



15587

MANUAL DE EXPERIMENTOS

MICROONDAS

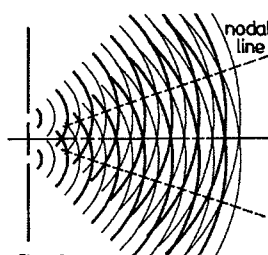
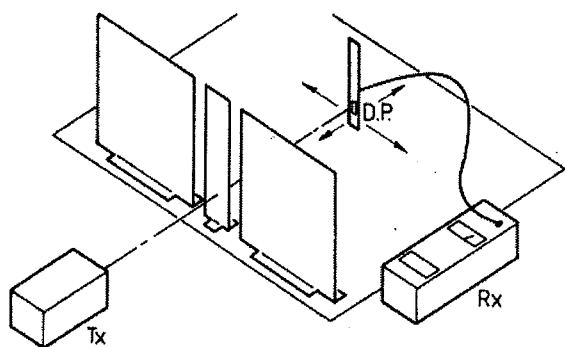
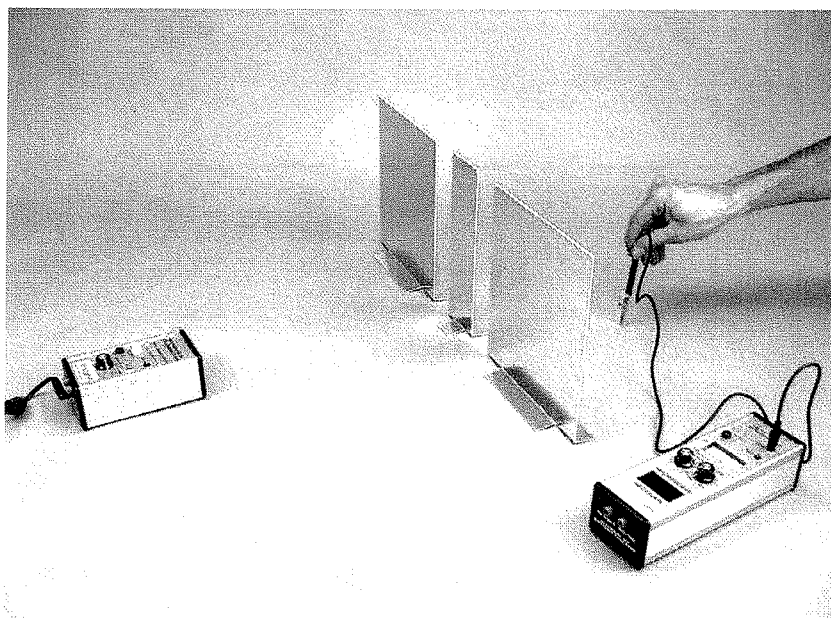


Figure 27a.

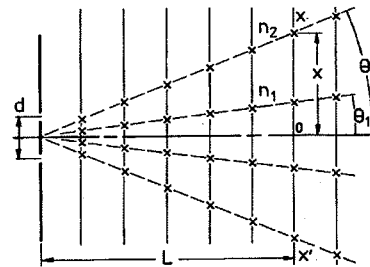
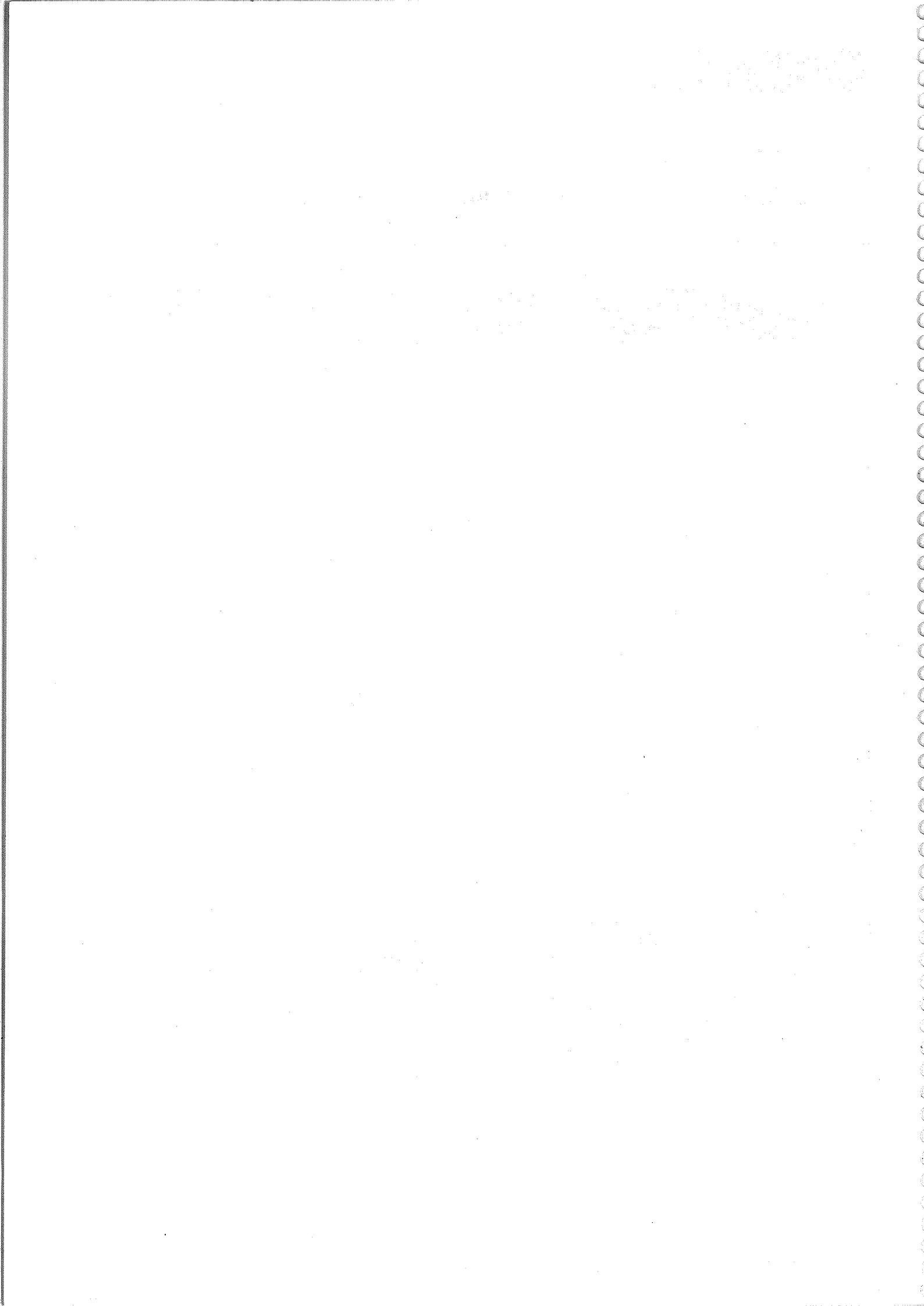


Figure 27

Versión: enero 2010



ÍNDICE

PÁG.

1.- COMPONENTES.....	3
2.- USO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS.....	4
2.1.- TRANSMISOR.....	4
2.2.- RECEPTOR.....	5
3.- INTRODUCCIÓN A LAS MICROONDAS.....	6
4.- ADVERTENCIAS PREVIAS A EXPERIMENTOS.....	9
5.- ÍNDICE DE EXPERIMENTOS.....	10
6- EXPERIMENTOS.....	12

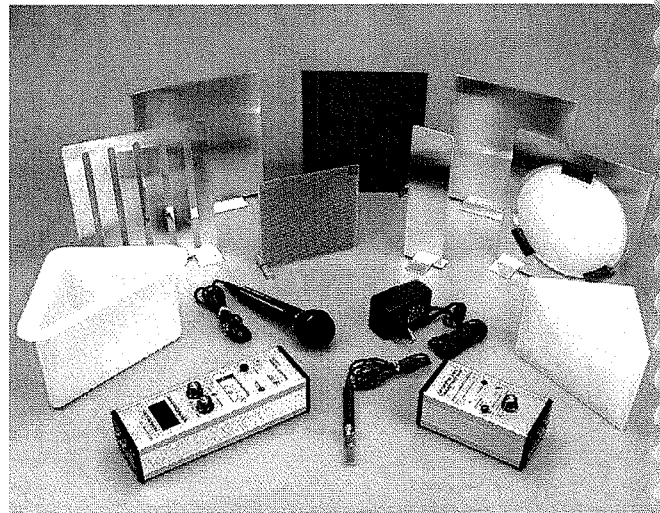


Reservados todos los derechos. Queda prohibida la reproducción total o parcial mediante cualquier sistema del presente manual sin la autorización expresa previa de VENTUS Ciencia Experimental, SL.

1.- COMPONENTES

El equipo de microondas de VENTUS (REF. 15081) se compone de:

- **Transmisor**, TX2, con transmisión de modulación integral y de onda continua. Incluye transmisión de voz.. Tamaño-136x78x70 mm.
- **Receptor**, RX2AS con amplificador de audio integral y medidor analógico de intensidad de señal. Tamaño-213 x 78 x 70 mm.
- **Sonda Diodo** con hilo conductor y enchufe.
- **Micrófono y cable.**
- **Lente de Cera** (cera de parafina) , montada en marco de aluminio.
- **Prisma de Cera** (cera de parafina).
- **Prisma de plástico** (Hueco). Polietileno.
- **Placas reflectoras**-2 grandes. Aluminio.
- **Placa reflectora** -1 pequeña. Aluminio.
- **Red de Difracción.** Aluminio.
- **Rejilla de Polarización.** Fibra de Vidrio
- **Reflector Parcial.** Tabla de cartón piedra.
- **Adaptador a la red** 240/12V.AC.
- **Instrucciones y Manual de Experimentos.**



NOTA: Los embalajes y la espuma protectora se utilizan como soportes para que el transmisor y el receptor se alineen correctamente con la lente de cera y las placas reflectoras.

Ciertas versiones del Sistema de Microondas pueden no contener algunos de los componentes del equipo.

PRECAUCIÓN: el sistema VENTUS emplea un transmisor y un receptor en miniatura a fin de que el equipo sea portátil. La baja potencia de salida (del orden de 10 mW) se considera inofensiva, sin embargo en general debe evitarse mirar hacia el pabellón del transmisor así como enfilarlo directamente hacia los ojos de las personas.

2.- USO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS

2.1 TRANSMISOR

INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO: La corriente se suministra mediante el adaptador a red en la clavija jack existente o bien mediante una fuente de alimentación de baja tensión 12V.AC/DC en los enchufes de 4mm. Se puede utilizar una batería de 9-12Volt garantizando una intensidad de 25mA.

PROTECCIÓN: Se pueden aplicar tensiones de hasta 20 Volt sin causar daños. Si la disipación de corriente llegase a ser excesiva, el regulador interno la cerraría como medida de autoprotección. La corriente se recuperaría automáticamente a medida que se enfríase el regulador.

POSICIONES DEL SELECTOR:

- “OFF” El Transmisor no transmite.
- “CW” Transmite “Onda Continua” (No modulada) de longitud de onda de 2.8 cm.(o frecuencia del orden de 10 000 MhZ ó 10 GHz).Mientras está encendida la unidad una pequeña LED roja indica que la unidad se encuentra transmitiendo.
- “EXT” Una señal de un generador de señal se puede introducir en los enchufes de 4mm para la señal de entrada etiquetados con la expresión “EXTERNAL MOD”. Esta señal modulará la transmisión en pulsos de CW a la frecuencia de la señal aplicada. Si la frecuencia de modulación se encuentra entre 100 y 10 KHz, la transmisión se siente como un sonido audible en el receptor.
- “100kHz”La transmisión se modula mediante un oscilador interno a una frecuencia fija de 100 kHz Este ritmo de pulsaciones se utiliza para el experimento de “ La Velocidad de la Luz”. Además se le puede considerar como un “transportador de la frecuencia” que a su vez puede ser modulado a una frecuencia de audio mas baja (tal frecuencia que pueda ser sentida por el oído humano). La voz puede transmitirse conectando el micrófono en el enchufe “MIC”.
- “1kHz”La transmisión se modula mediante un oscilador interno fijo a una frecuencia de 1kHz. Esta configuración se utiliza para la mayor parte de los experimentos que precisan de la detección auditiva.
- “100Hz” Igual que antes pero a una frecuencia baja de 100Hz.

ENCHUFES:

- “MIC” enchufe en el que se conecta el micrófono de cristal u otra señal de entrada de audio para modular la onda transportadora de 100 kHz.
- “EXTERNAL MOD” enchufes donde llega una señal moduladora externa de una fuente de pulsos o generador de señal para modular directamente la CW (onda continua)

2.2 RECEPTOR

El receptor tiene una batería de pila seca (9V tipo 216) y es portátil. El receptor puede también funcionar con el adaptador de 12V.AC/DC a la red ó con una fuente de alimentación de baja tensión a 12V. AC/DC. El receptor incluye 4 x niveles de amplificación adecuados para distintas distancias de transmisión, dependiendo del experimento que se esté llevando a cabo. La intensidad de la recepción se indica en el medidor en una escala de cero a diez. La modulación de Audio se detecta por medio del amplificador y el altavoz. No se precisan ni equipos auxiliares ni hilos conductores de interconexión.

POSICIONES DEL SELECTOR:

- “OFF”
- “PRUEBA DE LA BATERIA” Si la batería está en funcionamiento la pequeña luz “BATT. TEST” se encenderá . En caso que la batería esté descargada , cambiarla(9V tipo 216) o utilizar una fuente de alimentación alternativa.
- ”GANANCIA1-4” Seleccionar el nivel de ganancia adecuado para obtener una lectura en la zona intermedia de la escala del medidor durante un experimento.
- “CONTROL DEL VOLUMEN” Cuando la señal se modula de manera que pueda oírse, ajustar al volumen deseado de recepción de audio. La sensibilidad del audio varía con la ganancia.

ENCHUFES:

- “SALIDA”. La señal recibida se puede suministrar a un osciloscopio o a otro dispositivo.
- “SONDA DIODO” Cuando la Sonda Diodo está conectada, el receptor del pabellón está aislado y la recepción indicada en el receptor se debe únicamente a la Sonda Diodo. En algunos experimentos en los que hay que localizar puntos nodales u ondas estacionarias etc, la sonda **omnidireccional** es mas adecuada para la detección que el pabellón receptor direccional.

Si fuese necesaria alguna reparación devuelva el equipo a su proveedor.

3.- INTRODUCCIÓN A LAS MICROONDAS

Las ondas electromagnéticas nos rodean continuamente. Muchas se producen de forma natural y otras muchas las produce el hombre. Su naturaleza y comportamiento son muy similares, siendo la frecuencia de cada una lo que más las diferencia, esto es, el número de veces por segundo en que la amplitud máxima o mínima de la onda tenga lugar. La longitud de onda es la distancia entre dos máximos ó mínimos consecutivos, por tanto, a mayor frecuencia, menor longitud de onda y por tanto a menor frecuencia, mayor será la longitud de onda.

Para una mejor comprensión de la parte del espectro electromagnético en la que se encuentran las microondas, estudie la siguiente tabla.

Tipo de Onda Electromagnética	Región del Espectro	Frecuencia Hz	Longitud de onda	Unidad
Frecuencia muy baja		10	3×10^7	metros
Transmisión de potencia normal	Audio	50	6×10^6	metros
Frecuencias Audibles		100 - 20 000	3×10^6	metros
Radio		$10^4 - 10^8$	$3 \times 10^4 - 3$	metros
Televisión	Radio	$10^8 - 10^9$	3 - 0.3	metros
Radar		$10^9 - 10^{10}$	30 - 3	centímetros
Microondas		$10^{10} - 10^{12}$	3 - 0.03	centímetros
Infrarrojo		10^{13}	30	micrómetros
Luz Visible	Óptica	$4 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$	750 - 400	nanómetros
Ultravioleta		10^{15}	300	nanómetros
Rayos X	Rayo ó Partícula	10^{18}	300	picómetros
Rayos Gamma		10^{20}	3	picómetros
Rayos Cósmicos		10^{24}	0.3	femtómetros

Centímetros 10^{-2} m Milímetros 10^{-3} m Micrómetros 10^{-6} m Nanómetros 10^{-9} m
 Picómetros 10^{-12} m Femtómetros 10^{-15} m

¿POR QUÉ UTILIZAR MICROONDAS EN CLASE?

En el estudio de la luz y de los fenómenos relacionados con la luz en Óptica, tradicionalmente se ha utilizado un equipo frágil y caro, las medidas son de pequeña magnitud, las observaciones son microscópicas, con frecuencia la fuente luminosa tiene que ser monocromática, solamente puede montarse con facilidad un experimento, siendo escasa la participación de los alumnos y empleándose un tiempo considerable.

La causa de la pequeña magnitud en las medidas es la alta frecuencia de la luz. Si en cambio se pudiera emplear una "LUZ DE BAJA FRECUENCIA" los efectos dimensionales aumentarían notablemente.

Con una frecuencia de microondas de 10^{10} Hz de unos 2.8 cm de longitud de onda, las desviaciones con difracción de ranura y arista y la medida de la longitud de onda, etc son unas 50 000 veces más grandes que las correspondientes a la luz puesto que la frecuencia es $1/50\ 000$ la de la luz visible.

Además el haz de microondas está perfectamente polarizado y tiene una frecuencia y longitud de onda exacta. De hecho disponemos de un "LASER DE BAJA FRECUENCIA" con el que trabajar. La luz visible no es coherente, no está polarizada y tiene frecuencia y longitud de onda aleatorias.

La intensidad de la "luz" se puede ver y medir cuantitativamente con facilidad con un medidor, de hecho, toda la clase puede "verlo" simultáneamente.

Mediante otra técnica, la presencia de esta "luz" puede ser oída por los alumnos.

Las medidas se toman mediante sencillos transportadores y reglas métricas. Estas ventajas hacen de las microondas el instrumento didáctico ideal para muchos conceptos de óptica difíciles de comprender tales como la difracción, los filmes finos, interferencia, velocidad de la luz, lentes de Fresnel, etc.

Además de la óptica, las microondas introducen al alumno a los fundamentos del Radar, efecto Doppler, transmisión de radio y muchos otros fenómenos. El profesor o los alumnos pueden construir otros dispositivos adicionales a partir de placas metálicas, papel de aluminio, tabla de fibra y otros materiales sencillos a fin de ampliar más aún el uso de microondas.

Este manual ha sido diseñado para ser usado por el alumno y el profesor a fin de introducir el experimento, como ayuda para su realización y para observar y documentar los resultados. El manual propone cuestiones incitando al alumno a razonar y así comprender.

El dispositivo de microondas VENTUS está diseñado para uso directo por parte de los alumnos y es de pequeño tamaño y adecuado de manera que la atención pueda centrarse en el experimento y en los resultados. En la mayor parte de los experimentos no se precisa de equipo adicional y no se pierde tiempo interconectando los distintos aparatos de medida.

¿CÓMO FUNCIONA?

Durante muchos años se han generado microondas mediante dispositivos electrónicos y el hombre ha mejorado los métodos para su generación con mejoras en la tecnología.

El funcionamiento es muy sencillo, el transmisor contiene una cavidad metálica en la que está instalado el dispositivo generatriz. Cuando se suministra corriente al dispositivo, la corriente eléctrica oscila de forma natural hacia delante y hacia atrás en el dispositivo causando cambios repetitivos en el potencial eléctrico. Las dimensiones de la cavidad son tales que ésta es "resonante" en esta frecuencia y se emiten o radian en la misma frecuencia paquetes de energía desde un extremo de la cavidad.

A fin de adecuar la cavidad fija resonante al entorno y aún así conservar resonancia completa, existe un pabellón, también de dimensiones especiales, de manera que los paquetes de energía se envían a la atmósfera en la dirección en la que apunta el pabellón.

Una vez en el aire, continúan desplazándose a la velocidad de la luz hasta disiparse por pérdidas o absorción. El transmisor se abrevia por "Tx".

La detección de esta corriente de paquetes repetitivos de energía la realiza un receptor ("Rx").

Este también dispone de un pabellón que recoge la radiación y la canaliza hacia una cavidad resonante de adaptación en la que está instalado un diodo detector "dipolo" sintonizado que entra en resonancia a la frecuencia de la energía radiada. Este receptor es direccional, es decir, recibe energía en la dirección en que está apuntando.

Otro receptor es la "Sonda" o simple diodo sin pabellón. No es tan sensitiva puesto que la energía no es conducida hacia una cavidad resonante mediante un pabellón, sino que es omnidireccional, es decir, responde a energía procedente de todas las direcciones. Este receptor tiene una utilidad especial en ciertos experimentos.

SEGURIDAD

La penetración de energía de microondas en la materia orgánica produce calor al agitar la estructura molecular. Por lo tanto, la aplicación de excesiva energía de microondas puede destruir tejidos.

El rendimiento del transmisor de microondas VENTUS es aproximadamente de 10mW por lo que es muy seguro al usarlo, sin embargo para garantizar seguridad absoluta EL TRANSMISOR EN FUNCIONAMIENTO NO DEBE APUNTARSE DIRECTAMENTE HACIA LOS OJOS A CORTAS DISTANCIAS.

Recuerde también que una lente concentrará la energía de microondas sobre un área pequeña a la distancia focal, por tanto en general no sitúe los ojos en la trayectoria de las microondas en el experimento en el que se usen lentes.

4.- ADVERTENCIAS PREVIAS A EXPERIMENTOS

- Bajo algunas circunstancias el movimiento de personas y objetos alrededor de la habitación podría variar la señal detectada en el receptor debido a las señales reflejadas en o fuera de fase que llegan a dicho receptor.
- Podría ser necesario elevar el Tx y el Rx por encima de la superficie de la mesa unos pocos centímetros para alinearlos con los centros de las lentes, prismas, etc. Tener precaución para evitar reflexiones indeseadas de la superficie de la mesa.
- Para conseguir la altura correcta por encima de la mesa, Tx y Rx pueden ser posicionados en los bloques de poliespan suministrados.
- Para conseguir una correcta alineación de Tx y Rx, usar una regla puesta a lo largo de un lateral de los mismos. Esta regla será muy útil para marcar distancias precisas entre aparatos.
- Las placas pueden ser usadas para separar Tx y Rx cuando se sitúen de forma adyacente uno cercano al otro para evitar la transmisión de señal no deseada entre ambos.
- El medidor de Rx cuando actúa con grandes ganancias no necesariamente tiene que marcar cero cuando la señal sea cero. Usar la medida más pequeña como el nivel cero de recepción.
- Cuando se selecciona la modulación en Tx a 100 Hz o 1 KHz, la detección de audio puede ser usada junto con la medición de intensidad durante todos los experimentos.
- Si sólo se desea la medición de la intensidad de la señal, entonces la selección de la opción "CW" en el Tx nos dará un poco más de precisión que la opción de modulación, aunque ambas opciones son satisfactorias.
- Rx tiene una batería interna de 9V para permitir una alta portabilidad. No olvidar apagar el receptor después de su uso. Si la batería se acaba, Rx puede ser alimentado a través de un adaptador a 220VCA / 12VCC o mediante el uso de una fuente de alimentación de laboratorio de 12V CC o CA mediante cables con bananas de 4mm. Cambiar la batería cuando se prefiera trabajar sin cables por el medio.
- La combinación del receptor junto con la sonda de diodo puede ser usado junto con otro tipo de transmisor de 3cm
- Para reducir la energía transmitida por el Tx en algunos experimentos con lentes, se puede colocar un paño húmedo cubriendo la salida del transmisor para que actúe como un absorbedor parcial.

5.- ÍNDICE DE EXPERIMENTOS

1. NATURALEZA DE LA RADIACIÓN
 - a. Investigación de la Polarización
 - b. Investigación de la Polarización
 - c. Investigación de la Polarización
 - d. destrucción de Polarización
2. INVESTIGACIÓN DE LA DIMENSIÓN ESPACIAL DE LA RADIACIÓN E-M
3. NATURALEZA DE DISTINTOS MEDIOS EN LA TRAYECTORIA DE MICROONDAS.
 - a. Transmisión
 - b. Reflexión
 - c. Transmisión y Reflexión Parcial
4. LEYES DE LA REFLEXIÓN
 - a,b. Superficies Planas
 - c. Superficies curvadas externamente
 - d. Superficies curvadas internamente
 - e. Superficies parabólicas
5. MICROONDAS UTILIZADAS COMO RADAR
6. MEDIDA DE LA LONGITUD DE ONDA MEDIANTE ONDAS ESTACIONARIAS.
7. DIFRACCIÓN DE ONDAS EN TORNO A LAS ARISTAS DE OBJETOS
8. DIFRACCIÓN DE ONDAS ENTORNO A OBJETOS
9. DIFRACCIÓN A TRAVÉS DE UNA RANURA SIMPLE
10. DIFRACCIÓN A TRAVÉS DE UNA RANURA DOBLE Y FIGURA DE INTERFERENCIA PRODUCIDA
11. DIFRACCIÓN A TRAVÉS DE RANURAS MÚLTIPLES O RED DE DIFRACCIÓN
12. REFRACCIÓN DE ONDAS
 - a. A través de sólidos (Prisma) y Velocidad a través de un medio.
 - b. A través de líquidos (en Prisma)
 - c. A través de Lente Plano-Convexa
13. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (MEDIANTE EL ÁNGULO DE DESVIACIÓN MÍNIMA)
14. REFLEXIÓN INTERNA TOTAL
 - a. En una interfase
 - b. En dos interfases
15. EXPERIMENTO DEL ESPEJO DE LLOYD PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA
16. INTERFERÓMETRO DE MICHELSON
 - a. Medida de la longitud de onda ó distancia
 - b. Medida del Índice de Refracción (ó espesor) de un material de muestra.
17. INTERFERENCIA EN FILM FINO

EXPERIMENTOS QUE PRECISAN DE DISPOSITIVOS ADICIONALES

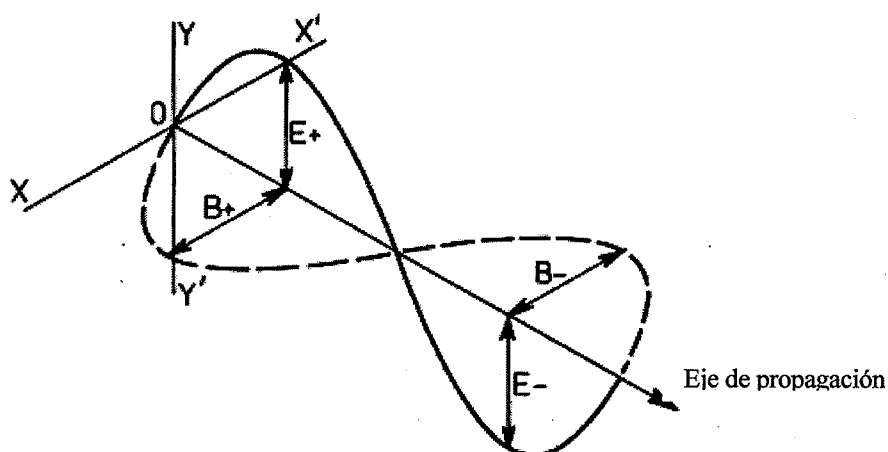
18. EFECTO DOPPLER. MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE UN OBJETO
19. REFRACCIÓN DE BRAGG
20. PLACAS ZONALES DE FRESNEL. FENÓMENO DE DIFRACCIÓN FRESNEL
21. MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA RADIACIÓN E-M.
22. ROTACIÓN DEL PLANO DE POLARIZACIÓN
23. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN EN UN DIELECTRICO

6.- EXPERIMENTOS

1.- NATURALEZA DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

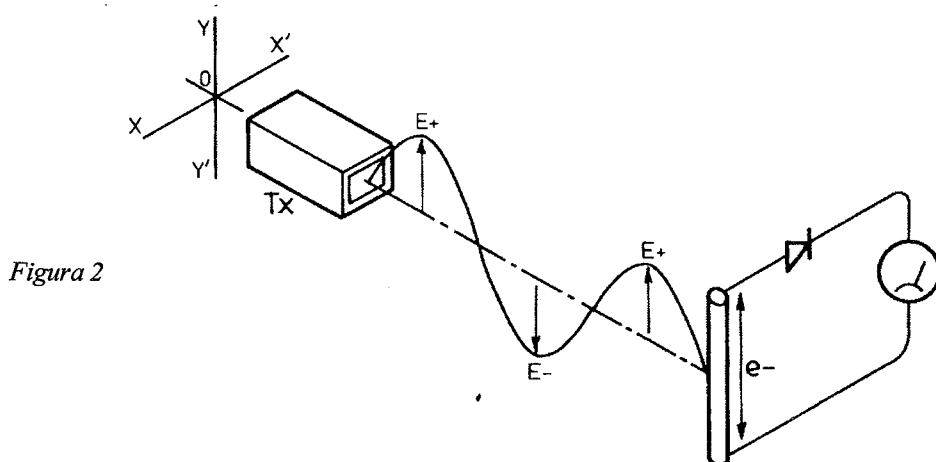
La radiación electromagnética se produce cuando una carga eléctrica en una superficie radiante cambia rápidamente su potencial. La radiación consiste en un campo eléctrico, que repele cargas positivas y atrae cargas negativas, según pasa cerca de ellas. El campo eléctrico es perpendicular a la dirección del eje de propagación y viene acompañado de un campo magnético en dirección perpendicular a las dos direcciones anteriormente descritas.

Esquemáticamente las direcciones son:



La mayor parte de las radiaciones electromagnéticas consisten en numerosos pulsos como el representado arriba, pero con sus campos "E" y "B" orientados en numerosas direcciones además de las arriba indicadas "E" vertical y "B" horizontal. Esas radiaciones orientadas aleatoriamente se denominan "NO POLARIZADAS".

La radiación del TRANSMISOR DE MICROONDAS VENTUS (Tx) (al reposar sobre sus cuatro patas con el eje mayor del pabellón de transmisión en posición horizontal) tiene todo su campo eléctrico orientado verticalmente (como en el diagrama de arriba). Esto significa que cuando este campo se acerca a una barra metálica orientada verticalmente el efecto sobre los electrones "libres" de la barra es sufrir una fuerza vertical oscilatoria, de manera que se desplazan periódicamente de arriba a bajo de la barra. Esta oscilación se puede detectar como una corriente en la barra - Ver Figura 2.



Si la barra metálica se coloca en dirección transversal en ángulos rectos respecto al campo eléctrico, los electrones oscilarán de nuevo verticalmente de arriba a bajo, pero transversalmente en la barra y no longitudinalmente, siendo esta oscilación difícil de detectar como corriente. Ver figura 3.

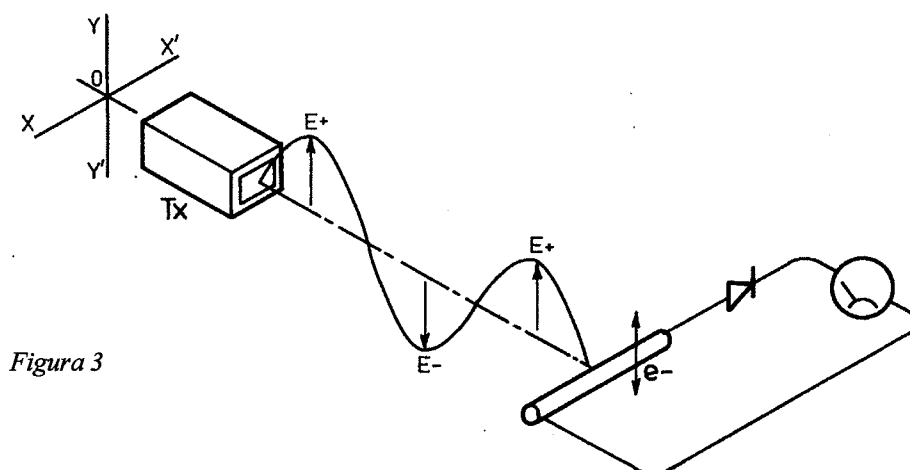


Figura 3

Esta clase de radiación electromagnética se denomina POLARIZADA. En la práctica significa que el detector para tal radiación (en este caso, la barra metálica) debe alinearse en la dirección correcta para que detecte la presencia de dicha radiación.

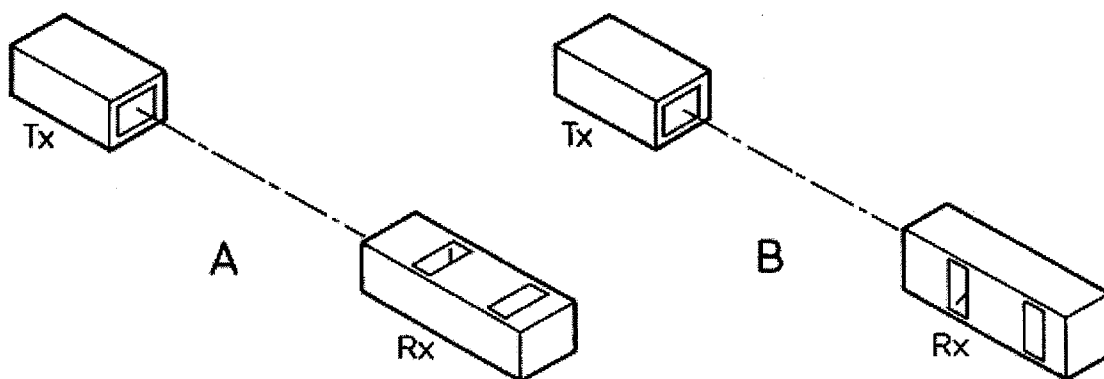
Cuando el diodo detector se sitúa en el plano horizontal, la pequeña detección que entonces se aprecia es debida a las cortas tiras metálicas a las cuales está soldado el diodo detector. Si no se dispusiese de dichas tiras, la detección sería cero.

De forma similar, si un bucle de cable se utiliza para detectar la presencia de un campo magnético oscilatorio en el plano horizontal, el bucle tendrá que orientarse en el plano correcto. El campo magnético tiene que atravesar correctamente el bucle a fin de producir una corriente eléctrica detectable por un medidor..

1a - INVESTIGACIÓN DE LA POLARIZACIÓN

Situar el TRANSMISOR- Tx (dispuesto al modo de Onda Continua "CW") y el RECEPTOR- Rx sobre la mesa de trabajo en sus posiciones normales (con el eje mayor de sus pabellones horizontal) y el uno frente al otro a una distancia de un metro aproximadamente. Posición A en Figura 4

Figura 4



- Rotar 90° el Rx en torno a su eje longitudinal hasta que el eje mayor de la embocadura de su pabellón esté vertical. Ver posición "B" arriba.
- Percibir el efecto de esta rotación en la intensidad de recepción.
- Rotar 90° el Tx de forma similar hasta que la embocadura de su pabellón esté también vertical. Percibir el efecto de esta rotación en el nivel de recepción.

1b – INVESTIGACIÓN DE LA POLARIZACIÓN

- Situar el Tx y el Rx de nuevo en sus posiciones originales.
- Situar la RED DE POLARIZACIÓN a mitad de camino entre ellos, con sus tiras verticales.
- Perciba el efecto de la RED en el nivel de recepción
- Manteniendo la RED en su plano vertical, girarla lentamente hasta 90° entorno al eje de propagación, hasta que sus tiras estén horizontales.
- Perciba el efecto de esta rotación en el nivel de recepción.

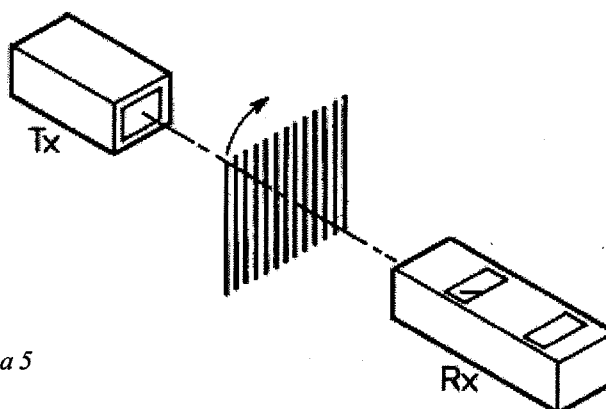


Figura 5

La explicación del efecto de la RED DE POLARIZACIÓN es la siguiente. Cuando las tiras están verticales los electrones en ellas oscilan libremente (en su mayor parte en la superficie de las tiras frente al Tx). Este es el llamado "efecto piel" de la corriente eléctrica de alta frecuencia). Al oscilar de este modo producen una radiación E-M que vuelve hacia el transmisor, anulándola en lo que respecta al Rx. Cuando las tiras de la RED están horizontales los electrones tienen limitada la amplitud de su oscilación a causa de la estrecha anchura de las tiras y por tanto no se produce una re-radiación apreciable que anule la radiación original. Una gran parte de la energía se transmite a través de la placa y se detecta en el receptor.

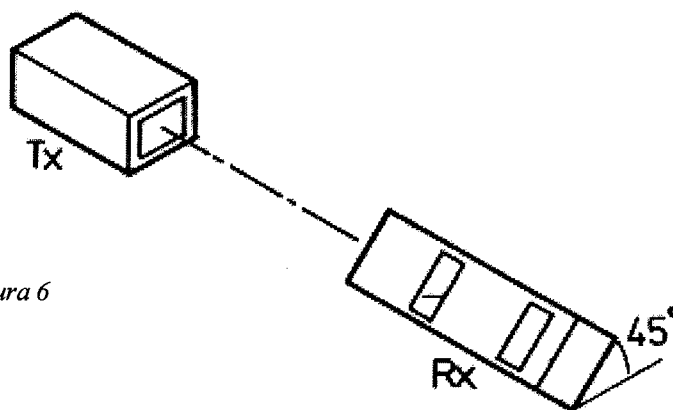


Figura 6

1c - INVESTIGACIÓN DE LA POLARIZACIÓN

- Inclinar el Rx girándolo 45° sobre el eje de propagación.
- Situar la RED DE POLARIZACIÓN a mitad de camino entre el Tx y el Rx, con sus tiras verticales, y entonces girarla entorno al eje de propagación, hasta que sus barras estén finalmente horizontales.
- Perciba y explique el efecto de esta rotación en la intensidad de recepción. Ver Figura 6.

1d - DESTRUCCIÓN DE LA POLARIZACIÓN

- Inclinar 45° el Tx sobre su eje de propagación y reflejar la señal en un ángulo de incidencia de 45° mediante una placa metálica vertical.
- Situar la red de polarización con sus tiras verticales frente a la placa reflectora y a unos 11 mm frente a ella.
- Girar el Rx en torno al eje de propagación (recepción) y se encontrará que en este caso no hay posición de recepción máxima ó mínima, esto es, no hay polarización en el haz reflejado.

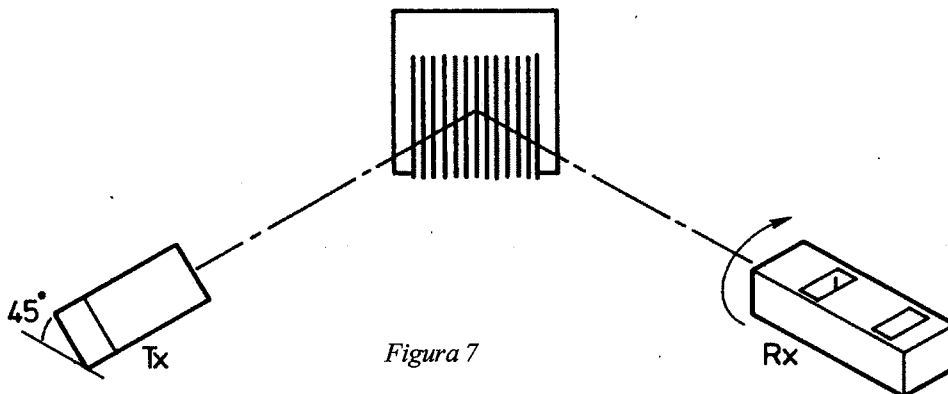


Figura 7

Se dice que el haz está "POLARIZADO CIRCULARMENTE" y es análogo a la luz ordinaria la cual es no polarizada, a diferencia de la luz polarizada producida al

- hacer que la luz atraviese determinados cristales ó film polaroid.
- Reflejar luz (ó haciéndola atravesar con un cierto ángulo) con una pila de placas de cristal. (Toda luz reflejada está parcialmente polarizada y el uso de lentes polaroid en gafas de sol contribuye a reducir el "resplandor" al no transmitir esta porción polarizada de la luz).

EXPLICACIÓN

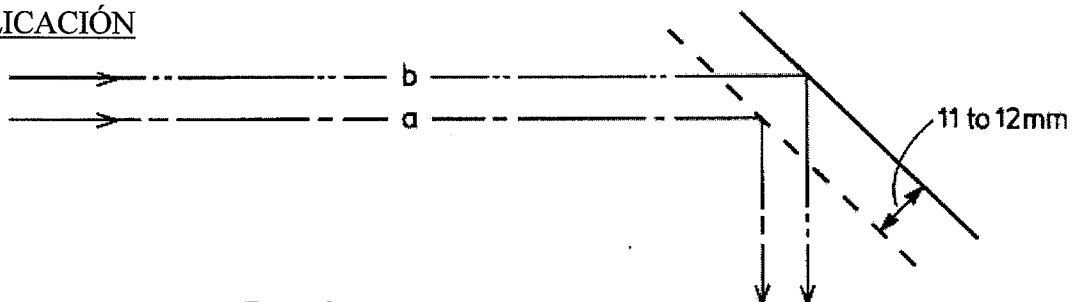


Figura 8

Los rayos del tipo "a" en el diagrama de arriba vuelven reflejados a causa de las tiras de la red con campo eléctrico horizontal pequeño (como se muestra en el EXPERIMENTO 1c)

Los rayos del tipo "b" que pasan a través de la red tienen un campo eléctrico disminuido debido a la orientación del Tx y el reflector .

Habiendo viajado una distancia extra que es

$$2 \times (11 \text{ mm} + \text{ESPESOR DE LA RED}) \times 1.414$$

Esto será aproximadamente 3.5 cm, lo cual es $1+1/4$ longitudes de onda de 2.8 cm

De manera que los dos rayos reflejados vuelven con planos de polarización cruzados en ángulo recto y desfasados en $1/4$ de longitud de onda.

De este modo el Rx no encuentra ningún plano de polarización específico a causa de que en cada ciclo de onda sufre cambios de polarización desde

ARRIBA a DERECHA a BAJO a IZQUIERDA y así sucesivamente.

Por eso se dice que está CIRCULARMENTE POLARIZADO.

Si Usted encuentra que el Rx indica, mediante fluctuaciones máximas ó mínimas de la intensidad de recepción, que el haz reflejado presenta cierto plano residual de polarización, entonces ajuste la distancia entre la placa y la red para asegurar que la diferencia de $1+1/4$ de longitud de onda entre distancias recorridas es exacta.

NOTA IMPORTANTE: PUESTO QUE EL MOVIMIENTO DE ELECTRONES EN OBJETOS METÁLICOS EN LA ZONA AFECTADA POR LA RADIACIÓN E-M PUEDE ORIGINAR RE-RADIACIONES SECUNDARIAS, TODOS LOS EXPERIMENTOS DEBEN LLEVARSE A CABO LEJOS DE OBJETOS METÁLICOS.

Experimento 2- INVESTIGACIÓN DE LAS DIMENSIONES ESPACIALES DE LA RADIACIÓN E-M

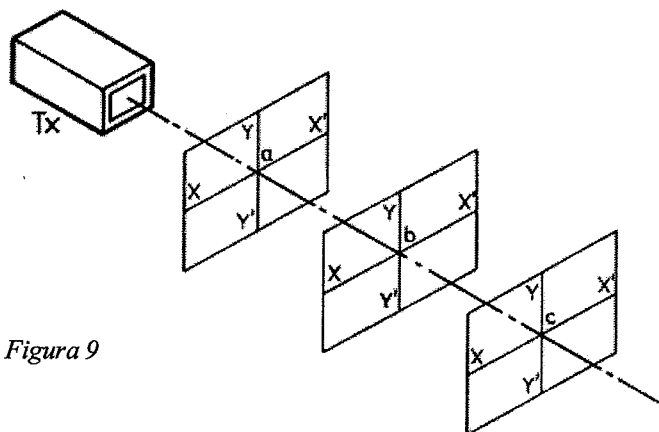


Figura 9

- Utilizando el Tx en su modo "CW" y la SONDA -DIODO, con el Rx dispuesto en la mejor ganancia como detector medidor, establecer y anotar la intensidad de recepción en una serie de posiciones "a", "b", "c", "d", etc, separadas cada 20 cm (ó 25 ó 30cm). Ver figura 9.
- ¿A qué distancia del Tx se registra un máximo en la recepción?
- ¿Cuánto es preciso alejarse del Tx a lo largo del eje de propagación para reducir el nivel al 50% ó al 25% del máximo?

- Ahora en la posición "a", moviendo la SONDA -DIODO detectora en un plano vertical perpendicular al eje de propagación. Averiguar la distancia a lo largo de los ejes xax' y yay' a la que debe moverse la sonda para reducir el nivel de recepción al 50% y al 25% del obtenido en "a".
- Repetir lo anterior para las posiciones "b", "c", "d", etc.
- A partir de sus observaciones, elabore una representación longitudinal, y una serie de representaciones transversales para el carácter espacial de la radiación.

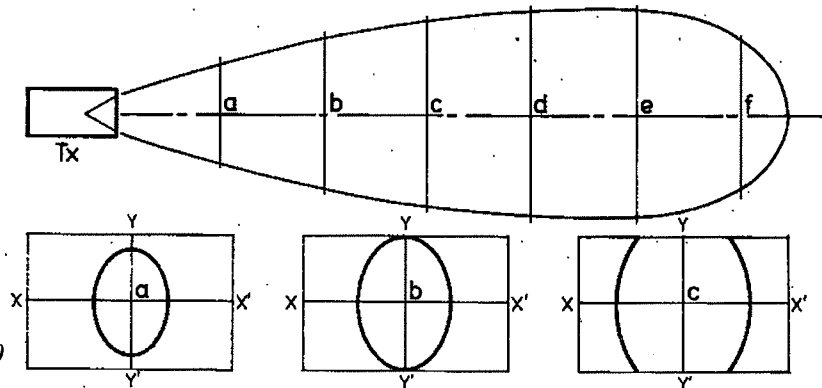


Figura 10

OTRAS INVESTIGACIONES

- Disponer el detector Rx en una mayor sensibilidad de Ganancia, y explorar la extensión espacial del haz radiado.
- Continuar la exploración utilizando el nivel mas alto de ganancia (sensitividad de recepción mas alta).

NOTA: El conocimiento del carácter espacial del haz de radiación electromagnética le aportará a usted una mejor valoración de las limitaciones del equipo, así como le facilitará la interpretación de las observaciones obtenidas en los experimentos.

Posteriores experimentos sobre los efectos de las rendijas ANCHAS y ESTRECHAS en la DIFRACCIÓN de ondas E-M le ayudarán a usted a comprender porque la sección transversal vertical del campo "E" es un óvalo, con su eje mayor vertical (en la dirección del eje menor del pabellón de propagación) y su eje menor horizontal (en la dirección del eje mayor del pabellón de propagación).

Experimento 3- NATURALEZA DE DISTINTOS MEDIOS EN LA TRAYECTORIA DE LAS MICROONDAS

3a - TRANSMISIÓN

- Situar el Tx y el Rx uno frente al otro en sus posiciones normales y separados 1m. El Tx en el modo "C.W." y el Rx con el medidor de intensidad de señal en funcionamiento.

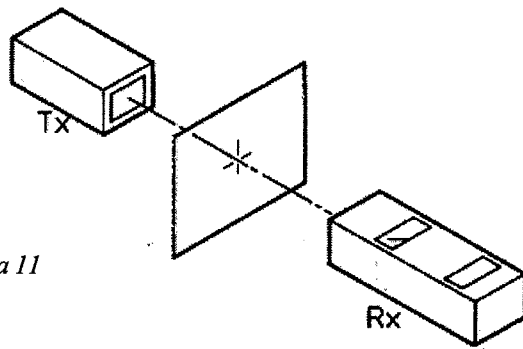


Figura 11

Ahora sitúe entre el Tx y el Rx , en un plano perpendicular al eje de propagación, una serie de pantallas de al menos 50 cm^2) de diferentes materiales tales como:

- . Perspex
- . Papel (de periódico y otros)
- . Chapa de madera
- . Tabla de fibra
- . Vidrio de diferentes grosores
- . Espuma de poliestireno
- . Celuloide
- . Cartón (liso u ondulado)
- . Papel de aluminio
- . Chapa de estaño o aluminio
- . Tejidos textiles (lana ,algodón, nylon, terileno, etc.)
- . Gomaespuma
- . Algodón (Compresas de distintos espesores)
- . Lámina de cartón pintada bien con pintura de aluminio conductor ó bien con "aquadag" (polvo de grafito lubricante mezclado en una pasta acuosa del tipo "Clag" "Aquadhere".

Si la muestra de material es más pequeña de 50 cm^2 puede entonces ser situada mas cerca del Tx ó del Rx de forma que cubra de manera efectiva la transmisión ó la recepción.

Anote en una tabla la intensidad de las señales recibidas.

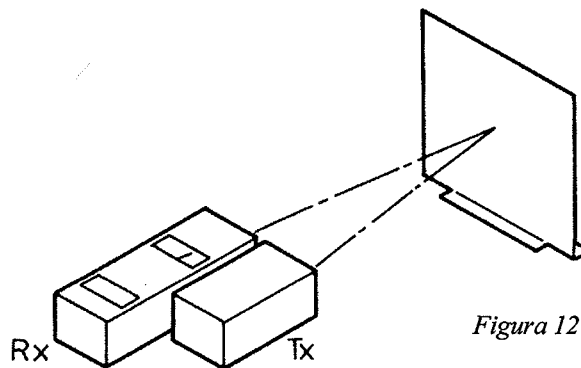


Figura 12

3b REFLEXIÓN

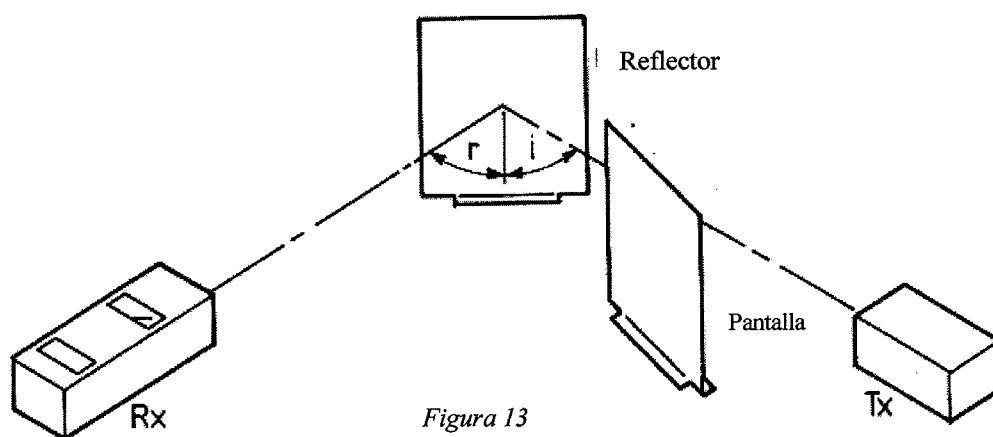
- Situar el Tx y el Rx el uno junto al otro con sus pabellones mirando en la misma dirección.
Ver figura 12.
- Situar frente a ellos los distintos materiales a una distancia adecuada de acuerdo con el tamaño de la muestra que se utilice.
- Perciba y anote en la misma tabla la intensidad, si la hubiera, del haz reflejado.
- Qué materiales son completamente transparentes a la radiación E-M?
- Qué materiales reflejan totalmente la radiación E-M?
- Qué materiales son en parte transparentes y en parte reflectivos a la radiación E-M?

Los materiales de esta última clase se conocen como “REFLECTORES PARCIALES” (similares a un reflector semiplateado) y se utilizarán en experimentos posteriores de INTERFERÓMETRO.

Experimento 4-LAS LEYES DE LA REFLEXIÓN

4a SUPERFICIES PLANAS. Disponer el Tx (en el modo CW) y el Rx utilizando medidor de intensidad de señal, como en el esquema de abajo, con una pantalla metálica vertical situada entre ellos a fin de evitar transmisión directa alguna entre ellos. Ver figura 13.

- Alinear los ejes de propagación y recepción de manera que se junten a unos 50 cm de cada pabellón.
- En un papel blanco fijado a la mesa, trazar (por ejemplo en rojo) los ejes de propagación y recepción.
- En el punto de intersección de estas líneas situar una pantalla metálica de pie y perpendicular a la mesa.
- Girar esta pantalla sobre un eje vertical que pase por el punto de intersección de los ejes hasta que la recepción sea máxima.
- Marcar en el papel sobre la mesa la posición del plano de esta pantalla metálica reflectora. Trazar una perpendicular a esta línea que representa el plano reflectante en el punto de la intersección de los ejes.
- Medir los ángulos de incidencia y de reflexión “i” y “r”.



- ¿Es “i” igual a “r”?

4b SUPERFICIES PLANAS. Variar la posición del Rx y la dirección de su eje de recepción y repetir el experimento, utilizando un lápiz azul para señalar la posición de los ejes de transmisión y recepción y el plano del reflector.

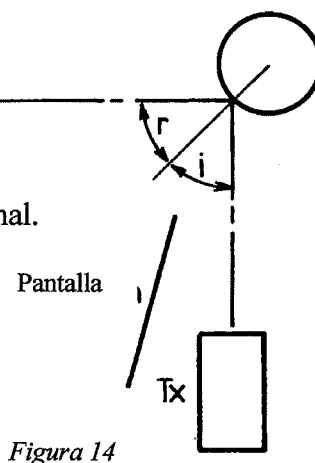
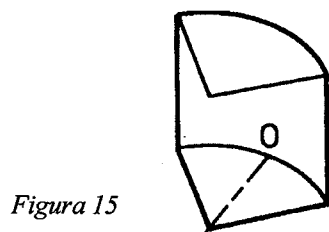
- Medir los ángulos “i” y “r”. ¿Es “i” igual a “r”?

4c SUPERFICIES CURVAS EXTERNAMENTE. Utilizar una lata cilíndrica (de unos dos ó tres litros) ó un cilindro de cartón ó madera

forrado de papel de aluminio como reflector. Marcar la propagación y la recepción (por ejemplo en verde). Encontrar el centro de curvatura de la curva, trazar un radio al punto de reflexión y prolongarlo mas allá de la curva. Esta línea es la “normal” a la superficie curvada.

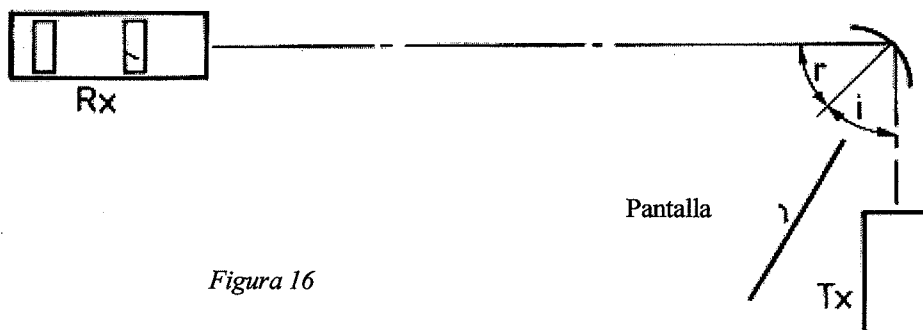


- Medir los ángulos “i” y “r” entre los ejes y la normal.



4d. SUPERFICIES CURVAS INTERNAMENTE. Cortar un cuadrante de una lata cilíndrica.

- Con el eje del cilindro en posición vertical, situar el reflector con el punto “O” en la intersección de los ejes de propagación y recepción.



- Girar el reflector sobre la línea vertical que pasa por “O” hasta que se consiga la intensidad máxima de recepción.
- Anotar la posición de los ejes y la de la superficie curvada.
- Localizar el centro de curvatura de la superficie reflectora. Trazar el radio desde el centro de curvatura al punto de reflexión. Este radio es la “normal” a la curva.
- Medir los ángulos “i” y “r” entre los ejes y la normal. ¿Es “i” igual a “r”?

4e SUPERFICIES PARABÓLICAS. Forrar con papel de aluminio un trozo de cartulina de unos 30 cm por 20 cm.

- Utilizando una gráfica de $y = (x^2)/3$ ó $y = (x^2)/4$, doble la cartulina en forma de curva parabólica con los 30 cm de longitud a lo largo de la parábola. Si fuera posible, pegue con cinta adhesiva el reflector parabólico a la gráfica trazada sobre cartulina de manera que
 - a. mantenga su forma.
 - b. puedan trazarse sus ejes.
- Apuntar el Tx de forma que su eje de propagación se sitúe a lo largo del eje del reflector y a un metro de distancia. (Ver Figura 17)
- Enchufar la Sonda Diodo (S.D.) en el enchufe del Rx existente a tal efecto y utilizar el medidor del Rx para medir la intensidad de señal.
- Mover la SONDA-DIODO detectora hacia delante y hacia atrás a lo largo del eje del reflector para averiguar el punto de máxima intensidad de recepción, esto es, el PUNTO FOCAL del reflector.
- Mover el Tx hacia delante y hacia atrás a lo largo de una línea perpendicular a su eje de propagación, pero apuntando el Tx hacia el punto central del reflector.

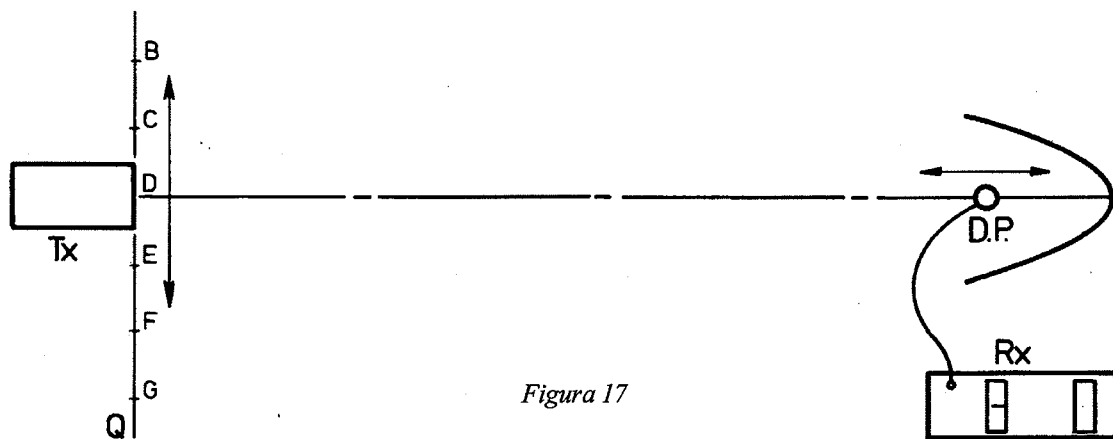
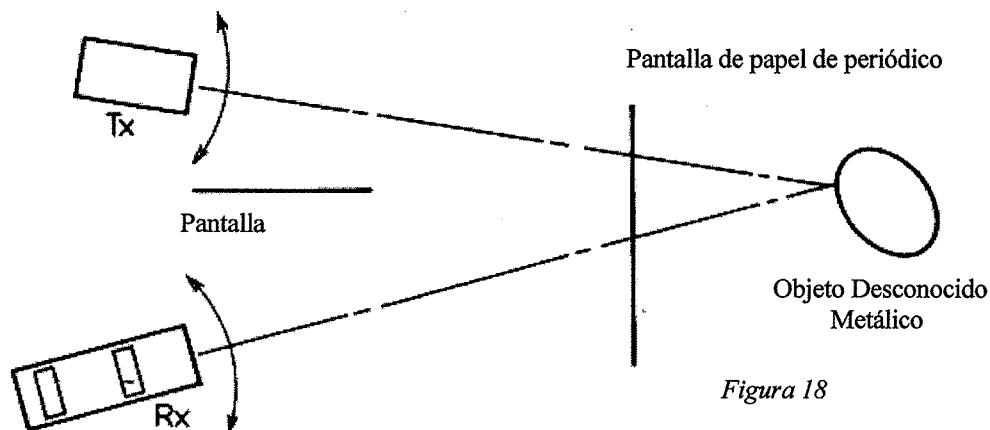


Figura 17

- Para cada punto "A", "B", "C", "D" de posicionamiento del Tx a lo largo de la línea "PQ" encontrar su PUNTO FOCAL correspondiente "a", "b", "c", "d", etc mediante la SONDA DIODO, no estando necesariamente sobre el eje de propagación.
- Unir estos puntos focales mediante una línea. ¿Qué se aprecia de esta línea respecto del eje del reflector?
- ¿Explica esto el porque las imágenes de las estrellas a distintos ángulos del eje de un espejo parabólico pueden todas situarse en un foco fotográfico sobre una placa plana de fotografía situada adecuadamente?.

Experimento 5 – MICROONDAS UTILIZADAS COMO “RADAR”



- Cubrir la mesa con papel blanco. Es adecuado el papel de carnicería.
 - Situar a través del centro de la mesa una pantalla de papel de periódico colgada de una regla y pegada con cinta adhesiva a la mesa.
 - Situar el Tx y el Rx apuntando hacia lugares cualquiera de la pantalla.
 - El “enemigo” sitúa un objeto “desconocido” en algún lugar tras la pantalla oculto respecto de la estación de “radar” del observador.
 - Ajustar las direcciones de mira de los ejes de propagación y recepción para conseguir un máximo en la intensidad de recepción.
 - Marcar (en rojo) estas dos direcciones de los ejes sobre la mesa.
 - Cambiar la posición y la orientación del Tx. Cambiar la orientación del Rx, si fuera necesario, para conseguir de nuevo un máximo en la intensidad de recepción.
 - Marcar (en azul) las dos direcciones de los ejes sobre la mesa.
 - Continuar el “proceso de barrido” mediante el haz del Tx a través del campo de observación hasta que no encontrar reflexiones discernibles (esto es el haz no incide en el objetivo), anotando cada par de direcciones de los ejes del Tx y del Rx en colores distintos.
 - El “ENEMIGO” quita el “objeto desconocido” después de que ha anotado su posición en secreto en una hoja de papel, mas tarde se podrá reponer con precisión.
 - Quitar la pantalla y prolongar los distintos pares de líneas de colores hasta la intersección.
 - Estas intersecciones indicarán la posición y el tamaño del objeto desconocido.
 - El “enemigo” repone con precisión el objetivo.
 - Discuta la exactitud del “Radar”.
- B.** Si se suspende horizontalmente una pantalla metálica, por ejemplo a la altura del techo, su altura sobre la mesa puede determinarse apuntando el Tx y el Rx en ángulos para dar máxima intensidad de recepción del haz reflejado. Mediante triangulación en un dibujo a escala de “distancias” y de “ángulos de observación” se puede determinar su altura.

Un segundo (ó tercer) par de ángulos de Transmisión y Recepción desde otras posiciones de la mesa y distancias de separación confirmarán la altura del reflector.

De este modo la capa de partículas ionizadas en la alta atmósfera se utiliza para reflejar las ondas de radio entre continentes, donde la curvatura de la superficie de la Tierra imposibilita la transmisión en línea recta. La variación de la altura de dicha capa sobre la Tierra (a causa de la actividad solar) interrumpe frecuentemente dichas transmisiones.

Experimento 6-MEDIDA DE LA LONGITUD DE ONDA DE LA RADIACIÓN E-M

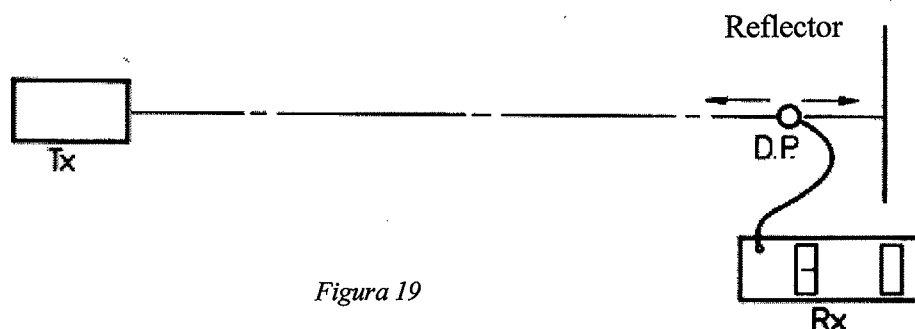


Figura 19

- Situar el Tx y una pantalla metálica de manera que esta última esté perpendicular al eje de propagación y a un metro de distancia.
- Utilizar la Sonda Diodo como detector conectado al Rx. Ver Figura 19.
- En el espacio entre el Tx y el reflector, las ondas reflejadas y transmitidas interfieren para producir una “onda estacionaria que consiste en puntos de perturbación mínima ó nula (NODOS) y puntos de perturbación máxima (ANTINODOS).

EXPLICACIÓN:

Observar series de ondas de igual amplitud y frecuencia (ó longitud de onda) de (I) a (V) en la Figura 20.

- A es una microonda transmitida que por ejemplo viaja de izquierda a derecha hacia el reflector.
B es una microonda reflejada que viaja de derecha a izquierda de vuelta hacia el Tx. Se ha escogido un instante de tiempo en el que a la vez que se cruzan, sus amplitudes se refuerzan mutuamente.
C es la amplitud de onda resultante en este instante.
- Este instante de tiempo es después que la onda A ha viajado $\frac{1}{4}$ de longitud de onda hacia la derecha y la onda B ha viajado $\frac{1}{4}$ de longitud de onda hacia la izquierda. La resultante es cero a lo largo de toda la longitud de transmisión.
- Este instante de tiempo es después que la onda A ha viajado $\frac{1}{4}$ mas de longitud de onda (un total de $\frac{1}{2}$ longitud de onda) hacia la derecha y la onda B ha viajado un total de media longitud de onda hacia la izquierda. La onda resultante C es evidente.
- Después de viajar $\frac{1}{4}$ mas de longitud de onda la situación es parecida a (ii) con una resultante de cero.
- Después de que cada onda haya viajado una longitud de onda completa en sus direcciones respectivas, se vuelve entonces a la situación inicial como en (I).

Se puede ver que en distintas posiciones a lo largo de la trayectoria de la onda hay puntos estacionarios de amplitud cero en todo momento (señalados por “N” de NODOS) y puntos estacionarios de variación máxima de la amplitud (señalados por “L”). De ahí el

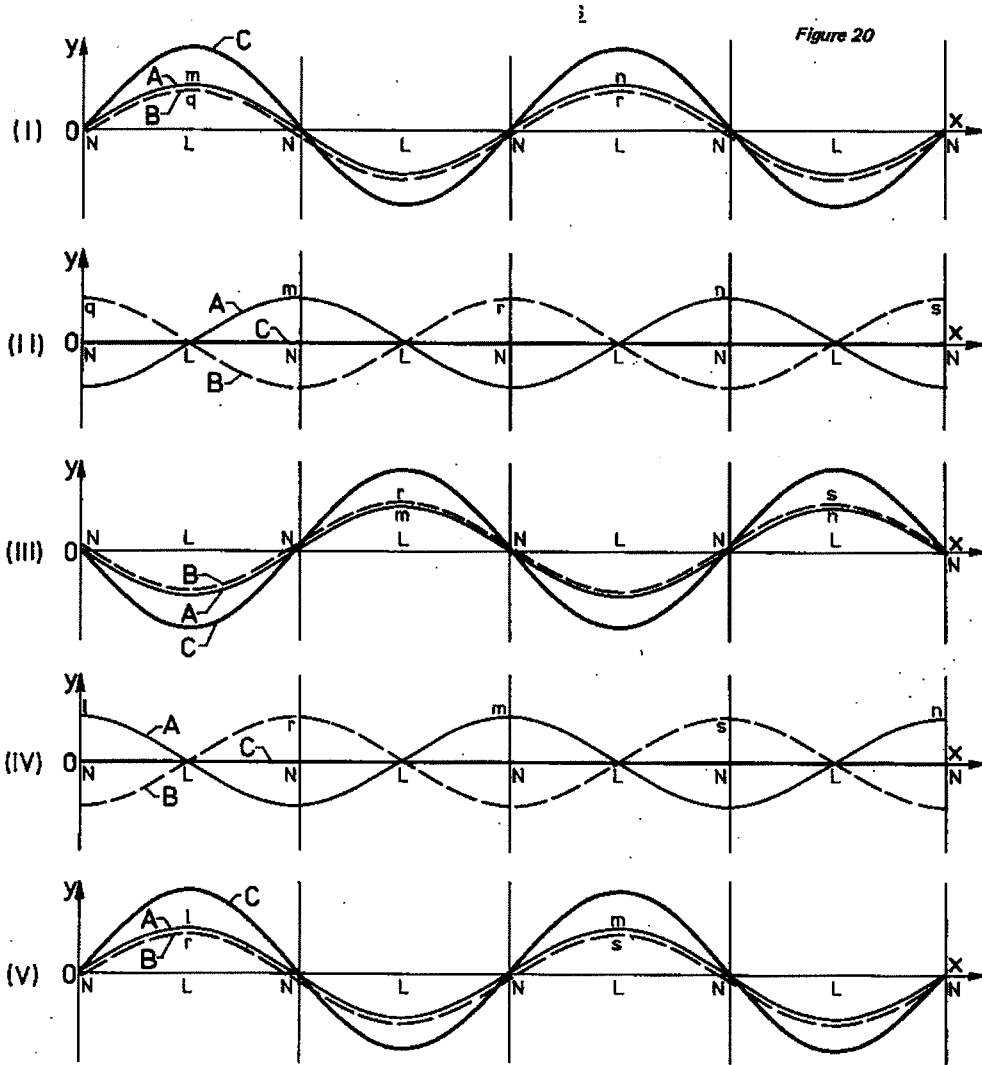
nombre de "ONDA ESTACIONARIA". Los puntos de NODO están separados por media longitud de onda, al igual que la distancia de separación entre puntos de máxima perturbación ó antinodos.

Por tanto la presencia de energía de microondas tiene la forma aproximada de (VI) en máximas y mínimas constantes. La SONDA DIODO detecta estos lugares.

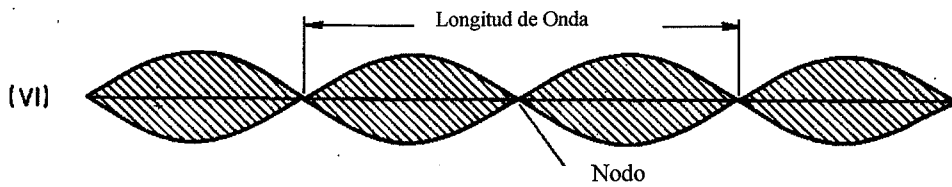
- Comenzando en el espacio mas inmediato al reflector, y a lo largo de los ejes de propagación y reflexión, utilizando la sonda -diodo encontrar los lugares de intensidad máxima de perturbación y los NODOS.
- Utilizando un cartabón de celuloide ó cartón (no metal) haga marcas en el papel de la mesa para indicar la separación de estos nodos. Marque todos los que pueda, por ejemplo hasta 21.
- Mida la distancia total, y calcule la distancia promedio entre dos nodos adyacentes.
- La distancia internodales igual a media longitud de onda (Ver Figura 20 (VI)).
- Cuál es la LONGITUD DE ONDA de la radiación E-M que se transmite?
- Utilizando la fórmula $c = \lambda f$ donde "c" = velocidad de la luz, 3×10^8 m / seg.
"λ" = longitud de onda "f" = frecuencia
calcular la frecuencia de oscilación de la radiación E-M.

ONDAS ESTACIONARIAS

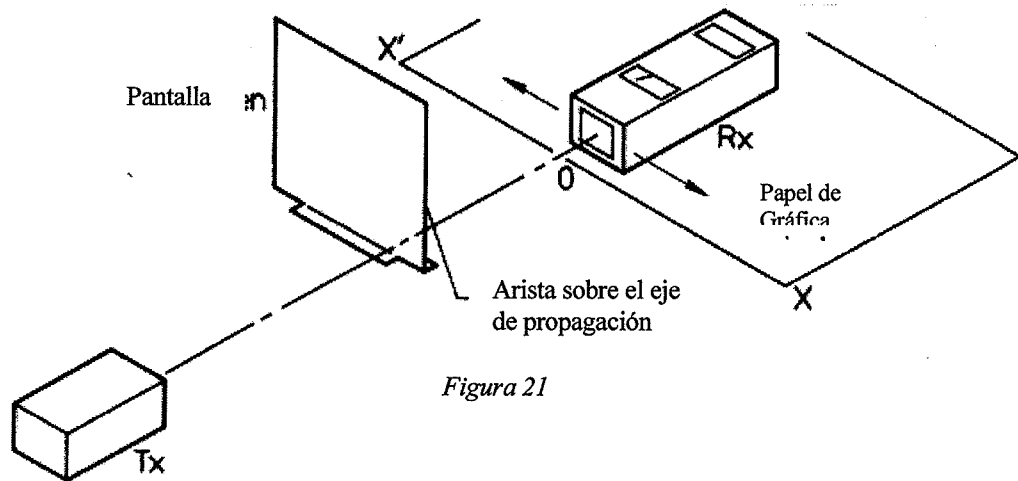
Figure 20



Esquema de la energía estacionaria a lo largo del eje de propagación



Experimento 7-DIFRACCIÓN DE ONDAS EN TORNO A LAS ARISTAS DE OBJETOS



- Apuntar el Tx dispuesto en "C.W.", con la arista de una pantalla metálica vertical (perpendicular a la radiación) justo sobre el eje de propagación, y a unos 50 cm de distancia.
- A unos 30 cm al otro lado de la pantalla fijar a la mesa una hoja de papel blanco ó milimetrado según se indica arriba.
- Trazar el eje de propagación y marcar la posición "O" donde intersecta una línea perpendicular a él , a unos 30 cm de la arista de la pantalla.
- Mover el Rx a ambos lados de la línea a la altura del eje de propagación en espacios de por ejemplo 1cm, anotando la intensidad de recepción tanto en la zona apantallada como en la no apantallada.
- Representarlas gráficamente sobre el papel de la mesa.
- ¿Tiene el gráfico resultante el aspecto de alguno de los de la Figura 22?

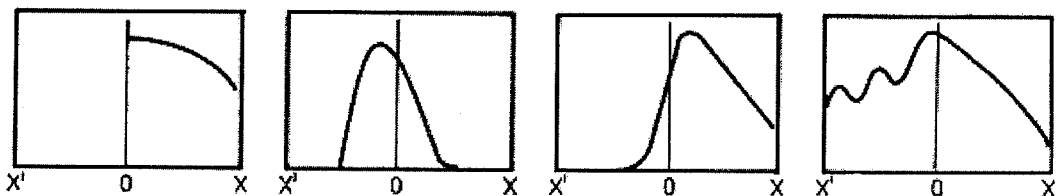


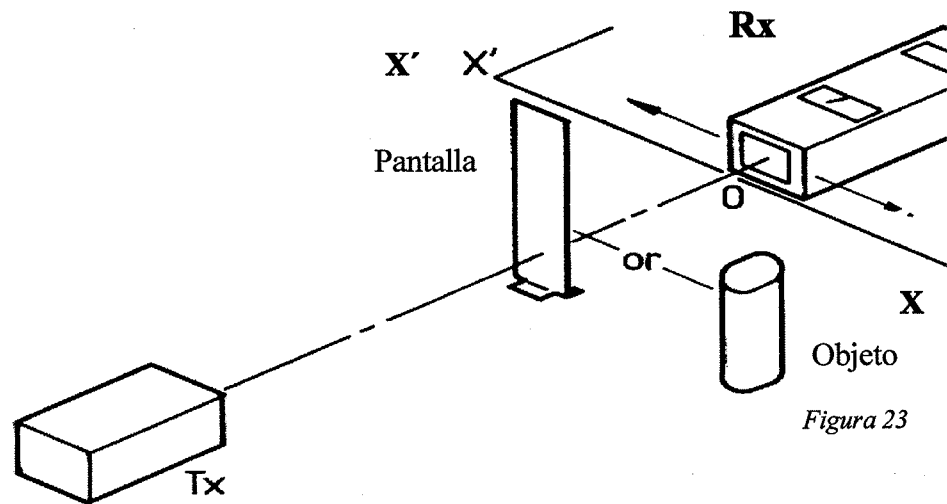
Figura 22

- Observar que la intensidad máxima de recepción no se da en el eje de propagación y que
 - a. La intensidad crece y decrece al alejarse del eje ,
 - b. la pantalla no evita que la radiación pase a la zona "apantallada".
 Es decir, la radiación no viaja en línea recta cerca de las aristas de objetos, sino que puede "curvarse" en ellas.
- La DIFRACCIÓN es el nombre dado al fenómeno de "curvar" la transmisión de radiaciones (y partículas) en las aristas, o a través de las aberturas.

Experimento 8-DIFRACCIÓN DE ONDAS EN TORNO A OBJETOS

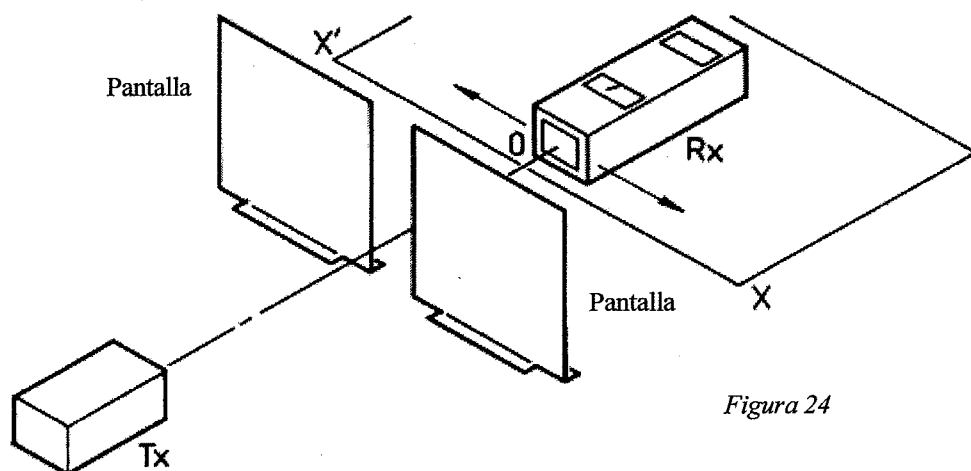
(Ver Figura 23)

- Utilizando el montaje del diagrama , sustituir la arista de la pantalla por una serie de objetos metálicos como “pantallas” verticales de distintas anchuras variando de 0.5 cm a, por ejemplo 10 cm , situadas en el eje de propagación.
- Anote y dibuje ,en una serie de gráficos, la intensidad de la señal recibida según se mueve el Rx a lo largo de la línea de inspección unos 20 cm detrás del objeto.
- Si el objeto no parece que produzca “sombra” alguna, esto es, no hay caída en la intensidad de recepción detrás de él, entonces acerque al objeto la línea transversal a lo largo de la cual está usted inspeccionando.



- Comparar los gráficos de las figuras de sombras con las de difracción en la arista de la pantalla . Un objeto tiene dos aristas para la difracción de la onda.
- ¿Puede llegarse a alguna conclusión en relación a lo grande que tiene que ser un objeto para proyectar una sombra detectable con el haz de longitud de onda de 2.8cm?.

Experimento 9-DIFRACCIÓN A TRAVÉS DE UNA RENDIJA SIMPLE



- Disponer el aparato según se indica arriba con dos pantallas metálicas situadas a unos 50 cm del Tx y separadas por un espacio de unos 5 cm.
- Mover el Rx a lo largo de una línea transversal perpendicular al eje de propagación a unos 30 cm detrás de las pantallas, a lo largo de la línea XOX'
- Anotar la intensidad de la señal recibida.
- Representarla sobre el papel de la mesa.
- El resultado debería ser así:

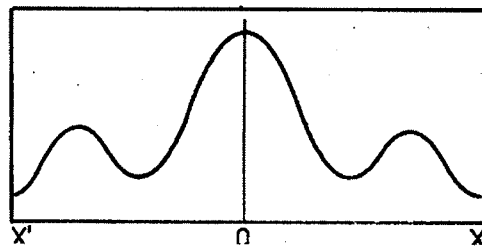


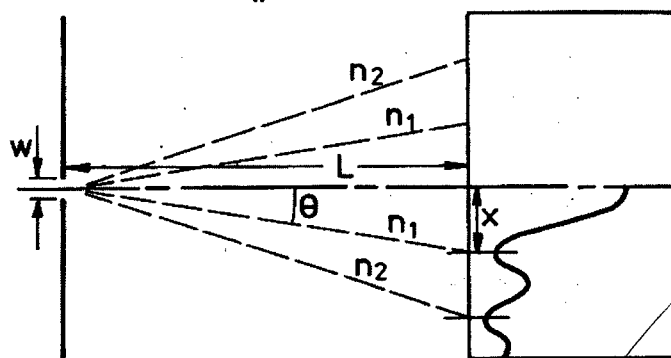
Figura 25

Las zonas de recepción baja ó nula se llaman NODOS los cuales están numerados de la línea central hacia fuera.

- Trazar el eje de propagación, y trazar una línea desde el punto medio de la ranura hasta la posición del primer nodo a cualquier lado de la línea central.
- Medir el ángulo que forma esta línea con la línea central.

La teoría predice que los ángulos siguen la relación:

$$\text{sen } \theta_n = n\lambda / w = x / L$$



Donde, x = distancia desde la línea central a la posición del nodo

L = distancia desde el centro de la ranura a la línea XOX'

n = número de línea partiendo de la central.

λ = longitud de onda de la radiación, 2.8 cm

w = anchura de la ranura

θ = ángulo entre la línea nodal y la línea central.

Transformando la fórmula para obtener, $x = n L \lambda / w$ es claro que "x" varía inversamente respecto a "w" (permaneciendo constantes el resto de los factores, esto es, una pequeña anchura de rendija produce un abanico central de transmisión, una anchura mayor de rendija produce un abanico central de transmisión mas estrecho.

- Variar la anchura de la ranura y observar el cambio causado en la figura de difracción,

- especialmente la anchura del amplio abanico central de transmisión a través del hueco, hasta los nodos 1 a la izquierda y derecha de la línea central.
- Realizar varios de estos cambios en la anchura de la ranura y representar los resultados en una gráfica.

Experimento 10-DIFRACCIÓN DE ONDAS A TRAVÉS DE UNA RANURA DOBLE Y FIGURA DE INTERFERENCIA PRODUCIDA

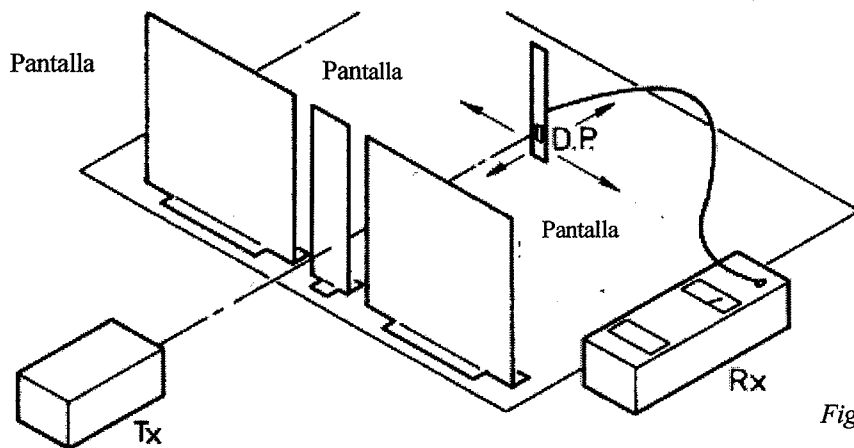


Figura 26

- Situar el Tx a unos 50 cm de las tres pantallas metálicas colocadas sobre una línea transversal al eje de propagación de manera que formen dos ranuras simétricas e iguales de unos 3 cm de anchura cada una ó menos. Ver Figura 26.
- Esta anchura de ranura producirá abanicos centrales de transmisión difractada, de unos 60° de ancho cada uno, y estos abanicos se solaparán a lo largo de la línea central del eje de transmisión.
- Ranuras mas estrechas producirán abanicos mas anchos y zonas de solapamiento mas amplias.
- La INTERFERENCIA tiene lugar donde se solapan los dos conjuntos de ondas, y en ciertos lugares las crestas coincidirán con las crestas para producir puntos de perturbación máxima, mientras que en otros sitios, una cresta con origen en una ranura coincidirá con una vaguada procedente de la otra ranura siendo el resultado un punto NODAL de nula perturbación. Dicho lugar estará situado de manera que sus distancias radiales desde el punto central de las dos ranuras diferirán en media longitud de onda ó cierto múltiplo de ésta, de forma que se cause interferencia destructiva. Ver Fig. 27 a.
- Mover la SONDA-DIODO sistemáticamente sobre la región de interferencia, a lo largo de una serie de líneas perpendiculares a la línea central y espaciadas en intervalos regulares desde el plano de las pantallas. Marcar en el papel de la mesa todos los lugares sobre los cuales tienen lugar nodos.
- Disponer la cantidad de figura suficiente de tales posiciones nodales para poder trazar el abanico de líneas nodales simétricas respecto de la línea central. Estas se curvarán cerca de las ranuras, pero según se alejen tenderán a hacerse rectas, y si estas porciones rectas son prolongadas hacia las ranuras, deberían converger en el punto central de la pantalla entre las ranuras. Ver Figura 27.

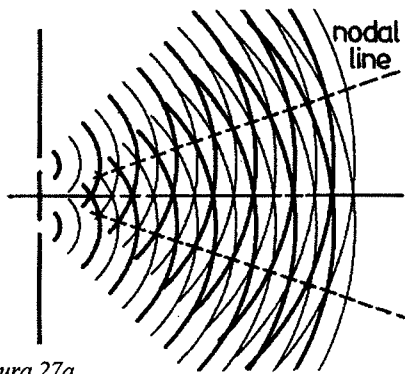


Figura 27a

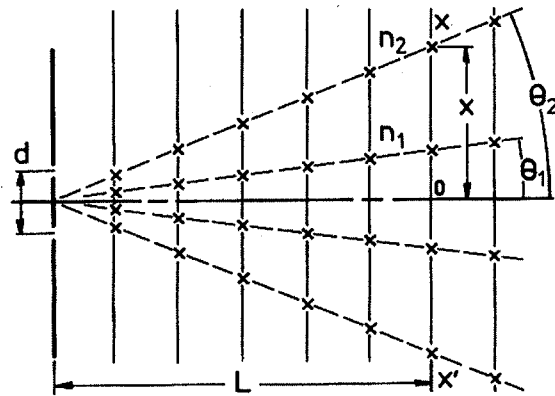


Figura 27

- Trace estas líneas, y mida los ángulos que forman con el eje de propagación ó línea central.
- La teoría predice la expresión siguiente para los ángulos:

$$\theta_n = (n - (1/2)) \lambda / d \cong x / L$$

- Donde
- x = distancia de la posición del nodo desde la línea central
 - L = distancia desde el plano de las rendijas a la línea XO'X'
 - λ = longitud de onda de la radiación
 - d = distancia entre los centros de las rendijas
 - n = número de la línea nodal desde la línea central
 - θ = ángulo entre la línea nodal y la línea central.

- En caso de poder reducir la distancia "d" utilizando una pantalla central mas estrecha que separe las ranuras, entonces se producirán un número menor de líneas nodales. Una pantalla central mas ancha producirá mas líneas nodales.
- La variación de las anchuras reales de las ranuras sólo causa la "abertura" de los abanicos de haces difractados desde cada ranura, aunque también se produce una ligera variación de la distancia entre los centros de las ranuras. Una anchura de ranura de 1.4 cm producirá abanicos de difracción de 180° de abertura, produciendo una figura de interferencia sobre toda el área.

Experimento 11- DIFRACCIÓN A TRAVÉS DE RANURAS MÚLTIPLES Ó “RED DE DIFRACCIÓN”

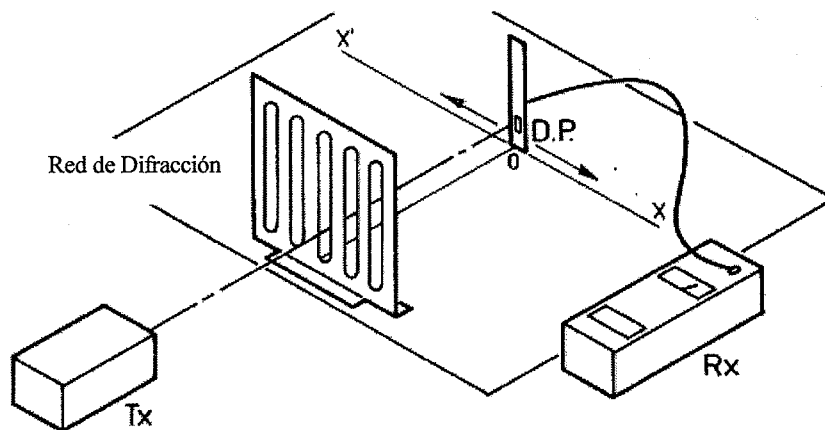


Figura.28

- Situar la red de difracción frente al Tx, a unos 50 cm de distancia sobre el eje de propagación y perpendicular a éste. Ver Figura 28.
- Fijar papel blanco sobre la mesa y marcar en él el eje de propagación y la posición de la red, disponer una línea transversal, XOX', perpendicular al eje y a unos 30 cm detrás de la red.
- Mover la SONDA- DIODO a izquierda y derecha a lo largo de esta línea desde la posición central “O” para detectar las posiciones de intensidad máxima de recepción de la transmisión a través de la red.
- La Teoría considera las ranuras de la red como fuentes múltiples de radiación adecuadas y espaciadas uniformemente que causan
 - a. interferencia destructiva (nodos) en una posición donde la diferencia de caminos desde dos ranuras-fuentes adyacentes cualesquiera es media longitud de onda ó un múltiplo de ella
 - b. interferencia constructiva de intensidad máxima en posiciones donde la diferencia de caminos desde dos fuentes adyacentes cualesquiera es una longitud de onda completa, ó algún múltiplo de ella. Ver Figura 29.

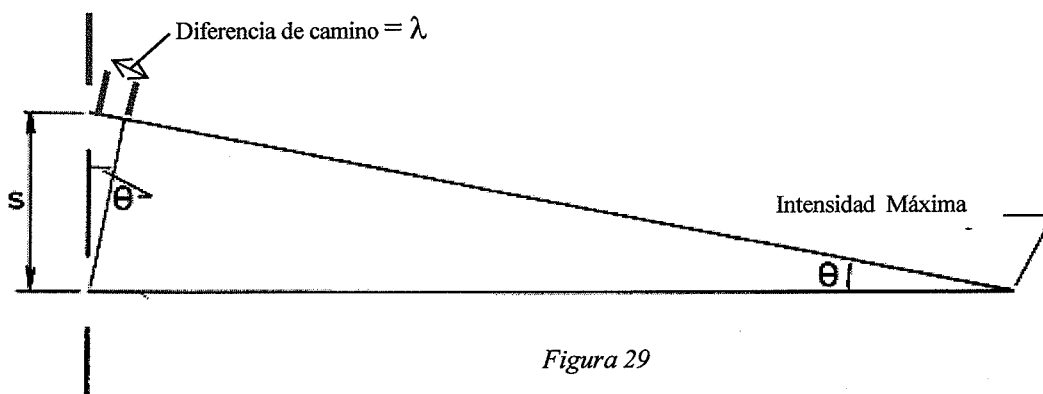


Figura 29

Para intensidad máxima, moviéndose a lo largo de la línea XOX' la primera zona de intensidad máxima desde la línea central tendrá lugar en una posición y a un ángulo de la línea central donde la diferencia de caminos es una longitud de onda, de manera que

$$\text{sen } \theta_n = x / L = n\lambda / s$$

$$n = 1$$

Ver Figura 30

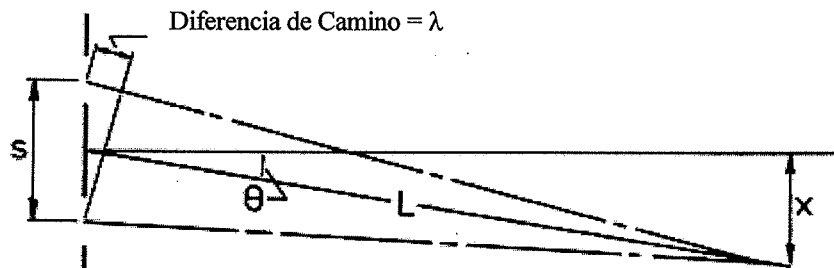


Figura 30

- Donde
- λ = longitud de onda
 - s = distancia entre los centros de las ranuras adyacentes de la red. (Con ranuras de 1 cm de ancho separadas mediante barras de 2.5 cm de ancho, $s = 3.5$ cm)
 - x = distancia del punto de observación desde la línea central
 - L = distancia del punto de observación desde el punto central de la red
 - θ_n = ángulo que forma esta línea con el eje.

De forma que $\text{sen } \theta_1 = \lambda / s = (2.8 / 3.5) = 0.8$ dando la primera posición de intensidad máxima en un ángulo de 54° .

NOTA:

Al mover la sonda transversalmente desde el eje central Usted probablemente encontrará zonas de recepción algo mas débil en ángulos menores de 54° . Esto es debido a que la red de difracción del presente dispositivo no es sino una simplificada analogía de las redes de difracción óptica cuyas líneas son del orden de 15 000 por pulgada (25 mm), haciendo " s " = 1.66×10^{-6} m mientras que la longitud de onda (por ejemplo de la luz de vapor de sodio) es aproximadamente 6000 Ångstrom (en realidad de 5890 a 5896).

Para un Experimento utilizando luz de vapor de sodio, $\text{sen } \theta_{\text{max}} = \lambda / s =$

$$= (6000 \times 10^{-10} / 1.666 \times 10^{-6}) = (6 \times 10^{-7} / 16.6 \times 10^{-7}) = 0.3614$$

dando θ como 21.2° . (1 Ångstrom = 1×10^{-10} metros).

El cambio de escala desde una longitud de onda de 6000 Ångstrom a 2.8 cm, y de la separación de ranuras desde 1.66×10^{-6} m a 3.5 cm es del orden de 10^5 , y la distancia de observación desde las ranuras debería magnificarse de forma similar. De hecho se está trabajando demasiado cerca de las ranuras para el fundamento teórico por el cual, en la situación nodal la radiación debida a una ranura se cancela mediante la radiación de su ranura adyacente.

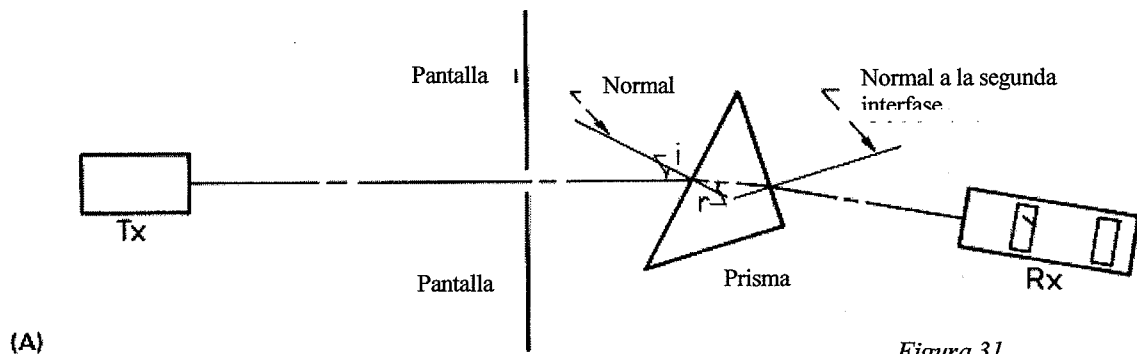
Si Usted localiza uno de estos máximos menores a menos de 54° del eje, mida sobre el papel de su mesa las distancias desde la Sonda ó Receptor (la posición

del diodo) al punto central de todas las ranuras de la red, y encuentre las diferencias de camino de la red al diodo. Usted encontrará que mientras algunas de estas diferencias obedecen a la teoría y son media longitud de onda (causando la cancelación de la recepción debida a dichos pares de ranuras) otras diferencias de camino no son media longitud de onda. Por lo tanto no tiene lugar la cancelación completa, explicando de este modo la cierta recepción observada en estos puntos.

A mayores distancias entre el observador y la red, las diferencias en las distancias de camino desde ranuras vecinas son mucho mas fieles al fundamento teórico que nuestra simplificada analogía de observación a cortas distancias.

- NO tiene lugar la posición de segundo máximo puesto que $\sin \theta_2 = 5.6 / 3.5$ lo cual es mayor que 1, no siendo una respuesta aceptable.
- Si los espaciados de la red fueran barras de 6 cm de anchura con ranuras de 1cm separándolas. ¿Cuál sería el efecto en las posiciones de los nodos y los máximos?
- Si Usted cubre una de cada dos ranuras con franjas de papel de aluminio, usted obtendrá una red con el espaciado de arriba. Pruébelo y confirme sus predicciones.
- El tipo de figura de interferencia que tiene lugar en la difracción con ranuras múltiples es parecido al que ocurre cuando los rayos son reflejados por las capas de átomos de un cristal, ver la refracción de BRAGG mas adelante en este manual.

Experimento 12- REFRACCIÓN DE MICROONDAS



12a A TRAVÉS DE SÓLIDOS (PRISMA) Y VELOCIDAD A TRAVÉS DE UN MEDIO

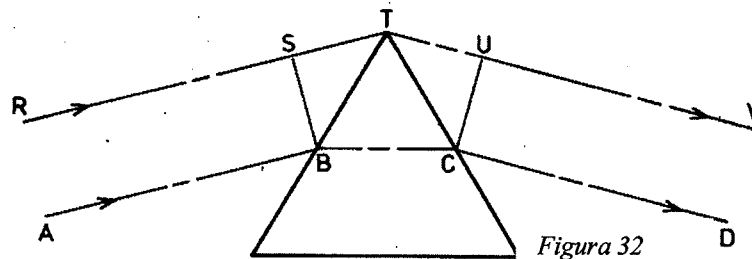
- Situar el Tx según se indica arriba con la mesa cubierta con papel blanco, y colocar dos pantallas metálicas de forma que un haz de radiación incida sobre una cara del lado de ángulo de 45° del prisma triangular de cera que incluye el equipo.
- Situar el Tx como detector al otro lado del ángulo del prisma y moverlo para encontrar la posición, Y DIRECCIÓN de máxima intensidad de recepción. Ver Fig.31
- Sobre el papel de la mesa dibujar el perfil de la esquina del prisma, y los dos ejes de propagación y recepción.
- ¿Puede Usted detectar a partir de estas líneas cual tiene que ser el camino del rayo a través del prisma?
- En su esquema trace las normales a las dos caras del prisma en los puntos donde intersecten los ejes, y mida los ángulos que forme el haz de radiación con estas dos normales.
- Determine el coeficiente $\sin i / \sin r$ para cada una de las interfases.
- ¿ Son estos coeficientes inversos entre sí?. ¿Qué mide este coeficiente?

- Repita el experimento utilizando un trozo nuevo de papel para la mesa y nuevas posiciones del prisma así como nuevo ángulo de primera incidencia sobre el prisma.
- ¿ Se confirman los ratios arriba indicados ?
- Ver Fig. 32. En teoría, el rayo RSTUV sigue ese camino, mientras que el rayo ABCD sigue el camino ABCD.
- Por tanto mientras que el primer rayo recorre la distancia STU en el aire el segundo rayo recorre la distancia menor BC en el medio.
- En un diagrama a gran escala trazar los rayos RSTU y ABCD con los ángulos observados y medir las distancias STU y BC.
- Compararlas y así establecer el coeficiente

$$\frac{\text{Velocidad de radiación en el AIRE}}{\text{Velocidad de radiación en el Medio}}$$

- Comparar este coeficiente con el de INDICE DE REFRACCIÓN del medio, anteriormente definido mediante una relación de senos.

12b A TRAVÉS DE LÍQUIDOS (EN UN PRISMA). Repita El experimento de arriba utilizando un Prisma Hueco lleno de líquidos de diferentes densidades, Agua , Parafina , Alcohol. No utilizar disolventes que dañen el plástico.



(c)

12c A TRAVÉS DE LENTES PLANO CONVEXAS

- Sustituir el prisma triangular por la lente plano-convexa dispuesta de manera que su cara plana esté perpendicular al eje de propagación y centrada en el mismo y a unos 50 cm del Tx. Ver Figura 33. Utilizar bloques de espuma para elevar el Tx. Sostener la SONTA en la manera correcta para alinear con la línea central de la lente.

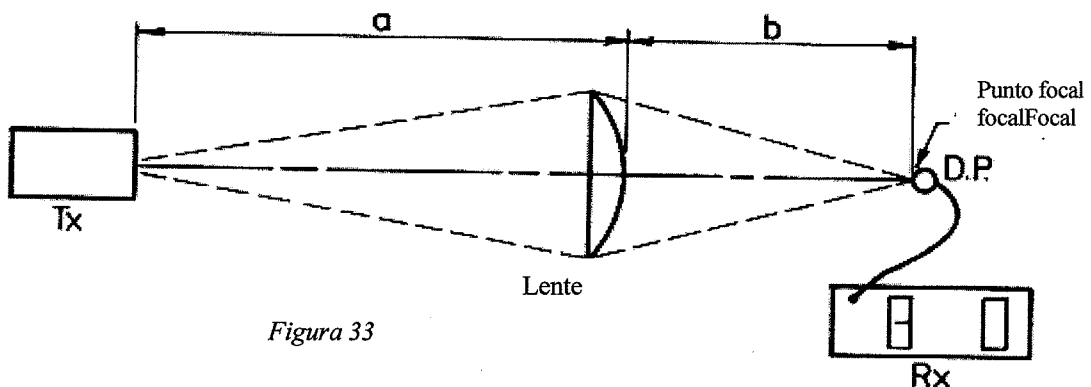


Figura 33

- Utilizando la SONTA-DIODO como detector y moviéndola a lo largo del eje de propagación, situar la posición del punto de máxima intensidad de recepción.

Marcar sobre el papel de la mesa las posiciones de Tx, lente, y punto focal (por ejemplo en rojo).

- Acercar el Tx a la lente, y situar el nuevo punto focal. Anotar las nuevas posiciones (por ejemplo en azul)
- Repetir por tercera y cuarta vez, anotando las nuevas posiciones en diferentes colores.
- La teoría predice que $(1/f) = (1/a) + (1/b)$
 donde "a" = distancia del Tx desde la lente (centro óptico)
 "b" = distancia del FOCO desde la lente (centro óptico)
 "f" = longitud focal de la lente
- Utilizando las distintas observaciones hechas arriba de los pares de "a"s y "b"s, calcular la longitud focal de la lente.
- La Teoría aporta la FÓRMULA DEL FABRICANTE DE LA LENTE

$$(1/f) = (n-1) \left((1/R_1) + (1/R_2) \right)$$

donde f = longitud focal de la lente

n = índice de refracción del material de la lente

R₁ = radio de curvatura de una cara de la lente

R₂ = radio de curvatura de la segunda cara de la lente

- Si R₁ de la cara plana se toma como "infinito" (y $(1/R_1) = 0$) y R₂ = 14 cm entonces la fórmula se convierte en

$$(1/f) = (n-1) / 14 \text{ cm} \quad \text{ó} \quad f = (14 \text{ cm} / (n-1)) = 46.7 \text{ cm} \quad (\text{si } n = 1.3)$$

NOTA:

- En el caso de una lente plano-cóncava, el radio de curvatura de la superficie curva se puede encontrar a partir de la fórmula

$$R = (a^2 + h^2) / 2h$$

Donde

"a" = mitad del diámetro de la cara plana

"h" = espesor de la lente

"r" = radio de curvatura

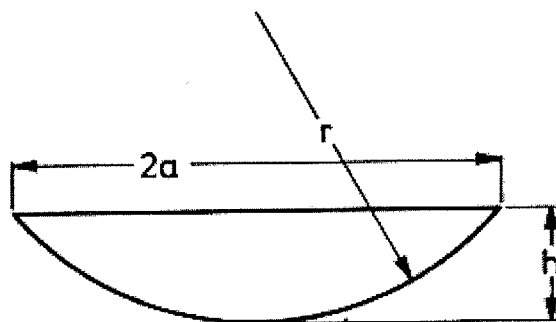


Figura 34

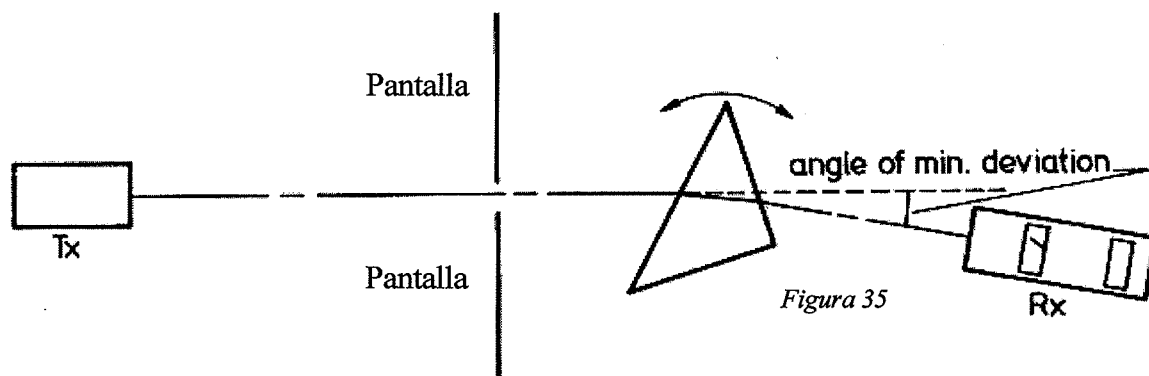
- Utilizando el valor de "n" que Usted ha determinado anteriormente en el experimento, calcular la longitud focal "f" de la lente y comparar este valor con el que usted obtuvo al usar la fórmula

$$(1 / f) = (1 / a) + (1 / b)$$

- Si se mueve el Tx a una distancia considerable, por ejemplo 10 m, entonces “f” es aproximadamente igual a “b”.
- Útilcelo como tercera comprobación de la longitud focal de la lente. Puede que sea necesario utilizar niveles mas altos de ganancia en el Rx para obtener una señal.

Experimento 13-DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REFRACCIÓN DEL PRISMA

- Disponer el Tx, las pantallas metálicas, el prisma triangular, la SONDA –DIODO y el Rx como en la primera parte del experimento 12.



- Sobre el papel de la mesa trazar el eje de propagación y prolongarlo bastante mas allá del perfil del prisma.
- Mediante giros de por ejemplo 5°, girar el prisma sobre su eje vertical , y después de cada cambio de posición, reorientar la DIRECCIÓN de la SONDA-DIODO para conseguir máxima intensidad de recepción.
- Trazar en cada vez la nueva DIRECCIÓN DE RECEPCIÓN, dejando inalterada la DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN original.
- De esta manera Usted encontrará la posición cuando se da un ÁNGULO MÍNIMO DE DESVIACIÓN “D” entre el eje original de propagación y el de recepción.
- Cuando esto tiene lugar Usted encontrará que el ángulo del prisma está situado simétricamente con respecto a los haces de incidencia y de salida.
- El índice de refracción viene dado por la fórmula:

$$n = \frac{\sin((A+D)/2)}{\sin(A/2)}$$

donde n = ÍNDICE DE REFRACCIÓN

A = ángulo del prisma (por ejemplo 45°)

D = ÁNGULO DE DESVIACIÓN MÍNIMA (por ejemplo 15°)

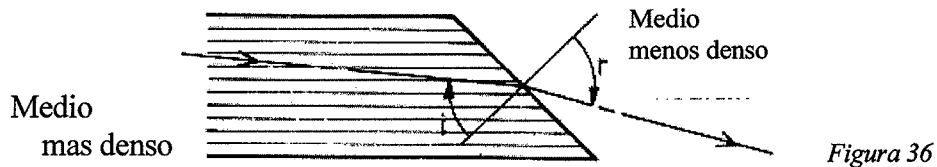
Con los valores dados , $n = (\sin 30 / \sin 22.5) = (0.5 / 0.3827) = 1.3$

- Llenar el prisma hueco de plástico con distintos líquidos y repetir el experimento. Comparar los índices de refracción.

Experimento 14- REFLEXIÓN INTERNA TOTAL

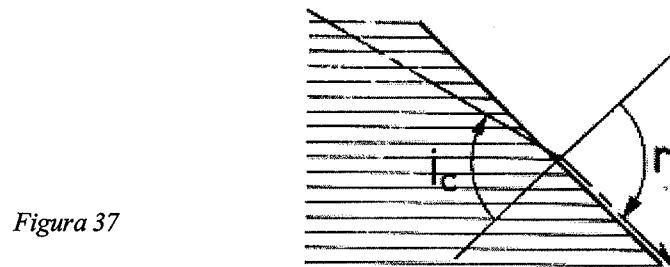
14a EN UNA INTERFASE

- Cuando una radiación pasa de un medio denso ($n > 1$) a un medio menos denso el rayo refractado se desvía respecto de la normal. Ver Fig.36.

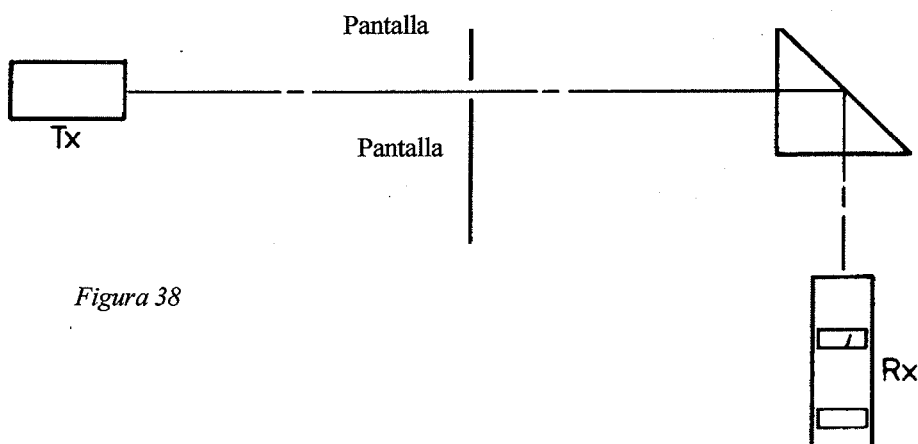


- Si el ángulo de incidencia es tal que el rayo que sale, emerge a lo largo de la superficie entonces el ángulo de incidencia se denomina **ÁNGULO CRÍTICO** y el seno de este ángulo iguala al inverso del **ÍNDICE DE REFRACCIÓN** del medio.

$$n = (\text{sen } r / \text{sen } i_c) = (\text{sen } 90 / \text{sen } i_c) = 1 / \text{sen } i_c$$



- Si el ángulo de incidencia es mas grande que el **ÁNGULO CRÍTICO** entonces el rayo no consigue salir y se dice que ha sufrido **REFLEXIÓN INTERNA TOTAL**, y entonces se aplican las leyes de **REFLEXIÓN** (y no las de **REFRACCIÓN**).
- Si el índice de refracción del material es 1.3 entonces $\text{sen } \text{ÁNGULO CRÍTICO} = (1 / 1.3) = 0.77$ y el **ÁNGULO CRÍTICO** es 50.4°
- Situar el Tx, pantallas metálicas, prisma de ángulo recto y Rx como se indica en el plano de abajo (Figura 38).



- Si Usted utiliza el Rx en el área a la derecha del prisma, observará que no emerge señal alguna de la hipotenusa del prisma, sino que se la puede observar emergiendo, según se muestra, de la otra cara del prisma habiendo sufrido REFLEXIÓN INTERNA TOTAL en la cara de la hipotenusa. Puesto que el haz de radiación presenta ángulos de incidencia y de salida de 90° sobre el prisma se concluye que no tiene lugar refracción alguna en estas dos interfases.
- ¿Cuál es el ángulo de incidencia del haz sobre la cara hipotenusa?. ¿Qué le sugiere a Usted esto acerca del ángulo crítico y del índice de refracción del medio?

14b EN DOS INTERFASES

- Reorientando el prisma triangular según se indica abajo se puede producir reflexión interna total en dos caras dentro del prisma, y encontrar que el haz emergente es paralelo al haz incidente.

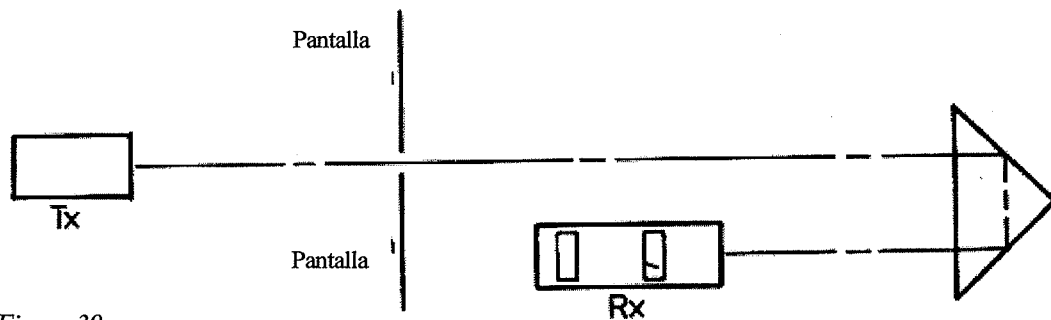


Figura 39

- ¿Es preciso que el haz incidente sea perpendicular a la primera cara del prisma? Trate de girar ligeramente el prisma y reorientar el haz emergente. ¿Es éste todavía paralelo al haz incidente? Ver Fig. 39.

Experimento 15-EXPERIMENTO DEL ESPEJO DE LLOYD PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA

- Esta depende del hecho que en la reflexión sobre una placa metálica la FASE de la onda de la radiación E-M se revierte.
- Lloyd fue capaz de producir zonas iluminadas y zonas oscuras (llamadas FRANJAS DE INTERFERENCIA) haciendo reflejar la luz en un espejo de manera que su fase revertida, junto con las diferencias de camino recorrido, interfirían con luz recibida directamente de la fuente. Ver Fig.40.

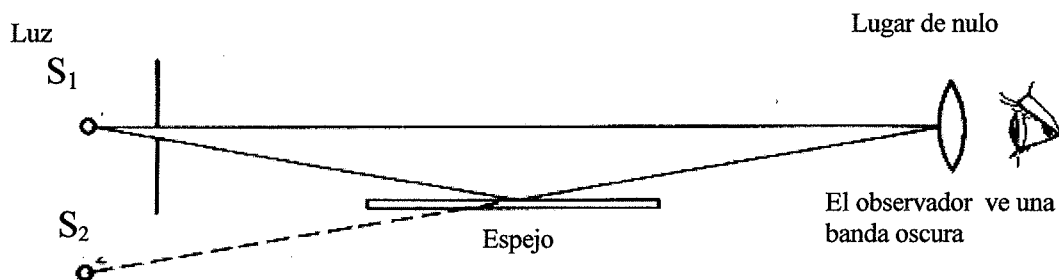


Figura 40

- Este experimento se puede reproducir utilizando microondas.
- Situar el Tx apuntando a lo largo de la mesa al final de la cual se sitúa como reflector una placa metálica horizontal. Utilizar la SONDA-DIODO conectada al Rx como detector. Ver Fig.41.

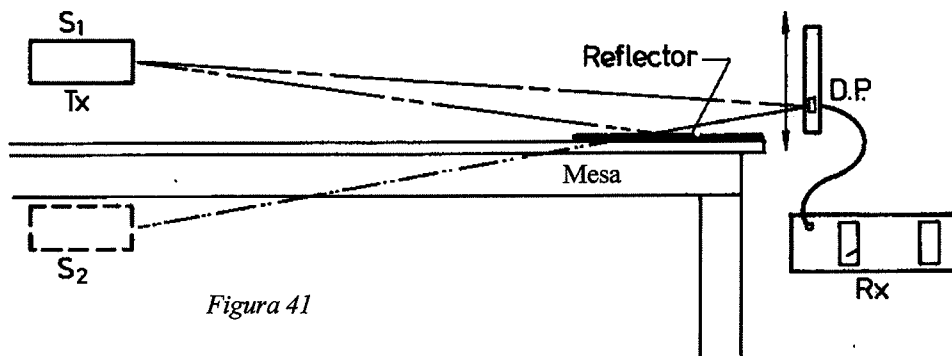


Figura 41

- Comenzando desde debajo del nivel de la mesa desplace la sonda gradualmente de forma vertical en busca de áreas con y sin recepción.
- Anotar sus alturas sobre el nivel del espejo y así determinar su espaciado.
- En una posición de recepción nula el receptor está recibiendo dos señales
 - a. una directamente del Tx
 - b. la segunda por reflexión, y dando la sensación de proceder de una fuente situada en S₂ bajo la mesa.

Puesto que esta segunda radiación ha recorrido un camino que difiere del camino del rayo directo en una longitud de onda completa (ó múltiplo de ésta) debería reforzarla para producir una señal mas intensa. Pero, puesto que ha sido reflejada, su fase se ha revertido, compensando la señal directa.

- Mientras que Usted tiene la SONDA-DIODO situada en una zona de recepción nula, quite la placa reflectora y observe lo que le ocurre a la intensidad de la señal. Repita esta prueba en una posición de intensidad máxima de recepción.
- En la arista del espejo, justo al asomar la sonda sobre la mesa, ¿ se tiene un punto de recepción nula ó lo contrario?. En este lugar ambos caminos son prácticamente el mismo, esto es, no hay diferencia de caminos. ¿Cómo entonces explica Usted la intensidad de la señal recibida?.

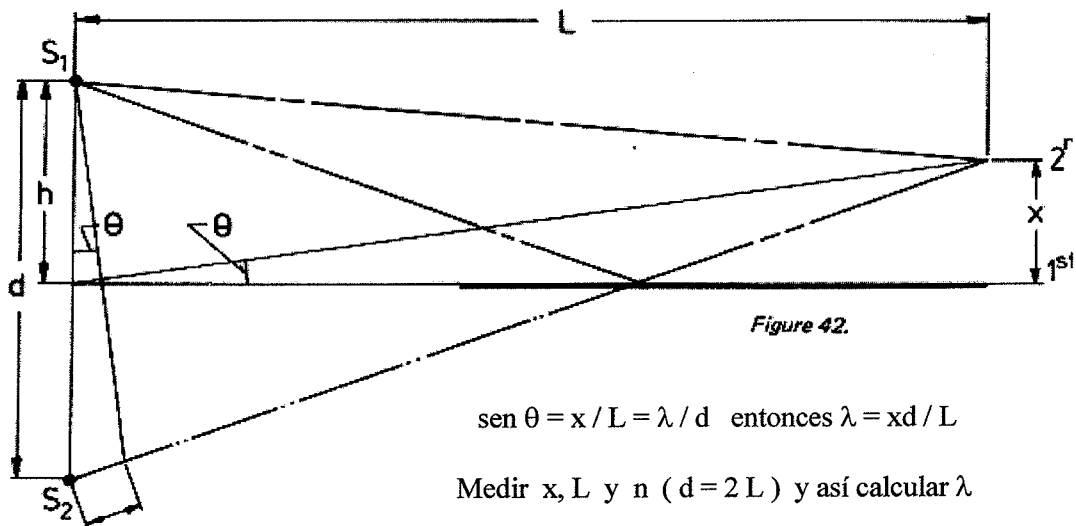


Figure 42.

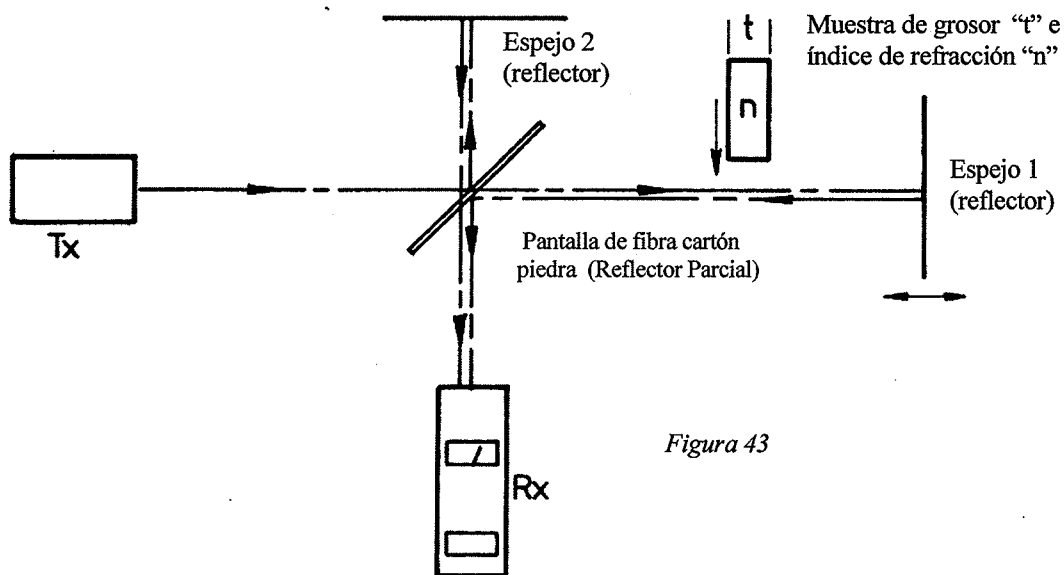
$$\text{sen } \theta = x / L = \lambda / d \text{ entonces } \lambda = xd / L$$

Medir x, L y n (d = 2 L) y así calcular λ

diferencia de camino

Experimento 16- INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

- Michelson en el año 1881 utilizó un interferómetro óptico para medir con precisión: longitud, espesor de láminas de material, índices de refracción, longitud de onda, ó cualquier pequeña variación de las anteriores
- El elemento fundamental del instrumento es un reflector parcial que en parte transmite la luz y en parte la refleja.
- Para microondas podemos utilizar una lámina de aglomerado, o una cartulina con un revestimiento de pintura conductora de aluminio ó un revestimiento de aquadag que es polvo de grafito lubricante mezclado en una pasta acuosa del tipo Clag.
- El dispositivo está estructurado como indica el siguiente esquema.



- La transmisión se indica en línea de trazos. El rayo inicial pasa en parte al espejo 1 y en parte es reflejado hacia el espejo 2. Desde el espejo 1 el rayo vuelve a la tabla de fibra y es reflejado hacia el detector. Desde el espejo 2 el rayo vuelve a la pantalla de tabla de fibra y se transmite a través de ella hacia el detector (Rx).
- Para que tenga éxito el experimento es importante que las tres componentes, espejos 1 y 2 y el "reflector parcial" de tabla de fibra estén orientados con precisión, y que sus planos estén todos totalmente verticales. Cualquier mala alineación, especialmente del divisor del haz del centro hará que se pierdan las reflexiones.
- Si hay una diferencia de camino de media longitud de onda entre los dos haces que entran al detector, estarán fuera de fase y no se recibirá señal alguna. Cualquier múltiplo de esta diferencia de camino producirá el mismo efecto.
- Si los caminos son de la misma longitud, ó difieren en algún múltiplo de una longitud de onda completa, entonces producirán ondas en fase y se detectará una señal.

16a MEDIDA DE LA DISTANCIA O DE LA LONGITUD DE ONDA

- Estructurar el dispositivo según la Fig.43.
- Seleccionar modulación de 1KHz en el Tx para detección de audio.
- Mover el espejo 1 hacia atrás y hacia delante, manteniendo su plano vertical y perpendicular al eje de propagación.

- La intensidad de la señal en el detector crecerá y decrecerá a medida que los dos haces que alcanzan el detector estén ó dejen de estar en fase. (Michelson observó bandas iluminadas y oscurecidas llamadas FRANJAS DE INTERFERENCIA).
- El número de dichos mínimos (nodos) vendrá dado por

$$n = 2d / \frac{1}{2} \lambda \quad \text{ó} \quad n = 4d / \lambda$$

Donde n = número de nodos adicionales, contando el inicial como cero
 d = distancia que se ha movido el espejo (diferencia de camino = $2d$)
 λ = longitud de onda

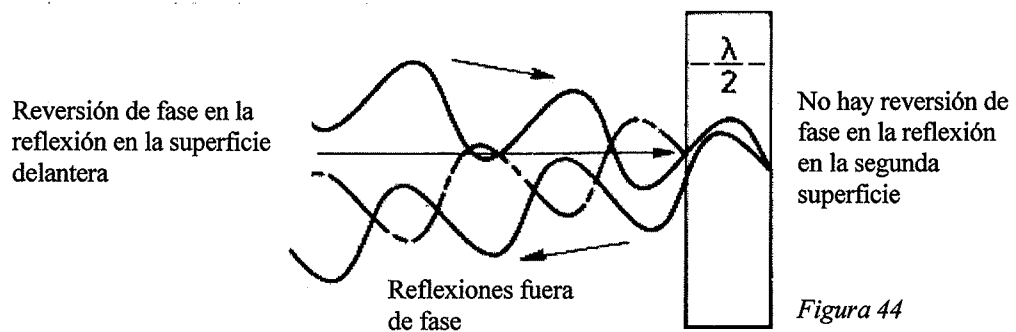
- Situar el espejo 2 para causar una respuesta nodal. Señalar su posición.
- Moverlo hacia atrás (ó hacia delante) unos pocos cm y contar el número de posiciones nodales que se pasan hasta que usted pare en el nodo deseado. Señale la posición final del espejo y mida la distancia que se ha desplazado.
- Utilice la fórmula $\lambda = 4 d / n$ para encontrar la longitud de onda de la radiación.
- Alternativamente mueva el espejo hacia atrás una distancia desconocida pero cuente el numero de nodos que se reciben mientras lo hace.
- Utilice la fórmula $d = \lambda / 4$ y conociendo λ calcule "d".
- Confirme su precisión mediante medidas reales.
- Si usted tuviera un cronómetro y se obtuviesen 20 nodos (niveles máximos de detección utilizando audio) en 5 segundos. ¿Cuál sería la velocidad de movimiento del espejo?

16b MEDIDA DEL ESPESOR Ó ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE UNA MUESTRA MATERIAL

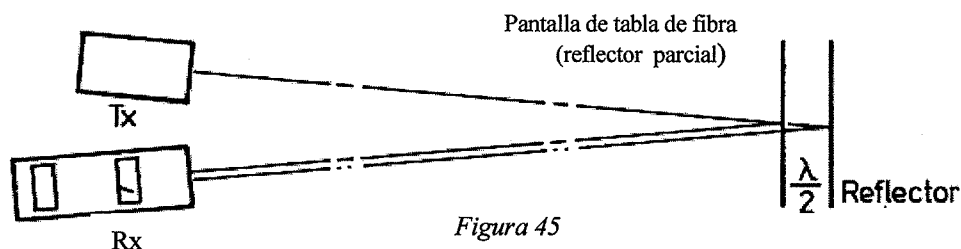
- Disponer el interferómetro para señal mínima (ó máxima).
- Insertar en el rayo que va al Espejo 1 una muestra de material, por ejemplo perspex, de espesor "t" e índice de refracción "n".
- Esto causará el efecto de variar el camino efectivo recorrido por este haz. Para un camino real en el aire de "2t", el haz recorrerá ahora "2nt" y el incremento efectivo del camino será $2 (nt-t)$ ó $2t (n-1)$ cm.
- Esta variación efectiva del camino afectará a la relación de fase de los dos haces que entran al detector variando de este modo el mínimo (ó máximo) que se había dispuesto.
- Mover lentamente el espejo 1 a lo largo del eje de propagación a fin de restaurar la señal de nuevo en un mínimo (ó máximo).
- Medir la distancia que se ha movido el espejo 1, "d" cm.
- Puesto que $2d = 2t (n-1)$, si "t" es conocida podrá calcularse "n" ó viceversa.
- Utilizar un micrómetro de tornillo para encontrar "t" y así calcular "n".

Experimento 17- INTERFERENCIA EN FILM FINO

- Cuando la luz monocromática se refleja en films finos (por ejemplo en un film de jabón ó en una mancha de aceite sobre el agua) el haz reflejado aparece frecuentemente con franjas iluminadas y oscurecidas de manera transversal.
- La explicación es que
 - a. cierta luz se refleja en la primera superficie aire/film y experimenta un cambio de fase ($n > 1$).
 - b. el resto de la luz se refleja en la segunda interfase film / aire y no experimenta tal cambio de fase, pero tiene que recorrer una longitud adicional de camino igual al doble del esesor del film.



- El resultado es que si el espesor del film es $\lambda / 2$ los dos rayos reflejados están fuera de fase y no se ve luz. (Figura 44).
- El mismo efecto tiene lugar para un espesor de film de cualquier múltiplo de $\lambda / 2$
- Si el espesor de film es λ ó cualquier múltiplo de éste entonces las ondas reflejadas emergen en fase y aparecen como un área brillante.
- Se puede simular el mismo efecto mediante microondas.
- Situar el REFLECTOR PARCIAL (tabla de fibra) (ver experimento 15), el Tx y el Rx según se indica en la figura 45.



- Situar una placa metálica justo detrás del reflector parcial. La superficie de éste es análoga a la superficie posterior del film, salvo que en esta superficie la fase también se revertirá, como en la primera superficie reflectora en el tabla de fibra.
- Mover hacia atrás la placa metálica manteniendo su plano paralelo al del tabla de fibra, hasta que tenga lugar una señal de máximo. Entonces el "espesor del film" debería de ser 1.4 cm ó la mitad de la longitud de onda. Recordar que en este caso la fase se revierte en ambas reflexiones, y la diferencia total de camino es una longitud de onda completa, de manera que las reflexiones están en fase.
- ¿A qué distancia se necesitará mover hacia atrás la placa metálica para hacer que la diferencia de camino total sea igual a $1 + (1/2)$ longitudes de onda y cause que la reflexión de la segunda cara esté fuera de fase con respecto a la reflexión de la primera cara?.
- Mueva lentamente la placa metálica hacia atrás como antes hasta que tenga lugar una posición nodal. ¿La distancia recorrida confirma su predicción?.
- Continúe moviendo hacia atrás la placa metálica a fin de producir una serie de máximos y mínimos en el receptor.

NOTA:

La explicación anterior ha ignorado el hecho que la longitud de onda de la radiación dentro de un film fino (de jabón ó de aceite) no es la misma que la longitud de onda de la radiación en el aire, y este factor debe considerarse al hacer los cálculos del espesor de films finos. En el experimento de arriba, el segundo rayo reflejado atraviesa el tabla de fibra y el aire dos veces antes de emerger para interactuar con la primera reflexión y tendría una longitud de onda diferente en cada medio.

OTROS EXPERIMENTOS DE INTERÉS CON MICROONDAS

El aparato de microondas VENTUS tiene otros usos no incluidos en este manual, puesto que la óptica es la materia a estudiar.

A continuación se proponen varias experiencias interesantes que pueden animar a los alumnos a profundizar en su interés por la Radio transmisión y la recepción en general.

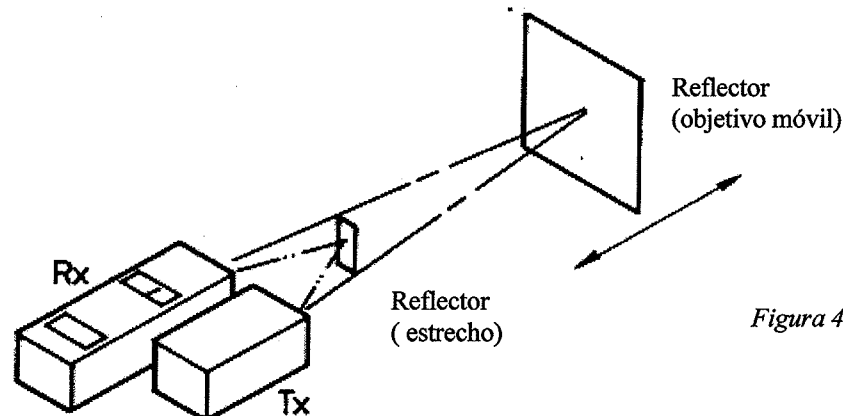
1. Conectar el micrófono al enchufe del Tx y seleccionar la posición de modulación de 100 KHz. Situar el Rx apuntando al Tx a unos pocos metros y disponer la ganancia para que el medidor dé lecturas de aproximadamente media escala. Elevar el volumen del amplificador y hablar al micrófono. El audio se detecta con una fidelidad razonable.
2. Trate de modular la C.W. (onda continua) directamente utilizando enchufes "ext. Mod" y suministrando la salida de, por ejemplo, una grabadora de cassette. Esta señal de entrada enciende ó interrumpe la C.W siendo baja la fidelidad.
La modulación de 100 KHz es una "frecuencia transportadora" que nuevamente se modula fielmente en frecuencia de audio proporcionando mucha mejor calidad de sonido.
3. Observe como al caminar por el laboratorio se varían las lecturas en el Rx. Ponga atención a la reflexión y re-radiación de las ondas de radio en un espacio cerrado. Compare con la situación al exterior.
4. Experimente con la distancia de recepción al Tx utilizando modulación de 100 Hz ó 1 KHz y la reflexión en techos, suelo y paredes. Utilice lentes para mejorar la intensidad de recepción.
5. Pruebe a emitir la radiación desde el pabellón del Tx hacia un reflector parabólico grande y compruebe la intensidad de recepción, por ejemplo a 20 ó 30 metros de distancia. Comparar con la transmisión de línea directa.
6. Utilizando una Sonda Diodo enchufada al Rx, girar a ángulos rectos a la dirección polarizada del campo eléctrico. ¿Se recibe algo? Explicar porqué. Consultar la primera página de este manual para tener una pista. Girar la Sonda sobre su eje.
7. Medir la longitud del diodo montado en la tira de la Sonda Diodo. ¿Se relaciona esta longitud con algo?. Descubra el significado de una antena "Dipolo".
8. Reflexione sobre el significado de "Resonancia" según se mencionó en la introducción de este manual.

EXPERIMENTOS QUE PRECISAN APARATOS ADICIONALES

- **Efecto Doppler**
- **Zonas y Disco de Fresnell**
- **Dispersión de Bragg**
- **Velocidad de la Radiación Electromagnética**

Experimento 18-EFECTO DOPPLER

- En el experimento 15, "INTERFERÓMETRO DE MICHELSON", se indicó como puede usarse el aparato con un cronómetro para encontrar la velocidad a la cual se movió el espejo 2 .
- Se puede llevar a cabo una medida similar con el Tx y el Rx y un par de reflectores según se indica en la figura 46.



- Disponer el Tx en C.W. y utilizar detección de audio en el Rx.
- Parte de la señal emitida se transfiere al Rx mediante un reflector estrecho.
- La otra parte de la transmisión se refleja hacia el Rx desde un objetivo en movimiento pero, a causa del movimiento, se percibe en el Rx como una radiación de frecuencia ligeramente diferente.
- Estas dos frecuencias detectadas por el Rx se combinan para producir una serie de nodos repetitivos ó pulsaciones según las dos ondas estén ó no en fase. La frecuencia de estas pulsaciones, llamada FRECUENCIA DOPPLER, depende directamente de la velocidad del reflector en movimiento respecto al transmisor y al receptor. La relación es :

$$\text{FRECUENCIA DOPPLER} = \Delta f = 2V / \lambda \quad \text{donde}$$

f = frecuencia en Hz
V = velocidad del reflector en m/sec
 λ = longitud de onda en metros

(Posteriormente se expondrá la formulación matemática)

- La señal de salida del Rx se puede conectar a un osciloscopio y la frecuencia de pulsaciones durante el movimiento del objetivo puede ser vista y medirse momentáneamente su frecuencia al tiempo que el objetivo se mueve con rapidez en cualquier dirección. Un problema de importancia es asegurar una velocidad lo suficientemente constante y duradera para hacer una lectura.
- La velocidad del reflector en movimiento puede determinarse a partir de la lectura de la frecuencia en el C.R.O.
- Alternativamente, en lugar de la C.R.O. ,se puede conectar un MEDIDOR DE FRECUENCIA al Rx y obtenerse una lectura directa de la FRECUENCIA DOPPLER para hallar la velocidad.
- Con sistemas modernos de circuitos este instrumento frecuentemente se dispone para dar directamente la velocidad, como sucede en el DISPOSITIVO DE RADAR DE TRÁFICO.

- Si una pantalla metálica se desplaza rápidamente hacia el Tx (dispuesto en el modo C.W.) como un objetivo en movimiento, la frecuencia de pulsación de Efecto Doppler se oír como un tono en el Rx. El nivel de este tono depende de su frecuencia y así cuanto mas rápidamente mueva usted el reflector hacia el Tx mas alta será la nota.
- Si se conecta el Rx a un C.R.O., ó Medidor de Frecuencia, entonces se puede conocer la curva seno (ó lectura de frecuencia).
- Caminar a un paso de 3 millas por hora es aproximadamente equivalente a 4.8 km cada 3600 segundos, ó 1.33 m/s. Esto daría una Frecuencia Doppler de 95 pulsaciones por segundo.
- Un coche a 30 millas por hora daría una nota de Frecuencia Doppler de 950 pulsaciones por segundo, de tono similar al 1 KHz que puede producir el Tx..

FORMULACIÓN MATEMÁTICA PARA LA FRECUENCIA DOPPLER

- En el año 1842 un austriaco, C.J.DOPPLER, predijo que una fuente en movimiento ó un observador en movimiento causarían un efecto en la frecuencia observada de una señal sonora emitida.
- En 1845 un científico holandés (C.H.D. BUYS-BALLOT) demostró el efecto por medio de una bocina en una locomotora.
- SI LA FUENTE ES ESTACIONARIA Y EL OBSERVADOR SE MUEVE.

Dada f_0 = frecuencia, V = velocidad del observador y λ = longitud de onda, entonces un observador estacionario percibiría f_0 crestas de ondas cada segundo. Pero si en ese segundo, él se mueve V metros hacia la fuente, él entonces percibe V / λ mas ondas. Por lo tanto en un segundo él percibe $f_1 = f_0 + (V / \lambda)$ ondas por segundo.

De este modo la frecuencia de las ondas recibidas por el reflector en movimiento, y la frecuencia de las mismas reflejadas por el reflector viene dada por la fórmula de arriba.

- SI LA FUENTE SE MUEVE Y EL OBSERVADOR ESTÁ ESTACIONARIO.

Siendo f_1 la frecuencia emitida por la fuente que se mueve, entonces en un segundo la primera señal emitida habrá recorrido una distancia "c" y la fuente se habrá movido, para emitir la última de sus f_1 ondas, una distancia V desde su posición inicial. De manera que se han comprimido f_1 ondas en un espacio de $c-V$ metros. La longitud de onda resultará entonces $\lambda_2 = (c-V) / f_1$

Para el observador estacionario la frecuencia de las ondas percibidas será

$$f_2 = (c / \lambda_2) = (f_1 c) / (c - V)$$

- Substituyendo en esta fórmula las otras dos: $c = f_0 \lambda$ y $f_1 = (\lambda f_0 + V) / \lambda$

$$\text{Se obtiene } f_2 = ((\lambda f_0 + V) / \lambda) \times f_0 \times \lambda / (f_0 \lambda - V) = (\lambda f_0^2 + f_0 V) / (\lambda f_0 - V)$$

- Si la FRECUENCIA DOPPLER, Δf , es la diferencia entre la frecuencia emitida inicialmente, f_0 , y la frecuencia recibida ahora f_2

$$\Delta f = f_2 - f_0 = ((\lambda f_0^2 + f_0 V) / (\lambda f_0 - V)) - (f_0 / 1) =$$

$$= (\lambda f_0^2 + f_0 V - \lambda f_0^2 + f_0 V) / (\lambda f_0 - V) = 2f_0 V / (\lambda f_0 - V)$$

“t” es el periodo de PULSACIÓN DOPPLER que es el inverso de su “ Δf ”, de forma que $t = (1 / \Delta f) = ((f_0 - V) / 2f_0 V) = (\lambda / 2V) - (1/2f_0)$ y puesto que f_0 es del orden de 10^{10} , este último término es prácticamente despreciable

De manera que $t \cong \lambda / 2V$ y la FRECUENCIA DOPPLER = $(2V / \lambda) \text{ Hz} = 2V / 0.028 \text{ m} = 71.4 \text{ V. Hz.}$

Por lo que si $V = 100 \text{ m/s}$ FRECUENCIA DOPPLER = 7140 Hz.

Experimento 19- REFRACCIÓN DE BRAGG (Ó DISPERSIÓN)

- En 1912 Sir William Bragg descubrió que cuando un haz de rayos X se dirigía en un ángulo pequeño hacia la superficie de un cristal plano se daban ciertos ángulos para los cuales se causaba un haz bastante intenso de rayos X. El lo explicó como una forma de reflexión de los rayos X incidentes desde las distintas interfases existentes entre las capas regulares de átomos que forman la red cristalina.

A ciertos ángulos de incidencia, las reflexiones desde la superficie exterior y desde la segunda interfase presentan una diferencia de camino de justo una longitud de onda completa, de manera que emergen en fase, produciendo una intensidad máxima de emisión. Para otros ángulos la diferencia de camino no es una longitud de onda completa y tiene lugar interferencia de carácter destructivo con la consiguiente caída de la intensidad.

El ángulo en concreto al cual se muestra este efecto está en función del espaciado de las interfases, esto es, el espaciado de los átomos, y se traduce en una fórmula por la cual si Usted conoce la longitud de onda de la radiación incidente y el ángulo de incidencia, entonces Usted puede calcular el espaciado interatómico.

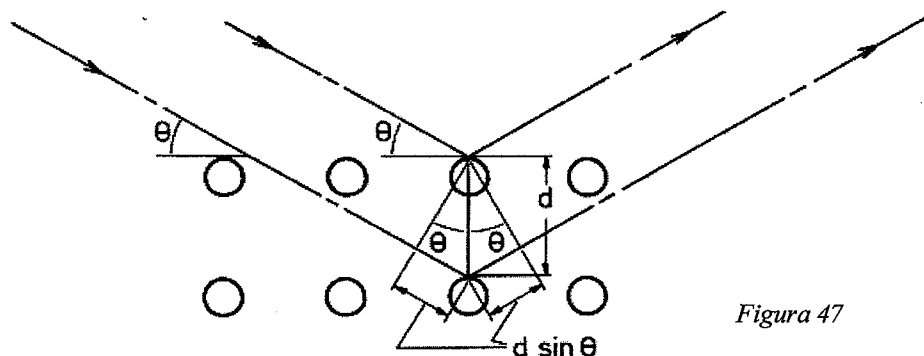


Figura 47

Para que las dos reflexiones estén en fase, la diferencia de caminos, que es $2d \sin \theta$, tiene que ser una longitud de onda. Entonces $d = \lambda / 2 \sin \theta$. Esta es la ley de Bragg.

Ver Fig. 47.

Un fenómeno análogo tiene lugar cuando las microondas se emiten sobre una serie de esferas metálicas reflectoras dispuestas convenientemente con un espaciado regular.

Un modelo adecuado de un cristal puede hacerse como se indica a continuación:

Conseguir cuatro láminas de espuma de poliestireno (ó goma espuma) de 20 cm^2 y 12.5 mm de espesor cada una, y cinco láminas de material similar de 20 mm de espesor.

En las láminas mas delgadas disponer una rejilla de líneas de 40 mm de separación y en las intersecciones de estas líneas, taladrar 16 orificios de 12.5 mm de diámetro cada uno.

- Hacer 64 esferas pequeñas de 12.5 mm de diámetro con papel de aluminio ó con canicas de tamaño similar envueltas en papel de aluminio.
- Insertar estas esferas reflectoras en los orificios hechos en las láminas de espuma mas delgadas y entonces hacer un “pastel de capas” de láminas de espuma gruesas y delgadas, de forma alterna, pegándolas mediante una cola de contacto adecuada si son de

gomaespuma; ó, si se usa poliestireno, las capas se pueden unir con traviesas no metálicas tales como cerillas ó palillos.

- Esta construcción proporcionará un espaciado entre centros de 40 mm en una dirección, y de 32.5 mm en la otra.
- Un método alternativo de construir el “cristal” es atravesar y espaciar las esferas de papel de aluminio sobre 16 ejes de madera ó plástico (servirían pajitas de bebida ó agujas de plástico para tejer) y entonces montar verticalmente estos ejes en un bloque de espuma de poliestireno. Con este tipo de construcción se pueden modificar los espaciados en ambas direcciones, pero son obvios para cualquier observador, mientras en el “cristal” original los espaciados sólo los conoce el constructor, y la determinación de este espaciado puede suponer un desafío a los alumnos.
- Situar el Tx y el “cristal” de forma que el haz de radiación incida sobre una de las caras planas del “cristal” en un ángulo de unos 30 grados. Ver Fig.48.

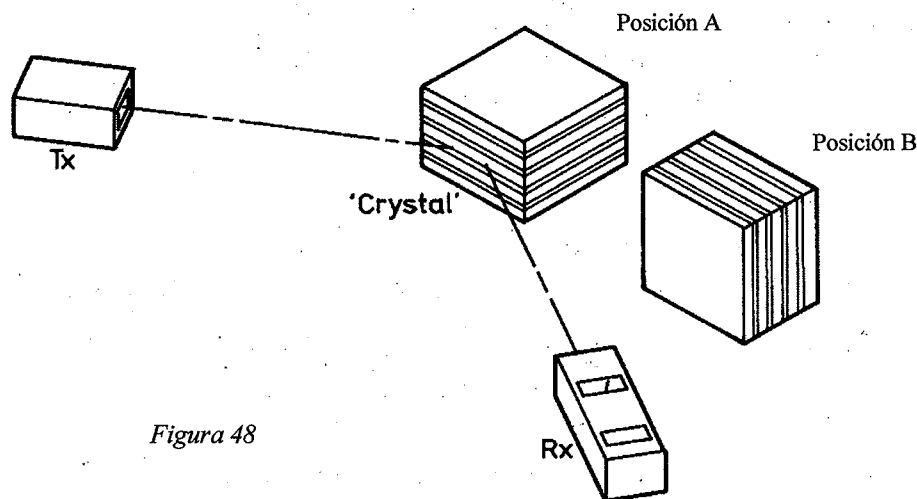


Figura 48

- Situar el Rx en una posición y dirección para recibir la reflexión.
- Reducir gradualmente el ángulo entre el haz incidente y la superficie del “cristal”, y ajustar el ángulo del Rx de forma similar, hasta que tenga lugar una reflexión intensa.
- Con aperturas tan grandes entre las esferas (en relación a sus diámetros) sería de esperar que la mayor parte de la radiación pasara directamente a través del “cristal”, pero la intensa reflexión no lo indica.
- Mediante la Ley de Bragg, $\text{sen } \theta = \lambda / 2d$ (donde “d” es el espaciado entre centros de las esferas. De forma que si $d = 4 \text{ cm}$ y $\lambda = 2.8 \text{ cm}$ (Posición A del esquema) , entonces $\text{sen } \theta = 2.8 / 8 = 0.35$ y debería de ser 20.5° .
- Si Usted reorienta el “cristal” de manera que el haz incida sobre uno de los “lados” mas que sobre la parte superior ó la inferior (Posición B), entonces el espaciado entre centros será de 32.5 mm, dando $\text{sen } \theta = 2.8 / 6.5 = 0.43$, dando $\theta = 25.5^\circ$.

Experimento 20- PLACAS ZONALES DE FRESNEL

Hemos visto que la difracción de ondas a través de una ranura simple produce un abanico central de radiación, estando el ángulo del abanico en relación inversa a la anchura de la ranura . A partir de aquí se puede anticipar como podrá ser la difracción a través de un orificio circular.

Las placas zonales de Fresnel consisten en un disco central rodeado de una serie de zonas anulares concéntricas. Están hechas de material reflectante y se suelen instalar colgándolas con espigas sobre un plano de material transparente, de manera que pueden ser dispuestas para producir una serie de aperturas circulares de diámetros diferentes. De forma alternativa se puede disponer un disco central con aperturas anulares de distintas anchuras, ó un conjunto de discos abiertos anulares alternos y reflectores, como en el diagrama de la página 33.

Los diámetros de los discos vienen dados por dos fórmulas . El diámetro del agujero central se decide escogiendo una "LONGITUD FOCAL" adecuada. El agujero actúa de forma parecida a una lente de enfoque en óptica y la LONGITUD FOCAL viene dada por la fórmula $f = r^2 / \lambda$

El comportamiento de la difracción de Fresnell se experimenta en una longitud de hasta dos veces la distancia FOCAL. A partir de allí el fenómeno cambia y se explica mediante la difracción de Fraunhofer.

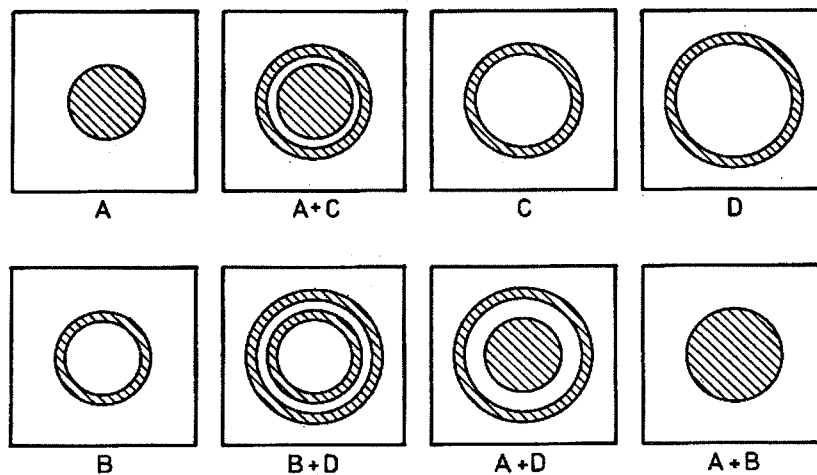


Figura 49

de la fórmula de arriba se obtiene

RADIO DEL DISCO CENTRAL	LONGITUD FOCAL
7 cm	17.50 cm
8	22.85
10	35.70
12	51.42
14	70
16	91.42

Si se escoge un radio de 7 cm para el disco central se obtiene una adecuada distancia total de trabajo de 70 cm.

Los radios de las consiguientes zonas anulares vienen dadas por la fórmula

$$R_n = (n\lambda f)^{1/2} \quad f = r^2 / \lambda$$

$$\text{Entonces } R_n = (n \lambda r^2 / \lambda)^{1/2} = r (n)^{1/2}$$

Utilizando un disco central de 7 cm de radio se obtienen los consiguientes radios 9.89, 12.12, 14 y 15.6 cm, siendo ésto de fácil construcción y manejo. Ver Fig 49 con el disco

de 7 cm señalado con A y las zonas consiguientes señaladas por B, C y D respectivamente.

CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS ZONALES DE FRESNEL

Si se deciden las dimensiones igual que arriba , se necesitarán dos cartulinas rígidas, ó cartón ondulado ó espuma de poliestireno de unos 35 cm².

Pegue una capa de papel de aluminio a una de éstas. Dibuje concéntricamente círculos de los radios arriba indicados. Recorte de esta hoja las zonas anulares y un disco central, y cerca de la arista de cada una, haga un pequeño agujero que se utilizará para colgar los discos.

Disponga concéntricamente estas piezas sobre la otra cartulina y a través de los “agujeros de colgar” señale las posiciones para las espigas en la segunda cartulina.

Colocar espigas de madera ó plástico de manera que cuando esté sujeta en un plano vertical se puedan colocar el disco y los anillos anulares formando cualquier combinación. La instalación de trozos de cerillas ó palillos, como espigas, se facilita si se utiliza cartón ondulado para el segundo disco.

Experimento 20 - FENÓMENOS DE DIFRACCIÓN DE FRESNEL

Situar el Tx y el Rx separados unos 70 cm, y levantados a tal altura que el eje de propagación pase a través del centro de la pantalla cuando se sitúe a medio camino entre ellos con su plano perpendicular al eje de propagación. Ver Fig. 50.

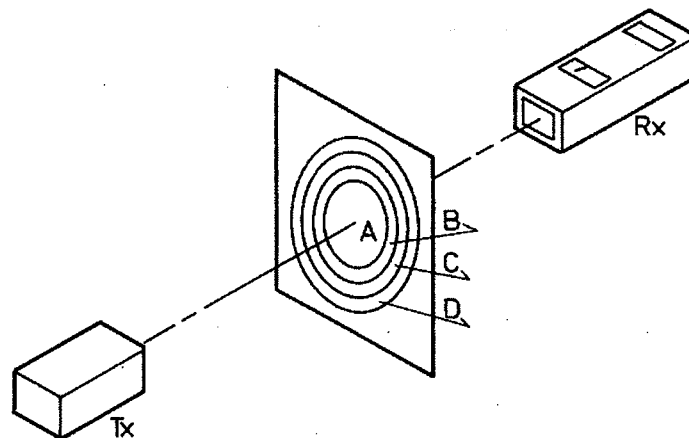


Figura 50

Quitar el disco central de manera que se tenga una abertura circular, y ajuste la separación del Tx y Rx de igual manera a cada lado de la pantalla de Fresnel para producir una posición de recepción máxima.

AHORA quite la Zona B, como se le ha llamado en el diagrama de arriba, y observe el efecto en el nivel de recepción.

Reponerla y quitar la Zona C, observar el efecto.

Reponerla y quitar la Zona D, observar el efecto.

Reponerla y quitar las Zonas B y D, observar el efecto.

Reponer todas las zonas y el disco A, y entonces quitar sucesivamente

Zona B y Zona D

Zona B y Zona C

Zona D y Zona C.

Tabule sus observaciones a continuación:

ZONAS DESCUBIERTAS					INTENSIDAD DE RECEPCIÓN	
DISCO A	DISCO B	DISCO C	DISCO D		GANANCIA	LECTURA

La explicación de este Fenómeno de Fresnel se encuentra en el hecho que los caminos recorridos por las ondas desde el Tx al Rx a través de las diferentes zonas colindantes difieren en media longitud de onda.

La intensidad de la transmisión recibida por ejemplo sólo a través de la zona B se refuerza despejando la Zona D ó se cancela despejando la Zona C.

Se pueden comprobar las longitudes de estos caminos calculando las distancias recorridas a través de cada zona, mediante el teorema de Pitágoras, ó simplemente haciendo un dibujo completo del eje de propagación y de los distintos caminos tomados, mediante el RADIO-MEDIO de cada zona como punto a través del cual se propagan las ondas. Ver Fig.51.

Encontrar las diferencias entre caminos a través de zonas vecinas, y expresar dichas diferencias en longitudes de onda.

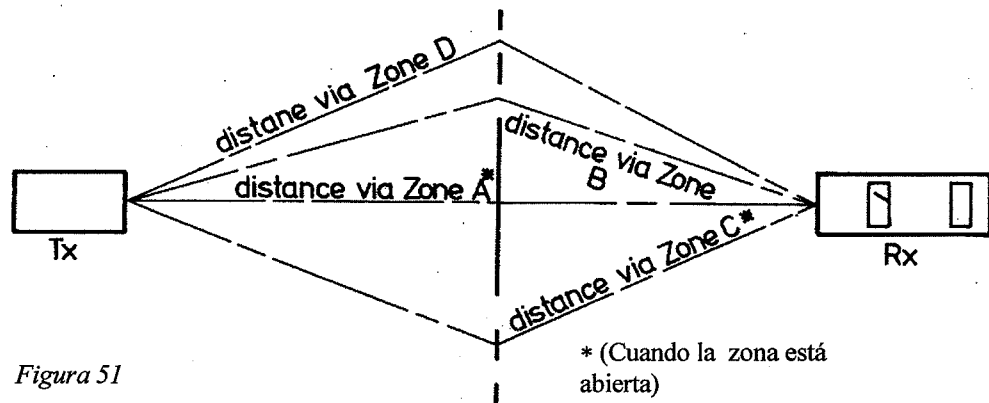


Figura 51

Experimento 21-VELOCIDAD DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Las microondas viajan a la velocidad de la luz , esto es 3×10^8 m / s, y si de hecho se la va a medir será necesario

- a. una distancia lo bastante larga sobre la que medir el tiempo de transmisión.
- b. un dispositivo sensible capaz de indicar intervalos de tiempo muy pequeños.

Por ejemplo si la distancia cubierta es

1 metro, el tiempo que tarda es	3.3×10^{-9} s
100 metros, el tiempo que tarda es	3.3×10^{-7} s
200 metros, el tiempo que tarda es	0.66×10^{-6} s
400 metros, el tiempo que tarda es	1.33×10^{-6} s
500 metros, el tiempo que tarda es	1.66×10^{-6} s

Por tanto se precisa un C.R.O. capaz de medir el tiempo a la millonésima de segundo. Sería satisfactorio si el C.R.O. dispusiera de una velocidad de barrido (ó base temporal) de al menos 1 MHz.

MEDIR LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

El dispositivo es como se muestra a continuación.

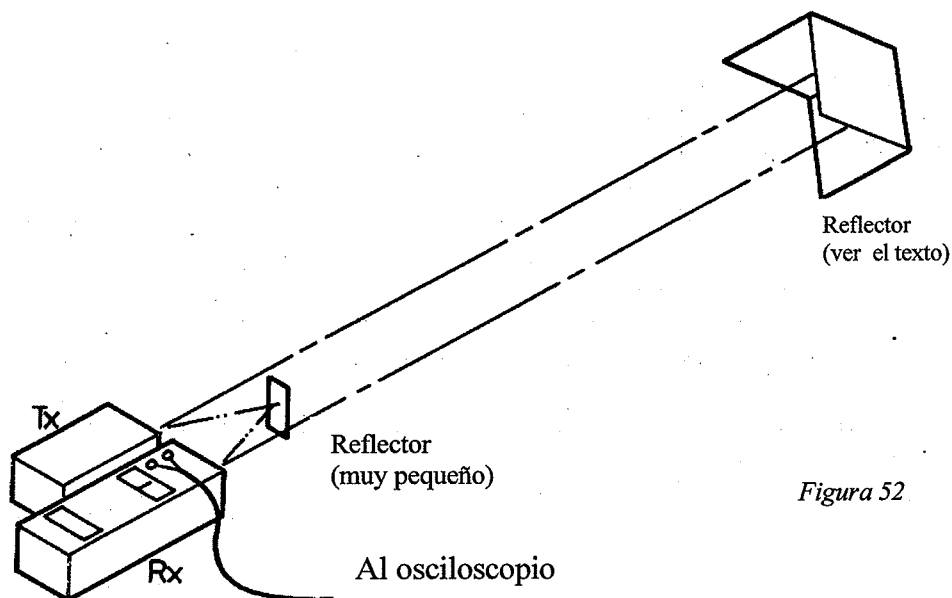


Figura 52

AJUSTES ELÉCTRICOS

La radiación de microondas precisa que se la module ó que se la pulse de forma periódica a una frecuencia de al menos 100 KHz en este experimento de manera que los pulsos definitivos de recepción se pueden ver en la pantalla del osciloscopio. A tal efecto el Tx se puede modular a 100KHz ó alternativamente utilizando los enchufes "EXT. MOD." el CW. Se puede modular a una frecuencia mas alta mediante un generador de señal externa de varios voltios de amplitud y señal de forma cuadrada.

Conectar el enchufe de salida del Rx a un osciloscopio y mediante un reflector muy pequeño, ajustar la base temporal del osciloscopio para fijar los pulsos detectados como un pulso único y constante en la pantalla. Elevar la ganancia del Rx a un nivel alto y reducir el tamaño del reflector para proporcionar una fina y abrupta traza de luz a la pantalla. El reflector puede ser un pequeño trozo de conductor.

Es obvio que un segundo pulso detectado breve tiempo después (por ejemplo 0.33 microsegundos) aparecerá como una segunda fina traza de luz un poco separada de la primera.

Conociendo la frecuencia de los pulsos que se están emitiendo (esto es la frecuencia moduladora y por tanto la frecuencia de base temporal del osciloscopio) y observando el desplazamiento entre las trazas de luz se puede determinar el retardo temporal. Conociendo la distancia recorrida por el haz reflejado de larga distancia, se puede calcular la velocidad transmisión, esto es la velocidad de la luz en el aire.

Un método mejor, si se dispone de un osciloscopio de haz dual, es aplicar la fuente moduladora de onda cuadrada en los enchufes "ext. mod" directamente a un haz y ya no utilizar el reflector pequeño. Aplicar la salida del receptor al segundo haz. Sobreponer los dos haces y ver su tiempo de desplazamiento utilizando una arista de las ondas cuadradas como referencia. Otra ventaja de este método es que cada haz del osciloscopio tiene su regulador de ganancia independiente y las dos trazas luminosas se pueden controlar con más facilidad en cuanto a la altura para mejor observación.

- La alineación del aparato es determinante para asegurar que
 - a. el reflector está en el eje de propagación
 - b. el reflector está orientado correctamente para reflejar el haz al Rx a una larga distancia.
- Situar el Tx sobre una base firme de manera que, una vez apuntado, no varíe su posición.
- Apuntar su eje de propagación hacia un dispositivo reflector metálico a la distancia que Usted escoja, que será la mitad de la distancia total para la cual usted está midiendo el tiempo.
- Llevar el Rx a lo largo del eje de propagación desde el Tx al reflector para asegurar que el reflector está bien situado.
- El reflector más efectivo a utilizar se hace recubriendo la parte interior de dos lados adyacentes y el fondo de un envase grande (ó mejor aún, una caja de té por ser más rígida), con papel de aluminio (u hojas de hojalata ó láminas metálicas) de manera que se disponga de tres planos de reflexión perpendiculares entre sí. Dicho reflector con su vértice sobre el eje de propagación, y alejado del Tx reflejará hacia la fuente de cualquier radiación, un haz paralelo al haz incidente, sin tener en cuenta si el haz incidente incide sobre él simétricamente ó no. (Consúltense las leyes de reflexión en espejos planos dispuestos en ángulos rectos entre sí). Ver Fig. 52.

NOTA: Un reflector de este tipo se dejó instalado en la Luna para la recepción y reflexión de radio transmisiones desde la Tierra. No importa la dirección desde la cual el haz incidente incide sobre el interior del reflector, la reflexión vuelve, paralela al haz incidente, hacia el emisor.

Experimento 22-ROTACIÓN DEL PLANO DE POLARIZACIÓN

Es un conocido fenómeno óptico el hecho que la luz polarizada, cuando atraviesa determinados materiales (tales como cuarzo, disoluciones azucaradas, etc.) y ciertos gases (que por ello reciben el nombre de "ópticamente activos"), experimenta una rotación de su plano de polarización. El sentido de rotación (a derechas, dextrógira ó a izquierdas, levógira) depende del medio y del grado de rotación que está en función de la densidad óptica del material (esto es, la concentración de azúcar en la disolución) y del espesor de la muestra de material a través del cual pasa. En principio se pensó que era la disposición ordenada de las moléculas del cuarzo lo que producía la rotación, pero dicho orden no existe ni en disoluciones líquidas de azúcar ni en gases, alguno de los cuales son ópticamente activos. De esta manera que el fenómeno es causado por alguna característica de la estructura atómica ó molecular.

Un efecto similar de rotación del plano de polarización de las microondas se observa si un medio adecuado (según fue descrito por FOXCROFT y CRUMPLER y así lo expusieron en la edición de Noviembre de 1966 DE LA "SCHOOLS SCIENCE REVIEW") se prepara así:

NOTA: Lea las instrucciones, las notas experimentales, los comentarios y las cuestiones antes de proceder a la construcción; puesto que así podrá decidir sobre los distintos materiales, tamaño y métodos de construcción.

APARATO: Consiste en un cierto número de bloques ó plaquetas de poliestireno en las que se disponen en serie ordenada un cierto número de helicoides de cobre de sentido “a derechas”, ó “a izquierdas” (como muelles).

HACER LOS HELICOIDES: Utilizar 20 S.W.G. de cobre sin forrar (1mm de diámetro) y enrollarlo sobre un eje de unos 4mm de diámetro. Formar un cerrado muelle de por ejemplo 150 mm de largo. Ver figura 53.

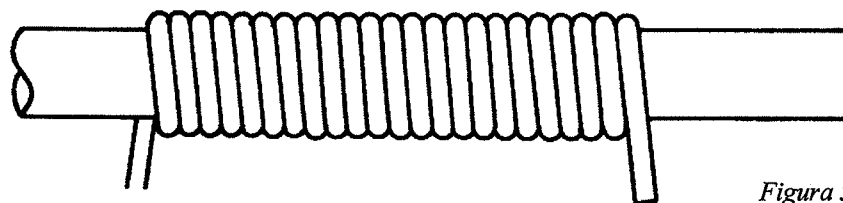
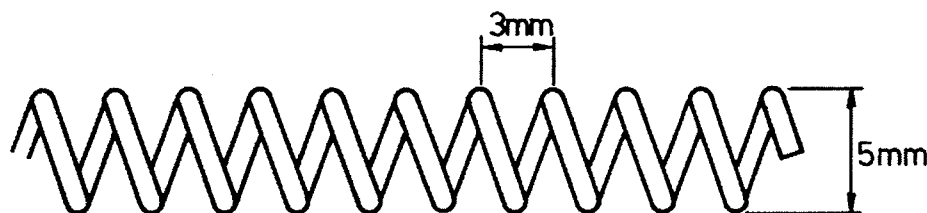


Figura 53

Retirar el eje del centro y contar el número de vueltas que Usted ha enrollado. Sujetando los extremos, estire el “muelle” de manera que la nueva longitud estirada sea: Número de vueltas x 3 mm.

Ahora la separación entre dos vueltas debe ser de 3 mm y el diámetro interior del muelle debe haberse reducido a unos 3 mm, siendo el diámetro exterior del muelle de unos 5 mm. Ver Figura 54.

Ahora corte este “muelle” estirado en longitudes de $3+1/2$ vueltas (12.5 mm de largo). Repetir el proceso hasta tener 208 trozos.



Cortar en trozos de aprox. $3+1/2$ vueltas.

Figura 54

Ahora enrollar mas muelles en sentido contrario hasta tener 208 trozos de espiral contraria a los del primer grupo. Guardarlos por separado.

PREPARAR LOS BLOQUES Ó PLAQUETAS: Las placas de poliestireno de 600 mm^2 absorbentes de sonido se venden en paquetes de 12. Las placas pueden cortarse, mediante una sierra, en plaquetas de 15 cm^2 . (Foxcroft y Crumpler utilizaron plaquetas de 13 cm^2).

En un cuadrado de tabla ó fibra de tamaño similar disponer una serie de orificios de 4.7 mm de diámetro en centros separados 30 mm.

En un trozo de plaqueta taladrar un orificio de 4.7 mm de diámetro y probar que ajuste un helicoides de manera que quede sujeto firmemente en el poliestireno pero sin que sea deformado al insertarlo. Si el tamaño del orificio es demasiado grande y hace que el ajuste tenga holgura, utilizar un calibre de taladro menor.

Ahora colocar la fibra sobre una plaqueta de poliestireno y taladrar diagonalmente dos orificios opuestos en la plaqueta. Mediante dos corchetes de madera unir firmemente la fibra a la plaqueta y entonces proceder a taladrar el resto de los orificios.

Taladrar 26 de dichas plaquetas. La utilización de la fibra hará que el taladrado y la colocación de las piezas sea más rápida y asegura el alineamiento uniforme de los helicoides al instalarlos.

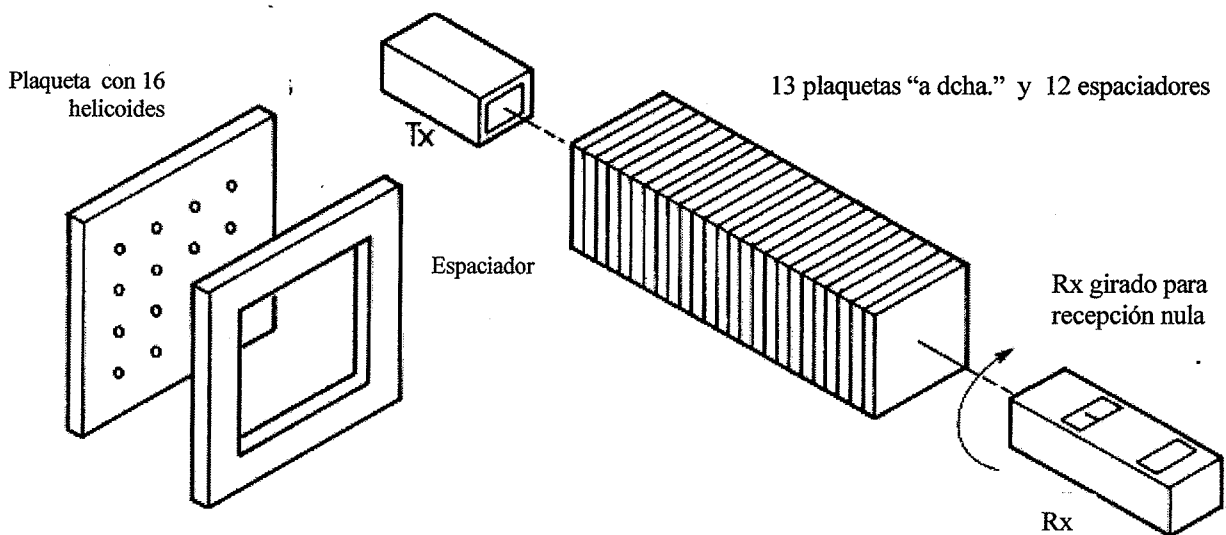
Insertar 208 helicoides de una dirección (13 plaquetas con 16 helicoides cada una) y de forma similar 13 plaquetas de helicoides contrarios. Marcar con colores los dos tipos para que se puedan reconocer.

APILAR LAS PLAQUETAS: En el experimento las plaquetas se disponen verticalmente, en series de 13, con sus planos perpendiculares al eje de propagación, con espaciadores entre ellos de manera que no haya posibilidad de que los helicoides se toquen. Foxcroft y Crumpler utilizaron un cajón de madera pegado (sin clavos para evitar introducir metales en la zona del experimento).

Si usted saca rectángulos grandes de 10 mm² de plaquetas de 15 cm² quedando “marcos “ de 25 mm, estos se pueden utilizar como “espaciadores” entre las plaquetas. Se puede utilizar una caja de cartón para sujetar las plaquetas y espaciadores paralelos y de forma compacta.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL (A) – Se precisan 13 Plaquetas a dcha., 13 Plaquetas a izda. 13 Plaquetas neutras y 12 espaciadores.

Colocar una pila de 13 plaquetas a derechas con 12 espaciadores en la manera arriba descrita, junto al Tx de manera que el eje de propagación atraviase por el centro de las plaquetas. Ver Fig.55.



Situar el Rx sobre el eje de propagación a unos 50 cm de la última plaqueta a través de la cual pasa la radiación.

Girar ya sea el Tx ó el Rx (no ambos) entorno al eje de propagación hasta que se obtenga una recepción cero ó mínima.

Se necesitará algún medio de observar con precisión los ángulos de rotación desde esta posición. Incorporar, pegando con cinta adhesiva, una delgada aguja al centro del pabellón del Tx ó el Rx (el que Usted esté girando) e instalar un transportador de ángulos circular de celuloide ó de perspex delante de la aguja con su centro sobre el eje de propagación.

- Ahora remplazar cualquier plaqueta “a dcha.” aleatoriamente por uno a “ izda.” y girar el Tx (ó el Rx) para obtener recepción nula ó mínima.
- Anotar el ángulo respecto a la posición inicial.

- Continuar sustituyendo plaquetas "a dcha." por otros "a izda." aleatoriamente hasta que Usted tenga 13 plaquetas "a izda." en la caja.
- Anote los nuevos ángulos a los cuales el Tx (ó el Rx) deben ser dispuestos para obtener recepción nula ó mínima.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL (B)

- Reponer los 13 plaquetas " a dcha." de la caja y realinear el Tx (ó el Rx) para una recepción nula ó mínima.
- Ahora remplazar aleatoriamente dos plaquetas "a dcha." por dos plaquetas neutras y girar el Tx (ó Rx) ,como antes, para recepción nula ó mínima y anotar el ángulo desde la posición inicial.
- Continuar remplazando 2 plaquetas " a dcha." por plaquetas neutras con las observaciones apropiadas de los ángulos, hasta que a Usted le queden 12 neutras y 1 plaqueta "a dcha."
- Cámbielo a 12 neutras y 1 plaqueta "a izda." y entonces remplace, paso a paso, dos cada vez, las plaquetas neutras por plaquetas "a izda." hasta que tenga en su sitio 13 plaquetas "a izda.", anotando las variaciones de ángulos del Tx (ó Rx) en cada cambio de plaquetas.

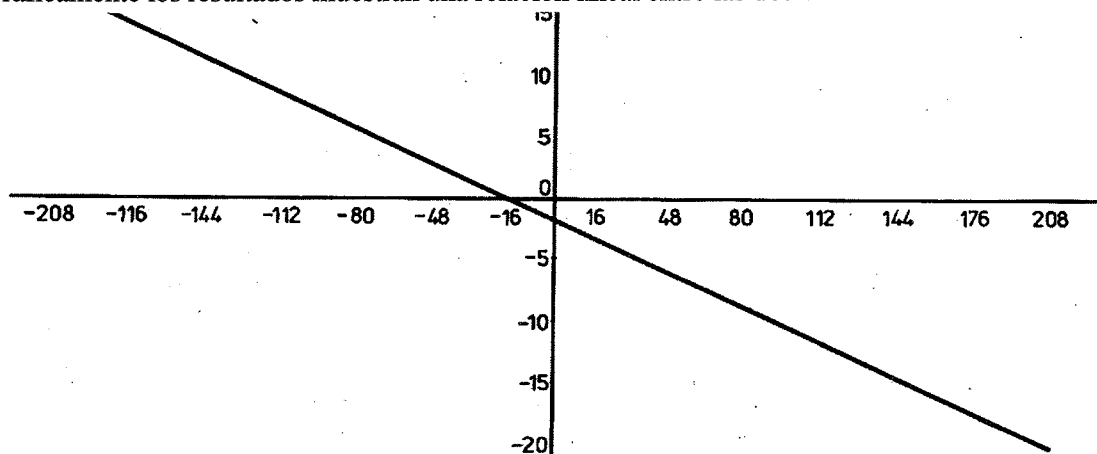
Observe que en el Experimento A se mantiene constante el número y disposición de centros de dispersión, sean los helicoides "a izda." ó " a dcha." Y en el Experimento B el numero de centros de dispersión se reduce y luego se aumenta de nuevo después de cambiar el tipo de helicoides, PERO en ambos experimentos EL EXCESO EN EL NÚMERO DE helicoides "a dcha." frente al de "a izda." se reduce cada vez en 32.

Moviendo el Rx hacia atrás y hacia delante a lo largo del eje de propagación se puede mostrar que la difracción entorno a las helicoides no afecta al ángulo resultante de rotación del plano de polarización.

Las OBSERVACIONES se pueden tabular como se indica a continuación (en la forma de Foxcroft y Crumpler).

EXCESS OF R.H. over L.H. helices	+208	+176	+144	+112	+80	+48	+16	-16	-48	-80	-112	-114	-176	-208
MEAN ANGLE of VARIATION	-20%	-17	-14	-11%	-8½	-5.75	-2.75	+½	+3	+6%	+9%	+11.75	+14%	+16.75

Gráficamente los resultados muestran una relación lineal entre las dos variables.



EXPLICACIÓN: La longitud de cualquier helicoide es aproximadamente media longitud de onda. En cualquier instante de tiempo la intensidad del campo "E" en puntos a lo largo del helicoide no es la misma. Por lo que se dan diferencias de potencial a lo largo de cada helicoide de cobre. Estas variaciones del potencial hacen que las corrientes oscilatorias en la dirección del campo "E" original circulen hacia delante y hacia atrás por el helicoide. Estas corrientes consisten en electrones "libres" en movimiento en el cobre, estos movimientos originan radiaciones secundarias de más campos eléctricos.

Examine dos puntos A y B en lados opuestos de un bucle de un helicoide con su eje sobre el eje de propagación, sobre el eje XOX' , y el campo "E" original en la dirección axial YOY' .

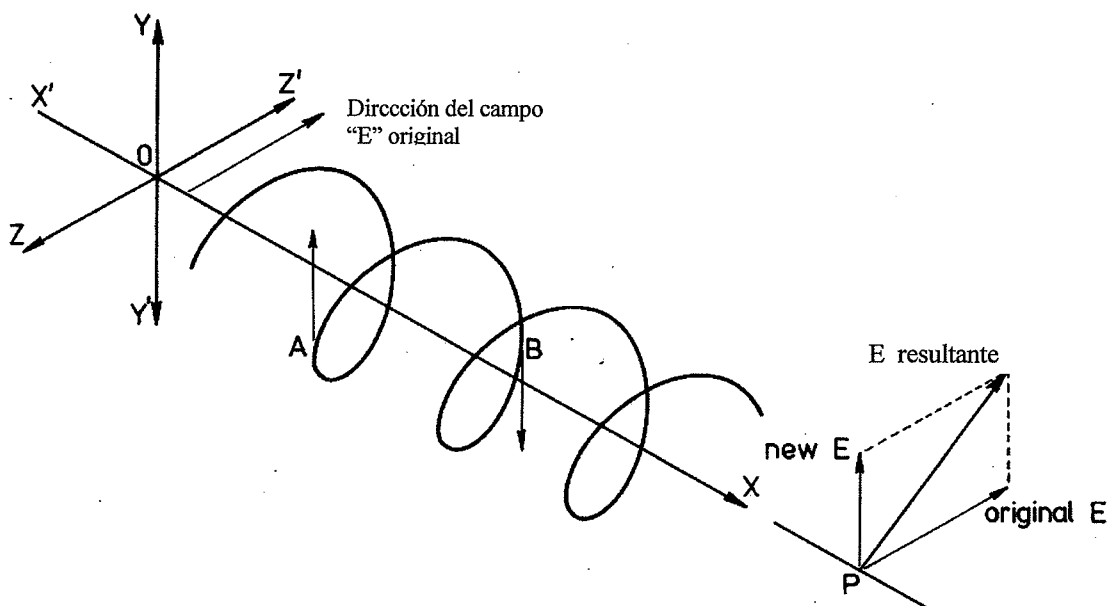
(Ver Fig.56, página 41)

Si la corriente "SUBE" en la posición A entonces "BAJA" en B. Pero la corriente es un indicador de la dirección del campo "E" en cualquier posición y también indica la dirección del nuevo campo "E" generado por estas cargas en movimiento.

Estos nuevos campos "E" desde A y B alcanzan un punto P mas alejado sobre el eje de propagación en tiempos distintos y por tanto fuera de fase, así como de dirección opuesta entre ellos. El resultado es que originándose desde todos los puntos como A y B en cada helicoide hay cierto pequeño campo residual "E" en la dirección YOY' en el punto P, y esto se suma al campo "E" original en la dirección ZOZ' para dar un campo "E" resultante orientado a un cierto ángulo respecto de la dirección "E" original.

COMENTARIOS: Mediante esta explicación teórica de cómo tiene lugar la rotación del plano de polarización, piense las respuestas a lo siguiente:

Cuestión 1 ¿Importa la dirección en que se sitúen los ejes de los helicoides?
 ¿Responderían de forma similar si los ejes fueran transversales al eje de propagación? ¿ Se originarían corrientes alternas en ellos?. ¿Producirían estas corrientes campos verticales "E" que llegasen a P fuera de fase?.



Cuestión 2 ¿Podrían situarse los helicoides con sus ejes en una dirección vertical YOY' y producir corrientes parecidas con campos "E" que alcanzasen el punto P?

Trate de orientar la caja de plaquetas con un número extra de bien sea plaquetas "a dcha." ó "a izda." en una variedad de direcciones a determinar si la dirección de los ejes de los helicoides están relacionada con el grado de rotación del plano de polarización.

Foxcroft y Crumpler lo intentaron con orientación totalmente aleatoria de los helicoides insertándolos en 180 esferas de poliestireno que vertieron en una caja de 100 mm x 100 mm x 300 mm y descubrieron que la rotación era, como antes, dependiente sólo del exceso de helicoides “a dcha.” frente al de “a izda.”.

- Cuestión 3 ¿Satisface la explicación teórica de arriba el hecho que los helicoides “ a izda.” giran el plano de polarización en dirección contraria a la producida por los helicoides “a dcha.”?
- Cuestión 4 ¿Es necesario que las fuentes de interferencia sean helicoides? ¿ Podrían ser bolas de cable arrugado? Considerar el efecto de la posibilidad que en dicha bola hubiera rollos de cable tocándose entre sí en varios puntos. ¿ Se podrían utilizar aros continuos?
¿Se podrían utilizar barras cortas de alambre esparcidas aleatoriamente en el espacio introduciéndolas en pequeñas bolas?.
- Cuestión 5 ¿Es la longitud del helicoide (aproximadamente media longitud de onda) de alguna manera un factor determinante? Si su longitud fuera por ejemplo de 10 cm ¿Cuál sería su efecto en la generación de corrientes alternas en los bucles de los helicoides?
- Cuestión 6 ¿Es imprescindible que el cable de cobre esté DESNUDO ó el revestido sería igualmente efectivo? Recuerde que las corrientes alternas generadas en metales en el camino de las microondas están en la superficie de los metales-el “efecto piel”.
- Cuestión 7 Además de evitar la posibilidad de que los helicoides se toquen en los extremos y produzcan helicoides mas largos, ¿Son necesarios los espaciadores entre plaquetas? ¿Bastaría con hojas de papel?.
- Cuestión 8 ¿Es determinante el diámetro de los helicoides?. ¿Valdría igual con 6 mm ó 12.5 mm?

Experimento 23- VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN EN UN DIELECTRICO

Para este experimento se precisan dos bloques de perspex de unos 25 mm de espesor y 15cm². (Ver Fig.57, página 42).

- Situar un bloque con su plano perpendicular al eje de propagación y con una arista sobre el eje de propagación, de manera que la mitad del haz transmitido pase directamente al Rx y la mitad pase a través del bloque de perspex.
- Observar que la recepción se ha cancelado prácticamente.

Esto se debe a la menor velocidad de propagación a través del medio de perspex lo que causa que la onda emergente se retrase en aproximadamente media longitud de onda, de manera que está fuera de fase respecto a la onda que se propaga directamente.

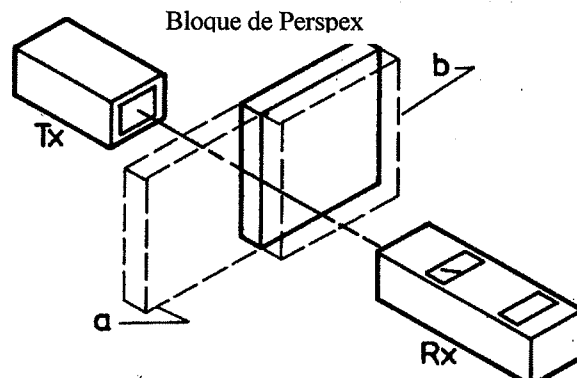


Figura 57

- Recordar que la difracción tiene lugar en torno a las aristas de estas barreras y que puede presentarse cierta señal en la zona supuestamente cubierta. Deslice transversalmente el bloque hacia el eje de propagación poco a poco para asegurar una recepción mínima.
- La señal se puede recuperar de dos maneras:
 - a. Colocando un segundo bloque en el camino del haz que en principio era directo de manera que ambas mitades del haz se retarden y de nuevo estén en fase.
 - b. Colocando el segundo bloque detrás del primero de manera que el haz se retrarde ahora aproximadamente en una longitud de onda completa y así esté en fase con la mitad de la transmisión que se propaga directamente.

El fenómeno se puede ilustrar mediante el siguiente diagrama en el cual la línea de trazos con forma de onda representa la microonda lenta a través del perspex, de longitud de onda mas corta, siendo la línea sólida la microonda mas rápida a través del aire, de mas larga longitud de onda.. Con una fracción menor de $1 + 1/2$ ondas en el perspex de espesor de 25 mm la onda emerge fuera de fase en $1/2$ longitud de onda respecto de la onda que se ha propagado casi una longitud de onda completa (28 mm) por el aire.

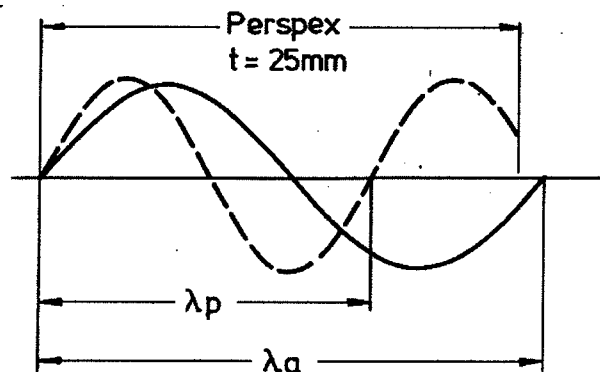


Figura 58

De la Fig.58, Número de ondas en el Perspex – Número de ondas en el aire = $1/2$

$$\text{ó } t/\lambda_p - t/\lambda_a = 1/2$$

$$nt/\lambda_a - t/\lambda_a = 1/2$$

$$(n-1)t = \lambda_a/2$$

donde t = espesor del perspex
 λ_p = longitud de onda en perspex
 λ_a = longitud de onda en el aire
 n = índice de refracción

Substituyendo los valores : $t = 25 \text{ mm}$
 $\lambda_a = 28 \text{ mm}$

$$\text{Se obtiene } (n-1) 25 = 14$$
$$n = 39 / 25 = 1.56$$

Y la velocidad de la microonda en el aire = $n \times \text{Velocidad de la microonda en perspex}$
Así Velocidad de la microonda en perspex = $3 \times 10^8 / 1.56 = 1.923 \times 10^8 \text{ m/s}$

Si Usted construye gradualmente un bloque de cierto material dieléctrico, por ejemplo capas de fibra, hasta que cause también el tipo de retardo de onda anterior y no se reciba señal, se puede determinar , midiendo el espesor total del dieléctrico introducido, la velocidad de las microondas en ese medio y su índice de refracción.