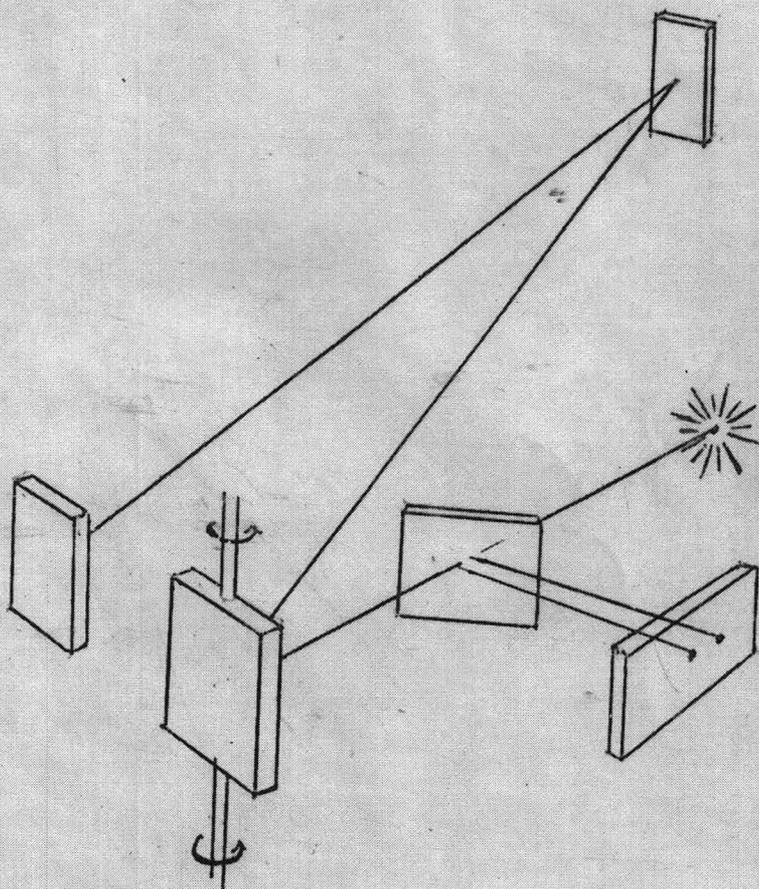


LA VELOCIDAD DE LA LUZ

-Experimentación en Secundaria.-

EXPERIENCIA DE CATEDRA



PORTO ALEGRE-ABRIL 1978

Cross; Como recuerdos de
los patos momentos pasados
juntos - Americas

Trabajo impreso con motivo de cumplirse el centenario de la
primera publicación del Dr. Albert A. Michelson.-(1878-1978)

Dr Julián Aroztegui

"El hecho de que la velocidad de la luz está"
"más allá de la concepción del intelecto hu- "
"mano,unido a la extraordinaria precisión con"
"que puede ser medida,hace que su determina- "
"ción constituya uno de los más fascinantes "
"problemas que puedan caer en suerte al inves"
"tigador"

ALBERT A. MICHELSON

AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE
On a Method of Measuring the
VELOCITY OF LIGHT



Alf. ALBERT A. MICHELSON
1878

Hemos creado la "carátula ficción" para evocar un hecho histórico, la aparición en prensa del primer trabajo publicado por Albert A. Michelson; años después (1907), premio Nobel de Física, el primero obtenido por América. La copia de la fotografía debe corresponder, quizá, al momento de su consagración por la Academia Sueca; lo vemos en la plenitud de su creatividad. Poco antes de su desaparición física (1931), Einstein en su presencia decía: "Usted mi honorable Dr Michelson, comenzó esta investigación cuando yo era solo un niño de apenas un metro de altura. Fué Ud el que condujo a los físicos hacia nuevas sendas y, mediante su maravilloso trabajo experimental, preparó el terreno para el desarrollo de la relatividad.

..... --Sin su trabajo, dicha teoría no sería mas que una interesante especulación; fueron sus verificaciones las que establecieron esta teoría sobre una base real"

.....-No podía haber un elogio mas grande para un hombre.--(1)

(1)-MICHELSON Y LA VELOCIDAD DE LA LUZ-Bernard Jaffe.
colección EUDEBA

LA VELOCIDAD DE LA LUZ
su enseñanza en Secundaria

Estamos frente a una experiencia de alto valor didáctico, desde luego los valores a obtener no pretenderán modificar los ya obtenidos por experimentadores excepcionales, trabajando con sofisticados aparatos. Como tampoco lo pensamos cuando calculamos la masa del electrón o su carga eléctrica, o cualquiera de las constantes fundamentales de la física. Lo que hacemos es mostrar al alumno las dificultades a vencer y a la extraordinaria precisión que es posible llegar. Estamos, pues, frente a una experimentación didáctica y a ese respecto solo nos cabe transcribir al Dr Enrique Loedel Palumbo, en su ENSEÑANZA DE LA FISICA. (Kapeluz editorial-Biblioteca de Ciencias de la Educación)

LA EXPERIMENTACION DIDACTICA

"Es, pues, incuestionable que la experimentación debe constituir " "la base de la enseñanza de la física."

"Esta experimentación, ya sea llevada a cabo por el alumno mis-" "mo, o por grupos de alumnos, o por el profesor, tiene caracterís-" "ticas especiales, que la hacen distinta de la experimentación " "que con el mismo objeto realizó en su hora el investigador. "

"No es posible pretender se realice en cada caso el largo proce-" "so inductivo que condujo al sabio a la formulación de una ley, " "y que muchas veces le ocupó la vida entera. Por eso los experi--" "mentos realizados con fines didácticos tienen siempre el carac" "ter de una verificación, de una comprobación.- "

"Si se prescindiera de toda comprobación experimental, lo que se " "enseñaría no sería ciencia, sino dogma.-..... "

"En la enseñanza no basta con instruir; lo fundamental es educar."

"Y educar, en este caso, es hacer que la personalidad del alumno "

"no se sienta absorbida por la del maestro; que el motivo de la "

"aceptación de las afirmaciones no sea la autoridad de éste ni "

"la de los textos escritos; que en cada caso adquiera conciencia "

"de que por si mismo hubiera podido llegar a tales o cuales res-"

"sultados; que se sienta actor y autor frente a los hechos, perci-"

"biendo con claridad cuál ha sido el camino seguido por sus pre-"

"decesores; que conserve la independencia de su mente, y hasta una"

"honrada rebeldía intelectual, que hagan que sólo se someta a los"

"hechos y a su propio juicio.-"

"Que aprenda a utilizar sus manos y su mente; que sepa del fracaso "

"aleccionador, y que sienta en sí mismo la alegría que proporciona la aprehensión del fruto tras un prolongado esfuerzo.-"
"(Enseñanza de la Física-E.Loedel-Kapeluz.)"

La experimentación es en Secundaria, siempre, por su naturaleza, una verificación, debemos repetirnos este concepto. La habilidad del docente, su profundidad de conocimientos harán que ésta sea realizada de la manera más fructífera posible.

En los últimos años ha recrudecido el método por el cual el alumno debe redescubrir el principio o la ley.-REDESCUBRIMIENTO.-

"Para que este método sea realmente educativo, es necesario se dé al alumno el mínimo de indicaciones posibles, por lo cual, dado el tiempo que insume, solo es factible llevarlo a cabo a lo largo del curso en contadas oportunidades." (E.Loedel)

Este es un concepto que deberían tenerlo en cuenta las Inspecciones, tanto de Primaria como de Secundaria para juzgar a los docentes y al alumno. La aplicación del método en los casos sencillos y posibles produce satisfacciones al profesor y discípulo.

También podemos conducir los experimentos de tal manera que a través de preguntas bien seleccionadas, los alumnos arriban a la conclusión acertada.-SEMI-INDUCTIVO-

"Este método se presta particularmente para los experimentos de cátedra realizados por el mismo profesor, teniendo la ventaja de insumir poco tiempo durante la clase misma, si se ha tenido la precaución de preparar de antemano el material experimental! La desventaja del método es que se produce en él, un verdadero escamoteo de los errores de observación. Los resultados que se obtienen de esta manera son "demasiado" exactos."-(Loedel)

En nuestros treinta años de docencia fué el método que más resultados nos dió. Y estamos convencidos que una correcta aplicación de él, es eficacísima. No trampeando los resultados y con un cálculo promedio, orientamos al alumno en los caminos de la ciencia. Otro de los caminos a seguir sería la COMPROBACION SIMPLE, y por último tendríamos el método de PREVISION, "este es el más espectacular, y utilizado con arte, produce en los alumnos intensa emoción!" (Loedel)

Este método nos deparó las mayores satisfacciones en el curso de nuestro magisterio.

"No se trata, pues, de que el alumno realice por sí mismo o vea realizar todos los experimentos que se mencionan. La vida es de"

"masiado breve para que podamos permitirnos el lujo de ser des-"
"confiados hasta el punto de dudar de la redondez de la tierra "
"si no efectuamos nosotros mismos, un viaje de circunnavegación."
"Tampoco tenemos derecho a poner en duda que la velocidad de la"
"luz es de 300.000 Km/s por el hecho que no la hayamos medido "
"personalmente. De lo que se trata es de que el alumno se inte-"
"riorice del método que sigue la ciencia en sus determinaciones"
"y para ello, lo necesario es que él mismo efectúe algunas de "
"ellas."(Loedel).

"Considerándome alumno del Prof. Loedel, diré que la primera vez "
"que ví la polarización de la luz por reflexión y la medida del
ángulo de Brewster, fué en el escritorio del eminente profesor en
la ciudad de La Plata. Rep. Argentina.

Descolgando dos cuadros, uno de Galileo y otro de un familiar, am-
bos con vidrios, que adornaban su habitación, presentó ante mis o-
jos el notable experimento.

Hoy podría decirle al maestro, que la determinación de la veloci-
dad de la luz la determino en el comedor de mi casa y que la o-
peración no insume un tiempo superior a la duración de una cla -
se de 90 minutos. Como no lamentar el no poder hacerlo partícipe
de mi emoción.

La enseñanza del Uruguay aún debe el homenaje que se merece este
ilustre físico y eminente pedagogo que fué el Dr Enrique Loedel
Palumbo.-

Al abordar este tema, y para que los esfuerzos del do-
cente sean compensados, el alumno debe conocer:

- 1º-espejos planos-espejo "negro"-posibilidad de conse-
guir, con estos, imágenes reales.
- 2º-lentes-lentes convergentes-imágenes.
- 3º-radián-manejo de dicha unidad-ventajas.
- 4º-expresiones en potencia de diez.
- 5º-velocidad angular-uso del radián-período-frecuencia.
- 6º-espejo rotatorio-desviación del rayo.

CUADRO SINÓPTICO DE LAS EXPERIENCIAS REALIZADAS

Método Astronómico		1676-Olaf Römer-----	225.000 Km/s.
Métodos Mecánicos	rueda dentada	1849-Fizeau-----	312.274 "
		1874-Cornu-----	310.400 "
		1881-Young-Forbes----	301.382 "
		1902-Perrotin-Prin---	299.880 "
Métodos Eléctricos Kerr	espejo rotatorio	1862-Foucault-----	298.000 "
		1878-Michelson-----	300.147 "
		1880-Newcomb-----	299.778 "
		1931-Michelson Pace y Pearson--	299.774 "
Métodos Eléctricos Kerr	visor óptico	1920-Karolus y Mittelstaedt----	299.775 "
		visor electrónico	1916-Anderson-----
		1940-Hütel-----	299.778 "

Es evidente que no se debe realizar un promedio, ya que las últimas medidas efectuadas, dada la enjundia de los investigadores y el perfeccionamiento logrado, serán para nosotros las medidas que consideraremos "EXACTAS".

Tendríamos entonces que los datos obtenidos por Karolus, Anderson y sobretodo por Michelson, Pace y Pearson son los dignos de confianza. La velocidad de

$$299.774 \pm 11 \text{ Km/seg. (1)}$$

será la velocidad de la luz.

Las medidas de estos experimentadores les permitió desviar el rayo luminoso, mas de 10 cm, es decir, mas de 200 veces la desviación conseguida por Foucault.

Fue realizada en un tubo de 1645 metros de longitud y 0.91 m de diámetro, en el cual se había hecho un vacío de 5.8 mm de mercurio. Dentro de este tubo y luego de 8 o 10 reflexiones se conseguían trayectorias de 12.8 o 16 Km; el espejo rotatorio realizaba en el caso de 12.8 Km, 730 r. p. s. y en los 16 Km., 585 r.p.s. (1)

Insistimos en estos datos porque ellos nos prueba la seriedad de las investigaciones realizadas en 1931, año de la muerte del Dr Michelson, cuyas experiencias habían comenzado en 1876, vemos pues, que transcurrieron 55 años de búsqueda constante.

Sus logros y dedicación a la ciencia pura merecen el recuerdo de la humanidad.

(1)-Para Du Mond y Cohen (Sears) es $299792,9 \pm 0,8 \text{ Km/seg.}$
 Para Rosa y Dorsey (Sears) es $299790 \pm 1 \text{ Km/seg.}$

TRAS LOS PASOS DE MICHELSON

Como pretendemos que este trabajo tenga valor práctico, insistiremos sobre detalles, que serán simples para el profesor pero facilitarán su estudio al alumno. Comenzaremos destacando como consigue Michelson simplificar el problema de conseguir de un "objeto móvil"

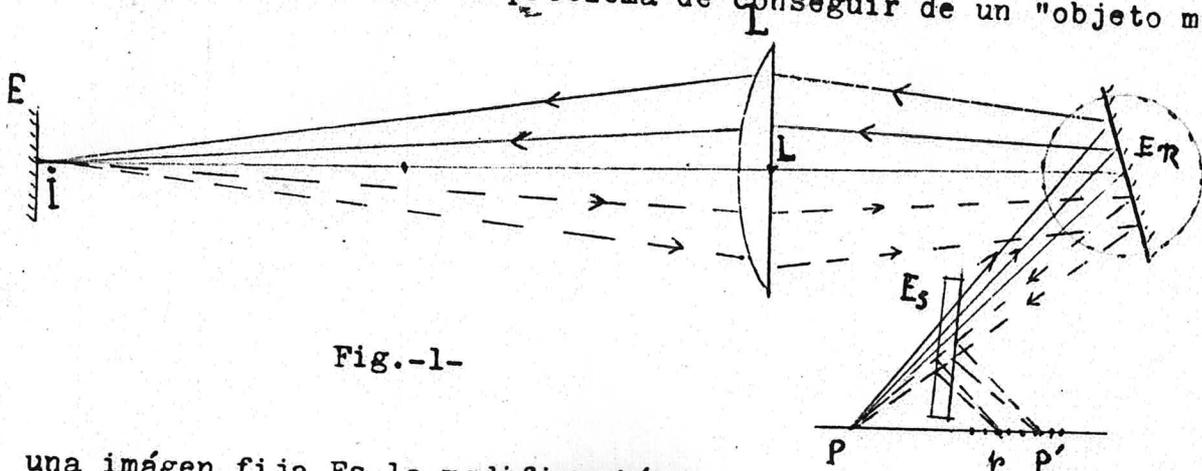


Fig.-1-

una imagen fija. Es la modificación que propone cuando presenta su primer trabajo: "Acerca de un Método para medir la velocidad de la Luz"-(American Journal of Sciences-1878). Acompañado de un esquema y con 19 líneas escritas vá el resumen de todo su trabajo.

¡Este es el método que cien años más tarde repetimos nosotros!

Reemplaza el espejo curvo de Foucault por un espejo plano, lo que permite aumentar las distancias a recorrer por la luz, fácilmente.

La Fig.-1-, nos muestra la trayectoria de los rayos que parten del foco luminoso P (trazado continuo), se reflejan en el espejo rotatorio ER., que se encuentra en el foco de la lente L.

La distancia P-ER, es igual también a la distancia focal de L.

Luego el foco luminoso P. se encuentra en la doble focal de la lente L.; la imagen se producirá en la doble focal de L, en el punto I. sobre el espejo E.

El regreso de los rayos reflejados se produce (línea punteada) por la parte inferior de la lente L., llegan al Espejo rotatorio ER. (que está en reposo) y de allí nuevamente al punto P.

Para poder ser observada colocamos el espejo sin azogar Es. con un ángulo de 45° , con respecto a la trayectoria de los rayos y tenemos la imagen en el punto P', que es simétrico de P. con respecto al espejo Es.

Como es lógico el espejo Es. tiene dos caras y nos da, desde luego, dos imágenes P' y p. sobre una regla milimetrada transparente.

Esta imagen es devuelta, solamente, cuando la imagen está en I. sobre el espejo E.

Toda otra imagen proyectada sobre el espejo E, no cumplirá las condiciones necesarias para su vuelta a P'

Para el armado de nuestra experiencia y facilitar su ajuste, usamos un segundo espejo fijo E'. Fig.-2-. Este espejo está colocado a una distancia de la lente L. igual a media distancia focal, de allí se refleja el rayo al espejo E. que se encuentra al lado del espejo rotatorio ER., es decir en la doble focal de L, esto facilita el ajuste de las imágenes.

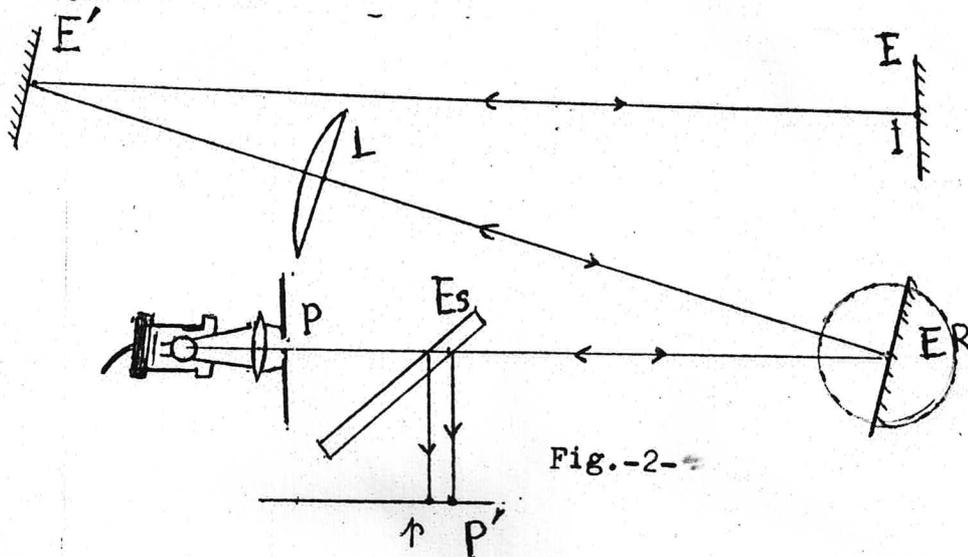


Fig.-2-

FUNCION DEL ESPEJO ROTATORIO

El espejo rotatorio inventado por Wheatstone, fué utilizado por Foucault a indicación de Arago. (Memorias de Foucault-Comptes Rendues, Academie Sciences Paris (Cortés Plá)-. Es necesario para que el alumno lo comprenda, que le dediquemos unas líneas. Por el estudio del espejo en sí mismo y por el manejo de la unidad Radián en la medición de ángulos. Tomemos un espejo plano E. Fig-3- y proyectemos los rayos provenientes de un foco luminoso F. sobre una pared perpendicular a el rayo, dicho rayo dará una "mancha de luz" M. Marquemos esa posición y luego con cuidado hagamos girar el

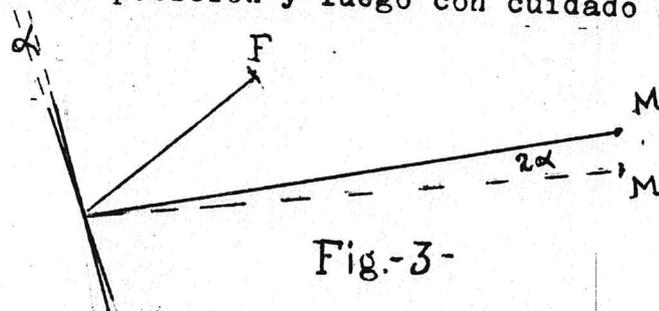


Fig.-3-

espejo hasta desplazar la "mancha" sobre la pantalla, unos 10cm a 0.1 metro, El rayo punteado Fig-3- será el que dará la "mancha" M'. La pared pantalla se encuentra a 8 metros del espejo E. Preguntamos :que ángulo giró el espejo?-Ya habremos enseñado que el ángulo de giro del rayo es doble que es del espejo. (Poggendorf)

Dividiendo $\frac{0.1}{8} = 0.0125$ radianes

Recordaremos que es un Radián y repetiremos que el círculo equiva-

que aprovechará el profesor para fijar, aún más el "nuevo" conocimiento.-

El espejo rotatorio será nuestro "reloj" y nos permitirá medir tiempos del orden "mil millonésima de segundo".-

LA EXPERIENCIA

La Fig.4-, nos muestra esquemáticamente su montaje, una lamparilla B, la ranura P. que será nuestro foco luminoso, los rayos, que parten de P, después de reflejarse en el espejo rotatorio ER. se dirigen a la lente L., esta distancia, ya dijimos, es igual a la focal de L. repetimos $P.ER=ER.L.=$ distancia focal de L., luego nuestro foco luminoso (ranura), se encuentra en la doble focal de L.

nos dará, pues, una imagen en la doble focal I sobre el espejo E., después de haberse reflejado en E', que se encuentra colocado a una distancia igual a la media focal de L.

El recorrido del rayo es a partir de ER. hasta I. de tres distancias focales, de regreso repite el camino, lo que significa en total 6 distancias focales.

Mientras el espejo rotatorio esté en reposo, el espejo sin azogar Es., nos dará la imagen de regreso en P', la de la primera cara, y en p., la de la segunda cara.. Caerán sobre una regla milimetrada Rm. Que está colocada simétricamente a la pantalla de la ranura (foco), con respecto al espejo Es., luego tenemos una lente L'' que nos da una imagen virtual, aumentada, de la regla milimetrada, que nos permite observar con mayor nitidez el fenómeno.

Cuando el espejo rotatorio gira a gran velocidad, al regresar el rayo desde I., el espejo ha girado un ángulo α , el rayo se desvía como lo indica la línea punteada Fig.-4-, y el espejo sin azogar nos dará una imagen en P', la de la primera cara y en p'. la de la segunda cara. Si la rotación permanece constante, por ejemplo 300 r.p.s., la imagen quedará fija, si sigue aumentando la velocidad continuará alejándose del punto inicial P.

Supongamos que a 300 r.p.s. la imagen se ha separado 0.001 metro. La distancia focal de nuestra lente L. es de 3.64 m

el cociente $\frac{0.001}{3.64} = 0.0002747$ radianes es el giro del rayo, luego la mitad de ese ángulo será el giro del espejo ER.

$$2 \times \frac{0.001}{3.64} = 0.0001373 \text{ rad. igual a } 1.373 \cdot 10^{-4} \text{ rad.}$$

En que tiempo hizo ese pequeño giro?

El espejo giraba a 300 r.p.s., luego un giro lo hará en

$$\frac{1}{300} = 0.003333... \text{ segundo o sea } 3.33 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\begin{array}{l} 6.28 \text{ rad.} \text{-----} 0.003333 \text{ seg.} \\ \text{luego: } 0.00013736 \text{-----} \quad \times \text{ seg.} \end{array}$$

$$\frac{0.00013736 \times 0.003333}{6.28} = 0.0000000729 \text{ seg.}$$

$$\text{mejor expresado sería: } \frac{1.3736 \times 10^{-4} \times 3.333 \times 10^{-3}}{6.28} = 7.29 \times 10^{-8} \text{ seg.}$$

Tenemos que la distancia recorrida por la luz es de seis distancias focales y esta mide 3.64 metro, luego:

$$3.64 \times 6 = 21.84 \text{ m.}$$

y el tiempo era 7.29×10^{-8}

Velocidad es el cociente de Espacio sobre Tiempo, luego:

$$\frac{21.84}{7.29 \times 10^{-8}} = 2.99 \times 10^8 \text{ m/seg.}$$

En una etapa superior y luego de la comprensión del fenómeno, diríamos que el período T es la inversa de la frecuencia f, tendríamos:

$$T = \frac{1}{f}; \quad f = \frac{1}{T}$$

La velocidad angular W debe ser repasada por el estudiante, sabemos

que $W = 2\pi f$, que un ángulo cualquiera, de giro α es

$$W = \frac{2\pi}{T}; \text{ como } f = \frac{1}{T} \text{ podemos escribir, sustituyendo}$$

$$\alpha = W \cdot t \text{ siendo } t. \text{ el tiempo en que describió ese ángulo y que por lo tanto podemos escribir:}$$

$$\alpha = 2\pi f \cdot t$$

Anteriormente habíamos dicho que el ángulo que giró el espejo es igual a la desviación del rayo sobre el doble de la distancia focal

$$\alpha = \frac{d}{2F}$$

Tenemos dos expresiones para el mismo valor α , luego:

$$\frac{d}{2F} = 2\pi f \cdot t$$

de acá podemos despejar t. y tenemos: $t = \frac{d}{4F \cdot \pi \cdot f}$

podemos llevar esta fórmula directamente a la de velocidad, luego

$$v = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}; \quad \frac{6 F.}{\frac{d}{4\pi \cdot F \cdot f}}; \quad \frac{24 F^2 \cdot \pi \cdot f}{d}$$

Hagamos la operación con los valores que hemos manejado:

$$\frac{24 \times 3.64^2 \times 3.1416 \times 300}{0.001} = 2.99 \times 10^8 \text{ m/seg.}$$

Si la lente fuese de 5.145 m, que es la distancia focal de la lente Leybold, tendríamos:

$$\frac{24 \times 5.145^2 \times 3.1416 \times 300}{0.002} = 299 \times 10^6 \text{ m/seg.}$$

Fig.-4-

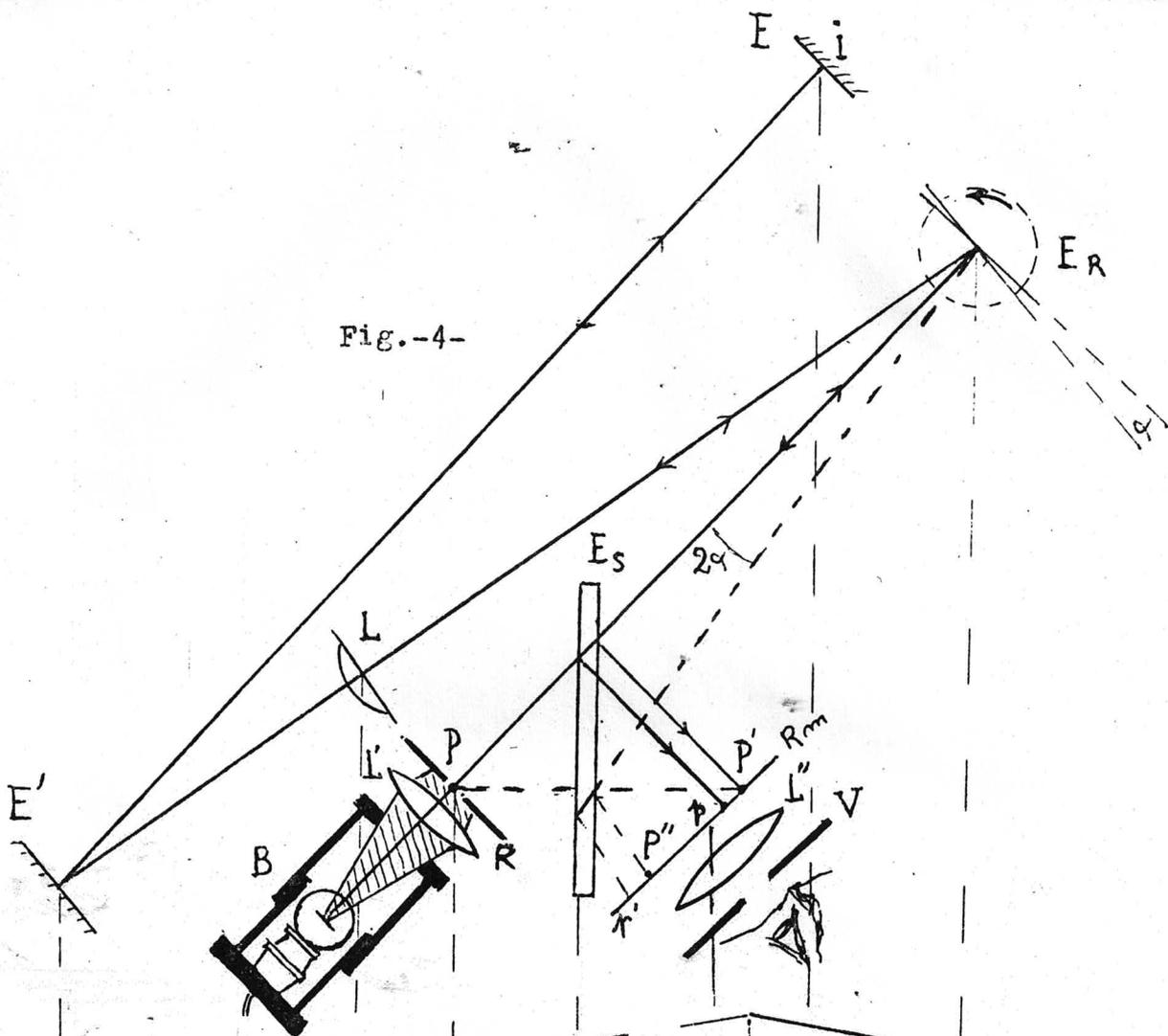
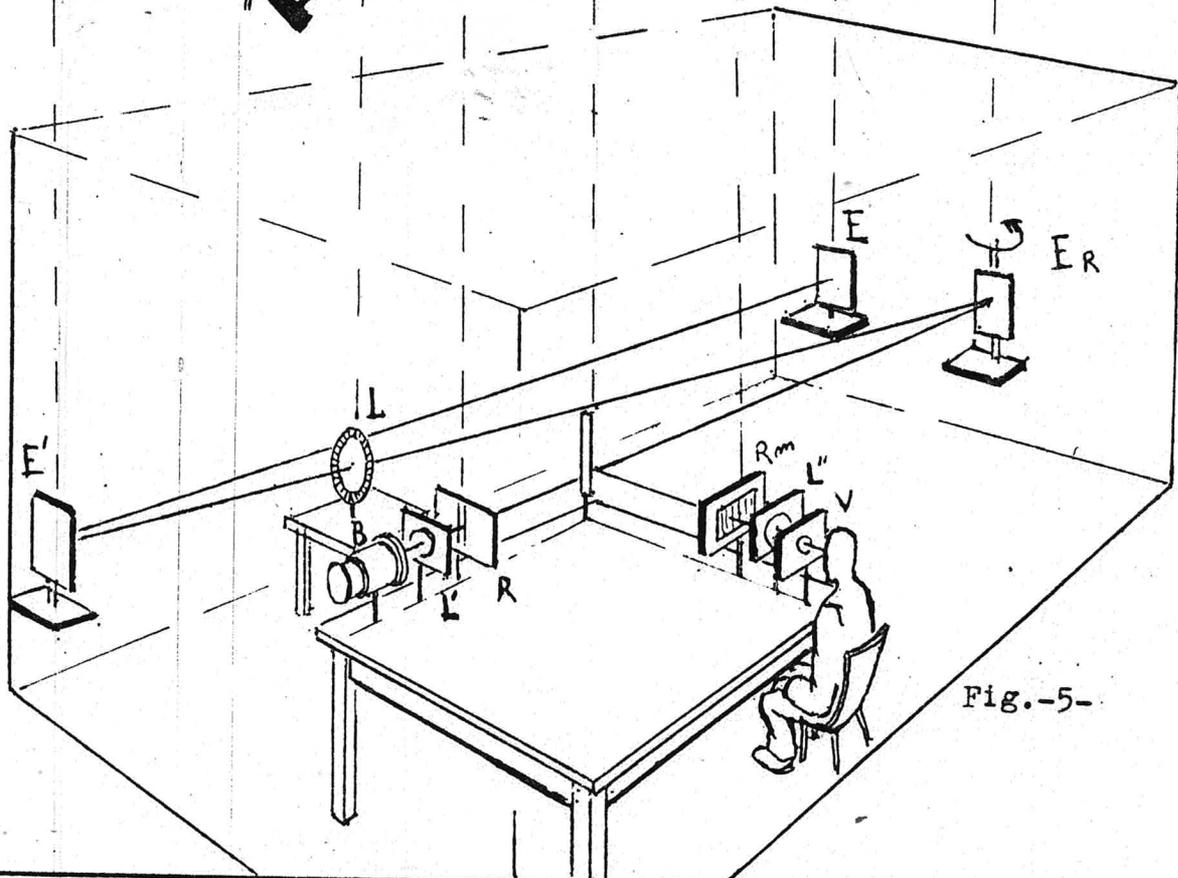


Fig.-5-

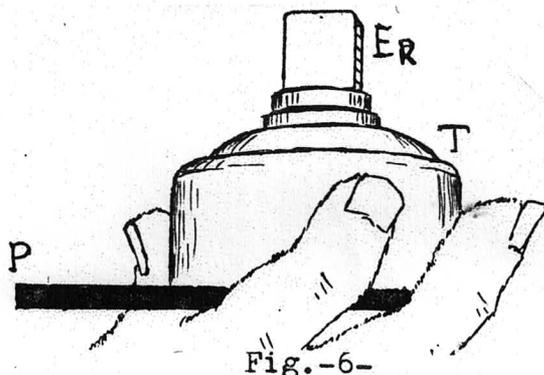


NUESTRA EXPERIENCIA

Con la finalidad de que el futuro experimentador venza con facilidad los escollos que se nos presentaron y aproveche los aciertos logrados, finalizamos nuestro trabajo con estas observaciones.

LA TURBINA Y EL ESPEJO ROTATORIO.-

El alto costo de la turbina Leybold nos obligó a resolver este problema utilizando un giróscopo, instrumento en desuso del tablero de los aviones. Fácil de conseguir en los talleres militares o en los de PLUNA. La Fig.-6- nos muestra su forma y dimensiones, 7 cm. de diámetro y 4 cm. de alto.



El ajuste del espejo rotatorio ER.; de una superficie de 4 cm.^2 (2 cm. por lado), fué realizado por el Sr Eysel Gereda, "mecánico de profesión y astrónomo de vocación", sin cuya colaboración hubiera sido imposible la realización de esta experiencia. Hicimos aluminizar las dos caras del espejo ER., pero como ya nos lo dice Foucault (1850), fué necesario anular una de ellas para que la imagen se tornara nítida al girar la turbina. La fijación de la turbina es fácil, porque su vibración es casi nula. Fué colocada sobre un trípode, una de cuyas patas es variable para facilitar el enfoque.

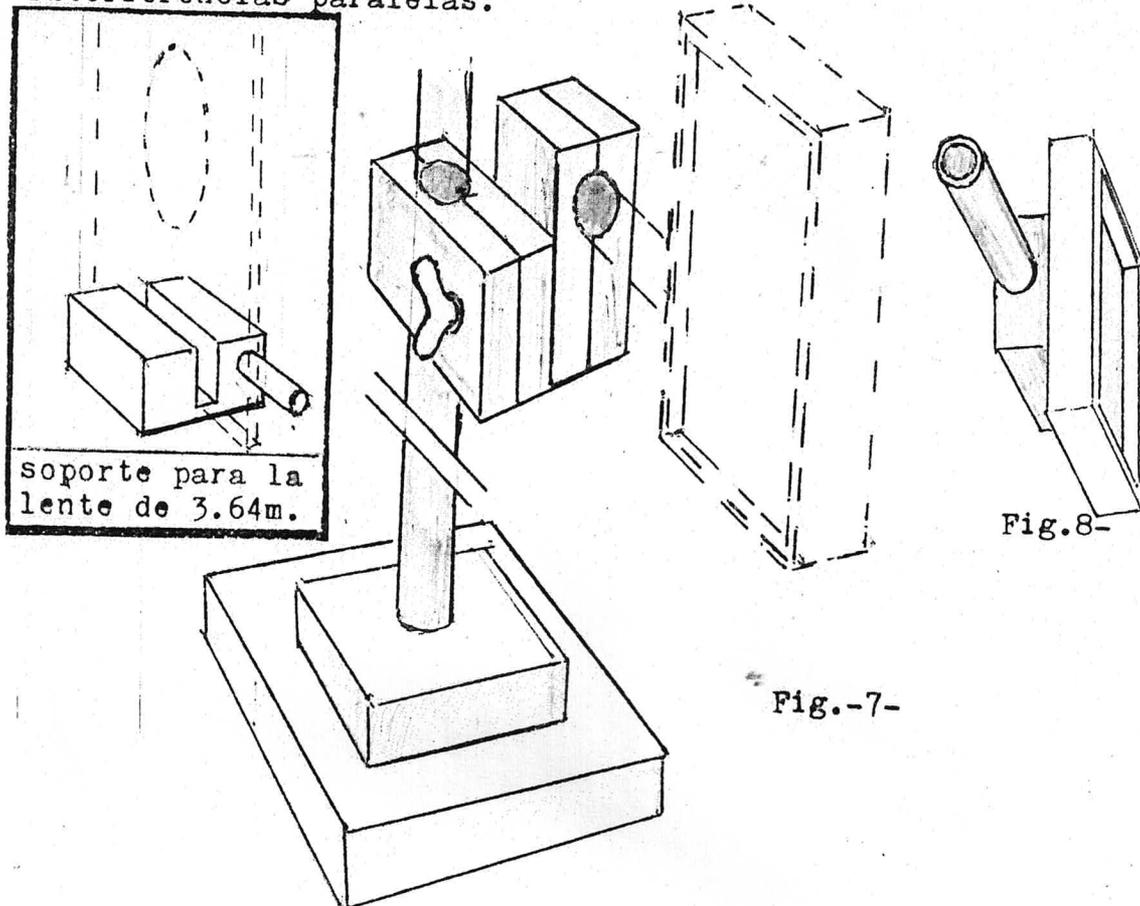
LOS ESPEJOS.-

"Espejo plano es un pequeño casquete de esfera, cuyo radio sea "de cien metros", ésta definición da la idea de la imposibilidad de conseguirlo. Los que ofrece la Leybold son costosísimos. Con la experiencia del Sr Gereda, por haberlos construido para su telescopio, fué posible lograrlos. Los cristales usados en el P.S.S.C. para interferencias en láminas delgadas de aire, son muy buenos, basta aluminizar una de las caras para transformarlo en un excelente "espejo negro".

Estos espejos pudieran ser azogados, no así el rotatorio, pues la fuerza centrífuga despega la capa de plata.

Los hicimos aluminizar en Buenos Aires en casa ALTOVAC.

Las mejores láminas de cristal son las que producen franjas de interferencias paralelas.



Las dimensiones para los espejos son para el E', de 4.5 cm por 7.5 cm. y para el E, utilizamos uno de 3 cm. por 7 cm., pero podría ser menor, pues al final va a reflejarse en él la imagen de la rendija-foco. Pero con estas dimensiones permite un mas fácil enfoque. Los soportes Fig.-7 y 8-, fueron construidos en madera, salvo el vástago que es de hierro hueco de 12mm, de diámetro. Los dibujos son claros y el experimentador puede conseguir otra forma de sujeción. La altura de los caños es 32 cm. Para hacer mas estables los soportes, pusimos en la base 500 gramos de plomo.

LAS LENTES

En las Fig. 4 y 5- vemos las tres lentes a utilizar, la L', lente condensadora, de 10 cm. de dist. focal, la L''visor, de 7 cm. de dist. focal, puede ser tambien de 5 cm., será la que nos dará la imagen virtual de la regla milimetrada Rm y de la imagen P. Fig. 4 y 5 -. Estas lentes fueron compradas en una óptica de plaza son de muy buena calidad.

La lente L, fué construida en Montevideo, fué pedida de 4 metros de dist. focal, pero verificada resultó de una distancia de 3.64m. con un error de 2 cm. Para ello usamos el clásico método "objeto imagen" y la fórmula; $\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{F}$

Luego verificamos colocando el objeto en la doble focal, obteniendo la imagen a igual distancia. El error está siempre en los 2 cm. (El objeto utilizado era un filamento rectilíneo incandescente). Hemos leído que con luz de sodio se consigue mayor precisión, nosotros no contamos con ella. El diámetro de la lente es de 7 cm., pero nos conviene diafragmarla para evitar la aberración. Tiempo después compramos la lente Leybold de 5 m. de dist. focal y 10 cm. de diámetro. Controlada la dist. focal nos dió 5.145m ± 2cm.

LA RENDIJA- FOCO P.

La rendija -foco P, fig.-4 y 5- fué resuelta en forma sencilla,

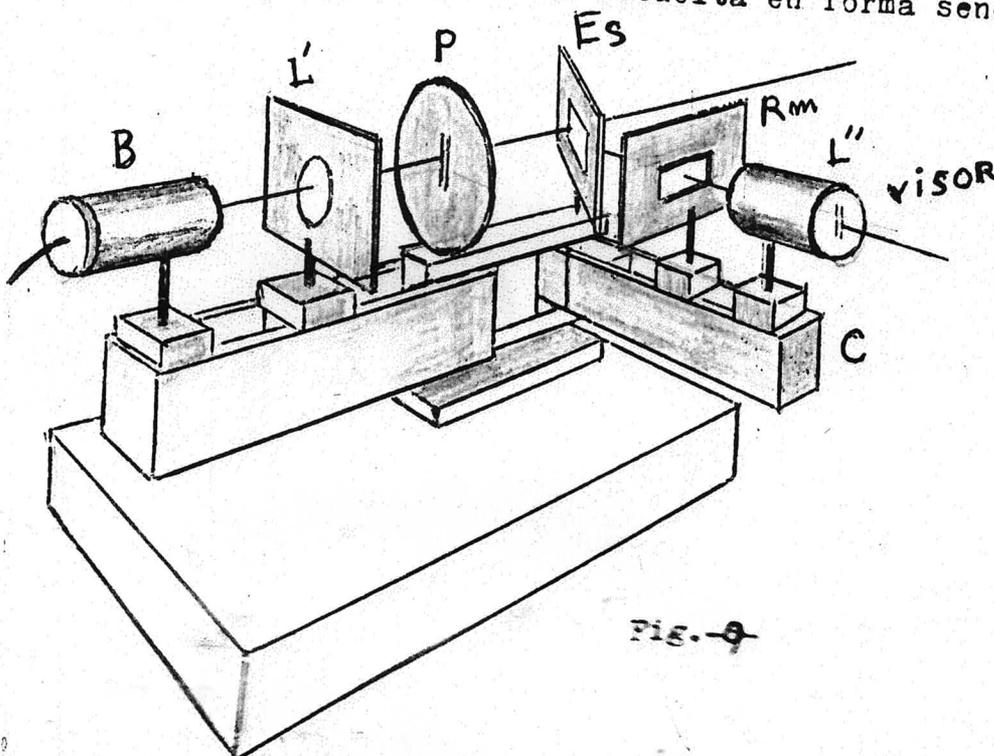


Fig. 9

pero poco tiempo después conseguimos la ranura Leybold P. Fig. 4 y 5, al ser variable facilitó la experiencia. Sus dimensiones son 2.5 cm. por una variación de ancho entre 1.6 mm a 0.1 mm.

REGLA MILIMETRADA

Fuó construida sobre una lámina porta objeto, luego fué sustituida por la regla Leybold.

LA FUENTE LUMINOSA

La lámpara para iluminar la rendija-foco P, es una común de faro de automóvil, utilizando un solo "rulo", el vertical. Es excitada por 6 voltios y 5 Amp. permite una tensión de 8 V. por pocos instantes, sin quemarse. Esto va a significar una mejor visión de la imagen. Tenemos también la lámpara Leybold de 6 V. y 5 A.

La linterna proyectora fué construida sin dificultad.

BANCO OPTICO

Construimos con habilidad de carpinteros el banco que muestra la Fig. 9-. es el banco que utilizamos hoy.

14
La rama C puede girar unos diez grados, teniendo como eje el vástago que soporta el espejo sin azogar Es., esto facilita el enfoque. Como este banco está diseñado solamente para esta experiencia, resulta fácil el armado total. En la Fig.-10- vemos el banco Leybold armado para la experiencia.

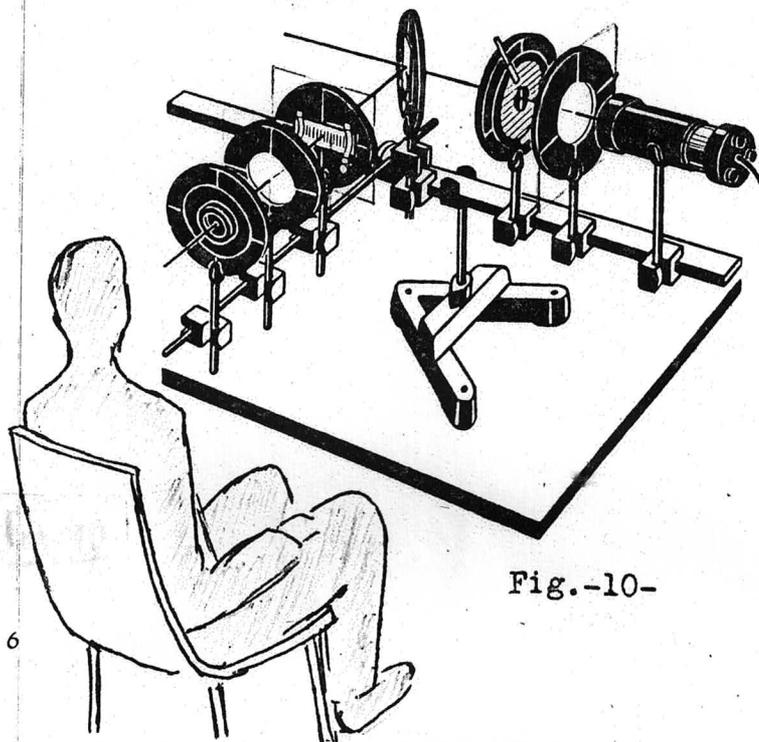


Fig.-10-

La experiencia debe hacerse en recinto cerrado, el haber pretendido eliminar una reflexión, nos hizo trabajar al aire libre pero a pesar que lo hacíamos a la una de la mañana, la movilidad de la imagen hacía imposible la lectura. Movilidad que atribuíamos a la turbina, cuando en realidad era debido a las corrientes de convección. Es decir que para el éxito de la experiencia debemos contar con una temperatura uniforme.

Con la lente de 3.64 m. podemos hacerla en una habitación de 6 m. y con la lente de 5 m. en una de 8 m.

El filamento de la lámpara B. Fig.-4 y 5- debe estar a unos veinte centímetros de la rendija-foco P.

La posición de la lente L', debe ser tal que produzca la imagen del "rulo" de la lámpara, sobre el espejo rotatorio. Desde el espejo ER. el rayo debe dirigirse a la lente L., que se encontrará al lado de la rendija-foco P. (observar Fig.4 y 5).

Si estamos utilizando la lente de 3.64 m., esa debe ser la distancia que existe entre la lente L y la rendija-foco P, del espejo rotatorio ER.-Los rayos deben caer normalmente sobre la lente L. Si la lente L es plano convexa es fácil hacerlo porque la cara curva se comporta como un espejo y devuelve la imagen del espejo ER.

Para esta operación se habrá quitado la rendija-foco P.-Desde el espejo E se hará retornar la imagen I, hacia E', que entonces hará el camino de retorno a través de L, y reflejándose en ER. volverá a P.-Como antes se encuentra con el espejo sin azogar Es., se desvía hacia la rama C, Fig-9-, dándonos una imagen P' sobre la regla milimetrada Rm. Fig-4- donde será observada a través de la lente L''-. Hecho este "grueso" enfoque, se coloca la rendija foco P- y aparecerá sobre E, la imagen I de la rendija de 2.5 cm de largo por 1.6mm de ancho. La imagen debe ser nítida, para observarla usaremos una cartulina que no sea brillante, veremos el grado de nitidez, si no lo fuera lo buscaríamos y allí colocaríamos el espejo E. Al haber movido a éste debemos hacer el enfoque "grueso" nuevamente, sin la ranura P. Colocada nuevamente ésta, a través del visor, que corresponde a la lente L''- observaremos la imagen de I sobre la regla milimetrada, al reducir la rendija-foco a 0.1 mm, deben aparecer dos líneas brillantes debido a las dos reflexiones que produce el espejo sin azogar Es., mientras esto no se produzca no se puede intentar poner en rotación la turbina.

Fig.-11-

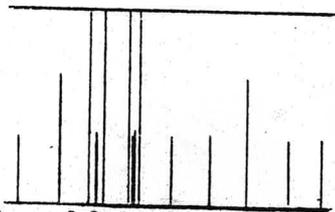
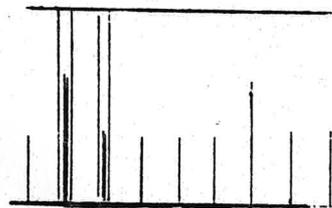


Fig.-12-



Las Fig. 11 y 12 nos muestran como se ven las dos señales. En la primera, antes de ponerse a rotar la turbina y en la 12 cuando llega a las 300 r.p.s. cuando trabajamos con la lente de 3.64 m de dist. Focal.

Nosotros creemos que la mejor manera de hacer la observación es colocar una de las imágenes sobre una de las rayas de la regla milimetrada, Fig-11- y luego observar su tralación hasta la próxima señal .Fig-12-.

Como la imagen es más ancha que la raya la podemos dividir al medio con gran exactitud. Hay quienes recomienda abrir la rendija y dejar entre las dos señales luminosas una raya negra, que se colocará sobre una raya de la regla Rm. Teóricamente parece más correcta, ya que la raya negra puede adelgazarse todo lo que se quiera, pero en la práctica encontramos dificultades.

Cuando la turbina gira la señal pierde intensidad, en ese momento pasamos de 6 voltios a 8, la pupila que se encuentra dilatada ubica la imagen perfectamente. Repetimos que este es uno de los logros que más nos satisfic...

Sobre la turbina colocamos una lámpara de gas de mercurio, que ilumina, únicamente, el espejo rotatorio.

El efecto estroboscópico es sorprendente, esto nos permitió eliminar el sistema de célula fotoeléctrica y osciloscopio.

La luz se "prende y apaga" cien veces por seg., porque nuestra corriente es de 50 ciclos/seg. Luego "detiene" el espejo ER. cada 100 medias vueltas, es decir, cada 50 vueltas.

Quiso la casualidad que las dist. focales de nuestras lentes L, nos diera valores de desviación que coincidían con los milímetros de la regla, esto nos permitió medidas de considerable valor. El medio milímetro también es fácil medir, ya que se coloca la señal luminosa en la mitad de 2 marcas de la regla.

EL COMPRESOR.-

En las primeras experiencias el compresor que movía la turbina era la máquina de vacío Leybold, luego el Sr Gereda, consiguió del taller mecánico un pequeño compresor con mejor resultado. El tiempo para que la turbina levante 300 r.p.s. es de unos 15 seg.

Hemos repetido la operación a realizar en: TRAS LOS PASOS DE MICHELSON, LA EXPERIENCIA y NUESTRA EXPERIENCIA, procurando agregar en cada una de ellas el detalle que facilite su comprensión y luego, realización; hemos sido reiterativos hasta el cansancio del lector.

"Para concluir: elementalizar, analizar, disecar y saber, en cada" "caso, que es lo que conocemos, y, sobretodo, que es lo que igno-" "ramos" (LOEDEL-ENSEÑANZA DE LA FISICA)



Carlos E. Gereda y Julián Aroztegui durante una experiencia.