



MANUAL DE EXPERIMENTOS  
DE ELECTROMAGNETISMO

Constantino Carlos Reyes Aldasoro  
Ante Salcedo González  
Fernando Carrillo Valderrábano

# INDICE DE PRÁCTICAS

---

Presentación.....	iv
PRÁCTICA 1.....	1
Carga Eléctrica.....	1
PRÁCTICA 2.....	6
Superficies Equipotenciales y Campo Eléctrico.....	6
PRÁCTICA 3.....	11
Capacitores y Capacitancia.....	11
PRÁCTICA 4.....	14
Energía y Potencia.....	14
PRÁCTICA 5.....	18
Resistencia y Resistividad.....	18
PRÁCTICA 6.....	24
Elementos electromagnéticos.....	24
PRÁCTICA 7.....	28
Electromagnetismo.....	28
PRÁCTICA 8.....	33
Reflexión y refracción de ondas electromagnéticas.....	33
PRÁCTICA 9.....	37
Introducción a guías de onda y ondas estacionarias.....	37
PRÁCTICA 10.....	41
Energía electromagnética en movimiento.....	41
PRÁCTICA 11.....	46
Patrones de radiación y polarización.....	46
PRÁCTICA 12.....	52
Ganancia de antenas y líneas ranuradas.....	52
PRÁCTICA 13.....	56
Zonas de Fresnel e interferencia de ondas.....	56
PRÁCTICA 14.....	58
Antenas para microondas: cálculos de enlace.....	58
PRÁCTICA 15.....	61
Antenas para microondas: patrón de radiación.....	61
PROYECTO FINAL 1.....	66
Interconexión a través de fibras ópticas.....	66
PROYECTO FINAL 2.....	68
Interconexión a través de microondas.....	68

## ANEXOS

<b>ANEXO 1</b> .....	70
Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.....	70
DEFINICION DE TERMINOS .....	70
Servicios comprendidos .....	71
<b>ANEXO 2</b> .....	76
Especificaciones técnicas de un radio digital marca Harris .....	76
<b>ANEXO 3</b> .....	77
Especificaciones técnicas, equipo comercial de microondas .....	77
<b>ANEXO 4</b> .....	78
Especificaciones técnicas antenas comerciales.....	78
<b>ANEXO 5</b> .....	79
Ejemplo de Mapa Topográfico .....	79
<b>ANEXO 6</b> .....	80
Tablas y gráficas para cálculos de enlaces de microondas.....	80
<b>ANEXO 7</b> .....	81
Base de datos de la banda de 2 [GHz] .....	81

---

## Presentación

Las materias de *Ondas Guiadas y Microondas, Satélites y Antenas*, correspondientes al plan de estudios de Ingeniería en Telemática impartido en el *Instituto Tecnológico Autónomo de México*, forman parte de una línea de trabajo de suma importancia. En ellas se forma a los alumnos en el área de Electromagnetismo, tanto en las aplicaciones guiadas, como líneas de transmisión, fibras ópticas y guías de onda, correspondientes al primer curso, como en las aplicaciones no - guiadas; enlaces de radio, ópticos e infrarrojos.

Los alumnos adquieren un conocimiento de la teoría electromagnética basada en las ecuaciones de Maxwell y también una visión práctica y de aplicación. El presente manual pretende cubrir la visión práctica al presentar una serie de experimentos y ejercicios prácticos para que los alumnos puedan profundizar en su conocimiento del electromagnetismo aplicado. Algunas de las prácticas requieren de material especializado como el de los laboratorios del ITAM, y algunas otras se pueden realizar con materiales comunes y accesibles, como son filtros fotográficos, tubos de ensaye y recipientes de agua.

Al final se presenta una serie de anexos de datos útiles para los cursos, tanto de aspectos técnicos como algunos regulatorios.

Con la esperanza que este manual sea de gran utilidad a los alumnos, les agradezco la retroalimentación que he tenido a lo largo de las clases.

Constantino Carlos Reyes Aldasoro

Mayo 2000

# PRÁCTICA 1

## Carga Eléctrica

---

### OBJETIVOS

- Definir el concepto de carga eléctrica.
- Deducir cuántos tipos de carga eléctrica existen.
- Provocar el exceso de carga en cuerpos diversos utilizando cada uno de los métodos descubiertos.
- Lograr la descarga de cuerpos por medio de varios procedimientos.

### INTRODUCCIÓN

Un pedazo de materia se descompone en muchos átomos arreglados de una manera específica para dicho material. Algunos materiales tienen gran número de electrones libres, los cuales pueden moverse por el material. Estos tienen la capacidad de transferir electrones de un objeto a otro y se llaman conductores. Por el contrario, un aislador es un material que se resiste al flujo de carga. Un semiconductor es un material intermedio en su capacidad para transportar carga, cuyo comportamiento puede variar enormemente mediante la adición de impurezas o por un cambio en la temperatura.

Cuando dos materiales particulares se ponen en contacto íntimo, alguno de sus electrones unidos débilmente pueden transferirse de un material a otro. Quedando un *exceso* de electrones en uno y una *deficiencia* en el otro.

Existe también el fenómeno de redistribución de carga, proceso durante el cual no se gana ni se pierde carga, simplemente la carga del cuerpo neutro se redistribuye. La redistribución de cargas debido a la presencia de un objeto cercano cargado puede ser útil para cargar objetos sin que haya contacto. Este proceso llamado inducción de cargas, puede llevarse a cabo sin ninguna pérdida de carga del cuerpo cargado.

### MATERIAL

- Un generador de Van de Graff
- Una esfera de descarga
- Una esfera aislada

- Un electroscopio
- Dos soportes universales, con un hilo aislante y una tira de polietileno
- Una piel de conejo, un paño de franela, otro de seda y un trozo de polietileno
- Barras de vidrio, acrílico y plástico PVC
- Una punta metálica afilada
- Un muestreador
- Una cajetilla de cerillos
- Fibras de algodón

## DESARROLLO

### 1. Carga Eléctrica

Frote la tira de polietileno con la franela y colóquela sobre el hilo aislante según se muestra en la figura 1.

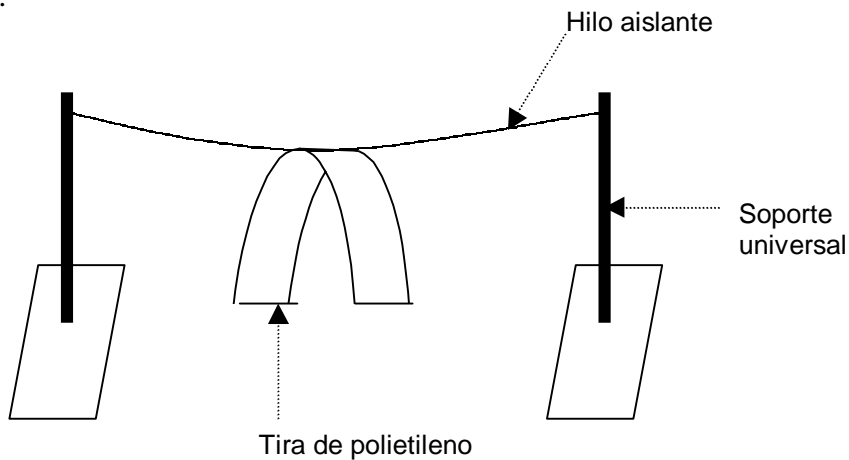


Figura 1

Aproxime un cerillo encendido a la tira y observe. Frótelas nuevamente y suspéndala. Frote cada una de las barras con los paños, la piel o el polietileno y acérquelas a la tira, una por una y observe el efecto en la tira.

#### PREGUNTA 1

¿Cuántos tipos de fuerza existen en los experimentos realizados? Argumentar la respuesta.

#### PREGUNTA 2

¿En qué difiere esta propiedad con respecto a la llamada masa gravitatoria conocida?

PREGUNTA 3

¿Cuántos tipos de carga eléctrica se detectan? Explique el fundamento de sus afirmaciones Investigar la convención de Benjamín Franklin.

PREGUNTA 4

¿Qué ocurre al aproximar cuerpos que tienen el mismo tipo de carga y qué ocurre cuando tienen de tipo diferente?

Coloque las fibrillas de algodón entre las dos esferas conductoras, como se muestra en la figura 2, haga funcionar el generador y observe el movimiento de aquéllas.

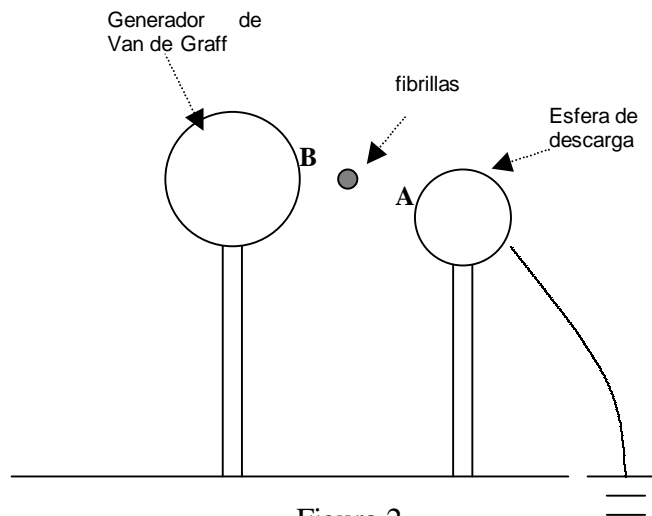


Figura 2

## 2. Procesos de Carga

Un cuerpo cualquiera se encuentra con carga neutra en su estado natural, es decir, no tiene exceso de cargas negativas ni positivas. Para que este cuerpo tenga carga de algún signo, se debe provocar el exceso de alguno de estas cargas utilizando algún método: frotamiento, contacto o inducción. Compruebe que la esfera está cargada por medio de la tira de polietileno y del electroscopio.

PREGUNTA 5

Describa el proceso para lograr la carga de la esfera. Si quisiera identificar el tipo de carga, ¿cómo lo haría?

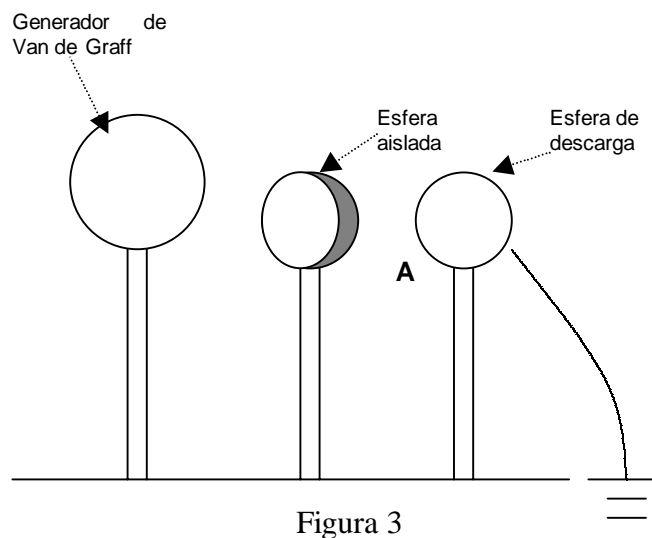
PREGUNTA 6

Describa el funcionamiento del electroscopio.

#### PREGUNTA 7

¿Qué tipo de carga tiene la esfera del Generador de Van de Graff y cuál la parte metálica de la base? Describa el funcionamiento del aparato.

Aproxime la esfera metálica aislada, neutra, a la esfera cargada del generador y demuestre que un extremo de aquella tiene electrones en exceso y el otro manifiesta deficiencia de éstos. Consulte la figura 2.



Elimine el exceso de carga de la región sombreada en la figura 2, tocando el punto A con la mano de alguna persona conectada a tierra. Investigue si la esfera aislada, originalmente neutra, adquirió algún exceso de carga. A este proceso se le denomina de “carga por inducción”.

#### PREGUNTA 8

Explique detalladamente lo que ocurrió en las experiencias relacionadas con la figura 3.

### 3. Procesos de Descarga

Los métodos conocidos para anular cualquier exceso de carga son los siguientes:

- Por medio de una conexión a tierra
- Con la ionización del aire al elevar su temperatura
- Al ionizar el aire con una punta metálica
- Al iluminar un conductor cargado con la luz ultravioleta

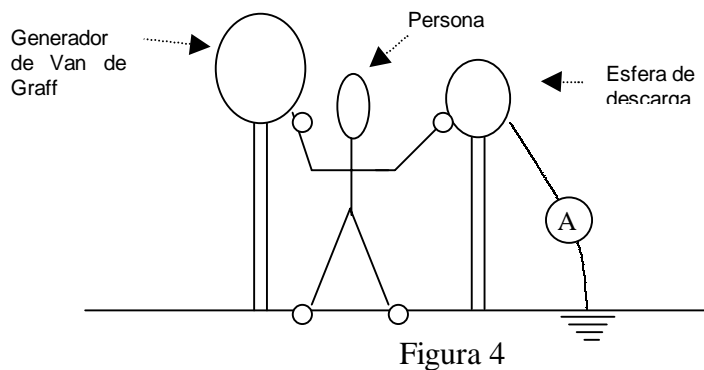


Ensaye cada uno de ellos para descargar cuerpos diversos.

### PREGUNTA 9

Explique en qué consiste cada uno de los métodos de descarga.

Realice la conexión de los elementos conductores como se indica en la figura 4.



### PREGUNTA 10

¿Qué cantidad de corriente circula a través de la persona?

## BIBLIOGRAFÍA:

BUECHE, F., *Física para ciencias e ingeniería*, McGraw-Hill.

## PRÁCTICA 2

### Superficies Equipotenciales y Campo Eléctrico

#### OBJETIVOS

- Determinar el campo eléctrico utilizando métodos experimentales.
- Encontrar una serie de superficies equipotenciales a partir de mediciones de diferencia de potencial.
- Determinar las líneas de campo eléctrico a partir del gradiente de la función del voltaje.

#### INTRODUCCIÓN

##### *Función Potencial de Campo Eléctrico*

Uno de los grandes problemas que se han tenido que resolver durante el desarrollo de la teoría electromagnética y de las telecomunicaciones ha sido el de definir la forma como se distribuye y viaja la energía en el espacio. Para resolver éste problema, se ha optado por utilizar funciones que a cada punto del espacio y momento del tiempo, le asignen un valor igual a la cantidad de energía por unidad de volumen ( $W_e$  y  $W_m$ ), que hay almacenada en él; o a la cantidad de energía por unidad de superficie ( $\bar{S}$ ), que fluye a través de él.

Sin duda alguna, el uso de las funciones mencionadas atrás resulta ser de gran utilidad; sin embargo, la definición de la regla de correspondencia de dichas funciones (para algunas situaciones en particular), resulta ser un problema extremadamente complicado, que frecuentemente implica la solución de ecuaciones diferenciales no lineales.

Para resolver el problema, se han planteado métodos alternativos, que permiten obtener los mismos resultados, pero con mucho menos trabajo. Uno de estos métodos consiste en definir dos funciones llamadas: Campo Eléctrico y Campo Magnético; las cuales son relativamente fáciles de encontrar y se pueden usar para calcular a  $\bar{S}$ ,  $W_e$  y  $W_m$ .

La medición directa del campo eléctrico es muy complicada, por lo que requiere de equipos muy complejos y caros. Sin embargo, hay una función llamada *Función de Potencial Eléctrico*, que se puede medir con gran facilidad y que permite determinar al campo eléctrico sin muchas complicaciones.

Antes de definir a la función de potencial, recordemos que el *CAMPO ELÉCTRICO* es una función vectorial de variable vectorial, que a cada punto del espacio le asocia la fuerza que siente una carga unitaria y puntual al estar en él. El campo eléctrico se mide en:

$$\frac{\text{Newtons}}{\text{Coulomb}} = \frac{\text{Volts}}{\text{metro}}$$

El *POTENCIAL ELÉCTRICO* ( $V$ ), es una función real de variable vectorial, que a cada punto del espacio le asocia el trabajo que se debe realizar para mover a una carga unitaria y puntual desde un punto donde el campo es igual a cero, hasta el punto en cuestión. El potencial eléctrico se mide en:

$$\frac{\text{Joules}}{\text{Coulomb}} = \text{VOLTS}$$

Considerando la definición de ambas funciones, es fácil pensar que:

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

o despejando  $\vec{E}$ ,

$$\vec{E} = -\nabla V$$

Considerando la definición de la función potencial, se puede pensar que el trabajo necesario para mover a una carga desde un punto A hasta un punto B, es igual a la resta del valor del potencial en A menos el valor del potencial en B:

$$V_{AB} = V_A - V_B = W \text{ para mover 1 Coulomb de A hacia B.}$$

A la cantidad  $V_{AB}$ , se le llama diferencia de potencial o voltaje entre A y B, y se puede medir con relativa facilidad, usando un VÓLTMETRO.

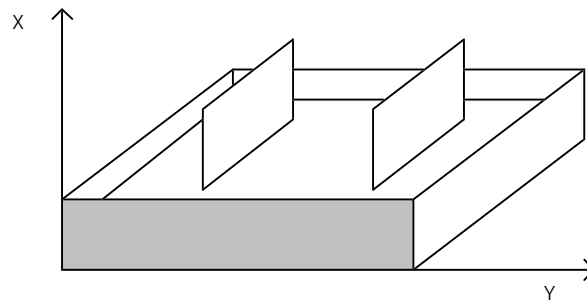
## MATERIAL

- Multímetro con puntas.
- Cables banana - caimán.
- Cable de alimentación para fuente de corriente directa.
- Caja con arena.
- Electrodo de distintas características.

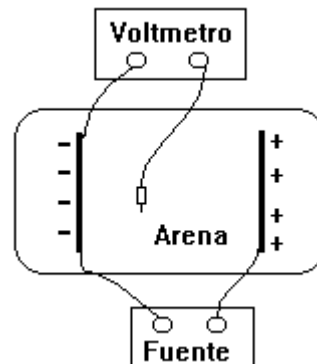
## DESARROLLO

Utilizando los elementos disponibles, haga las mediciones que considere necesarias para determinar la regla de correspondencia de la función de Campo Eléctrico, debida a dos placas planas paralelas cargadas eléctricamente.

1. - Arme el dispositivo que se muestra en la figura. Alisar la superficie de la arena lo mejor posible.



2. - Conecte la fuente de voltaje con 30 volts de corriente directa como se muestra en la siguiente figura, para suministrar carga eléctrica a las placas conductoras:

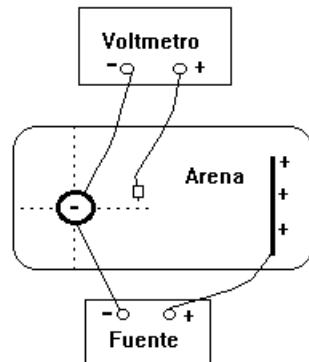


3. - Con ayuda del voltímetro, haga las mediciones que considere necesarias para poder definir la regla de correspondencia de la función de Potencial Eléctrico. Localizar 5 líneas equipotenciales y trazarlas sobre la arena

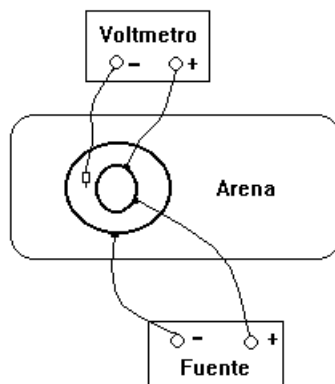
4. -. A partir de la función de potencial obtenida atrás, determine la regla de correspondencia de la función de Campo Eléctrico. Trazar las líneas de campo eléctrico sin borrar las equipotenciales.

5. - Realizar experimentos similares para diferentes configuraciones de placas: Para todos los casos obtenga las superficies equipotenciales que determinen la función potencial, así como el campo eléctrico.

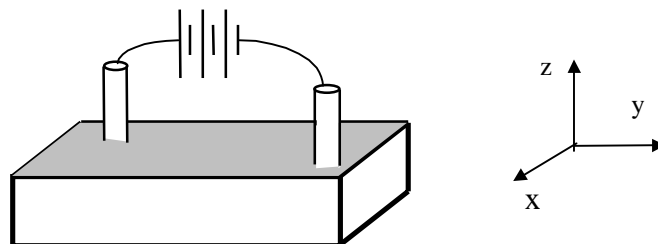
a) Una línea y una placa plana con cargas de diferente signo.



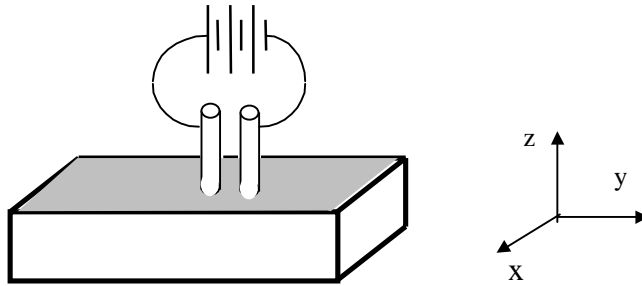
b) Dos cilindros concéntricos con cargas de diferente signo.



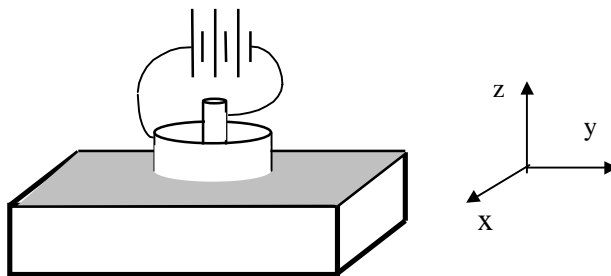
c) Dos cilindros delgados separados



d) Dos cilindros delgados cercanos (dipolo)



e) Dos cilindros concéntricos de diferente diámetro



Responder a las siguientes preguntas:

6. - ¿Son superficies equipotenciales los electrodos?
7. - ¿Existe alguna diferencia de potencial sobre el eje  $z$ ?
8. - ¿Existe diferencia de potencial dentro y fuera de las superficies cerradas de la figura 4?
9. - Comprobar que las líneas de campo eléctrico corresponden al gradiente del voltaje (ubicar un punto cualquiera en la figura 1 ó 3 y medir las diferencias de potencial en varias direcciones para una distancia  $d$ , observar en qué dirección es mayor).

---

# PRÁCTICA 3

## Capacitores y Capacitancia

---

### OBJETIVOS

- Comprender el concepto de capacitancia y los factores eléctricos y físicos de los cuales depende.
- Estudiar las características eléctricas de algunos materiales.
- Construir un capacitor.

### INTRODUCCIÓN

El *capacitor* es un dispositivo comúnmente utilizado para almacenar energía eléctrica. Para poder almacenar energía en un dispositivo como este se genera una diferencia de potencial entre dos materiales conductores los cuales se separan por un material dieléctrico.

Cuando se conecta un capacitor a una fuente de voltaje, los electrones (cargas) tratan de moverse de un extremo de la fuente al otro. Pero como hay un material dieléctrico en el camino, no pueden pasar y se acumulan en los conductores. Este proceso proporciona cargas iguales y de signo contrario a los conductores. Si se desconecta la fuente de voltaje, las cargas que se habían acumulado no encontrarán un camino que les permita abandonar a los conductores, por lo que quedarán atrapadas en el dispositivo el cual queda cargado y almacena una energía. La energía que puede almacenar un capacitor depende de la cantidad de cargas que se acumulen en los conductores. Obviamente, esto depende del voltaje proporcionado por la fuente, pero también depende de la geometría de los conductores y de las características del dieléctrico.

Para cuantificar las características de almacenamiento de energía de un capacitor, se le asocia un número llamado: *capacitancia*. La capacitancia se define como la cantidad de carga que se almacena el capacitor, por unidad de diferencia de potencial aplicada entre sus terminales:

$$C = \frac{Q}{V} \left[ \frac{C}{V} \right]$$

Las unidades asociadas a la capacitancia son Coulombs entre Volt y a esta nueva unidad se le llama *Farad*.

Retomando las definiciones de carga y diferencia de potencial a partir del campo eléctrico la ecuación se puede escribir:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\oint_S \epsilon \vec{E} \cdot d\vec{S}}{-\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{L}} \quad \left[ \frac{C}{V} = F \right]$$

Se puede observar que la capacitancia conserva una relación constante con el campo eléctrico en numerador y denominador, por lo cual puede ser independiente del potencial y de la carga. Es relativamente sencillo llegar a la definición de la capacitancia a partir de las dimensiones y características físicas de los conductores y el dieléctrico y entonces la capacitancia queda expresada como:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad [F]$$

Donde:  $S$  es la superficie común entre los conductores  $[m^2]$

$d$  es la distancia que separa a los conductores  $[m]$

$\epsilon_r$  es una característica inherente al dieléctrico llamada *permitividad relativa*  $[F/m]$

$\epsilon_0$  es la permitividad del espacio libre,  $8.85 * 10^{-12} \quad [F/m]$

## MATERIAL

- Placas conductoras de aluminio.
- Tubos conductores de cobre.
- Distintos materiales dieléctricos.
- Puente de impedancias.
- Material para construir un capacitor.

## DESARROLLO

1.- Investigar las permitividades de los siguientes materiales: vidrio, corcho, papel, aire, plástico.

2.- Formar un capacitor de placas planas con dieléctrico de aire como se muestra en la figura 1. Mida experimentalmente la capacitancia del dispositivo.

3.- Midiendo las dimensiones físicas de la placa conductora, la separación entre conductores y con el valor de la permitividad del aire, calcular teóricamente la capacitancia. ¿Se ajusta a lo medido anteriormente?

4.- Modifique las características físicas (área, separación y material aislante) del capacitor y compruebe las relaciones de proporcionalidad (directa e inversa) expresadas en la fórmula planteada en la introducción.



5.- Introduzca plástico como dieléctrico en el capacitor construido en el punto 2 y mida la capacitancia obtenida. A partir de este valor calcule la permitividad relativa del plástico. Compárela con el valor teórico investigado en el punto 1.

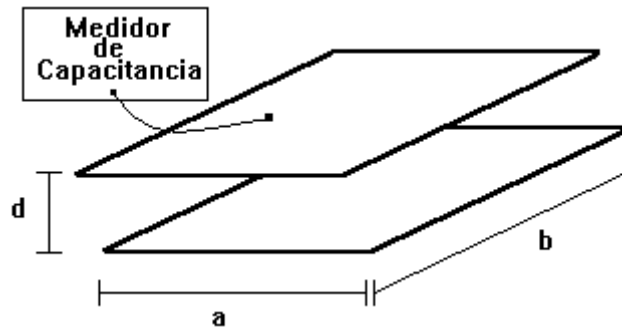


Figura 1

6.- Repita el paso anterior para los demás dieléctricos.

7.- Formar un capacitor con dos cilindros concéntricos y dieléctrico de aire como se muestra en la figura 2. Calcular el valor teórico de la capacitancia, medirla con el puente de impedancias y comparar los valores.

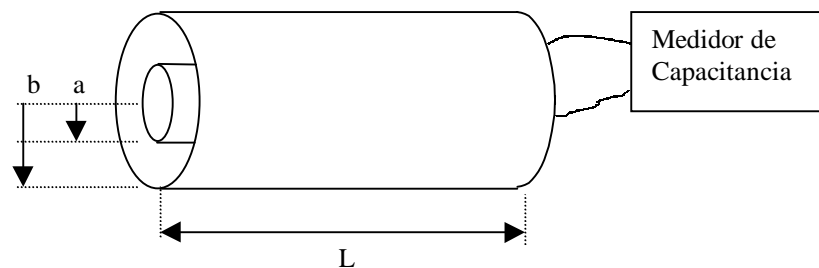


Figura 2

8.- Introducir diferentes dieléctricos, modificar las áreas comunes entre los cilindros y verificar el cambio de capacitancia.

9.- Construya un capacitor de placas planas enrolladas de 150 [nF]. Para esto es necesario realizar cálculos teóricos para determinar las dimensiones y características de conductores y aislantes.

10.- Si conectara el capacitor a una fuente de 50 [V], ¿cuánta carga quedaría almacenada?

## BIBLIOGRAFÍA

HAYT, William, *Engineering Electromagnetics*, McGraw-Hill.

# PRÁCTICA 4

## Energía y Potencia

### OBJETIVOS

- Comprender los conceptos de energía y potencia en un campo eléctrico.
- Utilizar los conocimientos de carga, distribución de carga y capacitores para poder obtener la energía y potencia contenidas en un campo producido en el laboratorio.

### INTRODUCCIÓN

Un campo eléctrico producido por un número de cargas contenidas en una cierta región del espacio tendrá asociada una energía. Esta energía estará formada por energía cinética y energía potencial. Para simplificar el sistema se puede considerar que las cargas que se encuentren en movimiento lo hagan muy despacio y aproximar la región a un sistema quasi-estático, o bien, imaginar el sistema en un instante como si se le hubiera tomado una fotografía en ese momento.

Supóngase que se tiene un espacio libre de cargas y un agente externo comienza a posicionar un número de cargas en una región. Para poder mover las cargas hasta su posición final, se debe vencer una fuerza eléctrica y esto implicará un trabajo del agente externo. Una vez que se hayan colocado todas las cargas, éstas contendrán una energía potencial (que generaría un movimiento) igual al trabajo que se realizó para colocarlas en el estado terminal. Si se tienen  $n$  cargas disponibles en el infinito, al tomar la primera carga y dejarla en la posición 1, no se realiza trabajo ya que no hay otras cargas presentes en la región. Al tomar la carga 2 y llevarla a su posición, se deberá vencer una fuerza  $F_{12}$  y se realizará un trabajo correspondiente:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon R_{12}^2} \vec{a}_{12} \quad [\text{N}] \quad 1$$

$$W_{q_2} = q_2 V_{21} \quad [\text{J}] \quad 2$$

Al tomar una tercera carga, se deberá de tomar en cuenta la fuerza de la carga uno y de la carga dos, al tomar la carga cuatro serán tres cargas y tres fuerzas y así sucesivamente.

$$\begin{aligned}W_{q_3} &= q_3 V_{31} + q_3 V_{32} \\W_{q_4} &= q_4 V_{41} + q_4 V_{42} + q_4 V_{43}\end{aligned}\quad 3$$

El trabajo total realizado será la energía potencial del campo y esta se obtiene de la suma de los trabajos realizados por todas las cargas. La expresión final será:

$$W_E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n q_k V_k \quad [J] \quad 4$$

Donde:  $q_k$  es la  $k$ -ésima carga  
 $V_k$  es el potencial absoluto en  $k$  debido a todas las cargas excepto la  $k$ -ésima

Si el conjunto de cargas no es discreto sino una distribución en alguna región, lineal, superficial o volumétrica, entonces se debe reemplazar la distribución y su integral correspondiente:

$$W_E = \frac{1}{2} \int_l \rho_l V dl \quad [J] \quad 5.a$$

$$W_E = \frac{1}{2} \int_s \rho_s V ds \quad [J] \quad 5.b$$

$$W_E = \frac{1}{2} \int_v \rho_v V dv \quad [J] \quad 5.c$$

Si se utilizan los vectores de campo eléctrico y densidad de flujo, la energía se puede expresar como:

$$W_E = \frac{1}{2} \int_v \bar{D} \cdot \bar{E} dv = \frac{1}{2} \int_v \epsilon E^2 dv \quad [J] \quad 6$$

Si en lugar de la energía se busca la potencia instantánea en el campo (trabajo por unidad de tiempo) se puede recurrir a la ecuación 1 o bien a la ecuación 4 cuando el número de cargas  $n$ , es uno. De aquí se puede deducir:

$$W = qV$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(qV)$$

$$\frac{dW}{dt} = V \frac{dq}{dt}$$

Y finalmente se tiene que

$$P = \frac{dW}{dt} = VI \quad [\text{Watts}]$$

Donde:  $P$  es la potencia, equivalente a la energía disipada por unidad de tiempo  
 $I$  es la corriente que circula por la diferencia de potencial  $V$ .

Este resultado es en general, independiente del tipo de material. Tampoco depende de la naturaleza del movimiento de la carga.

## MATERIAL

- Multímetro con puntas.
- Cables banana - caimán.
- Cable de alimentación para fuente de corriente directa.
- Caja con arena.
- 2 electrodos cilíndricos.
- 2 placas de aluminio.
- Regla.
- Fuente de corriente directa.

## DESARROLLO

1.- Deducir la formula de energía en un campo electrostático:

$$W_E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n q_k V_k \quad [J]$$

Nota: Recordar que  $V_{12} = -V_{21}$

2.- Alisar la superficie de la arena lo mejor posible, insertar las placas de aluminio en la arena de forma paralela, como se muestra en la figura 1. Medir experimentalmente con la ayuda del multímetro la capacitancia que se forma entre las placas conductoras. Si se considera una diferencia de potencial de 20 volts entre las placas, realizar las mediciones necesarias para poder calcular la carga ( $Q$ ) de las placas, la permitividad relativa de la arena  $\epsilon_r$ , y el trabajo ( $W$ ) si se considera un tiempo de un segundo.

3.- Polarizar las placas con 20 volts de corriente directa y medir la corriente ( $I$ ). Calcular la potencia ( $P$ ) y el trabajo ( $W$ ). Comparar con los valores calculados y comentar sobre los resultados.

Recordar que la corriente debe de ser medida en serie con respecto al circuito.

4.- A partir de los cálculos anteriores, obtener la distribución de carga superficial ( $\rho_s$ ).

5.- Repita desde el paso 2, colocando en lugar de las placas dos electrodos cilíndricos en la caja de arena como se muestra en la figura 2, realice las mediciones y cálculo del 2 y 3 y obtenga la distribución de carga lineal ( $\rho_l$ ).

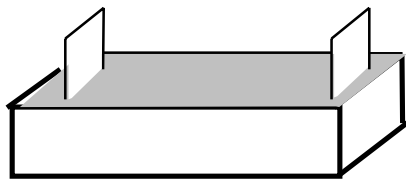


Figura 1

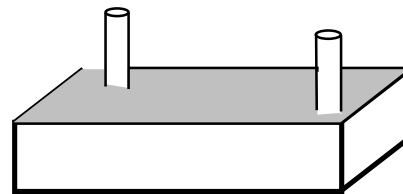


Figura 2

## BIBLIOGRAFÍA

JOHNK, Carl T., *Ingeniería Electromagnética, Campos y Ondas*, Limusa, 5a. edición.

# PRÁCTICA 5

## Resistencia y Resistividad

### OBJETIVOS

- Conocer y utilizar el concepto de corriente eléctrica.
- Definir la cantidad llamada resistencia eléctrica, medirla e investigar los factores que modifican su valor.
- Conocer la ley de Ohm.
- Definir y calcular la resistividad de materiales o medios diversos.
- Calcular la potencia eléctrica de un elemento conductor y experimentar con sus efectos.

### INTRODUCCIÓN

#### *CORRIENTE ELÉCTRICA Y LEY DE OHM*

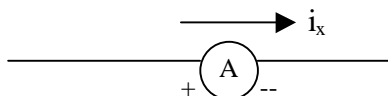
La corriente eléctrica se define como el movimiento de cargas con respecto al tiempo. DE forma matemática se puede expresar como

:

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{d}{dt} q(t) \left[ \frac{C}{s} = A \right]$$

y las unidades de esta corriente se definen como Amperes o Coulombs por segundo. La corriente representa la rapidez con la cual fluye la cantidad de carga positiva,  $\Delta q$ , a través de un área transversal al movimiento, el sentido de éste se representa con una flecha que por convención tiene dirección de positivo a negativo.

El instrumento que nos permite medir la corriente se llama amperímetro, está polarizado para indicarnos el sentido corriente (o del movimiento de los huecos con carga positiva contrario al movimiento de los electrones libres en el material) y se conecta en serie.



Si la lectura de un amperímetro es positiva entonces el sentido de la corriente (convencional) es el indicado en la figura superior.

### *POTENCIA*

Recordemos que el trabajo necesario para desplazar una cantidad de carga  $\Delta q$  de un punto A, hasta un punto B, en una región donde existe un campo eléctrico, se calcula con el modelo siguiente:

$$W_{AB} = \Delta q V_{AB}$$

Sea  $\Delta t$  el tiempo requerido para realizar el movimiento de las cargas

$$W_{AB} = \frac{\Delta q}{\Delta t} V_{AB} \Delta t$$

$$\frac{W_{AB}}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} V_{AB}$$

Si  $\Delta t$  es muy pequeño o bien, si tomamos el límite cuando  $\Delta t$  tiende a cero, la división de trabajo entre tiempo se convierte en potencia y la carga entre tiempo se convierte en corriente:

$$P(t) = i(t)v(t) \quad \left[ AV = \frac{J}{s} = W \right]$$

Las unidades de esta potencia se definen como Watts, volts por amperes o joules por segundo.

## **MATERIAL**

- 3 metros de alambre de nicromel de calibre 34 ó 32 AWG (código de identificación comercial).
- Cables banana - caimán.
- Fuente de voltaje
- Multímetro con puntas
- 2 soportes universales
- Tableros de alambre de nicromel.
- Caja con arena
- Electrodo superficiales
- Variac
- Regla

## DESARROLLO

1. Conecte el alambre de nicromel (de un metro de longitud aproximadamente y calibre 36 AWG) con la fuente de voltaje continuo ( $V_{cc}$ ) como se ilustra en la figura 1. Por medio del multímetro (amperímetro) mida la corriente del conductor.

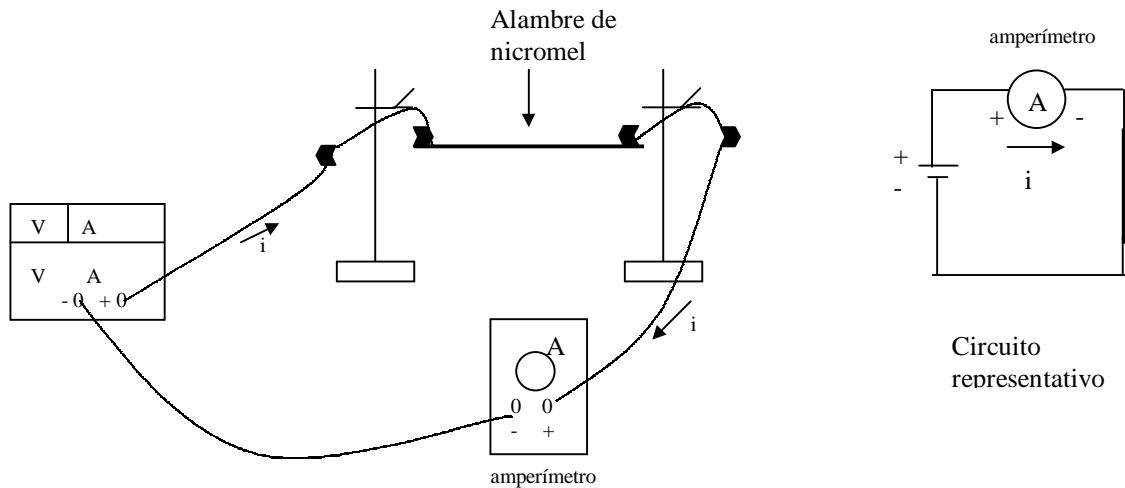


Figura 1

$V_{AB}$	$i[A]$
0	
10	
20	
30	

Ajuste la fuente de energía para que los valores  $V_{AB}$  sean los de la tabla.

### PREGUNTA 1

Mida el valor correspondiente de la corriente. Registre sus resultados, gráfíquelos con la corriente como abscisas y el voltaje como ordenadas, observe y comente.

La pendiente  $m$  de la recta obtenida se denomina resistencia del elemento:

$$V_{AB} = m i(t) \text{ (ley de Ohm)}$$

$$m = R = \text{resistencia}; \quad [V/A] = [\text{Ohms}] = [\Omega]$$

### PREGUNTA 2

Anote el valor de la pendiente de la recta, es decir, de la resistencia del elemento.



Utilizando el óhmetro (multímetro) y los tableros de alambres de nicromel, mida el área transversal, la longitud de los alambres y determine la relación de proporcionalidad entre la resistencia de un elemento y su longitud, así como la de la resistencia con respecto a su área transversal. Anote los resultados en las tablas siguientes.

Investigar la relación AWG contra área transversal.

Calibre AWG	A [mm <sup>2</sup> ]	R[Ω]
10		
12		
18		
22		
36		
38		

Longitud [cm]	R[Ω]

### PREGUNTA 3

Dibuje las gráficas de resistencia contra longitud y resistencia contra área transversal. ¿Qué relación de proporcionalidad existe?

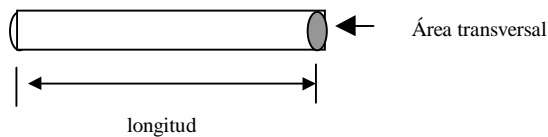


Figura 2

Además de la longitud y área transversal existe un tercer parámetro inherente al material que se llama *resistividad*. Realice las mediciones necesarias para que pueda calcular la resistividad de la muestra de arena de la caja. Asegúrese de que los electrodos toquen perfectamente la arena.

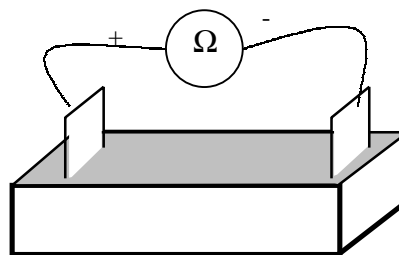


Figura 3

Anote sus resultados en la tabla siguiente: Solicite los resultados obtenidos por otros equipos.

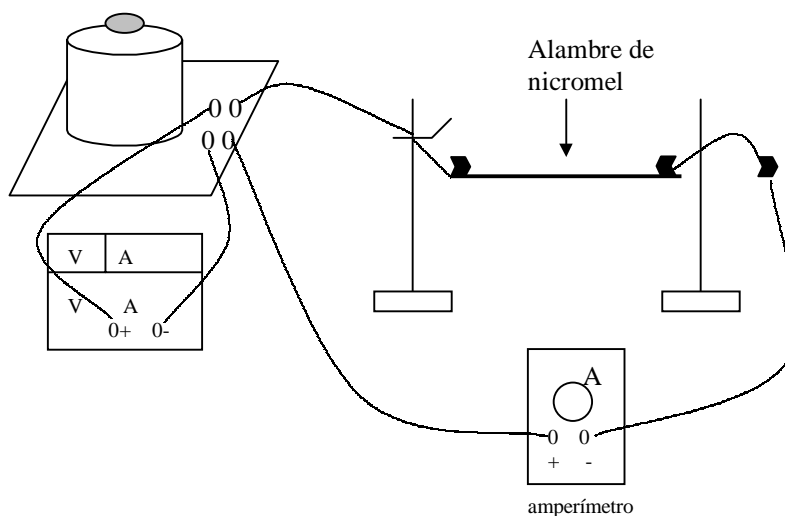
Tipo de material	Resistividad

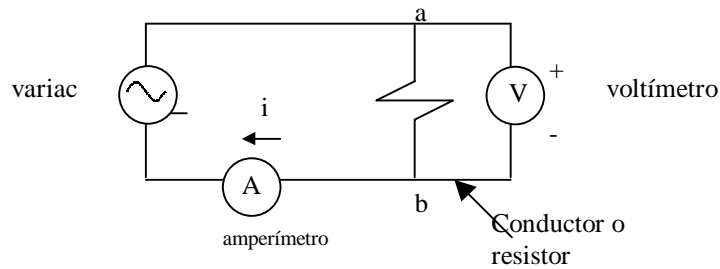
**PREGUNTA 4**

¿Qué concluye de los resultados de la tabla?

El último experimento consiste en hacer circular una corriente alterna a través de un conductor delgado. Observe los efectos que ocurren en un conductor a medida que la potencia se incrementa, para ello conecte los elementos como se muestra en la figura siguiente.

Nota: Desconecte el variac, ajuste la perilla para que la diferencia de potencial sea nula, realice las conexiones, después enciéndalo.





Aplique diversos valores de diferencia de potencial y anote sus lecturas en la tabla siguiente. Deduzca las unidades de la resistividad.

$V_{AB}$ [V]	$i$ [A]	$R[\Omega]$	Potencia [watts]	Resistividad [ $\rho$ ?]
0				
5				
10				
15				
20				
...				

**PREGUNTA 5**

¿En qué tipo de energía se transforma la energía potencial cinética de los electrones libres que fluyen dentro de un conductor? ¿Es este proceso reversible?

**PREGUNTA 6**

¿Qué puede concluir con respecto a la resistencia del nicromel (material conductor) cuando su temperatura se incrementa?

**PREGUNTA 7**

¿Qué conclusiones puede obtener con respecto a la potencia de un elemento eléctrico?

**PREGUNTA 8**

¿Se puede decir que la resistividad de un material es constante?

## BIBLIOGRAFÍA

ROBERT L. BOYLESTAD, *Análisis Introductorio de Circuitos*, Trillas.

J.D. WILLSON, *Física con Aplicaciones*, McGraw-Hill.

STANLEY WOLF, *Guía para Mediciones y Prácticas de Laboratorio*, Prentice Hall.

# PRÁCTICA 6

## Elementos electromagnéticos

### OBJETIVOS

- Determinar y comprender la relación existente entre las fuerzas magnéticas y las fuerzas gravitacionales.
- Identificar la relación entre fuerzas eléctricas y fuerzas magnéticas, así como las condiciones físicas necesarias para que estas interactúen.

### INTRODUCCIÓN

#### TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

La fuerza magnética junto con la eléctrica son de las fuerzas fundamentales de la naturaleza. El marco unificador entre estas dos fuerzas es la teoría electromagnética.

En 1819 el danés Hans Christian Oersted encontró que una aguja magnética podía ser rechazada por una corriente eléctrica que fluyera a través de un alambre, mostrando la conexión entre electricidad y magnetismo.

Después de Oersted mostró que una corriente eléctrica crea un campo magnético, Faraday mostró que un campo magnético puede ser usado para crear una corriente eléctrica. La unificación de ambas teorías la realizó James Clerk Maxwell, quien predijo la existencia de ondas electromagnéticas e identificó la luz como un fenómeno electromagnético.

Posteriormente el francés Langevin se refirió a la dependencia de las propiedades magnéticas con la temperatura en los materiales paramagnéticos, basándose en la estructura atómica de la materia, posteriormente esta teoría fue expandida por el francés Weiss quien postuló la existencia de un campo magnético molecular interno en materiales como el acero.

Por medio de la teoría de la estructura atómica de Niels Bohr se muestra que el magnetismo ocurre en elementos de transición y en elementos raros. Goudsmit y Uhlenbeck mostraron que el electrón por sí mismo tiene un *spin* (giro) y se comporta como una pequeña barra magnética. En un nivel atómico, el magnetismo se mide en términos de momentos magnéticos que son cantidades vectoriales que dependen de la fuerza y la orientación del campo magnético y la configuración del objeto que produce el campo magnético.

## *EL CAMPO MAGNÉTICO*

Los campos magnéticos generalmente son representados por líneas de flujo magnéticas. En cualquier punto, la dirección del campo es la misma que la dirección del flujo y la fuerza del campo magnético es proporcional al espacio entre las líneas de flujo. En los extremos del imán, donde las líneas de flujo están más juntas, el campo magnético es más fuerte. Dependiendo de las formas y fuerzas magnéticas, diferentes tipos de magnetos producen diferentes patrones de líneas de flujo.

Cuando la portadora cargada se mueve a través de un campo magnético, siente una fuerza que es ortogonal a la partícula cargada y al campo. Ya que la fuerza es siempre perpendicular a la velocidad de la partícula cargada, la partícula en el campo se mueve siguiendo una ruta curva.

Con base en este principio se usan los campos magnéticos como aceleradores de partículas y espectrómetros de masa. La clasificación de materiales magnéticos (diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos, ferrimagnéticos, antiferromagnéticos superparamagnéticos) está basada en el comportamiento de los materiales al reaccionar al campo magnético.

## **MATERIAL**

- 2 imanes
- Tubos de plástico y de cobre
- Brújula
- Cronómetro
- Bobina de alambre
- Amperímetro

## **INVESTIGACIÓN PREVIA:**

1) Investigar las características de los materiales diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos, ferrimagnéticos, antiferromagnéticos y superparamagnéticos, y algunas aplicaciones de ellos.

## **DESARROLLO**

a) Deslizar, como se muestra en la figura 1, el imán a lo largo de un tubo inclinado de plástico, tome el tiempo de su desplazamiento, coloque una brújula debajo del tubo inclinado y observe el efecto que produce el imán sobre las mismas al arrojar el imán con distintas polaridades. Repita el experimento utilizando un tubo de cobre y observe las diferencias.

Pregunta 1

¿En qué tubo se desliza más rápido?

Pregunta 2

¿Qué efecto se produce en la brújula?

Pregunta 3

Calcule experimentalmente con el apoyo de un diagrama de cuerpo libre

- Aceleración en ambos tubos.
- Fuerza gravitacional que produce el movimiento en ambos tubos.
- Fuerza magnética en el tubo de cobre

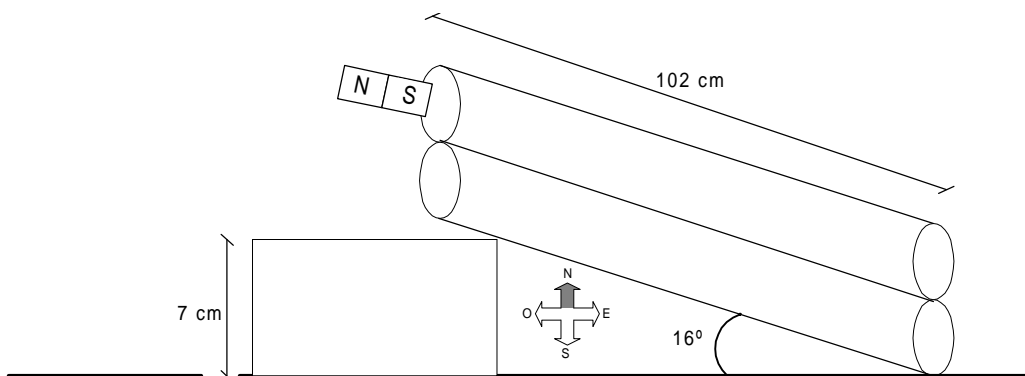


Figura 1

- b) Pase el imán con cierta polaridad en dirección perpendicular cableado, cruzando el centro de una bobina, hecha con alambre de cobre. Observe el efecto que se produce en la medición de la corriente. Posteriormente regrese el imán a su posición inicial cruzando nuevamente el centro de la bobina. Repita el experimento utilizando el imán en distinta polaridad. Haga varias repeticiones del experimento variando la velocidad de movimiento en el imán.

Pregunta 5

¿Cuál es el efecto producido en el amperímetro al acercar y alejar el imán?

Pregunta 6

¿Qué diferencias se presentan al variar la polaridad del imán? ¿Y al variar la velocidad a la que se mueve el imán?

Pregunta 7

¿Qué sucede al cruzar el centro de la bobina y por qué?

- c) Se tiene una bobina de diámetro pequeño y dos imanes de la misma intensidad. Haga circular corriente en la bobina colocándola entre los dos imanes, como se muestra en la figura 3

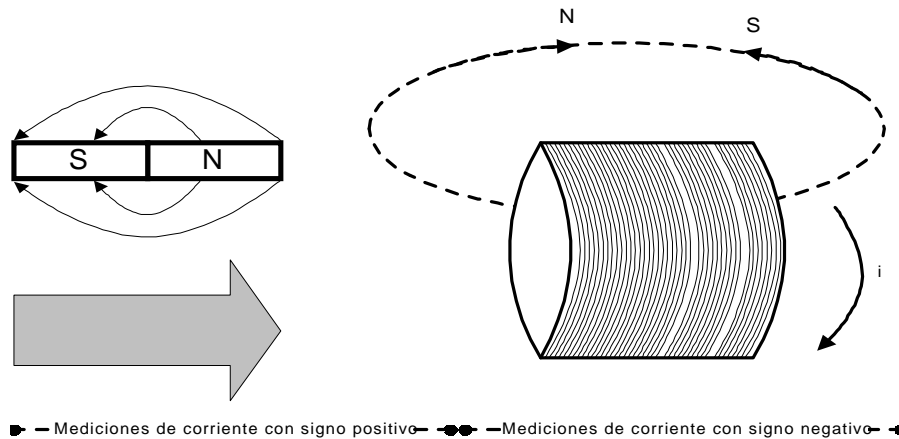


Figura 2

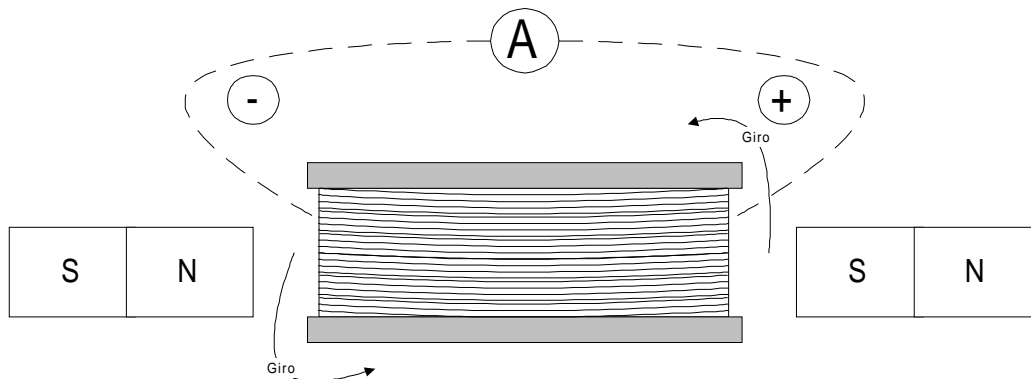


Figura 3

Pregunta 8

¿Qué tipo de efecto se produce en la bobina?

Pregunta 9

¿Qué influencia tiene el colocar los imanes con distinta polaridad sobre la bobina?

## BIBLIOGRAFÍA

Cheng, David K., *Field & Wave Electromagnetics*, Addison Wesley, Second Edition, 1992

# PRÁCTICA 7

## Electromagnetismo

### OBJETIVOS

- Identificar la relación entre fuerzas eléctricas y fuerzas magnéticas así como las condiciones físicas necesarias para que estas interactúen.

### INTRODUCCIÓN

Los efectos producidos por la corriente eléctrica son químicos, magnéticos y térmicos. La verdadera naturaleza del magnetismo la sugirió Ampere con la experiencia del imán roto. Extrapolando el resultado de esta experiencia, Ampere admitió que los menores imanes existentes fuesen las moléculas de la sustancia constituyente del imán y que el magnetismo de las mismas fuese debido a microscópicas corrientes moleculares. La masa magnética pasa de este modo a ser una magnitud introducida en el estudio fenomenológico del magnetismo y carente de todo contenido real. Se observa que el efecto magnético aumenta proporcionalmente a la intensidad de la corriente y se invierte en el sentido de ésta. La posición de equilibrio de una aguja es tal que su dirección es perpendicular al plano definido por la corriente (recta) y el centro de la aguja (punto), con su polo norte a la izquierda de la corriente personificada. Si a continuación la corriente se repliega sobre sí misma, su efecto magnético se anula, sugiriendo así la suma de vectores de los campos debidos a diversas corrientes.

Explorando el campo con un pequeño imán o produciendo espectros magnéticos mediante limaduras de hierro, se comprueba que las líneas de fuerza son circunferencias con sus centros en el hilo conductor y situadas en planos perpendiculares al mismo. Dichas líneas están concatenadas con la corriente de acuerdo con la relación ortogonal entre corriente y campo magnético. La intensidad del campo es inversamente proporcional a la distancia del hilo conductor.

Los elementos magnéticos tienen la propiedad de proveer a otro sistema de corriente mediante el fenómeno denominado como inducción electromagnética. Esta consiste esencialmente en la producción de una fuerza electromotriz  $E$  a lo largo de una línea  $C$  al variar, respecto al tiempo, el flujo  $\phi_S$  ( $B$ ) del vector de inducción magnética  $B = \mu H$  a través de una superficie cualquiera  $S$  cuyo contorno sea  $C$ . Por tanto, si  $C$  esta contenida en un medio conductor o, más simplemente, está materializada por un circuito filiforme



(circuito cerrado), esta línea o circuito estará recorrida por una corriente denominada corriente inducida. Cuando un circuito es cerrado, la corriente circula sin que se pueda hablar de diferencia de potencial entre una parte y otra del mismo, y en algunos experimentos se realiza una simetría tal que todos los elementos del circuito se encuentran en condiciones idénticas respecto a la inducción electromagnética. Sin embargo, si en el circuito existe una interrupción, es decir, si un breve tramo está constituido por materiales aislantes (circuito semicerrado), la corriente conducirá cargas hasta los extremos de la interrupción, para detenerse cuando dichas cargas acumuladas produzcan una f.e.m. de origen electrostático igual y opuesta a la f.e.m. de inducción  $E$ . La diferencia de potencial entre los extremos del hilo, fácilmente medible, proporciona la medida de  $E$ . Para deducir algunas consecuencias de carácter cualitativo, puede escribirse la expresión de flujo  $\Phi_S(B)$  en un caso especialmente sencillo: el de una espira circular situada en un medio de permeabilidad magnética  $\mu$ , en el cual exista un campo magnético uniforme  $H$ . Si  $S$  es la superficie limitada por la espira y  $\alpha$  es el ángulo formado por la perpendicular al plano que forman la espira y la dirección de  $H$ , el flujo magnético está determinado por  $\Phi_S(B) = \mu HS \cos \alpha$ .

Maxwell consiguió formular una teoría electromagnética de la luz, dando lugar con ello a una posterior unificación de la óptica y el electromagnetismo. En el formalismo de Maxwell la presencia del factor  $c$ , representa el papel de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas.

## MATERIAL

- Bobina con núcleo de hierro dulce.
- Fuente AC
- Anillos metálicos abiertos y cerrados
- Resorte de cobre
- Discos giratorios

## DESARROLLO

### Experimento 1

Se cuenta con una bobina que se carga con corriente alterna y que posee un núcleo de hierro dulce. El núcleo sobresale de la bobina unos 15 cm., se coloca un anillo metálico cerrado alrededor del núcleo. Encienda la bobina y observe qué sucede. Ahora coloque un anillo metálico no cerrado y observe su comportamiento.

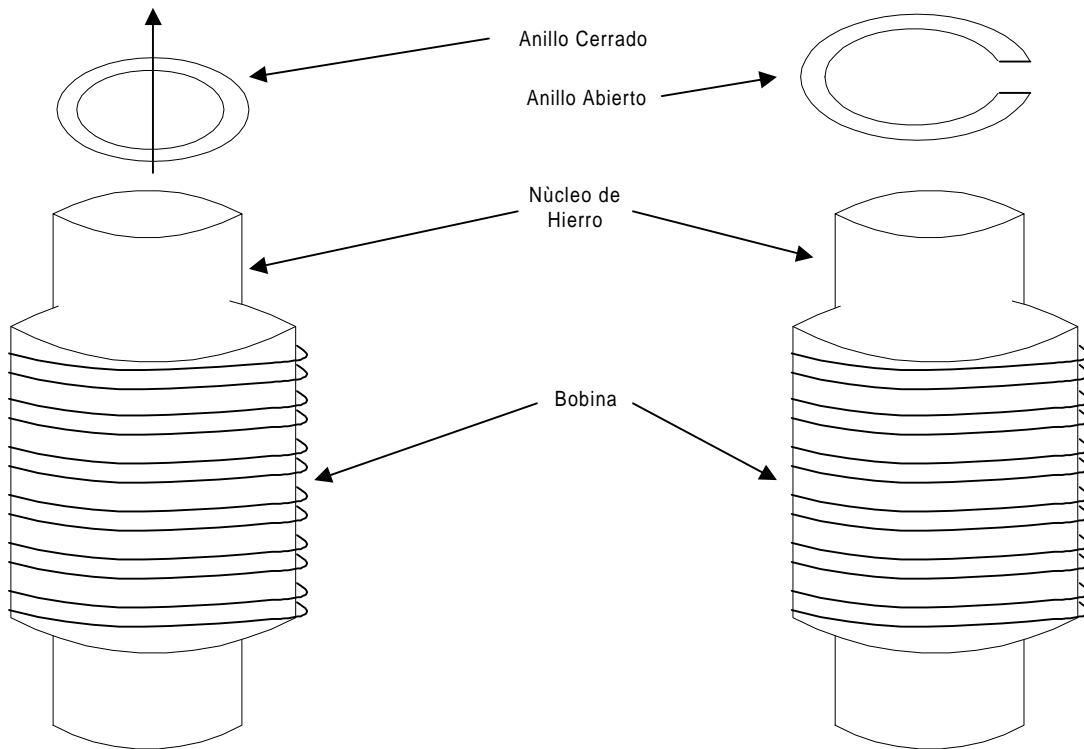


Figura 1

Pregunta 1

¿Qué fuerza está presente en el sistema de anillo cerrado cuando la bobina esta apagada?

Pregunta 2

En el mismo sistema, ¿Qué ocurre primero, un campo magnético o un flujo de corriente eléctrica?

Pregunta 3

¿Qué efecto se produce en el sistema con anillo abierto y a qué se debe?

Experimento 2

Repita el experimento anterior pero ahora coloque una pequeña bobina con un foco conectado a sus dos puntas. Observe el comportamiento del foco.

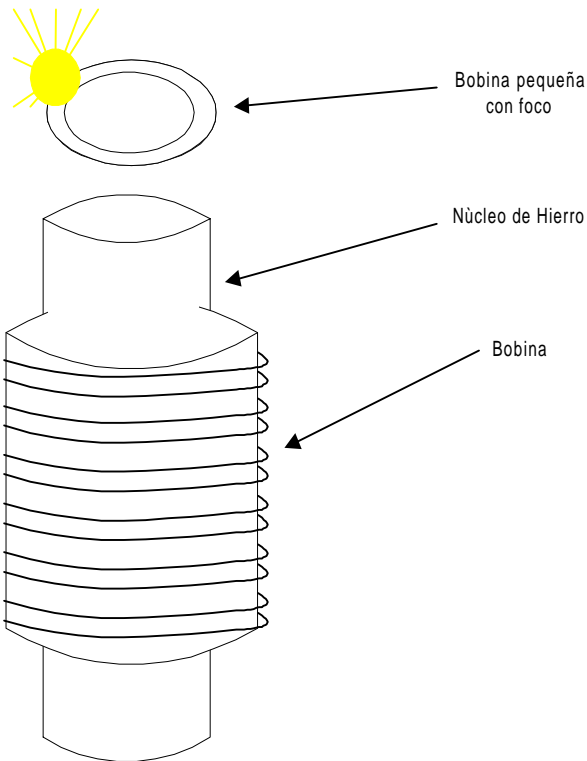


Figura 2

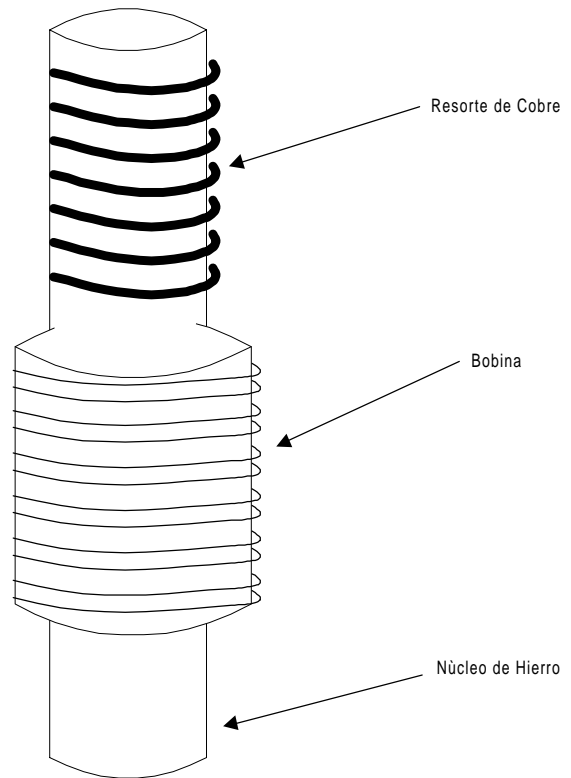


Figura 3

#### Pregunta 4

¿Por qué cambia la intensidad luminosa del foco al acercarlo al enrollado de cobre en la bobina?

#### Experimento 3

Repita el experimento anterior pero ahora coloque un resorte de cobre alrededor del núcleo de hierro dulce de la bobina y presione el resorte. Observe su comportamiento y reporte los efectos producidos en el resorte.

#### Experimento 4

Coloque un disco metálico giratorio y observe el comportamiento de este al encender la bobina. Repita el experimento pero ahora utilizando los 2 discos, de tal modo que una cara quede encima de la otra sobre el núcleo de hierro dulce.

Pregunta 5

¿Qué sucede en ambos casos al encender la bobina y a que atribuye este efecto?

Pregunta 6

Dé un ejemplo practico de circuito cerrado, abierto y semicerrado

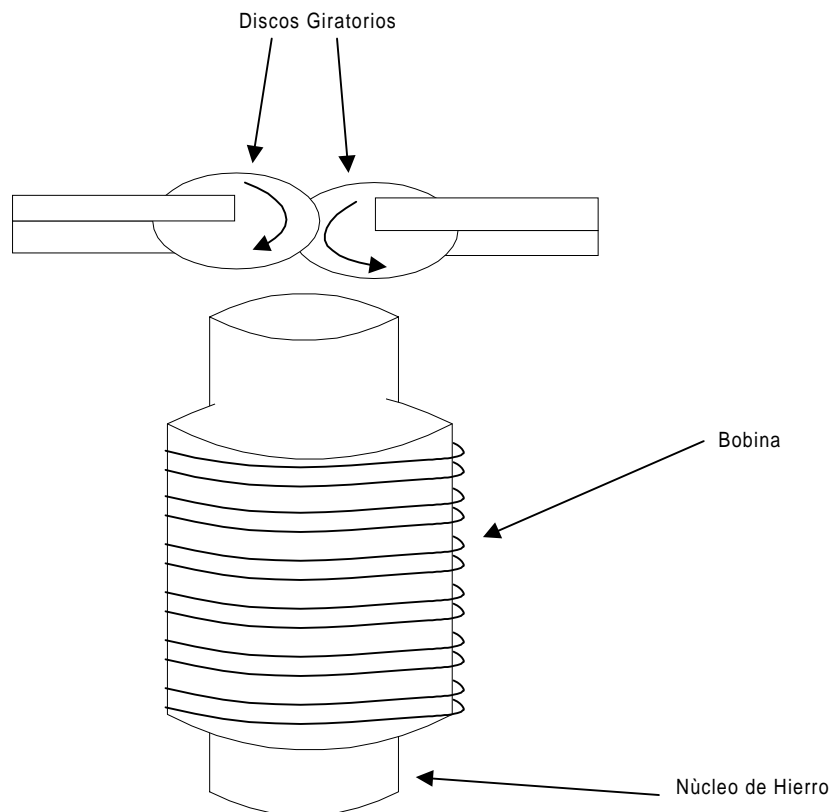


Figura 4

## BIBLIOGRAFÍA

Cheng, David K., *Field and Wave Electromagnetics*, Addison-Wesley, Second Edition, 1992.

## PRÁCTICA 8

### Reflexión y refracción de ondas electromagnéticas

#### OBJETIVOS

- Observar los fenómenos de transmisión, refracción y reflexión en una onda electromagnética.
- Determinar cuantitativamente los coeficientes de refracción y reflexión y a partir de ellos obtener las constantes dieléctricas de algunos materiales.

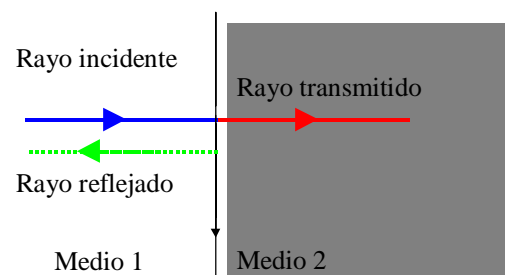
#### Trabajo Previo

1. Investigar las fórmulas correspondientes a los coeficientes de reflexión  $\Gamma$  y de transmisión  $\tau$  y la relación entre ellos.
2. Estudiar el fenómeno de onda estacionaria y el coeficiente SWR.
3. Estudiar el fenómeno de la reflexión interna total.

#### INTRODUCCIÓN

En el mundo real, la propagación de las ondas electromagnéticas se va a ver afectada por cambios de medios en los cuales se tendrán distintas características. Mientras una onda se propague por un medio homogéneo la onda viajará en línea recta sin tener "rebotes" pero en cuanto esta onda encuentre una frontera se verá afectada según los parámetros constitutivos de los medios. Los parámetros que afectan la propagación son: conductividad  $\sigma$  [S/m], impedancia intrínseca  $\eta$  [ $\Omega$ ], permeabilidad  $\mu$  [H/m] y permitividad  $\epsilon$  [F/m].

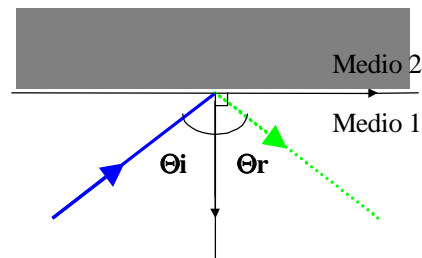
Si una onda viaja por un medio sin pérdidas ( $\sigma=0$ ) e incide en un medio conductor perfecto ( $\sigma=\infty$ ) se presentará un caso de reflexión total. Si el medio en el que se incide no es un conductor sino un dieléctrico entonces se tendrá una reflexión parcial y una transmisión parcial como se muestra en la figura 1.



**INCIDENCIA NORMAL EN UNA FRONTERA DE MEDIOS**

Figura 1

Si la incidencia del rayo no es normal a la superficie se tendrá entonces una reflexión inclinada, pudiendo ser total si se trata de un conductor o si el ángulo de incidencia es de un cierto valor que queda dictado por las leyes de Snell. Este caso se muestra en la figura 2.



### REFLEXIÓN EN UNA FRONTERA DE MEDIOS

Las leyes de Snell de reflexión y refracción están dictadas por las siguientes fórmulas:

$$\theta_i = \theta_r$$

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

donde: n se conoce como índice de refracción y está dado por:

$$n_1 = c\sqrt{\mu_1 \epsilon_1}$$

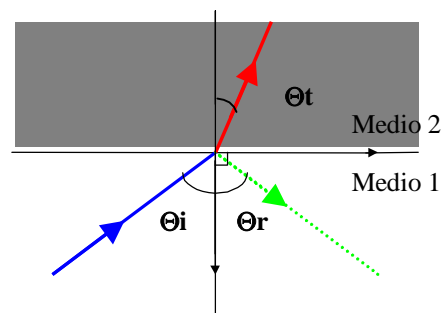
$$n_2 = c\sqrt{\mu_2 \epsilon_2}$$

$\theta_i$  ángulo de incidencia

$\theta_r$  ángulo de reflexión

$\theta_t$  ángulo de transmisión o refracción

Figura 2



### REFRACCIÓN EN UNA FRONTERA DE MEDIOS

Figura 3

Si no se trata de un conductor en el medio 2, y el ángulo de incidencia no presenta *reflexión interna total* entonces se tendrá una reflexión y una refracción hacia el segundo medio como se muestra en la figura 3.

## MATERIAL

- Recipiente de material transparente
- Agua
- Emisor láser
- Transportador
- Espejo

- Glicerina
- Tubos de vidrio de diferente diámetro

## Desarrollo

1.- ¿Qué puede observar de los valores de  $\Gamma$  y  $\tau$  si los valores de impedancias de los medios son: a)  $\eta_1 = \eta_2$

b)  $\eta_1 < \eta_2$

c)  $\eta_1 > \eta_2$  ?

2.- Investigar el valor de  $\sigma$  para el aluminio y  $\epsilon$  para los siguiente materiales: vidrio, glicerina, agua destilada y salada.

3.- Vaciar agua dentro de un recipiente, disolver un poco de polvo de gis y colocar un espejo como se muestra en la figura 4.

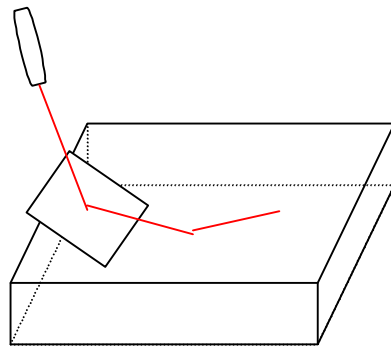


Figura 4

4.- Hacer incidir un haz de luz láser en el espejo y observar los reflejos en el agua.

5.- Medir los ángulos de incidencia y transmisión en la frontera aire-agua. ¿De acuerdo a los valores de  $\epsilon_r$  investigados, se cumple la ley de Snell?

6.- Variar el ángulo de incidencia hasta que se produzca reflexión interna total en el agua. Medir de nuevo los ángulos y verificar los valores con la ley de Snell.

7.- Introducir un tubo de vidrio dentro de otro como se muestra en la figura 5. Lentamente vaciar glicerina en el espacio que queda entre los dos tubos. Una vez que este espacio esta lleno vaciar la glicerina en el tubo interior hasta la mitad del tubo. ¿Qué sucede? ¿Cómo explica este fenómeno?

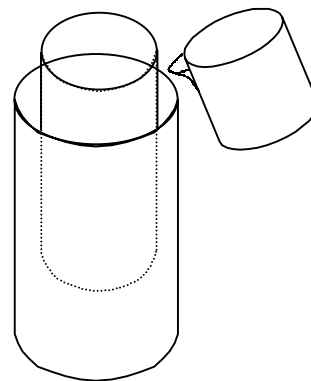


Figura 5

## **BIBLIOGRAFÍA**

KRAUS, A. *Antennas*, Second Edition, McGraw-Hill.



# PRÁCTICA 9

## Introducción a guías de onda y ondas estacionarias

### OBJETIVOS

- Conocer algunas de las características de las guías de ondas así como algunos elementos típicos en sistemas de comunicación con guías de onda.
- Realizar mediciones de flujo de energía.
- Observar los fenómenos de reflexión en una onda electromagnética estacionaria en un sistema de guías de onda.

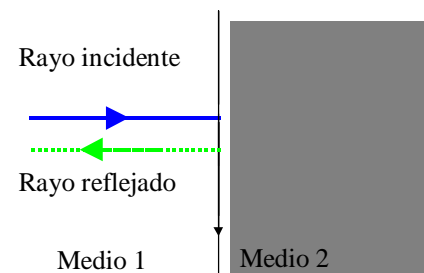
### Trabajo Previo

1. Investigar que son los modos TE y TH de propagación dentro de una guía de onda.  
¿En qué se diferencian estos del modo TEM?
2. ¿Qué es la frecuencia de corte para una guía de onda?
3. Investigar los valores de VSWR de los siguientes equipos comerciales:
  - a) Antenas de microondas de rejilla.
  - b) Antenas de microondas de alto desempeño.
  - c) Guías de onda elípticas.
  - d) Radome de fibra de vidrio para antenas.

### INTRODUCCIÓN

#### *Ondas estacionarias*

Cuando una onda viajera se propaga a través de un cierto medio con sus parámetros constitutivos conductividad  $\sigma$  [S/m], impedancia intrínseca  $\eta$  [ $\Omega$ ], permeabilidad  $\mu$  [H/m] y permitividad  $\epsilon$  [F/m] y se encuentra con una frontera de otro medio con distintos parámetros se presenta un caso de reflexión. Al reflejarse la onda se va a sumar con la onda incidente original y se tendrá entonces una onda estacionaria en esa región del espacio.



**Generación de ondas estacionarias**

Figura 1

Este caso de reflexión de ondas o "rebote" se presenta en muchos casos y no solamente cuando se tiene una pared infinita sobre la que se incide de manera normal. Toda onda que se propaga en una región distinta al espacio libre sufrirá una cierta reflexión. La onda que viaja en la atmósfera se encontrará con partículas en el aire que le causarán una cierta reflexión. Una onda que viaja a través de un medio guiado al llegar a la impedancia terminal, una antena por ejemplo, se verá reflejada en mayor o menor medida.

### ***Guías de Onda***

Las Guías de Onda son conductos cerrados que permiten el movimiento de la energía electromagnética en una sola dirección. Las guías de onda, se construyen con una sola placa de material conductor que envuelve parcialmente a una tira de material dieléctrico. Normalmente, la energía puede viajar libremente en el material dieléctrico, pero está confinada en él, porque el material conductor no la deja salir.

### ***Diodo detector***

Existe un tipo especial de dispositivos semiconductores, llamados Diodos PIN, que pueden ser utilizados para detectar flujo de potencia (energía en movimiento). La manera para hacerlo, es implementando un circuito como el que se muestra en la siguiente figura 2. La resistencia del diodo, varía de acuerdo a la cantidad de potencia suministrada al arreglo; y por lo tanto el voltaje (o la corriente) medido:  $m$ , también lo hace.

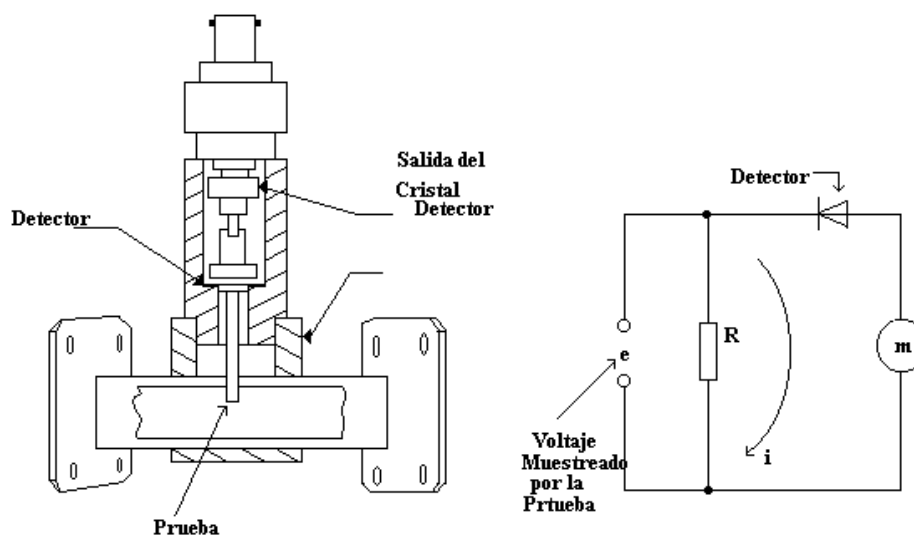


Figura 2 Diodo detector

En el caso del equipo de microondas que se tiene en el laboratorio, la corriente que fluye por el diodo, es igual a:

$$i = Ke^2$$

Donde  $i$  es la corriente que pasa por el diodo, y  $e$  es el voltaje inducido por la prueba.  $K$  es una constante que caracteriza al arreglo sensor. Cuando la prueba penetra con mucha profundidad, puede perturbar el flujo de la energía y causar errores en la medición.

Para hacer una medición con una prueba y un diodo sensor, se puede hacer una conexión como la que se muestra en la figura 3.

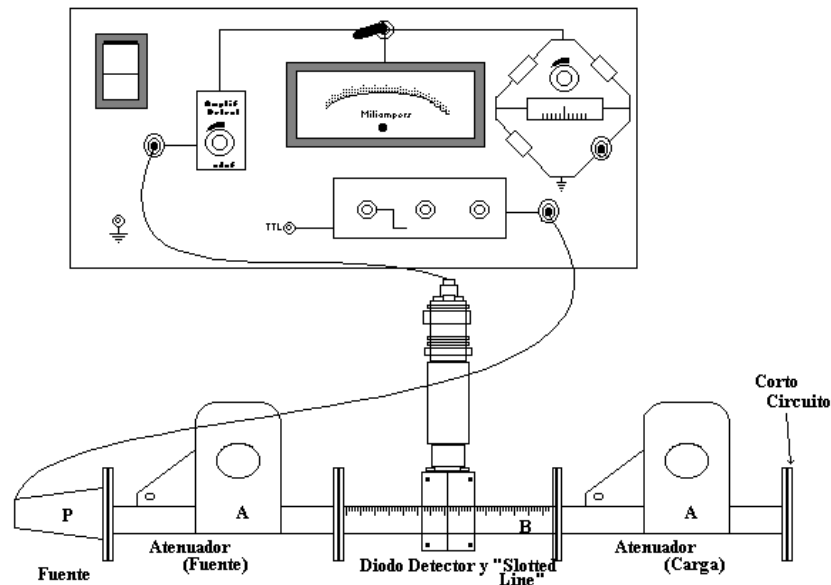


Figura 3 Mediciones de potencia

**CUANDO SE QUIERE MEDIR LA SALIDA DEL DETECTOR:**

En el aparato de control, se debe en primer lugar poner todos los reguladores en el mínimo; posteriormente se enciende. El switch que se encuentra en la parte inferior, se coloca hacia donde dice “internal keying”, y en el switch que indica la lectura de la potencia (METER READS) se pone donde indica “detector output”.

Colocar el control de sensibilidad del amplificador en su nivel máximo, dejando los atenuadores en máxima atenuación, luego disminuir poco a poco la atenuación, con el fin de no afectar los componentes. Es importante en que posición se coloquen los Atenuadores (Si se usan) para la intensidad de la lectura

La ventana del lector indica la cantidad de potencia que está recibiendo el Diodo Detector.

## MATERIAL

- Kit de microondas Microwave trainer
- Analizador de espectros

## Desarrollo

- 1) Observe e identifique las partes del equipo de microondas Microwave Trainer. Realice una breve investigación sobre 5 de los dispositivos del "Kit".
- 2) Realice las conexiones mostradas en la figura 3 para poder medir la potencia registrada en la línea ranurada.
- 3) Llene una tabla con los valores de corriente registrados y las distancias de la línea ranurada. Una vez que se identifiquen los máximos y mínimos en la guía de onda se puede deducir la frecuencia de operación.
- 4) Para verificar que la frecuencia obtenida sea la correcta, conecte el analizador de espectros HP, utilice una antena como dispositivo de entrada para el analizador y obtenga la frecuencia recibida por la antena. ¿Fueron los mismos valores? Si no, explique.
- 5) Modifique los valores de los atenuadores de carga y fuente, realice varias combinaciones y mida los valores de máximos y mínimos, ¿qué observa? Llene varias columnas de la tabla del inciso 3) para poder dar más peso a sus argumentos.
- 6) Las ondas estacionarias pueden encontrarse en otros fenómenos además de los electromagnéticos como las ondas mecánicas, acústicas, acuáticas. Diseñe un sistema mediante el cual se pueda *ver* el fenómeno de ondas estacionarias. El sistema se presentará junto con el reporte escrito de la práctica.

## BIBLIOGRAFÍA

KRAUS, A. *Antennas*, Second Edition, McGraw-Hill.

*Microwave Trainer MWT 530 Instruction Manual*, Feedback Instruments LTD, London, UK.

# PRÁCTICA 10

## Energía electromagnética en movimiento

### OBJETIVOS

- Describir la forma como viaja la energía electromagnética.
- Observar algunas características de su movimiento.
- Estudiar el espectro radioeléctrico.

### INTRODUCCIÓN

#### *Función Densidad de Potencia*

Es importante para el ingeniero en telecomunicaciones, poder entender como se mueve la energía electromagnética, y qué características tiene su movimiento. Uno de los mecanismos de comunicación más populares, consiste en montar información en paquetes de energía que puedan viajar entre los lugares que se desea comunicar.

Para poder describir el movimiento de la energía electromagnética en el espacio se utiliza una función llamada *Densidad de Potencia* ( $\vec{S}$ ), la cual asigna a cada punto del espacio, un vector cuya magnitud es igual al número de Joules por unidad de superficie que pasan por el punto cada segundo; y cuyo sentido indica la dirección en la que se mueve dicha energía.

Ahora bien, el problema principal aparece cuando se tiene que determinar la regla de correspondencia de la función  $\vec{S}$ . Una forma de hacerlo, es usando métodos teóricos para determinar a las funciones  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$ , y después calcular  $\vec{S}$  como:

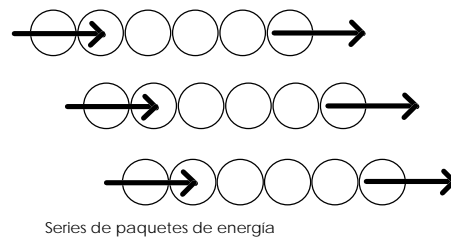
$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Sin embargo, en ésta sección de laboratorio, trataremos de determinar a la función  $\vec{S}$ , usando métodos experimentales.

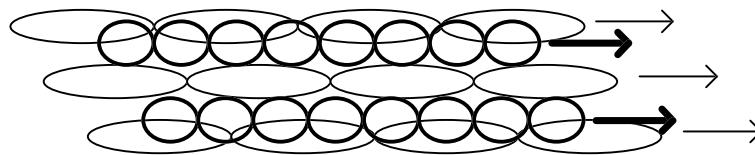
Además de poder describir la forma como viaja la energía electromagnética, es importante que los ingenieros en telecomunicaciones puedan reconocer algunas características que

tiene su movimiento. Algunas características importantes de la energía en movimiento son: la dirección de propagación, la amplitud, frecuencia, longitud de onda y polarización del campo eléctrico asociado.

Para poder entender el significado de *frecuencia*, es necesario imaginar la forma como viaja la energía. Sin entrar a mucho detalle se podría decir que la energía viaja en paquetes semiesféricos consecutivos (ver figura), que se mueven en alguna dirección en particular:



Los paquetes de energía pueden tener diferentes tamaños y las series de paquetes, se pueden mover a diferentes velocidades. También se puede dar el caso de que muchas series de paquetes (con diferentes tamaños y velocidades) se muevan simultáneamente en una misma región del espacio:



Cuando éste es el caso, el movimiento de los paquetes de energía de algún tipo, no afecta en ninguna forma, al movimiento de los paquetes de otros tipos.

Si consideramos que la energía viaja tal como se acaba de describir, entonces se podría pensar que la cantidad de energía que pasa por algún punto cualquiera del espacio, está cambiando con el tiempo; y si solamente hubiera un tipo de paquetes de energía, entonces el cambio en la cantidad de energía que pasa por un punto, sería periódico; es decir, cada determinado número de segundos se repetiría la cantidad de energía que pasa por un punto determinado del espacio. A la tasa de repetición periódica en el tiempo se le llama *frecuencia*. Asimismo, se llama *longitud de onda*, al doble de la longitud (medida en alguna unidad de distancia) de cada uno de los paquetes de energía.

La frecuencia ( $f$ ) y la longitud de onda ( $\lambda$ ), son dos parámetros muy importantes del movimiento de la energía electromagnética; y frecuentemente son usadas muy en el medio

de las telecomunicaciones, para caracterizar el movimiento de las señales electromagnéticas. La relación entre estas dos variables depende de la velocidad de propagación de los paquetes, en el vacío a esta velocidad se le llama "c" y la relación es:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

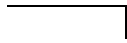
### *Espectro Radioeléctrico*

En el espacio pueden viajar simultáneamente diferentes series de paquetes de energía, cada una de ellas con sus valores particulares de frecuencia y longitud de onda.

Cuando se desea transmitir información en forma de señales electromagnéticas, frecuentemente se montan los mensajes en grupos de series de paquetes. De modo que una determinada cantidad de información, está montada en un cierto número de series de paquetes (con frecuencias bien definidas). Debido a que una serie de paquetes con una frecuencia definida, no interfiere con las series de otras frecuencias; se puede enviar a través de una misma región del espacio, una gran cantidad de mensajes, siempre y cuando estos mensajes no utilicen simultáneamente series de paquetes de igual frecuencia.

Las frecuencias se han clasificado y organizado en bandas según su utilización. La siguiente tabla muestra una clasificación de las bandas de frecuencia útiles:

$10^{18}$	Rayos X
$10^{16}$	Ultravioleta
$10^{14}$	Luz visible Infrarrojo térmico e Infrarrojo
THz	Ondas Milimétricas
	<b>EHF</b> Banda Ka
	<b>SHF</b> Com. por Satélite, Bandas C, X, Ku y K
GHz	<b>UHF</b> Horno de microondas, TV, Banda L y Banda S
	<b>VHF</b> Radio FM (88 a 108 MHz) y Canales de Televisión
	<b>HF</b> Radio de onda corta, Banda civil
MHz	<b>MF</b> Radio AM, (535 a 1605 kHz)
	<b>LF</b> (30 a 300 kHz)
	<b>VLF</b> (3 a 30 kHz)
kHz	<b>ULF</b> (0.3 a 3 kHz)
	<b>SLF</b> (30 a 300 Hz)
	<b>ELF</b> (3 a 30 Hz)
Hz	



**CUESTIONARIO PREVIO:**

1) Dadas las siguientes funciones  $\bar{E}$  y  $\bar{H}$ , determine  $\bar{S}$ .

$$\bar{E} = \hat{x}E_x \cos(\omega t - kz)$$

$$\bar{H} = \hat{y} \frac{E_x}{\eta} \cos(\omega t - kz)$$

2) Investigue las bandas de frecuencia utilizadas para:

- Transmisión de Radio
- Transmisión de Televisión
- Transmisión a Satélites

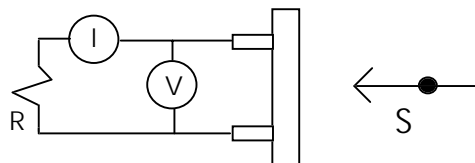
3) ¿Cuál es la frecuencia de transmisión del canal trece de televisión? y ¿Cuál es la frecuencia de transmisión de su estación favorita de radio?

**DESARROLLO:**

I) Utilice papel aluminio y un radio receptor para identificar la dirección en que viaja la energía radiada por su estación de radio favorita. Verifique sus resultados determinando las localizaciones del ITAM y de la radiodifusora en un mapa.

Nota: Procure que no haya grandes obstáculos alrededor de la zona donde haga el experimento.

II) Con la ayuda de una celda fotovoltaica según el arreglo de la figura, determine la DENSIDAD DE POTENCIA luminosa, que llega a un punto del espacio en particular, y las direcciones de donde llega dicha energía.

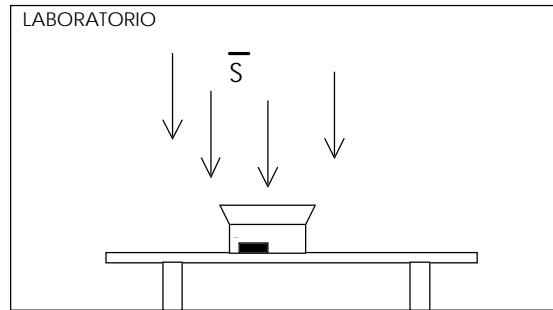


La energía total, es igual a:

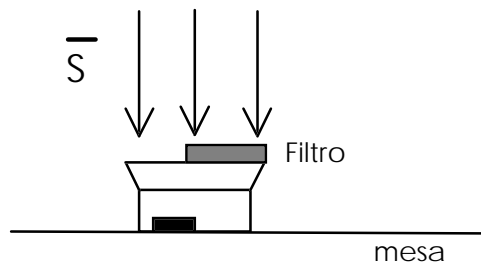
$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$



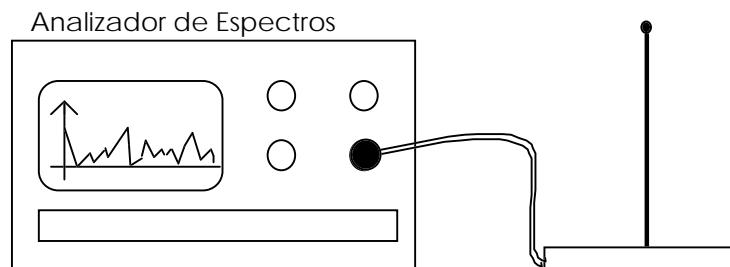
III) Con ayuda de las celdas fotovoltaicas y de la caja de cartón que se proporciona, determine la función densidad de flujo de potencia que describe al movimiento de energía que viaja del techo hacia la superficie de la mesa del laboratorio.



IV) Repita el experimento anterior, pero ahora cubriendo parcialmente la superficie en estudio.



V) Utilice el analizador de espectros, para observar la frecuencia y la intensidad de la energía en movimiento que llega a la antena lineal que se proporciona.



# PRÁCTICA 11

## Patrones de radiación y polarización

### OBJETIVOS

- Determinar por medición directa el *patrón de radiación* de varios tipos de antenas.
- Estimar las principales características directivas; *ángulo sólido*, *directividad* y *apertura* de las antenas a estudiar.
- Observar el efecto de diferentes polarizaciones en distintas propagaciones electromagnéticas.
- Realizar una comparación cuantitativa entre las distintas antenas mediante los parámetros calculados.

### TRABAJO PREVIO

1. Defina que es el patrón de radiación de una antena.
2. Explique qué son las regiones de Fresnel y de Fraunhofer.
3. Explique qué se entiende por directividad.
4. Explique el concepto de apertura de una antena.

### INTRODUCCIÓN

#### *Polarización de ondas planas*

La polarización de una onda plana uniforme describe su comportamiento variante con el tiempo del vector de la intensidad del campo eléctrico en un punto dado el espacio.

El campo eléctrico  $\hat{E}$  se puede propagar en cualquier dirección en el espacio, pero si por alguna razón se restringe su acción a una sola dirección paralela al eje  $x$  tal que  $\hat{E} = \hat{a}_x E_x$ , el campo se encuentra en una polarización lineal en dirección de  $x$  como se muestra en la figura 1. No es necesario especificar la dirección del campo magnético ya que va asociada al eléctrico según las ecuaciones de Maxwell. Si los ejes se hacen coincidir con los planos de tierra, se tienen polarizaciones verticales y horizontales dependiendo de la dirección de acción del campo eléctrico.

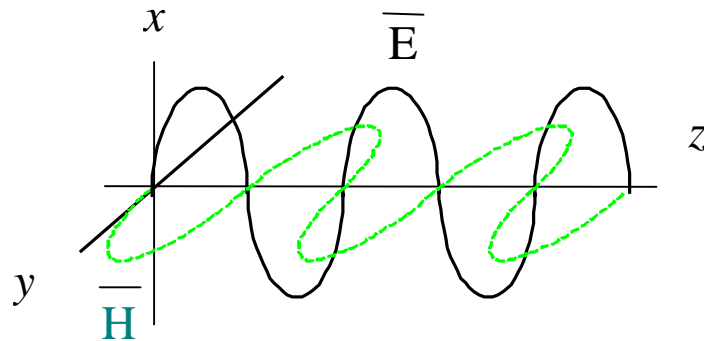


Figura 1

Ejemplos de estas dos polarizaciones son radio AM en polarización vertical, y televisión en polarización horizontal como se muestra en la figura 2. En algunos casos la dirección de  $\hat{E}$  en un punto puede variar con el tiempo. Esto se puede lograr a través de una suma de campos o geometrías especiales de las antenas. En estos casos se pueden tener campos con polarización circular o elíptica.

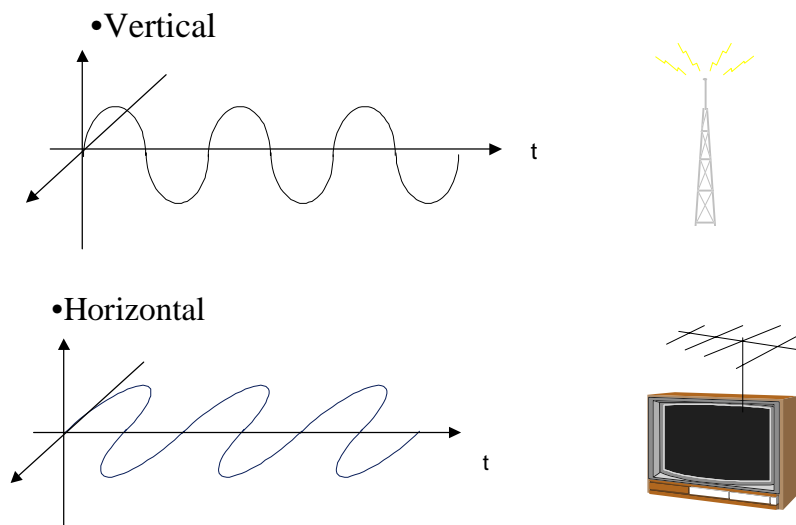


Figura 2

### *Ejemplos de Polarización.*

LUZ.- la luz proveniente de cualquier fuente puede estar o no polarizada, regularmente no lo está (*unpolarized*). Luz polarizada linealmente se puede rechazar con filtros polarizadores: lentes oscuros, lentes de cámara.



Figura 3

### *Patrones de radiación.*

El patrón de radiación muestra la intensidad del campo electromagnético en términos de su posición en el espacio, ya sea en coordenadas cartesianas ( $x, y, z$ ) o esféricas (más común) ( $r, \theta, \phi$ ). En muchos casos la representación del patrón de radiación se muestra en dos dimensiones en forma lineal o en coordenadas polares como se muestra en la figura 4.

El patrón de radiación que no irradia hacia todas direcciones con la misma intensidad cuenta con varios lóbulos; el lóbulo principal (haz principal) hacia donde se concentra la energía, secundarios o menores y ceros (nulos) entre los lóbulos donde hay radiación nula o mínima. Por lo general el patrón interesa en el campo lejano (Fraunhofer) y se expresa en coordenadas esféricas o por cortes si la figura es de revolución.

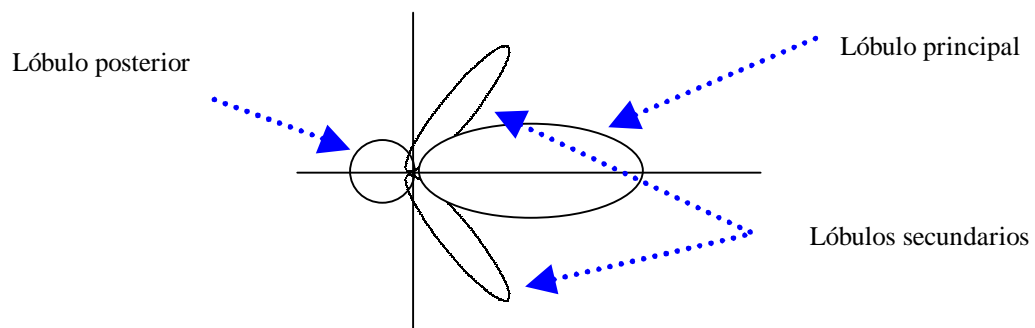


Figura 4

Del patrón se desprenden varias características importantes de una antena:

- Directividad
- Apertura efectiva
- Ganancia
- Ancho del haz
- Área del haz
- Área del lóbulo principal
- Eficiencia del haz

## MATERIAL Y EQUIPO

- Dipolo de  $\lambda/2$
- Antena Uda-Yagi
- Antena de corneta
- Antena vertical
- Equipo de microondas
- Equipo de microstrip
- Analizador de espectros de RF
- Generador de señales de RF
- Filtro polarizadores
- Medidor de Potencia de RF

## DESARROLLO

- 1) Experimentar con la luz emitida por las lámparas. Verificar sus condiciones de polarización utilizando un filtro polarizador. Utilizar dos filtros para poder encontrar condiciones de ortogonalidad y bloquear el paso de la luz.
- 2) Para cada una de las antenas a estudiar calcule la distancia de separación entre las antenas para realizar las mediciones en la zona de Fraunhofer; recuerde que esta separación depende de las medidas físicas de la antena y de la frecuencia de la señal.
- 3) Coloque las antenas en los soportes y ajuste la potencia de alimentación de tal manera que con las antenas alineadas axialmente se obtenga una lectura máxima sin saturar el dispositivo medidor, tome esta alineación como referencia (i.e.  $0^\circ$ ). Utilice la antena a determinar como elemento emisor y una antena de referencia como elemento receptor. Alimente con el generador de RF una señal de frecuencia adecuada a las dimensiones de cada antena y mida en el receptor con el analizador de espectros o con el medidor de potencia de RF.

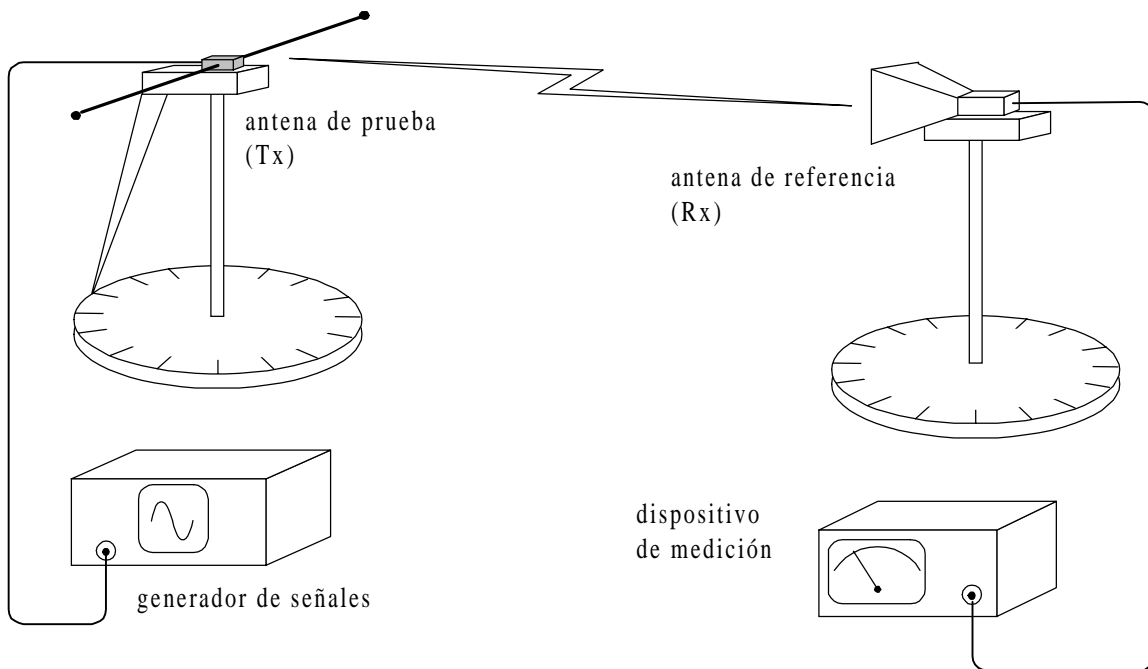


Figura 5. Disposición de las antenas para obtener los patrones de radiación

- Utilice la sección transmisora para variar horizontalmente el ángulo de radiación de la señal y tome lecturas de la potencia recibida cada  $10^\circ$ . Como la lectura en el dispositivo medidor es proporcional a la potencia recibida se puede obtener el patrón de radiación normalizado al dividir todas las lecturas entre la lectura máxima. Gire las antenas  $90^\circ$  alrededor de su eje axial y realice el procedimiento anterior para obtener el patrón en el plano vertical.

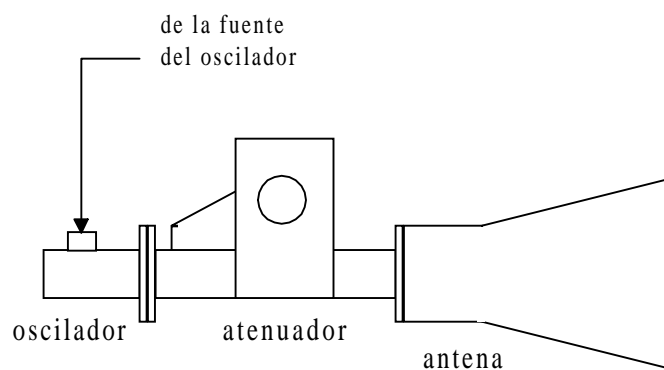


Figura 6. Conexiones para la antena de corneta en el emisor

- 5) Las antenas de corneta trabajan a una frecuencia mayor al límite del generador de RF, por lo que se utilizará el oscilador del equipo de microondas como generador. Realice las conexiones indicadas en la figura 6 para el emisor.
- 6) Mida la apertura física ( $A_f$ ) de todas las antenas empleadas para posteriormente poder calcular la eficiencia de apertura.

## CÁLCULOS

El límite entre la región de Fresnel y la región de Fraunhofer se calcula mediante la siguiente ecuación aproximada.

$$R = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (\text{m})$$

donde:

R = distancia en metros a partir de la antena en la cual termina la región de Fresnel

L = máxima dimensión de la antena en metros y

$\lambda$  = longitud de onda de la señal en metros.

Para todas las antenas estime el ángulo sólido por medio de la siguiente aproximación:

$$\Omega_A \approx \theta_{PM} \phi_{PM}$$

donde:

$\Omega_A$  = ángulo sólido en estereoradianes

$\theta_{PM}$  = ancho del haz de media potencia en el plano vertical

$\phi_{PM}$  = ancho del haz de media potencia en el plano horizontal

Si el haz (lóbulo) principal no es suficientemente grande como para despreciar los efectos de los lóbulos no principales, obtenga también los ángulos sólidos de éstos últimos y súmelos al del haz principal.

Calcule la directividad como:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

En particular para un dipolo corto de longitud  $\leq \lambda/10$ , se sabe que la directividad es  $D = 3/2$  y para un dipolo de  $\lambda/2$ ,  $D = 1.64$ .

## BIBLIOGRAFÍA

KRAUS, A. *Antennas*, Second Edition, Mc-Graw-Hill.

# PRÁCTICA 12

## Ganancia de antenas y líneas ranuradas

### OBJETIVOS

- Determinar la ganancia isotrópica de las antenas en estudio.
- Comparar la directividad y la ganancia de una antena y estimar su eficiencia eléctrica.

### TRABAJO PREVIO

1. Defina que se entiende por ganancia isotrópica.
2. Desarrolle la fórmula de propagación de Friis.
3. Explique que es la eficiencia óhmica de una antena.
4. Defina que se entiende por onda estacionaria y por VSWR.
5. ¿Qué características (de onda estacionaria) presentan las siguientes cargas: Corto circuito, circuito abierto, carga resistiva y carga con impedancia característica?

### MATERIAL Y EQUIPO

- Dipolos de  $\lambda/2$
- Antena Uda-Yagi
- Equipo de microondas
- Equipo de microstrip
- Analizador de espectros de RF
- Generador de señales de RF
- Medidor de Potencia de RF
- Línea ranurada

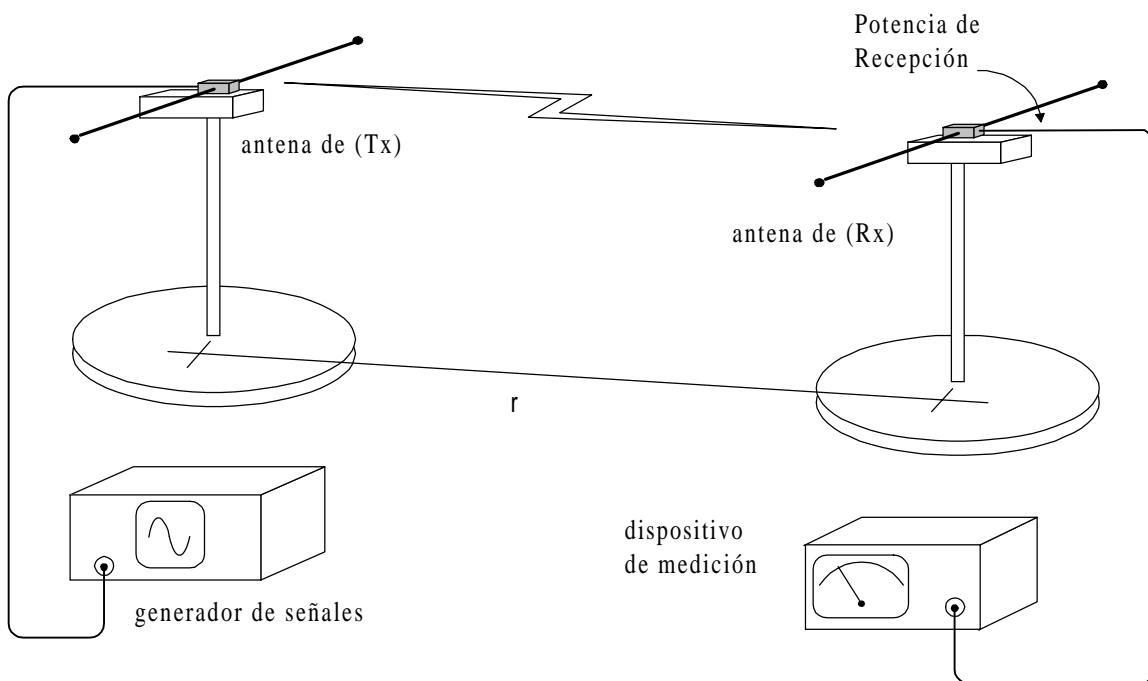
### DESARROLLO

#### *Ganancia isotrópica*

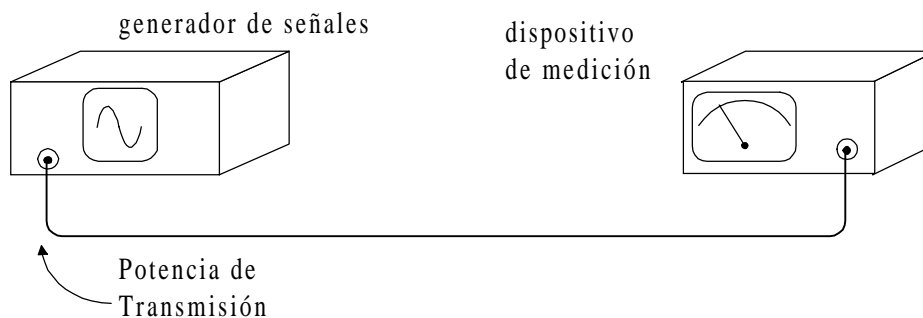
Existen varios métodos para realizar las mediciones de ganancia que utilizan el principio de propagación de Friis; en esta práctica se usará un método de los más comunes. Este método se utiliza para determinar la ganancia de un par antenas de características desconocidas, siempre y cuando éstas sean idénticas. Otros métodos requieren de una antena de ganancia conocida como referencia para poder determinar la ganancia de una antena desconocida.



Para obtener la ganancia de una antena por la fórmula de propagación de Friis es necesario considerar la distancia entre las antenas y medir la potencia de transmisión (la que se entrega directamente a la antena transmisora) y la potencia de recepción (la que se obtiene inmediatamente a la salida de la antena receptora). Por lo tanto, se requiere medir la potencia recibida en la antena receptora directamente de su salida sin elementos intermedios (atenuadores e, amplificadores, etc.).

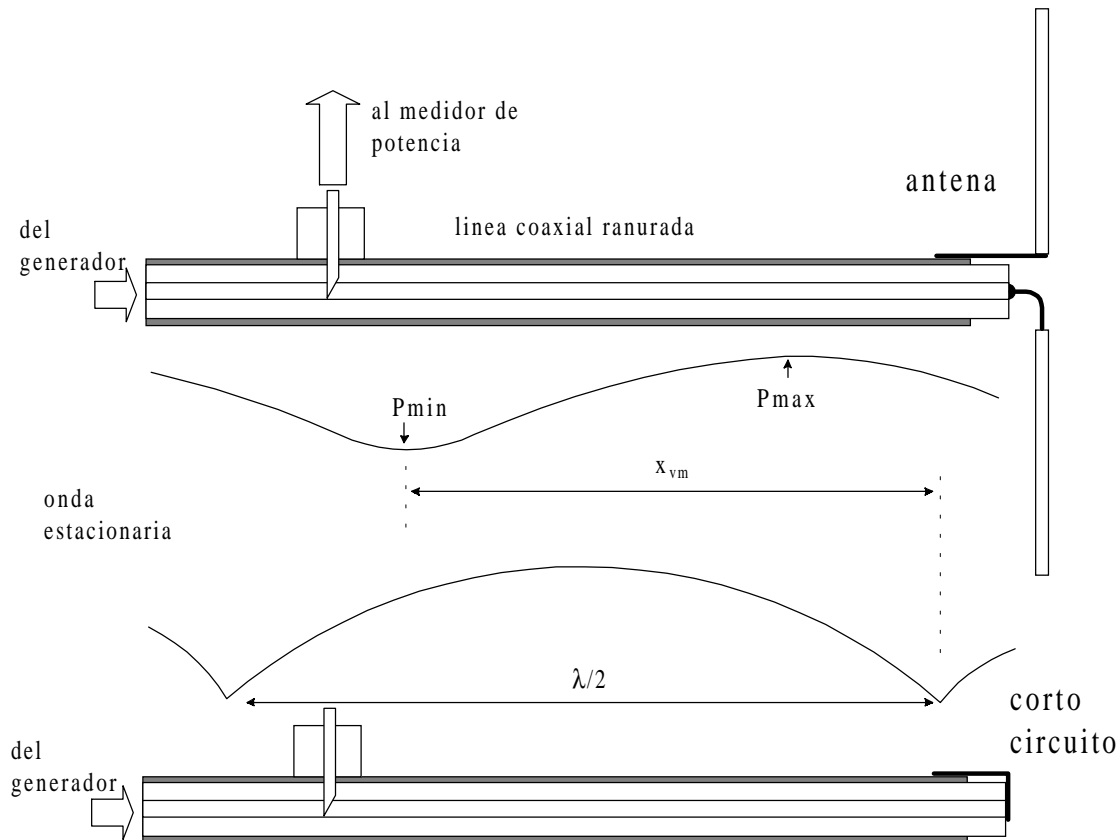


Una vez hecha la medición de la potencia de recepción se medirá la potencia de transmisión directamente a la entrada de la antena transmisora. Es muy importante que esta última medición se efectúe sin modificar los parámetros del generador que se utilizaron para la medición de la potencia de recepción.



### Línea ranurada

Para estimar la impedancia de entrada de una antena se requiere conocer la VSWR y la distancia  $x_{vm}$  entre el primer mínimo de la onda estacionaria y la antena. La medición de la onda estacionaria se realizará por medio de una línea ranurada o línea de Lecher, un medidor de potencia de RF.



Recuerde que la distancia entre los mínimos representa media longitud de onda.

*Nota:* Es importante tomar en cuenta que la velocidad de propagación de una onda para una línea de transmisión no es la misma que para el espacio libre ( $c = 3 \times 10^8$ ); esta velocidad se ve afectada por un factor llamado Factor de Velocidad (VF), el cual depende del tipo de línea de transmisión usada. Por lo tanto, para calcular la longitud de onda real (espacio libre) es necesario dividir la longitud de onda medida entre el factor de velocidad (VF) que corresponda al tipo de cable usado como línea ranurada.

Una vez obtenidas la VSWR y la distancia  $x_{vm}$ , se puede calcular la impedancia de la antena por medio de la carta Smith o por medio del coeficiente de reflexión  $\Gamma$ .

## CÁLCULOS

La ganancia para antenas idénticas se calcula por medio de la siguiente fórmula que a la vez se obtiene de la fórmula de Friis para enlaces:

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_r}{P_t}}$$

En el caso en que las antenas no sean iguales, la ganancia calculada con la fórmula de Friis representa la siguiente relación:

$$G = \sqrt{G_r G_t}$$

donde

$G_r$  = ganancia de recepción

$G_t$  = ganancia de transmisión.

Por lo tanto, una vez que se ha determinado la ganancia del dipolo, este se puede usar como referencia para las otras antenas.

La apertura máxima efectiva  $A_{em}$  se define como:

$$A_{em} = \frac{\lambda^2}{\Omega_A}$$

Sin embargo, por las pérdidas de acoplamiento (pérdidas óhmicas) la apertura efectiva  $A_e$  se afecta proporcionalmente con un factor de pérdida  $k$ :

$$A_e = kA_{em}$$

Donde el factor de pérdida  $k$  es el mismo que relaciona la ganancia con la directividad de la antena

$$G = kD$$

o sea:

$$k = G/D$$

## BIBLIOGRAFÍA

KRAUS, A. *Antennas*, Second Edition, McGraw-Hill.

# PRÁCTICA 13

## Zonas de Fresnel e interferencia de ondas

### OBJETIVOS

- Observar el efecto de la interferencia de ondas electromagnéticas.
- Medir y caracterizar las zonas de Fresnel para el equipo del laboratorio.

### Trabajo Previo

1. Realizar matemática y gráficamente la suma de las siguientes funciones:  
 $\cos(2t) + 0.5 \cos(2t)$ ,  $\sin(3t + 0.5\pi) + \cos(3t - 0.5\pi)$ .
2. Investigar brevemente la biografía de A. J. Fresnel.
3. ¿En qué casos se utilizan o son importantes las zonas de Fresnel?

### INTRODUCCIÓN

Las ondas electromagnéticas al viajar no lo hacen solamente en línea recta y al ser emitidas por una fuente se propagan según el patrón de radiación de la antenna que los emite. Al propagarse en varias direcciones, existe una zona en la que se concentra en mayor grado la energía a lo cual se le conoce como el lóbulo principal el cual, en algunas aplicaciones, se desea direccional y delgado.

Sin embargo parte de la energía se dirige algunos grados desviada de la línea directa del enlace y de la misma manera, la antenna receptora alcanza a recibir energía de trayectorias distintas a la línea de vista como se muestra en la figura 1.

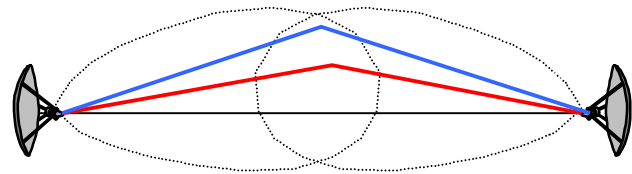


Figura 1 Rutas en la propagación

### *Zonas de Fresnel*

Las zonas de Fresnel son series de elipsoides concéntricos que rodean el camino de una onda electromagnética que se propaga en el espacio. La primera zona de Fresnel es la superficie que contiene cada punto para la cual, la suma de las distancias de ese punto a

los dos extremos del camino (transmisor y receptor) sea exactamente media longitud de onda mayor que la ruta directa entre los extremos, véase la figura 2.

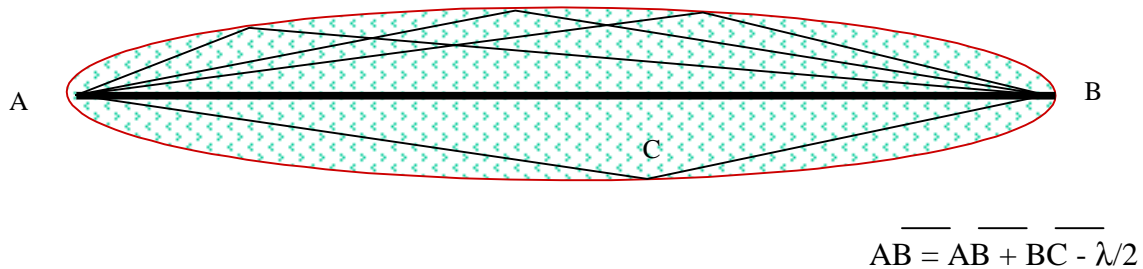


Figura 2 Primera zona de Fresnel

Todas las trayectorias comprendidas dentro de la zona de Fresnel llegarán con un cierto defasamiento menor a  $180^\circ$  o media longitud de onda. La segunda zona de Fresnel incluirá a todas las trayectorias de defasamientos entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$ . Si la onda propagada sufre un defasamiento de  $360^\circ$  entonces llegará en fase con las ondas originales y se tendrá un efecto de adición. Por otra parte, si la onda de radio llega desfasada con la original, se tendrá un efecto de cancelación.

Las zonas pares (2, 4, 6, 8,...) tienen un efecto de cancelación mientras que las zonas impares (1, 3, 5, 7,...) tienen un efecto de adición.

## MATERIAL

- Kit de microondas Microwave trainer

## Desarrollo

1. Investigue la fórmula para calcular el radio de la primera zona de Fresnel.
2. Coloque las antenas del Kit de microondas de tal manera que pueda interferir el haz entre transmisora y receptora.
3. Realice los bloqueos necesarios para poder graficar la potencia recibida contra el ancho del haz emitido.
4. Verifique que los diámetros de las zonas medidas correspondan al valor teórico de la fórmula del punto 1.

## BIBLIOGRAFÍA

Freeman, *Radio System Design for Telecommunications*, John Wiley

Smith, Carpenter, *The Microwave Engineering Handbook, Vol. 2*, Chapman and Hall

# PRÁCTICA 14

## Antenas para microondas: cálculos de enlace

### OBJETIVOS

- Conocer los componentes de un sistema comercial de comunicaciones por microondas.
- Determinar cuantitativamente el efecto de la propagación de una onda electromagnética a través del espacio libre.
- Identificar los parámetros de la ecuación de Friis para enlace radioeléctrico. la geometría de las antenas de reflector paraboloide.
- Obtener el diagrama de potencias del enlace.

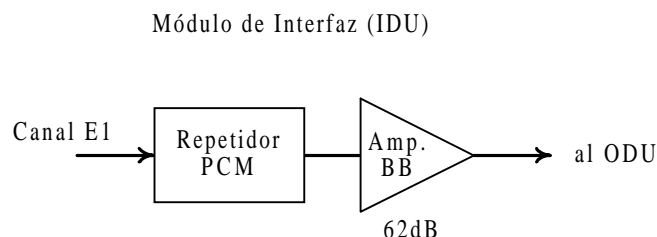
### Trabajo Previo

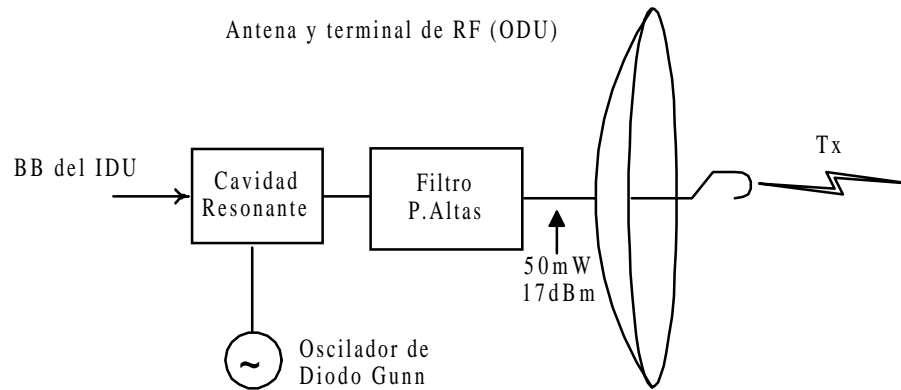
1. Explique la estructura a bloques de un sistema de radio comunicación.
2. A que se debe la atenuación por espacio libre y de que parámetros depende.
3. Calcule las pérdidas por espacio libre del enlace a estudiar (investigar distancia entre antenas).

### Desarrollo

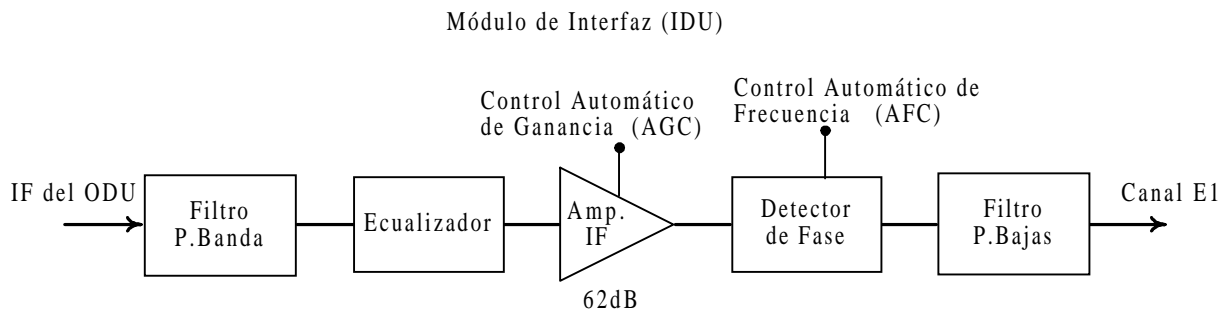
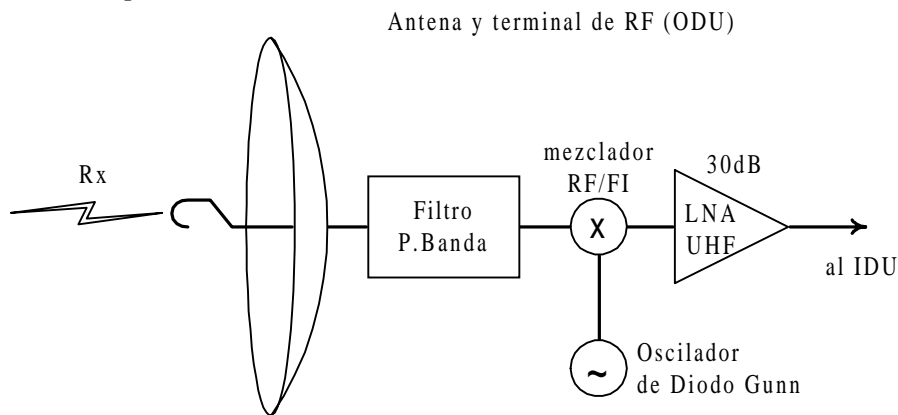
Para la aplicación de la ecuación de propagación de Friis es necesario conocer los parámetros de operación del sistema, i.e. ganancia nominal de las antenas, ganancias de los diferentes bloques del receptor y las pérdidas en los dispositivos de conexión. A continuación se presenta la estructura a bloques de las secciones que forman parte del sistema de microondas. Se presentan por separado las secciones de transmisión y recepción tanto de las terminales de RF como de los módulos de interfaz.

#### *Etapa de Transmisión*





*Etapa de recepción*



Se pretende estimar las pérdidas por espacio libre mediante un balance energético en todo el sistema. La ecuación general de dicho balance es la siguiente:

$$P_r = P_t - L_{tt} + G_{at} - L_{el} + G_{ar} - L_{tr} + G_{rx}$$

donde:

$P_r$  = potencia de recepción (dBW o dBm).

$P_t$  = potencia de transmisión (dBW o dBm).

$L_{tt}$  = pérdidas en la línea de transmisión en la transmisión (dB).

$G_{at}$  = ganancia de la antena de transmisión (dBi).

$L_{el}$  = pérdidas por espacio libre (dB).

$G_{ar}$  = ganancia de la antena de recepción (dBi).

$L_{tr}$  = pérdidas en la línea de transmisión en la recepción (dB).

$G_{rx}$  = ganancia global del receptor (dB).

Una vez orientada la antena en la dirección óptima y levantado el enlace (no alarmas en el módulo interfaz), se procede a desensamblar la terminal de RF con el fin de tener acceso directo a la guía de onda proveniente del alimentador. En este punto se puede medir la potencia de recepción directamente sin necesidad de tener que considerar las ganancias parciales de los distintos bloques del receptor.

La potencia de transmisión no es ajustable y tiene un nivel fijo de 50mW a la entrada de la guía de onda como se indica en el diagrama de la sección de transmisión, así también las ganancias de las antenas son dato del fabricante y son proporcionada en el manual del equipo según las dimensiones de la antena.

Las pérdidas por espacio libre dependen de los parámetros del enlace, i.e. la distancia entre las antenas y la frecuencia de operación. En la práctica estas pérdidas se obtienen por medio del balance energético y se compararán con las calculadas teóricamente. Las pérdidas por las líneas de transmisión (guías de onda) son mínimas a comparación de las pérdidas por espacio libre por lo tanto no es necesario considerarlas, sin embargo, se deben tomar en cuenta las pérdidas por inserción del adaptador empleado para conectar el dispositivo de medición.



# PRÁCTICA 15

## Antenas para microondas: patrón de radiación

### OBJETIVOS

- Verificar la geometría de las antenas de reflector paraboloide.
- Encontrar el apuntamiento óptimo de las antenas en un enlace en línea de vista.
- Observar las características de alta directividad de una antena de microondas.

### TRABAJO PREVIO

1. Mencione cuales son las características principales de las antenas de reflector parabólico.
2. ¿Por qué es tan importante contar con una antena altamente directiva en un enlace de microondas en línea de vista?
3. ¿Qué se entiende por lóbulos laterales y por qué es deseable que sean mínimos?

### ASPECTOS DE ESTUDIO

- Observar la propiedad de fase constante del reflector.
- Determinar los anchos del haz de potencia media tanto en el plano horizontal como en el vertical.
- Determinar el aislamiento entre el lóbulo principal y los primeros lóbulos laterales.
- Calcular la directividad de la antena.

### MATERIAL Y EQUIPO

Sistema de microondas (Skyplex 23C/2M)

- Antenas de reflector parabólico de 2'
- Terminales de RF (ODU)
- Módulos de interfase (IDU)

Medidor de potencia de RF

## DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El sistema Skyplex 23C/2M es un equipo comercial de comunicaciones digitales vía microondas que incluye un par de antenas de plato parabólico de 0.61 m (2') de diámetro, un par de terminales de radio frecuencia (ODU) y un par de módulos de interfaz (IDU). Este sistema proporciona un enlace *full duplex* a 2.048Mbps (E1) en la banda de 23GHz con una banda de guarda de 1.232GHz entre Tx y Rx.

## DESARROLLO

### *Propiedad de Fase Constante*

Para comprobar la geometría paraboloide de las antenas es necesario verificar su propiedad de fase constante. Coloque una regla sobre los bordes de la antena de tal manera que ésta permanezca perpendicular al eje focal (paralela a la directriz de la parábola). Posteriormente determine la distancia entre el alimentador (foco) y alguno de los bordes de la antena donde descansa la regla, marque la distancia sobre un hilo no elástico para que éste sirva como medida de referencia. Fije uno de los extremos del hilo al alimentador y compruebe que la distancia desde el alimentador a cualquier punto sobre la superficie del reflector más la distancia de dicho punto hacia la regla, en dirección paralela al eje focal, se mantiene constante sin importar el ángulo de incidencia sobre la superficie del plato.

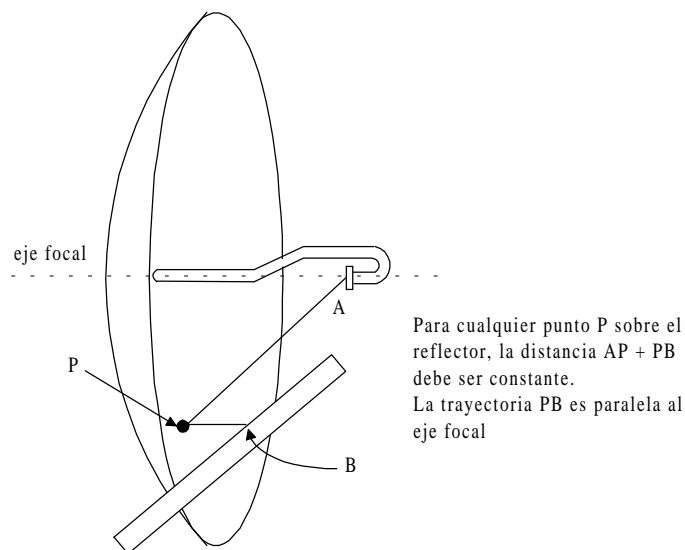


Figura 1

### *Apuntamiento de las Antenas*

La conexión entre los equipos IDU y ODU consta de un cable de señal y uno de alimentación, el primero es un cable coaxial RG-9 con conectores tipo N por el cual viajan simultáneamente la señal de transmisión en banda base y la señal de recepción en frecuencia intermedia; y el segundo es un cable de 6 hilos que lleva del IDU al ODU los voltajes de alimentación (+12V y -12V), el nivel de referencia (0V) y el voltaje del AGC. Para determinar el óptimo apuntamiento de las antenas se medirá la potencia recibida y se moverá la antena receptora hasta llegar a un valor máximo.

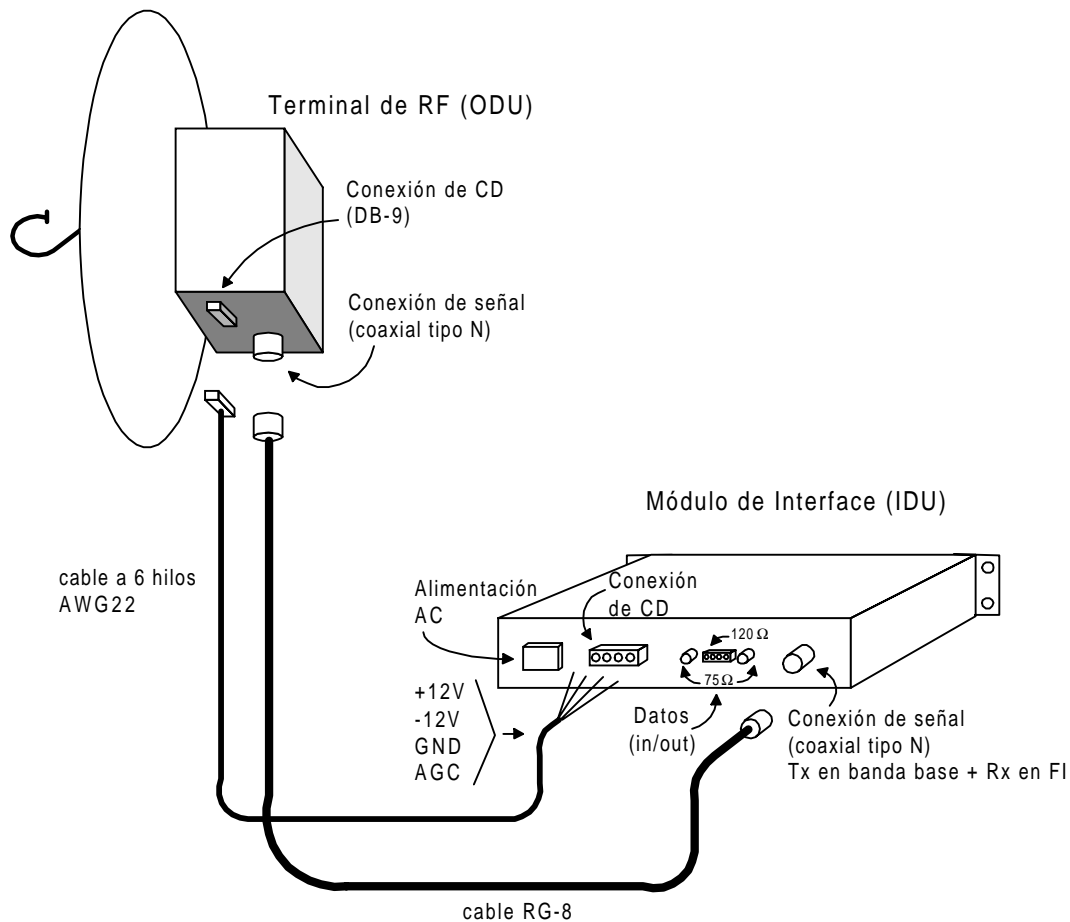


Figura 2

El módulo de interfaz cuenta también con una serie de indicadores y puntos de medición que nos permiten conocer el estado de operación, estos indicadores se encuentran dentro del módulo y se puede tener acceso removiendo la parte frontal del módulo.

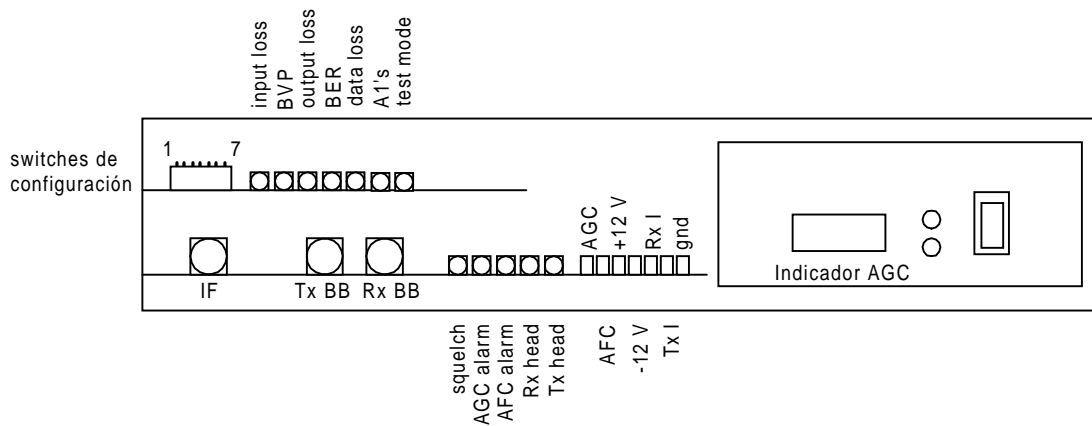


Figura 3

Realice la conexión entre el IDU y el ODU, encienda los equipos y espere a que los equipos se enlacen; esto se verifica cuando los indicadores de alarma del módulo de interfaz (leds rojos) se apagan y sólo queda encendido el indicador de *input loss*, el cual nos informa que no hay señal de datos presente.

La orientación de la antena se ajusta por medio de dos tornillos de precisión que se encuentran ubicados en la parte posterior del plato, uno de ellos se usa para ajustar el ángulo de azimut (plano horizontal) y el otro para el ángulo de elevación (plano vertical). Antes de empezar el apuntamiento, estos dos tornillos son colocados a la mitad de su trayecto para permitir ajustes en ambos sentidos. Inicialmente se apuntan las antenas en azimut de manera aproximada por medio de una apreciación visual, para esto es necesario rotar la unidad (antena + terminal RF) alrededor del poste en el que se encuentra instalada.

La orientación deberá hacerse primero en azimut (plano horizontal) y después en elevación (plano vertical), utilizando los tornillos de ajuste respectivos. Una vez que se logre el apuntamiento óptimo se marca esta posición como dirección de referencia.

#### *Ancho del haz y aislamiento entre lóbulos*

Conecte el medidor de potencia a la salida de IF ubicada en la terminal de RF, el medidor de potencia permitirá obtener una medida más precisa de la potencia recibida. Registre la lectura del nivel máximo de potencia recibida en la dirección de referencia, varíe lentamente el ángulo de azimut en sentido positivo hasta encontrar la lectura que corresponda a la mitad del valor máximo y registre el ángulo obtenido ( $\theta'_{HP}$ ); continúe variando el ángulo de azimut hasta encontrar el primer mínimo local y registre el ángulo obtenido ( $\theta'_{FN}$ ); por último encuentre el la dirección del siguiente máximo local (primer lóbulo lateral) y registre tanto el ángulo ( $\theta'_{PL}$ ) como el nivel de potencia recibida ( $P_{PL}$ ).

Regrese a la dirección de máxima intensidad y realice la operación anterior en sentido opuesto hasta encontrar los ángulos respectivos ( $\theta'_{HP}$ ) ( $\theta''_{FN}$ ). La suma de los dos ángulos  $\theta'_{HP}$  y  $\theta''_{HP}$  corresponde al ancho de haz de potencia media  $\theta_{HP}$ . Tenga en cuenta que este tipo de antenas presentan un ancho de haz extremadamente estrecho y por lo tanto es muy importante variar el ángulo lentamente con el fin de evitar una lectura errónea.

Para el ancho del haz en el plano vertical ( $\phi_{HP}$ ) realice el procedimiento anterior sobre el ángulo de elevación.

Una vez determinado el ancho del haz vuelva a orientar la antena hacia la dirección de referencia y verifique el nivel de potencia obtenido (máximo),

## CÁLCULOS

Para calcular los parámetros de directividad y de apertura de las antenas consulte la práctica 9. Para determinar los ángulos es importante tener una relación entre los grados correspondientes al número de vueltas de los tornillos. Es conveniente obtener este dato antes de empezar a hacer las mediciones.

## BIBLIOGRAFÍA

KRAUS, A. *Antennas*, Second Edition, McGraw-Hill.

---

# PROYECTO FINAL 1

## Interconexión a través de fibras ópticas

---

### OBJETIVOS

- En este proyecto los alumnos integrarán los conocimientos adquiridos a lo largo del curso, tanto en clases de teoría como en laboratorio, y los aplicarán en un proyecto de interconexión a través de fibras ópticas.
- Conocerán la topología de la red de fibra que instalarán, las diferentes rutas por las cuales deberán hacer el tendido de fibra para las ciudades que tengan que interconectar.
- Al terminar el proyecto deberán de haber realizado una investigación de mercado sobre equipos comerciales y fibras de tal manera que conozcan los costos típicos de un enlace y que presenten una visión similar a la que tendría una compañía de consultoría especializada.

### DESCRIPCIÓN

Uno grupo de inversionistas mexicanos contacta a un equipo de trabajo formado por alumnos del ITAM pues requieren interconectar sus oficinas que constan de un corporativo y dos sucursales. Las necesidades de la empresa implican comunicación de voz y datos con una tasa mínima de transmisión de 622 Mbps (STM-1).

Los clientes desean saber:

- Tipo de fibra óptica que debe de utilizarse y longitud de onda correspondiente
- Cable comercial que satisfaga el punto anterior
- Equipo de transmisión y recepción
- repetidores, amplificadores y conectores, tipo y cantidad
- Número de empalmes que se realizarán
- Equipo de medición y pruebas (OTDR)

Para esto es necesario entregar un plan de trabajo, un análisis de las rutas particulares de los clientes y un presupuesto (incluyendo el cobro por consultoría del equipo).

## Rutas para diferentes equipos

Equipo	Ciudades		
1	Tepic	Saltillo	SLP
2	Cancún	Mérida	Villahermosa
3	Tijuana	Nogales	Hermosillo
4	Chihuahua	Hermosillo	Culiacán
5	Nuevo Laredo	Monterrey	Tampico
6	Durango	Guadalajara	Guanajuato
7	Guadalajara	Manzanillo	Guanajuato
8	Poza Rica	Guanajuato	SLP
9	Chilpancingo	DF	Oaxaca
10	Puebla	Veracruz	Oaxaca
11	Tuxtla	Villahermosa	Oaxaca
12	Morelia	León	Querétaro

# PROYECTO FINAL 2

## Interconexión a través de microondas

---

### OBJETIVOS

- En este proyecto los alumnos integrarán los conocimientos adquiridos a lo largo del curso, tanto en clases de teoría como en laboratorio, y los aplicarán en un proyecto de interconexión a través de microondas.
- Al terminar el proyecto deberán de haber realizado una investigación de mercado sobre equipos comerciales y fibras de tal manera que conozcan los costos típicos de un enlace y que presenten una visión similar a la que tendría una compañía de consultoría especializada.
- Buscarán mapas de INEGI o alguna otra fuente de información para familiarizarse con la topografía de la zona y así poder elegir la mejor opción en las rutas de los enlaces de microondas.
- Investigarán el uso del espectro radioeléctrico y algunos de los trámites necesarios para poder explotar este recurso.

### DESCRIPCIÓN

Un grupo de inversionistas mexicanos contacta a un equipo de trabajo formado por alumnos del ITAM pues requieren interconectar distintos puntos de su empresa. Las necesidades de la empresa implican comunicación de voz y datos con una tasa mínima de transmisión de 8 Mbps (4\*E1).

El proyecto que se deberá entregar a los inversionistas debe contar con:

- un estudio topográfico en donde se muestre la ubicación de los sitios a interconectar,
- todos los posibles puntos intermedios (interferentes),
- perfiles de cada enlace
- análisis de potencias de cada enlace,
- equipo requerido para transmisión y recepción y,
- análisis económico general.

Para esto es necesario entregar un plan de trabajo, un análisis de las rutas particulares de los clientes y un presupuesto (incluyendo el cobro por consultoría del equipo).



## Puntos para diferentes equipos

Equipo	Puntos a interconectar	Ciudad
1	Catedral de los Ángeles y la pirámide de Cholula	Puebla, Pue.
2	Centro de Investigación en Matemáticas CIMAT, (a un costado de la mina de La Valenciana) y la Universidad de Guanajuato, (a un costado del Templo de la Compañía)	Guanajuato, Gto.
3	Reclusorio (al sur) y Cementerio (al norte) de la ciudad de Hermosillo (Estorba una montaña para el enlace)	Hermosillo, Son.
4	Guadalupe, Zac. y el Catedral	Zacatecas, Zac.
5	Real del Monte, Hgo. y Mineral El Chico Hgo	Real del Monte, Hgo.
6	Zona arqueológica de Montealbán, Templo de Santo Domingo y Auditorio de la Guelaguetza.	Oaxaca, Oax.
7	La isla de Janitzio ubicada en el lago de Pátzcuaro y Santa Fe de la Laguna.	Janitzio, Mich.
8	Restaurante "Bogart's" en la costera de Ixtapa y playa "La Ropa" en Zihuatanejo	Ixtapa-Zihuatanejo, Gro.
8	Hard Rock Café sobre la Costera Miguel Alemán y Hotel Pierre Marqués	Acapulco, Gro.

# ANEXO 1

## Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

---



Publicaciones oficiales de la CFT

### Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias México 1999 Actualizado con el Reglamento de Radiocomunicaciones 1998

<http://www.agitec.gob.mx/cuadro/>

#### *DEFINICION DE TERMINOS*

Las definiciones siguientes son aplicables para la interpretación del Cuadro, y son consistentes con el Convenio y el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

##### Telecomunicación:

Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

##### Ondas radioeléctricas u ondas hertzianas:

Ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3 000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial.

##### Radiocomunicación:

Toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas. Entre muchas más, la radiodifusión y la radiotelefonía se incluyen en esta definición.

##### Radiocomunicación terrenal:

Toda radiocomunicación distinta de la radiocomunicación espacial o de la radioastronomía.

##### Radiocomunicación espacial:

Toda radiocomunicación que utilice una o varias estaciones espaciales, uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio.

##### Radiodeterminación:

Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

##### Radionavegación:

---

**Constantino Carlos Reyes Aldasoro**



Radiodeterminación utilizada para fines de navegación, inclusive para señalar la presencia de obstáculos.

Radiolocalización:

Radiodeterminación utilizada para fines distintos de los de radionavegación.

Radiogoniometría:

Radiodeterminación que utiliza la recepción de ondas radioeléctricas para determinar la dirección de una estación o de un objeto.

Radioastronomía:

Astronomía basada en la recepción de ondas radioeléctricas de origen cósmico.

Aplicaciones industriales, científicas y médicas (de la energía radioeléctrica) (ICM):

Aplicación de equipos o de instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación. Es decir, las aplicaciones ICM no se catalogan como servicios de radiocomunicación.

Atribución (de una banda de frecuencias):

Inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada para que sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas. Este término se aplica también a la banda de frecuencias considerada.

Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico):

Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente de la UIT, para ser utilizado por una o varias administraciones para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas.

Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico):

Autorización para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

### *Servicios comprendidos*

De conformidad con el Convenio y el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, se deberá entender por:

Servicio de radiocomunicación:

Servicio definido en esta sección, que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

Todo servicio de radiocomunicación que se mencione en el presente Cuadro, salvo indicación expresa en contrario, corresponde a una radiocomunicación terrenal.

Servicio fijo:

Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados.

Servicio fijo por satélite:

Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas situadas en emplazamientos dados cuando se utilizan uno o más satélites artificiales; el emplazamiento dado puede ser un punto fijo determinado o cualquier punto fijo situado en una zona determinada; en algunos casos, este servicio incluye enlaces entre satélites que pueden realizarse también dentro del servicio entre satélites; el servicio fijo por satélite puede también incluir enlaces de conexión para otros servicios de radiocomunicación espacial.

Servicio entre satélites:

Servicio de radiocomunicación que establece enlaces entre satélites artificiales.

Servicio de operaciones espaciales:

Servicio de radiocomunicación que concierne exclusivamente al funcionamiento de los vehículos espaciales, en particular el seguimiento espacial, la telemida espacial y el telemando espacial.

Estas funciones serán normalmente realizadas dentro del servicio en el que funcione la estación espacial.

Servicio móvil:

Servicio de radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles.

Servicio móvil por satélite:

Servicio de radiocomunicación: entre estaciones terrenas móviles y una o varias estaciones espaciales o entre estaciones espaciales utilizadas por este servicio, o entre estaciones terrenas móviles por intermedio de una o varias estaciones espaciales.

También pueden considerarse incluidos en este servicio los enlaces de conexión necesarios para su explotación.

Servicio móvil terrestre:

Servicio móvil entre estaciones de base y estaciones móviles terrestres o entre estaciones móviles terrestres.

Servicio móvil terrestre por satélite:

Servicio móvil por satélite en el que las estaciones terrenas móviles están situadas en tierra.

Servicio móvil marítimo:

Servicio móvil entre estaciones costeras y estaciones de barco, entre estaciones de barco, o entre estaciones de comunicaciones a bordo asociadas; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.

Servicio móvil marítimo por satélite:

Servicio móvil por satélite en el que las estaciones terrenas móviles están situadas a bordo de barcos; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.

Servicio de operaciones portuarias:

Servicio móvil marítimo en un puerto o en sus cercanías, entre estaciones costeras y estaciones de barco, o entre estaciones de barco, cuyos mensajes se refieren únicamente a las operaciones, movimiento y seguridad de los barcos y, en caso de urgencia, a la salvaguardia de las personas.

Quedan excluidos de este servicio los mensajes con carácter de correspondencia pública.

Servicio de movimiento de barcos:

Servicio de seguridad, dentro del servicio móvil marítimo, distinto del servicio de operaciones portuarias, entre estaciones costeras y estaciones de barco, o entre estaciones de barco, cuyos mensajes se refieren únicamente a los movimientos de los barcos.

Quedan excluidos de este servicio los mensajes con carácter de correspondencia pública.

Servicio móvil aeronáutico:

Servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre estaciones de aeronave, en el que también pueden participar las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros que operen en las frecuencias de socorro y de urgencia designadas.

Servicio móvil aeronáutico (R)\*:

Servicio móvil aeronáutico reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil.

\*(R): en rutas.

Servicio móvil aeronáutico (OR)\*\*:

Servicio móvil aeronáutico destinado a asegurar las comunicaciones, incluyendo las relativas a la coordinación de los vuelos, principalmente fuera de las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil.

\*\* (OR): fuera de rutas.

Servicio móvil aeronáutico por satélite:

Servicio móvil por satélite en el que las estaciones terrenas móviles están situadas a bordo de aeronaves; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.

Servicio móvil aeronáutico (R)\* por satélite:

Servicio móvil aeronáutico por satélite reservado a las comunicaciones relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil.

Servicio móvil aeronáutico (OR)\*\* por satélite:

Servicio móvil aeronáutico por satélite destinado a asegurar las comunicaciones, incluyendo las relativas a la coordinación de los vuelos, principalmente fuera de las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil.

Servicio de radiodifusión:

Servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género.

Servicio de radiodifusión por satélite:

Servicio de radiocomunicación en el cual las señales emitidas o retransmitidas por estaciones espaciales están destinadas a la recepción directa por el público en general.

En el servicio de radiodifusión por satélite la expresión «recepción directa» abarca tanto la recepción individual como la recepción comunal.

Servicio de radiodeterminación:  
Servicio de radiocomunicación para fines de radiodeterminación.

Servicio de radiodeterminación por satélite:  
Servicio de radiocomunicación para fines de radiodeterminación, y que implica la utilización de una o más estaciones espaciales.

Este servicio puede incluir también los enlaces de conexión necesarios para su funcionamiento.

Servicio de radionavegación:  
Servicio de radiodeterminación para fines de radionavegación.

Servicio de radionavegación por satélite:  
Servicio de radiodeterminación por satélite para fines de radionavegación.

También pueden considerarse incluidos en este servicio los enlaces de conexión necesarios para su explotación.

Servicio de radionavegación marítima:  
Servicio de radionavegación destinado a los barcos y a su explotación en condiciones de seguridad.

Servicio de radionavegación marítima por satélite:  
Servicio de radionavegación por satélite en el que las estaciones terrenas están situadas a bordo de barcos.

Servicio de radionavegación aeronáutica:  
Servicio de radionavegación destinado a las aeronaves y a su explotación en condiciones de seguridad.

Servicio de radionavegación aeronáutica por satélite:  
Servicio de radionavegación por satélite en el que las estaciones terrenas están situadas a bordo de aeronaves.

Servicio de radiolocalización:  
Servicio de radiodeterminación para fines de radiolocalización.

Servicio de radiolocalización por satélite:  
Servicio de radiodeterminación por satélite utilizado para la radiolocalización.

Este servicio puede incluir asimismo los enlaces de conexión necesarios para su explotación.

Servicio de ayudas a la meteorología:  
Servicio de radiocomunicación destinado a las observaciones y sondeos utilizados en meteorología, con inclusión de la hidrología.

Servicio de exploración de la Tierra por satélite:  
Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas y una o varias estaciones espaciales que puede incluir enlaces entre estaciones espaciales y en el que: se obtiene información sobre las características de la Tierra y sus fenómenos naturales, incluidos datos relativos al estado del medio ambiente, por medio de sensores activos o de sensores pasivos a bordo de satélites de la Tierra; se reúne información análoga por

medio de plataformas situadas en el aire o sobre la superficie de la Tierra; dichas informaciones pueden ser distribuidas a estaciones terrenas dentro de un mismo sistema; puede incluirse asimismo la interrogación a las plataformas.

Este servicio puede incluir también los enlaces de conexión necesarios para su explotación.

Servicio de meteorología por satélite:

Servicio de exploración de la Tierra por satélite con fines meteorológicos.

Servicio de frecuencias patrón y de señales horarias:

Servicio de radiocomunicación para la transmisión de frecuencias especificadas, de señales horarias, o de ambas, de reconocida y elevada precisión, para fines científicos, técnicos y de otras clases, destinadas a la recepción general.

Servicio de frecuencias patrón y de señales horarias por satélite:

Servicio de radiocomunicación que utiliza estaciones espaciales situadas en satélites de la Tierra para los mismos fines que el servicio de frecuencias patrón y de señales horarias.

Este servicio puede incluir también los enlaces de conexión necesarios para su explotación.

Servicio de investigación espacial:

Servicio de radiocomunicación que utiliza vehículos espaciales u otros objetos espaciales para fines de investigación científica o tecnológica.

Servicio de aficionados:

Servicio de radiocomunicación que tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuado por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.

Servicio de aficionados por satélite:

Servicio de radiocomunicación que utiliza estaciones espaciales situadas en satélites de la Tierra para los mismos fines que el servicio de aficionados.

Servicio de radioastronomía:

Servicio que entraña el empleo de la radioastronomía.

Servicio de seguridad:

Todo servicio radioeléctrico que se explote de manera permanente o temporal para garantizar la seguridad de la vida humana y la salvaguarda de los bienes.

Servicio especial:

Servicio de radiocomunicación no definido en otro lugar de la presente sección, destinado exclusivamente a satisfacer necesidades determinadas de interés general y no abierto a la correspondencia pública.

## ANEXO 2

# Especificaciones técnicas de un radio digital marca Harris

### Standard Features

- Multiple DS1, single DS3, or STS-1 Digital Transport
- State-of-the-Art Adaptive Equalization for Optimum Dispersive Fade Margin
- Synthesized RF Sources with Enhanced Frequency Stability
- Precision AGC & Receive Level Monitoring
- Ultra-High Performance Receiver Selectivity for Maximum Interference Rejection
- State-of-the-Art Linear Solid State MMIC Transmitters
- Software Programmable Output Power Level
- Built-in 'Smart' Multiplexing with On-Board Repeater Capability
- Receiver Threshold Extension Optimized for Multimedia Traffic
- 'Wide-Mouth' Auto Polarity Sensing Power Supply
- CD-ROM 'Installation and Operations' Manual
- Remote Inventory Management Capability
- Software Version Remote Download Facility
- FarScan™ and SNMP Network Management Interfaces
- Shielded Hinged Protective Front Cover Panels
- Convenient Storage Space for Optional Handset or Keypad

### Regulatory Information

#### Jurisdiction Frequency Range Channel Plans

FCC: 5925 - 6875 MHz 10 MHz, 5 MHz, 3.75 MHz

FCC: 10550 - 10680 MHz 5 MHz, 3.75 MHz

FCC: 10700 - 11700 MHz 10 MHz, 5 MHz, 3.75 MHz

Industry Canada: 6425 - 6930 MHz 10 MHz, 3.75 MHz  
Industry Canada: 7125 - 7725 MHz 10 MHz, 5 MHz, 3.75 MHz

Industry Canada: 7725 - 8275 MHz 10 MHz

Industry Canada: 10550 - 10680 MHz 5 MHz, 3.75 MHz

Industry Canada: 10700 - 11700 MHz 10 MHz, 5 MHz, 3.75 MHz

For FCC filing, refer to Harris' Web site:

<http://www.microwave.harris.com/microwave-radios/regulatory-information.html>

<http://www.microwave.harris.com/microwave-radios/regulatory-information.html>

### Spectral Efficiency

#### Capacity Channel BW Modulation Efficiency

STS-1 + T1 10 MHz 128 State w/FEC 5.8 b/s/Hz

28 DS1 (or DS3) 10 MHz 64 State w/FEC 4.8 b/s/Hz

16 DS1 5 MHz 128 State w/FEC 5.6 b/s/Hz

8 DS1 3.75 MHz 32 State w/FEC 4.0 b/s/Hz

### Thermal and Environmental Characteristics

**System DC Power Input:** Wide mouth auto polarity directing,  
21 Vdc to 60 Vdc

#### Power Consumption 5 Terminal Repeater

Non-protected 160 watts 290 watts

Space -Diversity RX 220 watts 400 watts

Fully Protected 310 watts 570 watts

#### Temperature Tolerance:

Operating Range 0 to + 50° C

Storage and Transportation -40 to +65° C

**Humidity:** 5% to 95% non-condensing

#### Mechanical Dimensions: Height 4 Width Depth

**Terminal** 24.5 in. 19 in. 11.81 in.

**Repeater** 47.25 in. 19 in. 11.81 in.

#### Standards Compliance:

ANSI asynchronous interface standards

FCC Part 15 standards, Subpart B for Class A devices

#### Network Management Interfaces:

SNMP, FarScan™, HNM™, StarView™, Dry Contact Alarms

### Radio Performance Specifications

**Frequency Stability:** ± 0.0003%

**Output Power Range:** 10 dB (software programmable)

**Diversity RX Switching:** Errorless

**Residual BER:** <10<sup>-13</sup> per hop or link

**Receiver Overload:** 1 -17 dBm @ 10<sup>-6</sup> BER

**Dispersive Fade Margin:** 1,3 68.5 dB @ 10<sup>-3</sup> BER  
67.0 dB @ 10<sup>-6</sup> BER

#### T/I Ratio: 1,3 Like Signal CW Signal

Co-Channel +33 dB +33 dB

Adjacent -5 dB -24 dB

2x Adjacent Channel -29 dB -34 dB

### Transmission Engineering Parameters 1,2

#### 8 DS1 16 DS1 28 DS1/DS3 STS1+T1

**6 GHz** Tx Output (dBm) +30.0 +29.0 +29.5 +29.0

Rx Input (dBm) @ 10<sup>-3</sup> BER -83.5 -77.0 -77.0 -74.0

@ 10<sup>-6</sup> BER -82.0 -75.5 -75.5 -72.5

System Gain (dB) @ 10<sup>-3</sup> BER 113.5 106.0 106.5 103.0

**7/8 GHz** Tx Output (dBm) +28.5 +27.5 +28.0 +27.5

Rx Input (dBm) @ 10<sup>-3</sup> BER -83.0 -76.5 -76.5 -73.5

@ 10<sup>-6</sup> BER -81.5 -75.0 -75.0 -72.0

System Gain (dB) @ 10<sup>-3</sup> BER 111.5 104.0 104.5 101.0

**10/11 GHz** Tx Output (dBm) +27.0 +26.0 +26.5 +26.0

Rx Input (dBm) @ 10<sup>-3</sup> BER -82.5 -76.0 -76.0 -73.0

@ 10<sup>-6</sup> BER -81.0 -74.5 -74.5 -71.5

System Gain (dB) @ 10<sup>-3</sup> BER 109.5 102.0 102.5 99.0

1. Typical values for non-protected systems

measured at the antenna port of the ACU.

2. Additional ACU loss per protected transmit pair is

0.5 dB. Additional ACU loss per protected receive pair is 1 dB.



## **ANEXO 3**

### **Especificaciones técnicas, equipo comercial de microondas**

---

<http://www.microwave.harris.com/microwave-radios/microwave-radios.html>

<http://www2.nera.no/prodprod.nsf/Product+Info./Product?OpenView>

<http://www.nec.com/search/index.html>

<http://www.necwave.com/prod/index.html>

<http://www.ericsson.se/transmission/mini-link/bas/technical.shtml>

## **ANEXO 4**

### **Especificaciones técnicas antenas comerciales**

---

<http://www.andrew.com/products/mwantenna/catalog37.asp>  
<http://www.nera.no/index.html/>

## **ANEXO 5**

### **Ejemplo de Mapa Topográfico**

---

## **ANEXO 6**

### **Tablas y gráficas para cálculos de enlaces de microondas**

---

## ANEXO 7

### Base de datos de la banda de 2 [GHz]

NUM. S	NUM. ENLACE	EDO.	FRECUENCIAS	POBLACION ORIGEN	COBERTURA EN 100 CIUDADES	EDO. POB DESTINO	POBLACION DESTINO
221		VER.		COATZACOALCOS	1	VER.	COMPLEJO PAJARITOS (1+1)
	357	VER.	1937 1995	COATZACOALCOS			
	357	VER.	1724 1782	COMPLEJO PAJARITOS			

222		VER.		CORDOBA		VER.	VERACRUZ (2+1)
	358	VER.	1951 2009 2067	CORDOBA	1		
	358	VER.	2164 2222 2280	REP. ATOYAC			
	359	VER.	2164 2222 2280	REP. ATOYAC			
	359	VER.	1951 2009 2067	VERACRUZ	1		

CAP.	BANDA	ARREGLO	CONF.	Tx-Rx	TIPO	PERDIDA	LONGITUD	ATENUAC	LATITUD	LONGITUD	A.S.N.M.
960	2000	2T	1+1	4							
960	2000				HJ5-7/8"	0.06300	86	5.418	18 08 21	94 25 57	24
960	2000				HJ5-7/8"	0.06300	27	1.701	18 06 17	94 23 26	28

1800	2000	2T+1R	2+1	12							
1800	2000				HFCU2Y 7/8	0.05800	35	2.030	18 53 34	96 55 52	851
1800	2000				FLEXW 7/8	0.06000	57	3.420	18 53 06	96 45 00	785
1800	2000				HFCU2Y 1 5/8	0.03100	72	2.232	18 53 06	96 45 00	785
1800	2000				HFCU2Y 1 5/8	0.03100	75	2.325	19 11 30	96 08 45	6

TORRE	ANTENA	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES (Km)	TIPO DE ANTENA	DIAM. o ELEM.	GANANC	ANGULO DE ABERTURA	ANTERIOR	POSTERIOR	MARCA	TIPO
75	71		HP8-17D	2.4	31.1	4.5			NEC	TR2G 960-500
20	12	5.85	PL8-17C	2.4	31.1	4.5	310	49 00		

55	57		GTE COMELIT HP	3.0	33.8	4			92 34 00	GTE	CTR 140
55	47	19.06	GTE COMELIT HP	3.0	33.8	4	272	34 00			
60	52		GTE IPER	4.0	36.3	3			61 26 00		
84	81	72.03	GTE STAR	4.0	36.3	3	241	26 00			

POT. NOMINAL (dBm)	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	FRECUENCIAS	POLARIZ.	CLASE DE EMISION	ANCHO DE BANDA MHz	MODULACION	VEL. DE Tx (Mb/s)	DESV. (KHz)	SEP. DE CANAL DE RF. (MHz)
33	1700-2100			16M 6F8 E JF	40	F.M.		200	58
33		1937 1995	V						
33		1724 1782	V						

34.8	1900-2300			24M 3F8 E JF	28	F.M.			29
34.8		1951 2009 2067	V						
34.8		2164 2222 2280	V						
34.8		2164 2222 2280	H						
34.8		1951 2009 2067	H						

SEP. ENTRE Tx y Rx ( MHz)	P.A.R. dBm	P.A.R. Kw	HORA	No. POB. ATENDIDAS	FECHA DE INSTALACION
213			24		1993
	58.68	0.7382			
	62.40	1.7374			

213			24		1987
	66.57	4.5394			
	65.18	3.2961			
	68.87	7.7055			

~~Constantino Carlos Reyes Aldasoro~~  
Ante Salcedo González  
Fernando Carrillo Valderrábano

