



Sistemas de Comunicaciones por Microondas

Introducción

(EE-536 / IT-235)

Ing. Marcial Antonio López Tafur
mlopez@uni.edu.pe

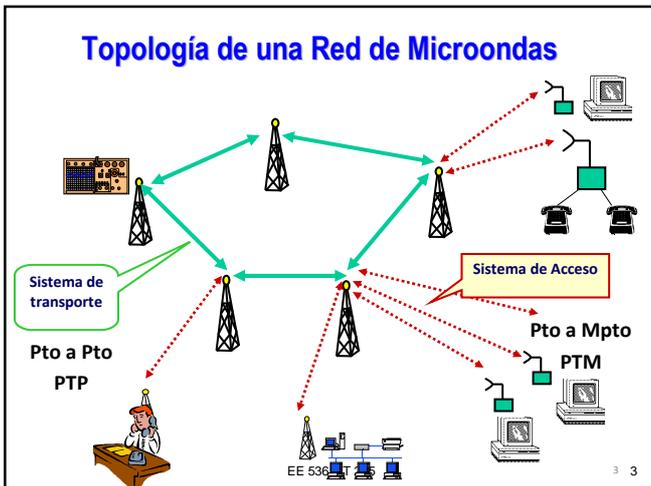
2010-2

EE 536 / IT 235 1

Aplicaciones de la Ingeniería de Microondas

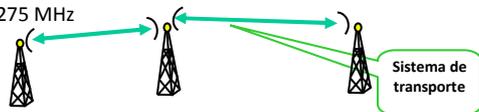
- Sistemas de comunicaciones
 - Sistemas de telefonía celular (enlaces entre celdas)
 - Sistemas satelitales
 - Sistemas punto a multipunto (LMDS y MMDS)
 - Wimax
 - UWB
- Sistemas de Radar
- Reconocimiento ambiental remoto
- Aplicaciones médicas

EE 536 / IT 235 2



Rangos de Frecuencias utilizados para el Transporte en las Redes de Servicios de Telecomunicaciones

a) 4 400 – 5 000 MHz	g) 10 700 – 11 700 MHz
b) 5 925 – 6 425 MHz	h) 14 400 – 15 350 MHz
c) 6 430 – 7 110 MHz	i) 17 700 – 19 700 MHz
d) 7 125 – 7 425 MHz	j) 21 200 – 23 600 MHz
e) 7 425 – 7 725 MHz	k) 37 000 – 38 600 MHz
f) 7 725 – 8 275 MHz	



La asignación de espectro en estas bandas es a solicitud de parte, sujeto a la disponibilidad en una misma área geográfica

EE 536 / IT 235 4

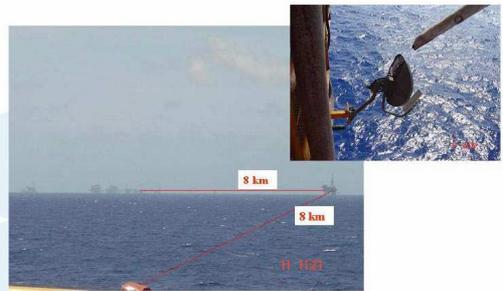
Aplicaciones

- Redes privadas de voz, datos y video.
- Extensión de LAN
- Servicio de Internet
- Conexiones punto-a-punto de alta velocidad
- Multicast de Video (entrenamiento)
- Vigilancia por video
- Voice over IP (VoIP)
- E-government y programas sociales
 - Educación
 - Salud
 - Seguridad
 - Administración
- Monitoreo Remoto



EE 536 / IT 235 5

Aplicación: Plataformas petroleras



EE 536 / IT 235 6

Lugares inaccesibles. - Condiciones extremas

Problema: Necesidad de servicios de Voz y datos a 4,800 mts de altura sobre el nivel del mar en la cordillera de los Andes con temperaturas de -40°C y vientos que han superado los 140 Km/h

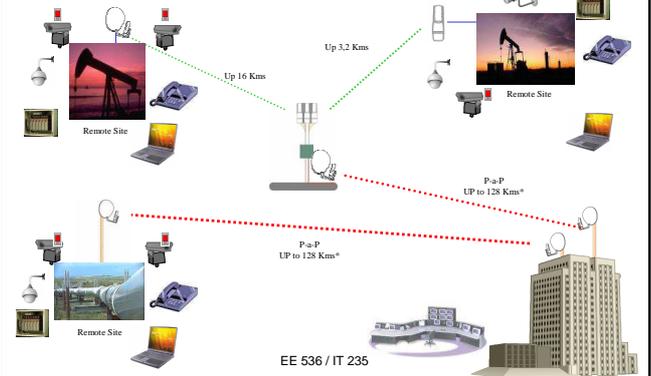
Solución: Se instaló un sistema multipunto con dos clusters a 4800mts y 4600mts sobre el nivel del mar para cubrir el área de oficinas, producción y campamento.

Resultados: Plena satisfacción del cliente en los servicios de telefonía y datos que se están brindando. Se planea expandir el sistema incorporando monitoreo remoto con camaras IP. Ya se han realizado las pruebas para la expansión.



Minería

Wireless SCADA & Intelligent Video Surveillance



Decibelios (dB)

$Y_{dB} = 10 \log (x)$ donde x está en unidades de potencia

$Y_{dB} = 10 \log (10) = 10 \text{ dB}$

$Y_{dB} = 10 \log (100) = 20 \text{ dB}$

$Y_{dB} = 10 \log (20) = 13 \text{ dB}$

$Y_{dB} = 10 \log (v^2)$ Para un voltaje que pase a través de un resistor de $1\Omega \rightarrow Y_{dB} = 20 \log (v)$

Los **decibelios** representan:

1. Niveles (absolutos o relativos)
2. Relaciones (Ratio) (**ganancia** o **pérdidas**)

Decibelios (Niveles)

El nivel de potencia de salida de RF de un transmisor está especificado en dB_m (Microondas) o dB_w (Celulares).

Ejemplo:

Potencia Transmisor de Microondas: 30 dB_m (1 W)
 Potencia TX Estación Base Celular: 20 dB_w (100 W)

$\text{dB}_w = 10 \log (P/1W)$ 1 Watt = 0 dB_w

$\text{dB}_m = 10 \log (P/1mW)$ 1 mWatt = 0 dB_m

Ejemplos de dBw y dBm

1 W	0 dB_w	30 dB_m
2 W	3 dB_w	33 dB_m
4 W	6 dB_w	36 dB_m
8 W	9 dB_w	39 dB_m
16 W	12 dB_w	42 dB_m

Decibelios



$\text{dB} = 10 \log (P_o/P_i)$ relación de potencia

$\text{dB} = 20 \log (V_o/V_i)$ relación de voltaje

$\text{dB} = 20 \log (I_o/I_i)$ relación de corriente

Ejemplos

dB_i Ganancia de antena con referencia al radiador isotrópico (ganancia unitaria)

dB_d Ganancia de antena con referencia a la antena dipolo de media onda ($2.2 dB_i$)

Ejemplo, una antena parabólica (plato) de 0.6 m operando a 18 GHz tendrá una ganancia nominal de $38 dB_i$. Doblando el diámetro (1.2) adiciona 6 dB resultando en $44 dB_i$

A una antena parabólica (plato) de 0.6 m operando a 1.8 GHz tendrá una ganancia nominal de $32 dB_i$

Factor / Figura de Ruido



$$\text{Noise Factor (f)} = (S/N)_i / (S/N)_o$$

$$\text{Noise Figure (NF)} = 10 \log (f)$$

Note: Señal y Ruido están en unidades de potencia

Pérdida de Retorno (Return Loss)

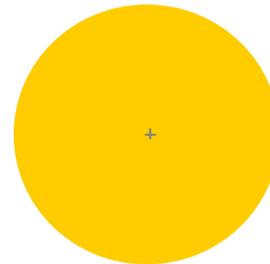
Relaciona el grado de adaptación de la fuente a la carga

$$\text{Coeficiente de Reflexión } \rho = \frac{\text{VSWR} - 1}{\text{VSWR} + 1}$$

Pérdida de Retorno en dB

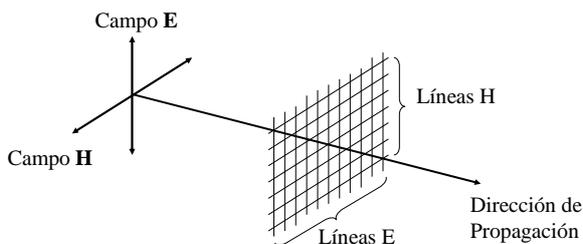
$$RL_{dB} = 20 \log (1/\rho)$$

Fuente Isotrópica (Antena)



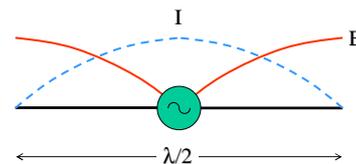
Una fuente isotrópica radia potencia uniformemente en todas direcciones.

Polarización Onda Electromagnética



Antena Dipolo de $\lambda/2$

$$v = \lambda f$$



$$v = 300 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Definiendo la Polarización

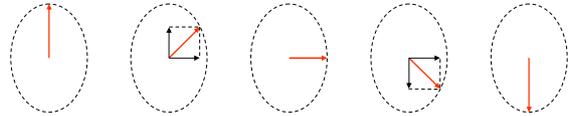
- La polarización de una onda plana uniforme se refiere al comportamiento en la variación del tiempo de la intensidad del vector campo eléctrico en algún punto fijo en el espacio.
- una onda plana uniforme viajando en la dirección z tendrá vectores E y H en el plano x-y.
- Sí $E_y = 0$ y E_x esta presente, la onda está verticalmente polarizada (Horizontal para E_y presente y $E_x = 0$)
- Sí ambas E_y y E_x están presentes, el campo eléctrico resultante tendrá una dirección y magnitud dependiente de la magnitud y fase relativa de E_y y E_x

Ref.: Jordan and Balmain "Electromagnetic waves and Radiating Systems

EE 536 / IT 235

19

Polarización Elíptica

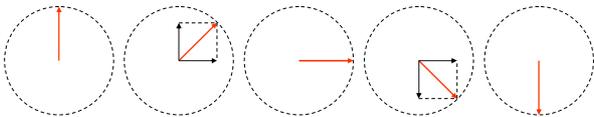


Ambos E_y y E_x están presentes

EE 536 / IT 235

20

Polarización Circular



Ambos E_y y E_x están presente con igual magnitud y 90° de diferencia de fase

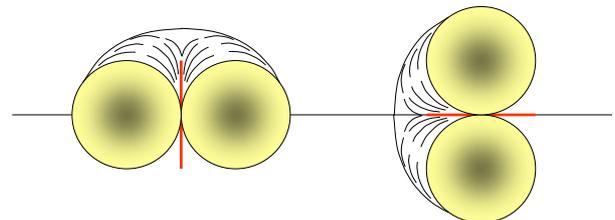
EE 536 / IT 235

21

Patrón de Radiación – Dipolo $\lambda/2$

Dipolo Vertical

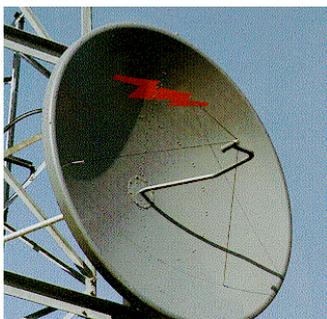
Dipolo Horizontal



EE 536 / IT 235

22

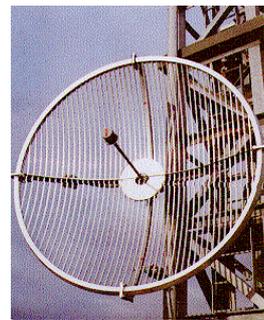
Antena Microonda Sólida (Típica)



EE 536 / IT 235

23

Antena de Grilla para Microondas (Típica)



EE 536 / IT 235

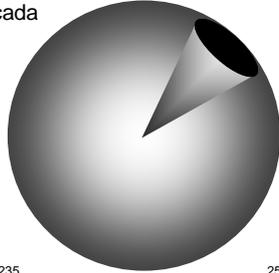
24

Ganancia de una antena

La habilidad de una antena de concentrar la potencia radiada, o inversamente de absorber efectivamente la potencia incidente de una dirección, está especificada en términos de su Ganancia (o Directividad).

La potencia radiada por unidad de área en cualquier dirección está dada por el Vector Poynting.

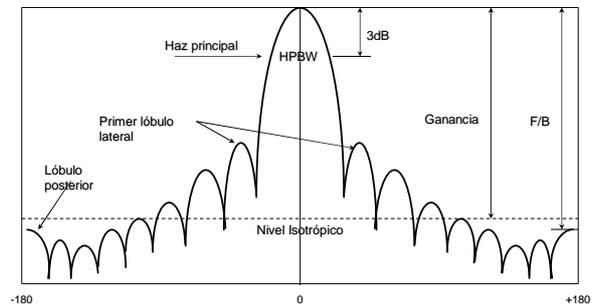
$$P = \frac{E^2}{\eta_v} \quad E = \eta_v H$$



EE 536 / IT 235

25

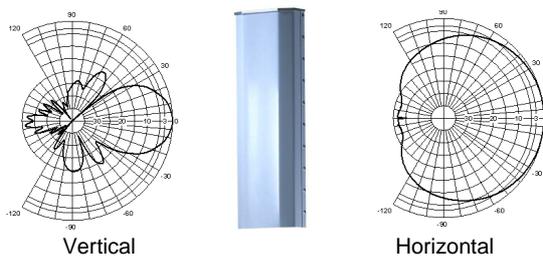
Patrón de Radiación de una Antena



EE 536 / IT 235

26

Ejemplo de patrones de radiación



Vertical

Horizontal

EE 536 / IT 235

27

Parámetros Físicos de una Antena

- Tamaño (Diámetro)
- Resistencia / Carga al viento
- Peso
- Material(es) con que está hecho
- Giro y deslizamiento en torre (Tower Twist & Sway)

EE 536 / IT 235

28

Parámetros Eléctricos de la Antena

- Ganancia (dB)
- Ancho de haz (radianes o grados)
- Patrón de radiación
- Discriminación de Polarización Cruzada (XPD en dB)
- Relación frente a espalda (Front to Back – F/B)
- Relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR)
- Pérdida de retorno (Return Loss – RL en dB)

EE 536 / IT 235

29

Velocidad de las ondas de Radio

- Velocidad de las ondas de Radio en "Espacio libre": v_0
- Velocidad de las ondas de Radio en la Atmósfera: v

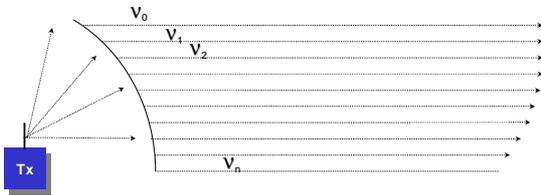
Bajo condiciones atmosféricas normales (temperatura, presión, y contenido de agua) la velocidad de las ondas de radio es menor cerca de la superficie de la Tierra

$$v_0 = 300 \times 10^6 \text{ m/s}$$

EE 536 / IT 235

30

Velocidad de las ondas de Radio



EE 536 / IT 235

31

Índice de Refractividad (n)

$$n = v_0 / v$$

➤ Es espacio libre $n = 1.0$

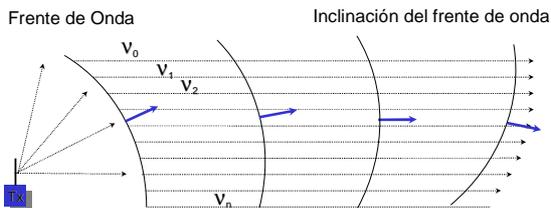
➤ en la atmósfera $n = ?$

A condiciones estándares, y cerca de la superficie de la Tierra, $n = 1.0003$ aprox.

EE 536 / IT 235

32

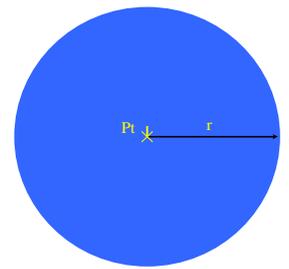
Inclinación de las ondas de radio



EE 536 / IT 235

33

Pérdidas de RF en espacio libre



Densidad de potencia $S = Pt / 4\pi r^2$ Watts/m²

EE 536 / IT 235

34

La apertura de una antena isotrópica está dada por:

$$\lambda^2 / 4\pi$$

La potencia disipada en una carga conectada al terminal de la antena es:

$$Pr = (Pt / 4 \pi r^2) \times (\lambda^2 / 4 \pi) = \lambda^2 Pt / (4 \pi r)^2$$

$$Pr/Pt = \lambda^2 / (4 \pi r)^2$$

En el área de Comunicaciones por radios de microondas, la pérdida de espacio libre (Lp) es normalmente expresada en dB, la frecuencia (f) en GHz, y la distancia (d) en Km.:

$$Lp = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d$$

EE 536 / IT 235

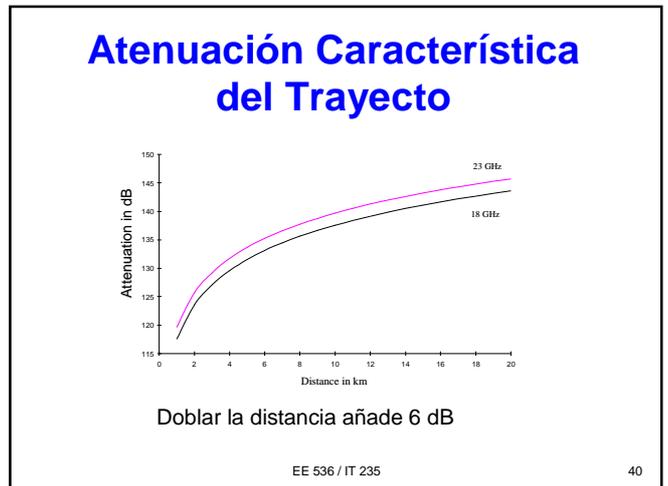
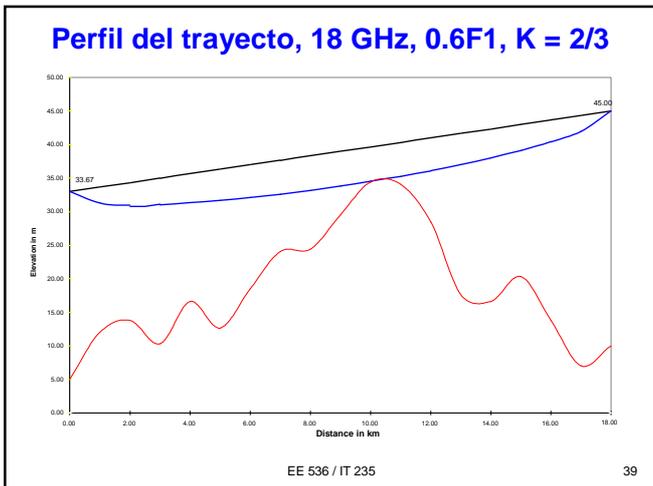
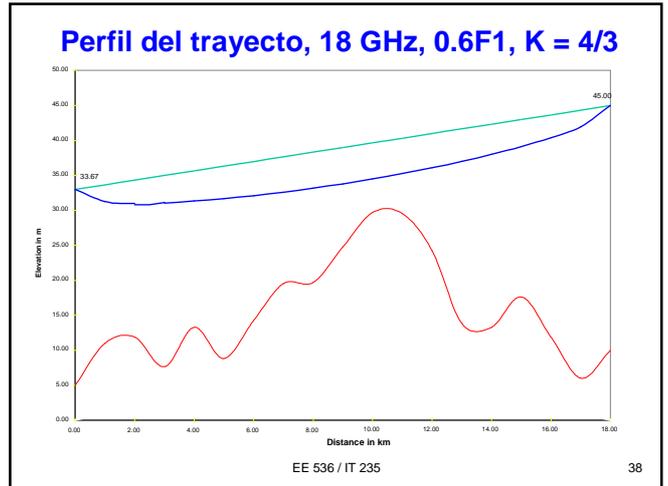
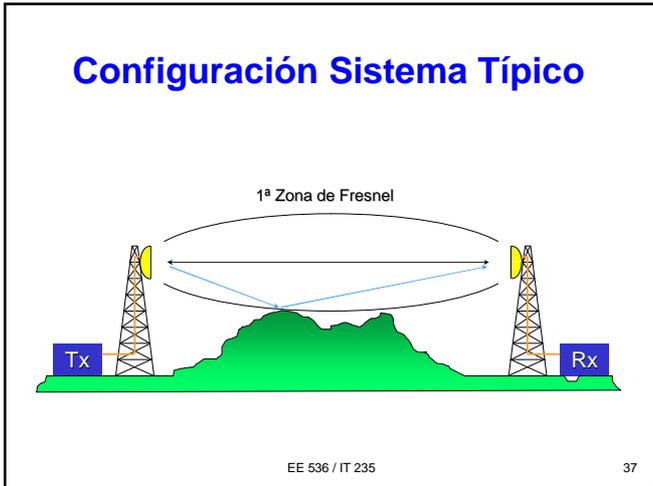
35

Pasos en el diseño de enlaces

- Selección del sitio (alternativas)
- Construcción del perfil del trayecto
- Prospección del sitio y del enlace
- Cálculos del enlace
- Análisis del Rendimiento
- Especificaciones del equipamiento

EE 536 / IT 235

36

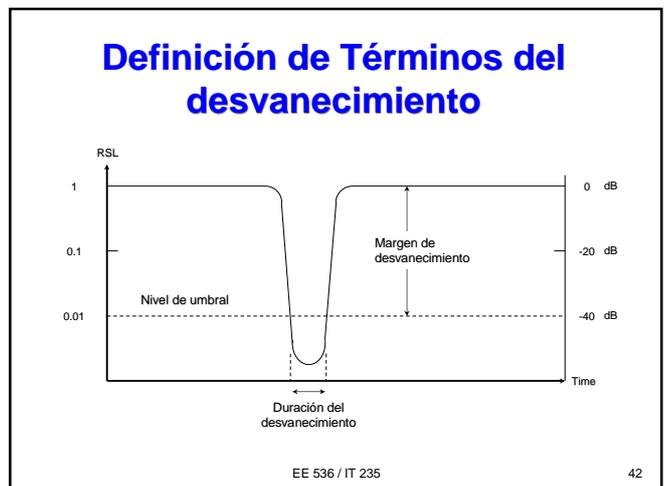


Desvanecimiento de las ondas de radio

El desvanecimiento es una variación en el tiempo de:

- Fase
- Polarización, y / o
- Nivel de la señal de RF recibida

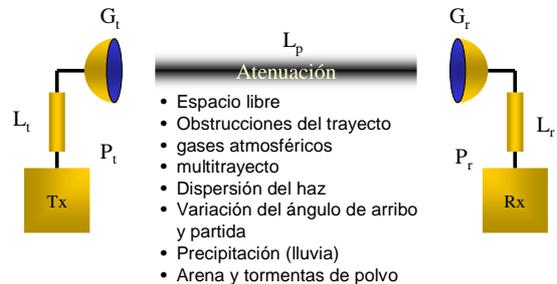
EE 536 / IT 235 41



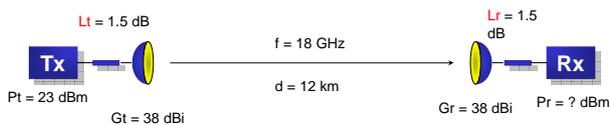
Causas del desvanecimiento de las ondas de radio

- Refracción,
 - Reflexión,
 - Difracción,
 - Dispersión, y
 - Entubamiento (Ducting)
- Como resultado de las variaciones de las condiciones atmosféricas

Enlace de Radio - Modelo Simplificado



Cálculos del enlace

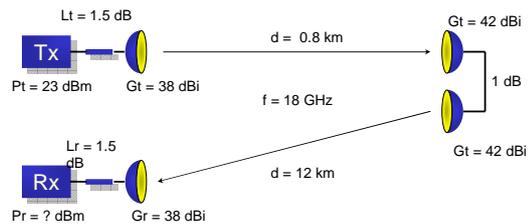


$$Pr = Pt - Lt + Gt - Lp + Gr - Lr \quad \text{dBm}$$

$$Lp = 92.45 + 20 \log(18) + 20 \log(12) = 139.14 \text{ dBm}$$

$$Pr = 23 - 1.5 + 38 - 139.14 + 38 - 1.5 = -43.14 \text{ dBm}$$

Configuración de Repetidor Pasivo



Consideraciones de Diseño

- Especificación del Equipamiento
- Especificación de la antena
- Características del trayecto
- Altura de las antenas
- Tasa de lluvia en la zona
- Velocidad del viento
- Temperatura, Presión, Humedad

Data del enlace de Microondas

- Ubicación del sitio.
- Frecuencia de transmisión (GHz)
- Frecuencia de Recepción (GHz)
- Polarización (Vertical u Horizontal)
- Potencia de Transmisión (W, mW, o dBm)

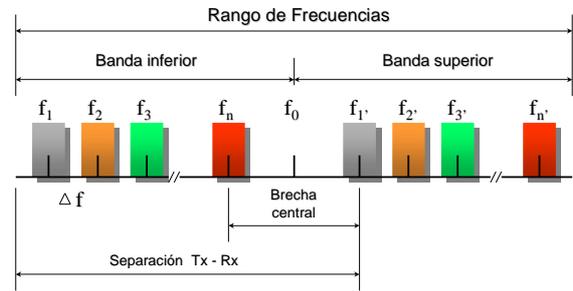
Bandas de Radio Frecuencia

VLF	3 Hz	30 kHz
LF	30 kHz	300 kHz
MF	300kHz	3 MHz
HF	3 MHz	30 MHz
VHF	30 MHz	300 MHz
UHF	300 MHz	3 GHz
SHF	3 GHz	30 GHz
EHF	30 GHz	300 GHz

EE 536 / IT 235

49

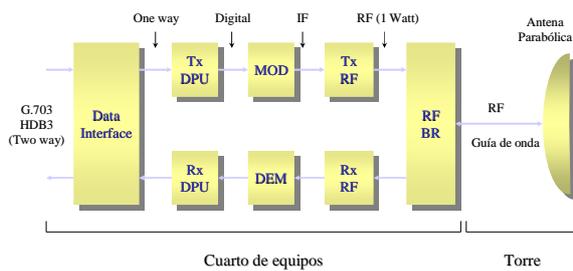
Plan Generalizado de Frecuencias



EE 536 / IT 235

50

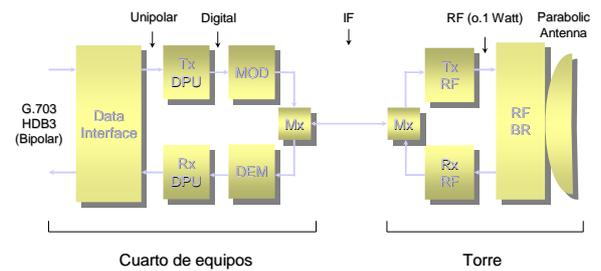
Configuración Genérica de un Sistema de Microondas



EE 536 / IT 235

51

Configuración Sistema Dividido (FI)



EE 536 / IT 235

52

Ejemplo de Instalación



EE 536 / IT 235

53

Otro ejemplo



EE 536 / IT 235

54

El enlace de microondas

- Puede ser un simple “salto” de un 1 Km. o menos
- Puede ser un enlace tipo columna vertebral troncal o backbone de 1000 Km., con múltiples saltos
 - Usualmente 20-40 Km./salto sobre terreno “plano” para el rango de 2-8-GHz
 - Montaña a montaña puede alcanzar hasta 180 km
- Hasta tarde en los años 80, las microondas fueron el sistema troncal mas popular en muchos países (ahora lo es la fibra óptica)
- Microondas son con “línea-de-vista” (LOS)
 - La atmósfera puede inclinar las microondas

EE 536 / IT 235

55

• Usos típicos:

- Señales de Voz, video o data combinadas vía multiplexación para crear una banda base
- Puede ser modulación analógica o digital
- Esta señal es modulada a una banda de FI (frecuencia intermedia)
- La señal es heterodinada (upconverted) a RF para transmitirla a través de la atmósfera
- Lo inverso pasa en el receptor

EE 536 / IT 235

56

- Las frecuencias de microondas usuales están entre los 3 GHz y 60 GHz
- Antenas:
 - Microondas usualmente emplean parabólicas.
 - Las antenas tienen que ser altamente direccionales
 - El haz es concentrado de una manera similar al del telescopio (receptor) y faro (transmisor) Las Microondas siguen muchas de las reglas de la óptica

EE 536 / IT 235

57

• Torres

- El costo de las torres auto-soportadas se incrementa exponencialmente con la altura
- El costo de las torres ventadas (suportadas por alambres) se incrementa linealmente, es barato
- A mayor altura de torre, se necesita mayor terreno
 - Torres ventadas requieren alambres que se extienden fuera de la torre a una distancia igual al 80% de la altura de la torre. Una torre de 91m necesita 3.64 hectáreas
 - Considere: la dureza/blandura del terreno, condiciones del viento, restricciones de tráfico aéreo, códigos de construcción, número y balance de las antenas en la torre etc.

EE 536 / IT 235

58

• Propagación de espacio libre

- Como toda energía electromagnética, las microondas viajan a través del espacio
- So, si no hay deterioros ú obstáculos atmosféricos o físicos ¿debería existir pérdidas?
 - Si: existen pérdidas de espacio libre
 - El haz se ensancha a medida que se mueve lejos de la fuente
 - Ejemplo: 48km de salto (30 millas) sufre 132dB de pérdida a 2 GHz y 148dB a 12 GHz
 - Sí se transmite con 1 watt, se recibirá 10^{-13} W (con antena isotrópica) y 10^{-5} (con antena parabólica)

EE 536 / IT 235

59

Potencia de Transmisión Tx

Tx es la abreviatura de “Transmisor”

Todos los equipos transmisores de Microondas tienen un cierto nivel de potencia de Tx que el equipo de radio genera en la interfase de RF. Esta potencia es calculada como la cantidad de energía entregada a través de un determinado ancho de banda y es usualmente medido en una de estas dos unidades:

1. dBm – nivel de potencia relativo referenciado a 1 milliwatt (miliwatt)
2. dBw – nivel de potencia lineal referenciado a 1 Vatio (Watt)

EE 536 / IT 235

60

$$\text{dBm} = 10 \times \log [\text{Potencia en Vatios} / 0.001\text{W}]$$

$$W = 0.001 \times 10^{[\text{Potencia en dBm} / 10 \text{ dBm}]}$$

Para un equipo que tiene una potencia Tx de +18dBm, la cual convertida a vatios es 0.064 W o 64 mW.

EE 536 / IT 235

61

Sensitividad de Rx

Rx es la abreviatura para "Receptor"

Todos los radios también tienen un cierto punto de no retorno 'point of no return', donde si ellos reciben una señal menor que la Sensitividad del Rx fijada, el radio no será capaz de 'ver' la data.

Esto está también establecido en dBm o W.

Por ejemplo un radio que tiene una sensitividad de recepción de -82 dBm. A este nivel, el Bit Error Rate (BER) es de 10^{-5} (99.999%).

EL nivel de recepción real de un radio varía dependiendo de muchos factores.

EE 536 / IT 235

62

Potencia Radiada

En un sistema inalámbrico, las antenas son usadas para convertir las ondas eléctricas en ondas electromagnéticas. La cantidad de energía que la antena puede 'amplificar' las señales transmitidas o recibidas es referida como la **Ganancia (Gain)**.

La ganancia de una antena es medida en:

- 1. dBi: relativa a un radiador isotrópico
- 2. dBd: relativa a la radiación de un dipolo de $\lambda/2$

$$0 \text{ dBd} = 2.15 \text{ dBi}$$

$$0 \text{ dBi} = 0 \text{ dBd} + 2.15 \text{ dB}$$

EE 536 / IT 235

63

Existen ciertas guías dadas por la FCC (de EE. UU.) que deben ser consideradas en términos de la cantidad de energía radiada por la antena. Esta 'energía' es medida en una de dos formas:

1. *Potencia efectiva radiada isotrópica* *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*

medida en dBm = potencia a la entrada de la antena [dBm] + ganancia relativa de la antena [dBi]

2. *Potencia efectiva radiada* *Effective Radiated Power (ERP)*

medida en dBm = potencia a la entrada de la antena [dBm] + ganancia relativa de la antena [dBd]

EE 536 / IT 235

64

Pérdidas de Energía

En todo sistema de comunicación inalámbrico hay muchos factores que contribuyen a la pérdida de la intensidad de señal. Cables, conectores, lightning arrestors, pueden tener impacto en el rendimiento de su sistema si no son instalados adecuadamente.

En un sistema de 'baja potencia' cada dB que usted pueda ahorrar es importante!! Recuerde la "Regla de los 3 dB".

Por cada 3 dB ganancia/pérdida usted podrá doblar su potencia (gain) o perder la mitad de su potencia (loss).

EE 536 / IT 235

65

$$-3 \text{ dB} = 1/2 \text{ power}$$

$$-6 \text{ dB} = 1/4 \text{ power}$$

$$+3 \text{ dB} = 2x \text{ power}$$

$$+6 \text{ dB} = 4x \text{ power}$$

Fuentes de atenuación o pérdida en un sistema inalámbrico:

- por espacio libre,
- cables,
- conectores,
- cables de interconexión,
- obstrucciones

EE 536 / IT 235

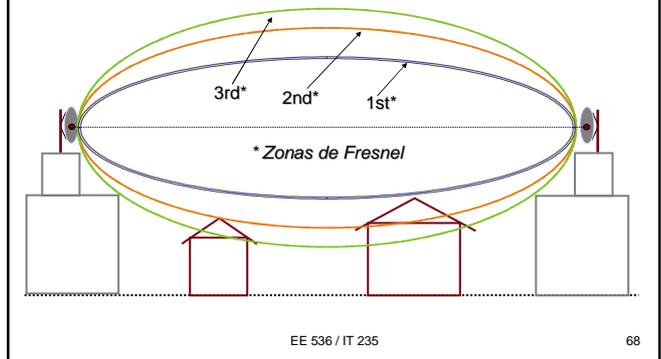
66

Zonas de Fresnel

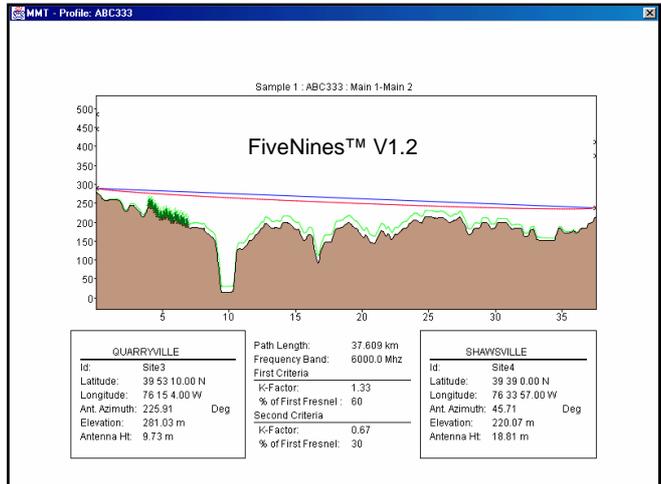
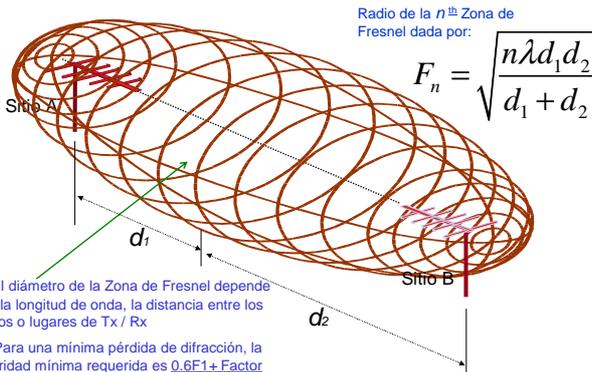
Para cuantificar la Línea de Vista, La teoría de las **Zonas de Fresnel** es aplicada. Piense en que la zona de Fresnel como una pelota de fútbol americano colocada entre dos sitios los cuales proveen un camino o trayecto para la señal de RF.

Un trayecto aceptable para un enlace de radio con Línea de Vista ("Line of Sight") para 2.4 GHz, significa que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel más 3 metros esté libre de cualquier obstrucción.

Zonas de Fresnel



La Primera Zona de Fresnel



Propagación de la Señal

Así como la señal que deja la antena se propaga, o se dispersa, en el espacio. La selección de la antena determinará cuanta propagación ocurrirá.

A 2.4 GHz es extremadamente importante asegurar que el trayecto (o túnel) entre las dos antenas este libre de cualquier clase de obstrucciones. De encontrar la señal en su propagación cualquier obstrucción en el trayecto, ocurrirá degradación de la señal.

Árboles, edificios, postes, y torres son ejemplos comunes de obstrucciones del trayecto.

La mayor cantidad de atenuación en un enlace de microondas (o sistema inalámbrico) se deberá a las pérdidas por la propagación en el espacio libre. La **Pérdida de espacio libre (Free Space Loss ó FSL)** es predecible y está dada por la fórmula:

$$FSL(\text{dB}) = 32.45 + 20 \log f_{(\text{en MHz})} + 20 \log D_{(\text{en Km})}$$

$$FSL(\text{dB}) = 92.45 + 20 \log f_{(\text{en GHz})} + 20 \log D_{(\text{en Km})}$$

La pérdida de espacio libre a 1Km usando una frecuencia de 2.4 GHz es:

$$\begin{aligned} FSL(\text{dB}) &= 32.45 + 20 \log (2400) + 20 \log (1) \\ &= 32.45 + 67.6 + 0 \\ &= 100.05 \text{ dB} \end{aligned}$$

Línea de Vista

Conseguir una buena Línea de Vista (LOS) entre las antenas transmisoras y receptoras, es esencial, en ambos tipos de instalaciones: Punto a Punto y Punto a Multipunto.

Generalmente hay dos tipos de LOS que son discutidos durante las instalaciones:

1. Optical LOS - esta relacionado a la habilidad de ver un sitio desde el otro.
2. Radio LOS – esta relacionado a la habilidad del receptor de 'ver' la señal transmitida.

EE 536 / IT 235

73

Cuando las obstrucciones invaden la primera zona de Fresnel muchas causas pueden presentarse las cuales afectarán el rendimiento del sistema. Las causas principales son:

1. Reflexión

- Ocurre cuando las ondas incide sobre una obstrucción que es mucho mayor en tamaño comparada con la longitud de onda de la señal.
- Ejemplo: reflexiones de la tierra y edificios.
- Estas reflexiones pueden interferir con la señal original constructivamente o destructivamente

EE 536 / IT 235

74

2. Dispersión (Scattering)

Ocurre cuando el trayecto de canal de radio contiene objetos cuyos tamaños son del orden del tamaño la longitud de onda o menos de la onda que está propagándose y también cuando el número de obstáculos son relativamente grandes. Es producido por objetos pequeños, superficies rugosas y otras irregularidades sobre el trayecto de la señal.

Sigue el mismo principio que la difracción
Causa que la energía del transmisor sea radiada en muchas direcciones
Postes de luz y señales de tránsito pueden causar dispersión.

EE 536 / IT 235

75

3. Difracción

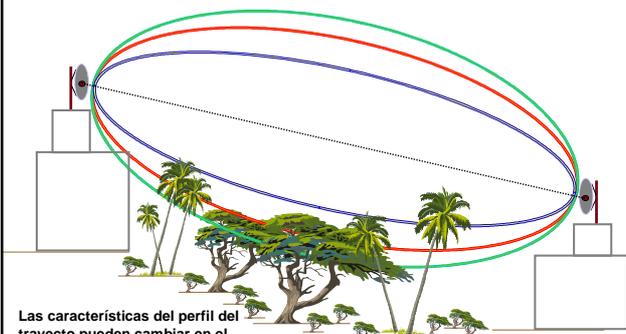
- Ocurre cuando el trayecto de la señal de radio entre el TX y el RX es obstruido (no penetrable) con una superficie con irregularidades cortantes (bordes)

- Explica como las señales de radio pueden viajar en entornos urbanos y rurales sin línea de vista entre las antenas TX y RX.

EE 536 / IT 235

76

El perfil del trayecto



Las características del perfil del trayecto pueden cambiar en el tiempo, debido a la vegetación, edificaciones, etc.

EE 536 / IT 235

77

• Efectos Atmosféricos:

- El oxígeno absorbe la energía de microondas
 - Pequeñas cantidades (0.01dB/km a 0.02dB/km para el rango de 2-26GHz)
- La lluvia absorbe la energía de microondas
 - Cantidad significativa, especialmente a altas frecuencias:
 - No es un problema por debajo de los 6 GHz, pero en 12GHz, puede alcanzar los 10dB/km

EE 536 / IT 235

78

- **Desvanecimiento: (multi-trayecto)**

- Cambia en amplitud sobre el tiempo
- (2) tipos: plano (independiente de la frecuencia) o selectivo con la frecuencia (usualmente no ocurren simultáneamente)
- Causados por variaciones atmosféricas (imposible de predicción exactas)
- Desvanecimiento plano: atenuación por lluvia, entubamiento y torcedura del haz
- Desvanecimiento selectivo a la frecuencia:
 - Las ondas pueden arribar al receptor del trayecto directo y de muchos otros trayectos (como el producido por un ducto débil que solamente lo desvía parcialmente)
 - Más pronunciado en verano, después del atardecer, antes del amanecer

EE 536 / IT 235

79

- **Objetivos de Rendimiento:**

- La medida de la confiabilidad de un sistema es llamado “disponibilidad”. Nunca llega al 100%
- No disponibilidad:
 - Fallas humanas (mantenimiento inadecuado, fallas de los equipos, temas de diseño etc.): evitables
 - Fallas no humanas (la causa primaria es el cambio de las condiciones atmosféricas): inevitables en algún grado
 - Desastres: terremotos, huracanes, incendios, terrorismo etc.

EE 536 / IT 235

80

- **Rendimiento:**

- No se puede predecir la cantidad de tiempo exacto de las interrupciones, pero se disponen de promedios estadísticos.
- 99% suena bien, pero significa 14 min. Por día
- En un sistema digital, 99% puede ser devastador
- Muchos portadores de sistemas de radio diseñan para 99.999%
 - Aún esto causa 26 seg./mes: malo para la data
 - Mas importante es controlar el # de interrupciones que el tiempo total (distribución)

EE 536 / IT 235

81

- **Rendimiento:**

- En razón de alcanzar buen rendimiento los sistemas DMR requieren equipamiento redundante y trayectos (diversidad). (2) tipos de diversidad:
 - **Diversidad de espacio** : el receptor puede tener 2 o más antenas, basado en la señal más fuerte, o de sumar las señales
 - No es muy probable que ocurran problemas en ambas antenas al mismo tiempo
 - Más barato que la diversidad de frecuencia
 - No tiene protección contra la lluvia

EE 536 / IT 235

82

- **Diversidad de Frecuencia:**

- (2) transmisores envía la misma señal con (2) frecuencias diferentes vía (1) antena a (1) antena receptora que divide las señales
- Requiere el doble de ancho de banda, más equipamiento y complejidad
- Mucho menos efectivo que la diversidad de espacio
- Ventaja: Puede trabajarse los dos enlaces con distinta información (sin diversidad)

EE 536 / IT 235

83



Muchas gracias por su atención



EE 536 / IT 235

84