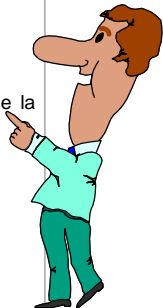


- Propagación de ondas electromagnéticas
- Modulación
- Métodos de corrección de errores
- Aspectos regulatorios en radioenlaces
- Estructura del radio digital
- Diseño de un radioenlace
- Nuevas aplicaciones con radioenlaces
- Funcionamiento y estructura del satélite
- Técnicas de acceso múltiple
- Cálculo de enlace satelital
- Equipo satelital terrestre
- Redes VSAT y Sistema GPS
- Servicios satelitales en México y en el mundo
- Nuevas aplicaciones con satélites

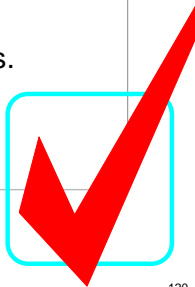
- ✓ Selección de los sitios
- ✓ Perfil del enlace
- ✓ Cálculo de potencias
- ✓ Estimación de la disponibilidad
- ✓ Diversidad

- ✓ Definición de la ruta
 - Selección y ubicación de los sitios y repetidores
- ✓ Diseño del sistema
 - Capacidad del enlace
 - Banda de frecuencias
 - Disponibilidad deseada
 - Presupuesto
- ✓ Cálculo del perfil del enlace
 - Ubicación de obstáculos
 - Altura adicional para cada obstáculo por Fresnel y curvatura de la tierra
 - Cálculo de la altura de las torres
 - Cálculo del punto de reflexión
- ✓ Cálculo de potencias
 - Cálculo de nivel de potencia recibido
 - Margen de desvanecimiento térmico
- ✓ Cálculo de disponibilidad del enlace



Se deben de considerar los siguientes aspectos:

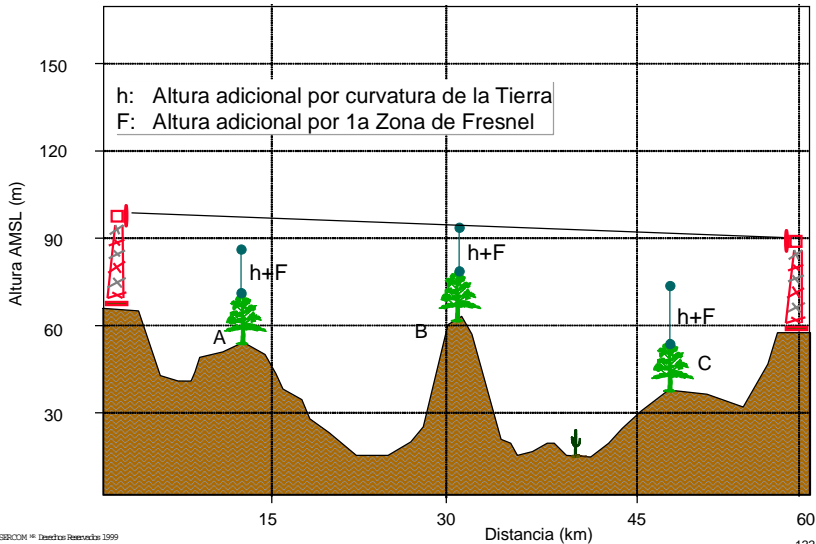
- ✓ Línea de vista entre los puntos.
- ✓ Cercanía con la fuente de información.
- ✓ Posibilidad de uso de edificios como torres.
- ✓ Presencia de interferencias.
- ✓ Obstáculos que provoquen reflexiones.
- ✓ Facilidades de alimentación y espacio
- ✓ Accesibilidad.



- ✓ Considerar todos los obstáculos presentes entre los dos puntos en cuestión.
- ✓ Preparar un perfil con las escalas horizontales y verticales adecuadas.
- ✓ Considerar la curvatura de la tierra.
- ✓ Salvar la altura de la primera zona de Fresnel.
- ✓ Considerar la existencia de vegetación y su crecimiento.
- ✓ Calcular la altura de torres requeridas.



Método gráfico



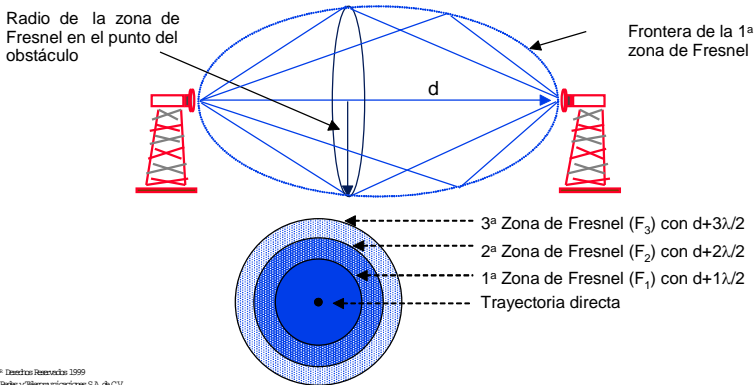
Procedimiento para el cálculo

- ✓ Una vez que se tienen los obstáculos ubicados, se debe de conocer la altura de c/u sobre el nivel medio del mar y se les representa en una gráfica que tiene como cero el punto con menor altura sobre el mar.
- ✓ La altura de cada obstáculo se debe de incrementar para considerar los efectos de la **curvatura de la tierra**, la **primer zona de Fresnel** y la **vegetación**.
- ✓ Con las alturas incrementadas, se traza una línea recta que sea capaz de unir ambos extremos, pero salvando a todos los obstáculos.
- ✓ Si la línea recta no es horizontal, se tienen entonces ángulos de elevación y de bajada en los extremos. Se debe de jugar con estos ángulos para minimizar el tamaño de las torres en los dos extremos.



Zonas de Fresnel

- ✓ De acuerdo a la teoría electromagnética, alrededor de la mitad de la energía pasará por la primera zona de Fresnel.
- ✓ La primera zona se define como la región límite que comprende un haz reflejado con longitud mayor al haz directo en una distancia hasta de $\lambda/2$. De $\lambda/2$ a λ es la 2ª zona, y así sucesivamente.



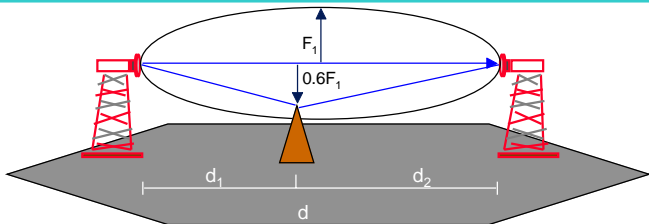
Cálculo del radio de la 1ª zona de Fresnel

Una vez calculado el radio de la primera zona de Fresnel, se toma una fracción de ese valor para incrementar la altura de los obstáculos.

Generalmente, se toma una fracción del 60%, sin embargo esto puede variar.

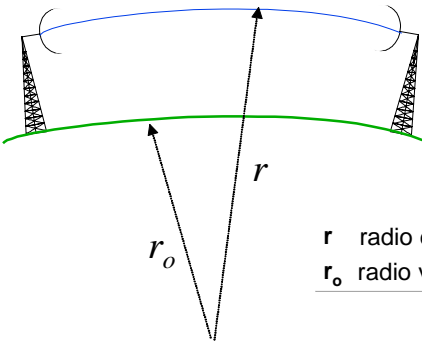
$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{F (d_1 + d_2)}}$$

d_1 y d_2 son las distancias del obstáculo a cada una de las antenas en km
 F es la frecuencia en GHz
 F_1 está en metros



Factor K por curvatura

$$K = \frac{1}{1 + r_o \frac{dn}{dh}}$$



r radio efectivo de la tierra

r_o radio verdadero de la tierra (6,370 km)

- ✓ El factor **K** expresa el grado de curvatura del rayo a lo largo de una trayectoria
- ✓ Depende del *índice de refracción* de la atmósfera
- ✓ El índice de refracción depende de la altura, por lo tanto el factor **K** es de importancia para el cálculo de las alturas de las torres

✓ Cálculo del radio efectivo

$$r = \frac{r_o}{1 - 0.04665 e^{0.00557 N_s}}$$

✓ Cálculo de la refractividad

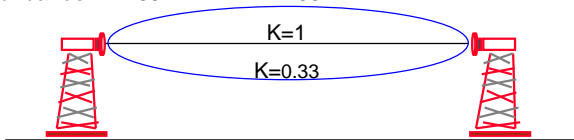
$$N_s = N_o e^{-0.1057 h_s}$$

En donde:

- **N_s** Es la refractividad de la superficie, ésta es la refractividad a la altitud del sitio de microondas o la refractividad promedio del trayecto
- **N_o** Refractividad al nivel del mar. Se consulta en una gráfica especial
- **h_s** Altura sobre el nivel del mar del sitio de radio en km

Un valor estándar de K=1.33

K=1.33



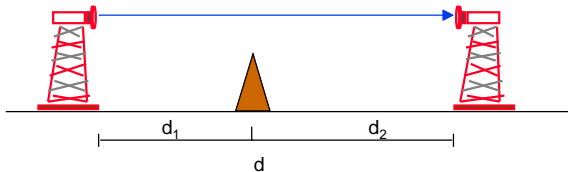
Cantidad de curvatura de la Tierra

h_m representa el incremento adicional en la altura de cada obstáculo por efecto de la curvatura de la tierra.

El incremento considera la curvatura de la tierra y la refracción de la onda electromagnética.

$$h_m = \frac{0.078 d_1 d_2}{K}$$

h_m en metros, d_1 y d_2 en km



Crterios para la seleccin de K

		Condiciones de Propagacin				
		Perfecto	Ideal	Promedio	Difcil	Malo
Clima		Atmsfera estandar	Sin capas en la superficie o niebla	Sub-estandar Niebla ligera	Capas en la superficie Niebla en tierra	Niebla hmeda sobre agua
Zona		Zona templada sin niebla sin 'ducting' Buena atmfera mezclada durante da y noche	Seco montaoso sin niebla	Plano templado algo de niebla	Tropical hmeda	Costa
Factor K		1.33	1 - 1.33	0.66 - 1.0	0.66 - 0.5	0.5 - 0.4

Nota: Valores para disponibilidad de 99.9 a 99.99%

Fuente: Telecommunication Transmission Handbook
Roger L. Freeman

Crterios segun condiciones y disponibilidad

Criterio Sugerido				
Condiciones de propagación	Muy Buenas	Buenas	Promedio	Pobres
Geografía	Seco montañoso	Plano tierra adentro	Semi-plano tierra adentro	Costa húmeda
Alta confiabilidad 99.98%	0.6 F K=4/3	1.0 F K=4/3	0.6 F K=1	0.3 F ó 0.0 F K=2/3 ó K=1/2
Muy alta confiabilidad 99.99%	1.0 F K=4/3	0.6 F K=1	0.3 F K=2/3	0.0 F (Grazing) K=5/12

F: Radio de la primera zona de Fresnel

K: Factor del radio efectivo de la tierra

Nota: La confiabilidad se define en un sentido

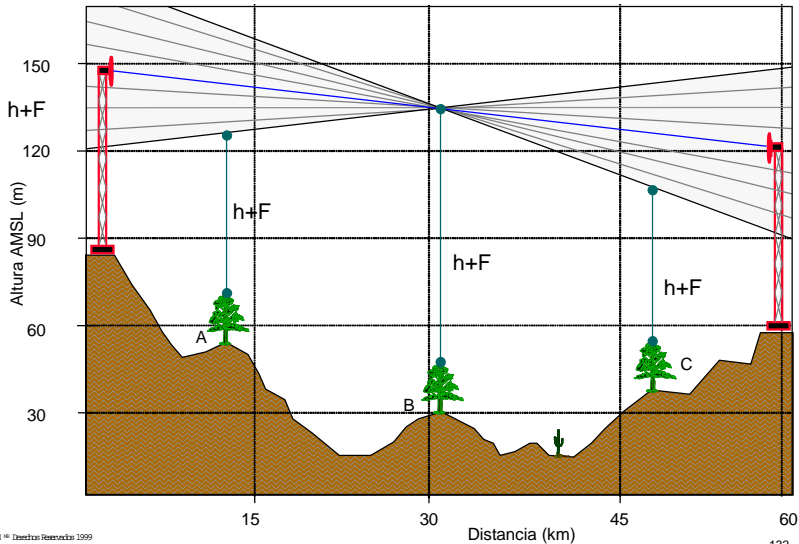
Fuente: Microwave Systems Engineering
Jack Berry

Cálculo de alturas adicionales (ejemplo)

- ✓ Longitud del enlace (D) = 58 km
- ✓ Frecuencia de operación (f) = 6 GHz
- ✓ Factor K = 0.92
- ✓ Margen de la primera zona de Fresnel = 0.6
- ✓ Vegetación + margen de crecimiento = 15.25 m
- ✓ Altura sobre el nivel del mar (AMSL) en metros
- ✓ Altura total sobre el nivel de la tierra (AGL) en metros

Obstáculos	d_1 (km)	d_2 (km)	AMSL (m)	h_m (m)	F_1 (m)	Vegetación (m)	AGL (m)
A	12.06	45.86	50	46.89	13.1	15.25	75.24
B	31.21	26.71	30	71.01	16.15	15.25	102.41
C	48.27	9.65	35	39.62	11.88	15.25	66.67

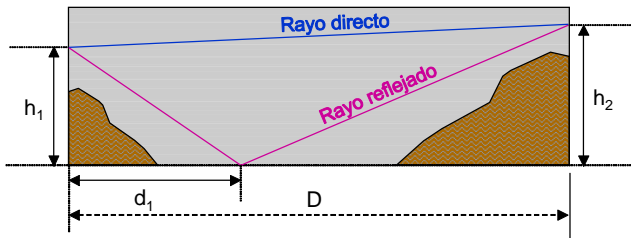
Cálculo de alturas de las torres (ejemplo)



Cálculo del punto de reflexión

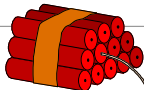
- ✓ Se calcula el punto de reflexión para ajustar su posición mediante variación en las alturas de las antenas, con el fin de que caiga en un punto en donde la energía reflejada se disperse, ya que éste pudiera caer sobre superficies planas o sobre agua, lo que causaría reflexiones
- ✓ El punto de reflexión cae dentro dentro del área que hay entre el factor $K=1$ y $K=\infty$

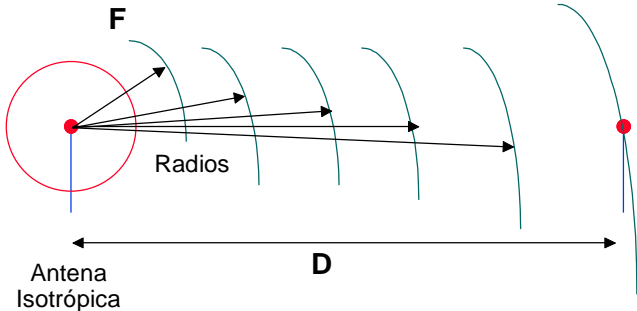
$$d_1 = D \frac{h_1}{h_1 + h_2}$$



- d_1 es la distancia en km a la altura h_1 en metros (AMSL)
- h_1 es la menor altura a partir del centro de línea en metros (AMSL) de uno de los extremos
- h_2 es la mayor altura a partir del centro de línea en m (AMSL) de uno de los extremos
- D es la distancia total del enlace

- ✓ Con base en la distancia y la frecuencia se calculan las **pérdidas en el espacio libre**.
- ✓ Con la altura de las torres y la línea de transmisión seleccionada se calculan las **pérdidas en la línea**.
- ✓ De acuerdo con el **umbral de recepción** especificado por el equipo propuesto y el margen deseado se calcula la **ganancia** de las antenas.
- ✓ El margen de desvanecimiento térmico es la diferencia entre el nivel de recepción calculado y el umbral requerido por el fabricante para garantizar una cierta BER.
- ✓ Se estima la **disponibilidad**
- ✓ Si la disponibilidad obtenida cumple con lo planeado se da el visto bueno al diseño. De lo contrario, se debe regresar a los cálculos y modificar parámetros, con el fin de aumentar el margen de desvanecimiento.

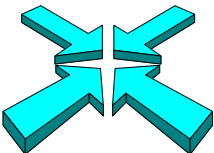
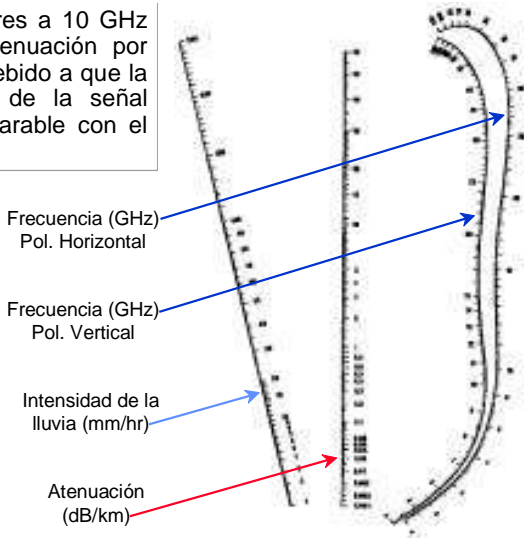




$$FSL_{dB} = 92.45 + 20 \log_{10} F_{GHz} + 20 \log_{10} D_{km}$$

Para enlaces a frecuencias mayores a 10 GHz, se debe de agregar una atenuación por efecto de la **lluvia** y **absorción atmosférica**.

- ✓ A frecuencias mayores a 10 GHz se presenta una atenuación por efecto de la lluvia, debido a que la **longitud de onda** de la señal propagada es comparable con el tamaño de las gotas.



Absorción atmosférica

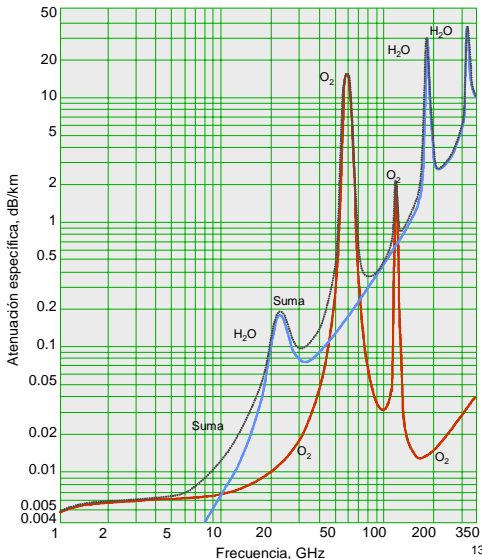
✓ Estas atenuaciones en la señal transmitida se deben principalmente al **oxígeno** y al **vapor de agua** en el ambiente.

Condiciones de las Gráficas

Presión: 1013 mb

Temperatura: 15°

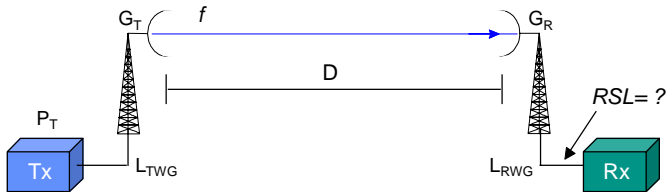
Vapor de agua: 7.5 g/m³



Nivel de entrada en el receptor

✓ Ejemplo del cálculo del nivel de entrada en el receptor:

- $P_T=1W$, $G_T=G_R=28\text{dBi}$, $L_{TWG}=L_{RWG}=3\text{dB}$, $f=1\text{GHz}$, $D=30\text{km}$

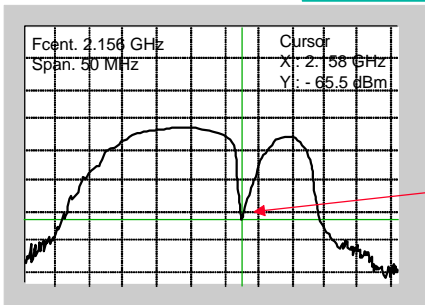


$$RSL_{\text{dBm}} = (P_{T\text{dBm}} - L_{TxWG\text{dB}} + G_{T\text{dB}}) - FSL_{\text{dB}} + (G_{R\text{dB}} - L_{RxWG\text{dB}})$$

En este cálculo no se consideran las pérdidas atmosféricas, atenuación por lluvia, ni atenuaciones adicionales (radome, conectores, etc.).

RSL= Receive Signal Level

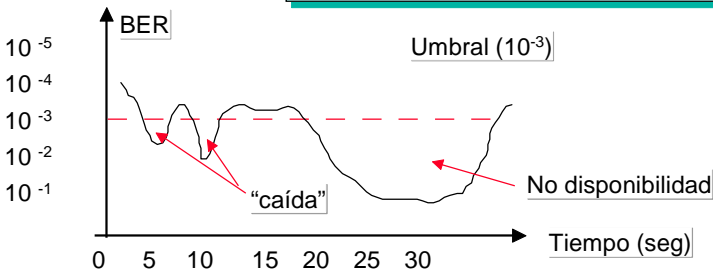
Desvanecimiento selectivo



Espectro de la señal
RF recibida

- ✓ Consiste en una disminución fuerte del nivel de la señal, a una frecuencia determinada, o para un pequeño rango de frecuencias.
- ✓ Esta “muesca” provoca una pérdida irremediable de información.
- ✓ Este fenómeno sólo afecta a los radios digitales.
- ✓ Este fenómeno no se presenta por igual a todas las frecuencias, de ahí la característica de selectivo.
- ✓ Se debe a la característica de multitrayectoria.

Disponibilidad del radioenlace



- ✓ Las caídas (*outage*) se dan cuando la calidad del radioenlace decrece por debajo del umbral establecido por un tiempo corto.
- ✓ La *no disponibilidad* se considera cuando la condición anterior se da por tiempos mayores a 10 segundos.
- ✓ El umbral típicamente establece una tasa de error, pero también la ausencia de señal o las fallas en el equipo provocarán las condiciones anteriores.
- ✓ Se puede corregir por métodos de diversidad.

✓ Espacio

- Uso eficiente del espectro
- La mejora que se tiene en el desempeño es mayor
- Requiere de una torre más fuerte
- Requiere de dos antenas y sus feeders correspondientes
- Se dificulta tener además redundancia de equipo

✓ Frecuencia

- Una sola antena y feeder
- Equivale a la redundancia de equipo en Hot Stand By
- Sin embargo requiere dos canales de RF

✓ Ángulo

- Es similar a diversidad de espacio
- Requiere sólo una antena y dos feeders
- Se usa sólo en radios digitales

