

## **ANTOLOGIA DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS GUIADAS**

Los principales conceptos de temas vitales de las líneas de transmisión para la comunicación de puntos distantes, con información de voz, video, datos, tratando de proporcionar los conocimientos de ingeniería para los alumnos de **ESIME- Culhuacan**.

El objetivo es con el propósito de introducir al lector a un plano general en las comunicaciones físicas, así como los efectos que dentro de ellas suceden, y que se deben tomar en consideración, en el uso práctico actual para proyectar, instalar y mantener en funcionamiento las redes de comunicación a distancias.

La forma sencilla y de manera en que se presentan las diferentes líneas, trato de reafirmarlos con conceptos y gráficos y en algunos utilizo el lenguaje técnico de ingeniería para que principalmente los alumnos tengan el conocimiento real.



**Sistema de Larga Distancia en una Ciudad típica del Norte de la República**

## **SISTEMAS DE TRASMISIÓN ELÉCTRICA.**

La transmisión de señales eléctricas es tal vez la contribución primordial de la tecnología de la ingeniería a la civilización moderna.

Trasmitir señales telefónicas y señales de datos a niveles de potencia de 1 miliwatt aproximadamente, y frecuencias de 1 kilohertz (KHz) más o menos, sobre distancias que generalmente no sobrepasan unas pocas docenas de millas.

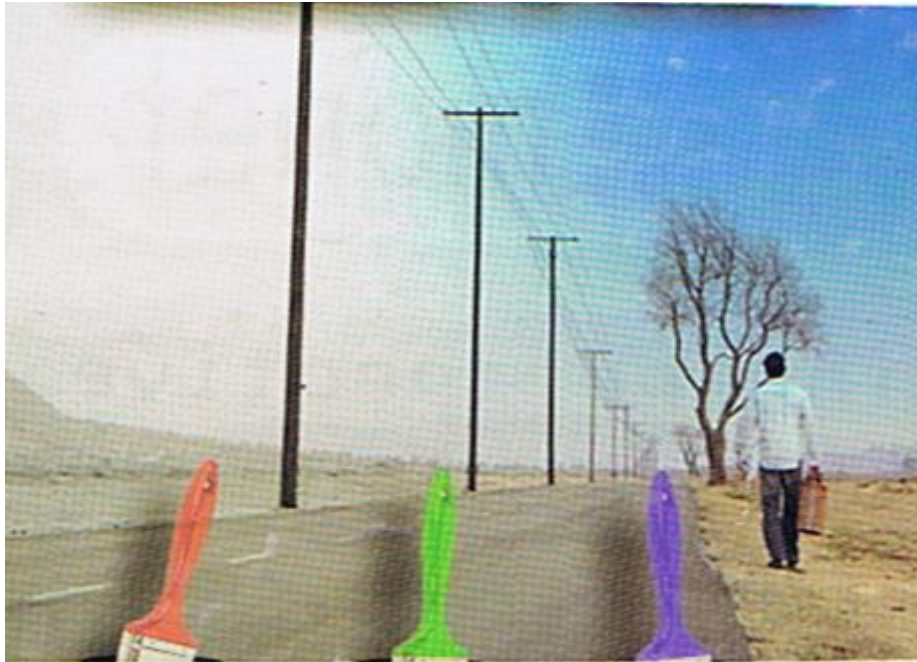
Cada receptor de radio y televisión es un terminal de otro sistema de transmisión eléctrica en el cual la potencia de la señal, a las frecuencias a nivel de los megahertz (MHz) se propaga libremente desde la antena de un trasmisor, a través de la atmosfera terrestre, guiada solamente por la conductividad de la superficie terrestre, o por las capas ionosféricas de la atmosfera superior.

Los sistemas de transmisión eléctrica, de los cuales ellas son una parte, llevan todo tipo de señales de comunicaciones incluyendo televisión, telefónica datos y control, a niveles de potencia de unos cuantos Watts, cubriendo distancias superiores a unos cuantos miles de millas.

Al transportar señales telefónicas dentro del área de las centrales telefónicas de las ciudades, algunas de estas líneas operan a frecuencias de audio, otras a frecuencias de portadora hasta de 100 KHz y aun otras se usan en multiplex con modulación de pulsos codificados, utilizando frecuencias hasta de 1 o 2 MHz. Internet también en áreas urbanas parcialmente subterráneas o áreas, están las líneas de transmisión coaxiales de muy alta frecuencias, llevando las señales en cable multicanal para servicios de televisión, cable visión.

Cables coaxiales submarinos con circuitos de frecuencia portadora, menos fantásticos pero igualmente sofisticados, que contienen amplificadores repetidores, separados unas pocas millas uno del otro, que atraviesan la mayoría de los océanos del mundo.

A líneas de telefonía y transmisión de datos de todos los tipos, a todas las frecuencias y a todas las líneas de dos conductores de muy alta (**vhf**), ultra-alta (**uhf**) y frecuencias de microonda, usadas en la ingeniería eléctrica contemporánea, que operan a frecuencias de muchos GHz.



**Par de líneas de Larga Distancia Rurales**

## **MÉTODOS ANALÍTICOS.**

Los ingenieros electrónicos saben que, en principio, un análisis completo de cualquier problema eléctrico que utiliza señales que varían con el tiempo, se puede hacer solamente usando la teoría electromagnética expresada por las ecuaciones de Maxwell, con el reconocimiento expícito de que los campos eléctrico y magnético del problema en si son las variables físicas primarias. Al estudiar los modos de propagación de microondas en tubos metálicos.

El análisis expone la propagación de ondas de las variables voltaje y corriente, análogas a las ondas de campos eléctricos y magnéticos, que son soluciones de las ecuaciones de Maxwell. El método se conoce como análisis de circuitos distribuidos.

La materia principal es la aplicación del análisis de circuitos distribuidos a las líneas de transmisión uniformes de dos conductores. Necesariamente se hace uso frecuente de los conceptos y métodos de agrupación de los elementos del circuito, particularmente cuando se trata de las condiciones en los terminales de las líneas de

transmisión, y se requiere la teoría electromagnética para desarrollar expresiones que relacionen los coeficientes de los circuitos distribuidos de una línea uniforme, a sus materiales, geometría y dimensiones.

El desarrollo de los sistemas de transmisión eléctrica.

A medida que se extendieron líneas telegráficas terrestres, fue necesario tender cables bajo el agua, a través de ríos, lagos y otras grandes extensiones de agua. A pesar del mal aislamiento disponible en la época se colocó, con éxito, un cable submarino de 40 millas a través del canal de la Mancha, en 1851, y en el intervalo de 2 o 3 años se tendieron cables submarinos hasta de 300 millas de largo en varias partes de Europa. El funcionamiento de los circuitos telegráficos bajo el agua pronto reveló un nuevo fenómeno de transmisión: el de la distorsión de la señal.



**Línea telefónica extendida a lugares lejanos.**

**La utilización de cables extremadamente gruesos para abatir la atenuación**

La invención del teléfono en 1876 hizo evidente inmediatamente algunas otras complicaciones en el uso de las líneas de transmisión para comunicación eléctrica. Las frecuencias requeridas para la reproducción de la voz eran centenares de veces más altas que las usadas en telegrafía. Se hicieron ensayos de telefonía entre ciudades, por medio de las líneas telegráficas de la época que generalmente consistían en alambres sencillos de hierro con la tierra como circuito de retorno, pero fallaron por el bajo nivel y la falta de legibilidad de las señales recibidas. En los siguientes cuarenta años se desarrollaron lentamente algunas mejoras en la telefonía a larga distancia, por medio de una combinación de descubrimientos empíricos y estudios teóricos.

El micrófono de carbón de telefonía es un amplificador electromecánico cuya potencia de salida puede ser mil veces más grande que la potencia mecánica del sonido a la entrada. Desde 1890 en adelante, se hicieron muchos esfuerzos para desarrollar esta propiedad en una unidad amplificadora que pudiera ser insertada en las líneas telefónicas largas para contrarrestar los efectos de resistencia fugas de corriente. Los resultados nunca fueron satisfactorios para usarlos a una escala comercial. El potencial máximo de los circuitos telefónicos pasivos a frecuencia de audio se puede mostrar por el hecho histórico, ocurrido en 1911, de una conversación telefónica entre Nueva York y Denver, Colorado. El circuito consistía en líneas de transmisión montadas sobre postes, entre las ciudades, conectadas en paralelo. No tenían amplificadores y las líneas que eran de baja resistencia y alta inductancia no tenían ninguna forma práctica de carga. El circuito podía manejar solamente una señal de audio frecuencia y su funcionamiento probó que la telefonía a través de una distancia de 2000 millas era económicamente imposible para la tecnología de esa época. En un país con sitios separados por más de 3000 millas esto era una conclusión desagradable.

En este momento crítico del progreso de la comunicación eléctrica, Lee De Forest ofreció, en 1912, a la industria telefónica, su primitivo amplificador de triodo que incorporaba el "audion" termoiónico que él había inventado en 1907. Dos años de investigación intensa en laboratorios industriales mejoraron el dispositivo hasta el punto de hacer de la telefonía transcontinental un hecho realizable en 1915. Con los amplificadores de tubo de vacío, las pérdidas de las líneas, con pequeños conductores, se podrían contrarrestar económicamente con la ganancia estable del amplificador, y la distorsión se podía reducir a un valor deseado por medio de redes que "igualaban" las características de la línea a través de cualquier rango de frecuencias de la señal.

El interés militar en los tubos electrónicos y sus circuitos asociados, durante la primera guerra mundial, aceleró el desarrollo de amplificadores, osciladores. Filtros y otros dispositivos y ayudó a realizar en 1919 la primera instalación de un sistema telefónico de larga distancia con frecuencia portadora en el cual varios canales de audio de un ancho de banda de 4 KHz eran convertidos a diferentes intervalos de frecuencias más altas, para su transmisión.

Los anteriores sistemas de frecuencia portadora (la técnica se conoce hoy como sistemas "multiplex de división de frecuencia"), podían manejar tres canales telefónicos en cada dirección en un par de cables de dos alambres, o línea de transmisión de alambre descubierto, usando frecuencias hasta de cerca de 30 KHz.

Circuitos multicanales de frecuencia portadora usando amplificadores de tubo de vacío, la tecnología de las comunicaciones por propagación libre de ondas electromagnéticas se desarrollaba simultáneamente. Los experimentos de Macorni, entre 1895 y 1902, demostraron que la telegrafía local e intercontinental se podría llevar a cabo sin alambres, usando las ondas hertzianas. La telegrafía sin hilos se volvió pronto atractivísima y una actividad con gran publicidad, pero a pesar de sus grandes perspectivas no ofreció competencia significativa a ninguno de los servicios telegráficos o telefónicos establecidos, que usaban líneas terrestres o cables submarinos, hasta el desarrollo durante la primera guerra mundial de tubos termoiónicos de mediana potencia para transmisores sensitivos para circuitos en receptores (Esto originó un nuevo tipo de personal técnico y el Institute of Radio Engineers, fundado en 1912, resultado de la unión de dos pequeñas sociedades de ingenieros radiotelegráficos. En 1963 el I.R.E. se unió con el A.I.E.E. para formar el Institute of Electrical and Electronics Engineers.)

El progreso durante la guerra condujo a la fundación en los años de 1920 a 1930 de la industria de la radiodifusión, usando frecuencias alrededor de un MHz, cuyos principios tecnológicos han tenido solamente cambios pequeños desde ese tiempo. Las exploraciones siguientes de las frecuencias más altas descubrieron las características extraordinarias de propagación a través del mundo de "ondas cortas", entre 3 y 30 MHz y los circuitos de radioteléfono, móvil o celular, a estas frecuencias, adoptados por la industria telefónica antes de 1930 para el primer servicio telefónico intercontinental, permanecieron como la única solución comercial al problema durante los siguientes treinta años.

La frontera de la alta frecuencia de la ingeniería eléctrica ha sido llevada, en las últimas dos décadas, hacia frecuencias más allá de cien GHz, usando dispositivos electrónicos del estado sólido; ha sido posible con el láser de la electrónica cuántica, generar potencias a frecuencias desde cientos de GHz hasta cientos de THz (terahertz) en las regiones infrarroja, visible y ultravioleta del espectro; por tanto, el concepto de frontera ha perdido la mayor parte de su significado, esto es la comunicación óptica.

## **NOTACIÓN PARA LA RESPUESTA A TRANSITORIOS.**

Puesto que la teoría de circuitos distribuidos no es más que una extensión de la teoría de circuitos por agrupación de elementos, añadiendo una variable espacial, parece recomendable seguir el mismo procedimiento generalizado en la teoría de líneas de transmisión y escribir todas las ecuaciones en términos de la variable compleja. Hasta el momento no se han escrito libros en esta forma y esto muestra que los métodos elementales no han podido ser utilizados para estudiar la respuesta general a transitorios de los circuitos de la línea de transmisión. Es por lo tanto necesario desarrollar la teoría de líneas de transmisión en términos de la frecuencia angular variable estacionaria  $\omega$ .

Debido a que el comportamiento de las líneas reales de transmisión siempre varía finitamente con la frecuencia, una señal con un ancho de banda diferente de cero es distorsionada perceptiblemente cuando se transmite. La naturaleza de la distorsión de tal señal de multifrecuencia hace que las relaciones de fase y amplitud dentro de las componentes de frecuencia de la señal no sean las mismas a la salida de la línea de transmisión que las del origen a la entrada de la línea.

Siguiendo la discusión, la distorsión sufrida por cualquier patrón de señal general sobre una línea de transmisión puede en principio ser analizada resolviendo las ecuaciones del circuito de la línea en el dominio del tiempo, es decir como ecuaciones diferenciales que utilizan derivadas de tiempo y de espacio, de corrientes y voltajes instantáneos o resolviendo las ecuaciones en el dominio de la frecuencia compleja.

La distorsión en la línea de transmisión de señales de ancho de banda finito, generalmente se interpreta a partir directamente de datos sobre las variaciones de fase y amplitud con la frecuencia a lo largo del ancho de banda de la señal, mas bien que por medio de comparación entre los patrones de tiempo.

## **ONDAS ARMONICAS**

Las ecuaciones diferenciales que controlan las distribuciones del voltaje y la corriente a lo largo de la línea de transmisión, cuando el voltaje y la corriente tienen variaciones en tiempo variaciones en tiempo de armónicos de la frecuencia angular  $\omega$ , y los valores usados para los coeficientes de circuito distribuido **R, L, G y C** son los valores apropiados a esa frecuencia.

## **ONDAS REFLEJADAS.**

Es muy natural el preguntarse en este momento como para el circuito de la figura sobre el cual se basa el análisis explicado anteriormente, pueden haber ondas de voltaje y corriente avanzado en ambas direcciones sobre la línea de transmisión cuando hay solamente una fuente de señal. La respuesta la da el fenómeno de reflexión que es muy familiar en el caso de las ondas de luz, sonido y agua. Cuando cualquiera de las ondas de esta naturaleza avanza y encuentra un obstáculo, es decir encuentra un cambio discontinuo del medio en el cual ellas han estado avanzando, entonces e refleja parcial o totalmente.

## **LA LÍNEA SIN ONDAS REFLEJADAS.**

Este caso se menciona a menudo como “línea infinita” ya que si una línea hipotética fuera infinitamente larga, ninguna onda reflejada retornaría en un tiempo finito después de conecta la fuente de señal, o alternativamente, para un valor finito de factor  $\alpha$  la magnitud de las ondas de voltaje y corriente reflejadas hacia atrás a lo largo de una longitud infinita de la línea seria necesariamente igual a cero. Sin embargo, el concepto de una línea infinitamente larga, es un concepto poco interesante y es suficiente decir que el caso que se va a estudiar primero es el de una línea en la cual no hay ondas reflejadas.

## EL FACTOR DE ATENUACIÓN $\alpha$

Cuando una cantidad física disminuye uniformemente como función de alguna variable independiente y creciente, se dice en general que la cantidad es “atenuada”. Por tanto, la intensidad de una onda de sonido a partir de una fuente localizada se atenúa a medida que el patrón de ondas esféricas avanza en dirección opuesta a la fuente. Por consiguiente, es conveniente decir que las ondas de voltaje y corriente en una línea de transmisión se atenúan con la distancia de acuerdo con el termino  $e^{-\alpha z}$ , y es conveniente referirse a la cantidad  $\alpha z$  como la medida de atenuación producida por la longitud  $z$  de la línea.

La cantidad  $\alpha$  se llama entonces “factor de atenuación” de la línea. En los libros de texto  $\alpha$  se llama a menudo la “constante de atenuación” de la línea, pero como esta varía frecuentemente con la frecuencia en líneas típicas, la implicación de la palabra “constante” no es satisfactoria.  $\alpha$  también se llama comúnmente el “coeficiente de atenuación” de una línea.

## EL FACTOR DE FASE $\beta$

**B** Se llama el “factor de fase” de la línea. También se le ha llamado la “constante de propagación de fase” o el “coeficiente de propagación de fase”. Se mide en unidades de radianes por unidad de longitud o radianes/metro en el sistema mks.

Aunque la impedancia característica de una línea de transmisión es una cantidad muy importante que gobierna directamente las relaciones fasoriales entre voltajes y corrientes armónicos en la línea, es sin embargo una entidad un poco intangible. No “existe” en la línea en un sentido simple y obvio. No se puede medir directamente con un puente de medida de impedancia, haciendo una medida simple de impedancia, sobre una longitud única y arbitraria de la línea. Se puede calcular a partir de los coeficientes de circuito distribuido de la línea a cualquier frecuencia.

- ❖ El único valor de impedancia que se puede conectar con carga terminal sobre una línea de transmisión y que constituye una terminación no reflexiva es una impedancia igual a la impedancia característica de la línea.

- ❖ La impedancia de entrada de cualquier longitud de línea de transmisión uniforme terminada en su impedancia característica (es decir, irreflexivamente), es igual a la impedancia característica de la líneas.

## NEPERES Y DECIBELES.

Los ingenieros electrónicos usan mucho el lenguaje de decibels, que se origino en la industria telefónica. Su justificación básica es que la respuesta de los sentidos humanos a los estímulos, sonido proporcional al logaritmo del nivel de potencia del estimulo, cuando los otros factores, tales como la frecuencia, se mantienen constantes. Luego una cantidad proporcional al logaritmo del nivel de potencia de tal señal es una medida aproximada de su efecto fisiológico. En telefonía, donde el efecto fisiológico es la comodidad que se entrega, estas medidas logarítmicas son altamente apropiadas.

La señal pasara a través de muchas unidades estructuralmente diferentes, incluyendo longitudes de diferentes tipos de líneas uniforme, amplificadores, redes atenuadoras, filtro, etc. Cada uno de estos modificara el nivel de potencia de la señal en algún factor mayor o menor que la unidad.

Por definición los decibels son unidades de la medida logarítmica de la razón de dos niveles de potencia usando logaritmos en base diez. Dos niveles de potencia cualesquiera  $P_1$  y  $P_2$  diferente en  $D$  decibels de acuerdo con

$$D \text{ (db)} = 10 \log_{10}(P_1/P_2)$$

El factor de atenuación  $\alpha$  de una línea de transmisión uniforme aparece, en su ecuación de definición, en las unidades naturales de neperes por unidad de longitud. También se puede expresar en decibels por unidad de longitud usando el factor de

Conversión de la ecuación donde 1 néper = 8,686 decibels.

## DIAGRAMAS FASORIALES PARA $V$ e $I$

En el análisis de estado estacionario de redes constantes agrupadas, los diagramas fasoriales hacen uso de segmentos de rectas para describir las relaciones de amplitud y fase de las diferentes corrientes y voltajes armónicos en una red.

Cuando la técnica se aplica a las líneas de transmisión aparece una variable adicional-la coordenada de posición a lo largo de la línea.

\*Esto sucede cuando una información ya compleja, como el video compuesto de **NTSC**. La línea tiene un comportamiento de pérdida a todo lo largo y produce un cambio de fase de llegada que en televisión se llama defasamiento de referencia de color, por cable llegara con diferentes fase (y por lo tanto ) una referencia de color diferente a la original en los receptores de televisión antiguos se ajustaba el color con el **HUE**.

Ahora en la actualidad los receptores modernos lo ajustan automáticamente. Para obtener el color real de las imágenes originales.

## PROBLEMAS TIPICOS DE UNA LÍNEA DE TRASMISIÓN.

La ingeniería de líneas de transmisión consiste en diseñar sistemas para satisfacer las especificaciones deseadas de operación. El planteamiento de estas especificaciones incluirá normalmente, valores de impedancia característica  $Z_0$ , el factor de atenuación  $\alpha$  y el factor de fase  $\beta$ , que se deben establecer para una señal. Además de estas condiciones características, para la propagación de una onda, pueden incluirse características máximas para voltaje de ruptura, elevaciones de temperatura a plena carga, o algunos aspectos del comportamiento mecánico.

La solución final de un problema práctico de una línea de transmisión consistirá en un conjunto de datos prescritos para las dimensiones, configuración de la sección transversal u materiales para los conductores de la línea, como también del dieléctrico entre ellos y las circunstancias circundantes.

La experiencia de varias décadas más efectiva para el diseño, práctico, de una línea de transmisión, es una familiaridad completa con los resultados de los análisis de estas, en una gran variedad de construcciones. Los análisis de una línea de transmisión, a su vez, parecen comprenderse más cuando los coeficientes del circuito con elementos distribuidos **R, L, G y C**.

## SOLUCIONES CALCULADAS EN COORDENADAS POLARES

Con anterioridad se demostró que la propagación de las ondas de voltaje y corriente a lo largo de una línea de transmisión uniforme, a la frecuencia angular  $\omega$ , se describe completamente por el factor de atenuación  $\alpha$  el factor de fase  $\beta$  y la impedancia característica  $Z_0 = R_0 + jX_0$ , cuando no hay ondas reflejadas presentes. Las cantidades  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $Z_0$  se expresan en términos de los coeficientes de los circuitos con elementos distribuidos de la línea, a frecuencia angular  $\omega$ , por las ecuaciones.

### EL FACTOR DE PROPAGACION

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

### LA IMPEDANCIA DE LA LINEA

$$Z_0 = R_0 + jX_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

El hecho de que el coeficiente de conductancia en paralelo  $G$ , de una línea de transmisión sea a menudo variable con el tiempo, o no considerable en un simple tratamiento teórico, (digamos, el efecto de la lluvia o hielo sobre una línea de alambre abierto, montada sobre postes, o las variaciones en tramos en aislamiento de papel de un cable par entrelazado), es generalmente de poca importancia.

El hecho que  $G$  sea variable proporciona problemas en la frecuencia máxima de de trabajo de la línea disminuyendo su ancho de banda, por lo que, las antiguas línea telefónica multipar de papel no podían transportar informaciones (de telex, datos, video)

El aislamiento entre los 2 conductores de la línea de transmisión determina factiblemente de banda a utilizarse.

El plástico separador entre los 2 conductores mejora mucho la recepción de las información.

En las compañías telefónicas,  $\alpha$ ,  $G$  que es la conductancia y su inversa se le conoce como la Resistencia de Aislamiento.

Una línea diseñada para satisfacer estas especificaciones, la dependencia inevitable de la frecuencia de algunos de los coeficientes de circuito distribuido, significa que la relación no se puede mantener con mucha precisión sobre un gran ancho de banda requerido por la señal.

La frecuencia mínima que puede llamarse “alta” frecuencia y que justifica el uso de estas ecuaciones simplificadas, depende de los valores reales de **R, L, G y C** para una línea particular y de la exactitud deseada en el resultado. Para algunas líneas de transmisión de conductor abierto, las formulas aproximadas son adecuadamente exactas a todas las frecuencias por encima de unos pocos Kiloherztz. Las líneas coaxiales tienen, en general, relaciones más bajas de **L/R y de C/G** y las formulas aproximadas pueden ser útiles, solamente, cuando la frecuencia esta por encima de unos pocos cientos de kilohertz.

\*La frecuencia de corte en las líneas bifilares es aproximadamente de 300 KHZ por lo que en estos días para tener comunicación, con informaciones digitales de altas frecuencias, todas las computadoras tiene integrado su modem. Atraves de los modems se pueden recibir, voz, video y datos.

Los coeficientes de circuito distribuido, **L y C**, pueden ser, con bastante precisión, independientes de la frecuencia sobre el rango completo de estas, desde unas pocas decenas o cientos de **KHz** hasta las frecuencias de microondas de varios **GHz**. Es entonces cierto que para todas las frecuencias de operación por encima de la mínima, para la cual son validas las formulas aproximadas en una línea de transmisión, la impedancia característica **Z<sub>0</sub> ( = R<sub>0</sub> = )** y la velocidad de fase

**v<sub>p</sub> ( = ω/β = 1** son literalmente, “constantes”, para cualquier línea particular.

Para cualquier línea de transmisión hay un rango de bajas frecuencias, que comienza en la frecuencia cero (**d-c**) y extendiéndose característicamente a una frecuencia en la región de varios kilohertz o o varias decenas de kilohertz, a través de la cual los coeficientes de circuito distribuido **R, L y C** tienen valores constantes independientes de la frecuencia, y la conductancia distribuida **G** es, o constante o bastante pequeña, para no tener efecto sobre el comportamiento de la propagación en la línea.

\*Los parámetros distribuidos **R, L, C, y G** cuando tienen valores muy bajos, nos proporcionan una constante de atenuación muy baja por lo que, estas líneas tienen alcance de varios cientos de kilómetros.

El rango de bajas frecuencias sobre el cual los coeficientes del circuito, con elementos distribuidos de una línea, permanecen efectivamente constantes, generalmente incluye las frecuencias usadas para transmisión de la voz, y señales telegráficas. Las variaciones de los factores de propagación de una línea con su frecuencia en este rango, son de interés.

\*Las líneas bifilares ya instaladas, trabajan cómodamente cuando las informaciones son del orden de kilohertz.

En la práctica, esta distorsión se contrarresta por la introducción periódica, en la línea de transmisión, de redes ecualizadoras con elementos agrupados cuyas funciones de transferencia son complementarias de las secciones de la línea entre redes.

\*La introducción de Bobinas de Pupinización mejoraba la amplitud de la señal de voz, para obtener mayores distancias de la telefonía a pequeños poblados, comunicados en largas distancias a través de conmutadores manuales.

La capacitancia distribuida **C** de una línea de transmisión es la que menos varía con la frecuencia, de todos los coeficientes de circuito distribuido. Si la mayor parte del medio ambiente de los conductores de una línea es aire, el valor de **C** puede permanecer constante con variaciones de un 1% desde las frecuencias cero hasta las de gigahertz si hay un dieléctrico sólido continuo asociado con los conductores, como en una línea coaxial llena de plástico, en algunos casos, el valor de **C** puede cambiar en un pequeño porcentaje sobre varias décadas de frecuencia.

\*La línea coaxial por tener el conductor interno de información, sus valores de parámetros distribuidos son bajos, lo que proporciona una frecuencia de corte útil hasta de 1 GHz lo que facilita el transportar por ella informaciones, digitales y de video.

Si una línea se expone a la intemperie o a cualquier otra forma de contaminación del medio ambiente, la conductancia **G** probablemente será variable con el tiempo y su valor imprevisible.

\*Las constantes, **R**, **L**, **C**, y **G** deben de medir en fábrica y evitar que varíen con la intemperie, para obtener líneas de baja pérdida y alta calidad en información.

Si los conductores de una línea son de hierro o contienen material ferromagnético de cualquier clase o si el espacio interconductor de la línea contiene materiales no lineales tales como ferritas o materiales ferroelectricos, las variaciones de **L** con la frecuencia. Hacen que los coeficientes de circuito distribuido de la líneas no estarán de acuerdo con las generalizaciones.

\*Las líneas de transmisión hechas con conductores de hierro, tuvieron trágico fin puesto que la intemperie las dañaba oxidándolas de tal manera que su adelgazamiento debido al oxido, aumentaba la atenuación de la señal hasta que la información no era entendible. Por otro lado cuando se utilizaron líneas de hierro, magnetizadas impedían que el propio campo magnético que producía la señal de información al pasar, creara la propagación de la onda electromagnética guiada.

## **CONCLUSIONES SOBRE EL DISEÑO DE LÍNEAS A ALTA FRECUENCIA.**

Se ha visto que la especificación  $X_0 = 0$  se puede lograr, idénticamente, haciendo que las pérdidas de la línea debidas a **G** sean iguales a las pérdidas debidas a **R**. Pero el material aislante en una línea, el cual produce un aumento de **G**, solamente sirve como soporte mecánico. Los conductores son los elementos eléctricos esenciales. Si los conductores de una línea se diseñan para que tengan el valor de **R** que limitara la atenuación a un valor específico.

Para lograr igualdad de pérdidas a partir de **R** y **G** al mismo tiempo que se obtiene la misma atenuación total, el diseñador tendría que hacer los conductores mas grandes (para reducir a **R**),

Una línea cuyas pérdidas se deben principalmente a la resistencia del conductor, y para la cual el ángulo de fase de la impedancia característica es por tanto diferente de cero. A frecuencias desde algunas decenas de kilohertzios hasta algunos gigahertzios, el ángulo de fase es tan pequeño que no tiene ningún efecto adverso.

## **CARGA INDUCTIVA**

La carga inductiva como se menciona es la técnica de insertar bobinas de inductancia con núcleo magnético idénticas y agrupadas en serie con los conductores de una línea de transmisión a iguales intervalos a lo largo de la línea.

La desventaja de la línea cargada por medio de bobinas de inductancia agrupadas, ya no es un sistema distribuido uniforme. debe ser visto como una secuencia de secciones finitas de línea, consistente, cada una, de una bobina de carga y la sección de la línea entre dos bobinas consecutivas. El análisis de este sistema compuesto revela que tiene las propiedades de un filtro pasa-bajo, caracterizado por una frecuencia de "corte" (cut-off), la cual es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del producto de la inductancia total en serie y la capacitancia paralela total por sección de línea.

Las líneas coaxiales se han cargado continuamente enrollando cinta magnética alrededor del conductor central. Esto evita la limitación en la frecuencia de corte, pero la falta de linealidad de los materiales magnéticos introduce el efecto de conversación cruzada cuando estos circuitos se conectan en multiplex.

Hay aplicaciones especializadas tales como líneas telefónicas de alambres pequeños y peso liviano para uso en el campo de la emergencia militar.

El resultado es que las corrientes de alta frecuencia en un conductor de cobre fluyen casi enteramente en el cobre por debajo de la superficie de las capas de corrosión y la conductividad efectiva del conductor es la del cobre. Para un conductor de plata, por otra parte, una fracción apreciable de la corriente fluye en el materia de corrosión de conductividad intermedia.

\*La capa de oxido en las líneas es de mas cuantas micras por lo que la corriente **SKIN** fluye en la superficie, por el efecto de repulsión de los propios electrones en movimiento debido a las altas frecuencias.

Una variable eléctrica, mucho mas tangible en esta situación del efecto piel, que el campo eléctrico tangencial a la superficie del metal, es la corriente total en el conductor por unidad de anchura de superficie. Esta contenida dentro de un grosor de menos de  $10\delta$  en la superficie del metal. Desde el punto de vista de la notación se debe identificar como una densidad de la corriente de superficie ( en unidades mhs es amperes/metro) que es físicamente diferente de la densidad de corriente  $J_z$  en un punto (en unidades mks es aperers/metro cuadrado).

\*También se le llama efecto piel, puesto que la corriente de informaci9on es solamente superficial.

Por lo que cuanto mas superficie tenga principalmente el conductor interior del cable coaxial, mas rápidamente fluir4 la corriente de informaci3n dando por resultado un bajo (factor de fase), corrimiento del 4ngulo.

La densidad de corriente en el punto  $J_z$  disminuye exponencialmente con la profundidad dentro del metal, es la misma que la perdida de potencia por unidad de 4rea que ocurrir4 si una corriente del mismo valor **rms** total (**ya sea a-c o d -c**), fluyera con densidad de corriente constante en un punto sobre la piel del conductor de grosor  $\delta$ . Este resulta se conoce como teorema del efecto piel. Su aplicaci3n a conductores circulares s3lidos cuando  $a/\delta$  es aproximadamente 100 o mayor .

As4 es, si el conductor interno tiene suficiente grueso de pared, la robustez de la l4nea y comportamiento electico son de optima calidad

## COEFICIENTE DE REFLEXION PARA ONDAS DE VOLTAJE.

Se mostro que cuando una línea de trasmisión uniforme esta terminada en una impedancia igual a su impedancia característica, no hay ondas reflejadas en la línea y la impedancia en cualquier punto de ella (incluyendo los terminales de entrada), es también igual a la impedancia característica de la línea.

Cuando una línea de trasmisión uniforme, no esta terminada en su impedancia característica sino que esta terminada por una impedancia arbitraria  $Z_r = Z_0$ , habrá siempre ondas reflejadas en la línea y la impedancia en cualquier punto de la línea difiere de la impedancia característica  $Z_0$ .

\*La impedancia de carga de las líneas de trasmisión es el nombre técnico que se le da al comportamiento eléctrico de los aparatos y equipo que están en la parte terminal final de la línea de trasmisión, tales como teléfono, grabadora, computadora, contestadora.

En cualquier análisis del fenómeno de la onda refleja, ya sea onda de sonido, de luz, se debe introducir el concepto de coeficiente de reflexión.

La magnitud de este número complejo con el cual se representa el coeficiente de reflexión es la razón de la magnitud de la onda reflejada a la magnitud de la onda incidente en el punto de reflexión. El ángulo de fase del coeficiente de reflexión establece la relación de fase entre las ondas reflejadas e incidentes en el punto de reflexión, lo cual a veces se llama "el cambio de fase debido a la reflexión".

El valor del coeficiente de reflexión como un número complejo y su magnitud y ángulo de fase para varios casos, que se pueden calcular fácilmente, de impedancias terminales de carga compleja.

## EL FENOMENO DE INTERFERENCIA

Se ha establecido en capítulos anteriores que todas las distribuciones posibles de voltaje armónicos de tiempo de frecuencia única, sobre una línea de transmisión uniforme se escriben por medio de la ecuación.

$$V(z) = V_1 e^{-\gamma z} + V_2 e^{+\gamma z}$$

La primera se puede llamar onda “incidente” sobre la carga terminal y la última onda “reflejada” producida por la reflexión de la carga terminal.

\*Cuando existen las 2 señales de información en la misma línea el producto es una interferencia adictiva que deforma la forma de la señal original.

Ambas direcciones sobre la línea pero sus amplitudes y fases varían independientemente y ninguna de ellas se puede llamar onda “incidente” u onda “reflejada”.

Siempre que dos ondas de idénticas frecuencias avancen en direcciones opuestas en el sistema de transmisión, ya sea un sistema eléctrico o mecánico, sólido, líquido o gaseoso, se puede presentar el fenómeno fundamental de interferencia o de “ondas estacionarias”. La magnitud de cada fasor de onda variable en cambio de disminuir en forma continua exponencialmente desde la fuente a los terminales de carga del sistema, como sucede cuando hay solamente una onda presente, exhibe máximos y mínimos periódicos a lo largo del sistema a intervalos determinados por la longitud de onda de las ondas individuales.

La formación de ondas estacionarias en un circuito de línea de transmisión, es sinónimo de la presencia de ondas reflejadas sobre la línea donde las ondas reflejadas son causadas por la impedancia de carga terminal cuando esta no es igual a la impedancia característica de la línea. En líneas de transmisión prácticas de alta frecuencia para las cuales la atenuación por longitud de onda es baja y el ángulo de fase de la impedancia característica es pequeño, las ondas estacionarias pueden ser las responsables de cualquiera de los siguientes efectos adversos:

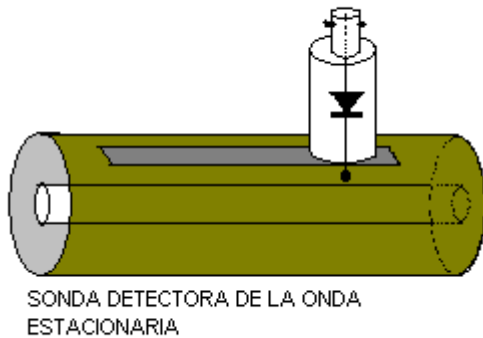
- La línea si esta limitada por una ruptura causada por voltaje o por un calentamiento local del dieléctrico en el espacio interconductor, se reduce, por tanto.
- De los conductores de la línea y se reduce, por tanto. (Para líneas de transmisión practicas de alta frecuencia el régimen pico de la potencia en un pulso se determina, generalmente, por el voltaje de ruptura y el régimen continuo de potencia por el calentamiento del conductor)
- La eficiencia en la trasferencia de potencia desde la fuente a los terminales de entrada en la línea, variara por lo tanto a lo largo del ancho de banda de operación del sistema. El efecto se puede incrementar si la impedancia de carga terminal  $Z_r$ .
- La presencia de ondas estacionarias en la línea es una evidencia positiva de que el rendimiento de trasmisión no es óptimo.

## **INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA ONDA ESTACIONARIA**

La forma comercial mas común de dispositivo para hacer medidas sobre ondas estacionarias con líneas de trasmisión, consiste de una sección de línea coaxial con dieléctrico de aire cuyos conductores son tubos metálicos rígidos.

Una ranura longitudinal angosta se corta en el conductor exterior, a lo largo de la mayor parte de su longitud. Se monta un trolley externo para mover mecánicamente, a lo largo de la longitud de la sección, un pequeño conductor a manera de sonda que penetra ligeramente a través de la ranura dentro del espacio interconductor de la línea.

Cuando esta “sección de línea ranurada” se conecta entre una fuente y un terminal de carga en la forma indicada en la fig. la sonda recibe una pequeña excitación de la frecuencia de señal proporcional a la magnitud del voltaje o campo eléctrico entre los conductores de la línea en la localización de la sonda. La señal recibida es detectada y amplificada y su magnitud se grafica o se graba como una función de la posición de la sonda a lo largo de la ranura.



La **VSWR** de un patrón de onda estacionaria de voltaje, en una línea de transmisión sin pérdida, es una función solamente de la magnitud del coeficiente de reflexión de voltaje en la localización de referencia de  $\theta = 0$ , mientras que las localizaciones de los mínimos del voltaje, en el patrón, expresadas en longitudes de onda son funciones solamente del ángulo de fase del mismo coeficiente de reflexión.

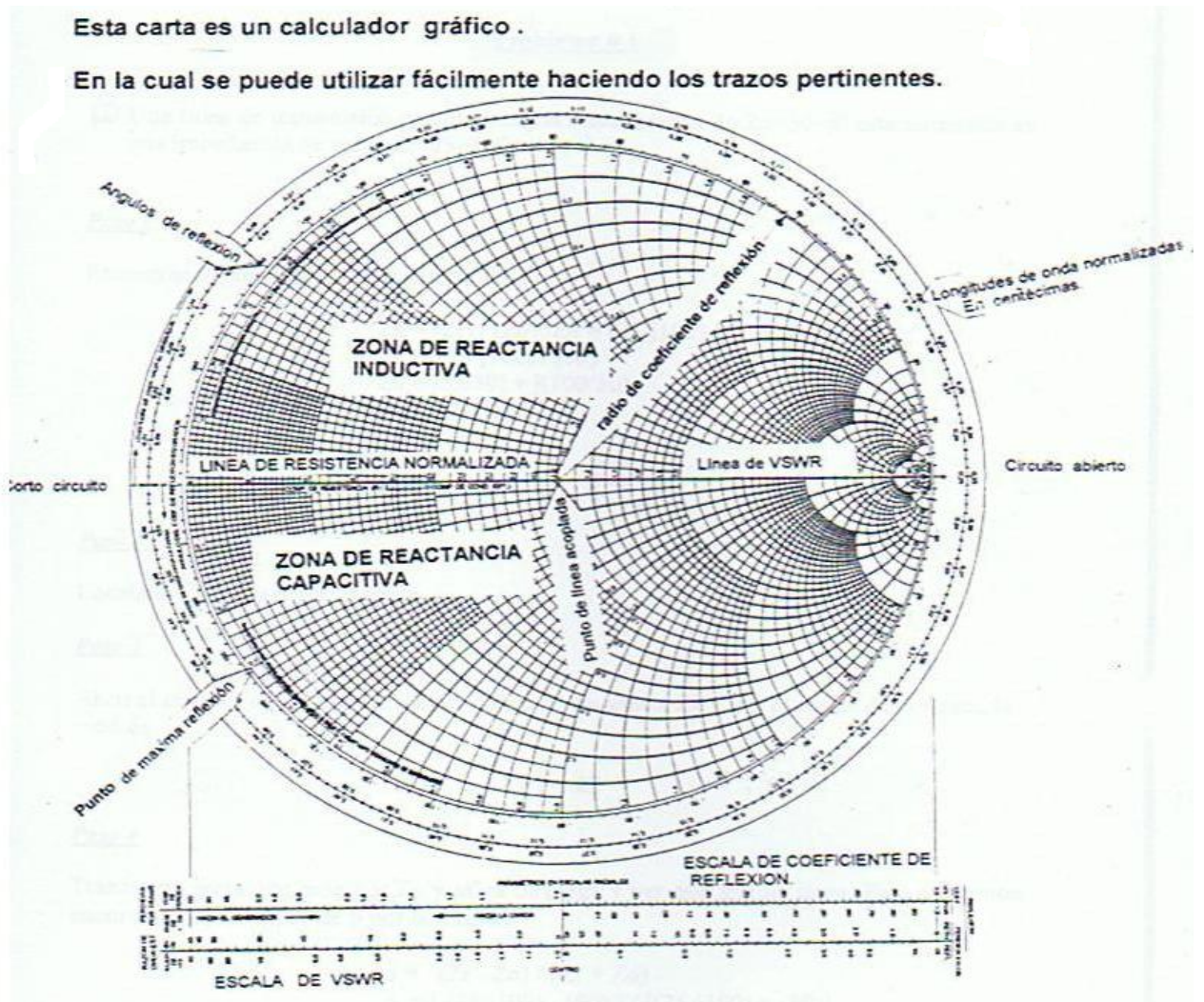
\*La magnitud la Relación de Onda Estacionaria en Voltaje, es la comparación que se puede obtener de un punto de la línea donde el voltaje de la onda estacionaria es máximo. Su valor de **VSMR** es adimensional

Puesto que en una línea sin pérdida, el valor de **VSWR** es el mismo en cualquier parte, indica que la magnitud del coeficiente de reflexión es la misma para todos los puntos de tal línea, para cualquier valor de impedancia de carga terminal, lo cual es una conclusión que se comprende físicamente con facilidad.

## AYUDAS GRAFICAS PARA CALCULOS SOBRE LINEAS DE TRASMISION

La carta de **Smith** se dibuja en el plano del coeficiente de reflexión de voltaje o plano- $\rho$ , es decir, sobre las coordenadas polares lineales de  $\rho = \rho e^{i\theta}$ , donde  $\rho$  es un coeficiente de reflexión de voltaje general, en cualquier punto de una línea de transmisión.

\*Como se muestra en la carta de **Smith** que viene a continuación



202

Una de las varias ventajas importantes de la carta de Smith es que, dentro de un contorno circular que rodea a un área finita del plano del coeficiente de reflexión de voltaje, presenta una información completa que relaciona todos los valores posibles de impedancias normalizadas, coeficientes de reflexión y datos de patrones de onda estacionaria para todos los circuitos de líneas de transmisión que utilizan solamente impedancias pasivas conectadas.

La carta Smith utiliza coordenadas curvilíneas ortogonales de componentes de impedancia normalizada sobre el plano del coeficiente de reflexión del voltaje.

$$P =$$

Donde  $\rho$ , es el coeficiente de reflexión de voltaje complejo en un punto sobre la línea de transmisión y  $Z/Z_0$  es el valor normalizado de la impedancia en ese punto.

## **MODOS EN LA GUÍA DE ONDA Y TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA**

Se observa que un análisis completo de las propiedades de transmisión de cualquier sistema de líneas de transmisión se puede hacer empezando con las ecuaciones de Maxwell e investigando una solución sujeta a las condiciones de borde impuestas por los conductores de la línea. Tal análisis revela todos los modos en la guía de onda mencionados. Estos se pueden clasificar dentro de dos categorías conocidas como ondas **TE** (trasversales eléctricas) y **TM** (trasversales magnéticas), distinguidas respectivamente por distribuciones de campo con componentes de campos eléctricos o magnéticos paralelos a la longitud de la línea. En cualquier estructura de líneas de transmisión hay un número infinito de estos modos cada uno con sus propios patrones específicos de campos eléctricos y magnéticos.

Cualquier modo, **TE** o **TM**, se puede propagar sobre una línea de transmisión particular solamente a frecuencias por encima de una de corte (cutoff) mínima, la cual se calcula para cada modo separadamente.

Los modos **TE** y **TM** son las bases de la técnica invaluable de transmisión de microonda por guía de onda.

\*Los modos de propagación **TE** y **TM** se utilizan ampliamente dentro de las guías de onda para microondas, las cuales se utilizan en sistemas satelitales y de comunicaciones de telefonía por microondas terrestre así como en

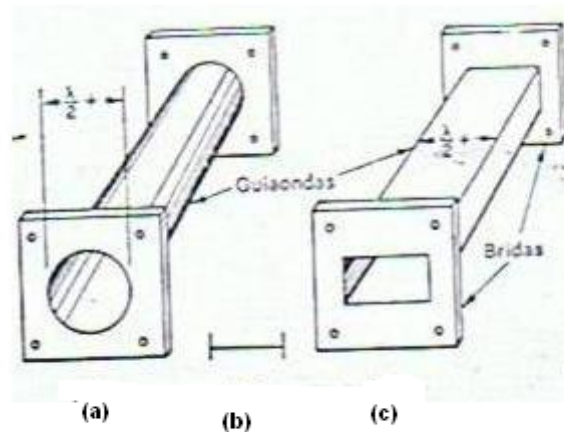
Según aumenta el conocimiento de las comunicaciones el espectro utilizable se ha extendido a frecuencias cada vez más altas. Los tubos de vacío miniatura comunes y los transistores de alta frecuencia alcanzan un límite práctico del orden de los 500 MHz. Esta frecuencia puede tomarse como el principio de la región de las microondas, aunque corrientemente se considera que esta empieza en 1,000 MHz, o sea 1GHz. Ciertos tródos de diseño especial (para frecuencias ultra-altas) y de tipo faro, así como algunos transistores, trabajan hasta unos 3 GHz. Los tubos de vacío especiales para microondas, tales como magnetrones, klistrones, tubos de onda progresiva, osciladores de onda regresiva, o inversa, etc., y los diodos túnel, pueden operar con frecuencias hasta de 100,00GHz. Por encima de este valor se encuentra la región infrarroja, o de calor, la cual suele considerarse que va desde los 300,00 a los 375,00 GHz. La luz visible al ojo humano va desde los 275,000 GHz del color rojo a los 790,000

GHz que corresponden al violeta. En la región de la luz, los osciladores láser parecen alcanzar gran importancia como dispositivos de comunicaciones.

La mayor actividad de las microondas se encuentran entre 1 y 50 GHz. Los técnicos modernos de radio y de electrónica deben estar familiarizados con los conceptos básicos de los equipos que operan en esta región. Además de sus aplicaciones en radar y en las comunicaciones de punto, las microondas se utilizan ampliamente en los laboratorios de investigación por que muchas compañías se encuentran dedicadas a la fabricación y servicio de equipos de pruebas de microondas y de sus componentes.

Línea de transmisión de microondas la c-a de baja frecuencia s puede transportar con gran rendimiento por medio de un par de hilos, tales como el cordón de una bombilla. En el espectro de la radiofrecuencia, para transportar energía con buen rendimiento se necesitan cables coaxiales o líneas de transmisión especiales de dos hilos e impedancia constante. Cuando la frecuencia es superior a 3 GHz (longitud de onda de 10 centímetros), un tubo hueco, con un diámetro ligeramente superior a media longitud de onda (5 cm), puede ser utilizado como un aceptable espacio cerrado por el interior del cual se puede propagar la energía de dicha frecuencia y superiores. Este proceso es similar, en ciertos aspectos, a la propagación de las ondas de radio por el espacio a partir de una antena. A estos tubos huecos se les llaman **guíaondas** (o guías de ondas) y pueden ser redondos o rectangulares. En las redondas la polarización puede desplazarse, por lo que la mayoría de ellos toman la forma rectangular, con una altura de aproximadamente un medio de la anchura para el modo de oscilación de corriente y tensión usualmente empleados. (Existen en los guíaondas varios modos posibles de oscilación). La anchura del guíaondas debe ser ligeramente mayor que la mitad de la longitud de onda a transmitir.

Una banda de funcionamiento común es la conocida con el nombre de banda **X**, o banda de los 3 cm., cuyos limites superior e inferior son los 12,4 y 8,2 GHz respectivamente. El guíaondas para la banda **X** tienen aproximadamente una anchura de 3 centímetros y una altura de 1,5 cm.



(a) Guíaondas circular, (b) símbolo de guíaondas y (c) sección de guíaondas rectangular

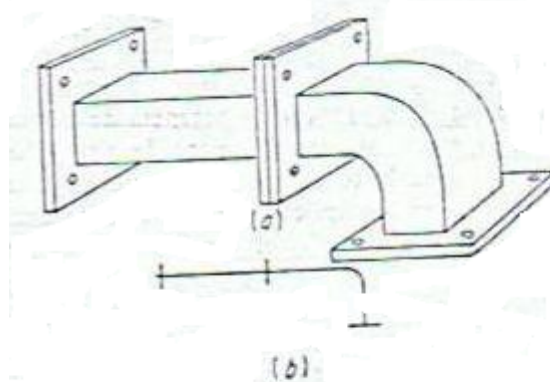
Mientras que las frecuencias superiores a la de funcionamiento de un guíaondas pueden propagarse por este, las inferiores sufren una gran atenuación. Por consiguiente, los guíaondas actúan como filtros de paso alto. En general presentan una impedancia característica de 50 a la banda para la que han sido diseñados.

Los guíaondas se construyen de latón, cobre o aluminio. Puesto que las corrientes en las paredes de los mismos oscilan únicamente en su superficie interna (efecto pelicular), las secciones de baja pérdida deberán ser plateadas interiormente.

Se toman muestras de los campos eléctricos y magnéticos desarrollados por las corrientes, introduciendo una sonda de prueba (antena) en el guíaondas.

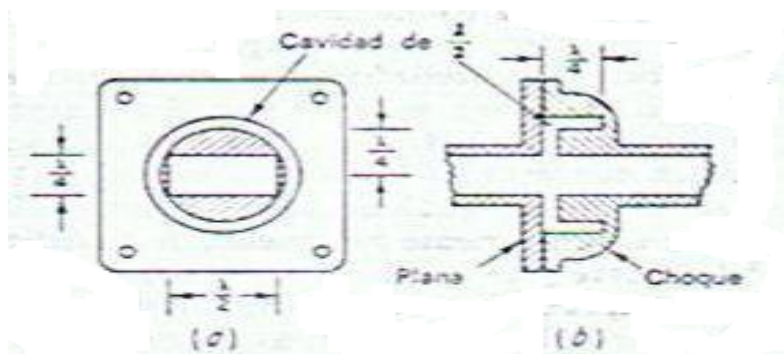
Se considera que las ondas electrostáticas y magnéticas radiadas, siempre las unas formando ángulo recto con las otras son las que transportan la energía desde la fuente a la carga y las que se adaptan a la impedancia de carga.

Ser rectos, torcidos un ángulo dado, o incluso hechos flexibles de pérdidas y reflexiones en la unión.



**Sección recta acoplada a un codo de 90° (b) La misma sección mostrada en forma esquemática.**

Para líneas de transmisión de microondas pueden utilizarse cables coaxiales. Los cables de dieléctrico sólido tienen pérdidas elevadas a las frecuencias de microondas y los dispositivos de acoplamiento tienden a presentar discontinuidad y reflexiones de energía en el cable. Estas reflexiones producen ondas estacionarias en la línea, con lo que no existe una completa transferencia de potencia de la fuente a la carga.



**Junta de choque. (a) Vista de frente de la brida (b) Sección transversal de la unión de las bridas plana y de choque.**

Sin embargo, cuando el camino que han de recorrer las ondas es solo de algunos decímetros de longitud, los cables coaxiales se emplean a menudo hasta frecuencias de la banda **X**.

Si la adaptación de impedancia no es correcta, la reflexión puede aparecer como capacitiva o inductiva. Un saliente proyectado en sentido vertical tiene un efecto capacitivo y se utiliza para conservar un efecto de reactancia inductiva. Si este saliente es mayor de un cuarto de longitud de onda, su efecto es inductivo. Los salientes proyectados en sentido lateral tienen también un efecto inductivo.

## **GUIAS DE ONDA**

Las guías de onda, son las líneas de transmisión de un solo conductor metálico, hueco.

Por el hueco se propagan las señales electromagnéticas de muy alta frecuencia del Orden de los GHz.

Por lo tanto las medidas de las longitudes de onda a transmitir son del orden de los Centímetros.

Las ondas electromagnéticas confinadas en el hueco de la guía de onda, se propagan por la múltiple reflexión de sus campos (eléctrico y magnético) en las paredes internas de la guía de onda

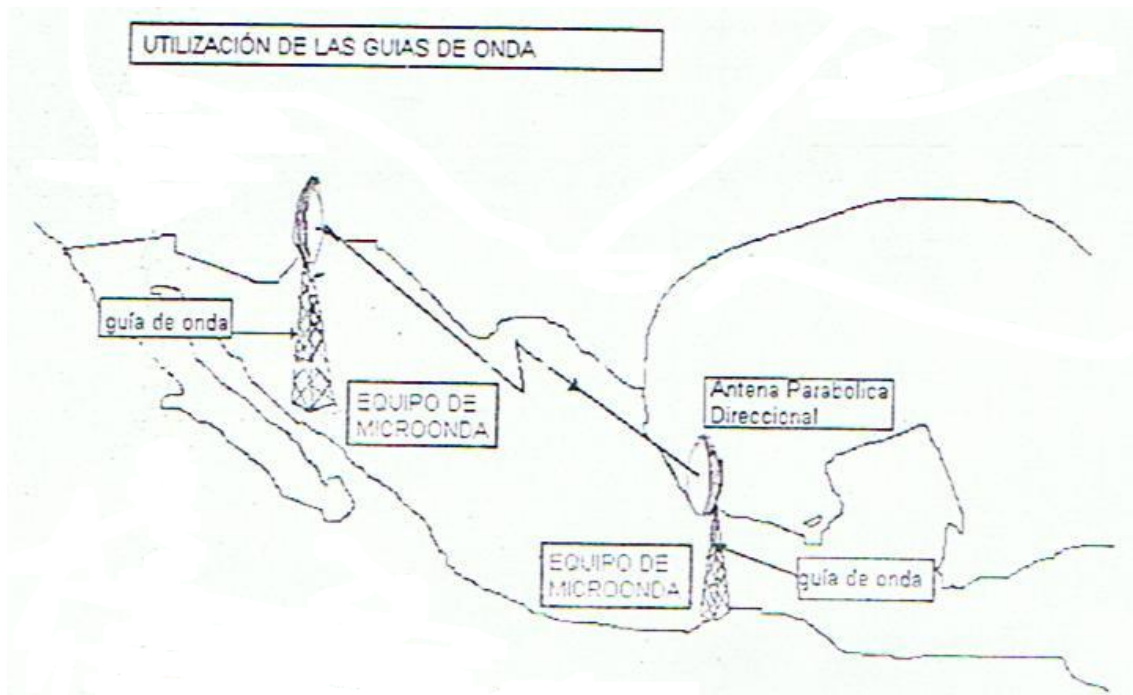
Los metales más comunes utilizados en la construcción de este tipo de líneas de Transmisión son del tipo NO magnético tales como Bronce, Latón, Cobre, Aluminio.

Estas líneas de transmisión son utilizadas ampliamente para conectar los equipos de microondas con sus antenas respectivas. Las distancias mas largas que se han instalado de este tipo de línea de transmisión es de 120 metros, distancias mayores aumentan el riesgo de perder la polarización de la señal así como el aumentar la atenuación debida a las múltiples conexiones de los tramos.

**MODO DOMINANTE** de una guía de onda particular, es el modo que tiene la frecuencia mas baja de corte. A partir de esa frecuencia de corte en adelante todas las frecuencias superiores a esta podrán viajar por la línea de transmisión.

Los modos de propagación dentro de las líneas de transmisión pueden ser clasificados como líneas **SIN PERDIDAS** para sus dos modos de excitación. (**TE y TM**).

Para distinguir los diferentes modos de propagación dentro de **TE y TM**, se utilizan los subíndices **m y n**, los cuales denotan medias longitudes de onda. La **m** denota el número de medias ondas ya sea de campo eléctrico o de intensidad de campo magnético en la dirección **x**; mientras que **n** es el número de medias ondas en la dirección **y** y cuando la dirección de propagación es en **z**.



#### ENLACES VIA MICROONDAS

Enlaces fijos de Telecomunicaciones, en toda la República para los servicios de:

Telefonía

Enlaces de Televisión

Comunicaciones Particulares

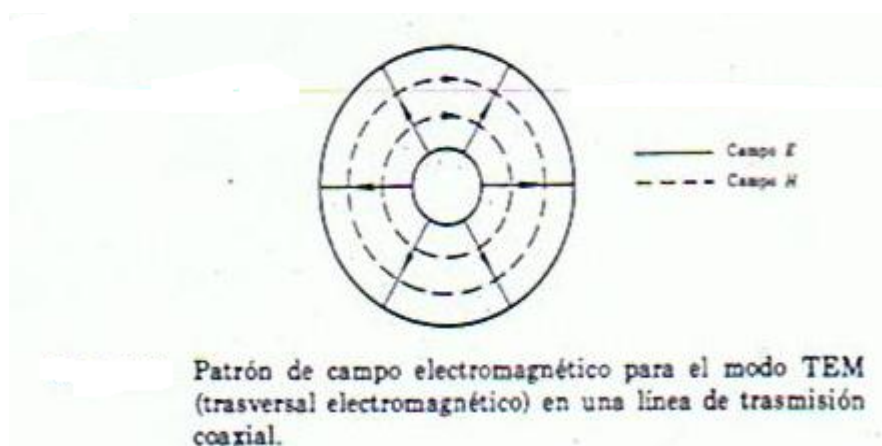
Comunicaciones de Seguridad Nacional y Radar.

Con este tipo de línea de transmisión se pueden conectar equipos de MICROONDAS para transmitir y recibir enlaces en largas distancias altamente direccionales y de Muy alta capacidad.

Los enlaces de microondas tienen por cometido mantener las comunicaciones fijas a través del espacio libre.

El análisis de cualquier línea de transmisión uniforme de los conductores, por los métodos de la teoría electromagnética, revela otro modo único, además de la secuencia infinita de modos **TE y TM**. Este modo simple difiere de los otros en que los campos eléctrico y magnéticos son en cualquier parte transversales a la dirección de la longitud de los conductores y no hay otra frecuencia de corte diferente de cero. Designado como **TEM** (trasversal electromagnético), este modo tiene la representación de campo que corresponde en la teoría de circuito distribuido de la línea de transmisión a los voltajes y corrientes.

Los patrones de campo eléctrico y magnético para el modo **TEM** en una línea coaxial circular se muestran en la figura. Estos representan la única distribución posible de los campos eléctricos y magnéticos que pueden satisfacer simultáneamente los postulados mencionados y las leyes básicas de electromagnetismo para conductores de esta forma geométrica.



\*La forma de transportar la onda electromagnética en una línea bifilar es del tipo **TEM**, esto es que tanto el campo eléctrico y el magnético viajan del mismo tiempo entre los dos conductores

## LINEAS DE TRANSMISION DE FIBRA OPTICA.

La fibra óptica ya sus avances a través de ella se conoce desde el siglo XIX. Algunas constantes llevan el nombre de los descubridores y son los que han encontrado avances significativos en la teoría de las comunicaciones.

A través de un elemento transparente se basa la transmisión y recepción de la luz variable. Las ventajas proporcionadas por estas líneas de transmisión es su velocidad de propagación, capacidad de mensajes su construcción, y sus bajas perdidas.

A continuación se muestra una tabla de las perdidas en las distintas líneas de transmisión.

<b>Conductor</b>	<b>Atenuación</b>
<b>Par Metálico</b>	<b>4db / Km</b>
<b>Coaxial</b>	<b>1 db / Km</b>
<b>Guía de Onda</b>	<b>0.7 db / Km</b>
<b>Fibra Óptica</b>	<b>0.2 db / Km</b>

En las líneas bifilares la atenuación se da en nepers/Km.

En Fibra Óptica todas las perdidas o atenuaciones que sufre la luz se darán en **dB**.

En el par metálico la información es la variación de electrones que fluyen en los conductores con respecto al tiempo, (o sea la corriente eléctrica).

En la Fibra Óptica la información que fluye por el elemento transparente son las variaciones de fotones con respecto al tiempo.

En la Fibra Óptica los desperdicios o fugas de fotones desde la fibra se deben principalmente a pequeñas rupturas, fisuras, objetos extraños dentro del conductor.

Debido a que la Fibra Óptica no maneja corrientes eléctricas, no puede inducir o ser inducida por otra línea, por lo tanto es segura.

## VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA

1. No son susceptibles a interferencias de Radiofrecuencias.
2. No son metálicas y por lo tanto no son inducibles
3. Se consideran como guías de onda solidas transparentes
4. Las mismas expresiones matemáticas del comportamiento de las guías de onda circulares, son utilizadas para las fibras
5. Tienen un ancho de banda muy grande
6. No tiene impedancia característica
7. Las Fibras Ópticas pueden propagar a través de ellas, señales analógicas, o señales digitales.
8. Se ha encontrado que con señales digitales la transmisión de información sufre menor distorsión que las señales analógicas,
9. Su bajo peso por metro facilita su instalación

## **DESVENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA.**

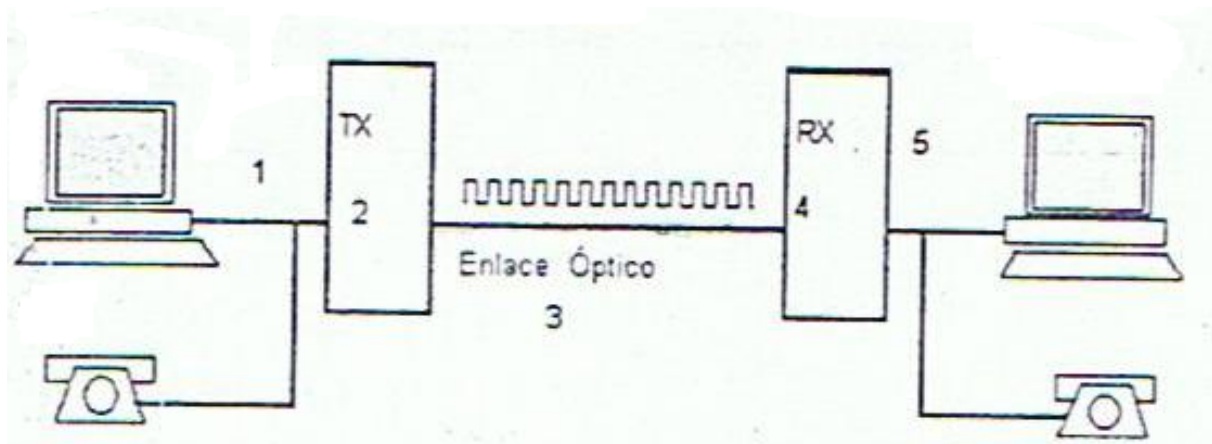
1. Se deben tener cuidados extremos en la instalación de los cables
2. La vibración mecánica de los cables deteriora el enlace
3. La humedad extrema deteriora el enlace
4. Los roedores pueden deteriorar los cables
5. Los jalones intempestivos pueden interrumpir la comunicación.

## **APLICACIÓN DE LAS FIBRAS OPTICAS.**

Las fibras ópticas tienen las siguientes aplicaciones.

<b>Medicina</b>	<b>Longitud</b>	<b>10 metros</b>
<b>Aviación</b>		<b>1 a 100 metros</b>
<b>Computadoras</b>		<b>1 a 600 metros</b>
<b>Oficinas</b>		<b>1 a 1000 metros</b>
<b>Video</b>		<b>150 a 10500 metros</b>
<b>Telecomunicaciones</b>		<b>8 a 1200 Km</b>
<b>Ferrocarril</b>		<b>100 a 800 Km</b>

## LOS ENLACES DE FIBRAS OPTICA CONSISTEN DE



1. Señal de entrada analógica o digital
2. Transmisor laser, de señales de pulsaciones de
3. Línea de fibra óptica, que va dentro de un cable
4. Receptor óptico electrónico
5. Señales analógicas o digitales, para ser utilizadas

Los equipos electrónicos como los de fibra óptica tienen muy baja variación en su comportamiento por lo que un enlace de este tipo tarda mucho para una revisión.

Las características que debe tener un medio de transmisión deben ser:

1. El elemento conductor la fibra debe ser transparente para dejar pasar la luz nítidamente.

2. La fibra óptica debe evitar ser translúcida puesto que pasa la luz en pequeña cantidad.
3. Refracción es el fenómeno que existe cuando un haz de luz choca con un medio transparente de densidad mayor generando un cambio de trayectoria en el segundo medio.

Esta antología consiste de los mejores conceptos de los temas vitales de líneas de transmisión para la comunicación física de puntos distantes, con informaciones de gran diversidad como voz, video, datos tratando de proporcionar los conocimientos básicos de Ingeniería

Los libros que se utilizaron son

EDITORIAL	NOMBRE DEL LIBRO	AUTOR
SCHAWMS	TRANSMISSION LINES	ROBERT. A. CHIPMAN
WILEY-LIMUSA GRUPO NORIEGA	ELECTRONICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	SOL-LAPATINE
MC GRAW-HILL	COMUNICACIÓN ELECTRONICA	ROBERT.L. SHRADER