



Instituto Politécnico Nacional



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA U.C.

DEPARTAMENTO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA.

ACADEMIA DE ELECTROMAGNETISMO

Nombre del alumno _____ Calificación _____

grupo _____ Fecha _____ Boleta _____

Practica N° 6 " ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN- RECEPCIÓN, EN LA FRECUENCIA DE 10 GHZ. "

II.- Objetivo:

Se muestra el procedimiento para medir parámetros básicos en sistemas que emplean guías de onda rectangulares.

III.- Base Teórica:

En un sistema de línea de transmisión terminado por una impedancia de carga Z_L , si la impedancia de carga es diferente de la impedancia característica de la línea, necesariamente existe reflexión, la magnitud de la onda reflejada será proporcional al desacoplamiento línea-carga; una técnica que permite determinar el grado de desacoplamiento es midiendo la razón de onda estacionaria (VSWR) del sistema:

La razón de onda estacionaria se define como:

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (6.1)$$

Los valores para V_{\max} y V_{\min} se obtienen de las expresiones para la onda de voltaje la cual se expresa:

$$V = V_1 e^{\gamma x} + V_2 e^{-\gamma x} \quad (6.2)$$

donde : V_1 = Amplitud de la onda incidente.

V_2 = Amplitud de la onda reflejada

de aquí:

$$V_{\max} = V_1 + V_2 \quad \text{y} \quad V_{\min} = V_1 - V_2 \quad (6.3)$$

sustituyendo :

$$VSWR = \frac{|V_1 + V_2|}{|V_1 - V_2|} = \frac{\left| 1 + \frac{V_2}{V_1} \right|}{\left| 1 - \frac{V_2}{V_1} \right|} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (6.4)$$

para un sistema perfectamente acoplado (no existe onda reflejada) $\rho = 0$ $VSWR = 1$
 En un sistema totalmente desacoplado ($\rho = 1$) (la onda reflejada es igual a la incidente) $VSWR = \infty$
 en consecuencia $1 \leq VSWR \leq \infty$ (6.5)

En un sistema de línea de transmisión terminado en una impedancia de carga Z_L , si la impedancia de carga es diferente de la impedancia característica de la línea, necesariamente existe reflexión y la magnitud será proporcional al desacoplamiento línea-carga, en el caso de un sistema de radio-transmisión la carga está representada por la antena, la cual en general presenta una impedancia de tipo complejo. Y puesto que la impedancia es uno de los parámetros básicos, su medición es fundamental.

Para medir la impedancia existen varias formas, las cuales se aplican en función de la frecuencia y de la disponibilidad del equipo, entre las más representativas está la medición de la impedancia por medio de un analizador de impedancia vectorial, el cual opera en la banda de VHF (disponible en el laboratorio)
 La línea ranurada y el detector de VSWR, el cual opera en la banda de microondas (8.2 - 12.4 GHz)
 El puente de admitancias para la banda de VHF y el analizador de redes (sistema totalmente automatizado)

De todos los anteriormente citados quizá el más empleado sea el método de la línea ranurada, el cual hace uso de los resultados de los patrones de la onda estacionaria del cortocircuito y el de la carga a medir, los cuales son el resultado del desacoplamiento entre la impedancia de la línea de transmisión y la carga terminal.

Para hacer uso de los patrones de onda estacionaria resulta necesario establecer un patrón de referencia el cual es generalmente el patrón del corto circuito, en particular se escoge el patrón debido a que en una terminación en corto circuito en la carga hay un nulo de voltaje, esto permite reconocer en el patrón de onda estacionaria la posición del plano de carga es decir, donde está presente el nulo del patrón es el plano de carga, se registran las posiciones de al menos tres mínimos consecutivos, sobre la línea.

Una vez tomada esta referencia se sustituye la carga cuya impedancia se desea conocer y se detecta el mínimo de carga más cercano a uno de los mínimos de corto y se registra su valor, con estos datos más la asistencia de la carta de Smith es posible determinar el valor de la impedancia normalizada de la carga terminal.

A continuación se desarrolla el proceso en forma más detallado.

En un sistema de línea de transmisión se sabe que si está terminada en una carga puramente resistiva la onda estacionaria de voltaje termina siempre en un máximo o en mínimo, su valor depende del valor de la carga con respecto a la impedancia característica de la línea, esto se muestra en la figura 1, por otro lado si la carga es compleja, entonces el patrón termina en cualquier punto.

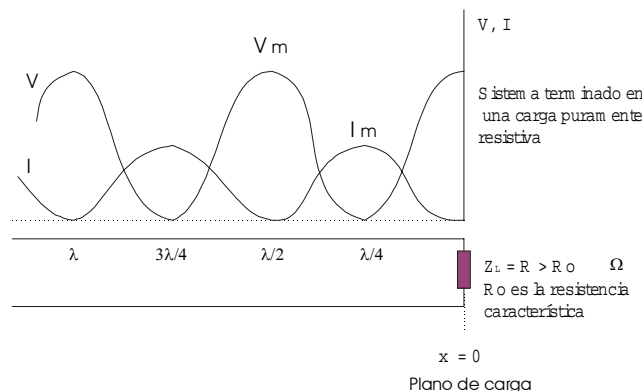


Figura 1. $R_0 = Z_0 =$ impedancia característica de la línea $Z_L =$ impedancia de carga.

El patrón de corto circuito generalmente se usa como el patrón de referencia para las mediciones de impedancia en cualquier sistema de línea de transmisión.

Para este patrón hay un mínimo de voltaje en la carga, por esta razón a un plano que pase por ese punto se denomina plano de carga, el mínimo se repite con una frecuencia de $\lambda/2$, el patrón representado se obtiene por medio del desplazamiento de una sonda en una línea ranurada.

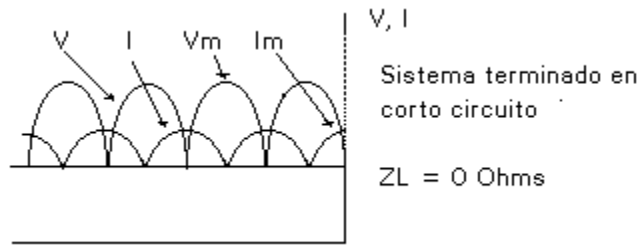
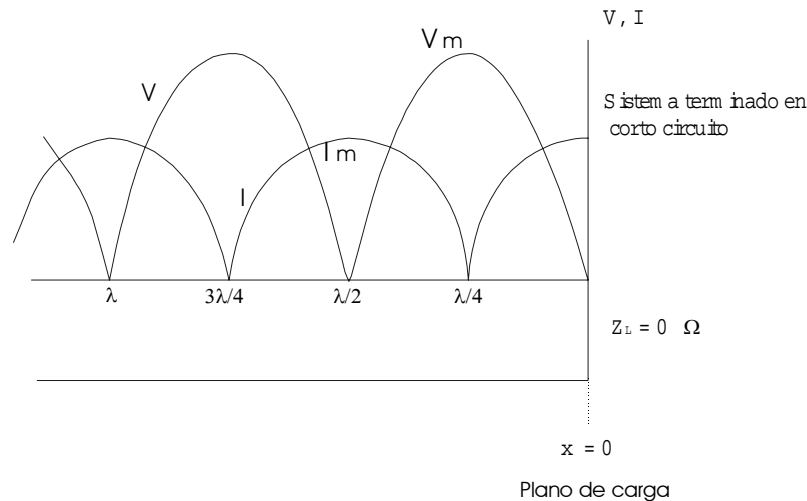


Figura .2 Sistema terminado en corto circuito

En forma ampliada:



El patrón a circuito abierto es un patrón de onda estacionaria, que sirve como referencia de forma semejante al patrón en corto circuito, pero como es muy difícil obtenerlo se prefiere al patrón de corto circuito, en un patrón de este tipo se puede observar el máximo de voltaje en el plano de carga.

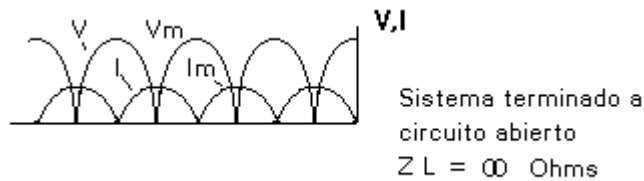
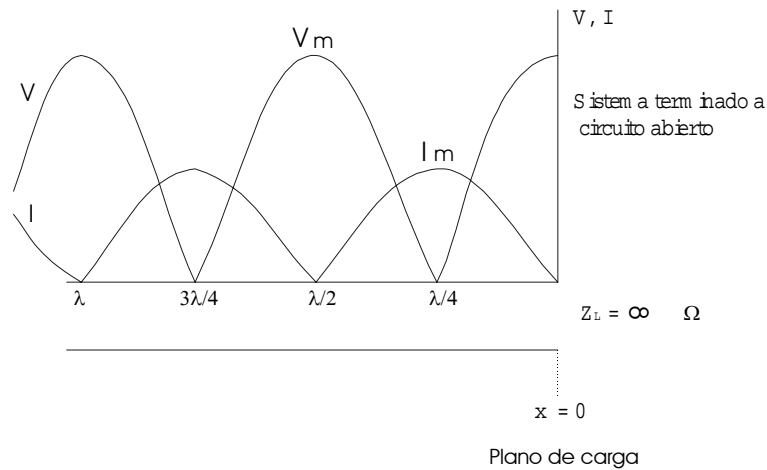


Figura 2 Sistema terminada a circuito abierto



En forma amplificada:



Si la impedancia terminal es diferente de la característica de la línea de transmisión, existe reflexión, si la impedancia terminal es compleja entonces los patrones de onda estacionaria se desplazan y dependiendo de su valor la estacionaria puede terminar en cualquier punto.

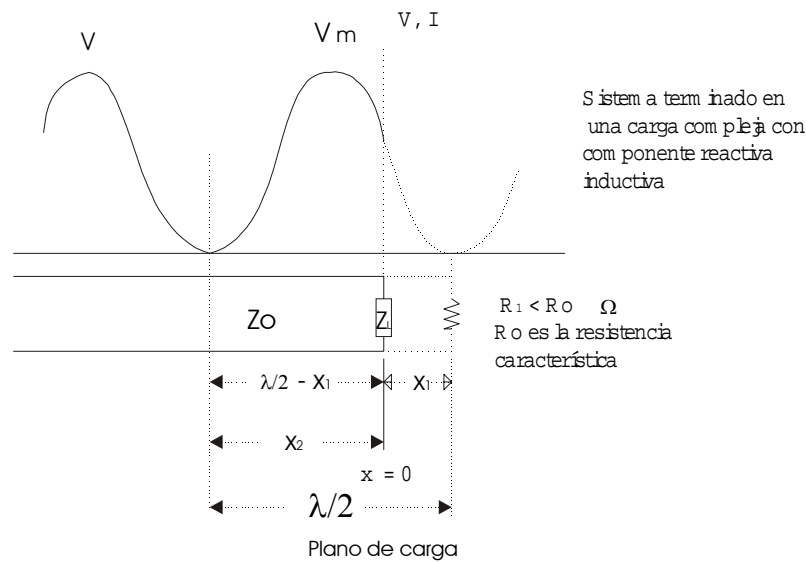


Figura 3 Sistema terminado en una impedancia compleja

Si el sistema se termina con un valor de impedancia igual a la impedancia característica, no existe reflexión y en consecuencia no hay onda estacionaria y se dice que el sistema está perfectamente acoplado.

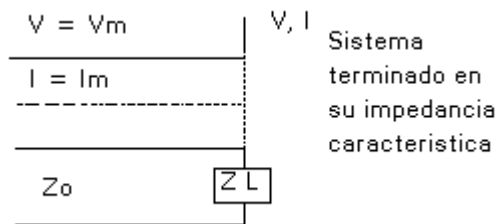


Figura 4 Sistema terminado en su impedancia característica

Cuando la terminación es compleja, en general si la impedancia tiene una componente reactiva inductiva la onda estacionaria termina después del máximo cuando se compara con la estacionaria del corto circuito.



Si la impedancia terminal tiene una componente capacitiva; es decir si la impedancia terminal es de la forma $Z_L = R - j X_c$ entonces la estacionaria tendrá un valor menor que el máximo al terminar en el plano de carga.

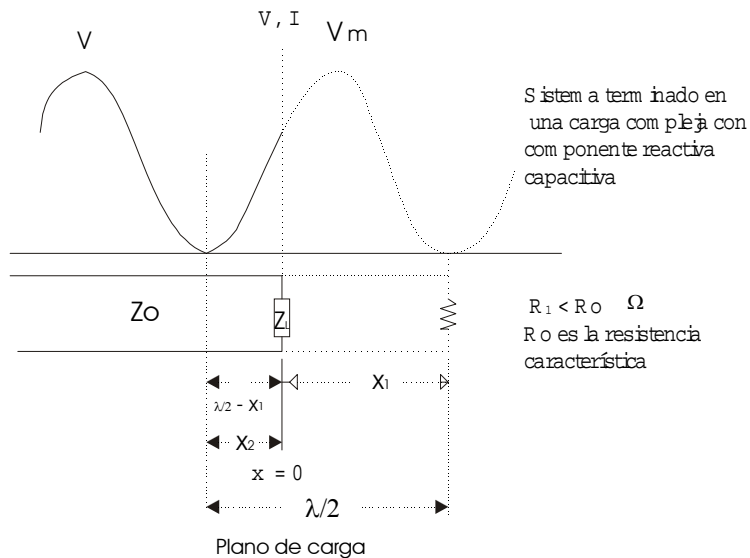


Figura 5 Sistema terminado en una impedancia con componente reactiva capacitiva

Para determinar el valor de la impedancia de una carga terminal desconocida (una antena) en un sistema de microondas es necesario determinar el valor de la onda estacionaria, la cual como se sabe es la razón del voltaje máximo al voltaje mínimo.

Además será necesario determinar la posición del plano de carga de referencia, lo cual se logra determinando los mínimos en el patrón del corto circuito, evidentemente sobre una línea ranurada.

Y puesto que la distancia entre dos mínimos consecutivos es media longitud de onda en la guía, es posible determinar la frecuencia de operación del sistema, en este punto deberá tomarse en cuenta el modo de propagación, el cual como se sabe es el TE₁₀; para este modo la frecuencia de operación es

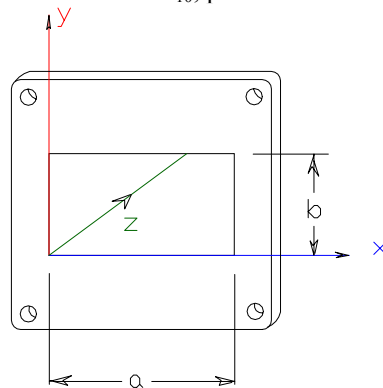


Figura 6 Guía de onda rectangular de dimensiones a x b

$$f_c = 15 \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\lambda_g}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{a}\right)^2}} \text{ GHz} \quad a \text{ en cm}$$

Con asistencia de la carta de Smith será posible conocer el valor de la impedancia.



LA CARTA DE SMITH.

La carta de Smith está basada en dos series de círculos ortogonales los cuales representan impedancias. Son necesarios debido a que la representación de la impedancia consta de dos componentes:

$$Z = R \pm j X$$

donde :

R es la componente resistiva o de la componente real.

X es la componente reactiva o la componente imaginaria.

Ambas componentes deberán explícitamente señalarse para caracterizar cualquier valor de la impedancia aún y cuando su valor sea de 0Ω . Un sistema de microondas como el del laboratorio la impedancia característica es de 50Ω

Para usar la carta es necesario normalizar los valores de impedancia o admitancia, para hacerlo basta dividir el valor de la impedancia o admitancia entre el valor de la impedancia o admitancia característica.

El valor normalizado se puede representar en la carta, los valores reales se pueden representar sobre el eje principal, los valores menores que la unidad quedan localizados a la izquierda, tomando como referencia el centro de la carta, por otro lado los valores de resistencia normalizados mayores que la unidad se pueden representar a la derecha del eje principal de la carta.

Es necesario aclarar que el eje principal es el que divide a la carta en dos hemisferios.

Si el primer valor con el que se entra en la carta es un valor de impedancia, la carta es una carta de impedancia, mientras que si el primer valor que entra es de admitancia entonces la carta es una carta de admitancia.

Una vez dentro de la carta, es posible transformar a la carta de impedancia en una de admitancia partiendo del valor opuesto en la carta de Smith, para obtenerlo se traza un círculo del centro de la carta hasta el punto que representa el valor inicial, tomando como referencia el centro de la carta se traza una línea del centro al punto donde se localiza la impedancia o admitancia, y se prolonga la línea hasta que cruce la totalidad de la carta, en la intersección de la línea con el círculo en el lado opuesto se lee el valor de la admitancia normalizada, si se toma ahora este valor como el inicial, entonces la carta se transforma en una carta de admitancia.

Dado que la impedancia o admitancia en general son números complejos, los valores complejos de impedancia o admitancias se pueden representar en la carta, si la impedancia a representar tiene una componente inductiva, es decir es de la forma:

$$R + j X_L$$

La representación se obtiene de la intersección de los círculos concéntricos tangentes al lado izquierdo de la carta con los semicírculos que se localizan en la parte superior del eje principal.

Mientras que si la impedancia tiene una componente capacitiva entonces su representación matemática es de la forma:

$$R - j X_c$$

Para representarla, la parte real se busca en la serie de círculos concéntricos y tangentes a la parte derecha de la carta y los círculos que están localizados en la parte inferior de la carta.

Es importante señalar que los valores de las reactancias inductivas o capacitivas están rotuladas en el extremo de los semicírculos.

En la parte más externa de la carta se representan los desplazamientos en fracciones de longitud de onda, con dos sentidos uno hacia el generador y el otro hacia la carga, las escalas son complementarias.



Un giro completo a la carta representa un desplazamiento de $\lambda/2$.

En la parte derecha de la carta se tiene el valor de 0, si la carta es de impedancia este punto representa la región del corto circuito, y el otro extremo la región del circuito abierto (donde se localiza el valor de 0.25λ)

Los círculos trazados del centro de la carta que crucen el eje principal, en la parte derecha representan los valores de VSWR. En la parte opuesta se lee $1/VSWR$.

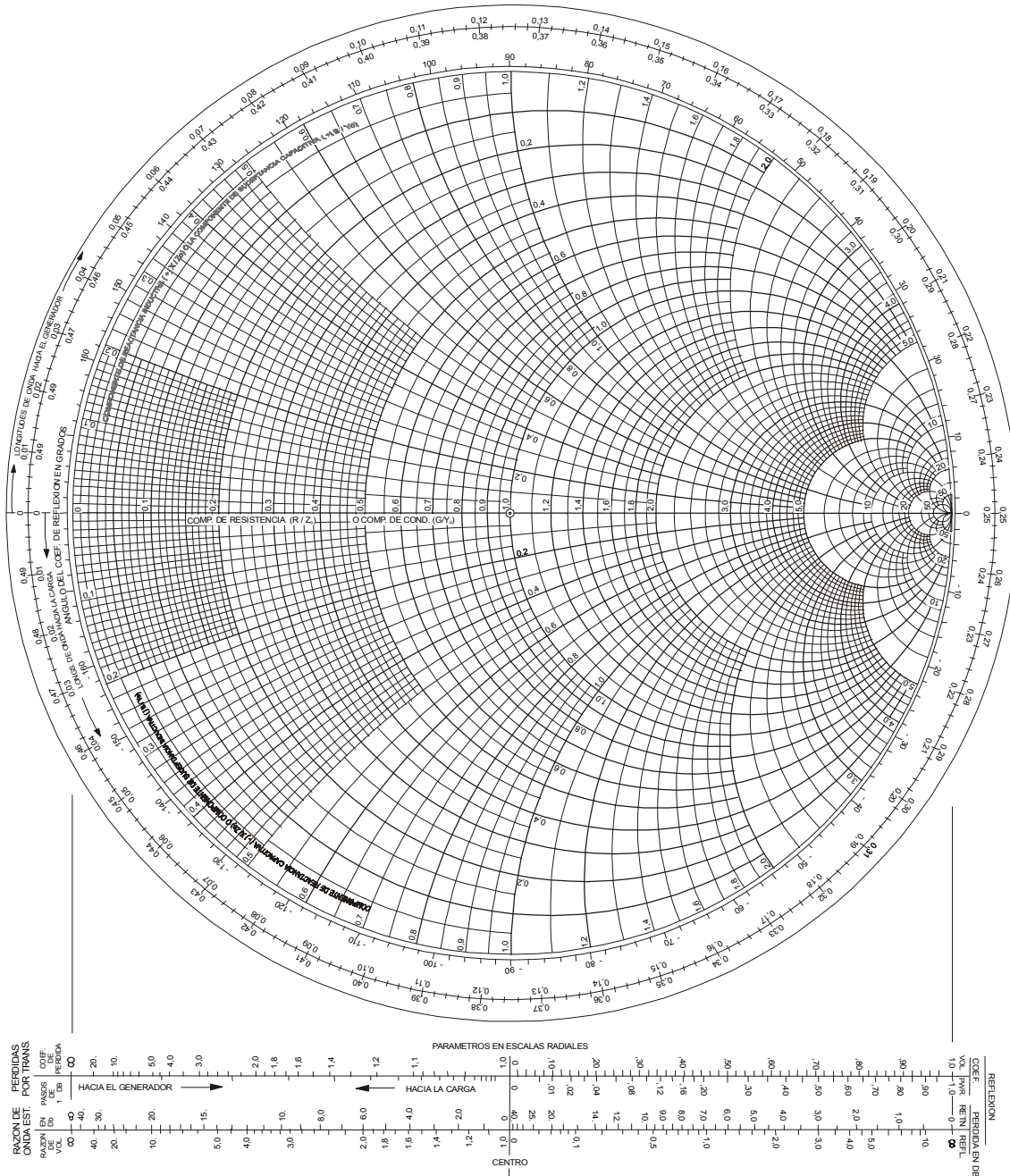


figura 7 Diagrama de la carta de Smith



La carta de Smith¹ es un diagrama de cálculo que permite determinar los valores, por ejemplo de la impedancia de carga, la impedancia de entrada, la razón de onda estacionaria, las pérdidas en un sistema de línea-carga, etc.

Sin embargo para usarla es necesario que se desarrolle un método para realizar los trazos por ejemplo en la pantalla del computador y de esta forma usar sus propiedades para la determinación de los diversos parámetros de un sistema de línea de transmisión.

III EQUIPO EMPLEADO

- 3.1 PORTAFOLIO CON ADITAMENTOS.
- 3.2 ANTENA DIELECTRICA.
- 3.3 Carta de Smith (proporcionada por el alumno)
- 3.4 Banco de pruebas de microondas (Marconi)

IV DESARROLLO.

- 1.- Monte el equipo de la figura 8

Tenga cuidado en cuanto al conexionado, consulte el dibujo.

En el primer caso la terminación es un corto circuito.

2. La señal se detecta en la línea ranurada, antes de conectar la línea ranurada, compruebe que la antena vertical queda al ras de la pared superior de la guía de onda, gire levemente el tornillo donde está alojado el diodo detector e identifique el avance de la antena al penetrar en la guía de onda, es decir es necesario identificar el sentido de giro del tornillo que permite avanzar o retroceder la antena dentro de la guía.

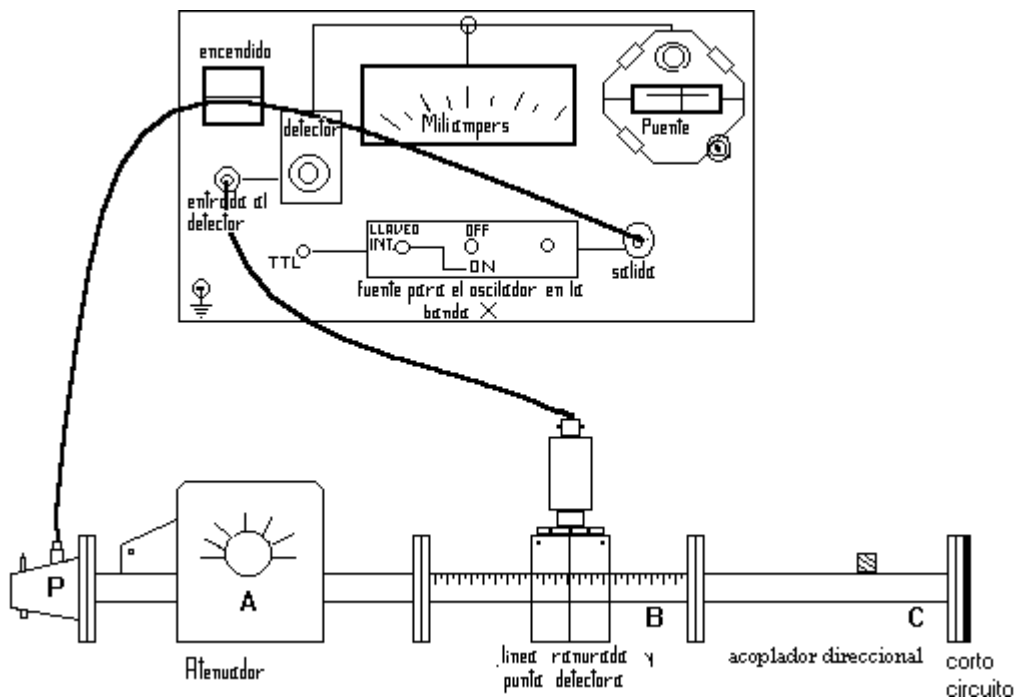


Figura 8 Sistema de guía de onda con una terminación a corto circuito.

¹ Antenna Book ARRL, cap. 28.



3. De media vuelta al tornillo con el ensamble del detector y deslice el carro sobre la línea ranurada, deberá obtener una secuencia de máximos y mínimos.

4. En caso de no obtener registro de señal, disminuya el valor del atenuador, hasta tener una deflexión razonable en el medidor.

5. Si después de lo anterior, todavía no tiene un nivel de señal suficiente, gire el tornillo otra media vuelta y repita el paso 3 y 4.

6. Es importante señalar que entre más se gire el tornillo, la antena se introduce más y se tendrá menor exactitud.

7. En ningún caso la antena deberá tocar el fondo de la guía de onda, ya que en este caso destruye el campo completamente y los resultados serán erróneos.

8. Deslice la el carro con el detector y localice un mínimo, vea el valor que se lee en la reglilla de la línea ranurada y regístrelo, repita el experimento hasta determinar 3 mínimos consecutivos, registre sus valores.

9. Monte el sistema de la figura 9

10. Deslice la sonda sobre la línea ranurada partiendo del punto donde localizó el primer mínimo de corto y deslizando la sonda en dirección de los mínimos restantes, localice un mínimo de carga y registre su valor, continúe deslizando la sonda, hasta localizar un segundo mínimo de carga, registre su valor.

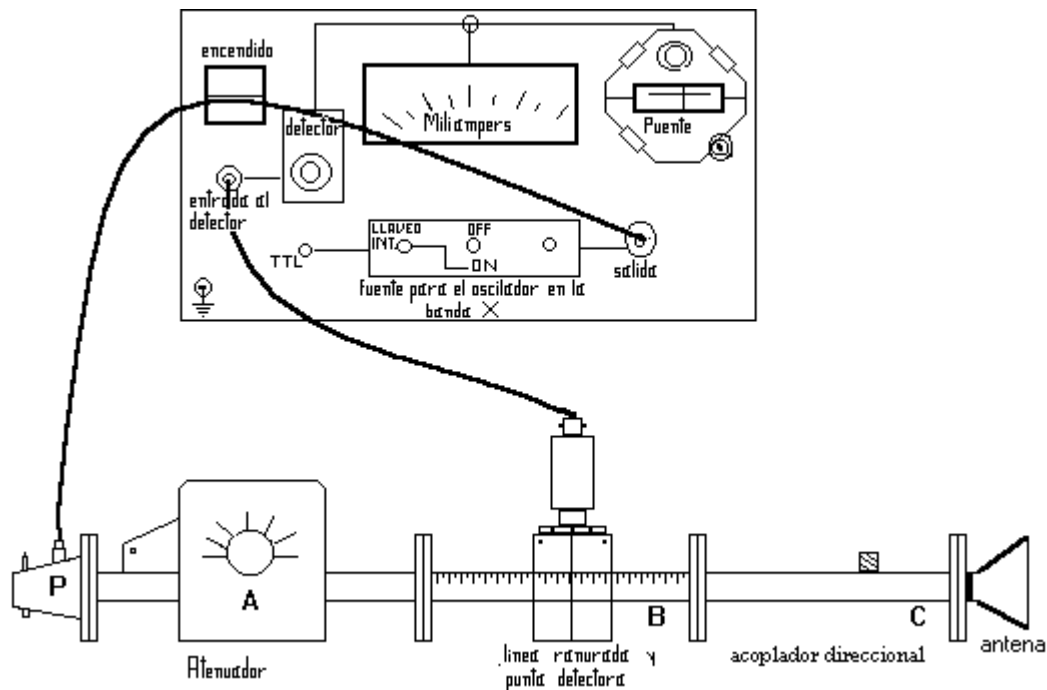


Figura 9 sistema terminado en una carga terminal (antena trompeta)

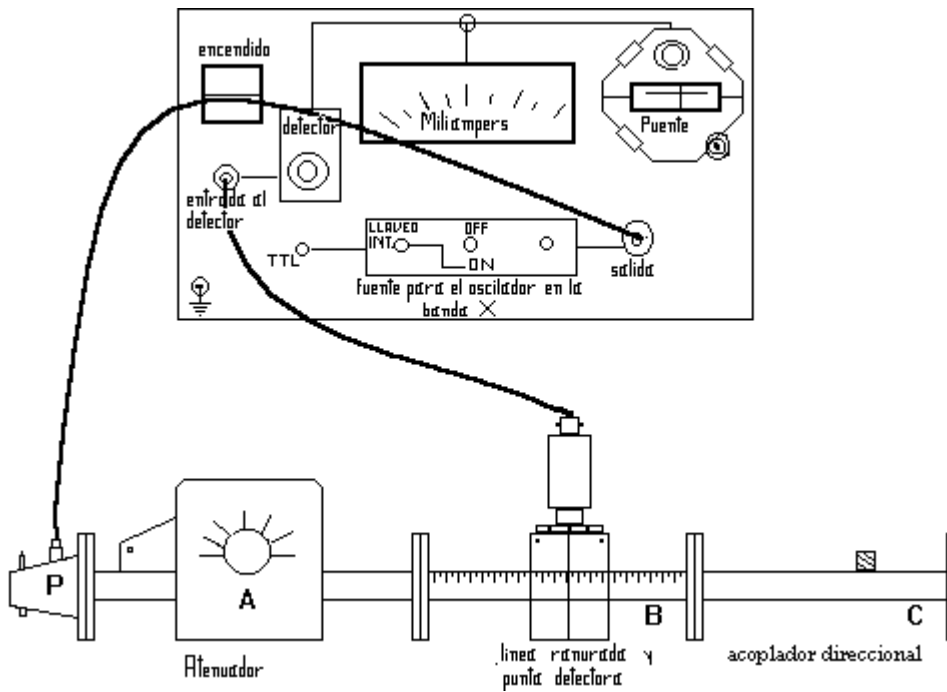
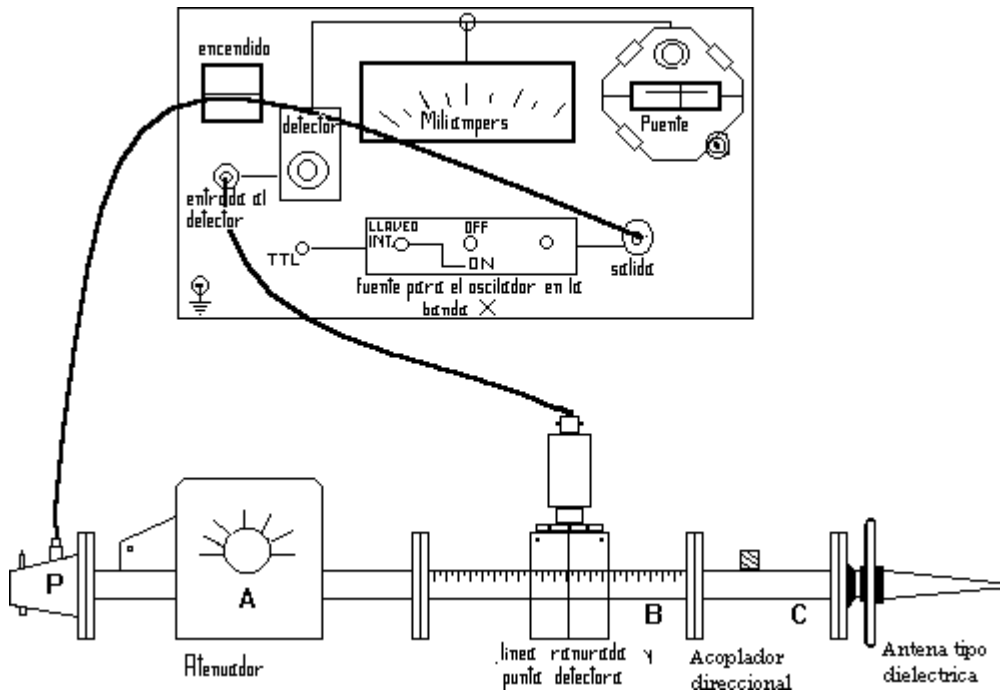
11. Nota es importante señalar el sentido y la dirección de los desplazamientos ya que estos se representarán en la carta de Smith, es decir si el desplazamiento del mínimo de carga fue hacia el generador o hacia la carga.

12. Repita el experimento para los casos representados en las figuras 10 y 11 (antena dieléctrica y guía abierta)

13. La distancia entre dos mínimos consecutivos es media longitud de onda



14. Para usar la carta es necesario transformar las distancias en fracciones de longitud de onda.



Figuras 10 y 11. Terminación en antena dieléctrica y guía de onda abierta.

15. Repita el experimento usando como terminaciones las antenas:

Trompeta, la carga ideal, alimentador de la antena parabólica y la antena ranurada.

16. A que distancia la impedancia de la antena es puramente resistiva? Y cuanto vale?



17. Desarrolle un programa de cómputo que permita:

- a) Generar una base de datos
- b) Gráficar los valores
- c) El programa sea autoejecutable, es decir que no se necesite tener el programa fuente para que el computador pueda correrlo.

18. – Si se considera necesario con la asistencia directa del profesor repita el experimento con el banco de microondas Marconi. Para usarlo siga el siguiente procedimiento.

- (a) Conecte la salida bnc de la fuente de alimentación al generador de microondas.
- (b) Verifique que el nivel de la fuente está en un valor mínimo.
- (c) Ponga la palanca en la posición de onda cuadrada.
- (d) Deslice el conmutador a la posición de voltaje.
- (e) Cuando energice la fuente conmute el switch a la posición de corriente para verificar consumo de corriente
- (f) Conecte la salida bnc del medidor de VSWR (salida a) al diodo detector sobre la línea ranurada.
- (g) Verifique que la perilla grande del medidor de VSWR indique un valor mayor de 40 dB y la perilla chica en 9.
- (h) Verifique que la perilla normal – expand este en posición NORMAL.
- (i) Para energizar el Medidor de VSWR oprima la tecla mains On.
- (j) ANTES DE APAGAR EL EQUIPO DISMINUYA EL NIVEL DE VOLTAJE DE LA FUENTE DE ALIMENTACION.
- (k) Antes de realizar mediciones certifique que el sistema está operando apropiadamente:
- (l) Baje 10 dB en la perilla grande (30 dB) y verifique si tiene deflexión, en caso que no tenga deflexión baje 10 dB (20 dB), deslice la sonda sobre la línea ranurada y verifique la presencia de varios máximos y mínimos, ajuste los atenuadores (gire la perilla pequeña) hasta que en el máximo se tenga máxima deflexión y el mínimo esté en la mínima deflexión.
- (m) Deslice la sonda y entre un máximo y un mínimo consecutivos se debe lograr deflexión a plena escala, es decir la aguja del medidor debe cubrir todo el rango.
- (n) ENERGIZE EL SISTEMA Y REALICE EL EXPERIMENTO.
- (o) Antes de apagar el sistema disminuya el nivel de voltaje de la fuente.

