es la sustancia primordial del universo. R. Bacon, veía, como su maestro Grosseteste, la obra de un Dios en el estudio de la óptica. Sin embargo, estudia y trabaja con lentes, se le considera precursor del telescopio, pues afirma que el Sol, la Luna y las estrellas podrían parecer más próximas al verlas a través de lentes. Explica el arcoiris y acepta la velocidad

finita de la luz. Aquí, es oportuno resaltar dos cuestiones:

a) En los inicios del estudio de la óptica, aparecen indistinguiblemente mezclados los fenómenos de la emisión de la luz, su transmisión y su efecto en la materia, con las cuestiones del funcionamiento de nuestros ojos y cerebro: ¿por qué vemos?, ¿cómo vemos?; y

b) Durante la Edad Media, el estudio de la óptica estuvo íntimamente ligado al de la perspectiva, "ciencia de la óptica". Es así como la óptica aparece en diversas obras cuyos títulos las presentan como de tal área: *Perspectiva*, de Vitelo, 1274; *Quaestiones Perspectivae*, Biaggio de Parma, 1390; *Della Prospettiva*, Paolo Toscanelli (1397 - 1482); y otros.

Entre los que utilizaron la perspectiva con maestría en el dibujo y la pintura, destaca el florentino Leonardo de Vinci (1452 - 1519), inventor, ingeniero y autor de obras maestras de la pintura renacentista. Conoció la cámara oscura (28), y probablemente la utilizó como técnica en algunos de sus dibujos.

A pesar de que ya se tenían conocimientos teóricos sobre las lentes (formas de lentejas, de allí el nombre), su uso para corregir la visión, como óculos o ante-ojos, ocurre hasta fines del S. XIII, entre 1280 - 89, en Italia. Las imágenes que ofrecían eran, por supuesto, muy toscas y deformadas. Ya en el renacimiento, el mejoramiento del pulido de lentes hace avanzar esa rama de la medicina y la construcción de microscopios y telescopios. A fines del S. XVI, tal vez con Giambattista della Porta (aprox 1535 - 1615), inicia una explosión de contribuciones que llevan a la construcción y uso extensivo del telescopio. Lo que parece seguro, es que uno de los primeros usos fué militar, y que por 1609 había ya telescopios en venta en las principales ciudades europeas. En esa explosión técnica aparece el científico italiano Galileo Galilei quien, después de construir el suyo, lo dirige a los cielos y es capaz de entender lo que a su visión llegaba por tal instrumento: él estaba preparado para entender las viejas señales que el universo entregaba, no así sus contemporáneos, que calificaron de "ilusiones ópticas" lo que por el telescopio de Galileo observaron. En 1609, con telescopios de lentes pulidas por él mismo, Galileo observó montañas y cráteres de la Luna, satélites de Júpiter, la conformación de nuestra Galaxia como un gran número de estrellas, las fases de Venus, las manchas solares y la forma especial de Saturno, que no pudo determinar. También en microscopía fué Galileo un iniciador, aunque corresponde al gran creador inglés Robert Hooke (1635 - 1703) la aplicación de los conocimientos sobre lentes en el mejoramiento del microscopio compuesto. Llega así a distinguir las células. El trabajo de Hooke es perfeccionado por el holandés Anton Van Leeuwenhoek (1632 - 1723), quien observa protozoarios, espermatozoides, y describe bacterias (1683).

En su obra "MAGIA NATURALIS" (1589), Della Porta describe y explica el telescopio, la cámara oscura -que compara con el ojo

humano-; así como la relación entre la distancia del objeto al foco, con la inversión de las imágenes y su característica de ser reales o virtuales, para los espejos cóncavos.

Para convencer a sus incrédulos contemporáneos, Galileo hubiera tenido que explicar el porqué podía verse lo que veía en su telescopio; pero le hacía falta una teoría óptica del telescopio, tarea que J. Kepler (1571 - 1630) realizó en su "DIOPTRICE", donde describe al microscopio compuesto y cómo determinar el foco de un espejo parabólico. Sobre la refracción, postula que es un fenómeno que se debe a la diferencia de resistencias al paso de la luz por diferentes medios ópticos, realiza estudios matemáticos sobre ella, pero no llega a la ley de los senos. Logra avances en el terreno de la fisiología de la visión y defiende la idea de que la velocidad de la luz es finita pero muy grande (34).

Aún cuando parece que hubo trabajos previos no publicados (Harriot, Inglaterra, 1610 ?), se atribuye a Willebrord V.R. Snell, en 1621, el establecimiento de la segunda Ley de la Refracción de acuerdo a una ley de los senos de los ángulos de incidencia y refracción (36).

Armado ya de la geometría analítica, creación suya, R. Descartes demostró que es la relación de los senos de los ángulos de incidencia y refracción la que permanece constante en ese fenómeno; usó el modelo corpuscular para predecir que la velocidad de la luz sería mayor en los medios más densos o más refringentes y obtuvo también una respuesta general al cómo debe ser la superficie especular de revolución que no tenga aberración esférica o, de otro modo, que tenga su foco localizado en un punto.

Por otro camino, Pierre de Fermat (1601 - 1665) demuestra también la ley de la refracción: se basa en el principio del tiempo mínimo de recorrido de la luz entre dos puntos, pero debe introducir la hipótesis de que la velocidad de la luz es menor en los medios más densos.

Isaac Newton (1642 - 1727) demuestra la descomposición de la luz solar, con ayuda de un prisma. El apoya la idea de que la luz está compuesta por partículas, ideas que ejercen una gran influencia en sus contemporáneos por el enorme peso intelectual de su autor.

Christiaan Huygens, que hace una propuesta muy completa de la teoría ondulatoria de la luz; apoya, en su "TRAITE DE LA LUMIERE" (París, 1678) la hipótesis de las velocidades de Fermat, al mostrar que el modelo ondulatorio de la luz predice que la relación entre los senos de los ángulos de incidencia ( $i$ ), y refracción ( $\hat{u}$ ), es igual a la relación de las velocidades de la luz en los dos medios, respectivamente:  $\text{sen } i / \text{sen } \hat{u} = V_1 / V_2$ ; en oposición a las predicciones del modelo corpuscular, que hablan de una relación inversa (28).

Por su cuenta, Thomas Young (1773 - 1829) médico, físico y egiptólogo inglés, establece el principio de interferencia de la luz, con el que resucita la abandonada teoría ondulatoria para ese fenómeno (27 y 36). Young hace pasar haces de luz a través de dos agujeros cercanos, y los proyecta sobre una pantalla. A partir de allí, observó que, donde se superponían los haces, había bandas brillantes de luz que alternaban con bandas de oscuridad. Con esa demostración, estableció definitivamente, para él, la naturaleza ondulatoria de la luz. Esta teoría le sirvió para explicar los colores de películas delgadas -tales como pompas de jabón- y, relacionando el color con la longitud de onda, las calculó aproximadamente para siete colores.

En 1817 propuso que la luz eran ondas transversales vibrando en direcciones perpendiculares a la del desplazamiento y con eso explicó también la polarización. Su trabajo fué recibido por la comunidad científica inglesa como ilógico, acientífico y antipatriota, pues no les cabía en mente una teoría opuesta a la que había defendido el influente I. Newton.

Las hipótesis de Fermat, Huygens y Young empiezan a ser aceptadas cuando Augustine - Jean Fresnel (1788 - 1827), físico francés, desarrolla parte de la formulación matemática del modelo ondulatorio de la luz. Con esa obra, iniciada por 1814, consigue predecir el camino rectilíneo de la luz con la idea de los frentes de onda, obstáculo que el modelo no había podido pasar.

Propone, como Young, que las ondas luminosas deben ser transversales y aplica esta idea en la comprensión de la polarización y de los fenómenos de interferencia luminosa (1819).

Como dijimos antes, el fenómeno de polarización había sido observado ya por C. Huygens, en 1678, cuando estudiaba fenómenos de doble refracción; pero no explicado, sino hasta principios del S. XIX (28).

Una importante confirmación viene a darla el resultado experimental de Jean Bernard L. Foucault (1819 - 1868), en 1850, en que mostró que la velocidad de la luz es menor en el agua que en el aire.

Junto con éste último, los otros momentos más espectaculares del establecimiento del modelo ondulatorio lo constituyen, primero, la confirmación experimental de una predicción, opuesta al sentido común, hecha por el modelo ondulatorio: que tras de una placa circular opaca sobre la que incide un haz luminoso aparecerá, en el centro de su sombra, una mancha luminosa. Al parecer, Fresnel no se había percatado de tal predicción de su modelo y Poisson, matemático brillante, fué el encargado de evidenciar tal anti-naturalidad, seguramente por todo lo que aún representaba Newton y su modelo corpuscular, con la intención de refutar a Fresnel. Poisson obtiene la predicción ya mencionada antes y es este uno de los momentos en que la física adopta el arbitraje de la naturaleza: el experimento confirma al modelo.

El otro momento culminante llega pocos años después con la gran síntesis del electromagnetismo hecha por James C. Maxwell, que predice la existencia de ondas electromagnéticas, mutuamente transversales, que viajan a 300 mil km/seg: la velocidad de la luz, ya medida en esos días. ¡la luz era, luego entonces, una onda!, con lo que además, se debilita la idea de las ondas mecánicas que sustenten el fenómeno luminoso, pero subsisten las investigaciones sobre la naturaleza del eter (28).

Observaciones de fenómenos que tienen que ver con este comportamiento de la luz, el ondulatorio, habían sido hechas desde mucho antes, pero faltaba el establecimiento de definiciones y conceptos que la teoría establecería hasta después, para que estas pudieran ser relevantes y comprendidas.

Los ingleses R. Boyle y R. Hooke observaron fenómenos de interferencia -vieron colores en películas delgadas-. Hooke narra esto en su libro "MICROGRAPHIA", de 1665 y, además, que observó luz en la sombra geométrica de los objetos. Isaac Newton observó un patrón circular de interferencia que una lente curva provoca al posarse en un vidrio plano. A tal patrón se le conoce hoy como "Anillos de Newton"

A fines del siglo pasado, había muy pocas cuestiones que le faltaran explicar al modelo ondulatorio. Entre ellas, un problema totalmente nuevo y sin solución aún era el de la emisión fotoelectrónica (37). No podía entenderse en base a la naturaleza ondulatoria de la luz incidente. Alberto Einstein hace una

aplicación novedosa de una "hipótesis de trabajo" de Max Planck, al afirmar que la energía luminosa está compuesta de pequeños paquetes, llamados "fotones" posteriormente, y que cada uno de ellos colabora con una cantidad de energía proporcional a su frecuencia -o color-:  $E = h \mu$ , donde  $h$ , la Constante de Planck, es parte de la hipótesis de trabajo mencionada.

En 1923, al estudiar la dispersión de Rayos X enviados a través de una lámina metálica, Compton descubre una diferencia de frecuencias entre la radiación incidente y la dispersada, misma que logra explicar suponiendo a la luz un paquete con energía  $E = hu$ , e impulso  $p$ . Haciendo un estudio relativista para el fotón,  $E^2 = (cp)^2 + (mc^2)^2$ , en donde  $m = 0$ . De allí que el momento del fotón sea  $p = E/c = hu/c = h/\lambda$ . En esta solución propuesta por Compton, queda mucho más claro que la luz ha sido pensada como partículas o paquetes de energía, con momento  $p$ .

Se resuelven así los problemas de la emisión fotoelectrónica y dispersión de ondas electromagnéticas por sólidos, pero queda cuestionada, nuevamente, la naturaleza ondulatoria de la luz.

Entendidos los fotones con la vieja idea de partículas, tenían problemas para explicar fenómenos de interferencia, difracción y polarización; sin embargo, muy poco después, el francés Víctor Louis de Broglie propone que las partículas, tales como los electrones o las pelotas de tenis, con momento  $p = mv$ , tienen una onda asociada, de longitud de onda  $\lambda$ :  $h/\lambda = p$ . Esta tesis es confirmada posteriormente con los experimentos de C. J. Davisson y L. H. Germer sobre difracción de electrones, con los que terminaba de aceptarse que las partículas tienen también comportamiento ondulatorio.

De este modo, hoy pensamos que la luz tiene un comportamiento que, para su explicación, parece dual: corpuscular y ondulatorio. A lo que hemos llegado, es a reconocer muchas situaciones en las que se pone de manifiesto una u otra de las formas.

Hoy, el laser (emisión estimulada de luz a frecuencia controlada), la holografía, y las comunicaciones via fibras ópticas, ocupan los momentos estelares de este siglo.

## 2.2 Sobre el Desarrollo e Importancia de la Optica en la Actualidad.

2.2.1 La importancia de la óptica para el ciudadano común radica, seguramente, en su relación con la obtención de cada vez mejores microscopios, telescopios y anteojos, cámaras fotográficas e iluminación. Pensando por allí, seguramente hasta lo relacione con la reciente aparición de los lentes de contacto. Si bien aún hay mucho que ver en los rangos de visión que nos proporcionan los microscopios ópticos y los telescopios de reflexión y de refracción, hoy se está trabajando mucho más intensamente con aparatos que amplían esos rangos de observación: los microscopios electrónicos, y los telescopios-radares que captan frecuencias que no corresponden precisamente a la luz visible. Estos extremos son determinados por la difracción, que limita el poder de resolución de los instrumentos utilizados.

2.2.2 Dentro de lo que la óptica está logrando hoy en día, entre otras cosas, esta lo siguiente:

A) Los Transistores Opticos o Cristales Electroópticos. Dispositivos cristalinos en los que un haz de luz incidente emerge con propiedades físicas -de amplitud y fase- "modificadas" con respecto a las del incidente, por el efecto de la señal del voltaje aplicado al cristal. Entre las características cuya aplicación lo hacen interesante estan:

i) actúa como obturador de la luz -dejar pasar o nó- en forma selectiva, como lo hace un diodo semiconductor con la corriente eléctrica.

ii) permite la transmisión, selectivamente, de determinados niveles de intensidad luminosa.

iii) filtra selectivamente determinadas frecuencias constitutivas del rayo de luz que atravieza el cristal. Por esas características, y otras más, sus usos, en combinación con otros elementos de la electrónica, pueden ser:

- i) alta rapidéz de respuesta en instrumentos electrónicos,
- ii) poca inercia en esos mismos instrumentos,
- iii) gran capacidad para manejar grandes volúmenes de información, ya que el ancho de banda de un haz óptico es muy grande. En resumen, los flujos de corrientes eléctricas en los diversos dispositivos pueden ser sustituidas, en la nueva instrumentación, por un flujo de rayos de luz, con el logro de mayor velocidad, capacidad y exactitud.

B) Las Fibras Opticas. Que es, simplemente, una guía dieléctrica circular, hecha de plástico o vidrio de alta pureza -óxido de silicio con concentraciones de boro, fósforo, u otro-; formada fundamentalmente por un nucleo y un revestimiento. Su grueso es

aproximado al de un cabello. El núcleo y el revestimiento son los elementos ópticos básicos por medio de los cuales se propaga la luz, en longitudes de onda del infrarrojo localizadas en 0.85, 1.30 y 1.50  $\mu\text{m}$ . Un cable de hasta 4 cm de diámetro puede llevar varios cientos de fibras ópticas en su interior.

La señal electromagnética viaja a lo largo y por el interior de esas fibras de la siguiente manera: El núcleo tiene un índice de refracción  $n_1$  y el revestimiento un índice  $n_2$ , ligeramente menor que  $n_1$ . No obstante que la fibra óptica está hecha de un material transparente a la luz, en la práctica se consigue que la frontera núcleo - revestimiento funcione como un espejo, reflejando los rayos de luz, que son, de este modo, confinados a propagarse dentro del núcleo. En México, la aplicación más importante la ha hecho Teléfonos de México, en su red telefónica del Distrito Federal. Esta nueva red permite, a cualquiera de las 4 centrales del D.F., ejercer el control maestro del sistema. Para estas conexiones se utilizaron 20 enlaces de fibra óptica, con 12 fibras cada uno de ellos. Por cada par de fibras se pueden transmitir 1920 canales telefónicos -conversaciones telefónicas-, por lo que cada cable es capaz de manejar 11 520 canales. De aquí que la capacidad total de la red, considerando los 20 cables de fibra, sea de 230 400 canales. La nueva red puede manejar 70 % más de canales telefónicos, además de manejarse de manera descentralizada y más confiable (31).

C El Rayo Laser, o luz amplificada por emisión estimulada de radiación. De la luz laser lo que habría que decir es que se ha convertido en una herramienta que sirve para muchas cosas, entre otras:

- i) En la medicina, para cirujías muy delicadas y finas; por ejemplo, en los ojos, oídos y cerebro.
- ii) En la telecomunicación vía fibras ópticas,
- iii) En la medición de distancias, por ejemplo a la Luna, con gran precisión.
- iv) En la obtención y desarrollo de la holografía,
- v) En la lucha contra la contaminación (29),
- vi) En la física atómica y molecular, para realizar estudios de partículas en estados excitados,
- vii) En pruebas de calidad de materiales.

D Los Filtros. Gracias a la aplicación del análisis de Fourier, es posible la construcción de filtros de luz, para destacar un armónico sobre otro, en un proceso conocido como "filtraje espacial", con diversas aplicaciones: la medicina, la astronomía, la fotografía, la ecología y otros.

E La Holografía, o grabado tridimensional de imágenes. (7). Este proceso, de grabado y retención de imágenes ópticas en tres dimensiones, es el resultado de la intención de mejorar el poder de resolución del microscopio electrónico. Para esto, Gabor, en 1948, se propuso grabar, además de la información de amplitud de la onda luminosa, la información de fase a través de la superposición de una onda proveniente del objeto, con una onda de referencia monocromática. La puesta en práctica del método fué impedida por la falta de una fuente adecuada de luz monocromática intensa, falta que hoy en día es salvada por la luz laser.

Hoy, el uso de la holografía ocurre en el almacenamiento de información tridimensional, interferometría, pruebas no destructivas de sistemas ópticos, y muchas otras más.

### 2.3 La Investigación en Optica, en México.

2.3.1 En nuestro país se estan fortaleciendo los centros de estudio e investigación en óptica. Las publicaciones científicas y de divulgación de la ciencia contienen cada vez mas artículos que hablan de esa actividad.

Dentro del conjunto de grupos de investigación importantes establecidos en México, estan los de el Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica (INAOE), en Cholula, Pue; El Centro de Investigación en Optica (CIO), en León, Gto; El CICESE, en Ensenada, B.C.; además de los grupos de investigación en óptica que tienen universidades e instituciones como la UNAM, el CINVESTAV, la UAM (Iztapalapa y Azcapotzalco), la UAP, y otros.

De esta madurez habla también la reciente constitución de la Academia Mexicana de Optica.

## 3 La Enseñanza de la Física en el Nivel Medio Superior.

3.1 Los resultados obtenidos por la UAEM en la enseñanza de la física en sus preparatorias.

3.1.1 Por el interés de las autoridades de la UAEM de mantener vigente la enseñanza media superior que la misma imparte, se ha realizado una Evaluación Curricular de su bachillerato.

Diferentes aspectos que componen ese nivel educativo han sido sometidos a juicio (1990 y 1991). Desde los objetivos generales de ese nivel, hasta la tira de materias del currículo; desde los objetivos de las diferentes asignaturas, hasta la congruencia de la formación disciplinaria del profesor, con la asignatura que imparte. Entre la problemática detectada en el área de Ciencias Experimentales, en la que se encuentra Física,

destaca (1):

"Respecto a los contenidos:

- Los contenidos (de las asignaturas de ésta área) atienden básicamente a su estructura lógica, descuidando la estructura psicológica (\*), para efectos de su enseñanza, en menoscabo de su aprendizaje (38).

- Contenidos muy especializados, extensos o informativos, que impiden el desarrollo de habilidades cognoscitivas propias del uso del método experimental"

Esa evaluación se realizó con tres generaciones del bachillerato de la UAEM, y consistió en la revisión de los resultados que obtuvieron en los exámenes de ingreso a las escuelas superiores y facultades de la propia universidad. Esos exámenes contienen mayoritariamente los temas y objetivos de las asignaturas del bachillerato.

Los resultados que se obtuvieron son:

- a) un promedio de calificación en física de 2.7 (dos siete),
- b) el tercer peor lugar, en preferencias, sólo antes que matemáticas y química,
- c) por otra parte, las opiniones de las facultades y escuelas tales como Ingeniería, C. Químicas, y otras, en el sentido de que sus alumnos de primer ingreso no saben física.

A la distancia, se vé que la evaluación practicada no fué planeada ni adecuada; sin embargo, se procedió a la reforma en virtud del sentimiento generalizado de los profesores de que deberíamos cambiar los programas, y de la intensión de las autoridades de impulsar tal una acción.

Pero si esos resultados no alarman, por comunes, el hecho de que alumnos que obtuvieron buena calificación en física recuerden a la Segunda Ley de Newton sólo como "una fórmula", y otras situaciones parecidas, si preocupa, pues parece ser una situación aparejada con el hecho de que esté disminuyendo la demanda por las carreras profesionales de orientación científico - técnica; y con el pobre desarrollo personal de los educandos.

[ \* Para una comprensión de las estructuras lógica y psicológica de una disciplina, consultar la referencia No. 38]

### 3.2 Los Resultados de otras instituciones.

3.2.1 En el documento "Reflexiones Críticas sobre nuestra Práctica Docente", resultado de un seminario - taller del Colegio de Profesores de Física de la Escuela Nacional Preparatoria, UNAM, (primavera de 1988), (8) se mencionan de manera adecuada,

otra vez, los objetivos de la enseñanza de las ciencias en este nivel específico:

"1. Desarrollar en el alumno habilidades que le permitan comprender y analizar fenómenos físicos y razonar metódicamente en el abordaje de problemas afines. Paralelamente, proporcionarle conocimientos básicos para entender otros campos (...) como la biología, la química, la geografía, etc.

"2. Que el alumno pueda desarrollar formas de construir las conceptualizaciones que le permitan entender los fenómenos naturales y las leyes que lo gobiernan, posibilitándolo para entender y explicar fenómenos de su vida cotidiana. Además, que pueda organizar sus conocimientos conceptuales y metodológicos en forma coherente en teorías y modelos, y (...) logre desarrollar el pensamiento abstracto y causal.

"3. Posibilitar al alumno para comprender mejor el espectacular desarrollo científico y tecnológico y 'situarse' en su propio espacio y tiempo histórico.

"4. Que conozca algunos aspectos relevantes histórico-críticos de las construcciones del conocimiento físico, de modo que pueda apreciar los contextos históricos en que fueron elaboradas las teorías y la evolución de las ideas físicas.

"5. ..."  
"6. ..."

Pero en el mismo documento del Colegio de Profesores de Física de la ENP, señalan que lo que están obteniendo es:

"Aprendizajes memorísticos no estructurados y con escaso desarrollo de habilidades intelectuales y aptitudes consideradas valiosas, lo cual se expresa en los siguientes resultados.

"Respecto al dominio alcanzado en la materia:

- a) Deficiente comprensión de los conceptos,
- b) Memorización de enunciados y principios, carentes de significado para ellos,
- c) Mecanización en la solución de problemas sencillos, resueltos por analogía,
- d) Insuficiente desarrollo del pensamiento causal,
- e) Escasa habilidad para plantear y resolver problemas.

"Paralelamente, se consigue que el alumno presente:

- a) Falta de interés por la ciencia y en especial por la física,
- b) Alto porcentaje de deserción y reprobación"

Las propuestas que el documento hace para enfrentar lo anterior, giran entorno a dos ideas, una es la formación como docentes y la otra son los contenidos y las metodologías de nuestros cursos de física.

3.2.2 En la tesis de licenciatura "Propuesta Metodológica para el Curso de Física II en CCH" (9), el autor señala que "...

al paso del tiempo se han ido perdiendo algunos de los aspectos esenciales en que basó el CCH su estructura: el elemento activo del proceso enseñanza - aprendizaje, y el dominio del método experimental". En el enunciado del problema, el Fís. Arias menciona, respecto a los programas, la "... notoria repetición de contenidos (en los semestres 5° y 6°) de cursos anteriores y la ausencia de actividades experimentales"; y respecto a la metodología: "... en la realidad, la mayoría de los cursos de las materias de Ciencias Experimentales se llevan a cabo de una manera predominantemente teórica, a pesar de que el Plan de Estudios propone que sean espacios altamente experimentales".

Se presenta entonces, como uno de los objetivos de esa tesis, el "... implementar un modelo metodológico de la materia de FÍSICA II, que propicie un retorno al proceso de enseñanza - aprendizaje activo y experimental".

3.2.3 En las Memorias del Encuentro Sobre la Enseñanza de la Física en el Nivel Medio Superior (Sn. Ildefonso, D.F. mayo de 1987) (3), en el trabajo titulado "La Estructura de los Programas de Física en los Centros de Estudios Científicos y Tecnológicos" (CECyT), del IPN; del Fís. Raúl A. Scherzer Garza se comenta, al final de la presentación de la estructura que anuncia el título, que "... La realidad actual, en lo que se refiere a la asignatura Física (...) es que ésta es motivo de que, por tratar de evitarla, muchos estudiantes toman derroteros que no son los más convenientes ni adecuados (ello explicaría en parte la inflación estudiantil en carreras de las Areas Sociales y Económicas) y ello provoca que exista un alto índice de deserción y de reprobación y haya llegado a transformarse en la asignatura problema, junto con matemáticas".

Sus últimas reflexiones hacen referencia a que las causas deberán buscarse por la investigación de "los métodos, técnicas, planes y programas de estudio, sistemas de evaluación, que puedan ayudar al mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje", y que ningún cambio es efectivo sin el compromiso y formación de los maestros involucrados.

3.3 Principales Características de los programas de Física I (3er. semestre) y Física II (4o. semestre), vigentes, que relaciono con los resultados mencionados antes.

#### 3.3.1.- Física I.

A.- En este punto quiero mostrar las características del programa que influyen negativamente en los resultados que se mencionan en los puntos 3.1 y 3.2 anteriores.

En la presentación del programa (10), se mencionan los objetivos generales que persigue la asignatura, así como su

localización dentro del bachillerato. Esos objetivos generales mencionan que ese curso tiene como finalidad "... proporcionar al estudiante los conocimientos básicos (...) para integrar su cultura (y) darle los estímulos tendientes a desarrollar el pensamiento reflexivo - creativo ...". Asimismo, que "el alumno ubique a la física como una ciencia básica ... con el aporte básico del razonamiento crítico, la imaginación creativa y la verificación experimental", y en los objetivos específicos nada hay que nos pueda inducir a pensar que el estudiante desarrollará o aportará tales elementos. Por cómo están redactados, los programas más bien sugieren qué es lo deberá hacer el profesor que "imparte" la asignatura, el profesor que "desparrama" el conocimiento entre sus alumnos.

Pero, para abundar, presento algunos objetivos específicos del programa de Física I (anexo 2).

3.4.- A manera de conclusión de este capítulo, podemos decir que los problemas en la enseñanza de la física en el nivel medio superior son muy parecidos en las diferentes instituciones que la imparten; y que las propuestas de solución tienen que ver con las propuestas metodológicas para la enseñanza, y con la formación de los profesores.

#### 4 LA PROPUESTA DE PROGRAMA DE FISICA I.

A.-La Optica como tema de entrada a la enseñanza de la física en el bachillerato, dos justificaciones.

a) El Proyecto PSSC para la enseñanza de la física.

A fines de la década de los cincuentas, con el lanzamiento al espacio de la primera nave soviética, se creó en los países occidentales, Estados Unidos de América principalmente, la angustia nacida de que se quedaban atrás en la carrera espacial. Esta angustia era reforzada por la circunstancia de que sus estudiantes escogían muy poco las carreras de orientación tecnológica y científica: el poderoso equipo de investigación de ese país estaba sustentado, en una gran medida, en científicos nacidos fuera de su territorio.

Decidieron, entonces, crear proyectos que dieran un enérgico impulso a la educación de las ciencias, la física entre ellas de manera primordial. Nace así, en los E.U. de A., el proyecto de enseñanza de la física del PSSC (Physical Science Study Committee), que pretende transformar radicalmente la enseñanza de la física. Su propuesta está formada por un libro de texto, un manual para el maestro, una guía del laboratorio, 40 películas de 16 mm, y un vasto equipo experimental. Es sintomático que en el primer párrafo de la introducción del texto mencionen las siguientes cuestiones: "¿Cómo se mueven los satélites?, ¿Cómo podríamos proyectar uno de ellos?, ¿Cómo podríamos visitar la Luna?"

La metodología de trabajo que proponen para la enseñanza de la física, parte, en lo que les fué posible, de un análisis cuantitativo de actividades experimentales realizadas por los estudiantes, por los profesores, o vista en alguna de las películas; pero, lo que me interesa hacer notar aquí, es que consideraron que la vía idónea para interesar al estudiante en el campo de la física era iniciar por los temas de la óptica -después de los necesarios temas sobre conceptos fundamentales y manejo de datos-, que son abordados tanto en sus divisiones de "geométrica", como la llamada "óptica física".

¿Cuáles fueron sus resultados?, es una cuestión que va más allá del alcance de este trabajo. Sin embargo, estamos obligados a considerar las siguientes cuestiones relativas:

El PSSC no se aplica hoy de la manera como se propuso en un inicio. Aunque eso no quiera decir inmediatamente un fracaso de la propuesta de iniciar con óptica. Antony P. French (11), opina que él iniciaría, aún en este momento, sus cursos introductorios de física con los temas de óptica. Pero es claro que el PSSC no es hoy el exitoso curso de física que se esperaba. Entre algunas

de las razones de esto, podemos citar:

\*) es un curso muy extenso y ambicioso. Abarca más material del que puede revisarse en periodo normal,

\*) los profesores que imparten los cursos de física no han vuelto a ser preparados para tal propuesta -con el espíritu inicial del PSSC-, como lo fueron en un inicio,

\*) no toma en cuenta -el PSSC- los conocimientos previos de los estudiantes, ni el proceso de construcción de los nuevos, que son nuestro objetivo,

\*) no ofrece a los docentes formas para darnos cuenta del nivel de abstracción del que son capaces nuestros alumnos, ni es adecuado para el nivel real de ellos,

\*) todas las proporciones guardadas, tiene el mismo error que nuestros programas vigentes: está centrado en la estructura de la materia -estructura lógica-, y no en la más conveniente para que los estudiantes se apropien de ella -estructura psicológica-.

Opiniones de algunos profesores de la Fac. de Ciencias van en el sentido de decir que "... entre más le cambian al PSSC, más se parece a un curso tradicional".

En lo que sí parecen coincidir otros proyectos alternativos, posteriores al PSSC y, al parecer, impulsados por su aparición, es en tratar de construir los conocimientos a partir del uso alternativo de los métodos inductivo y deductivo: la experimentación y la predicción. Proyectos tales como el HARVARD, y el NUFFIELD.

El Proyecto Piloto para la Enseñanza de la Física, organizado por la UNESCO en Sao Paulo, Brasil.

Dentro de un amplio proyecto de cooperación entre los países americanos, los Estados Unidos de América influyeron para exportar su proyecto del PSSC, sólo que con pocos de los recursos económicos y de infraestructura con los que ellos sí contaban. Esta exportación dió por resultado que, por medio de la Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura -la UNESCO-, profesores latinoamericanos iniciaron, entre 1963 - 64, esto es, después del PSSC; un proyecto, adecuado a esas condiciones, de enseñanza de la física. Adecuado a esas condiciones quería decir que los experimentos serían realizados con material sencillo, que las prácticas no requerirían de grandes o sofisticados laboratorios ni visitas a museos, con los que no contamos.

Para ejemplificar la metodología de esta propuesta, se escogieron los temas de óptica y, como mencioné antes, se hace

esto a partir de experimentos de sencilla realización.

Que lo profundo y la perseverancia del aprendizaje no parecen tener que ver con lo sofisticado o valor económico del equipo experimental, cuando menos en el nivel medio superior, es la enseñanza que nos deja esa propuesta.

b) La Mecánica, la Entrada Clásica.

Por muchos años, tal vez demasiados, los cursos de física de la secundaria y de las escuelas de nivel medio superior han iniciado con los temas de la cinemática y la dinámica. Aún cuando hay profesores, con mucha experiencia, que mencionan como un problema serio el que no es posible definir en esos niveles educativos los conceptos de velocidad y aceleración instantáneas, cantidad de movimiento, fuerza, y otros; así como utilizar como base intuitiva los conceptos de inercia, movimiento rectilíneo uniforme, y otros.

El colocar a la óptica como tema introductorio para la enseñanza de la física tiene para mí, aparte de las justificaciones que serán presentadas inmediatamente, el carácter de una propuesta de operatividad, una forma de salvar el obstáculo representado por la costumbre. Quiero decir, que los profesores de física del bachillerato, que es a quienes conozco, podrán iniciar con una técnica de enseñanza diferente un curso que no habían impartido antes, pero no el viejo y conocido curso de mecánica. Los estudios sobre los estadios del desarrollo mental de nuestros estudiantes podrán recibir impugnaciones de diversos tipos, pero en lo fundamental muestran que la gran mayoría de ellos no ha accedido aún al estadio necesario para comprender la física a partir de un conjunto de ecuaciones y, a partir de allí, usar el método deductivo. Es cierto también que es posible encontrar las experiencias que llevadas al aula y desarrolladas por los estudiantes pueden servir para el cuestionamiento de los conocimientos que ellos traen, y la posterior afirmación de conocimientos que aceptamos más como representativos de la ciencia. Pero parte del problema es la formación del profesor, y la pesada inercia en el modo de impartir los cursos de mecánica y su consecuente influencia negativa en el ánimo y conocimiento de los estudiantes.

c) Sobre esto último, A. P. French escribe (11): "En mi opinión, una de las mayores contribuciones a distorsionar la física es la práctica tradicional de iniciar los cursos introductorios con la mecánica clásica", y agrega:

"En mi elección, seguiría la admirable guía dada por el curso del PSSC en su versión original, iniciando con las cuestiones de medidas, órdenes de magnitud y escalas, y entonces proceder con la enseñanza de la óptica que es, al menos, tan rica como la

mecánica en términos de observaciones interesantes accesibles a los estudiantes"

d) Razones como que son menos abstractos los "rayos luminosos" con los que construimos la óptica geométrica, que las gráficas posición vs tiempo; que los conceptos de inercia ("el movimiento con velocidad constante es un estado natural de los cuerpos"), velocidad instantánea ("en el límite, cuando el intervalo de tiempo tiende a cero..."), aceleración, y otros no son de fácil identificación en la experiencia cotidiana de los estudiante; que es más fácil llevar al estudio de la óptica por el camino de la construcción de modelos, que lo que nos permite la mecánica; que las lentes y los espejos, más que los objetos puntuales y con masa, son objetos más fácilmente relacionados con la experiencia diaria de nuestros alumnos; son razones adicionales para proponer el inicio de los cursos de física con los temas de óptica en la Escuela Preparatoria de la UAEM.

#### 4.2.- Sobre la propuesta de Metodología.

Una definición sobre el cómo llevar a cabo las actividades de enseñanza-aprendizaje de cualquier propuesta de enseñanza de la física, tiene que ver, necesariamente, con la idea que tengamos del cómo se aprende. No es este un trabajo de análisis de las diversas corrientes que al respecto existen hoy sobre el cómo es que el hombre aprende; pero, claramente, la propuesta aquí presentada se identifica, de manera consciente, con una de ellas. A partir de un mejor conocimiento de lo que significa el fenómeno del aprendizaje de las ciencias, los estudiosos de la teoría del conocimiento científico planteada por J. Piaget, postulan que el problema del aprendizaje es el "...proceso del paso de un esquema de menor conocimiento a otro de mayor conocimiento" (12). Proceso este en el que el hilo conductor es que "...el desarrollo intelectual constituye un proceso adaptativo ... que presenta dos aspectos: asimilación y acomodación. En el intercambio con el medio, el sujeto va construyendo no sólo sus conocimientos, sino sus estructuras o interrelaciones entre esos conocimientos" (12).

Reconociendo entonces, que el aprendizaje de la ciencia no consiste en una simple retención de los hechos observables, sino en una reorganización de los contenidos involucrados, en armonía con los conocimientos previos, Ausubel (13) propone la teoría del llamado "aprendizaje significativo", que implica una relación sustancial y no arbitraria entre el contenido por aprender y lo que el alumno ya sabe. Implica, ante cada experiencia nueva, la selección de esquemas de conocimientos previos pertinentes, su aplicación a la nueva situación, su revisión, posible modificación de las ya existentes para, de allí, proceder a la reestructuración lógica y al establecimiento de nuevas relaciones

entre lo preexistente y lo recientemente conocido. La Teoría del conocimiento con la que este trabajo se identifica es EL CONSTRUCTIVISMO aportado por Ausubel (12,13,14).

Algunas conclusiones relacionadas con esa teoría son:

1.- No podemos enseñar física, ni otra cosa alguna, de modo que dependa sólo de nosotros, los que queremos enseñar (14) A lo más que podemos aspirar es a organizar las actividades del curso, sus materiales, su presentación, los elementos de su discusión, etc; de tal modo que el resultado de la realización de éstas por el estudiante lo lleve a APRENDER algunas cuestiones relacionadas con lo trabajado.

2.- Por otro lado, desde el viejo proverbio chino en que relaciona diferencias de aprendizaje obtenido con las diferentes actitudes de oír, ver y hacer; pero superando hoy esa simple afirmación, podemos decir que en la base del aprendizaje de nuevos conocimientos están dos actividades: a) la experiencia vital y la experimentación, y b) la reflexión o rescate de lo que sabemos, de lo que hacemos y de lo que creemos. Todo esto, por medio de la discusión con los demás.

No son posibles nuevos aprendizajes si no nos remitimos a lo que sabemos porque lo hemos hecho antes (15); pero el experimento sólo, la sola experiencia vital no significa un conocimiento de los que llamamos científico, de los que buscamos los profesores de ciencias. Esa experiencia, práctica o experimento, deberá ser sometida a cuestionamiento. Más aún, esa actividad debió ocurrir como respuesta a cuestionamientos anteriores. Quiere esto decir que el conocimiento científico, que no tiene como origen exclusivo a la actividad escolar -estoy hablando de estudiantes de bachillerato-, sí deberá ser obtenido con la mayor eficiencia en ese ámbito. Esto lleva a que, además de contenidos, deberemos establecer en el estudiante actitudes: el cuestionamiento de situaciones, y las vías de obtención de las respuestas.

Al respecto, Mistrell, J. y Hunt, E. (39), piensan que "... una buena enseñanza deberá ayudar a los estudiantes a reformular sus formas de pensamiento, mas que acomodar en ellos representaciones didácticas de la información." Para esto, agregan, el profesor debe partir de las ideas preexistentes en sus alumnos para, de allí, ayudarles a brincar a una representación más acorde con la ciencia aceptada hoy.

Es aquí donde la formación del profesor es determinante. Su rol no será el del conductor del curso que "dará los conocimientos" para que sus alumnos "los incorporen a su acervo", vimos que esto no es posible. El profesor deberá saber plantear las preguntas y problemas adecuados para iniciar las discusiones grupales. Es en esa discusión en la que los estudiantes expresan,

y muchas veces hacen conscientes por vez primera, sus esquemas de conocimientos, sus teorías sobre la realidad. Es en la defensa de esos esquemas y conocimientos personales donde el joven se compromete y está abierto a la formación y a la adquisición de valores.

Por este camino, deberemos plantear el trabajo académico de tal modo que tenga en su base la discusión del grupo, la defensa de nuestras posiciones y la disposición a la continua revisión de nuestras ideas. Esto exige del profesor la preparación y la capacidad para cuestionar las diversas tesis de los estudiantes. El cuestionamiento debe ser dirigido hacia puntos en que la realización de actividades experimentales decidan, más que "el conocimiento" del profesor o las afirmaciones del libro, hasta donde sea posible.

Si en la discusión no es posible convencer con argumentos, o con resultados e investigaciones experimentales, el resultado de una clase puede ser el declarar tan válida la teoría de Luis sobre la existencia de minúsculos saltamontes que llevan la conformación de un objeto, desde éste, hasta los ojos del observador; que la teoría sobre la visión que trae el libro de texto. Pero la existencia de dos teorías plantea la necesidad, por el principio newtoniano de asignar una sola ley al mismo fenómeno, de confrontarlas hasta quedarnos con una sola. Y eso es tarea para todos. Significa esto que se releva al profesor de ser el que siempre dé la respuesta a las preguntas que salen en el curso, en la clase; pero asume la más compleja de dar las pautas de la discusión y la investigación.

3.- Por último, Debemos aceptar que la clase deje algunos puntos pendientes, no resueltos por la discusión o investigación. Para eso, el profesor deberá conocer la mayoría e las respuestas probables de sus estudiantes a diversas situaciones experimentales o hipotéticas que se presentarán a lo largo del curso. Párrafos arriba decía que la sola actividad experimental no es un aprendizaje científico. Ante las actividades experimentales de la primera unidad -sombras de colores-, o la 7.D -reflexión en espejos-, algunas respuestas de estudiantes son (40): i) "el color aparente de un objeto es independiente de la luz que lo ilumina", ii) "las luces de colores se combinan de la misma forma que lo hacen las pinturas. La mezcla de luces roja y verde deberá producir café"; o bien (41): iii) "las imágenes que proporcionan los espejos están en la superficie de estos, como las pintadas en la superficie de un lienzo", iv) "la imagen en una pantalla de cámara oscura, depende de la forma del agujero y no de la fuente" (42).

Ante éste cúmulo de respuestas probables, y relacionadas con esquemas conceptuales mas bien intuitivos, el profesor dirige la discusión y la investigación hacia los objetivos del curso; los pendientes puede dejarlos de tarea, principalmente a los estudiantes interesados.

¿Cuáles son las preguntas y experimentos que dirigen la discusión e investigación?. No es tan fácil que al profesor se le ocurran de manera espontanea en clase. Por eso deberá prepararse en los resultados de la investigación educativa (algunos mencionados arriba), y en la elaboración de material experimental para clase y para dejar hacer en casa a los estudiantes.

#### 4.4 Los Contenidos y sus Actividades

##### 4.4.1 El color y la formación de teorías o modelos

OBJETIVOS.- Que el alumno....

- 1) identifique los procesos de mezcla (suma), y filtración (resta), en la formación del color;
- 2) elabore un modelo predictivo para la formación de colores en el fenómeno de luces de colores;
- 3) reconozca sus conocimientos sobre el camino rectilíneo de la luz.
- 4) reconozca la importancia de dividir los problemas complejos en diferentes partes componentes de él.

Material:

- Filtros de colores primarios: azul, rojo y verde, uno de cada uno.
- tres proyectores de diapositivas.
- una pantalla blanca.
- una esfera de unicel (u otro material opaco), de 3 o 4 cm de diámetro.
- salón con cortinas negras.
- latas de pintura acrílica -de agua- azul, verde y roja (una de cada una)

#### PARA EL PROFESOR:

Por ser este el inicio, es muy importante hacerle ver al estudiante que en esta asignatura su aprendizaje dependerá de su participación. Pero también nosotros, los profesores, deberemos contener nuestro impulso de contestar a las preguntas que formulan ellos. Se buscará llegar a los objetivos planteados por la vía de la discusión y la experimentación.

A) Iniciamos esta actividad con la pregunta a los estudiantes: ¿De qué color es la sombra de los objetos?, ¿han visto sombras de colores?. Permitamos que la discusión y la narración de las experiencias se explene un poco. Posteriormente, en un cuarto oscuro, se proyectan sobre una pantalla blanca dos haces de luz provenientes de dos proyectores de diapositivas: uno con un filtro rojo, y el otro con filtro verde. A unos pocos centímetros sobre la pantalla, una pequeña esfera de "unicel" u otro material opaco, obstaculiza parte de los haces mencionados, provocando dos sombras sobre la pantalla (fig. 0). Pídanle a sus estudiantes que describan el cuadro que están viendo y que, posteriormente, expliquen lo que están observando. La descripción que elaboren deberá contener, en lo posible, dibujos y gráficas

de la situación.

B) Pidamos también que nos comenten si acaso algo de lo que están viendo no concuerda con su sentido común, o con sus conocimientos previos. Esto es, si acaso lo que ven en ese momento origina un problema.

C) Intentemos que busquen la explicación al problema global al que se encuentran enfrentados: ¿por qué ese color de fondo?, ¿por qué las sombras de colores?, ¿por qué una sombra verde en fondo amarillo, otra roja en el mismo fondo y, aparte, los haces rojo y verde?.

D) Preguntémosles si acaso pueden separar el problema en partes para ser abordado. ¿Qué pasarían a observar al frente, o junto a los proyectores, para ayudarse a resolver?.

E) El objetivo final tiene que ver con alcanzar, o explicitar, por parte de los alumnos, tres elementos necesarios para resolver el problema:

i) La idea de que la luz viaja, a partir de los proyectores, en línea recta.

ii) El conocimiento de que los haces de luces de colores se mezclan para dar lugar a otros.

iii) La elaboración de un modelo empírico que sirva para predecir los colores que aparecerán en situaciones similares, con tres filtros: rojo, verde y azul.

F) ¿Se obtienen los mismos colores ahora al mezclar pinturas de agua?. ¿cuáles son las diferencias?. ¿Es el color una propiedad de los cuerpos, o intervienen nuestros ojos y cerebro?  
LECTURAS:

a) LUZ Y VISION. Serie TIME - LIFE. (bibl. 13) Capt. 6

b) EL SABER Y LOS SENTIDOS. Eliezer Braun. Capt. IV "La vista" (bibl. 18).

#### 4.4.2 La visión, una historia de complejidad creciente.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno.....

- 1) Describirá las condiciones externas necesarias para que ocurra la visión;
- 2) distinguirá fuentes luminosas primarias y fuentes luminosas no primarias, o secundarias;
- 3) mostrará evidencias del camino rectilíneo de la luz;
- 4) dará argumentos sobre la necesidad de definir "rayo óptico"
- 5) explicará en qué consiste la reversibilidad del camino óptico;
- 6) dará evidencias de la reversibilidad del camino óptico.

**Material:**

- caja de zapatos sellada y ajustable a la cara,
  - placa de cartón corrugado,
  - cinta adhesiva (masking tape),
  - alfileres de cabeza de plástico,
  - pantalla de cartulina,
  - dos lámparas de mano o dos cajas de zapatos con foco y ventana,
  - dispositivo de cartón No. 1 (figs. 4 y 6).
- LECTURA: "La Luz en la naturaleza", Ana Ma. Cetto. Capt. 3. (bibl. 12)

Equipos de 4 alumnos.

A) ¿Por qué vemos?. Desde los antiguos griegos, hasta hoy, diferentes personas interesadas han pensado que "algo" sale de los ojos y es lo que nos hace ver. Pero, ¿por qué de noche, sin Luna, no vemos?. De día, en una habitación perfectamente sellada a la luz del sol, tampoco vemos. Es más, si construimos una caja de cartón o cartulina negra que pueda amoldarse bien al contorno de la cara por uno de sus extremos -el abierto-, (fig. 1) y perfectamente sellada por todos los demás lados, nada veremos en su interior, sólo oscuridad, aún cuando sea de día. Podría decirse que después de unas horas de trabajo "los ojos se cansan" de emitir y entonces ocurre que ya no vemos, y que es necesario un descanso, el sueño, para restaurar la capacidad de ver.

Se espera que como resultado de la discusión, y de las actividades experimentales, se llegue a afirmar que nuestros ojos nada lanzan para ver, más bien, que parece ser al revés: para que podamos ver un objeto son necesarias tres condiciones:

- a) que ese objeto lance luz hacia nosotros.
- b) que esa luz llegue a nuestros ojos, y
- c) que tengamos los ojos abiertos. Suponemos ojos sanos.

Esto puede experimentarse fácilmente encendiendo un cerillo o vela, la colocamos frente a nuestros ojos abiertos y ya está. Pero no debemos caer en la provocación de querer iniciar por el experimento, ¡a fin de cuentas es tan sencillo!, y querer forzar las conclusiones anteriores, pues lo que se logrará es que el estudiante las tome como conclusiones de otros, no de su trabajo. Asimismo, no habrá puesto en revisión sus propias ideas, las sencillas, y cuando llegue a las que son caras a sus esquemas personales, menos querrá revisarlas.

B) Cuando estén de acuerdo deberemos pasar a la siguiente cuestión -si no es que son los mismos estudiantes quienes la han

presentado ya-: es claro que la vela emite luz, nos llega a los ojos y sabemos ya lo demás. Así como la vela, también emiten luz el sol, las estrellas, una fogata, las luciérnagas, y otros. Todas ellas son FUENTES DE LUZ, pero ¿por qué vemos el escritorio, y las letras escritas con gis en el pizarrón?

Al primero de los conjuntos mencionados aquí lo podemos ver aún en la mejor de las oscuridades, no así los segundos. En cambio, estos últimos los podremos ver siempre que estén ante la presencia de uno de los primeros.

Parece entonces natural pensar en que LAS FUENTES DE LUZ, los objetos que despiden luz, pueden ser vistos. Y la luciérnaga despide luz. Parece también, por lo antes visto, que el polvo de gis también DESPIDE LUZ, pero sólo en presencia de una de las fuentes mencionadas antes. Se convierte ella misma, entonces, en fuente de luz. Debe ser algo así como lo que nos dicen en la primaria "... la Luna no tiene luz propia. Si la vemos brillante es porque refleja la luz del Sol"

Podemos generalizar y decir que las fuentes de luz primarias son las que despiden luz y, por tanto, podemos ver sin condiciones extras. En cambio, a todos los demás objetos podremos verlos porque, si reciben la luz de esas fuentes primarias, se convierten ellas mismas en fuentes de luz al reflejar parte de la que reciben. Decimos entonces que, SI PODEMOS VER UN OBJETO, ES PORQUE SE PORTA COMO UNA FUENTE LUMINOSA, como fuente emisora de luz.

Decimos también que hay fuentes luminosas primarias -el foco encendido; la vela idem, Andrómeda-, y fuentes luminosas no primarias o por reflexión. Aún así, hay algunos casos que deberán discutirse como el de los interruptores caseros que brillan en la oscuridad, y que llaman fosforescentes, que proporcionan gran comodidad pues permiten ver donde están, aún de noche.

#### ACTIVIDAD # 1

Enlistar dos series de objetos: a) Fuentes luminosas primarias, y b) Fuentes luminosas no primarias. ¿Hay algunas respecto de las cuales no podamos decidir tajantemente?

Busquemos las evidencias experimentales de los conceptos más simples que tenemos acerca del comportamiento de la luz. Entre los primeros, de ellos están, seguramente, el que la luz viaja en línea recta, y el porqué podemos ver un objeto.

### C) ACTIVIDAD # 2

Coloquemos sobre una mesa un trozo de cartón corrugado, que quede firme sobre la mesa. Sobre él, un trozo de papel. Cerca de un extremo clavemos un alfiler. Llamemos a ese el punto A. Por el lado opuesto del cartón coloquemos otro alfiler clavado. Sea ese el punto B (fig. 2). Coloquémonos a ras del cartón de modo que al ver con un ojo, alfiler B sea tapado por el A. Nosotros podemos trazar una línea recta, sobre el papel, que una los puntos A y B, y pensar que esa fué la trayectoria que siguió la luz emitida por B en la dirección de A. Pero que así lo pensemos no es ninguna prueba de que la luz viaja en línea recta. Esta pudo pasar por otro punto, tal como C, en la gráfica, después de salir de B, y llegar a A; con lo que, también así, el alfiler A tapa al B. O bién, la luz proveniente de B pudo pasar por D y después llegar a A; O bién pudo pasar por C y D y .....

Como dicen que la luz es una onda, pudo seguir el camino ondulado que se ha representado ahora en la figura 3 y, aún así, el alfiler A tapaná al B.

Quitemos el alfiler A. En el punto intermedio M coloquemos otro alfiler: ¿Tapa a B?. Si es así, concluimos que por allí pasa la luz proveniente de B. Clavemos otro en el punto N, entre M y A. Este tapa al del punto M. Es evidente que tapaná a B. Pruébalo. Clavemos otro alfiler en O. Sin los alfileres M y N, sigo sin ver a B; por lo que ya puedo pensar que la luz sale de B, pasa por M, N y O, y llega al punto de observación, A. Si aún no es suficiente para convencerte de que la luz viaja en línea recta, puedes presentar tus objeciones o contraejemplos; o bién, es cuestión de que repitas toda la operación para las parejas B, M; M, N; y O, A. Si, coloques donde coloques un alfiler entre B y el punto A, sobre la recta trazada, ocurre que B no se vé desde A, podemos ya sospechar que la luz viaja precisamente en línea recta, no por C ni por D, ni por la línea ondulada.

O bién, la luz es una onda pero no es la trayectoria ondulada, sino "todo" el espacio entre ella. O es de una amplitud, o longitud de onda tan pequeña, que con lo que hemos hecho no podemos detectarla.

### D) ACTIVIDAD # 3

Veamos para qué puede servirnos el saber que la luz viaja en línea recta. Deseo saber, ANTES DE ENCENDER MI FUENTE DE LUZ (A), y en base al conocimiento obtenido del viaje rectilíneo de la luz, en qué lugares tendré una zona iluminada sobre la pantalla C (fig. 4). Con el dispositivo de ésta figura, deberemos obtener

una respuesta previa al encendido de la lámpara. A esta actividad le llamamos "hacer una predicción". Para confrontar esa predicción, que puede resultar verdadera o nó, habrá que realizar el encendido de la lámpara. Aún si resulta de acuerdo a lo previsto, habrá que utilizar una pantalla manual (fig. 5) para tapan u obstruir los orificios 1 y 2, uno por vez, y comprobar que, tapando el orificio 1, sólo queda la mancha luminosa L-2 y viceversa. Esto nos ayuda a confirmar que esa mancha luminosa proviene del paso de la luz por el agujero 2.

#### E) ACTIVIDAD #4

Una experiencia que nos llevará a la elaboración de otra idea, es la presentada en la figura 6. Allí, dos fuentes de luz, las velas o lámparas A y B, son colocadas frente a una pantalla de un sólo agujero (G). Intentemos predecir la localización, en la pantalla receptora R, de los puntos luminosos de las fuentes A y B. Nuestro conocimiento del viaje rectilíneo de la luz nos permite decir que esos puntos son L-A y L-B, respectivamente. En la práctica, estas predicciones pueden hacerse viendo hacia la pantalla R, a través del agujero de G, y desde la posición de las fuentes A y B, apagadas. O bién, haciendo pasar un hilo tensado, estirado, que vaya de la fuente, a través de G, hasta la pantalla R. El realizar la experiencia puede llevarnos a confirmar nuestras predicciones. Con todo y lo sencillo que esto es, ¿es suficiente para decir que es esta una ley de comportamiento de la naturaleza?, ¿funcionará así para lo muy grande como para lo muy pequeño?. Estas son cuestiones para ustedes -los alumnos-, por ahora nos desviarían dedicarnos a ello.

Pero aparte, hagamos notar que ocurre algo que es digno de nuestra reflexión: Al encender la fuente A, con la B apagada, un haz de luz proveniente de la fuente pasa a través del agujero G, e incide en R en el lugar llamado  $L_a$

Además, si B está encendida y A apagada, un haz de luz de B pasa por el agujero G e incide en  $L_a$ , sobre la pantalla R. Si prendemos A y B simultáneamente, ¿esperamos que los haces luminosos  $H_a$  y  $H_b$ , al pasar por el agujero G, se estorben, interfieran, choquen o algo así?. Nuestra experiencia nos dice que no ocurre así, que los haces luminosos no se enteran de la existencia uno del otro. Sin embargo, alguien podría pensar que el haz  $H_a$ , que sale de A, y el  $H_b$ , que lo hace desde B, "chocan" elásticamente en el punto G y en realidad  $H_b$  pega en L-B, y  $H_b$  lo hace en  $L_a$  (fig. 7). ¿Qué pueden hacer juntos para saber si tiene razón o no?.

Si nada se les ocurre que lleve a la solución, la misma problematización de sus respuestas, lleva a los alumnos a mejorar sus explicaciones. Mejorar en el sentido de ser más coherentes con el cuerpo total de sus teorías, y más objetivas.

Pero el problema no debe quedar sin abordaje. Se les puede sugerir poner en movimiento una de las fuentes, o cambiarla de color, volverla más intensa. Ante las evidencias salidas de la realización de la actividad sugerida, parece ser que la respuesta previa de que no se interfieren es válida. Surgen de aquí cuestiones como

¿Qué es, entonces, la luz?  
Que no intentaremos abordar.

F) Para efecto de los dibujos o gráficas que tendremos que hacer, parece conveniente definir "rayo luminoso", o simplemente "rayo". ¿Qué diferencias y similitudes tiene con los rayos de las tormentas eléctricas?. El haz de luz que observamos como procedente de un agujero de la pared o de la cartulina parece aproximadamente circular, posiblemente sea cónico, aunque con otro obstáculo en su camino, con un agujero pequeño, podemos obtenerlo cilíndrico. Ahora bien, le llamaré rayo luminoso a la línea recta que yo dibujo en el papel y que es la representación del haz cuando éste es muy delgado, y cuando no lo es, es simplemente una orilla o límite del haz. La última propiedad estudiada, nos permite comprender otra característica del movimiento de la luz.

G) Hagamos que dos estudiantes, L y A, se miren a los ojos. Si Luis puede ver la pupila de Andrea (fig. 8) es porque, según ya vimos, los ojos de ella, como todo buen cuerpo opaco, refleja parte de la luz que le llega de fuentes primarias. Un rayo de luz de ese haz viene hacia la pupila de Luis y por eso la vé. Correspondientemente, Andrea puede ver la pupila de Luis. Esto quiere decir que, nuevamente, dos haces de luz han recorrido el mismo camino, uno de A a L, y otro en sentido inverso. Decimos de aquí que el camino óptico es reversible: Si un haz de luz puede viajar del punto M al N, entonces seguro que también podrá hacerlo del N al M. La tarea a realizar aquí es buscar un contraejemplo. Esto es, casos en los que ocurre que la luz no puede viajar de N a M, cuando ya pudo hacerlo de M a N. Después de las aportaciones a esta tarea, bien vale la pena distinguir dos casos: a) cuando entre los puntos M y N no se interpone algo más sustancial que el vacío o el aire, y b) cuando se interpone cualquier otra (un vidrio, una lente, un espejo, una tabla, etc.) Volvamos a plantear: ¿Es siempre reversible el camino óptico?.

4.4.3.- ¿Sirve para algo más el saber que la luz viaja en línea recta?. El caso de la cámara oscura.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno .....

- 1) utilizará elementos de la óptica geométrica para explicar la inversión de las imágenes en una cámara oscura;
- 2) enlistará las variables involucradas en el estudio de la cámara oscura;
- 3) iniciará la distinción entre descripción y explicación de un fenómeno.

Material:

- dispositivo de cartón No. 2 (fig. 9),
- colimador de luz (caja de zapatos con ventana). (fig. 11)
- dispositivo de cartoncillo No. 3 (fig. 12).

Equipos de 3 o 4 alumnos

A.- Volvamos a nuestra placa de cartón, con pantalla R, y obstáculo con agujero G (fig. 9). Hasta aquí, hemos tratado a todas las fuentes luminosas como fuentes puntuales, esto es, como si quien emitiera la luz fuera un punto y no más. En realidad no es así. Posiblemente alguien notó algo más que puntos luminosos en la pantalla. Tal vez notaron imágenes. Pero, si podemos ver un cuerpo completo, y no sólo puntos, podemos pensar en que todos los puntos de la superficie de ese objeto se están portando como fuentes puntuales y nosotros, al recibirlos, nos encargamos de agruparlas en forma de un cuerpo único y extenso. En nuestro dispositivo experimental (fig. 10), coloquemos un objeto, preferentemente no simétrico, de cartulina blanca -aquí propongo una "J" invertida: "Γ", profusamente iluminada en la cara que da al agujero en G; o bien, una caja de zapatos que tiene un foco dentro y una ventana con la forma Γ recortada.

#### B.- ACTIVIDAD # 5.

Haz una descripción de la imagen que ves en la pantalla R [en caso de no ver nada, es conveniente oscurecer un poco el lugar de trabajo. Si no es posible, puede ser suficiente con tapar las caras laterales y parte de la cara superior -entre G y R-. Debes dejar el espacio suficiente para ver en la pantalla]. Hagamos ahora una crítica a la descripción realizada. Aprendamos a observar.

1º Distingamos entre una observación y una descripción, pedimos la segunda, no la primera.

2º Nuestra descripción deberá hacer referencia al tamaño relativo de la imagen, con respecto al objeto.

3º ¿Hace notar nuestra descripción si la imagen mantiene las orientaciones izquierda-derecha y arriba-abajo del objeto?

¿Puedes ahora aventurar una respuesta a la pregunta ¿cómo cambiará la imagen si cambiamos la distancia "a" (objeto-agujero)? ¿Qué cambiará de las tres observaciones hechas?. ¿Qué ocurre si cambio sólo "b" (distancia agujero-pantalla R)? ¿Qué esperas, respecto a la imagen, si mueves G hacia "Γ", y después hacia R, manteniendo los demás fijos? ¿Qué ocurrirá si hacemos más grande -o más chico- el agujero?

Intenta contestar a cada una de las cuestiones, una por una, en base al conocimiento obtenido de que la luz viaja en línea recta. Nota que, nuevamente, estarás realizando predicciones. Seguramente el trabajo en equipo enriquecerá el conjunto de predicciones. Habrá también que elegir entre algunas, referidas a la misma cuestión, que sean diferentes, ¿cómo haremos la elección?. Igual que en toda predicción: realizando el experimento. ¡Hagámoslos!

¿Tendrán algo que ver estos resultados con el funcionamiento de una cámara fotográfica?, ¿y con el ojo humano?, ¿por qué no vemos los objetos al revés? Intentemos ser exhaustivos en nuestras respuestas. Observemos algo más: En cuanto pudimos contestar algunas de nuestras preguntas realizando los experimentos, discutiendo los resultados obtenidos, poniéndonos de acuerdo, y todo lo demás que hicimos; surgieron inmediatamente otras preguntas. ¿salieron nuevas preguntas de nuestras últimas respuestas?, ¿es natural que salgan más y más preguntas, de las respuestas que vamos encontrando?

Otra forma de relizar estas experiencias es utilizando una caja de zapatos. De un extremo se le saca una ventana, dejando un margen de cartón de unos 2 cm. Se le pega, por dentro de la caja, una hoja de papel de china blanco o albanene (marcado como P, pantalla, en la figura núm. 11). Al lado opuesto se le quita al cartón otra ventana más chica, horizontal, de unos 5 cm por 3 cm. De ese lado deberán colocarse las cartulinas, tipo tarjetas, de unos 7 cm por 5 cm, con un agujero o dos, o con imagen, según la experiencia que querramos realizar. Esas tarjetas no son fijas, por lo que es conveniente construirle a la caja de zapatos las cejas necesarias para la colocación temporal de aquellas. Dentro de la caja puede colocarse otra pared, móvil, parecida a la anterior, para colocar tarjetas con agujeros y poder cambiar la distancia agujero-pantalla. El objeto iluminado puede colocarse dentro o fuera de la caja, pero del lado opuesto a P.

#### 4.4.4 La reflexión de la luz.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno....

- 1) distinguirá entre reflexión difusa y reflexión especular;
- 2) enlistará las variables significativas del fenómeno de la reflexión especular;
- 3) será capaz de montar el dispositivo experimental que permite estudiar la reflexión especular;
- 4) será capaz de obtener los datos experimentales que permiten afirmar las dos leyes de la reflexión especular
- 5) escribirá las dos leyes de la reflexión especular.

MATERIAL (Por equipo): Un espejo montado en un cartón corrugado, alfileres de cabeza de color, transportador, regla de 30 cm, papel para hacer gráficos, mesa para trabajo, cilindro de cartulina para obtener oscuridad, diferentes superficies reflejantes y no.

Tarea: contestar las cuestiones 5.30, 5.31 y 5.32, del Hecht y Zajac de "OPTICA" (págs. 172 y 173). Dedicar el inicio de la siguiente sesión a la respuesta grupal.

A) Hay en un lugar cercano a Cuernavaca, Mor, llamado Xochicalco, unas cuevas formando varias salas comunicadas entre sí. A esas salas conviene entrar sólo con iluminación artificial: antorcha, lámpara, u otro, aún siendo mediodía. Por la segunda o tercera sala la oscuridad es suficiente como para no ver si no es de aquella forma. Más adentro se encuentra una sala con un orificio cilíndrico, que sale al exterior, en su bóveda o techo. Con todo y sean las 11,00 o las 12,00 hs, en esa sala está muy oscuro, pero menos que en las anteriores. El 21 de junio -solsticio de verano-, a las 12,00 hs más unos pocos minutos, un rayo de sol penetra directamente por el orificio cilíndrico del techo. Si en el punto en que pega el rayo de sol esta sólo la tierra, café negruzca, la iluminación en la sala apenas aumenta. Pero si en la sala se encuentra el grupo de "adoradores del sol" que había en el día que yo fui, ellos colocan un recipiente blanco de porcelana, con agua, en el punto en que pega el rayo de sol. En este caso, la iluminación en la sala aumenta enormemente hasta hacer posible el ver perfectamente bien cualquier detalle del interior.

El rayo de sol entra a la cueva sólo el solsticio de verano al mediodía. Se cuenta que fue ese un observatorio precolombino. Si fue así, era muy restringido, pero no dejan de asombrar la exactitud de los cálculos ingenieriles y el conocimiento astronómico necesario para la obra. Pero, ¿qué pasará con la

iluminación en el interior si en vez de tierra negra o el recipiente con agua, colocamos en el lugar un muy buen espejo?

Propongan sus respuestas y fundamenten sus opiniones. ¿saben lo que es un "muy buen espejo"? Tomemos nota de nuestros acuerdos o conocimientos de la mayoría. Veremos después si las actividades experimentales que llevemos a cabo corroboran esas ideas.

#### B) ACTIVIDAD # 6

Construyamos primero un colimador de luz. Esto es, una caja que nos proporcione un haz delgado de luz. Nuevamente, una caja de zapatos nos servirá para el efecto. En la parte interior de una de las paredes chicas de la caja se fija un soquet (alveolo o portalámparas, en español), de modo que el filamento del foco - que deberá ser de filamento recto-, quede en posición vertical. Dentro de la caja se coloca una nueva pared de cartón (fig. 12) con una ranura M que será el primer colimador. En la pared opuesta a la del foco se corta una nueva ranura N en línea con el filamento del foco, F, y la ranura intermedia M. N será el segundo colimador. La tapa de la caja de zapatos tiene agujeros que sirven para enfriar el interior. A los lados de la caja, por debajo de la altura del foco, pueden practicarse otros agujeros con el mismo fin.

Hagamos la oscuridad en el aula o el lugar de trabajo. Reporta lo que ocurre con la iluminación (o con su "contrario", la oscuridad) en tu zona de trabajo, en cada uno de los siguientes casos, cuando un haz de luz pega diagonalmente contra:

- a) cinco cartulinas: negra, blanca, y tres colores diferentes
- b) un espejo,
- c) una superficie de aluminio, o acero, limpia,
- d) un vidrio limpio.

#### PARA EL PROFESOR:

Partamos de la idea de para ver un objeto, debemos recibir luz reflejada o emitida por ese objeto. Coloquemos, dentro del cilindro de cartoncillo negro un pequeño letrero: "T. Young", y preguntemos por la condición necesaria para poder leerlo. A ese letrero no le llega luz directa de afuera, y dentro del cilindro está oscuro. Esperamos poder llegar a que los estudiantes afirmen, después de las actividades, que el letrero se ilumina con un

espejo en una posición determinada, o con una cartulina de color NO negra.

En caso de no poder hacer oscuridad en el lugar de trabajo, una hoja o pliego de papel cartulina o cartoncillo color negro, en forma de cilindro y semitapado por arriba, puede ayudar. (fig. 13). El punto E es la entrada del haz colimado de luz. Lo mejor sería que la caja colimadora de luz estuviera adentro, pero parece muy grande para eso.

¿En qué caso(s) se iluminó el interior del cilindro?, ¿En qué caso(s) fué menos la iluminación?, ¿Algún caso se parece al de no tener receptor R del haz de luz, o al de no tener haz?

¿Cómo es la iluminación dentro cuando el haz de luz no pega en lugar alguno del interior y simplemente sale por la ventanilla opuesta E'? ¿Tiene algún efecto la limpieza del aire dentro del cilindro en la última experiencia?. Puedes repetir la última experiencia, pero ahora introduciendo humo -de cigarrillo, p.e.-, o polvo de gís o de talco en el interior. Escribe, para discutir inmediatamente después, tus observaciones.

Por lo que hemos visto en esta serie de experiencias, parece necesario definir dos tipos de reflexión de la luz, que es el fenómeno que estamos observando y que consiste en que el haz de luz pega en una superficie, objeto o conjunto de objetos -caso de las partículas de humo-, y parte de allí a otra u otras direcciones.

Los dos tipos de reflexión de la luz tienen que ver con dos casos bien definidos:

a) La reflexión tipo espejo, o especular, (fig. 14.a), en la que el haz de luz se mantiene como tal después de la reflexión y sólo cambia de dirección. Este caso provoca una pobre iluminación en el interior del cilindro, o en nuestro lugar de trabajo.

b) Otro es el caso de la reflexión en la cartulina blanca, a este le llamamos reflexión difusa (fig. 14.b). En él, la luz pega en una superficie u objeto, y es regresada al medio en muchas direcciones, no en una sola. Este caso provoca un aumento en la iluminación del interior del cilindro, y ocurrió con la cartulina blanca y el humo.

#### C) ACTIVIDAD # 7.

Los estudiantes realizarán, en trabajo por equipos, una clasificación de objetos según la reflexión que provoquen: especular o difusa.

A partir de esto último, deberá discutirse el que no todas las superficies provocan del mismo modo el fenómeno de la reflexión, y las respuestas a la pregunta ¿Podemos ver LA LUZ?. Los resultados de la actividad anterior ayudarán a la reflexión grupal. En particular, si el haz pega en la superficie de vidrio y atrás está la ventana E', abierta, el haz de luz pasa por el interior del cilindro sin provocar apenas aumento de la iluminación. Con mejor oportunidad se observa este fenómeno si el haz de luz simplemente atraviesa y el aire está limpio: no hay aumento en la iluminación. Y esto puede querer decir que, para ver, no es suficiente tener luz, ya que ésta no se ve, es necesario que ella pegue en los objetos y que de allí llegue, una parte al menos, a nuestros ojos.

\*) Tarea:

- a) ¿conviene distinguir iluminación de luminosidad?
- b) ¿habrá quienes asignen significados diferentes a esas palabras? (pregunten a un arquitecto, un decorador de interiores, profesora de español, fotógrafo, y a un físico).

D) La naturaleza es regular: La reflexión especular.

#### ACTIVIDAD # 8

De los dos tipos de reflexión, la especular parece ser la más sencilla: El rayo o haz de luz llega al espejo en una dirección y sale en otra igualmente definida. Si cambiamos la dirección de procedencia, cambia la dirección de salida. (fig. 15). Esto es, si llamo "I" al rayo incidente y "R" al reflejado, se observa que al cambiar la dirección de I, cambia la dirección de R. ¿Podremos proceder a la inversa: cambiar la dirección de R para observar los cambios en I?. Aquí el profesor deberá permitir el juego de los estudiantes con el material de las actividades experimentales si éste es nuevo para ellos. Si los estudiantes se "divierten" aún con ese material es muy posible que, en el pasado, les haya faltado tiempo y oportunidad para crear conceptos relacionados con él. Si bien esto el profesor no puede tomarlo como tiempo perdido -está proponiendo a sus alumnos actividades que les han interesado y crean conceptos sobre ello-, si puede hacer algo por disminuirlo: lo mejor será que ellos mismos elaboren en casa su propio material experimental, y más cuando es sencillo, como el de las actividades hasta aquí realizadas.

Una de las principales labores del profesor consiste en que la actividad realizada por los estudiantes, que les lleva a elaborar conceptos sobre algo que no tenían, sea lo más eficiente y científica posible. Los cuestionamientos que el docente hace a los estudiantes, y su capacidad para hacerlos expresar las ideas que ellos están usando para explicar la actividad realizada, cumplen aquella función.

Continuemos con las leyes de la reflexión. Aquí, el profesor deberá subrayar la importancia de definir conceptos que nos ayuden a avanzar en la comprensión del fenómeno que estemos estudiando. ¿cuáles son las características o variables relevantes del fenómeno de la reflexión especular?. Posiblemente nos interese la marca comercial del foco que estamos utilizando para crear el haz luminoso. Tal vez el fenómeno no sea igual si utilizamos un foco azul, rojo o verde. Por este camino, algo que sí parece conveniente es llamar P al punto del espejo en el que el haz o rayo luminoso, pega en el espejo. Otros aspectos relevantes son el rayo de incidencia (el que llega), y que llamamos I; el rayo reflejado (el que sale), y que llamamos R; la dirección de I, llamémosla  $i$ ; la dirección de R, llamémosla  $\hat{u}$ . ¿A alguien más hay que ponerle nombre? Evidentemente, al espejo. Sea E. ¿Cuál es una primera aproximación al comportamiento interrelacionado de estos elementos?, ¿los cambios en alguno de ellos dependen de cambios en otra de esas variables? La investigación experimental es la única posibilidad de respuesta.

#### E) ACTIVIDAD # 9

Con la ayuda de espejo, colimador de luz y el tubo de cartulina que sirve para hacer oscuridad alrededor del espejo -si no hay cortinas negras en el aula o laboratorio-(fig. 13). Ya en la actividad anterior obtuvimos que un cambio en  $i$  lleva aparejado un cambio en  $\hat{u}$ . En particular, podemos decir que al hacer crecer  $i$ , crece también  $\hat{u}$ . Para conocer una relación que describa mejor esa relación, es necesario obtener una relación algebraica entre esas dos variables. Es posible obtener opiniones, entre los alumnos, de que las dos direcciones son iguales, pero debemos enfrentar a esa opinión la pregunta "¿para todos los ángulos?".

Debemos medir ambas direcciones en diferentes casos. Aparecen también opiniones de que esas direcciones deberán ser medidas en ángulos; e, incluso, propuestas de cómo medir esos ángulos (fig. 16), que podemos seguir identificando como  $i$  y  $\hat{u}$ . Con pocos minutos de discusión con los estudiantes, es posible obtener las siguientes dos propuestas acerca de cómo medir los ángulos que determinan la dirección: a) Hay quien propone que  $i$  y  $\hat{u}$ , ángulos de incidencia y reflexión, respectivamente, sean medidos desde el espejo hasta el rayo de luz respectivo (fig. 16.b), y b) La otra propuesta es que  $i$  y  $\hat{u}$  sean medidos a partir de una línea, punteada en la fig. 16.a, que es la dirección en que I coincide con R. Hasta aquí, todo parece indicar que ambas propuestas son equivalentes. Busquemos si alguna de las dos propuestas es superior a la otra. ¿qué nos haría decidir por una preferentemente?. Si no se le ocurre a alguien el cómo discernir, avancemos con lo que sigue: ¿Hay alguna relación entre los ángulos  $i$  y  $\hat{u}$ ? -medidos en la forma 17.a o 17.b-. Lo mejor será

pasar a la física cuantitativa, deberemos medir.

Para esto, será necesario elaborar nuestro transportador circular para medir los ángulos de incidencia  $-i$ , y de reflexión  $-a$ . Si tenemos en mente probar las ventajas de las propuestas para medir esos ángulos, deberemos elaborar uno adecuado para cada una de ellas (fig. 17).

Aún cuando el rayo incidente I en las figuras 17, a y b, entra con la misma dirección, las lecturas que tenemos son diferentes; por ejemplo: 17.a)  $i = 20^\circ$ ,  
17.b)  $i' = 70^\circ$ .

Continuemos entonces trabajando con UN solo transportador por equipo, el que sea, dividiéndolos por equipos.

Escojamos entonces un transportador y busquemos una relación entre los ángulos  $i$  y  $a$ . Hagamos que I llegue al punto P con diferentes direcciones, que deberemos anotar, y veamos cuál es el valor que observamos para R. Una tabla como la adjunta deberá ser obtenida para un conjunto de valores de  $i$  y  $a$ , que nos permitan decir que  $i = a$ , dentro de las desviaciones de la medición. ¿lo obtenemos con los dos transportadores?. Vimos antes que, para un mismo rayo I, los valores de  $i$  son diferentes para los transportadores 17 a y b. Pero el resultado general  $i = a$  ocurre para ambos. Podemos establecer esta como una ley de la reflexión para la luz: "EL ANGULO-DIRECCION DEL RAYO INCIDENTE ES IGUAL AL ANGULO-DIRECCION DEL RAYO REFLEJADO" . . . . ( 5.1. a)

ángulo $i(^\circ)$	ángulo $a(^\circ)$
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

¿Es esto siempre así?, Si yo conozco la dirección del rayo incidente ( $i$ ), ¿conozco siempre  $a$ ?, ¿Se les ocurre cómo hacer para que un rayo incidente I, que tiene un rayo R conocido, tenga después otro R', diferente de R?, ¿Y luego otros R2, R3, R4, ... Rn, diferentes entre sí?

Observen nuevamente el fenómeno. Escriban una descripción de él. Incluyan todos los elementos del fenómeno.

¿Incluiste que hay un rayo incidente?, ¿que hemos especificado la dirección en que llega?, ¿cuántas referencias necesitas para especificar completamente esa dirección?, ¿hablaste de que hay un espejo?, ¿de la posición en que se encuentra?, ¿cómo especificas esto último?.

PARA EL PROFESOR:

La primera ley de la reflexión no es tan evidente, de modo que conviene hacer física la presencia de la Normal del espejo. Esto puede hacerse con un alfiler o mondadientes (palillo) y un pie de plastilina colocados en la superficie del espejo. Al mover en varias direcciones el espejo, podemos ayudar a "ver" mejor nuestra Normal y primera ley.

F) ACTIVIDAD # 10

De todos los elementos que mencionaste, ¿el único que logra cambiar el ángulo  $\hat{O}$ , es el cambio en  $I$ ? Mantengamos fijo el rayo  $I$ , mantengamos fija, en una posición, la cajita que manda el rayo  $I$ . Hagamos ahora girar el espejo tomando como eje de giro al eje  $Y$  (fig. 18): ¿cambia el ángulo  $\hat{O}$ ? Pero no sólo él, también cambió  $i$ , y se sigue manteniendo  $i = \hat{O}$ . Has girar nuevamente el espejo, pero ahora tomando a  $X$  como eje de giro; nota que  $R$  cambia de dirección (ya no se dirige al punto al que se dirigía antes). Es de observarse que, aún cuando se mantiene  $\hat{O} = i$ , la dirección de  $R$  depende no sólo de  $I$ , sino de la posición del espejo también. De lo observado, podríamos decir que ... "El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal al espejo, se encuentran en el mismo plano". . . . ( 5.1. b), donde la normal es la línea imaginaria que construimos antes: la línea por la que llega  $I$ , y que también  $R$  utiliza para salir. Es necesario hacer notar que hemos definido un concepto ya no tan concreto como lo es el espejo, o el rayo incidente; pero que nos parece útil para trabajar. Por otro lado, si en determinada posición del espejo y la fuente luminosa sólo se ve un rayo o haz de luz, ¿cómo convencernos, con qué argumentos, de que están allí tanto el rayo incidente como el reflejado?. Ese haz único coincide, naturalmente, con la normal al espejo definida antes.

Esta afirmación, 5.1 b, parece ser una ley de comportamiento de la reflexión, y más elemental que la afirmación 5.1 a, por lo que a 5.1 b se le llama PRIMERA LEY DE LA REFLEXION, y a la otra se le conoce como SEGUNDA LEY DE LA REFLEXION.

G) En un curso anterior, igual que hace muchos años el señor Ptolomeo, una estudiante sugirió que las leyes de la reflexión de la luz eran en realidad una sola. Remitámonos a la figura 19. Si un rayo de luz debe ir del punto  $A$ , al de observación  $O$ , tocando algún punto  $Q$  del espejo, ENTONCES EL PUNTO  $Q$  ES TAL QUE LA DISTANCIA  $A-Q-O$  ES LA MINIMA. ¿Es esta una ley para la reflexión de la luz?, ¿Es equivalente a las que hemos planteado antes?

#### 4.4.5 Los espejos y la formación de imágenes.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno .....

- 1) utilizará las leyes de la reflexión, y el camino rectilíneo de la luz para predecir posiciones de imágenes creadas por espejos planos;
- 2) utilizará el concepto de paralaje para predecir la posición de imágenes creadas por espejos planos;
- 3) distinguirá imágenes reales de imágenes virtuales, bajo el criterio de su posible proyección en una pantalla;
- 4) describirá las imágenes creadas por espejos cóncavos y convexos;
- 5) definirá los elementos de un espejo curvo: distancia focal, cóncavo, convexo, foco (f) delante o detrás del espejo, centro del espejo (C), eje focal o principal, distancia Cf.
- 6) aplicará sus conocimientos sobre la reflexión de la luz para definir Normal, foco, espejo cóncavo, y convexo;
- 7) aplicará sus conocimientos sobre la reflexión de la luz para predecir la dirección emergente de dos rayos de luz que inciden en un espejo curvo: i) paralelo al eje principal, y ii) en dirección al foco;
- 8) utilizará las conclusiones sobre la dirección emergente de dos rayos incidentes en un espejo curvo, para predecir gráficamente la imagen que proporcionan los espejos curvos;
- 9) confrontará sus predicciones con las observaciones obtenidas en los respectivos espejos;
- 10) reconocerá el poder de síntesis y predictivo del modelo matemático, relacionado con la formación de imágenes por espejos.

MATERIAL (por equipo): espejos cóncavo y convexo, lámina de acero pulida al espejo, mitades de esferas de navidad de vidrio, cucharas de acero pulidas, papel para hacer gráficos, regla de 30 cm.

#### PARA EL PROFESOR:

A) Las leyes de la reflexión especular de la luz vistas en la sección anterior, más nuestra vieja idea de que la luz viaja en línea recta, nos hace percibir imágenes desde lugares en los que no está el objeto emisor de esa imagen. Veamos. Remitámonos a la figura núm. 19. Un observador (O) ve la vela encendida reflejada en el espejo (E), como si estuviera en la posición B. La luz que emite la vela es reflejada por el espejo siguiendo las leyes que obtuvimos antes. Nuestra persistencia a pensar en el viaje rectilíneo de la luz nos lleva a colocar el origen de la imagen de la vela en el punto B. Las experiencias poste-

riores con el manejo de espejos nos pueden llevar a racionalizar la posición del objeto en el lugar real, pero las primeras nos llevan al efecto mencionado antes. Veamos

#### B) ACTIVIDAD # 11

Se le pide a los estudiantes que preparen la experiencia de la figura No. 19. Nuevamente, describe el fenómeno que observas. Esas descripciones son criticadas, en un principio, por el profesor. El acuerdo con los estudiantes es en el sentido de que la crítica nos ayuda a avanzar y a detectar, entre todos, errores que uno sólo no percibe. Entonces, se ayuda criticando. El profesor deberá dar los pasos necesarios para que, gradualmente, sean los estudiantes quienes critiquen sus propias descripciones. La primera crítica es en la dirección de hacer notar la diferencia entre DESCRIPCIÓN y EXPLICACIÓN. Importa mucho, si queremos que nuestros estudiantes no adquieran una visión mágica de la ciencia, el que noten que, aunque el fenómeno objetivo es único, está allí, frente a nosotros, no todos vemos lo mismo, cada quien percibe sólo partes del fenómeno que otros no, y parece ser que eso depende no del fenómeno en sí, si no de nosotros mismos, del que hace ciencia.

Las preguntas que deben ser resueltas con sólo leer las descripciones de nuestros estudiantes, son: ¿es la imagen de igual tamaño que el objeto?, ¿la imagen y el objeto están a igual distancia del espejo?, ¿qué puedes hacer por verificarlo?.

Nuestros conocimientos son reafirmados, y son útiles, cuando nos sirven para realizar predicciones. Con el mismo instrumento de la fig. 19, pero sin el espejo (fig. 20), utiliza lo que ya sabes de los espejos y del viaje de la luz para predecir la posición en la que verás al objeto P desde el punto de observación O, cuando coloques el espejo en la posición E. Puedes colocar hojas blancas de papel para realizar tu trabajo de predicción. Una vez hecho, verifícalo. Para esto, sugerimos un espejo no muy alto, un par de objetos, -velas, p.e.-, suficientemente altas (fig. 21) de tal modo que desde la posición del observador, O, puedas ver el objeto de referencia o prueba (R), y lo cambies de lugar hasta que "coincida" con la imagen del objeto (S), que se ve en el espejo. Como ayuda para esta experiencia y actividad, construirás el dispositivo de la figura núm. 22. En estos dos dispositivos, tenemos que la imagen del objeto, que recibo del espejo, se "ve" colocada en el lugar en el que está ahora el objeto de referencia (R). Puedes ahora probar tus predicciones. Quiere esto decir que deberás investigar, con el material previsto, si la posición de la imagen coincide con la que habías propuesto en base a las leyes de la reflexión de la luz. Deberás realizar nuevas predicciones para otras posiciones

del espejo, tales como E' y E''(fig. 20). Esas predicciones deberán ser confirmadas por la realización de la experiencia respectiva, mediante el mero trámite de quitar el espejo, para realizar la predicción, y colocarlo nuevamente para realizar la verificación.

C) Los Espejos Planos "Invierten" la Imagen.

Pudiste darte cuenta que una de las cartulinas de la figura Núm. 22 tiene dos letreros, uno por lado, y que si observas directamente el letrero que esta atrás del de "OBJETO", esta invertido (se ve " AMI"). Sin embargo, en el espejo leemos correctamente "IMAGEN".

D) ACTIVIDAD # 12

Recorta tres flechas de cartulina de color y fijalas en una superficie horizontal suficientemente separadas como para trabajar sólo con una a la vez. Colócalas de forma diferente (fig 23). Describe ahora la posición de cada una de ellas: orientación, simetrías, dimensiones, ...-. Suponte que observas ahora a la primera reflejada en un espejo. Para mejor control, apoya una orilla del espejo en la superficie horizontal, también, junto a la flecha. Empecemos por la flecha de la fig. 23.a: ¿cómo esperas verla después de la reflexión especular?, ¿hacia la izquierda, la derecha, hacia abajo?. Después de escribir tus respuestas, deberemos hacerlo. Compara tus resultados con los de los demás. ¿obtuvieron todos los mismos resultados?. Si la respuesta es negativa, expliquen las causas. Verifiquen esa explicación.

Observarás que el resultado de la reflexión depende de cómo coloques el espejo. Intenta una explicación de cuándo sí y cuándo no invierte la imagen un espejo. Para esto, habrán probado ya, cuando menos, los siguientes tres casos: cuando el espejo se coloca en una línea paralela al eje de simetría del objeto, parece ser que no hay inversión de la imagen; cuando el espejo se coloca en una línea perpendicular al eje de simetría del objeto, sí hay inversión de la imagen, respecto a ese eje; y, por último, posiciones diferentes a las anteriores.

Probemos, después del establecimiento de las ideas anteriores, predecir cómo deberemos colocar UN espejo junto a las "palabras" de la figura 24, una cada vez, para leer correctamente la palabra IMAGEN.

Si logras leer correctamente IMAGEN, explica detenidamente cómo lo lograste. Explica qué hace un espejo con las imágenes. Hazlo utilizando nuestros conocimientos del viaje rectilíneo de

la luz, y de las leyes de la reflexión conocidas.

Lo que procede es escuchar las diferentes explicaciones, aportar las críticas respectivas y, posiblemente, adoptar una en la que la mayoría esté de acuerdo.

Suponte ahora que identificamos izquierda y derecha en una de nuestras flechas. Vimos antes que nuestra flecha se conserva idéntica en su imagen, si el espejo es colocado en una línea paralela a su eje de simetría: en la línea AB, por ejemplo. (fig. 25). Hemos colocado un lunar en el lado izquierdo de la flecha, que apunta hacia arriba. ¿Qué vemos en el espejo?, ¿la misma flecha "izquierda" apuntando hacia arriba?. Explica nuevamente.

E) ACTIVIDAD # 13 [Genzer (6), pág. 494]

"Agita tu mano derecha mientras miras hacia un espejo, ¿qué mano 'responde' a tu señal?. Intriga un poco la idea de que el espejo "invierte" izquierda y derecha, produciendo la llamada comúnmente "imagen espejo". ¿por qué un espejo no invierte también las partes superior e inferior (arriba - abajo)? La respuesta parece ser que . . . . UN ESPEJO NO INVIERTE izquierda y derecha. Si agitas tu mano derecha, es la mano a tu derecha la que en realidad responde a tu señal, pero parece que es la mano izquierda. La imagen del lado derecho de un objeto está, directamente, a la derecha; la imagen del lado izquierdo está, directamente, a la izquierda. Cuando esta imagen se observa en el espejo, sólo parece invertida porque cuando vemos una cosa frente a otra, estamos acostumbrados a observar el lado derecho opuesto al lado izquierdo. Para ilustrar este punto, dibuja la letra R sobre un papel transparente o vidrio, y colócala, con un espejo detrás de ella, delante tuya. Observa ahora la imagen en el espejo. ¿Qué ves?, ¿Está invertida la R?"

F) ¿Qué Imágenes Proporcionan Los Espejos Curvos?

Obsérvate en la cara curva exterior o de abajo -convexa-, de una cuchara metálica pulida. Describe la imagen que observas. ¿Es derecha?, ¿invertida izquierda - derecha?, ¿Es mayor, menor o igual que el objeto?, ¿Puede eso explicarse con las leyes de la reflexión especular?

¿Qué ocurre en la cara opuesta, la cara "honda" o curva interior -cóncava-?. Responde haciendo referencia a los elementos planteados antes. Para esta experiencia puede utilizarse media esfera de árbol de navidad, o practicar con los espejos retrovisores de los autos nuevos: ¿has leído lo que en ellos dice?, ¿podrás explicar porque es así?.

G) Vayamos por partes.

a) Investiguemos hacia dónde van los rayos luminosos que

llegan a un segmento de espejo esférico. Preparemos la experiencia. Dibuja un segmento de circunferencia, ese representará tu espejo visto de lado. Identifica al centro de tu circunferencia (fig. 26). Traza líneas que simulen los rayos luminosos que llegan a nuestro espejo. Aquí parece más complejo trazar la Normal a la superficie que nos ayude a medir el ángulo de incidencia (i), para trazar el ángulo del rayo reflejado (r). Pero no, no es más difícil: una línea que una al centro de la circunferencia con el punto en que llega el rayo al "espejo" es la Normal. (¿podrías explicar porqué?).

Puedes ahora, cuando ya tienes la Normal al "espejo" para cada rayo incidente, trazar el rayo reflejado.

¿Qué se observa del resultado de ese trabajo?

b) Define los elementos que obtengas de él. Utiliza "rayo incidente (I)", "rayo reflejado (R)", "Normal (es) N", "Centro del espejo (C)", "Foco del espejo (F)", "Angulo de incidencia (i)", "Angulo de reflexión (r)", "Eje focal o principal (Lp)", que es la línea que pasa por C y F.

¿Hacia dónde es reflejado un haz que llega al espejo paralelo al eje focal?

c) Si conocemos del camino reversible de la luz.

Si nosotros colocáramos una lámpara, vela o foco eléctrico en F, ¿Cómo serían reflejados los rayos luminosos por el espejo?. Para responder, utiliza el trabajo que realizaste antes.

d) Q es un foco luminoso -o emisor de luz-, un haz emerge de él y pasa por F, ¿En qué dirección es reflejado por el espejo?

e) Coloca ahora tu "espejo" esférico E. Define sus principales elementos: C, F, Lp, . . . Sabemos que cualquier punto iluminado de nuestro objeto O, el pino, puede ser considerado como un foco luminoso, y que emite haces luminosos en todas direcciones. Traza ahora los haces que salen del punto superior del pino (punto A, figura 27) hacia el espejo, tal que uno viaje paralelo al eje principal, Lp; y otro pase por el foco, F. Refléjalos en el espejo como ya sabes que ocurre (fig. 27). En el punto en que se cruzan los rayos luminosos, vuelve a brillar A, que llamaremos ahora A'.

Realiza la misma operación con la parte inferior del pino, punto B: un haz luminoso sale de él, paralelo al eje principal. Otro más sale de B y pasa por F. Refléjalos en el espejo E. El punto de cruce de ambas reflexiones nos da la posición del nuevo punto B'. Tenemos, entonces, una idea del cómo queda la imagen. Descríbela (derecha, invertida, mayor o menor que el objeto, ...) Aunque es un poco complicado, aplícale el método de reflexión a un punto intermedio del pino, ¿Queda su imagen donde la esperamos? .

Refleja nuevamente la punta del pino, punto A, en el espejo;

pero hagamos ahora que el nuevo haz no viaje paralelo al eje principal (CFM), ni pase por el foco (F). Un punto sencillo para establecer esta reflexión es que el haz que ahora sale de A, llegue al punto M, en el espejo (fig. 27). ¿Llega ese haz, reflejado en M, a la reunión con los otros haces trazados, en A'? ¿Qué elementos deberás agregar a tu descripción anterior para tener una descripción más completa?. Contempla ahora elementos como la distancia focal FM, la distancia del objeto al espejo OM, y la posición relativa del objeto con respecto al foco y a la lente.

Lo que tienes ahora es una explicación de la imagen invertida, para distancias OM mayores que la correspondiente FM, en el espejo cóncavo.

Cambiamos la distancia OM. Tomemos ahora una distancia OM menor que la distancia FM. Dibuja tu objeto y realiza la predicción de las características de la imagen en este caso. Menciona en tu predicción elementos como imagen derecha, invertida izquierda - derecha, arriba - abajo, más grande, menor, igual; y otros que consideres relevantes de la experiencia. Recordemos que, en los espejos planos, la continuación de los haces luminosos reales, detrás del espejo, son los que nos ayudan a realizar la predicción o a explicar la imagen -virtual en ese caso-.

Nuevamente, el trazo de dos haces luminosos que salen de la punta del objeto (A, en la fig. 28), se dirigen al espejo: uno paralelo al eje principal, se refleja en dirección al foco F. El otro, proveniente también de A, se dirige al espejo E en una dirección tal que parece provenir del foco F. En esa condición, se reflejará de E en dirección paralela al eje principal. Esos dos haces reflejados divergen, se van separando; Pero parecen provenir de un punto común tras el espejo. Continúa esas líneas, atrás del espejo, y obtendremos tal punto común A'.

Realiza lo mismo con la base del objeto B.

Al finalizar deberás poder contestar: ¿Cómo es la imagen formada, con respecto al objeto? -tamaño, derecha o invertida, etc.-; ¿Explica esto la imagen que observas en algunos espejos curvos, muy útiles para rasurarse o maquillarse, llamados "espejos con aumento"?

H) ¿Qué Imagen Proporciona Un Espejo Curvo Convexo?

a) Otra vez, dibuja tu espejo y realiza la predicción. Si hemos aprendido a plantear el problema, lo primero que nos interesará es saber el cómo emergen de este espejo los haces

luminosos incidentes. Sabemos qué hacer para obtener esta respuesta:

i) Dibujamos nuestro espejo esférico ( o circular, porque es plano); ii) E es el espejo, C es el centro de la circunferencia, MC es el eje principal, definido por la dirección de los rayos incidentes; iii) Hacemos incidir haces de luz paralelos al eje principal (haces A, B, C, D ..., de la fig. 29). Por el método y leyes de reflexión ya conocidos, reflejamos esos haces; iv) Los haces luminosos reflejados A', B', C', ... no se dirigen a punto común alguno; en cambio, la continuación de esos haces reflejados coincide en un punto detrás del espejo. Esto es, a', b', c', ... parecen provenir de tal punto. Por eso, llamémosle foco (F) a tal punto; v) ¿A qué distancia está F de M?, ¿ y de C?. ¿Cómo relacionas las distancias MF y MC entre sí?.

Finalmente, porque conocemos de la reversibilidad del camino de la luz, podemos afirmar que:

- Un haz de luz que llegue a E en dirección al foco F, saldrá paralelo al eje MC., y
- Un haz que llega paralelo a MC, emerge como si saliera del foco F.

b) Podemos ya resolver el problema: ¿Qué imagen proporciona un espejo curvo convexo?

Es seguro que ya lo sepan, son los espejos "ojos de pescado" que usan como retrovisores -o agregados al retrovisor- algunos vehículos, especialmente los grandes. También se encuentran en algunas supertiendas para observar pasillos. Bueno, entonces, ¿cómo explicamos o entendemos tal imagen?

Planteemos nuevamente el espejo convexo. Conocemos sus elementos: C, centro; F, foco; el segmento que pasa por C y F es el eje principal y toca al espejo en el punto M. La flecha O es el objeto (fig. 30). La punta de la flecha la llamo A. Un punto en su base se llama B. Desde A trazo dos haces luminosos: uno viaja paralelo al eje principal, por lo que se reflejará en el espejo como si saliera del foco F. El otro haz de luz es lanzado en dirección al foco F, por lo que al llegar al espejo se reflejará en dirección paralela al eje principal. La continuación de estos dos haces, detrás del espejo, coinciden en un punto, el A'. Esto es, los haces reflejados en el espejo, provenientes de A, parecen salir de A'. Por el mismo método (dos haces que salgan uno en dirección del eje principal, y otro en la del foco), los haces que emite B, parecen salir de B'.

Seamos ahora un poco más exigentes. Un tercer haz luminoso que salga de A hacia el espejo en dirección diferente a los dos anteriores, ¿se reflejará también en una dirección que parezca que sale de A'?. Prueba reflejarlo en M, o en dirección radial,

respecto de C. Puedes, además, intentar con un punto del objeto O, diferente de A y B. Prueba con D. Nuevamente, dos haces deberán salir de él, tú ya sabes cómo.

Tenemos la explicación, entonces, de la imagen -virtual esta vez- que vemos en un espejo esférico convexo.

I) Una Predicción Completa, La Matemática.

a) Las predicciones que se han realizado hasta este momento, han sido cualitativas. Después de cada una de ellas, se habrá verificado con el espejo respectivo si las características de la imagen corresponden a la obtenida, en general, con la predicción. Pero nada podemos decir respecto al tamaño de la imagen ( $T_i$ ), en centímetros, como variable dependiente de las distancias focal ( $f$ ), del objeto al espejo ( $O$ ), del objeto al foco ( $Do$ ). Busquemos ahora una respuesta cuantitativa.

b) Las Distancias  $O$  e  $I$ . En esta parte del trabajo, el estudiante trabajará con reproducciones de las figuras ya obtenidas antes, como 27 y 31. Estas figuras deberán ser, de preferencia, en hojas grandes como una cartulina. Están definidas allí las cantidades  $f$  -distancia focal-,  $I$  -distancia de la imagen al vértice del espejo paralela al eje principal-, y  $O$  -distancia del objeto al punto M-.

De la figura 31, Por semejanza de triángulos, vemos que

$$\frac{D_i}{T_i} = \frac{f}{T_o} \dots \text{Ec. 7.1} ; \text{ y además, que } \frac{T_o}{D_o} = \frac{T_i}{f} \dots \text{Ec. 7.2}$$

De la primera de ellas,  $\frac{T_o}{T_i} = \frac{f}{D_i} \dots \text{Ec. 7.3}$ ; y de la segunda

$$\frac{T_o}{T_i} = \frac{D_o}{f} \dots \text{Ec. 7.4}; \text{ de donde, al igualar } T_o/T_i, \text{ queda}$$

$$\frac{f}{D_i} = \frac{D_o}{f}, \text{ o bien}$$

$$f^2 = D_o D_i \dots \text{Ec. 7.5}$$

El profesor puede seguir haciendo álgebra con las relaciones obtenidas antes, con la precaución de que los estudiantes puedan seguir los pasos que se dan.

Tomemos la ecuación 7.4 y sustituyamos allí  $D_o = O - f$ :

$$\frac{T_o}{T_i} = \frac{D_o}{f} \text{ queda } \frac{T_o}{T_i} = \frac{O - f}{f}, \text{ por lo que } \frac{T_i}{T_o} = \frac{f}{O - f},$$

o bien,  $T_i = \left[ \frac{f}{O - f} \right] T_o \dots$  (ec. 7.6); que es un modelo que sirve para relacionar el tamaño de la imagen  $T_i$ , con el tamaño del objeto  $T_o$ , si conozco la distancia focal  $f$ ; y la distancia,  $O$ , del vértice del espejo al objeto.

J) ¿Qué tan "reales" son esas ecuaciones?. O bien, ¿Qué tan bueno es este modelo para describir los hechos, y para predecir?.

a) Discutamos primero, en general, una respuesta a esa cuestión. En seguida podemos ir definiendo: ¿tienen signo las cantidades  $D_o$ ,  $D_i$ ,  $f$ ? Después, para ver qué quieren decir las ecuaciones con " $T_o$ " (tamaño del objeto), " $T_i$ ", y otros, en la figura 31, de donde se obtuvieron las ecuaciones 7.1 y 7.2, midamos  $f$ ,  $D_o$ , y  $T_o$  -distancia focal, distancia del foco del espejo al objeto, y tamaño del objeto, respectivamente-; sustituyamos los valores en la ecuación 7.6 para obtener el tamaño de la imagen,  $T_i$ . Comparemos inmediatamente el valor obtenido con el valor medido de  $T_i$  en la fig. 31. Es posible que sea necesario volver a discutir discrepancias. En particular, sobre el posible signo de las cantidades involucradas, y los valores que serán aceptables, y cuales no, para considerar que este modelo matemático ha sido confirmado.

b) Resolver nuevamente, ahora para las figuras 27, 28 y 30. Tomemos medidas de  $f$ ,  $O$  y  $T_o$ ; para calcular, con la ecuación 7.7 tanto la distancia a que está la imagen del vértice del espejo,  $I$ ; como el tamaño de la imagen,  $T_i$ . Comparar los resultados con los de la medición de esos elementos en la figura respectiva.

c) El paso siguiente, la predicción. ¿cuál será el tamaño de la imagen ( $T_i$ ), y la distancia de la imagen al vértice del espejo ( $I$ ); si el tamaño del objeto ( $T_o$ ), la distancia focal ( $f$ ), y la distancia objeto-espejo ( $O$ ) están determinados?. Propongamos los valores respectivos, hagamos la gráfica con ellos y lleguemos a las respuestas por medio de las ecuaciones respectivas. Posteriormente realicemos la experiencia. Esta se realiza tanto en el gráfico, sobre una cartulina, como con el espejo respectivo. ¿hasta dónde podemos decir que el modelo matemático funciona? ¿qué tanta discrepancia podemos admitir para aceptar como un buen modelo a las ecuaciones utilizadas?, ¿hay otro modelo, otra forma de obtener las respuestas a las preguntas planteadas antes?, iv) ¿Puedo aplicar esas ecuaciones a los espejos planos?, ¿cuánto vale en ese caso la distancia focal,  $f$ ?, ¿qué esperamos como resultado al calcular la distancia  $D_i$  y el tamaño de la imagen  $T_i$ ?, ¿dan esas ecuaciones los resultados esperados?, v) ¿Funcionan estas ecuaciones para todos los tipos de espejos curvos?.

4.4.5. La refracción.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de:

- 1) Describir las condiciones bajo las cuales tiene lugar el fenómeno de refracción;
- 2) Describir fenómenos de la vida cotidiana en que tiene lugar la refracción;
- 3) enunciar las leyes de la refracción;
- 4) describir el fenómeno de reflexión total;
- 5) medir experimentalmente el índice de refracción, con respecto al aire, de una sustancia dada;
- 6) utilizar los modelos gráfico-geométricos de las leyes de la refracción para realizar predicciones sobre la dirección del haz refractado.

A) La luz se quiebra, el caso más antiguo. Parece claro que, respecto a la refracción lo primero que el hombre observó fue que los objetos se "quebraban" si se encontraban semisumergidos en agua. ¿Qué se puede pensar de tal fenómeno, sin los conceptos previos del porqué vemos?. En esta discusión, es conveniente que los alumnos describan sus experiencias relativas al fenómeno en cuestión.

B) ¿Vemos objetos o rayos luminosos?.  
¿Vemos los objetos porque "los rayos vienen de él"?, El Sol, o una estrella, ¿están en el lugar donde lo estamos viendo?, ¿tiene esto algo que ver con el fenómeno que nos ocupa, los objetos que vemos "rotos" en la interfase aire - agua?.

Aquí podemos hacer referencia a la figura núm. 32 en la que mencionamos que los haces luminosos que se ven allí provienen de la cabeza de un alfiler. A partir esa gráfica, ¿podemos decir, inequívocamente, el lugar en donde está colocado el alfiler?

C.- ACTIVIDAD 19. Las experiencias más comunes.

a) La cuchara y la regla que se rompen. La experiencia deberá ser realizada por los alumnos. El material es, aparte de una cuchara y una regla, una pecera o recipiente de cristal, conteniendo agua. Aún cuando todo mundo habla del fenómeno, o cuando menos dice conocerlo cuando se habla de él, no todos han tenido oportunidad de realizarlo con detalle, "jugar" con él. El profesor no deberá dejar pasar la oportunidad para pedirles a sus alumnos que realicen una DESCRIPCIÓN de lo observado, criticándola cuando sea necesario. Debemos hablar de una descripción pobre si no se menciona una dirección hacia la que se "rompe" el objeto, si no se hace referencia al hecho de que todos parecen romperse en la misma dirección. Planteemos, después, preguntas: ¿ocurrirá igual con otros líquidos?, ¿cómo saberlo?, ¿si estuvieramos dentro del agua. como los peces, qué veríamos?, ¿depende el ángulo de rompimiento del ángulo con el que entra la regla?, ¿incluyeron ese aspecto en su descripción?.

b) La moneda que flota.

Materiales: a) dos vasos de cristal, largos.

b) agua,

c) dos monedas, una ligeramente mayor de tamaño.

La experiencia consiste en depositar una moneda en el fondo del vaso, vacío, y alejarse del eje del vaso lentamente, hasta que deje de verse la moneda. En esa posición, se vierte agua al interior del vaso y nos mantenemos observando hacia el interior, ¿qué es lo que ocurre?, ¿observan ahora sí la moneda?, ¿por qué es posible eso?. ¿da la impresión de que la moneda "flota", y por eso la vemos?.

Realicemos una variante de la misma experiencia: observa por arriba los dos vasos con monedas iguales en su interior y sin agua. Los vasos deben estar juntos. Ahora vierte con cuidado agua en el interior de uno de ellos, Describe lo que observas ahora. Introduzcamos el vaso que contiene agua en un hueco apropiado de tal modo que compense la "elevación" que experimenta la moneda de su interior, si la moneda es desconocida, mejor. ¿No te parece que otra buena explicación es el decir que la moneda aumentó de tamaño?, ¿por qué no lo explicamos antes de esa manera?.

D.- Intentemos una explicación. Seguramente nos servirá el que nosotros tengamos ya una explicación del cómo vemos; en particular, el que sepamos que para tal efecto es necesario que el objeto envíe luz hacia nuestros ojos. ¿Será esa luz la que se está "quebrando" y esté allí la explicación de lo que vemos? ¿podremos observar el que la luz se quiebra al pasar del agua al aire?. Intentémoslo. Usemos el cilindro de cartulina negra para hacer oscuridad si no tenemos un laboratorio equipado con cortinas. La pequeña pecera de vidrio, conteniendo agua, es colocada en el interior del cilindro. Por la ranura del mismo se hace entrar un haz de luz que llegue en una dirección que sea posible cambiar, sobre la cajita de vidrio con agua. Si nada observamos, agregando un poco de pintura blanca al agua, o líquido blanco corrector de originales, es posible observar el rayo de luz que atravieza nuestra cajita de vidrio, en una dirección diferente de la que llega.

¿Para todas las direcciones de incidencia del haz luminoso hay un cambio de dirección?, ¿hay una dirección privilegiada para ese cambio de dirección?. Realicen un gráfico que describa lo que están observando. Apliquemos lo que estamos observando del cambio de dirección de la luz al pasar del agua al aire, para explicar el aparente "quebrarse" de la regla. Esto deberá hacerse con dibujos, gráficos y esquemas.

E.- Avancemos un poco.

a) Definamos los elementos del fenómeno: Hay un haz de luz

incidente (llamémoslo, de una buena vez, I), que viaja inicialmente en el aire; hay también un haz de luz refractado (lo llamo R), que viaja en el otro medio -el agua, por lo pronto-; la normal N, a la superficie; hay una dirección del haz incidente, el ángulo  $i$ , medida a partir de la normal; hay una dirección del haz refractado, ángulo  $q$ , medido también a partir de la normal; y dos medios que en algo deberán diferir de modo tal que provocan el fenómeno en cuestión; y, por último, tenemos que al cambiar el ángulo  $i$ , cambia también  $q$ . El cómo depende un cambio del otro será el objetivo de éste numeral.

b) ¿hacia dónde se desvía el haz de luz?, ¿cómo se vé desde el agua -cómo lo vé un pez-?. Recuerda la reversibilidad del camino óptico.

c) Los límites de la refracción. Debemos observar que hay un momento en que no se obtiene más la refracción, y todo el haz es reflejado -fenómeno conocido como REFLEXION TOTAL-, siguiendo las leyes que ya conocemos. ¿Es repentino este cambio, o va apareciendo de manera gradual?

d) De ser posible, las cuestiones anteriores deberán ser planteadas también para otros pares de medios tales como aire-agua, aire-acrílico, agua-acrílico, aire-glicerina y aire-disulfuro de carbono. Contestemos, la siguiente pregunta: para un haz de luz que pasa de un medio 1 al aire a un ángulo determinado ( $\theta$ ) en el primer medio, ¿es el ángulo  $q$  respectivo, en el aire, el mismo que si el primer medio fuera agua, glicerina, disulfuro de carbono o acrílico?, ¿tienen todos el mismo ángulo límite de refracción?

#### F) Tomando Medidas.

a) Justo ahora que hemos definido los elementos del fenómeno, parece ser que el tomar una serie de datos de las dos variables involucradas,  $i$  y  $q$ , para una pareja de medios escogida, es el camino que nos puede llevar a responder la pregunta "¿cómo se quiebra la luz?".

Una referencia obligada son las leyes de la reflexión que ya estudiamos antes, ¿Pueden aplicarse a este fenómeno?, Primero, ¿estan la normal, el rayo incidente y el refractado en un mismo plano?. Después, ¿Es el ángulo de incidencia,  $i$ , igual al de refracción,  $q$ ?

b) Cómo tomar medidas de los ángulos  $i$  y  $q$ . El recipiente semicilíndrico hecho de mica sirve muy bien para ese propósito (fig. 33). Este es colocado en una superficie blanda tal como cartón. Entre el semi-cilindro y el cartón es colocada una hoja de papel blanca o limpia. En la cara plana vertical del semicilindro se marca una línea que muestra el eje o centro del cilindro. Cuando el semicilindro es llenado con alguno de los líquidos mencionados antes, ¿cambia de dirección un haz de luz que penetra al medio incidiendo en la cara curva en dirección al centro del cilindro? (fig. 34). La respuesta parece ser que no cambia de dirección, en el interior del líquido.

c) Vayámonos a la figura 35. Clavemos un alfiler con cabeza de color, en una posición arbitraria en la zona B. Observemos de tal modo que el alfiler nos tape la línea C que marca el centro de la cara plana del semicilindro. Uno o dos alfileres más nos definen la trayectoria de un haz de luz que viaja del punto C hacia el observador, en la zona B. Colocados en esa posición de observación, y mirando a través del líquido, coloquemos alfileres en la zona B de tal modo que los observemos alineados con los de la zona A. Al observar por arriba del semicilindro, ¿están los alfileres de la zona A efectivamente alineados con los de la B?

Repitamos la experiencia para otro par de alfileres clavados en la zona A. Cambiemos el color de los alfileres para distinguir de los anteriores.

Por este método podemos tener una serie de datos de ángulos para el haz incidente ( $i$ ), y sus respectivos ángulos para el haz refractado ( $\alpha$ ).

d) Ese conjunto de datos puede realizarse también para otros pares de medios, como los ya mencionados antes.

#### G.- El análisis de los datos.

a) Para diferentes pares de medios refringentes dados, el conjunto de datos obtenidos no parecen coincidir, por lo que deberán realizarse análisis por separado. La aplicación de la segunda ley de la reflexión " $i = \alpha$ ", no funciona aquí; y tampoco la que dice que la luz sigue siempre los caminos más cortos. A estas conclusiones deberá llegarse después de plantear las preguntas pertinentes.

b) Pídate a los alumnos que los datos obtenidos -de 6 a 8- de haces incidente y refractado, para un par de medios dado, sean presentados en una circunferencia (fig. 36), de la cual nuestro semi cilindro sea la mitad. Para ángulos chicos (menores de  $40^\circ$ ), proponemos la relación

$$\frac{\alpha}{i} = \text{constante}$$

Veámos, para ángulos pequeños, si esta relación se cumple. Para los datos que tenemos, siempre con la restricción de ángulos pequeños, ¿cuánto vale la constante de la relación que hemos propuesto?. Si proponemos un nuevo ángulo incidente  $i'$ , como conocemos el valor de la constante, podemos determinar el valor que tendrá el respectivo ángulo de refracción  $\alpha'$ . ¿Cómo funciona?. ¿Tiene algún límite esa relación?. Podemos hablar entonces de que hemos encontrado una ley de la refracción que tiene un LIMITE DE VALIDEZ, que es el ángulo para el cual las predicciones empiezan a fallar.

PARA EL PROFESOR:

Este camino, de descubrimiento de una ley, y subsiguiente ruptura por la contrastación experimental ocurrirá de manera natural si desde el inicio se les permitió trabajar sólo con ángulos menores de 40°. La conclusión del profesor, a este resultado, bien puede ser "compañeros, hemos encontrado una ley con validez restringida. Sigamos buscando una más general"

c) Desde una clase anterior, deberá dejarse de tarea mostrar que, para diferentes ángulos, el cociente de los ángulos es igual al cociente de los respectivos arcos de circunferencia:

$$\frac{i}{a} = \frac{S1}{S2}$$

Esto quiere decir que, para los ángulos para los cuales la relación anterior es válida, debe ocurrir también que

$$\frac{S1}{S2} = \text{constante}$$

¿Tiene esta relación las mismas restricciones que la anterior? Debemos tener presente que que S1 y S2 son los arcos de

circunferencia delimitados por la normal a la superficie y los rayos incidente y refractado, respectivamente.

d) La investigación anterior tiene como única dificultad, tal vez, la de medir los arcos de circunferencia S. Eso puede resolverse de la siguiente manera: para ángulos chicos, el arco S1 es casi igual a la semi-cuerda C1; y el S2, a la C2, de donde se obtiene

$$\frac{C1}{C2} = \text{constante}$$

Con la ventaja de que las semi-cuerdas son más fáciles de ser medidas. Veamos nuevamente si esta relación nos proporciona

la misma constante que hemos obtenido antes con los arcos y los ángulos. ¿tiene esta relación las mismas restricciones que las anteriores?. ¿Es esta la Segunda Ley de la Refracción?. Realicemos gráficamente las siguientes predicciones:

i) El ángulo límite para la refracción (reflexión total). Como tenemos el valor de la constante de la última relación, y el límite antes de la reflexión total es cuando la dirección del haz refractado coincide con la interfase semicilindro-aire (fig. 36b), esto es, C2 tiene el valor del radio de la circunferencia, inmediata de medir; entonces es posible predecir, con nuestra ecuación, el valor de C1. Ya que tenemos éste valor, es posible buscar una semi-cuerda que coincida con él y trazar la dirección del rayo incidente. A esta dirección le corresponde un ángulo de incidencia, ¿cuánto vale?, ¿lo teníamos registrado antes?.

ii) Dado un valor de ángulo incidente (i) no registrado antes, podemos obtener de la ecuación anterior el respectivo valor del ángulo refractado. Conviene hacerlo para dos ángulos: uno chico (menor de 40°), y otro grande (mayor de 50°). Para cada uno de los ángulos de rayo incidente, que deberemos trazar en nuestra circunferencia, corresponde una semi cuerda C1 y, aplicando la relación ya conocida, deberemos obtener el valor de la semi cuerda C2, respectiva. ¿Proporciona la ecuación una respuesta en ambos casos?. Si no es así, ¿podemos explicar?.

e) El siguiente paso es mostrar que, para todos los ángulos de incidencia, existe una razón constante, dentro de los límites de los errores experimentales, de las semi-cuerdas respectivas de los haces incidente y refractado. Y esa relación es precisamente la encontrada recientemente.

PARA EL PROFESOR:

El trabajo, hasta el presente momento, es realizado sólo para el par de medios aire - agua. Una generalización más, ocurre cuando los estudiantes asignan una constante diferente para cada material. No es necesario, en este momento, aclarar que incluso el aire tiene un valor de índice de refracción.

Sólo en el momento que han aceptado que existe tal relación puede darse el siguiente paso: Dibujar en la gráfica anterior un haz incidente -dato teórico, no experimental-, y a partir de que sabemos cuál deberá ser la razón de su semi-cuerda a la respectiva del haz refractado, predecir la dirección de éste último. Este paso deberá darse para dos o tres pares de medios. Esto se vuelve sencillo de hacer si entre los diferentes equipos manejan diferentes parejas de medios refringentes; pero siempre que uno de ellos sea aire. Se sugiere como el otro material algunos que son de fácil obtención como Glicerina, Alcohol, Disulfuro de carbono y, si es posible, acrílico.

d) Por último, una gráfica en grande de la figura 36, con las semicuerdas mostradas, servirá para mostrar cómo paso W. Snell de la razón de las semi-cuerdas a la razón de los senos de los ángulos. Esto es, a la ecuación

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n \quad \dots \text{Ec. 8.1}$$

donde n es una constante

¿Contiene ésta a la ecuación anterior 8.0?

¿Es la constante n del mismo valor si el haz pasa de aire al agua, que si es a la inversa?

¿Podemos pensar, en éste último caso, que la ecuación 8.1 quedó

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{1}{n} \quad ? \quad \dots \quad \text{Ec. 8.2}$$

H.- El uso de la ecuación 8.1

a) Lo primero será ver si la ecuación logra reproducir los datos experimentales que poseemos. Para eso, las tablas de valores de  $i$  y  $u$  medidos antes servirán, así como un cálculo promedio de los valores experimentales obtenidos para la constante  $n$ . Este es un trabajo de "talacha" que deberán realizar los estudiantes. Nótese que en caso de existir un sólo dato en que la ecuación obtenida no haga la reproducción esperada, la primera actitud deberá ser de que la ecuación entonces no sirve. Pero junto con ésta, deberá sospecharse de la medición realizada de los ángulos respectivos, y del experimento mismo; esto es, del acto de colocar alfileres en línea, etc.

b) El siguiente paso es realizar, con la ecuación 8.1, predicciones que deberán probarse posteriormente de manera experimental.

c) Estudio del ángulo límite de refracción a partir de la ecuación 8.1. Predicción de un ángulo límite de refracción para un par de materiales no medido antes.

I.- Revisión de ideas.

a) ¿Sigue la luz siempre el camino más corto?

¿Depende el valor de la constante  $n$  (de 8.1), sólo del agua, glicerina, o material utilizado?

En caso de que el haz luminoso pasara de agua a glicerina o a acrílico, ¿qué resultado esperas para el valor de  $n$ ?

b) Esperamos estar actuando lo más objetivo y racional que es posible, pero aún así, cabe la pregunta ¿Qué tan definitivas son nuestras respuestas?

J.- Los Indices de Refracción.

a) ¿Cómo explicar el resultado del valor de  $n$  obtenido para el caso anterior en que ninguno de los dos medios es aire?

Pareciera que ambos medios se han traído su respectivo índice de refracción de tal manera que, si el haz incidente ha llegado desde el aire, y el refractado es el que viaja ahora por el agua, la ecuación 8.2 nos dice que 1 es el índice de refracción del aire, y  $n$  es el del otro material que se esté usando.

Si esto queda suficientemente claro, para dos medios, ninguno de ellos aire, deberemos escribir la ecuación 8.2 como:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \dots \text{Ec. 8.3}$$

e interpretar a  $n_1$  y  $n_2$  como los índices de refracción de los medios 1 y 2, respectivamente, si el del aire es 1.

b) ¿Contiene ésta ecuación a la 8.2?

c) Realizar la determinación experimental del índice de refracción de dos sustancias, a escoger: i) aceite, ii) vidrio, iii) alcohol, iv) glicerina, v) disulfuro de carbono.

#### 4.4.7 Las lentes

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de:

- 1) describir los elementos de las lentes cóncavas y convexas: foco, radio de curvatura, eje principal, convergentes o divergente;
- 2) explicar las propiedades de las lentes cóncavas y convexas;
- 3) determinar las características de las imágenes formadas por las lentes convexas;
- 4) hacer predicciones sobre tamaños y distancias entre los objetos y sus imágenes, a partir del estudio geométrico del fenómeno de formación de imágenes por lentes;
- 5) verificar experimentalmente sus predicciones, habiendo medido la distancia focal de la lente localizando en una pantalla la imagen del filamento de una lámpara incandescente;
- 6) reconocer el poder de síntesis y predictivo de las formulaciones matemáticas que relacionan los elementos del fenómeno de formación de imágenes por lentes.

A) Las Lentes Convexas o Convergentes.

a) las experiencias como "lupas" o "aumentos".

En este punto se tratará de que los estudiantes utilicen las lentes para ver objetos, amplificándolos. Es necesarios que hagan notar que hay un pequeño rango de distancias entre las cuales es posible este uso, mas o menos esa distancia no es posible observar nítidamente. Deberán hacerse comparaciones entre la imagen observada y el objeto de observación. Tamaño, inversión de imágenes, de qué lado de la lente están objeto e imagen, etc. son aspectos que deberán ser incluidos.

b) como creadoras de imágenes reales. dos casos.

Con ayuda de focos luminosos, ventanas, la caja con foco y ventana intercambiable, velas, etc., se usarán las lentes para formar imágenes proyectadas en una pantalla. También aquí se hará notar que hay distancias entre las que esto es posible de la mejor manera. Nuevamente, se harán comparaciones entre imagen y objeto: tamaños relativos, inversión de imágenes, de qué lado de la lente, etc. Se presentarán los dos casos en que una lente

forma imágenes reales.

c) Como concentradoras de la luz en un punto.

Quemar un papel con ayuda de la luz solar es algo que, posiblemente, todos hemos hecho. ¿Es posible hacerlo con un foco, en vez del sol?, ¿Es esta experiencia equivalente a alguna de las dos anteriores?.

B.- Formalizando. ¿Cuáles son los elementos de la descripción de la formación de las imágenes por esta lente?.

a) La distancia focal (llamada, a partir de ahora, f). ¿cómo la identificas?, ¿cómo la mides?.

b) Eje principal. Definición.

c) distancias lente-objeto y lente-imagen.

d) reconocimiento de la imagen: tipo real o virtual.

e) Tamaños del objeto e imagen, descripción y medición.

f) inversión o nó de la imagen. con respecto a qué.

g) ¿están imagen y objeto del mismo lado de la lente?

C.- Sobre una explicación.

a) pidamos a los estudiante que realicen gráficos de las lentes en los que sean apreciables tanto el fenómeno en cuestión -las experiencias 4.4.9 A-, como los elementos definidos anteriormente b) Realicemos un estudio del comportamiento de dos rayos de luz, especialmente: i) rayo luminoso que llega a la lente paralelo al eje principal, y fuera de él (A y B, en la fig. 37); y ii) rayo que llega a la lente en dirección a su centro (C, en la misma figura). Este trabajo debe ser realizado sobre una "lente" delgada y grande, dibujada en una cartulina. Con las leyes de la refracción obtenidas antes, deberá realizarse el trabajo de calcular las nuevas direcciones de los rayos A, B y C (fig. 37 b), con el uso de

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \text{donde } \theta_i$$

es el ángulo incidente (respecto de la normal);  $n_1$  es el índice de refracción del aire (el rayo pasa del aire al vidrio);  $n_2$  es el índice de refracción del vidrio; y  $\theta_r$  será el ángulo que da la dirección del rayo refractado que deberemos, calcular y trazar sobre la lente de la cartulina. Al pasar, posteriormente, el haz del vidrio al aire,  $\theta_i$  será el ángulo de incidencia (respecto a la normal de la nueva interfase), por lo que ahora será:

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{n_2 \text{ (aire)}}{n_1 \text{ (vidrio)}}$$

El resultado deberán ser dos observaciones: i) los rayos paralelos al eje principal se dirigen al punto, que hemos llamado foco (f), al otro lado de la lente.; ii) un rayo que llega en dirección hacia el centro de la lente, sale sin desviación aparente.

b) Usemos esas observaciones. Conociendo el comportamiento de dos rayos principales, que eso obtuvimos de las observaciones anteriores, podemos usarlos para obtener la imagen que formará el

objeto de la figura 38. ¿A cuál de las experiencias anteriores (4.4.6 A) corresponde esta figura?

c) Por el mismo camino, uso de las dos observaciones de los rayos principales, podemos elaborar la imagen que crea la lente en otro caso (fig. 39). Allí, nuevamente hemos dirigido 2 rayos de luz provenientes del objeto. Uno paralelo al eje principal, y el otro dirigido al centro de la lente. Esos dos rayos luminosos, al ser observados del otro lado de la lente, parecen provenir no del punto A, sino del A', por lo que tenemos una imagen virtual en esa posición. Describe esa imagen, teórica, obtenida de las leyes de la refracción. ¿A qué caso, de las experiencias mencionadas, corresponde esta figura?

Al - Hazan, el científico árabe de la Edad Media, muestra que el poder de amplificación de una lente no depende del material de que esté hecha la lente, sino que se debe sólo a la curvatura de ella. ¿Qué admitimos hoy al respecto?, una lente "convergente", ¿es siempre convergente?, ¿No depende para que lo sea de los medios que la rodean?, ¿cómo se comporta una lente biconvexa, de vidrio, dentro de disulfuro de carbono?.

D) Lentes cóncavas o divergentes.

a) Las Experiencias.

¿Qué observamos a través de estas lentes?, ¿forman imágenes?, ¿de qué tipo?, ¿cómo vemos a través de ellas?, Describe las imágenes que observas. ¿hay diferentes casos?.

b) Los elementos del fenómeno. Hagamos una gráfica de la lente que incluya al objeto y a la imagen, cualitativamente. Identifiquemos allí los siguientes elementos:

- distancia focal. (¿existe en esta lente?)
- Eje principal
- distancias lente objeto y lente imagen
- reconocimiento del tipo de imagen, real o virtual
- tamaños relativos de objeto e imagen
- imágenes derechas o invertidas
- ¿están imagen y objeto del mismo lado de la lente?
- Tanto en esta lente como en la anterior, ¿de qué depende el valor de la distancia focal?, ¿será igual estando la lente dentro de agua, alcohol o glicerina?

E) Intentemos la explicación de lo que vemos.

a) Sobre una cartulina dibujamos una lente bi-cóncava o divergente. Porque nosotros la construimos, reconocemos elementos tales como el centro de curvatura (C), el centro de la lente (c), y la superficie de la propia lente.

Dirijamos rayos luminosos a la lente, paralelos al eje principal, que contiene al centro de curvatura C, y al centro de la lente c. Como lo hicimos antes, apliquemos  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$  para encontrar la nueva dirección ( $\theta_2$ ), dentro del vidrio, de los

rayos que inciden en él; y nuevamente para encontrar la nueva dirección  $\theta'2$ , al pasar la luz del vidrio al aire nuevamente (fig. 40). Este trabajo será realizado sobre la cartulina y por aplicaciones reiteradas de la ecuación  $n_1 \text{ sen}\theta_1 = n_2 \text{ sen}\theta_2$ , donde 1 corresponde al aire y 2 al vidrio, primero; y después cambian a 1 el vidrio, y 2 el aire. Para alguien que observara del otro lado de la lente al que llegan los rayos de luz (fig. 40), estos parecen proceder de un punto común. Pongámosle nombre: foco -f-. Detectemos el comportamiento de otro rayo luminoso, el que llega a la lente en una dirección diferente a la del eje principal, y apunta al centro de la lente c. Con la aplicación de la ecuación anterior, otra vez, se obtiene que ese rayo casi no se desvía.

b) Usemos esas observaciones. El objeto O, una flecha hacia arriba (fig. 41), es colocada a la izquierda del foco f.

Construcción de la imagen. Un rayo de luz que salga de A hacia la lente, paralelo al eje principal, saldrá del otro lado en una dirección tal que parecerá que procede del foco f. Otro rayo más que salga de A hacia el centro c de la lente, surgirá del otro lado sin cambio de dirección. De este modo, ambos parecerán proceder de un punto común: A', allí parece estar la punta de la flecha. Al proceder análogamente con el punto B, la base de la flecha, este parece estar en B'; con lo que completamos la imagen, virtual, que produce esta lente.

¿está de acuerdo esta imagen obtenida teóricamente con la que vimos y describimos antes?: derecha, menor que el objeto, más cerca de la lente, del mismo lado que el objeto,.... ¿Cómo sabemos, por la imagen obtenida en la cartulina, que la imagen es virtual?

c) En el estudio de la lente convexa, hubo dos casos claramente diferentes: i) la distancia objeto-lente mayor que la distancia focal, y ii) la distancia objeto-lente menor que la distancia focal. En el caso de las lentes cóncavas hemos revisado ya el primero de esos casos, realicen, por su cuenta, el segundo.

#### F) La Explicación Matemática.

a) Con las gráficas de lentes -tanto bicóncavas como biconvexas- en cartulinas, EL PROFESOR obtendrá las siguientes relaciones algebraicas que relacionan los siguientes elementos del fenómeno:

f : distancia focal,  
Ti: tamaño de la imagen,                      To: tamaño del objeto,  
Di: distancia foco - imagen, y                  Do: distancia foco - objeto.

A partir de una de las figuras realizadas en cartulina, como la fig. 42, distinguir cada uno de los elementos citados antes.

Por semejanza de triángulos,  $\frac{f}{T_o} = \frac{D_i}{T_i} \dots (10.1)$

y  $\frac{f}{T_i} = \frac{D_o}{T_o} \dots (10.2)$

de donde  $\frac{T_o}{T_i} = \frac{f}{D_i}$ , y  $\frac{T_o}{T_i} = \frac{D_o}{f}$ .

De donde, igualando  $T_o/T_i$ , queda:

$$f^2 = D_o D_i \dots (10.3)$$

que es una ecuación que relaciona la distancia focal ( $f$ ), con las distancias al objeto ( $D_o$ ), y a la imagen ( $D_i$ ); para lentes biconcavas. Cuando se realiza ese trabajo para lentes biconvexas, ¿qué ecuación se obtiene?

A partir de la ecuación (10.3), puede obtenerse otra que relaciona los tamaños de la imagen ( $T_i$ ) y del objeto ( $T_o$ ), con el foco ( $f$ ):

de la ec. (10.2),  $T_i = T_o \left[ \frac{D_i}{f} \right]$ . Para lentes biconvexas con caras de igual curvatura.

Como ejercicio aparte, deberá obtenerse la relación para lentes biconcavas.

Nuevamente, el planteamiento deberá ser sobre la realidad de esas ecuaciones. Antes que nada, habrá que ver si explican adecuadamente los casos que tenemos ya en cartulinas. Cuando menos aquellas de las que obtuvimos las ecuaciones.

4.4.8 La construcción de nuestros conocimientos. Dos modelos para explicar dos comportamientos de un fenómeno.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de:

- 1) reconocer la importancia de la elaboración de modelos en ciencia, para avanzar en la comprensión de un conjunto de fenómenos;
- 2) ejemplificar casos del uso de modelos en diferentes áreas de la ciencia;
- 3) enlistar los elementos de que consta el modelo corpuscular del comportamiento de la luz;
- 4) dar ejemplos del comportamiento de la luz en los que el modelo corpuscular acierta, así como aquellos en los que no es así;
- 5) enlistar los elementos de que consta el modelo

- ondulatorio del comportamiento de la luz;
- 6) dar ejemplos del comportamiento de la luz en los que el modelo ondulatorio acierta, así como aquellos en los que no es así;

tiempo: 5 horas

A) Algo de teoría.

a) El modelo como una aproximación al conocimiento de la naturaleza, como una reproducción conceptual de lo aprehendido. La creación de modelos como un trabajo de la ciencia, para avanzar por analogías y estar en capacidad de realizar predicciones. Representación de estos modelos por medios algebraicos, plásticos, geométricos, conceptuales, y otros.

b) Ejemplos de modelos. Geocéntrico y Heliocéntrico; de "budín de pasas", de Thompson; planetario, de E. Rutherford; cuantizado, de N. Bohr; del calorico; del Globo Terraqueo; y los algebraicos presentados antes, en unidades previas; etc. Para la presentación de la mayoría de estos modelos, se recurrirá a las lecturas o modelos plásticos.

B.- Un Modelo para la luz: El Corpuscular (la luz se comporta como los balines)

a) Experiencias con partículas: desde un automóvil, hasta un balón, canicas, y otros. Distinción: masa, posición y velocidad definidas.

b) Con ayuda de balines o canicas, podemos intentar reproducir lo que ya sabemos del comportamiento de la luz. Esto es, supongamos que la luz se comporta como los balines o canicas, ¿reproduce el comportamiento que le conocemos a la luz?:

i) El camino rectilíneo. Para esto es suficiente una superficie pulida que nos permita observar la trayectoria de un balón sobre ella. Si queremos tener constancia de tal trayectoria, será suficiente con que colquemos papel carbón sobre papel de china, u otro, y la tendremos.

ii) Reversibilidad. Si el balón puede viajar en una dirección determinada, ¿puede hacerlo en la dirección inversa, de regreso?. Esto no requiere de mucha experimentación.

iii) ¿Interfieren los balines en su camino?, ¿habrá forma de salvar esto?, Si la luz son pequeños, muy pequeños "balincitos", ¿podemos entender este resultado?. A propósito, las estrellas viajan por el espacio en todas direcciones y no se sabe de choques frecuentes.

iv) La reflexión, dos leyes. Los balines o canicas, y una pared suficientemente sólida y elástica nos permitirán medir ángulos de incidencia, ángulos de reflexión y normales a la pared. Este trabajo sí requiere de papel carbón sobre papel blanco, o viceversa, sobre el cual rodará el balón.

v) Espejos planos y curvos. Superficies curvas -tanto cóncavas como convexas-, servirán para mostrar la reproducción de las características de los espejos curvos: foco, divergente,

convergente, ....

vi) La refracción. Dos leyes y una predicción sobre las velocidades de las partículas. Este trabajo puede realizarse con un plano inclinado que conecta a dos planos horizontales. Desde el plano superior es lanzada la partícula -un balón-, siempre con la misma velocidad. Un canalito de aluminio con una marca a determinada altura sirve para ese fin. Sobre las superficies horizontales se colocan nuevamente los papeles blanco y carbón.

La superficie inclinada será la "interfase". Al lanzar el balón con diferentes direcciones, con respecto a la "normal" -dirección perpendicular a la línea de separación del primer plano horizontal y el inclinado-, se obtienen los trazos de las direcciones en el segundo medio (fig. 43). Al medir los ángulos de los diferentes pares de direcciones, se tendrá una colección de datos de ángulos de incidencia y ángulos de refracción. La cuestión es ver si pueden resumirse a una ley de razón constante de las semi-cuerdas de las direcciones; o una ley de los senos de esos ángulos.

En la figura 44 se muestran las trayectorias obtenidas con este método, y su tratamiento.

Aquí es ya muy natural asignar algún valor a la velocidad de propagación del balón, en relación al fenómeno de refracción. El problema del uso de la trigonometría, en este nivel de la preparatoria, dificulta que se pueda hacer una demostración que lleve a entender la razón de los senos de los ángulos como una razón de las velocidades. Sin embargo, puede mencionarse que un análisis matemático lleva a tal resultado, lo que debe interpretarse como un logro de este modelo. Pidamos aquí a los estudiantes que elaboren la predicción respectiva para las velocidades de la luz en agua y aire. Aún así, con un cartel o dos, puede presentarse el desarrollo algebraico - trigonométrico de la obtención de tal razón de las velocidades. Este análisis parte de considerar las componentes de la velocidad del balón en las dos direcciones: paralela a la línea que divide los planos horizontal e inclinado, y perpendicular a ella. Cuando el balón cae por el plano inclinado, sólo esta última componente es acelerada por  $g \sin \theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación del segundo plano.

De esta forma, tenemos ya la nueva velocidad del balón en el segundo plano horizontal: es la suma de la nueva velocidad perpendicular, más la velocidad paralela, que no varió. Una razón de senos de los ángulos de incidencia y refractado puede ser obtenida a partir de estas velocidades. Pero todo esto es trabajo para el profesor, y será mostrado en cartulinas.

d) Otras predicciones. El modelo corpuscular puede servirnos también para realizar predicciones respecto de la iluminación de la luz en función de la distancia.

C.- Un Modelo para la Luz: el Ondulatorio (la luz se comporta como una onda)

PARA EL PROFESOR:

En este punto buscaremos que la observación del experimento por parte del estudiante le lleve de manera natural a la necesidad de definir los conceptos característicos del fenómeno ondulatorio.

a) Experiencias con ondas. Sus características o variables propias: frecuencia, longitud de onda, amplitud, dirección de propagación, velocidad de la onda, ... Trabajo con resortes largos de acero o plásticos; cuerdas amarradas a un punto fijo; cuerdas de diferentes densidades, amarradas entre sí, y atadas a un punto fijo; etc. Observa con atención, y contesta: en el movimiento ondulatorio, ¿qué es lo que avanza?, ¿es el medio?.

b) Experiencias con ondas en dos dimensiones. La cuba de ondas. La producción de ondas puntuales, producción de ondas planas, observación del efecto de la diferencia de profundidades en la onda superficial, etc. Reconocimiento de las características de las ondas, definidas antes, en las ondas en dos dimensiones.

c) ¿Es la luz una onda?. Veamos si las ondas pueden reproducir lo que hasta ahora sabemos de la luz:

i) El camino rectilíneo. Aquí tenemos problemas. Hemos visto cómo la luz puede viajar de manera muy definida como una línea recta y sin desviaciones cuando no cambia de medio o se le atraviesa algo. Las ondas en la superficie del agua se extienden en todas direcciones, y parece que se extenderían por todo el espacio. ¿cómo salvar esto?

ii) La reversibilidad. Si una onda puede viajar en una dirección, ¿puede hacerlo en la dirección inversa? .

iii) ¿Pueden dos ondas pasar simultáneamente por el mismo punto sin interferirse?, ¿o se estorban al pasar, como los balines?

iv) La reflexión, dos leyes. Tanto en ondas en una dimensión, para un tratamiento cualitativo, como en dos dimensiones, puede observarse el fenómeno de la reflexión fácilmente. La cuestión aquí es determinar, si también ocurre que  $\theta_i = \theta_r$ ; Además de que ambas direcciones, de las ondas incidente y reflejada, estén en el mismo plano.

v) Comportamiento de las ondas ante espejos planos y curvos. Con láminas delgadas de acrílico o fibra de vidrio, pueden conseguirse los "espejos" ante los que se reflejarán las ondas para tratar de reproducir el comportamiento de la luz ante estos elementos.

vi) La Refracción. Los medios diferentes entre los que viajarán las ondas son agua a diferentes profundidades. La cuba de ondas con una placa en el fondo, colocada diagonalmente a la dirección

de propagación de la onda plana, sirve para observar el fenómeno de la refracción. Nuevamente, el problema consiste en realizar las mediciones que nos lleven a convencernos que una ley de los senos de los ángulos de las direcciones incidente y refractada, reproduce esos datos.

d) Otras predicciones.

i) En el caso de la iluminación como función de la distancia, ¿es reproducida por el modelo ondulatorio?

ii) El fenómeno de la difracción. Realizar la observación de que la onda plana se "curva" ante ventanas cuyo ancho sea comparable a la longitud de onda. ¿Lo hace la luz también?. Vuelta al trabajo con la caja de zapatos convertida en "cámara oscura". ¿Qué ocurre si hacemos el agujero cada vez más pequeño?, ¿cómo es ahora la imagen obtenida en la pantalla?. Antes de hacerlo, ¿qué resultado esperamos?.

Se sugiere aquí realizar los experimentos de Francesco María Grimaldi (1618 - 1663). Iniciemos con la cuestión: Si la luz son partículas, ¿de qué tamaño deberá ser la imagen de luz en la pantalla, comparada con el agujero?.

Si se coloca un obstáculo delgado -un alfiler- en el camino de la luz, ¿de qué ancho deberá ser la sombra, comparada con el ancho del obstáculo?. ¿qué se espera si suponemos que la luz está formada por pequeñísimas partículas?.

LECTURA: Genzer y Younger. FISICA. págs. 565 a 567. (6)

Como una actividad, puede pedírsele a un equipo de estudiantes que realicen este experimento haciendo un agujero de un diámetro conocido en una lámina o cartón grande, y colocado a la altura del segundo o tercer piso de la escuela. En la planta baja se construye un observatorio de cartón, para tres o cuatro personas, que tenga en su techo un agujero del mismo diámetro que el anterior. Esos agujeros (en la lámina o el observatorio) se colocan en línea a una hora conveniente para utilizar la intensa luz solar. Ese observatorio se comporta como una "cámara oscura", y puede servir para observar las manchas solares y detectar la rotación del sol. ¿no viendo directamente al sol, sino su imagen en una pantalla!.

iii) La Interferencia. Al observar las ondas en agua producidas por dos fuentes puntuales de la misma frecuencia, puede verse que hay direcciones en las que hay onda, y direcciones en las que no la hay. Esto puede interpretarse como que hay zonas en las que la suma de las ondas nos da por resultado otra onda, pero que en otras, la suma nos da por resultado que... ¿no hay onda!. ¿Se comporta así la luz?, ¿Qué significaría para la luz este comportamiento?, ¿tenemos ejemplos de este comportamiento?

D.- Los índices de refracción, comparación de modelos.

Del estudio matemático de los modelos para la luz, tenemos que el primero de ellos, el corpuscular, llega a afirmar que la refracción puede entenderse a partir de él y que la relación de los senos de los ángulos de incidencia y de refracción depende de

las velocidades de la partícula en ambos medios, de la siguiente forma: la razón de los senos de esos ángulos no sólo es una constante, es también igual también al inverso de la razón de las velocidades:

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{V_r}{V_i} = \text{constante}$$

El modelo ondulatorio, en cambio, propone que la razón de los senos de los ángulos, que también lo considera constante, es la razón de las velocidades en los diferentes medios:

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{V_i}{V_r} = \text{constante.}$$

Tenemos, a partir de esto, una forma extra de discriminar entre los dos modelos para la luz. ¿Qué dice cada uno de estos modelos para la velocidad de la luz en los medios de mayor índice de refracción?.

#### 4.4.9 Los límites de la teoría.

Objetivos. Al finalizar la unidad, el alumno:

- 1) Observará los fenómenos de polarización, difracción, e interferencia;
- 2) Identificará el fenómeno de polarización como una característica del comportamiento ondulatorio de la luz;
- 3) Identificará el fenómeno de difracción como otra característica del comportamiento ondulatorio de la luz;

A) En este punto, se buscará que el estudiante relacione vivencias anteriores con las observaciones experimentales que se realizarán para alcanzar los objetivos planteados. Las actividades que se sugieren en este punto son:

a) Con dos micas polarizadas buscar ver un objeto luminoso en diferentes posiciones de rotación para una de ellas, y la otra fija. Pedir la descripción y la explicación respectiva. Plantear la cuestión ¿Hay otro modo de lograr la polarización de la luz?. Observar, con ayuda de un polarizador, la luz reflejada en superficies pulidas o brillantes (una superficie de agua tranquila, un vidrio, metal pulido, etc.). Probar diferentes ángulos de rotación de la mica polarizada, así como diferentes ángulos de recepción de la luz reflejada, con respecto a la normal a la superficie reflejante. Si los estudiantes caen en la cuenta de que hay un ángulo para el cual la polarización sea máxima, buscar medirlo. ¿Es importante cómo coloca la mica polarizada el fabricante de "lentes polarizados"?

Si la luz es una onda, ¿cómo es esa onda, cómo viaja?, ¿qué

hipótesis requerimos para una explicación satisfactoria del fenómeno de la luz polarizada reflejada por una superficie?.

b) Coloquemos dos medias hojas de rasurar sobre un vidrio porta objetos de microscopio. Busquemos que estén casi tocándose, o separados una distancia muy chica, por el lado del filo o de corte. Mantengámoslas fijas al vidrio con un poco de cinta adhesiva y veamos un punto luminoso lejano o pequeño y tenue por la pequeña rendija de separación entre las navajas. Otra posibilidad es ahumar con una vela al pequeño trozo de vidrio, y hacerle una rendija para ver, con un trazo de la navaja sobre el negro de humo. Puede salir un poco mejor si en vez de humo de vela, se le coloca una o dos capas de tinta "china" para pluma fuente y se le hace la ranura con la navaja, después de permitir que seque.

c) Con el mismo procedimiento del porta - objetos de microscopio con tinta china, se hacen ahora dos ranuras muy cercanas una a la otra, con ayuda de las dos medias navajas de rasurar. Tomadas juntas entre los dedos, se pasan sobre el vidrio oscurecido por la tinta, y el trazo hace que las dos dejen su respectivo surco. Al observar una fuente luminosa por ese instrumento, ¿qué se observa?.

d) Observemos pompas de jabón, ¿por qué los colores?. Con una argolla pueden formarse películas de jabón y observar cómo evolucionan sus colores al pasar el tiempo. Las mejores fórmulas de líquido para pompas de jabón incluyen agua destilada, shampoo comercial, y glicerina.

e) Coloquemos una lupa o lente biconvexa sobre una superficie plana de vidrio. Busquemos ver en el punto de contacto entre ambos vidrios y en los alrededores en una zona pequeña. ¿Observan algo?.

f) Si tienes a la mano una pluma de pájaro, intenta ver a través de ella una fuente puntual de luz que no sea muy intensa. Puede mirarse al Sol debajo de la sombra de un árbol, por donde escape un pequeño (PEQUEÑO) haz de él. Describe lo que observas. Otra vez, se habrán observado colores como en la actividad con pompas de jabón. ¿Tenemos una explicación a este comportamiento?. LECTURA: Secc. 20.13 pág. 568 y 569, Genzer y Younger FÍSICA (6).

g) ¿Tiene alguno de los modelos vistos antes, una explicación a las observaciones realizadas?.

h) Usemos el modelo ondulatorio para medir la longitud de onda de la luz roja del laser. Para esto, es fundamental que se entienda el porqué de las zonas luminosas y de oscuridad en el fenómeno de doble rendija (interferencia), y aceptemos la relación de semejanza entre los triángulos (fig No. 45) Después de medir esa longitud de onda, deberemos ir a los datos del libro para revisar qué tanto se parece nuestra medición a la

realizada con equipo de laboratorio más sofisticado y preciso.

i) Con ayuda de papel celofán, y micas polarizadas, observemos la luz -blanca-, que pasa a través de esos papeles previamente arrugados y contenidos entre dos cristales. Cambiemos la orientación de los polarizadores, la posición de los papeles. ¿Qué hace una mica polarizada?.

p j) Investigación. ¿Qué es y cómo funciona un Interferómetro?.

## 5.- SOBRE LA FORMACION DE PROFESORES.

### 5.1.- Su Importancia y las Experiencias.

5.1.1 Si se ha aceptado el modelo que proporciona el constructivismo sobre el cómo aprendemos, es posible deducir de allí que se conceda inmediatamente gran importancia a la formación del profesor que dirige un curso de física con estas características.

Muchas ideas han sido planteadas a lo largo del trabajo, que tienen que ver directamente con la importancia de la formación de los profesores. Si dijimos que deberemos relevar al profesor de ser el que proporcione a los estudiantes todas las respuestas a las preguntas que planteen, es porque suponemos que el docente se ha percatado de la importancia de que el estudiante explicita las teorías o modelos que le sirven para relacionarse con el mundo. A partir de que el profesor conoce esos modelos, puede plantear los experimentos o preguntas que sirvan para reafirmar dichos modelos, o para cambiarlos por otros más adecuados. El profesor debe ser capaz de quedarse con sus respuestas, y más bien, ayudar a que sus estudiantes construyan las suyas propias. Los cuestionamientos y experiencias servirán para que estas sean los más científicas posibles.

La formación del profesor deberá ser teórica y práctica. Esto es, el profesor deberá reflexionar sobre su práctica docente. Pero no reflexionar en términos abstractos, sino sobre algunos conceptos creados por la investigación educativa; tales como los esquemas alternativos; los aprendizajes significativos; la creación de hipótesis; las analogías entre la creación de conocimientos por la humanidad, y por cada individuo; etc.

Esto supone que los profesores, además de leer artículos, libros y revistas sobre investigación educativa, deberán discutir con especialistas y con colegas los materiales allí tratados. El cómo se implemente esto último es un problema muy complejo que tiene que ver con la motivación del profesor, la claridad de objetivos de las autoridades institucionales, el salario de los profesores, etc. Por supuesto que de las mejores formas de conseguir la participación del profesor en su formación, es que él mismo reconozca sus deficiencias y tenga posibilidades de intervenir en la elaboración de las actividades que lo harán enfrentarlas. Esas actividades de formación docente no pueden ser separadas como lo conciben aún en algunas instituciones: cursos de formación disciplinaria, por un lado, y cursos de formación didáctica por otro. En una misma actividad el profesor deberá trabajar el QUE ENSEÑAR, CON QUE ENSEÑAR, Y COMO ENSEÑAR. En este punto el Profr. J. A. González (Ref. 33) habla de la responsabilidad de la Fac. de Ciencias en la formación de recursos humanos para la docencia. Aún cuando muy pocos estudiantes de Física se plantean en ese momento ser profesores, las estadísticas muestran que la facultad se está convirtiendo en una fuente

de profesores para el Nivel Medio Superior.

La evaluación de la puesta en práctica, por parte del profesor, de estos cursos de formación docente, contenidos dentro de una estructura institucional, debe tener resultados de promoción del profesor respectivo.

### 5.1.2 Las experiencias.

En el taller de OPTICA presentado a los profesores de física de la Escuela Preparatoria de la UAEM, a fines de agosto del presente año, y conducido por el autor de esta tesis, hubo oportunidad de probar esta propuesta de programa para el curso de Física I con los profesores que, en caso de aprobarse la propuesta, serán los encargados de impartirla. Ese taller, de 3 días de duración, fué importante por varios aspectos. Uno de ellos, es que será precisamente el conjunto de los profesores el que decida la aprobación o no de la propuesta; y qué mejor que la conozcan antes de decidir. Otro, fué el de ir reconociendo que hay apreciaciones que, en la práctica, escapan al trabajo. En ese taller fueron presentadas las unidades 1 (El color y la formación de teorías o modelos), 6 (De la identificación de variables, al establecimiento de una ley: La reflexión de la luz), y 9 (De la observación y descripción de un fenómeno, a la predicción cuantitativa: La refracción). Al día siguiente de finalizar los talleres mencionados, en otra actividad académica en la que participaron los profesores de los talleres mencionados, tuvimos oportunidad de asistir a dos mesas redondas en que se trataron los temas de preconceptos en estudiantes, y El Constructivismo, por parte de especialistas tales como la Dra. Matilde Vicentinni M, la Dra. María Salud Agassi - N., la M. en C. Pilar Segarra A., y el Profr. Romilio Tambutti R.

Los resultados de esta combinación fueron que los profesores de las preparatorias de la UAEM identificaron la propuesta de programa vista antes como "enmarcada en las ideas expuestas en las dos mesas redondas" mencionadas; asegurando que "con esta propuesta de programa, los objetivos son no sólo que los estudiantes conozcan la física, sino también cómo se construye".

Debo decir que, antes de la presentación de estos talleres, muchos profesores, que como dije antes, han participado poco en las propuestas de reforma al bachillerato, se oponían a que el curso introductorio fuera con los temas de la óptica. La mayoría de los asistentes a los talleres pertenecían a esa corriente.

Algunos de ellos notaron también la diferencia entre hacer una práctica de laboratorio con un estricto manual a seguir, una práctica que sirve para comprobar la teoría vista antes en clase de "teoría", y una actividad experimental que sirve para que los estudiantes exterioricen los modelos que han adquirido en la vida cotidiana y, a partir de allí, elaborar preguntas que sus

modelos no explican, o construir los conocimientos que los profesores aceptamos como científicos.

Por último, la presentación de esta propuesta ante mis colegas profesores de la Escuela Preparatoria de la UAEM, superó mis expectativas respecto a su aceptación al cambio, su capacidad de asimilación y de reconocimiento de las bases de la propuesta.

Dos talleres más, con todo el contenido de este programa, serán presentados a los profesores de física en Febrero y Agosto de 1992.

## ANEXO 1

Ficha de identificación de esta propuesta de programa, según ordenamiento de la legislación de la propia UAEM (ver anexo 2)

- I.- Programa de estudio de la asignatura FÍSICA I, del tercer semestre de la Escuela Preparatoria de la UAEM.
- II.- Este curso de física tiene como antecedentes los cursos de ALGEBRA I, ALGEBRA II, TALLER DE LECTURA Y REDACCION I y METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA; Tiene una relación horizontal con las asignaturas TRIGONOMETRIA, TALLER DE LECTURA Y REDACCION II, y BIOLOGIA HUMANA  
Este primer curso de física es antecedente de los cursos de QUIMICA GENERAL, FÍSICA II, GEOGRAFIA, y FÍSICA III.
- III.- El objetivo general de la asignatura es que el estudiante:
- Reconozca a la reflexión y la observación crítica de un fenómeno, como los antecedentes necesarios para la obtención de conocimientos sobre la naturaleza, reconociendo el enriquecimiento de ese proceso al realizarlo en el seno de un grupo;
  - Aprecie el valor de los modelos como una herramienta en el avance del conocimiento de la naturaleza;
  - Obtenga los conocimientos de óptica e hidrostática que le permitan identificar la presencia de la ciencia en la vida cotidiana, así como obtener los primeros elementos que harán posible una posterior síntesis de la ciencia que verá en el ciclo bachillerato.
- IV.- Objetivos de cada unidad
- V.- Objetivos de cada tema
- VI.- Lista de temas
- VII.- Sugerencia sobre el número de horas para cada tema

### IV.- OBJETIVOS DE UNIDADES:

1.- El Color y la formación de Teorías o Modelos

OBJETIVOS.- Al finalizar el tema, el alumno será capaz de ....

- 1) identificar los procesos de mezcla (suma) y filtración (resta) de haces luminosos en la formación del color;
  - 2) distinga entre los fenómenos de mezcla de haces luminosos de diferentes colores, y la mezcla de pigmentos;
  - 3) elabore un modelo predictivo para la formación del color en el fenómeno de luces de colores;
  - 4) reconozca sus conocimientos sobre el camino rectilíneo de la luz.
- tiempo: 3 horas

2.- La visión, una historia de complejidad creciente.

Primeras propiedades de la luz, la necesidad de definir.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de ....

- 1) Describir las condiciones externas necesarias para que ocurra la visión;
  - 2) mostrar evidencias del camino rectilíneo de la luz;
  - 3) distinguir fuentes luminosas primarias y fuentes luminosas no primarias, o secundarias;
  - 4) explicar en qué consiste la reversibilidad del camino óptico;
  - 5) proporcionar evidencias de la reversibilidad del camino óptico;
  - 6) dar argumentos sobre la necesidad de definir "rayo óptico"
- tiempo: 4 horas

3.- Nuestros conocimientos explican fenómenos. La Cámara oscura.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de .....

- a) utilizar elementos de la óptica geométrica para explicar la inversión de las imágenes en una cámara oscura;
  - b) enlistar las variables involucradas en el estudio de la cámara oscura;
  - c) distinguir entre descripción y explicación de un fenómeno.
  - d) identificar a la difracción de la luz como un límite de la óptica geométrica
- tiempo: 2 horas

4.- De la identificación de variables al establecimiento de una ley: La reflexión de la luz.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de .....

- a) distinguir entre reflexión difusa y reflexión especular;
- b) enlistar las variables significativas del fenómeno de la reflexión especular de un haz de luz;
- c) montar el dispositivo experimental que permite estudiar la reflexión especular;
- d) obtener los datos experimentales que permiten afirmar las dos leyes de la reflexión especular
- e) escribir, con sus propias palabras, las dos leyes de la reflexión especular.

tiempo: 3 horas

5.- Nuestros conocimientos predicen la ocurrencia de fenómenos. Los espejos planos y las imágenes.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de .....

- a) utilizar las leyes de la reflexión, y el camino rectilíneo de la luz para predecir posiciones de imágenes creadas por espejos planos;
- b) utilizar el concepto de paralaje para predecir la posición de imágenes creadas por espejos planos;
- c) distinguir imágenes reales de imágenes virtuales, bajo el criterio de su posible proyección en una pantalla;

- d) describir las imágenes creadas por espejos cóncavos y convexos;
- e) definir los elementos de un espejo esférico : distancia focal, cóncavo, convexo, foco (f) delante o detrás del espejo, centro del espejo (C), eje focal o principal, distancia Cf.
- f) aplicar sus conocimientos sobre la reflexión de la luz para definir Normal, foco, espejo cóncavo, y convexo;
- g) aplicar sus conocimientos sobre la reflexión de la luz para predecir la dirección emergente de dos rayos de luz que inciden en un espejo curvo: i) paralelo al eje principal, y ii) en dirección al foco;
- h) utilizar las conclusiones sobre la dirección emergente de dos rayos incidentes en un espejo curvo, para predecir gráficamente la imagen que proporcionan los espejos curvos;
- i) confrontar sus predicciones con las observaciones obtenidas en los respectivos espejos;
- j) reconocer el poder de síntesis y predictivo del modelo matemático, relacionado con la formación de imágenes por espejos.

tiempo: 8 horas

6.- De la observación y descripción de un fenómeno, a la predicción cuantitativa: la refracción.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de:

- a) Describir las condiciones bajo las cuales tiene lugar la refracción;
- b) Describir fenómenos de la vida cotidiana en que tiene lugar la refracción;
- c) enunciar las leyes de la refracción;
- d) describir el fenómeno de reflexión total;
- e) medir experimentalmente el índice de refracción, con respecto al aire, de una sustancia dada;
- f) utilizar los modelos gráfico-geométricos de las leyes de la refracción para realizar predicciones sobre la dirección del haz refractado.

tiempo: 4 horas

7.- Aplicación gráfica de las leyes de la refracción: las lentes y sus imágenes. La matemática y su síntesis.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de:

- a) describir los elementos de las lentes cóncavas y convexas: foco, radio de curvatura, eje principal, convergentes o divergentes;
- b) explicar las propiedades de las lentes cóncavas y convexas;
- c) determinar las características de las imágenes formadas por las lentes convexas;
- d) hacer predicciones, usando métodos gráficos, sobre los tamaños y distancias entre diversos objetos, y sus

imágenes formadas por lentes; así como confrontarlos con el experimento;

- e) reconocer el poder predictivo, y de síntesis, de las formulaciones matemáticas que relacionan los elementos del fenómeno de formación de imágenes por lentes.

tiempo: 4 horas

8.- La construcción de nuestros conocimientos: dos modelos para explicar el comportamiento de la luz.

OBJETIVOS. Al finalizar el tema, el alumno será capaz de:

- a) reconocer la importancia de la elaboración de modelos en ciencia, para avanzar en la comprensión de un conjunto de fenómenos;
- b) ejemplificar casos del uso de modelos en diferentes áreas de la ciencia;
- c) enlistar los elementos de que consta el modelo corpuscular del comportamiento de la luz;
- d) dar ejemplos del comportamiento de la luz en los que el modelo corpuscular acierta, así como aquellos en los que no es así;
- e) enlistar los elementos de que consta el modelo ondulatorio del comportamiento de la luz;
- f) dar ejemplos del comportamiento de la luz en los que el modelo ondulatorio acierta, así como aquellos en los que no parece ser así;

tiempo: 6 horas

9.- Los límites de la teoría: la difracción, polarización, e interferencia.

OBJETIVOS. Al finalizar la unidad, el alumno será capaz de:

- a) distinguir y describir los fenómenos de difracción, interferencia, y polarización;
- b) Identificar el fenómeno de polarización como una característica del comportamiento ondulatorio transversal de la luz;
- c) Identificar el fenómeno de difracción como otra característica del comportamiento ondulatorio de la luz;

tiempo: 8 horas

VIII.- Los métodos de enseñanza que se emplearán.

Sabiendo que los programas de las asignaturas son los que dan cuerpo a la reforma del bachillerato impulsada por la UAEM, en la que se busca que este ciclo educativo sea EMINENTEMENTE FORMATIVO, en el sentido de que proporcione al estudiante no tanto información, como actitudes y capacidades de búsqueda, selección y organización de nuevos conocimientos; entonces el método de enseñanza que debe utilizarse con este programa es aquel que enfatice el redescubrimiento dirigido, la discusión grupal, la búsqueda de información en lecturas preseleccionadas, el llevar a los estudiantes a las contradicciones que presentan

sus modelos de conocimiento común, buscar la resolución de estas contradicciones por la vía experimental, motivar la reproducción de los prototipos experimentales por parte de los alumnos y, en fin, mantenerse en las propuestas de la Teoría Constructivista del conocimiento.

#### IX.- El sistema de Evaluación que se utilizará

##### A.- Del proceso enseñanza - aprendizaje.

El Plan de Estudios de la Escuela Preparatoria de la UAEM cuenta con las definiciones y mecanismos que lo hacen ser un proyecto que se evalúa continuamente. Dentro de ese marco deberá evaluarse también el proceso enseñanza - aprendizaje que este programa de estudios propone.

##### B.- De los aprendizajes de los alumnos.

1.- La lista de objetivos que presenta este programa sugiere que podemos evaluar los aprendizajes obtenidos por los alumnos presentándoles, de diferentes formas, cuestiones relativas a los objetivos mencionados. No es esa la intención que mueve a esta propuesta. Se espera que el trabajo desarrollado en el estudio de este programa se realice en el laboratorio, principalmente. Se espera también que el profesor cuente con el apoyo de un Técnico Laboratorista que le permita al profesor llevar a cabo las discusiones con el grupo completo, como con pequeños grupos de trabajo (equipos). En ese trabajo, profesor y laboratorista deben tomar nota de los avances logrados por los alumnos y percatarse si han alcanzado, individualmente o por equipos, los objetivos con suficiencia. De la actividad de cada día obtendrán su calificación.

2.- Al final de cada tema, habrá un conjunto de cuestiones experimentales la mayoría, cuya correcta resolución servirán como reafirmación de los conocimientos elaborados, y como evaluación y asignación de una calificación. Para esta última actividad de cada tema es conveniente que por equipos presenten un reporte de trabajo, aún cuando nuestra asignatura no sea de Taller de Lectura y Redacción. Esto es, deberemos buscar en ese reporte lo esencial para la Física, y no dar demasiado peso a la forma.

3.- El profesor deberá estar lo suficientemente atento a las propuestas de innovación que salgan de sus alumnos. Habrá estudiantes a los que podamos calificar positivamente por las propuestas que hagan de mejorar los prototipos experimentales, una secuencia didáctica, o presenten una relación interesante con el mundo que le rodea.

4.- Para cada tema hay también una serie de lecturas sugeridas y opcionales. El trabajo del profesor será también el de impulsar a sus alumnos a leer. Y siendo la lectura una actividad de enseñanza - aprendizaje, que sirve para alcanzar los objetivos de la asignatura, debe tener su lugar en la obtención de una calificación.

5.- Las tareas. Deben ser actividades motivadoras de la curiosidad, es conveniente que tengan conexión con los contenidos y orientaciones de la clase, y no ser actividades de repetición o simplemente numéricas. Un objetivo importante del bachillerato que podemos alcanzar con las tareas, es el de aprender a aprender. Esto es, que el estudiante se dé cuenta que con el trabajo realizado por su cuenta, en casa o en la biblioteca, sólo o por equipos, es posible APRENDER. Para esto, las tareas deberán ser elaboradas y planteadas con mucho tino.

Un indicador importante de que se ha realizado de esta manera será la participación estudiantil en las tareas. Y esta actividad, que alcanza objetivos del bachillerato, DEBERA tener su lugar en la calificación.

6.- Bajo la organización de la Academia de Física del plantel, el laboratorio deberá contar con la presencia permanente de un profesor de tiempo completo del área, que reciba a estudiantes que requieran más tiempo de discusión o experimentación para alcanzar los objetivos del curso. La información de los logros obtenidos por el estudiante en esas asesorías deberá pasar al profesor titular, y contar para la calificación.

7.- Los exámenes, propiamente dichos, quedan reducidos a una mínima expresión. Y esto debe ser así, pues hemos aprendido, en años de aplicarlos, que sólo inducen a aprendizajes memorísticos, ejercicios numéricos resueltos por analogía, y muy pobres aprendizajes significativos; En las "Pruebas Objetivas" podemos colocar cuestiones de información, pero no de actitudes o capacidades, contrario a los objetivos de la Reforma al Bachillerato. El planteamiento que hace este trabajo es que los exámenes, como se realizan hoy día en nuestras instituciones, deben ir perdiendo valor para el otorgamiento de una calificación, pero como eso es muy difícil de lograr en este momento, ya que deberá ser un planteamiento conjunto de todas las asignaturas del bachillerato, se propone que los exámenes, para quienes con los puntos anteriores (1 al 5), no hubieran logrado aún una calificación de pase, tengan un valor máximo de seis puntos (6.0), el mínimo de acreditación.

Se espera, asimismo, que el número de estudiantes que lleguen a examen sea pequeño, comparado con el total de cada grupo.

7.- Hay, luego entonces, diferentes vías para obtener una calificación; no tantas como diferentes son nuestros alumnos,

pero si más posibilidades que el tradicional examen TEORICO igual para todos.  
Las actividades 2 y 4 requieren una relación con los profesores de Taller de Lectura y Redacción.

#### X.- LA BIBLIOGRAFÍA.

##### A.- básica

- 1.- PSSC (Physical Science Study Committee). FISICA. Edit. Reverté. Barcelona, España. (1968). Cpts. 3 al 10.
- 2.- Cetto K. Ana María, y otros. Ondas, luz y sonido. Col. "El Mundo de la Física", Tema 9. Edit. Trillas. México. (1983).
- 3.- Beltrán, V. Física Breve 1. Edit. Trillas. México. (1983). Unidades 7 y 8.
- 4.- Beltrán, V. Física Breve 2. Edit. Trillas. México. (1985). Unidades 7 y 8.
- 5.- Alvarenga, V., y Máximo, A. FISICA GENERAL con experimentos sencillos. 3a. Ed. Edit. HARLA. México. (1990). Unidad VII.
- 6.- Genzer, I., y Youngner, P. FISICA. Publicaciones Cultural S.A. 4a. Reimp. México. (1980). Cpts. 18 al 22.

##### B.- Complementaria y de apoyo:

- 7.- Beltrán, V., y Braun, E. Principios de Física. curso de introducción. Edit. Trillas. México. (1975). Capt. 12.
- 8.- Stollberg, R., y Hill, F.F. FISICA. fundamentos y fronteras. Publicaciones Cultural. S.A. Sexta Reimp. México. (1986). Unidad Cuarta.
- 9.- Blatt, Frank J. fundamentos de FISICA. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 3a Edic. México. (1991). Cpts. 24, 25 y 26
- 10.- Holton, Gerald y Brush, Stephen G. introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. Edit. Reverté. 2a. Edición. España. (1981) Cpts. 1, 2, 3, 5, 12, 23, y 26.
- 11.- Casas Reyes, J.V.; Muñoz Quevedo, J.; y Quiroga Chaparro J. Física II. ondas y luz. CEF. Edit. Limusa. México. (1971). Cpts. 4 y 5.
- 12.- Cetto, Ana María. La luz en la naturaleza y en el laboratorio. Col. La Ciencia desde México (Vol. 32) F.C.E. México (1987)

- 13.- Mueller C. G., y Rudolph M. Luz y Visión Col. Científica de TIME - LIFE. 2a. Ed. Edit. por Time Life International de México, S.A. México (1981).
- 14.- Malacara, Daniel. Optica Tradicional y Moderna Col. La Ciencia desde México. (Vol. 84) F.C.E. México (1989).
- 15.- Malacara D., y Malacara J.M. Telescopios y Estrellas Col. La Ciencia desde México. (Vol 57) FCE México (1988)
- 16.- Fierro, J. y Herrera, M.A. La Familia del Sol Col. La Ciencia desde México (Vol 62) FCE México (1988)
- 17.- Piña Barba M.C. La Física en la Medicina Col. La Ciencia desde México. (Vol 37) FCE México (1987)
- 18.- Braun, E. El Saber y los Sentidos Col. La Ciencia desde México. (Vol 73) FCE México (1988)
- 19.- Braun, E. Arquitectura de Sólidos y Líquidos. Col. La Ciencia desde México. (Vol 26) FCE México (1987)

#### XI Los datos metodológicos que se estimen pertinentes.

Es necesario que el laboratorio cuente con el siguiente material:

- 1.- dos emisores de luz laser,
- 2.- dos juegos de filtros de colores -al menos de los primarios-,
- 3.- apoyo audiovisual del tipo de:
  - a) video cassetera y monitor,
  - b) películas sobre óptica: "la luz es una onda", "introducción a la óptica", "ondas simples", etc.
  - c) tres proyectores de diapositivas
- 4.- cortinas negras y gruesas para hacer oscuridad en el interior del mismo,
- 5.- fuentes de voltaje -uno por cada equipo-,
- 6.- cuba de ondas -uno por cada equipo-, con su respectivo juego de obstáculos y "espejos".
- 7.- prismas, semicilindros de mica, cilindros para dos materiales, alfileres cortos de cabeza de color, rejillas de difracción, rejillas dobles para interferencia, micas polarizadas, lámparas de luz blanca.
- 8.- rampa inclinada de madera para el modelo corpuscular, y balines.
- 9.- hojas de papel, transportadores, reglas, compases, lápices.

ANEXO 2

A) Objetivos Generales de la Asignatura Física I, contenidos en el respectivo programa (vigente):

"asignatura del tercer semestre del nivel medio superior de la UAEM que tiene como finalidad proporcionar al estudiante los conocimientos básicos en las áreas que se tratan, no únicamente para integrar su cultura necesaria para los tiempos que se viven, sino para darle los estímulos tendientes a desarrollar el pensamiento reflexivo-creativo, mediante el uso de la metodología de la Física."

"Se muestra además el desarrollo histórico de la física y la evaluación de los conceptos, la importancia de la física dentro de la actividad humana y su potencial de aplicabilidad en beneficio de la humanidad, como consecuencia del entendimiento de los fenómenos de la naturaleza y de su estrecha relación con otros campos del conocimiento"

"Se pretende asimismo que el alumno ubique a la Física como una ciencia básica en continuo desarrollo, tanto en los aspectos de ciencia pura como en los de ciencia experimental, con el aporte básico del razonamiento crítico, la imaginación creativa y la verificación experimental"

"Además manejará el álgebra vectorial a conceptos físicos de la mecánica, para lograr una mayor madurez real y aplicación de las matemáticas"

"Número de Unidad: II

Nombre de la Unidad: Conceptos matemáticos, Álgebra Vectorial.

Objetivos de la Unidad: Al finalizar la unidad, el alumno.

- Aplicará los métodos de solución para el despeje de alguna variable.
- Identificará las razones trigonométricas directas, así como la elección adecuada del sistema de referencia.
- Utilizará los elementos fundamentales del álgebra vectorial y su representación gráfica."

"Objetivos Específicos:

- Realizará de 3 a 4 ejemplos de notación científica.
- Realizará en el laboratorio del manejo de Error Absoluto, Error Relativo.
- Enunciará el concepto de Sistema de Referencia.
- Distinguirá el Sistema Unidimensional del Bidimensional de acuerdo a signos y cuadrantes.
- Enunciará las funciones trigonométricas (seno, coseno y tangente).
- Aplicará las funciones trigonométricas en dos problemas dados por el profesor en un triángulo rectángulo.
- Enunciará el Teorema de Pitágoras.
- Manejará las tablas matemáticas de seno, coseno y

tangente.

- Deducirá la ecuación de métrica aplicando el teorema de Pitágoras en un marco de referencia bidimensional.
- Realizará 5 problemas de métrica asociándolos a problemas físicos.
- Enunciará el concepto de vector y escalar.
- Enunciará las características de un vector.
- Realizará en forma gráfica la representación de un vector indicando su característica.
- ....
- .... "

Veamos la Unidad 4:

"Número de Unidad: IV.

Nombre de la Unidad: Mecánica.

Objetivo de la Unidad: Al finalizar la unidad, el alumno:

- identificará el área del estudio de la mecánica y los elementos fundamentales del movimiento.
- aplicará los conceptos del álgebra vectorial al desplazamiento - velocidad - aceleración en su representación gráfica.
- seleccionará los elementos de la mecánica que son vectores y actúan como tal, de los elementos escalares."

"Objetivos Específicos: Al finalizar el tema, el alumno:

- Enunciará el concepto de mecánica, así como el de cada una de sus partes en que se divide.
- Citará el concepto de cuerpo, punto material y movimiento.
- Diferenciará el concepto de reposo relativo y movimiento relativo.
- Identificará los elementos fundamentales del movimiento (posición - tiempo).
- Establecerá la diferencia entre desplazamiento y distancia recorrida en un tiempo, haciendo uso del álgebra vectorial.
- Graficará 2 o 3 ejemplos de posición, desplazamiento y distancias recorridas, dados por el profesor.
- Graficará la historia del movimiento, teniendo datos experimentales de posición - tiempo.
- Citará el concepto de velocidad media y trayectoria.
- Calculará de 2 a 3 ejemplos de velocidad media en la gráfica.
- Diferenciará el concepto de velocidad instantánea dando la diferencia de  $t_2 - t_1$  numéricamente para expresar el límite.
- Deducirá la ecuación de posición con la definición de velocidad instantánea.
- Trasladrá la ecuación de su forma general a los sistemas unidimensional y bidimensional, para establecer la ecuación de desplazamiento.

- Graficará la historia de la velocidad teniendo datos experimentales de rapidez - tiempo.
- Citará el concepto de aceleración media.
- Aplicando la ecuación de aceleración media en la gráfica rapidez - tiempo, calculará 2 o 3 aceleraciones medias.
- ....
- Realizará dos ejemplos calculando historia de la velocidad, aceleraciones medias y clasificación del movimiento, dados por el profesor.
- Enunciará el concepto de aceleración instantánea dando la diferencia  $t_2 - t_1$  numéricamente, para expresar el límite cuando  $t_2$  tiende a  $t_1$ .
- Deducirá las ecuaciones de velocidad y posición del M.U.A.
- Trasladará las ecuaciones anteriores a los sistemas unidimensional y tridimensional.
- Aplicará de 4 a 5 problemas de desplazamiento y velocidad en los sistemas unidimensional y bidimensional dados por el profesor.
- Citará las condiciones iniciales de caída libre a partir del sistema de referencia, para establecer este caso particular del M.U.A.
- Relacionará las condiciones específicas de este movimiento con las ecuaciones del M.U.A. para deducir las ecuaciones a este caso particular.
- Aplicará las ecuaciones del movimiento de caída libre de 2 a 3 problemas dados por el profesor (indicando vectorialmente el movimiento).
- Escribirá en un diagrama utilizando el sistema de referencia para establecer las condiciones iniciales de tiro vertical.
- ....
- Aplicará las ecuaciones de tiro vertical de 2 a 3 problemas dados por el profesor (indicando vectorialmente el movimiento).
- Aplicará las ecuaciones de caída libre y tiro vertical de 2 a 3 problemas mixtos (completos caída libre - tiro vertical).
- Identificará las condiciones iniciales del movimiento tiro parabólico a partir del sistema de referencia bidimensional.
- Mencionará los tipos de movimientos que componen al tiro parabólico.
- Obtendrá las ecuaciones del tiro parabólico.
- Identificará los parámetros: tiempo de subida, tiempo de vuelo, altura máxima, alcance horizontal máximo en el diagrama representativo de este movimiento.
- Aplicará las ecuaciones de tiro parabólico de 2 a 3 problemas dados por el profesor."

B.- Cuando comparamos esos objetivos específicos del programa de Física I de la EP - UAEM, con los los objetivos de la Escuela Preparatoria de la misma universidad, contenidos en la edición referida anteriormente, advertimos más claramente la falta de representación de los objetivos generales en los específicos:

"Caracter actual de la Preparatoria de la UAEM:

La preparatoria universitaria tiene un caracter primordialmente propedéutico, ..."

"Objetivos de la Escuela Preparatoria:

Los objetivos de la Escuela Preparatoria establecen que al final de la preparatoria, el alumno sea capaz de:

- 1 Asumir una actitud de continuo aprendizaje, dentro y fuera del ámbito escolar, aplicando métodos y técnicas eficientes.
- 2 Expresar con claridad y corrección su pensamiento y comprender de igual manera las expresiones del ajeno.
- 3 Utilizar los instrumentos que proporciona la ciencia para contribuir en forma eficaz a la resolución de problemas y necesidades de la realidad circundante.
- 4 Adquirir una concepción solidaria y responsable de sus relaciones con la sociedad, como resultado del análisis racional de las circunstancias de su entorno político y socioeconómico y del conocimiento adecuado de los valores que rigen la vida de la comunidad.
- 5 Resolver con atinencia los problemas evolutivos propios de su edad y circunstancia, tanto en lo físico como en lo emocional.
- 6 Incorporar a su experiencia personal los repertorios académicos requeridos para acceder a otros niveles educativos."

"En este sentido, la preparatoria tiene también un caracter formativo, pues más que proporcionar información al alumno, pretende desarrollar en él la capacidad de aprender por sí mismo. Esto le permitirá ingresar a la carrera profesional con hábitos de estudio adecuados y con una actitud responsable de su propia conducta, así como con una formación cultural y humanística suficiente para convertirse en universitario".

Justo a esto me refiero, en el inicio de este trabajo, cuando digo que las instituciones plantean bien en el papel sus objetivos generales, y que se meten en dificultades cuando deben llevar a cabo, en las actividades de enseñanza - aprendizaje el logro de ellos.

## Referencias y Bibliografía.

- 1.- Documentos de la Reforma al Bachillerato de la UAEM. Edición en Mimeógrafo, Toluca, Méx. Agosto de 1991
- 2.- "De los Objetivos de la Enseñanza de la Física en México." J. Uñas. Bol. Soc. Mex. Fís., Vol 1, Núm. 2, Agosto de 1987
- 3.- Memorias. Encuentro sobre la Enseñanza de la Física en el Nivel Medio Superior. Mayo de 1987. Dir. Gral. de la Escuela Nacional Preparatoria.
- 4.- Memoria. Segundo Encuentro sobre la Enseñanza de la Física en el Nivel Medio Superior. Junio de 1988. Dirección de Bibliotecas y Publicaciones del Instituto Politécnico Nacional.
- 5.- Una Actitud de Izquierda en Pedagogía. G. Snyders. Ediciones de Cultura Popular, S.A. México. (1980).
- 6.- Psicogénesis e Historia de la Ciencia. J. Piaget y R. García. Siglo XXI editores. México (1989).
- 7.- "Holografía. imágenes tridimensionales". M. Fernández. CIENCIAS. revista de difusión. Fac. de Ciencias, UNAM. No. 15. Julio de 1989. pp 24 - 31.
- 8.- "Reflexiones Críticas sobre nuestra práctica docente". Romilio Tambutti R. CONTACTOS. Vol IV, Núm. 3. pp 11 - 16. Jul-Sept 1989.
- 9.- Tesis de licenciatura "Propuesta Metodológica para el curso de Física 2 en el CCH (ciclo de bachillerato)". Jorge Arias T. Fac. de Ciencias, UNAM, 1988.
- 10.- Escuela Preparatoria. Programas del Plan de Estudios 1990. Universidad Autónoma del Estado de México. febrero de 1990.
- 11.- "Some thoughts on introductory physics courses". A. P. French. Am. J. Phys. 56(2), February 1988.
- 12.- "Estrategias de Aprendizaje en la Enseñanza de la Química." J. Pomé Ruiz y A. González Guerrero. revista Educación Química, 1(4) Octubre de 1990. pp 190 - 195.
- 13.- Psicología Educativa. D.P. Ausubel. Edit. Trillas, México (1983)
- 14.- "Personal experience and the construction of knowledge in science". M. Pope, and J. Gilbert. Science Education. 1983 67(2)
- 15.- "Accommodation of a scientific conception: toward a theory

of conceptual change" G. J. Posner. Science Education 1982 66(2).

16.- PSSC (Physical Science Study Committee). FISICA. 4a. Ed. Edit. Reverté. Barcelona, España. (1975). Cpts. 3 al 10.

17.- Cetto K. Ana María, y otros. Ondas, luz y sonido. Col. "El Mundo de la Física", Tema 9. Edit. Trillas. México. (1983).

18.- Beltrán, V. Física Breve 1. Edit. Trillas. México. (1983). Unidades 7 y 8.

19.- Beltrán, V. Física Breve 2. Edit. Trillas. México. (1985). Unidades 7 y 8.

20.- Alvarenga, B., y Máximo, A. FISICA GENERAL con experimentos sencillos. 3a. Ed. Edit. HARLA. México. (1990). Unidad VII.

21.- Genzer, I., y Youngner, P. FISICA. Publicaciones Cultural S.A. 4a. Reimp. México. (1980). Cpts. 18 al 22.

22.- Beltrán, V., y Braun, E. Principios de Física, curso de introducción. Edit. Trillas. México. (1975). Capt. 12.

23.- Stollberg, R., y Hill, F.F. FISICA, fundamentos y fronteras. Publicaciones Cultural. S.A. Sexta Reimp. México. (1986). Unidad Cuarta.

24.- Blatt, Frank J. fundamentos de FISICA. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 3a Edic. México. (1991). Cpts. 24, 25 y 26

25.- Holton, Gerald y Brush, Stephen G. introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. Edit. Reverté. 2a. Edición. España. (1981) Cpts. 1, 2, 3, 5, 12, 23, y 26.

26.- Casas Reyes, J.V.; Muñoz Quevedo, J.; y Quiroga Chaparro J. Física II. ondas y luz. CEF. Edit. Limusa. México. (1971). Cpts. 4 y 5.

27.- Cetto, Ana María. La luz en la naturaleza y en el laboratorio. Col. La Ciencia Desde México (Vol. 32) F.C.E.

28.- E. Hecht - A. Zajac. Optica Fondo Educativo Interamericano, S.A. Massachusetts, E.U.A. (1977).

29.- José de la Herrán. "Láseres, Lídars y Contaminación Atmosférica" Información Científica y Tecnológica, 11(154). julio de 1989. pp 9-12.

30.- A. García Weidner y M. K. Yamada. "Los Transistores Opticos" ICyT. 11(150). marzo de 1989. pp 8-10.

- 31.- F. Navarrete Montes de Oca. "Telecomunicación por medio de la luz". ICyT. 10(138). marzo de 1988. pp 17 - 19.
- 32.- U. Ladislao. "Armonía en las Imágenes. la Óptica en el INAOE" ICyT. 10(138). marzo de 1988. pp 38 - 41.
- 33.- González Menéndez J. A. CEF. "La Responsabilidad de la Facultad en la Formación de Profesores del Nivel Medio". Foro Pedagogía en la Facultad de Ciencias, Junio 20 de 1988.
- 34.- Filardo Basalo, J. M. "Crónica de la óptica clásica" Contactos. Vol. III; Nos. 2, 3 y 4. (1988).
- 35.- Mueller, C.G.; Rudolph, M. Luz y Visión. Colecc. Científica Time - Life. 2a. edic. Edit. por Time-Life International de México, S.A. (1980) México.
- 36.- Enciclopedia Britannica, 15a. edic. (1980) U.S.A.
- 37.- Wher, Richards, Adair. Physics of the Atom. third edition, Addison Wesley P. Co. (1960) U.S.A.
- 38.- Acuña, Carlos. Las disciplinas en el diseño del Plan de Estudios. Rev. DESLINDE Serie "Nuevos Métodos de Enseñanza". No. 10 Dir. Gral. de Difusión Cultural, UNAM.
- 39.- Minstrell, J. & Hunt, E. (1990) The Development of a Classroom Based Teaching System Representing Students' Knowledge Structures and Their Processing of Instruction. Research Report. The James S. McDonnell Foundation Program in Cognitive Studies for Education Practice.
- 40.- Sadler, Philip. Projecting Spectra for Classroom Investigation. The Physics Teacher. (october 1991), pp. 423-427
- 41.- La Rosa, C., Mayer, M., Patrizi, P. and Vicentini-Missoni, M. Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. Eur. Jou. Sci. Educ. 1984, 6(4). pp. 387-397
- 42.- Rice, K. and Feher, E. Pinholes and Images: Children's Conceptions of Light and Vision. I Science Education 71(4) (1987), pp. 629-639.

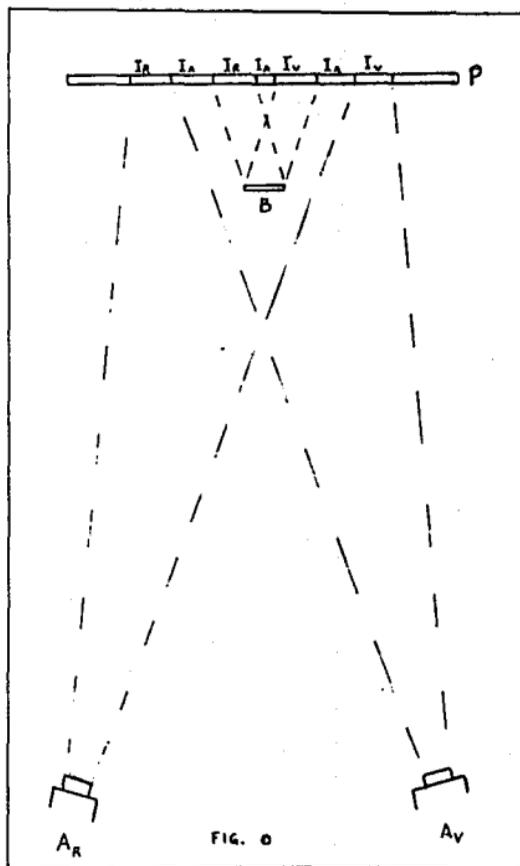


FIG. O

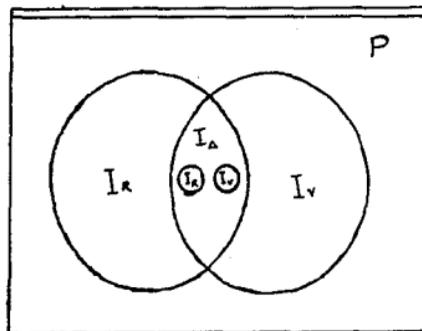


FIG. Q.

- A: PROYECTORES (ROJO Y VERDE)
- P: PANTALLA
- B: CUERPO OPAO
- I<sub>V</sub>: Iluminación verde
- I<sub>R</sub>: Iluminación roja
- I<sub>A</sub>: Iluminación amarilla.

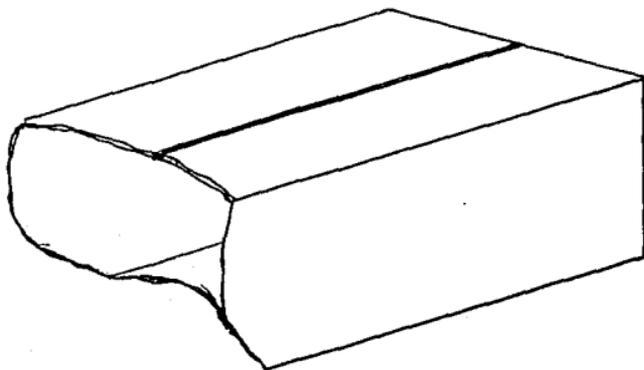


FIG. 1

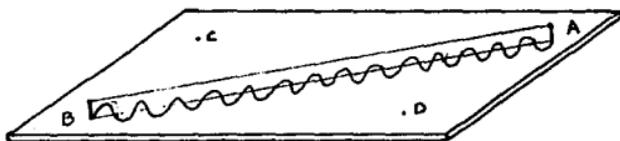


FIG. 2



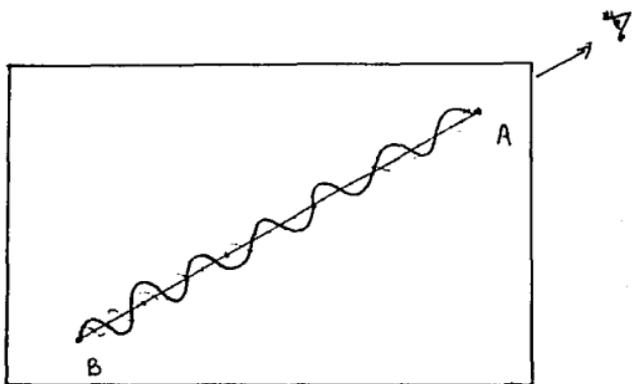


FIG. 3

A: foguete, vela o cerillo.  
 B: Pantalla con agujeros 1 y 2.  
 C: Pantalla.

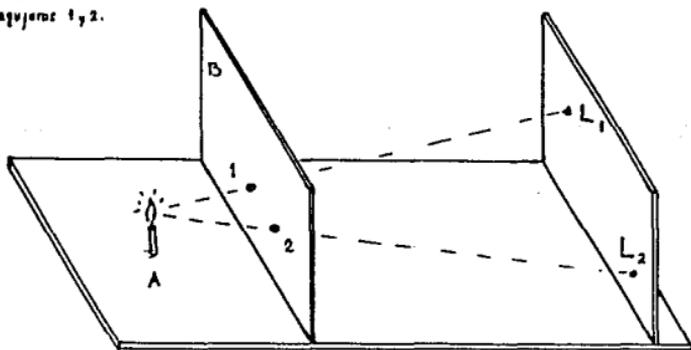
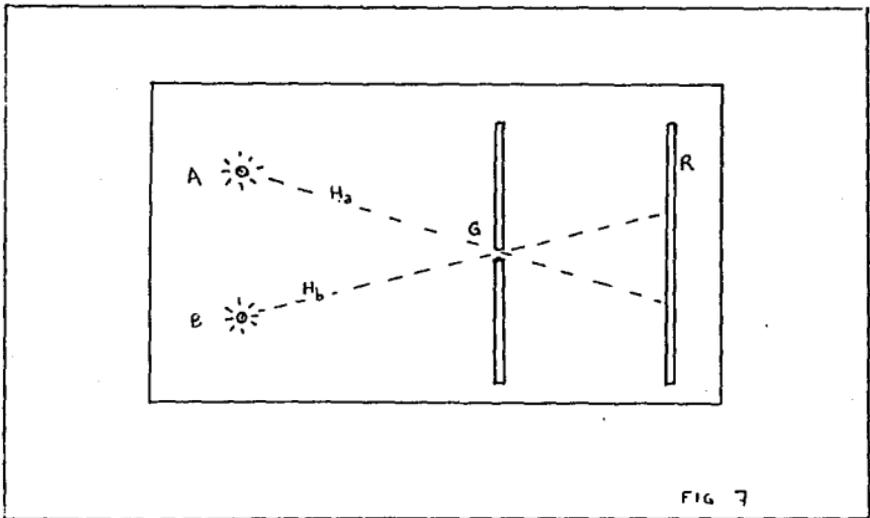
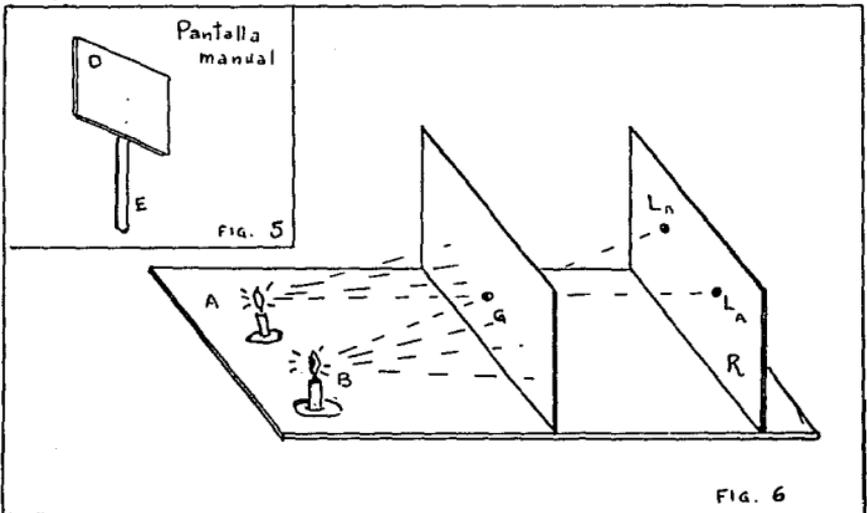


FIG. 4



A y B: Cartones intercambiables  
 C: caja de zapatos con ventana,  
 y foco "softona" (75 W)

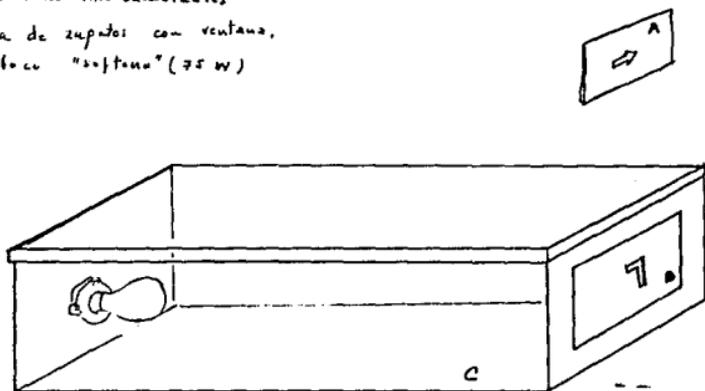


FIG 9

A: cartulina con agujero,  
 B: cilindro de cartoncillo negro,  
 V: Visor,  
 W: ventana lateral,  
 R: pantalla interior,  
 C: caja de zapatos (fig 9)

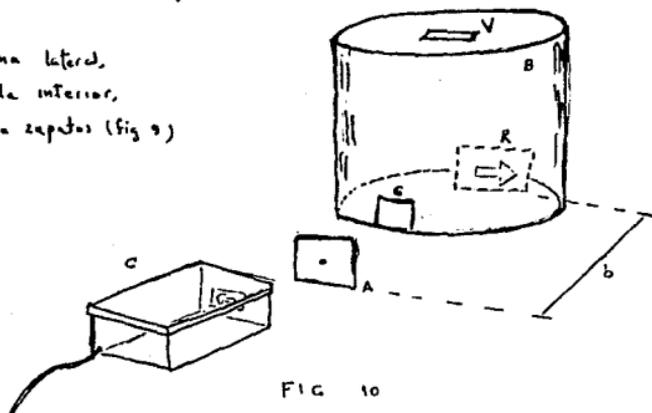
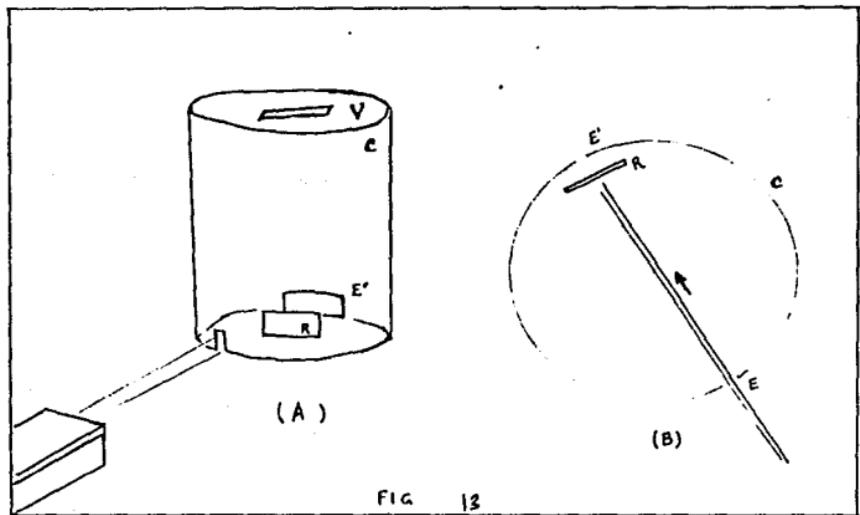
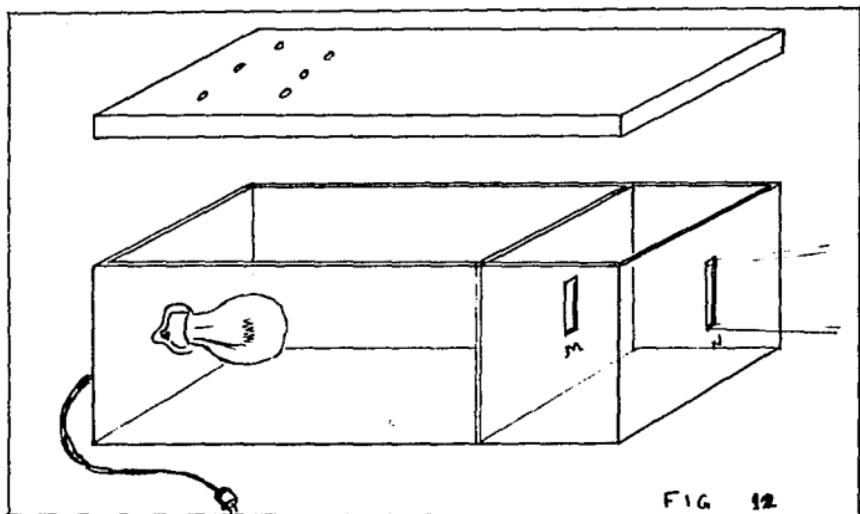


FIG 10



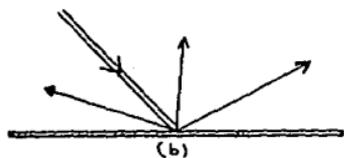
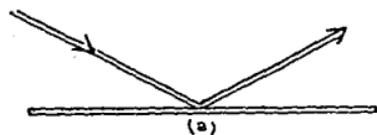


FIG 14

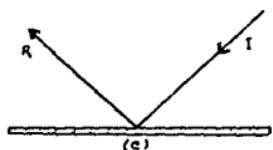
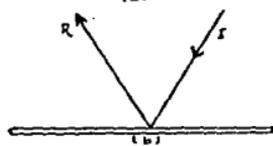
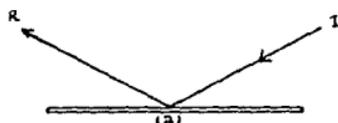


FIG 15

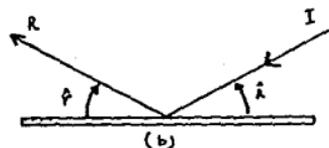
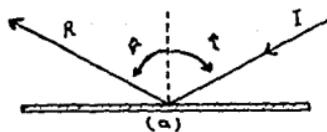


FIG 16

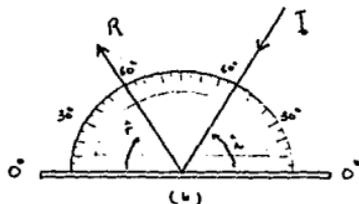
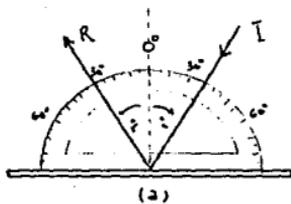


FIG 17

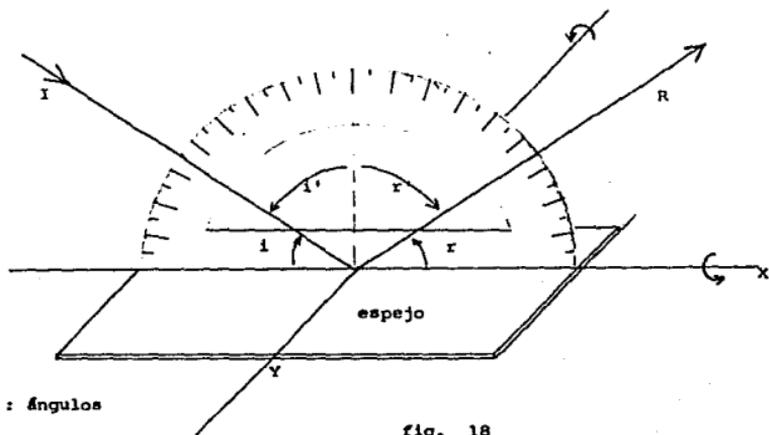


fig. 18

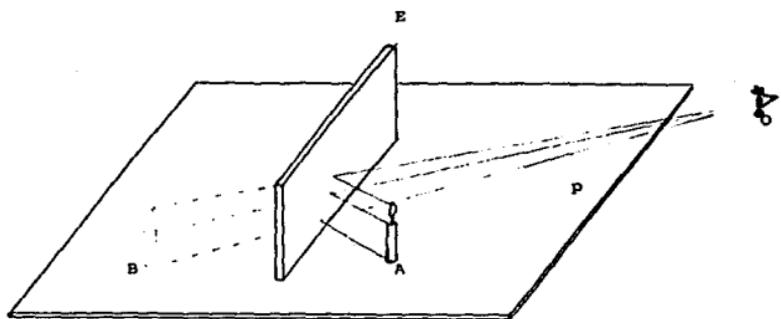
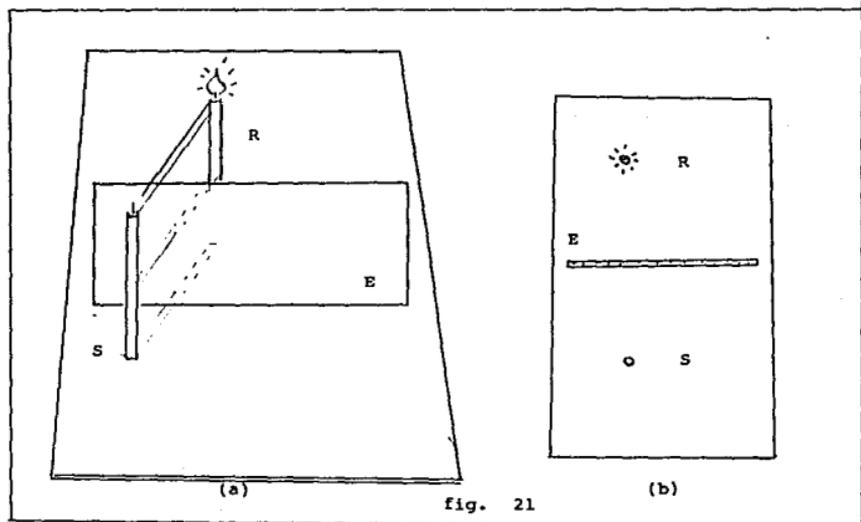
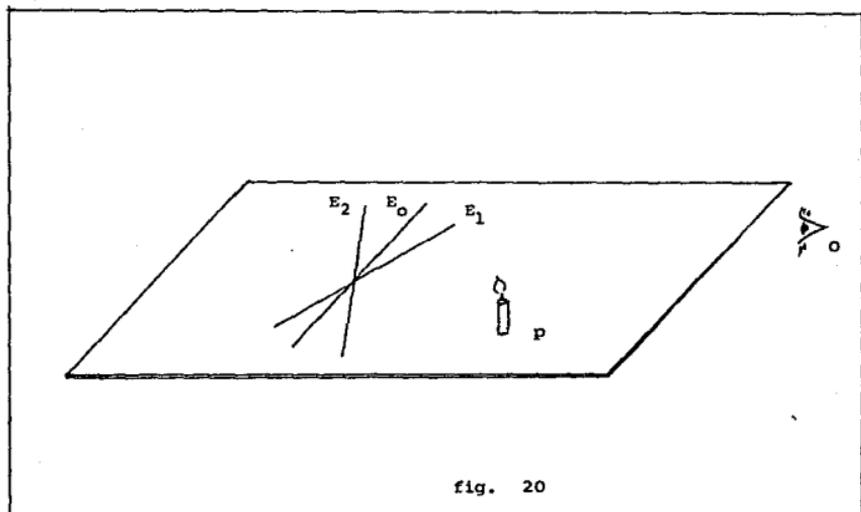
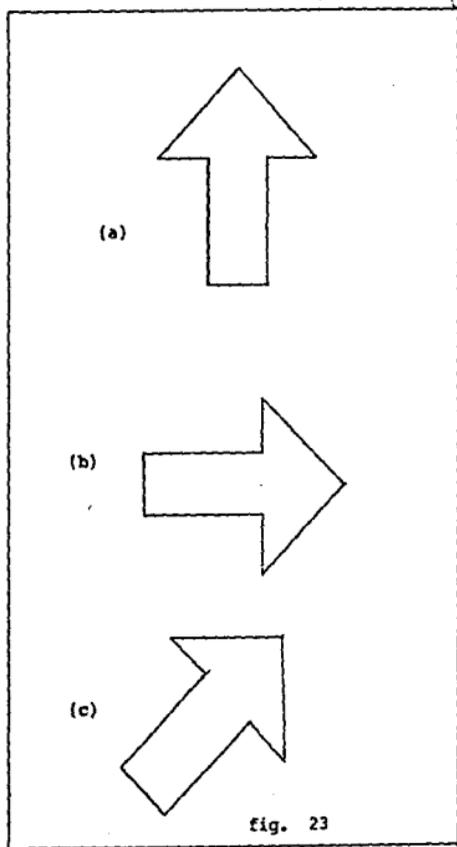
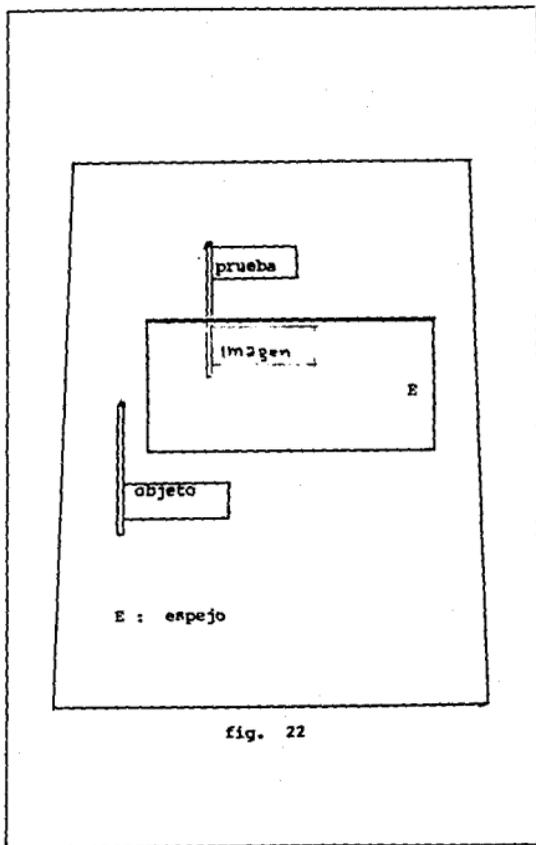


fig. 19





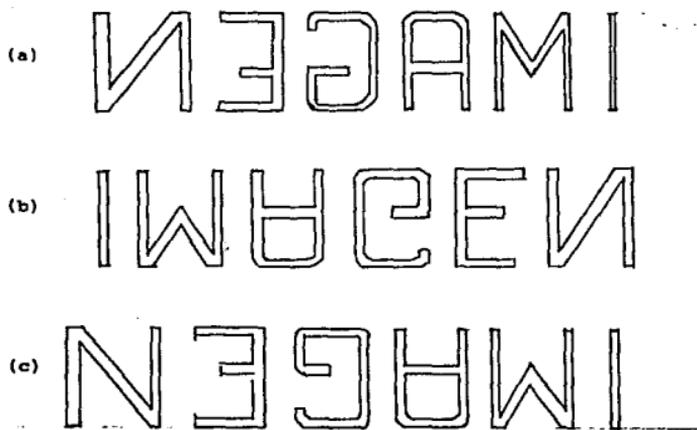
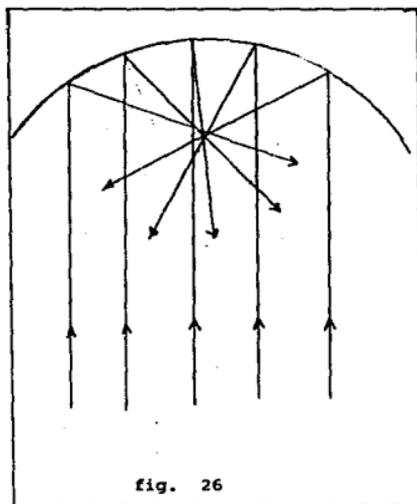
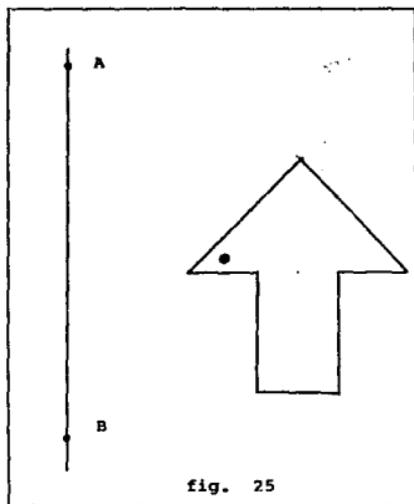


fig. 24



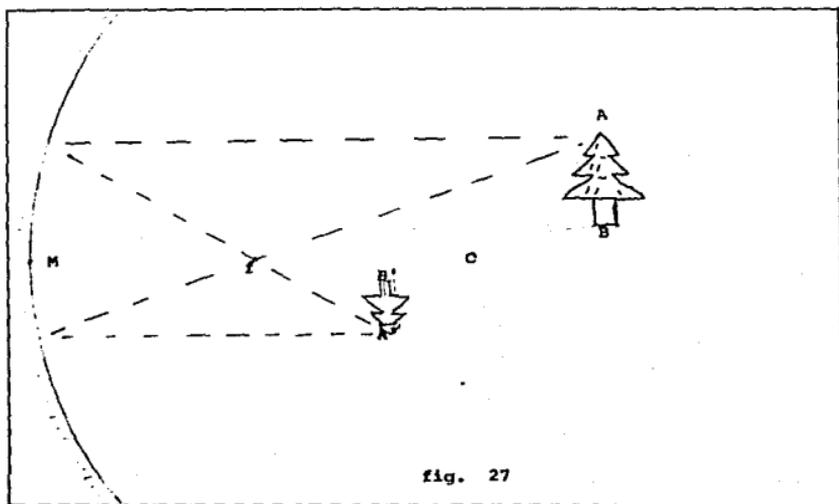


fig. 27

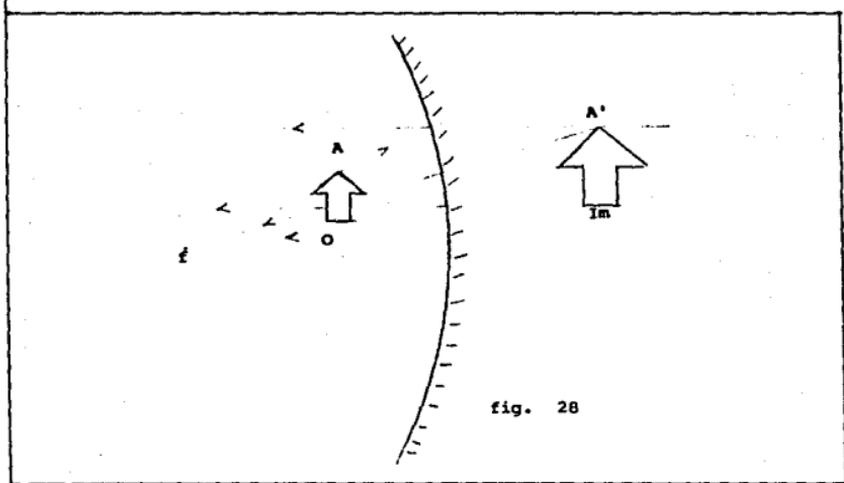
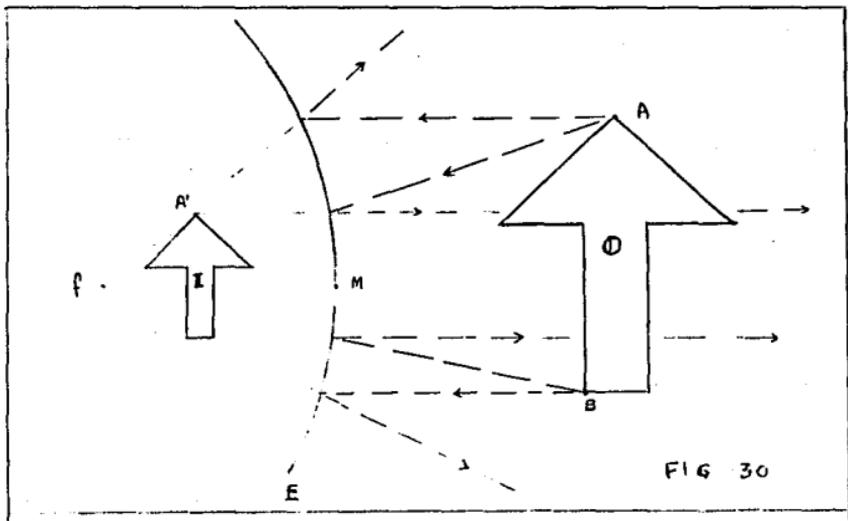
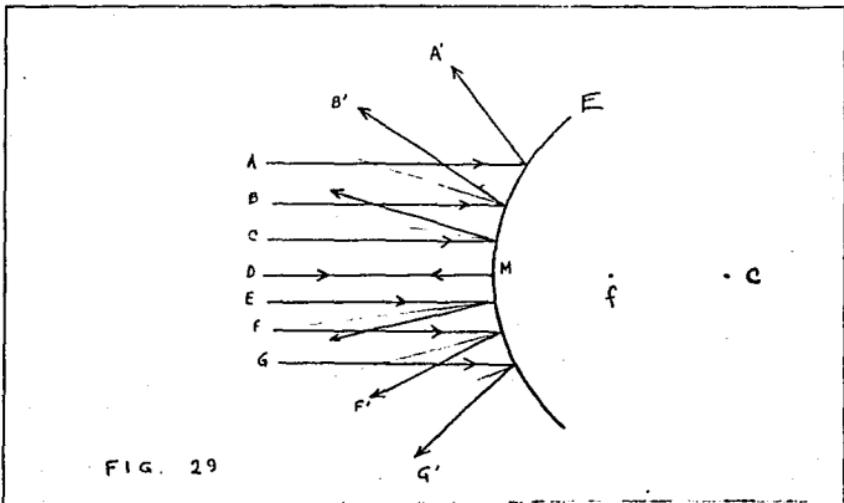
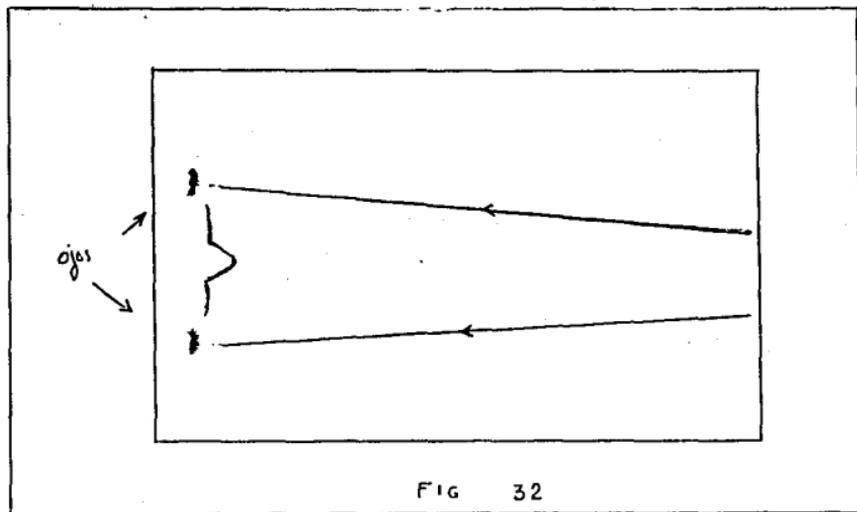
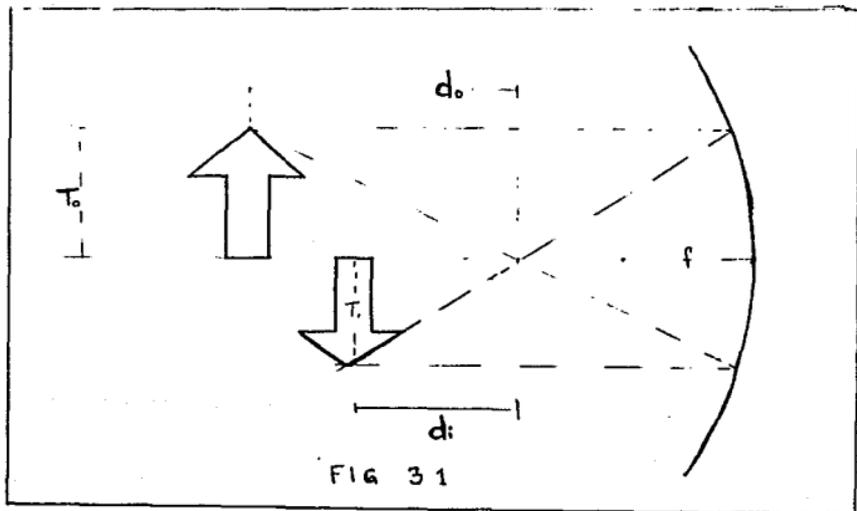


fig. 28





V: Vidrio  
 m: mica  
 q: cartón  
 C: centro del vidrio

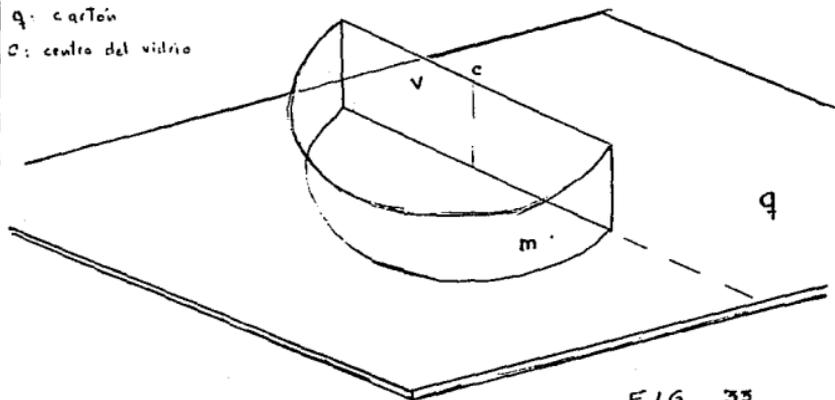


FIG 33

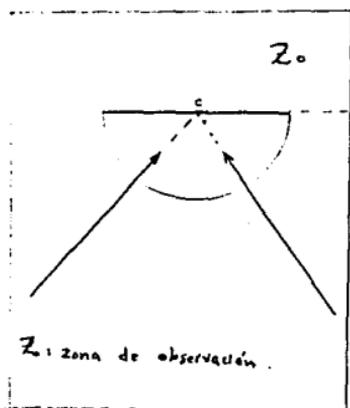
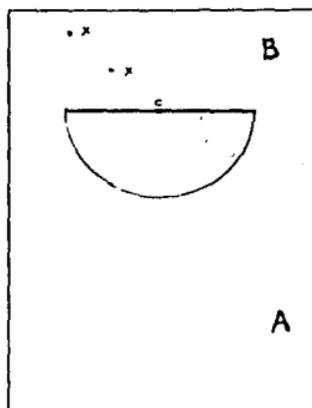
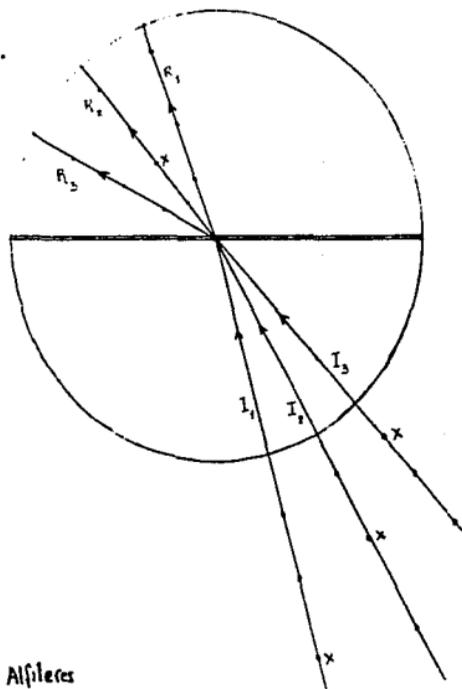


FIG 34



x: Alfileres.

FIG. 35



x: Alfileres

FIG. 36

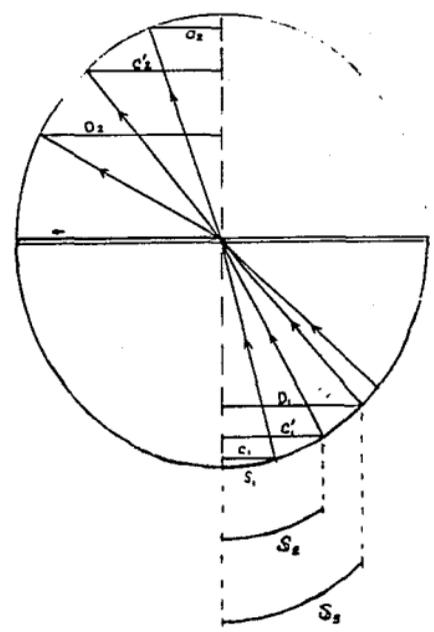


FIG 36. b

A:  $\lambda = 10.5^\circ$ ,  $\mu = 13.2^\circ$   
 $2' = 30^\circ$ ,  $2'' = 70^\circ$   
 B:  $\lambda = 10.5^\circ$ ,  $\mu = 6.9^\circ$   
 $2' = 11.7^\circ$ ,  $2'' = 19^\circ$   
 c:

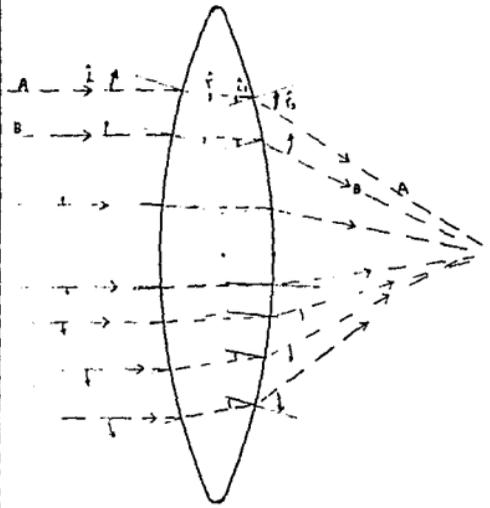


FIG. 37. b

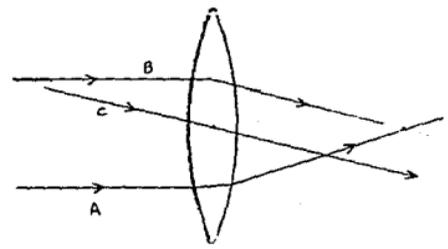


FIG. 37

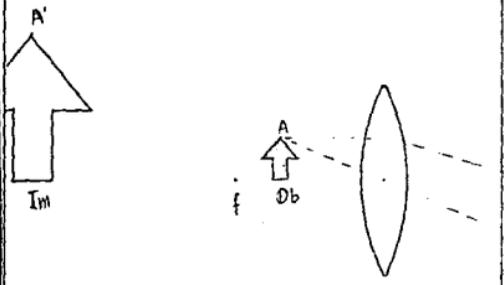
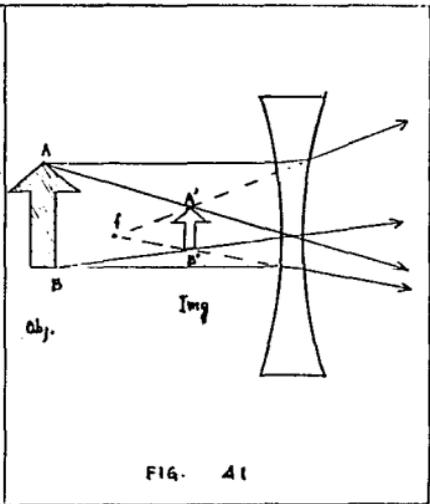
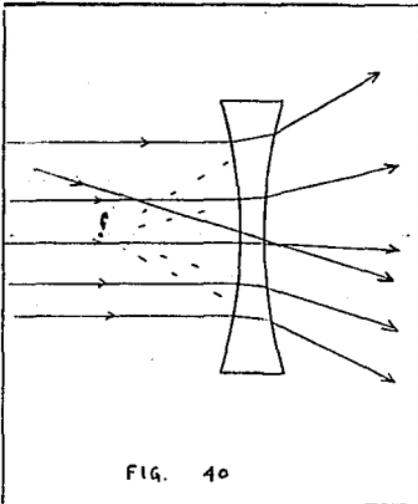
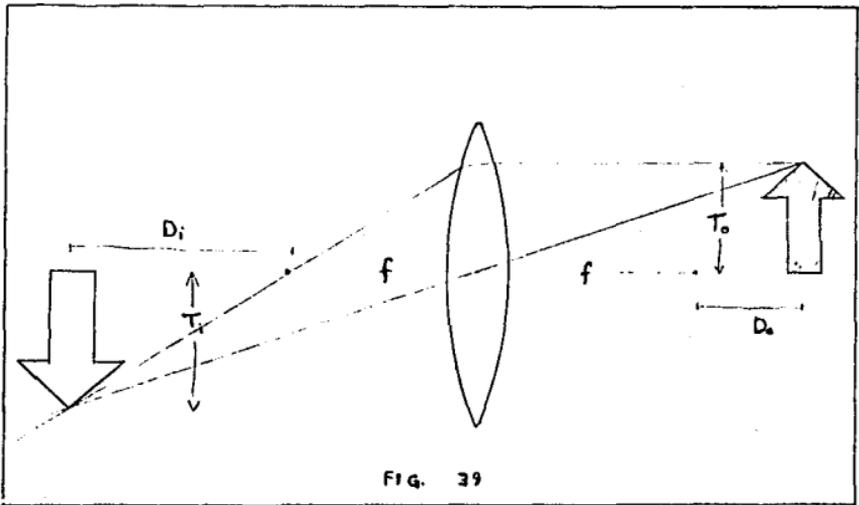
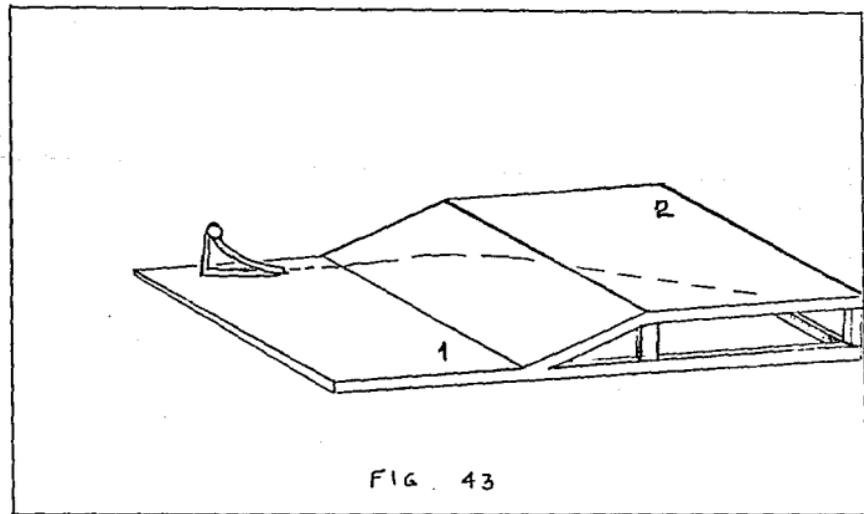
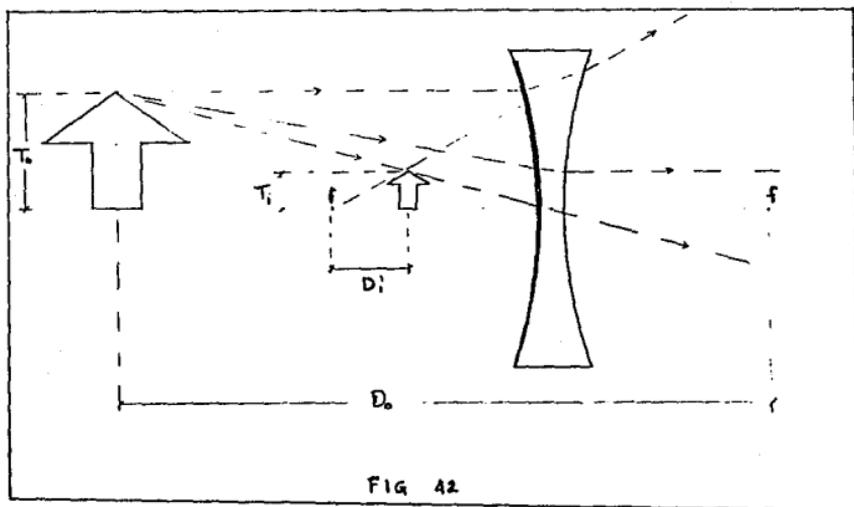


FIG. 31





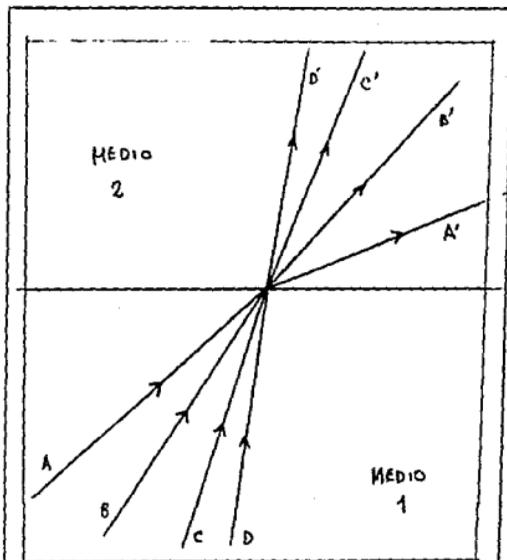
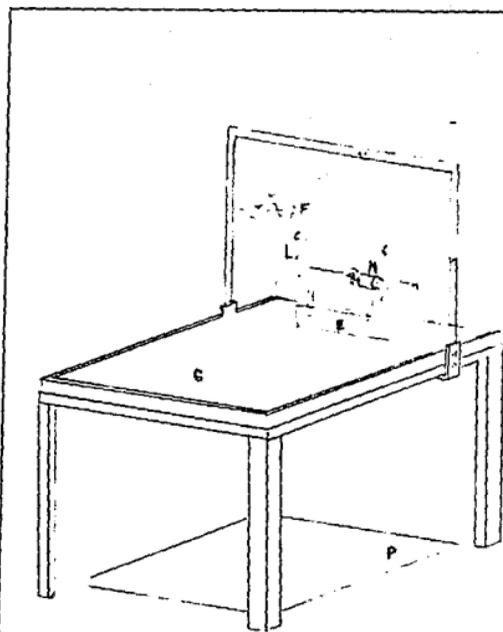


FIG 44



F: foco  
 L: lentes  
 H: matar  
 C: copa de vidro  
 P: pantalla.  
 E: excitador

FIG 45

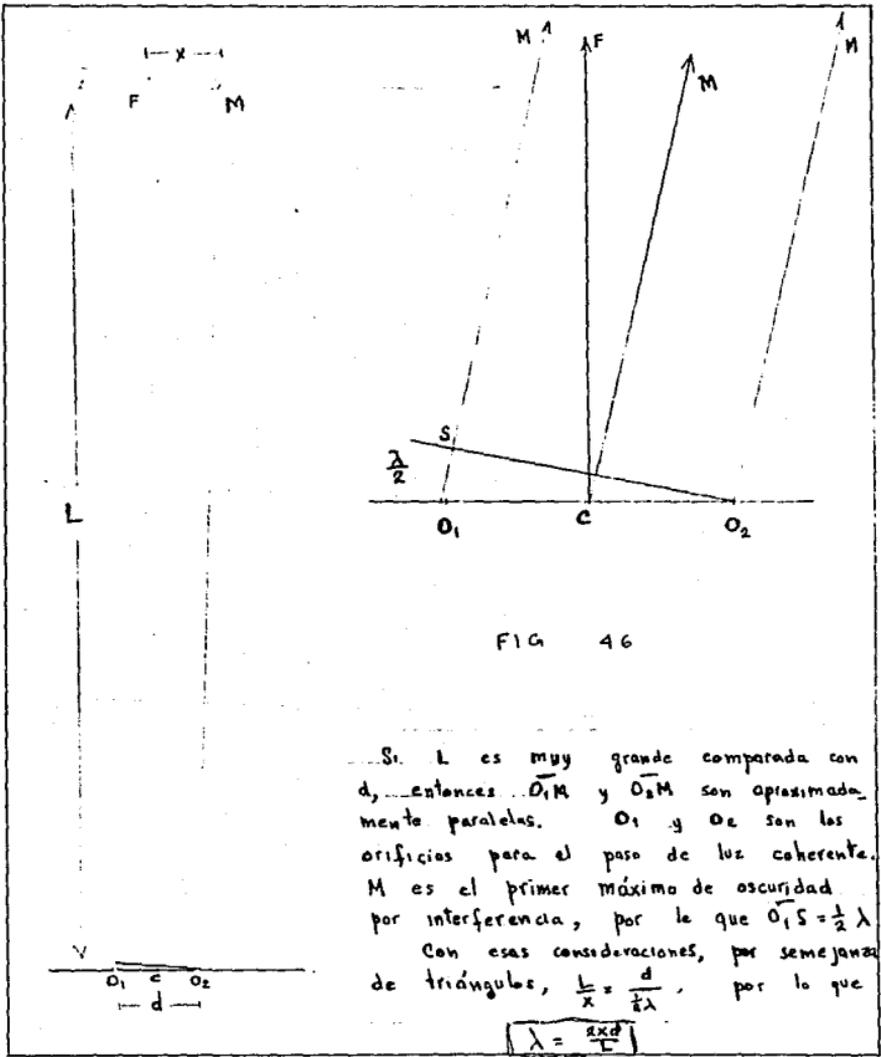


FIG 46

Si  $L$  es muy grande comparada con  $d$ , entonces  $\overline{O_1M}$  y  $\overline{O_2M}$  son aproximadamente paralelas.  $O_1$  y  $O_2$  son los orificios para el paso de luz coherente.  $M$  es el primer máximo de oscuridad por interferencia, por lo que  $\overline{O_1S} = \frac{1}{2} \lambda$ .  
 Con esas consideraciones, por semejanza de triángulos,  $\frac{L}{x} = \frac{d}{\frac{1}{2}\lambda}$ , por lo que

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