|  |  |
| --- | --- |
| **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  **SEDE BARBOSA**  **FACULTAD DE CIENCIAS**  **ESCUELA DE FÍSICA** | **C:\Documents and Settings\Usuario\Configuración local\Archivos temporales de Internet\Content.Word\logo-main-barbosa.png** |
| ***GUÍA DE LABORATORIO***  ***PRACTICA N° 08*** | |
| 1. ***IDENTIFICACIÓN:*** | |
| **ASIGNATURA: LABORATORIO DE FÍSICA III** | |
| **TEMA: MICROONDAS: Polarización. Absorción** | |
| **DOCENTE: CARLOS PERUCHO** | |
| 1. ***INTRODUCCIÓN*** | |
| Las ondas electromagnéticas (OEM) juegan un rol preponderante en muchos aspectos de nuestra vida. La luz visible que nos contacta con el mundo que nos rodea, las ondas de radio y televisión que nos comunican, los Rayos X que ayudan a detectar nuestras enfermedades, son los ejemplos más familiares de ondas electromagnéticas.  Toda onda es una perturbación de alguna propiedad física que se propaga. Una OEM es una perturbación de un campo eléctrico **E**, que necesariamente va acompañada de una perturbación de un campo magnético **B**, de tal modo que ambas perturbaciones se propagan (en el vacío) a la velocidad *c* = 300.000Km/s, lo que se denomina "velocidad de la luz" y es una constante fundamental de la Física.  ¿Cómo puede generarse una OEM? Una forma bastante familiar a todos nosotros (ondas de radio) es a través de hacer oscilar electrones en una antena. En efecto, los electrones que oscilan en la antena producen al mismo tiempo un campo eléctrico oscilante y un campo magnético oscilante, los que, conforme a las leyes fundamentales del electromagnetismo, se continúan generando el uno al otro, propagándose así en el espacio.  Toda la radiación electromagnética conocida, abarca un espectro de frecuencias (y por lo tanto de longitud de onda) de más de 20 órdenes de magnitud.  Las microondas son OEM que abarcan un rango de longitudes de onda entre algunos milímetros hasta un par de decenas de centímetros. Por esta característica constituyen una herramienta valiosa para el estudio de los fenómenos ondulatorios, como transición entre las ondas mecánicas, generalmente visibles a simple vista; y la luz visible que corresponde a longitudes de onda mucho más pequeñas (del orden de los micrones). Por otra parte, las microondas tienen una gran importancia práctica ya que se utilizan en forma preponderante en los sistemas modernos de comunicación (por ejemplo, comunicaciones telefónicas). | |
| 1. ***OBJETIVOS*** | |
| - En este primer contacto con el estudio de las OEM, se debe superar la barrera de comprensión que siempre existe entre aquellos fenómenos observables a simple vista (por ej. ondas mecánicas) y aquéllos que lo son indirectamente mediante el uso de instrumentos apropiados.  - A través de un enfoque fenomenológico teórico-experimental, se pretende familiarizarse con la generación, propagación y detección de ondas electromagnéticas, en este caso específico microondas.  - Medir la distribución del campo transversal y longitudinal de microondas delante de una antena de bocina.  - Demostrar la polarizabilidad de microondas y determinar la polarización de las microondas emitidas.  - Medir la señal recibida por la sonda de campo E como una medida de la potencia de microondas transmitida detrás de alfombras de espuma secas y húmedas. | |
| 1. ***MARCO TEÓRICO*** | |
| Las microondas son generadas, por ejemplo, en una cavidad resonante, en donde la frecuencia está prefijada por el volumen de la cavidad resonante. Como detector se utiliza una sonda E (sonda de campo eléctrico), con la que mide la componente del campo eléctrico paralela a la sonda. La señal de salida de la sonda es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo y con ello a la intensidad de las ondas electromagnéticas.  Las microondas son ondas electromagnéticas con frecuencias entre 300MHz y 300GHz y longitudes de onda entre 1m y 1mm. Aunque las frecuencias están por debajo de las de luz visible en más de 3 órdenes de magnitud, pueden compararse muchas propiedades de radiación de microondas con las de luz visible. Por ejemplo, pueden polarizarse las microondas de la misma manera como las ondas de luz. Si el campo eléctrico oscila en un plano fijo, esto se llama polarización lineal. Tal polarización lineal puede crearse o analizarse por medio de un polarizador. Si una onda linealmente polarizada con una amplitud de campo eléctrico *E*0 incide en un polarizador que se gira respecto a la dirección de polarización de la onda por un ángulo θ, la componente del campo  E(θ)=E0cos θ (I)  pasará el polarizador. Por consiguiente la intensidad de la onda es  I(θ)=I0cos2 θ (II)  detrás del polarizador. En óptica, la ecuación (II) es conocida como la ley de Malus.  Hay una marcada diferencia entre la generación de microondas y las ondas de luz. Las microondas se generan en una guía de onda y se emiten en el espacio libre vía una antena extensa. A una distancia suficientemente grande, la antena puede considerarse como una fuente puntual. A esta distancia los campos eléctrico y magnético de las microondas oscilan perpendicularmente uno de otra y a la dirección de propagación (campo lejano). Ambos campos disminuyen inversamente proporcionalmente a la distancia, su razón es constante:  *E0~ B0~1/r* (III)  A distancias por debajo del límite  rD=2\*D2/λ (IV)  *D*: la dimensión transversal mayor la antena, λ: la longitud de onda de la distribución del campo de la onda radiada es más compleja (cerca del campo). Sólo en ondas radiadas perpendicularmente a la antena, la dirección de propagación y el campo eléctrico y magnético son perpendiculares unos a otros.  Cuando los microondas atraviesan un medio, ellas son - como todas las ondas electromagnéticas - más o menos amortiguadas porque parte de la potencia de microondas es absorbida en el medio. La proporción absorbida depende del espesor del medio y la estructura molecular.  El calentamiento qué acompaña la absorción es debida principalmente a efectos inductivos y dieléctricos que dependen de la temperatura y la frecuencia, es decir, la absorción de microondas, también, depende de la temperatura y la frecuencia.  La calefacción inductiva ocurre sobre todo en semiconductores y metales. Aquí los electrones libres son acelerados por el campo eléctrico alterno, que lleva a corrientes parásitas.  En substancias con moléculas polares como agua o substancias que contienen agua y plásticos polares, tiene lugar la calefacción dieléctrica. Las moléculas polares se alinean con el campo eléctrico así rotando de un lado a otro en el campo eléctrico alterno de las microondas. Estos movimientos llevan a la fricción interna y generan calor.  **Fuente de microondas:**  En este experimento, un oscilador Gunn se usa como una fuente de microondas. Opera a una frecuencia de 9.4MHz y descarga una potencia de aprox.10mW vía una antena de bocina conectada (vea la Fig. 1). El oscilador es una sección corta de una guía de onda rectangular con un cuerpo de cerámica pequeño que se sostiene por un poste de latón inmediatamente delante de la parte de atrás. En el cuerpo de cerámica, hay un elemento semiconductor con una resistencia diferencial negativa. Este elemento así llamado de Gunn juega el papel activo en la generación de oscilaciones de campo eléctrico y magnético. En el lado opuesto, la guía de onda está cerrada por un diafragma de agujero de alfiler (pinhole) a través de la cual parte de la energía de microonda generada se escapa. Una antena de bocina se acopla a la cavidad cerrada vía otra sección de guía de onda. La potencia de microondas se emite al espacio libre por la antena.    *Fig. 1 Estructura interior de la fuente de microondas y distribución del campo eléctrico E en el modo dominante de la oscilación de la cavidad:* ***a*** *elemento Gunn,* ***b*** *cavidad,* ***c*** *diafragma pinhole,****d*** *guía de onda,* ***e*** *antena de bocina.*  En la cavidad, se generan ondas electromagnéticas estacionarias cuyas longitudes de onda son determinadas por las dimensiones de la cavidad. Si la cavidad se hace más pequeña, la longitud de onda se hace más corta y la frecuencia se aumenta. La frecuencia también puede cambiarse introduciendo un (*pin*) alfiler dieléctrico.  En el modo dominante, la frecuencia de resonancia está dada por  (V)  *c*: velocidad de la luz, *b*: anchura de la cavidad *s*: longitud de la cavidad (aquí: la distancia entre el diafragma *pinhole* y el elemento de Gunn, vea la Fig. 1)  Para *s* = 22mm y *b* = 23mm, *f* = 9.4GHz se obtiene y de allí λ = 33mm. Si la dimensión mayor de la antena es *D* = 80mm, *rD* = 400mm resulta el límite para el campo lejano.  **Medición de la fuerza del campo:**  Una sonda de campo **E** (vea la Fig. 2) que no afecta la distribución del campo, se usa para medir la fuerza del campo eléctrico en el campo de microondas en un solo punto. En la sonda, alambres cortos que están soldados a un diodo de alta frecuencia, actúan como antenas de dipolo para las microondas. La señal se recibe en una capa de alta-resistencia hecha de palmaditas de grafito. Los alambres de cobre en la parte inferior de la sonda se trenzan para evitar voltajes inducidos magnéticamente.  Hablando estrictamente, la onda de campo E mide la componente del campo eléctrico que es paralela al eje longitudinal de la sonda y rectifica la señal. Como la característica del diodo no es lineal, la señal de salida es aproximadamente proporcional al cuadrado de la componente del campo. La fuente de alimentación Gunn está provista con un amplificador integrado para la señal de salida de la sonda de campo **E**.  **Polarizador de red:**  Un polarizador de red (vea la Fig. 3) se diseña como un circuito impreso en una tarjeta se usa como un polarizador para los microondas. Las franjas de chapa de cobre estaño previenen la formación de un campo eléctrico paralelo a las rayas debido a su alta conductibilidad. El campo eléctrico sólo puede construirse perpendicularmente a las franjas de metal.    *Figura 2 estructura interior de la sonda de campo E: Figura 3 Estructura interior del polarizador de red:*  ***a*** *diodo de alta frecuencia,* ***b*** *antena de dipolo,* ***a*** *portador,* ***b*** *franjas de metal*  ***c*** *capas de grafito,* ***d*** *alambres trenzado de Cu.*  En la primera parte se estudia el curso y polarización del campo de microondas delante de la antena de bocina irradiadora. Con tal propósito, con la sonda de campo eléctrico se mide punto a punto el campo delante de la antena de bocina en dirección longitudinal y transversal. Para determinar la polarización se dispone de una rejilla de polarización pivotante compuesta de tiras delgadas de metal, en la que el campo eléctrico sólo puede formarse perpendicularmente a las tiras metálicas. La rejilla de polarización se sitúa entre la antena de bocina y la sonda E. El experimento muestra que el vector de campo eléctrico de la microonda irradiada es perpendicular al lado ancho del radiador de bocina.  El objetivo de la segunda parte es la absorción de microondas. Bajo el supuesto que la reflexión puede ser despreciada se calcula la absorción en diferentes materiales a partir de la intensidad incidente y transmitida. De aquí se obtienen resultados importantes de aplicación práctica en la cocina moderna como la fuerte absorción de microondas por el agua. La absorción de microondas por una alfombra de espuma humedecida se compara con la absorción por una seca. Esta investigación tiene dos aspectos interesantes que se consideran en las aplicaciones técnicas. Por un lado, la absorción de potencia de microondas por medios que contienen agua se usa para secar y, en las casas, para cocinar. Por otro lado, absorbentes de microondas se hacen para que ellos satisfagan un propósito intencional, son fabricados con espuma plástica o caucho, impregnados o recubiertos con conductores o compuestos polares. | |
| 1. ***CONSULTA*** | |
| - Generación de microondas. Aplicaciones. - Guía de ondas - Polarización de OEM - Absorción de OEM | |
| 1. ***MONTAJE Y PROCEDIMIENTO*** | |
| **Notas de seguridad**  ¡Atención, potencia de microonda! La potencia de microondas suministrada por el oscilador Gunn es de aprox. 10-15mW que es peligroso para el experimentador. Sin embargo, para que se preparen los estudiantes para ocuparse de sistemas de microondas con potencia superior, ellos deben practicar ciertas reglas de seguridad:  \* Nunca mire directamente a la antena de bocina transmisora.  \* Antes de posicionar algo en el arreglo experimental, siempre desconecte el oscilador Gunn.  *Comentarios:*  *La medición resultante puede distorsionarse por la reflexión de las microondas en superficies verticales de objetos cercanos al arreglo experimental: Escoja la dirección de transmisión de la antena de bocina para que las superficies reflectoras estén a una distancia de por lo menos 4m. Si es posible, use absorbentes de microondas para construir una cámara de medición libre de reflexiones.*  *El campo magnético variante de microondas puede inducir voltajes en las vueltas del cable: Evite los bucles del cable.*  **Parte I:** El arreglo experimental se ilustra en la Fig. 4.   * -Para medir las distancias, haga una regla larga de 80cm pegando una escala de papel, o use una regla. * -Conecte el oscilador Gunn a la antena de bocina con los conectores rápidos **(b)**. * -Alinee la antena de bocina horizontalmente, atornille la varilla de 25cm de longitud con el hilo correspondiente y sujételo a una base cilíndrica. * -Conecte el oscilador Gunn a la salida OUT con un cable BNC. Conecte la sonda de campo E al amplificador de entrada y el voltímetro a la salida DC OUT de la fuente de alimentación Gunn. * -Coloque la sonda de campo E delante de centro de la antena de bocina. * -Sitúe la frecuencia de modulación con el ajustador de frecuencia **(a)** para que el multímetro despliegue la máxima señal recibida.     *Figura 4 Arreglo experimental: Izquierdo: para medir la distribución del campo delante de la antena de bocina. Derecho: para determinar la polarización*  **Parte II:** El arreglo experimental se ilustra en la Fig. 5.   * -Conecte el oscilador Gunn a la antena de bocina con los conectores rápidos **(b)**. * -Alinee la antena de bocina horizontalmente, atornille la varilla de 25cm de longitud con el hilo correspondiente y sujételo a una base cilíndrica. * -Conecte el oscilador Gunn a la salida OUT con un cable BNC. Conecte la sonda de campo E al amplificador de entrada y el voltímetro a la salida DC OUT de la fuente de alimentación Gunn. * -Coloque la sonda de campo E delante de centro de la antena de bocina. * -Sitúe la frecuencia de modulación con el ajustador de frecuencia **(a)** para que el multímetro despliegue la máxima señal recibida. * -Ponga un pedazo de tela absorbente o empapele el arreglo experimental, y coloque la placa dieléctrica (3mm) de los accesorios de microondas a una distancia de aprox. 10cm de la antena de bocina. * -Busque a una distancia entre la sonda de campo E y la placa dieléctrica para que el voltaje medido sea tan alto como sea posible.   *Comentario: Como las microondas también se reflejan ligeramente en el albergue de la sonda de campo E, la medición de la señal exhibe una pequeña porción de onda estacionaria incluso detrás de la placa de dieléctrico.*  **PROCEDIMIENTO**  ***Sugerencia:*** *Realice inicialmente los numerales 1 a 3 de la parte II, luego si, inicie la parte I. Transcurrido el tiempo indicado realice el numeral 4 de la parte II y continué con la parte I.*  **Parte I a) Distribución del campo transversal:**  - Coloque la sonda del campo E delante de la antena de bocina a la distancia *x*0 = 10cm.  - Varíe la posición de la sonda de campo E entre *y* = -20cm y +20cm en pasos de 4cm. Para cada caso lea la señal recibida *U* y anótela en la tabla 1.  - Repita la medida para la distancia *x*0 = 20cm.  **b) Distribución del campo longitudinal:**  - Coloque la sonda del campo E delante del centro de la antena de bocina (y0 = 0cm).  - Mida la señal recibida *U* entre *x* = 10cm y 82cm en pasos de 4cm y anótela en la tabla 2.    *Figura 5 Arreglo experimental para medir la absorción de microondas*  **c) Polarización:**  Primero: 1. Sostenga la sonda de campo E verticalmente y luego horizontalmente delante de la antena de bocina, y mida la señal recibida *U* en ambos casos.  Luego: 2. Coloque la sonda de campo E delante del centro de la antena de bocina (distancie aprox. 30cm), y ponga el polarizador de red en el campo entre la antena de bocina y la sonda de campo E.  3. Rote el polarizador de red de φ = 0° a 180° en pasos de 10°. Cada medida de tiempo de la señal recibida U y anótela.  4. entonces: Gire la antena de bocina con el oscilador Gunn en la vertical, atornille la varilla de posición en el hilo correspondiente, y coloque la antena de bocina a la distancia anterior del polarizador de red y la sonda de campo E.  5. De nuevo rote el polarizador de red de 0° a 180° en pasos de 10°. Cada vez mida la señal recibida y anótela en la tabla 3.  **Parte II** 1. Lea la señal recibida, y anótela.  2. Sujete la alfombra de espuma detrás de la placa de dieléctrico, y mida la señal recibida.  3. Humedezca completamente la alfombra de espuma con agua, sujételo de nuevo detrás de la placa de dieléctrico, y mida la señal recibida.  4. Permita que la alfombra de espuma se seque por media hora, y repita la medida. | |
| 1. ***EQUIPO*** | |
| 1 oscilador Gunn, 1 antena del bocina grande, 1 varilla de 245mm, con hilo, 1 fuente de alimentación Gunn con amplificador, 1 sonda de campo E, 1 accesorios de microondas; 1 voltímetro, 2 bases cilíndricas; 2 cables BNC , 2m de longitud; 1 par de cables, 1m negro, 1 juegode absorbentes de microondas, regla o papel milimetrado. | |
| 1. ***ANÁLISIS DE RESULTADOS*** | |
| **Parte I a) Distribución del campo transversal:**   1. Normalice los valores de la tabla 1, tome *U*0 = *U*(10cm, 0cm) y complete la tabla 5.   Tabla5: Señal recibida Normalizada(distribución transversal)   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | *x0 = 10cm* | *x0 = 20cm* | | *y[cm]* | *U/U0* | *U/U0* | | *-20* |  |  | | *-16* |  |  | | *…* |  |  | | *20* |  |  |   2. Represente en una misma gráfica (*U*/*U*0) versus *y*(cm) para *x*0 = 10cm y para *x*0 = 20cm. Utilice convenciones diferentes para representar los puntos (por ejemplo circulo y cuadrado) para cada *x*0. Trace para cada conjunto de puntos una curva suave de interpolación (de color diferente).  3. Analice las curvas obtenidas y compárelas.  **b) Distribución del campo Longitudinal:**  4. Normalice los valores de la tabla 2, tome también *U*0 = *U*(10cm, 0cm) y complete la tabla 6.  Tabla6: Señal recibida normalizada (distribución longitudinal)   |  |  | | --- | --- | | *x[mm]* | *U/U0* | | *10* |  | | *14* |  | | *…* |  | | *82* |  |   5. Represente en otra gráfica (*U*/*U*0) versus *x*(cm) para *y*0 = 0cm. Trace una curva suave que interpole los puntos.  6. En la misma gráfica trace una hipérbola cuadrática trazada como una línea punteada en el gráfico de campo lejano *U* ~ *E*2 ~ 1/*x*2.  7. Analice la curva obtenida y compárela con la hipérbola, ¿hay concordancia para todos los valores de *x*? ¿Concuerda para algunos valores de *x*? Justifique su respuesta.  **c) Polarización:**  8. En cuál de las posiciones de la sonda de campo E (vertical u horizontal), la señal recibida está más próxima a cero. ¡Que significa respecto de la polarización de las ondas transmitidas?  9. Normalice los valores de la tabla 3, tome también *U*0 = *U*(10cm, 0cm) y complete la tabla 7.  Tabla 7: Señal recibida U(φ) detrás del polarizador de red con la sonda de campo E siendo alineada verticalmente   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | *Antena de bocina horizontal* | *Antena de bocina vertical* | | *φ[grados]* | *U/U0* | *U/U0* | | *0* |  |  | | *10* |  |  | | *…* |  |  | | *180* |  |  |   10. Represente en una misma gráfica (*U*/*U*0) versus φ[grados] para la antena en posición horizontal y para la antena en posición vertical. Utilice convenciones diferentes para representar los puntos (por ejemplo circulo y cuadrado) para cada posición de la antena.  11. En la misma gráfica del numeral 6 trace la curva teórica (*U*/*U*0) = sen4 φ con una línea sólida. (Vea Nota)  12. En la misma gráfica del numeral 6 trace la curva teórica (*U*/*U*0) = cos2 φ sen2 φ con una línea punteada o de otro color. (Vea Nota)  13. Haga una comparación de los valores medidos con el cálculo teórico. ¿Qué concluye?  ***Nota*** *(vea Fig. 6): Si se polarizan las ondas detrás de la antena de bocina perpendicularmente, la componente EP = E0sen φ del campo eléctrico pasa el polarizador de red perpendicularmente a las franjas de metal si el ángulo φ está entre las franjas de metal del polarizador de red y la vertical. La sonda del campo E, también se alinea verticalmente, entonces las medidas de la componente ES = Epsen2φ = E0 sen2φ y genera la señal recibida U = U0sen4φ.*  *Si las ondas se polarizan horizontalmente, el campo eléctrico detrás del polarizador de red será EP = E0cos* *φ. Entonces la sonda de campo E mide la componente ES = EP sen* *φ = E0cos φ y genera la señal recibida U = U0cos2 φ sen2 φ*    *Figura 6. Cálculo de las componentes del campo eléctrico*  14. Las microondas ¿son ondas transversales o longitudinales? ¿Pueden polarizarse? ¿En qué dirección respecto del ancho de la antena de bocina el campo eléctrico se polariza delante de la antena?  15. ¿Cómo cambia la señal transmitida de la antena de bocina al aumentar la distancia? A grandes distancias ¿cómo es la relación entre el campo eléctrico de la señal y la distancia?  16. ¿Cómo es la relación entre el campo eléctrico y la señal recibida?  **Parte II** Bajo la hipótesis que la reflexión de la placa dieléctrica puede ignorarse, la proporción *A* absorbido en la alfombra de espuma es calculada de la potencia de microondas P0 medida sin la alfombra de espuma y la potencia *P* medido detrás de la alfombra de espuma. El voltaje de salida *U* de la sonda de campo E es proporcional a la potencia *P* de las microondas, y por consiguiente  17. Halle el porcentaje de absorción A y completa la tabla 8. ¿Qué concluye? Justifique su respuesta  Tabla 8: Señal recibida U de la sonda de campo E, y la absorción A calculada desde ella   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Material** | **U[V]** | **A(%)** | | Placa dieléctrica (PVC) |  |  | | Espuma seca |  |  | | Espuma mojada |  |  | | Espuma húmeda |  |  |   **Observaciones y Conclusiones** | |
| 1. ***BIBLIOGRAFÍA*** | |
| - ALONSO M., FINN E. Física. Volumen I. Ed. Fondo Educativo Interamericano.  - RESNICK R., HALLIDAY D., Física, Parte I Compañía Editorial Continental S.A.  - TIPLER P. Física, editorial Reverté S.A.  - SEARS, ZEMANSKY. Física. Ed Aguilar.  - TIPPENS, PAUL E. Física conceptos y aplicaciones, editorial McGraw-Hill  - SERWAY, RAYMOND A. Física. Editorial McGraw-Hill  - FRANCO GARCÍA A., Física con ordenador Curso Interactivo de Física en Internet:  http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/espectro/espectro.htm  - MOLECULAR EXPRESSIONS: Physics of Light and Color  http://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/electromagintro.html | |
| **TABLAS DE DATOS (sugerida, llenar con lapicero durante la práctica)**  **MICROONDAS: Polarización. Absorción**  Fecha:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Grupo:\_\_\_\_\_\_ Subgrupo\_\_\_\_\_\_ Estudiantes\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Parte I: Distribución del campo transversal:**  **Tabla 1: Señal recibida(x0,y)(distribución transversal)**   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | *x0 = 10cm* | *x0 = 20cm* | | *y[cm]* | *U[mV]* | *U[mV]* | | *-20* |  |  | | *-16* |  |  | | *…* |  |  | | *20* |  |  |  1. **Distribución del campo longitudinal:**   **Tabla 2: Señal recibida U(x,0) (distribución longitudinal)**   |  |  | | --- | --- | | *x[mm]* | *U[mV]* | | *10* |  | | *14* |  | | *…* |  | | *82* |  |   **Polarización:**  Antena de bocina horizontal, sonda de campo E vertical: *U* = \_\_\_\_\_\_\_\_\_  Antena de bocina horizontal, sonda de campo E horizontal: *U* = \_\_\_\_\_\_\_  **Tabla 3: Señal recibida U(φ) detrás del polarizador de red con la sonda de campo E siendo alineada verticalmente**   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | *Antena de bocina horizontal* | *Antena de bocina vertical* | | *φ[grados]* | *U[mV]* | *U[mV]* | | *0* |  |  | | *10* |  |  | | *…* |  |  | | *180* |  |  |   **Parte II**  **Tabla 4: Señal recibida U de la sonda de campo E**   |  |  | | --- | --- | | **Material** | **U[V]** | | Placa dieléctrica (PVC) |  | | Espuma seca |  | | Espuma mojada |  | | Espuma húmeda |  |   Observaciones.  ­­­­­\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Vo.Bo. Profesor (firma) | |