

# Sistemas de comunicaciones por satélite. Descripción general.

Diego Méndez Romero

Universidad Carlos III de Madrid

Curso 2018-2019

# Índice

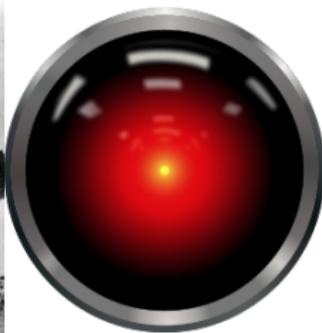
- 1 Historia
- 2 Estructura general
  - Esquema general
  - Estación terrena
  - Canal
  - Satélite
  - Centro de control
- 3 Caracterización del sistema
  - Factores
  - Órbita
  - Cobertura

# Índice

- 4 Fenómenos adicionales
  - Productos de Intermodulación
  - Ruido térmico
  - Atenuación por llluvias
  
- 5 Diseño enlace por satélite

## Algunas preguntas históricas

- ¿Qué país construyó el primer artefacto capaz de salir de la atmósfera terrestre (altura  $> 100$  km)?
- ¿Qué escritor de ciencia ficción propuso usar satélites geoestacionarios para telecomunicaciones?
- ¿Para qué fuimos a la Luna?
- ¿Qué diferencia hay entre lo terrenal y lo terreno?



## Un poco de historia

- 1957: Primer satélite artificial (SPUTNIK1 - URSS). Inauguró comunicaciones tierra-espacio
- 1958: SCORE (EEUU)
- 1960: ECHO. Satélite pasivo de telecomunicaciones
- 1962: TELSTAR. Satélite activo de baja altitud
- 1963-64: SYNCOM. Satélite en órbita geoestacionaria.
- 1965: INTELSAT I. Se inicia la fase de explotación de las radiocomunicaciones por satélite. Consorcio INTELSAT
- 1977: EUTELSAT
- INMARSAT, GLOBALSTAR, METEOSAT, HISPASAT

## Ejemplo ilustrativo de satélites



SPUTNIK1 (1957)



SCORE (1958)



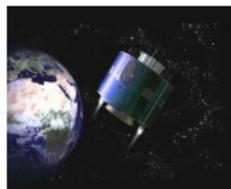
TELSTAR 1 (1962)



SYNCOM 3 (1963)



GLOBALSTAR

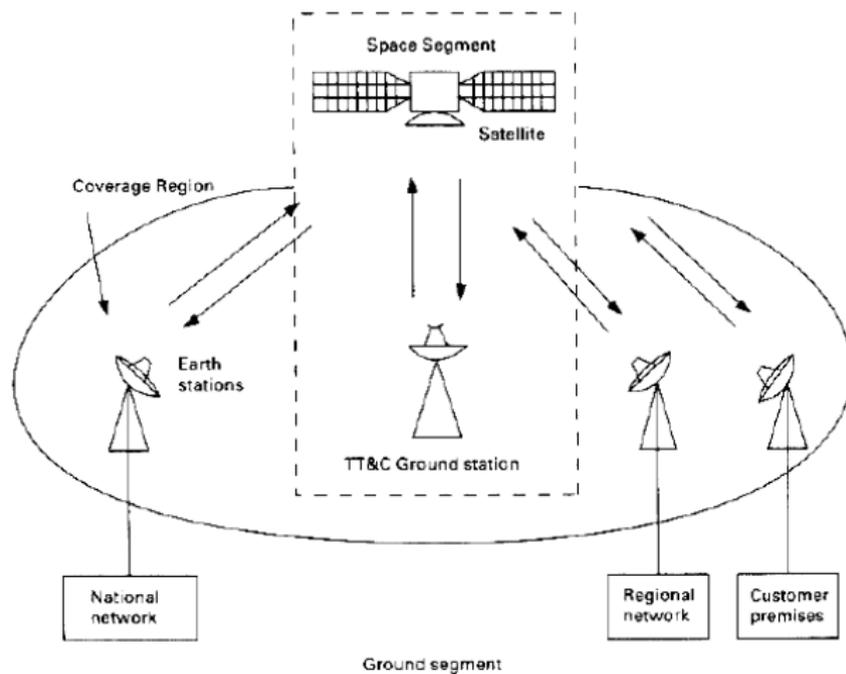


METEOSAT

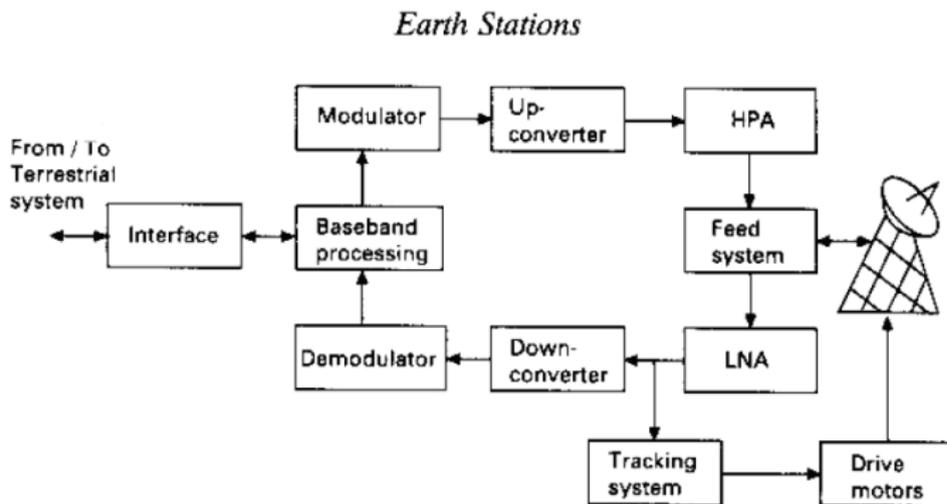


HISPASAT

# Esquema general



# Estación terrena TX/RX



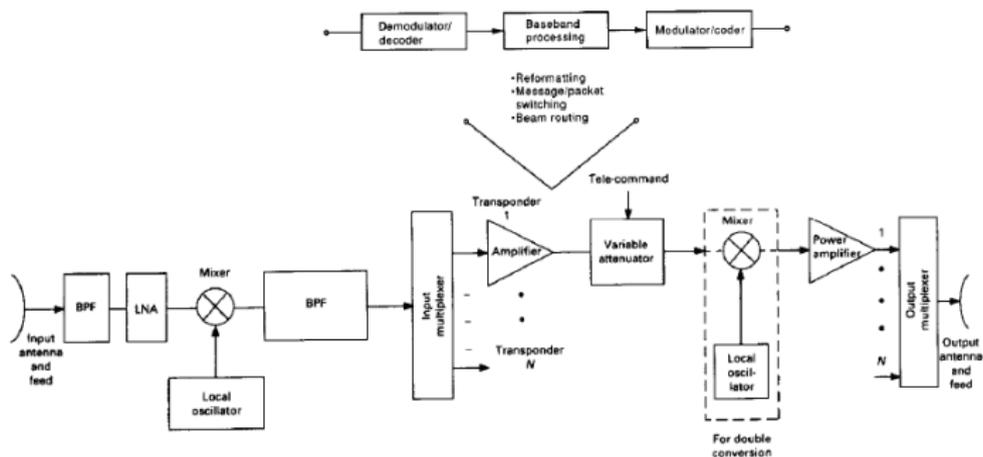
## Estación terrena TX/RX

- Características ideales en TX
  - Económicas
  - Antenas de pequeño diámetro
  - Transmisores de baja potencia
- Características ideales en RX
  - Amplificadores de bajo ruido

## Canal de comunicaciones

- Dos enlaces similares: Downlink y Uplink
- Propagación por espacio libre
  - Múltiples condiciones del canal de propagación
    - Diferentes estratos
  - Diferentes condiciones atmosféricas
    - Despejado, nublado, lluvia
  - Retardos de propagación elevados
    - Compensadores de eco

# Satélite



# Satélite

- Dos módulos
  - Comunicaciones
    - Dar servicios al usuario: telefonía, vídeo, etc
  - Servicio
    - Gestión del satélite
- Transpondedor
  - Conversión de una señal para adaptarla a un medio
  - Dos puntos de vista
    - Todo el sistema desde recepción a transmisión
    - Solo amplificador dedicado
  - Puede incluir cambios de frecuencia, de codificación, etc
  - Operación configurable en función del estado del canal
- Redundancia de equipos
- Alimentación mediante paneles solares y baterías

## Subsistema de comunicaciones

- Funciones principales
  - Conversión de frecuencia de las señales
    - Mezclador → frecuencia del oscilador es la diferencia entre la de entrada y salida
    - Se implementa un LNA común para todas las antenas
    - Para frecuencias altas (Banda Ka), doble conversión de frecuencia
  - Amplificación de las señales
    - Uso de amplificadores no lineales en las etapas de potencia
    - Se subdivide la banda de frecuencias en canales (transponders) mediante un multiplexor
      - Un amplificador por cada transponder
      - Ancho de banda: 27 MHz, 36 MHz, 46 MHz, 54 MHz, 72 MHz
    - Después se recombinan las señales

## Centro de control

- Telecontrol y teledatada del satélite
- Pruebas periódicas en órbita de parámetros principales del satélite
- Supervisión de la calidad y características de las señales emitidas

# Factores

- Órbita
  - Geoestacionaria (servicio fijo, radiodifusión)
  - MEO (Medium Earth Orbit), LEO (Low Earth Orbit)
    - Mayor número de satélites para una misma cobertura
    - Comunicaciones móviles por satélite
- Cobertura de los satélites geoestacionarios
  - Depende del tipo y anchura del haz
    - Haz global: 1/3 superficie terrestre
    - Haz perfilado (*Shaped beam*): un país, archipiélago, etc.
    - Haz puntual (*Spot beam*): 1° de ángulo cubre una superficie de 800 Km<sup>2</sup> (país o una región limitada, un gran área urbana, etc.)

# Factores

- Conectividad
  - Posibilidad de enlace entre múltiples estaciones
- Multiacceso
  - FDMA, TDMA, CDMA, PAMA, DAMA, etc.
- Ancho de banda
  - Limitado y compartido con radioenlaces terrenales
  - Bandas C (4-8 GHz), Ku (12-18 GHz) y Ka (26,5-40 GHz)
  - Reutilización intensa con separación espacial y de polarización
- Potencia
  - PIRE en función del tipo de servicio y capacidad
  - Limitada por interferencias en radioenlaces terrestres

# Órbita

- Un satélite se mantiene en órbita por la acción de la fuerza gravitacional, que actúa como fuerza centrípeta

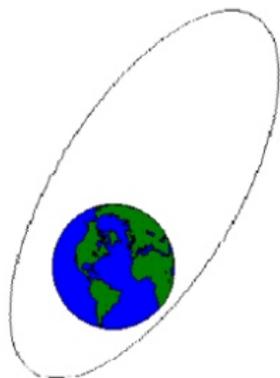


# Órbita Geostacionaria

- Gira en torno a la tierra en el plano ecuatorial a la misma velocidad y mismo sentido
- Sólo existe una órbita geostacionaria terrestre
- Ventajas
  - Tecnología desarrollada y probada
  - Cobertura de zonas pobladas
  - Estabilidad de la señal
- Inconvenientes
  - Pérdidas y retardo elevados ( $d_{SAT} \approx 36000km$ )
  - No cubre zonas polares
  - Eclipses (carga) y interferencias solares

## Otras órbitas

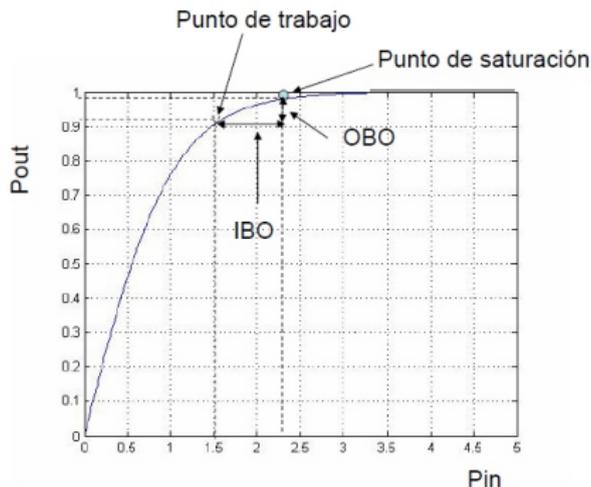
- Órbitas más cercanas con menos pérdidas (LEO, MEO)
- Órbitas elípticas para zonas polares o particulares (MOLNYA, TUNDRA)





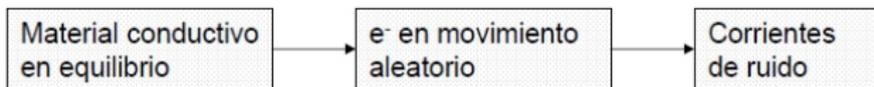
## Productos de intermodulación

- Márgenes de potencia en recepción (IBO) y transmisión (OBO) del satélite para evitar los productos de intermodulación que aparecen al trabajar en la zona de saturación

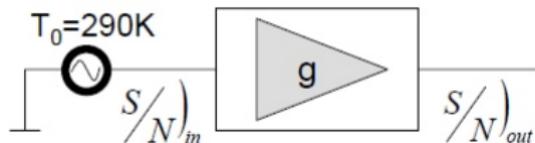


## Ruido térmico

- Debido a la agitación térmica de los electrones
- Aumenta linealmente con la temperatura absoluta
- Uniformemente distribuido en la frecuencia
- Sigue la ley de Planck:  $n = k \cdot T \cdot b$



## Factor de ruido



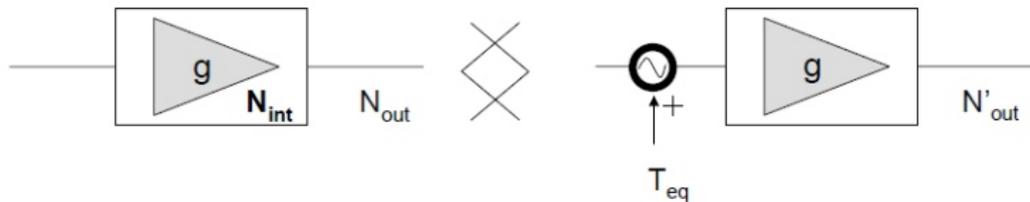
$$f = \frac{(S/N)_i}{(S/N)_o} = \frac{s_{in}/n_{in}}{s_{in}g/(n_{in}g + n_{int})} = \frac{n_{in}g + n_{int}}{n_{in}g}$$

$$n_{int} = n_{in}g(f - 1) \xrightarrow{n_m = kT_0b} n_{int} = kT_0bg(f - 1)$$

$$n_{out} = n_{in}g + n_{int} = kT_0fbg$$

F(figura de ruido) =  $10 * \log(f \text{ (factor de ruido)})$

## Temperatura equivalente



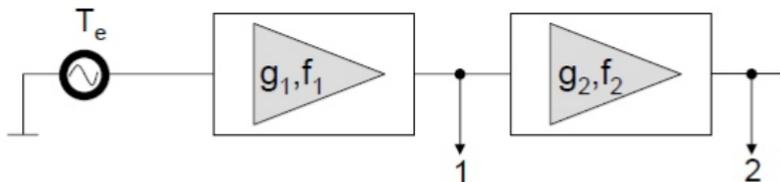
$$\left. \begin{aligned} n_{out} &= n_{in}g + n_{int} \\ n'_{out} &= (n_{in} + kT_{eq}b)g \end{aligned} \right\} n_{out} = n'_{out} \Rightarrow n_{int} = kT_{eq}bg$$

$$n_{int} = kT_0bg(f - 1) = kT_{eq}bg$$

$$T_{eq} = T_0(f - 1)$$

$$f = \frac{T_{eq}}{T_0} + 1$$

## Temperatura equivalente



$$n_1 = n_{in}g_1 + n_{int1} = kT_ebg_1 + kT_0bg_1(f_1 - 1)$$

$$n_2 = n_1g_2 + n_{int2} = (kT_ebg_1 + kT_0bg_1(f_1 - 1))g_2 + kT_0bg_2(f_2 - 1)$$

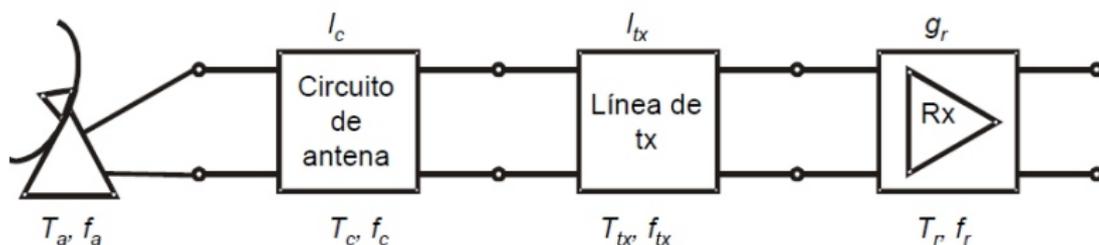
...

$$n_{out} = kT_0f_{SISTEMA}bg = kT_{eqTOTAL}bg$$

$$f_{SISTEMA} = \frac{T_e}{T_0} + (f_1 - 1) + (f_2 - 1)\frac{1}{g_1} + (f_3 - 1)\frac{1}{g_1g_2} + \dots$$

$$T_{eqTOTAL} = T_e + T_{eq1} + T_{eq2}\frac{1}{g_1} + T_{eq3}\frac{1}{g_1g_2} + \dots$$

## Temperatura equivalente



$$T_{eqTOTAL} = T_a + T_c(l_c - 1) + T_{tx}(l_{tx} - 1)l_c + T_0(f_r - 1)l_c l_{tx}$$

- $N = kT_{eqTotal}B$
- Nota: La figura de ruido de un atenuador es igual al factor de atenuación  $f = l$

# Atenuación por llluvias

- Añadir margen de seguridad frente a llluvias
- Protección durante un porcentaje de tiempo
- Modelo UIT-R
  - Atenuación  $A(R) = \gamma(R) \cdot L_{ef}$
  - R [mm/h]  $\rightarrow$  Intensidad de llluvia
    - Función de la zona geográfica y la probabilidad
  - $\gamma \rightarrow$  Atenuación específica
    - R
    - Frecuencia
    - Polarización
  - $L_{ef} \rightarrow$  Longitud efectiva con pérdidas

## Intensidad de lluvia

Intensidad de lluvia R (mm/h)												
Porcentaje	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
1.0	-	1	-	3	1	2	-	-	-	2	-	4
0.3	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120

## Atenuación específica

$$\gamma(R) = k \cdot R^\alpha$$

Frecuencia (GHz)	$k_H$	$k_V$	$\alpha_H$	$\alpha_V$
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744



## Longitud efectiva

- Altura efectiva de lluvia

- Depende de la latitud  $\varphi$

- $$h_R = \begin{cases} 3.0 + 0.028\varphi & 0 \leq \varphi \leq 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\varphi - 36) & \varphi \geq 36^\circ \end{cases}$$

- Longitud del trayecto oblicuo

- $$D = \frac{h_R - h_S}{\sin(\theta)}$$

- Proyección horizontal

- $$D_G = D \cos(\theta)$$

- Factor de ajuste

- $$r(p) = \frac{1}{1 + D_G / (35 \exp(-0.015 R_p))}$$

- $$L_{ef} = D_G \cdot r(p)$$

## Cálculos de enlace

- Caracterización en transmisión

$$pire(W) = p_t(W) \cdot g_t$$

$$PIRE(dBW) = P_T(dBW) + G_T(dBi)$$

- Densidad de potencia

$$\Phi(W/m^2) = \frac{p_t \cdot g_t}{4\pi d^2} = \frac{PIRE}{4\pi d^2}$$

- Atenuación total

$$A_T = A_{lluvias} + A_{Pathloss}$$

- Potencia recibida

$$P_R(dBm) = PIRE(dBm) + G_R(dB) - A_T(dB)$$

## Balace de enlace

- Balance en general

$$\frac{C}{N_0}(dB) = PIRE(dBW) + \frac{G_R}{T_{eqTotal}}(dB) - A_T - 10\log(k)$$

- Balance ascendente

$$\frac{C}{N_0}(dB) = PIRE_T(dBW) - IBO + \frac{G_R}{T_{eqS}}(dB) - A_T - 10\log(k)$$

- Balance descendente

$$\frac{C}{N_0}(dB) = PIRE_S(dBW) - OBO + \frac{G_R}{T_{eqT}}(dB) - A_T - 10\log(k)$$

- Considerando ancho de banda del ruido

$$\frac{C}{N}(dB) = \frac{C}{N_0}(dB) - 10\log(B(Hz))$$

- k Constante de Boltzman =  $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ w/k}$