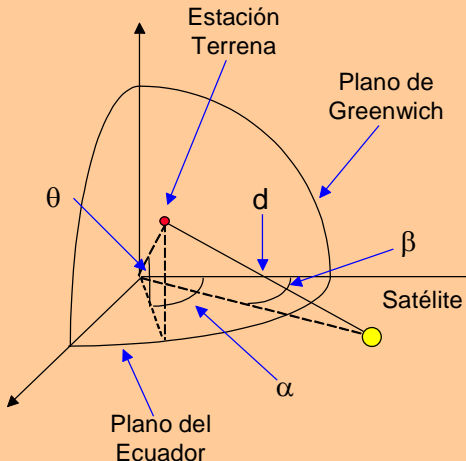


- Propagación de ondas electromagnéticas
- Modulación
- Métodos de corrección de errores
- Aspectos regulatorios en radioenlaces
- Estructura del radio digital
- Diseño de un radioenlace
- Nuevas aplicaciones con radioenlaces
- Funcionamiento y estructura del satélite
- Técnicas de acceso múltiple
-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

- ✓ Geometría del enlace
- ✓ Atenuaciones y fórmulas
- ✓ Efectos de la lluvia
- ✓ Cálculos y consideraciones en transmisión y recepción
- ✓ Fuentes de ruido
- ✓ Evaluación del enlace

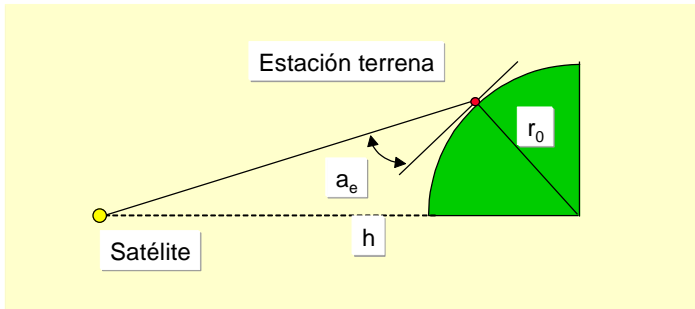


✓ Datos necesarios

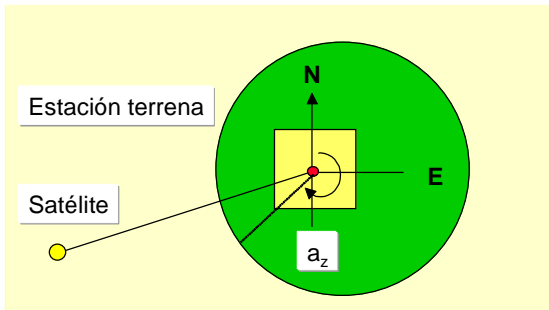
- (α) .- Longitud estación terrena
- (β) .- Longitud satélite
- (θ) .- Latitud estación terrena

✓ Cálculos

- (d) .- Distancia
- (a_e) .- Ángulo de elevación
- (a_z) .- Azimuth



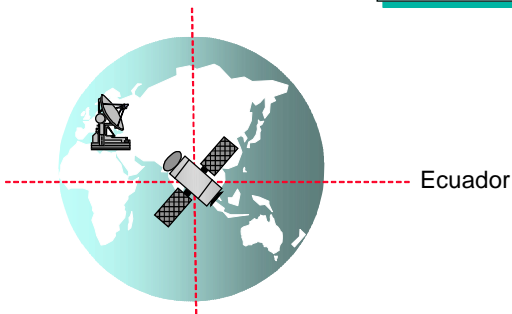
- ✓ Es el ángulo formado entre la recta que une a la estación terrestre y al satélite y una horizontal que es tangente a la tierra en el punto de la estación terrestre.
- ✓ En la gráfica se muestra el plano que une a la estación terrestre con el satélite.



- ✓ Es el ángulo que se gira para orientar la antena hacia el satélite en el eje norte-sur, en el plano tangente a la tierra en la estación terrena.

- ✓ Paso 1.- Se calcula el ángulo z
 - $z = \text{Cos}^{-1} [\text{Cos } \theta \text{ Cos } (\alpha - \beta)]$
- ✓ Paso 2.- Se calcula la distancia d
 - $d = [r_0^2 + (h + r_0)^2 - 2r_0 (h + r_0) \text{Cos } z]^{1/2}$
 - Donde $r_0 = 6,378 \text{ km}$ y $h = 35,786 \text{ km}$
- ✓ Paso 3.- Se calcula el ángulo de elevación a_e
 - $a_e = \text{Cos}^{-1} [(d^2 - h^2 - 2hr_0) / (2dr_0)] - 90^\circ$
- ✓ Paso 4.- Se calcula el azimuth a_z
 - $a_z = \text{Cos}^{-1} [\text{Tan } \theta \text{ Cot } z]$
 - El azimuth se debe de corregir en función de la ubicación de la estación terrena con respecto del satélite.





**Posición de la estación
hemisferio / satélite**

Sur / al Oeste

Sur / al Este

Norte / al Oeste

Norte / al Este

**Corrección
en azimuth**

Ninguna

$360^\circ - a_z$

$180^\circ - a_z$

$180^\circ + a_z$

- ✓ Depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre el satélite y la estación terrena.
- ✓ Se calcula con la misma expresión que se usa en enlaces de microondas terrestres.

$$FSL = 92.44 + 20 \log (D_{km}) + 20 \log (F_{GHz})$$

- ✓ Se deben principalmente al efecto del vapor de agua y del oxígeno presentes en la atmósfera.
- ✓ La altura sobre el nivel medio del mar modifica otros factores que influyen como: la presión (en atmósferas) y la temperatura (en °C).
- ✓ Se incrementan con la frecuencia.
 - Despreciables a menos de 10 GHz.
- ✓ Disminuye su efecto al aumentar el ángulo de elevación.
- ✓ La estimación de la atenuación se obtiene de diversas gráficas.

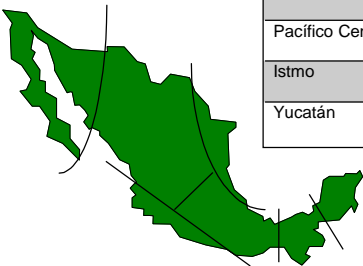


Atenuación por lluvia para México

Para Banda Ku Satélites Solidaridad 1 y 2



Zona Hidrometeorológica		Confiabilidad 99.5 % (dB)	Confiabilidad 99.8 % (dB)	Confiabilidad 99.9 % (dB)
Nor Occidente	Tx	1.50	3.00	3.50
	Rx	0.00	1.00	1.50
Norte Centro	Tx	0.00	1.00	1.30
	Rx	0.00	0.00	0.00
Golfo Norte	Tx	3.60	6.80	9.20
	Rx	1.60	4.80	7.20
Centro	Tx	2.20	4.20	6.30
	Rx	0.20	2.20	4.30
Pacífico Centro	Tx	3.60	5.90	8.50
	Rx	1.60	3.90	6.50
Istmo	Tx	2.50	5.80	8.20
	Rx	0.50	3.80	6.20
Yucatán	Tx	2.90	6.00	8.90
	Rx	0.90	4.00	6.90

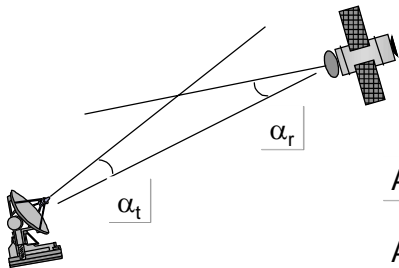


✓ Deslumbramiento troposférico (Scintillation)

- Consiste en fluctuaciones en el nivel de la señal recibida. Es mayor con altas frecuencias, ángulos de elevación pequeños y antenas con ganancias pequeñas. Es mayor en verano que en invierno y en regiones tropicales. Por ejemplo, con $\theta=10^\circ$, a una frecuencia de 20 GHz y en lugares templados la variación puede ser de ± 1 dB en promedio.

✓ Efecto de la atmósfera sobre la polarización

- Rotación del plano de polarización debido a que la ionósfera es un plasma bajo un campo magnético en donde las componentes del campo eléctrico no viajan a la misma velocidad. Esto obliga a frecuencias alrededor de 1 GHz a usar polarización circular. Entre 2 y 3 GHz se puede usar polarización lineal. Arriba de 10 GHz se desprecia este efecto.
- Generación de energía en una polarización ortogonal a la original debido a la atmósfera no ionizada. Se conoce como depolarización. Más información en los Reportes 722 y 564 del ITU-R.

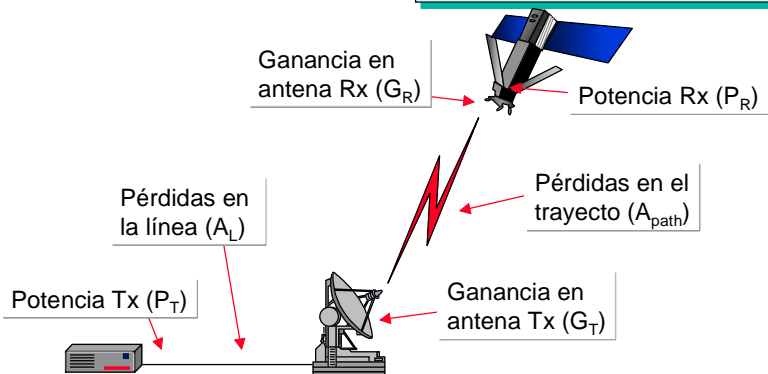


$$A_{dTx} = 12 [\alpha_t / \theta_{3dB}]^2 \text{ (dB)}$$

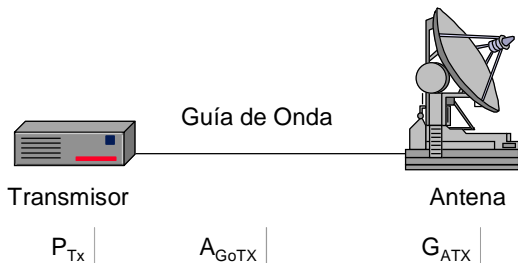
$$A_{dRx} = 12 [\alpha_r / \theta_{3dB}]^2 \text{ (dB)}$$

- ✓ El desalineamiento es mínimo en satélites geoestacionarios.
- ✓ Existe el desalineamiento mecánico (que se ilustra en la figura) y además las pérdidas por desacoplamiento en la polarización.
- ✓ Normalmente se considera un máximo de 3 dB para estas pérdidas.

Cálculo del enlace de subida



- ✓ Cálculos idénticos para el enlace de bajada.
- ✓ La atenuación en el trayecto se compone de varios elementos.

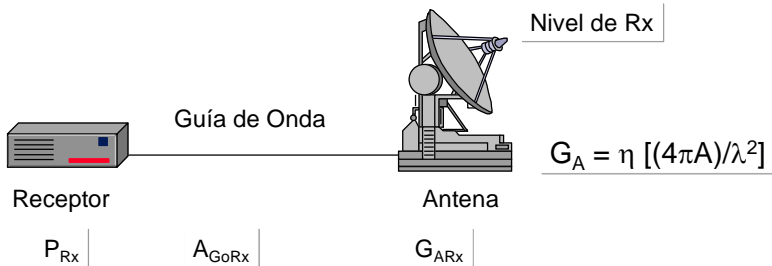


PIRE

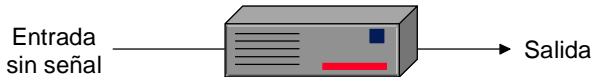
$$G_A = \eta [(4\pi A)/\lambda^2]$$

η típico entre 0.6 y 0.8

- ✓ PIRE, Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.
- ✓ $PIRE = P_{TX} - A_{Go} + G_A$; expresada en dBW.
- ✓ La ganancia de la antena es directamente proporcional a sus dimensiones e inversamente a la frecuencia de operación. Por ello, a frecuencias más altas se requieren antenas menores para obtener la misma ganancia.



- ✓ El nivel recibido es sumamente bajo (-154 a -188 dBW).
- ✓ Es importante que el receptor cuente con un ruido propio bajo.
- ✓ También se usan preamplificadores directamente en la antena (LNA, *Low Noise Amplifier*)



Potencia del ruido de salida = N

$$N = kTB$$

donde:

k constante de Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/°K

T Temperatura en °K

B Ancho de banda en Hz

- ✓ La temperatura de ruido equivalente (T_e) es aquella a la que un elemento pasivo debería de estar para producir la misma potencia que el elemento activo que no tiene señal a su entrada.

$$\text{Figura de Ruido } (n_f) = 1 + (T_e/T_0) ; T_0 = 290^\circ\text{K}$$

$$\text{Factor de Ruido } (NF) = 10 \log_{10} (n_f)$$

✓ Tres componentes

- Ruido del receptor. Principalmente ruido térmico
- Ruido captado por la antena. Disminuye al aumentar el ángulo de elevación. Es diferente para la antena del Satélite y para la antena de estación terrena.
- Ruido por la atenuación de la guía de onda

✓ Se debe considerar una temperatura equivalente de todo el sistema para los cálculos

- $T_{\text{sistema}} = T_{\text{receptor}} + T_{\text{antena}} + T_{\text{guía}}$

✓ Temperatura del receptor

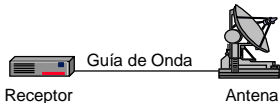
- Dato del fabricante (NF o n_r)

✓ Temperatura de la antena y de la guía de onda

- $T_{\text{antena} + \text{guía}} = [(I_{\text{guía}} - 1)290 + T_{\text{cielo}}] / I_{\text{guía}}$ donde
- $I_{\text{guía}} = \log^{-1}_{10} (L_{\text{guía}} / 10)$ y
- $L_{\text{guía}}$ es la suma (en dB) de todas las pérdidas entre la antena y el receptor. (Guía de onda, conectores, acopladores direccionales, circuladores, etc.)
- La temperatura de ruido del cielo (T_{cielo}) depende de la frecuencia, del ángulo de elevación, de la temperatura ambiental, de la concentración de vapor de agua y de la presión. Se puede de obtener de gráficas.

✓ Factor de mérito

- $G/T = G_{\text{antena}} - 10 \log_{10} (T_{\text{sistema}})$; Ganancia en dB, T en °K



- ✓ C/N_0 .- Es la relación entre la potencia recibida y la potencia de ruido con un ancho de banda de 1 Hz.
- ✓ $C/N_0 = \text{PIRE} - \text{FSL}_{\text{dB}} + G/T_{\text{dB}/^\circ\text{K}} - K_{\text{dBW}} - \mu\text{dB} - (\text{otras pérdidas})$
- ✓ C/N .- Es la Relación entre la potencia de la portadora y la potencia del ruido normalizada al ancho de banda utilizado.
- ✓ $C/N = C/N_0 - 10\log\text{BW}$
- ✓ En comunicaciones digitales usamos la expresión E_b/N_0 , la cual se especifica para garantizar una cierta tasa de error (BER).
- ✓ En este caso, el valor de E_b/N_0 depende del tipo de modulación digital y se puede mejorar empleando técnicas para corregir errores como el FEC.
- ✓ Este valor se fija por el fabricante o diseñador de la red, y es básico para la evaluación del enlace al efectuar los cálculos.



- ✓ Se calcula C/N ascendente y descendente
- ✓ Se calculan (con base en tablas) otras interferencias producidas por:
 - Intermodulación
 - Polarización cruzada
 - Satélites adyacentes
- ✓ Se calcula la C/N total del sistema (ascendente y descendente)
- ✓ Se determina la C/N requerida
$$C/N_{REQ} = E_b/N_o + 10 \log V_{inf} - 10 \log BW$$
- ✓ Se obtiene el margen del enlace, el cual deberá ser mayor que 1.
$$ME = C/N_{TOT SIST} - C/N_{REQ}$$

Resumen del cálculo de enlace

Cálculo de la Geometría del Enlace

- Elevación
- Azimut (corrección)
- Distancia

Cálculo de las Pérdidas en el Trayecto

- FSL
- Atenuación por lluvia
- Otras Pérdidas

Obtención del Factor de Mérito

- G/T para la estación terrena y del satélite

Cálculo de C/No y C/N

- Ascendente
- Descendente
- Total del Sistema

Evaluación del Enlace