Introducción a las comunicaciones vía satélite

1ra Clase

Ing. Marcial Antonio López Tafur

Enero 2011

Temario

1. **Introducción a las comunicaciones satelitales**
2. **Unidades de medida**
3. **Componentes del satélite**
4. **Componentes de la estación terrena**
5. **Sistema de seguimiento de una antena**
6. **Amplificadores de potencia y de bajo ruido**
7. **Conversores de frecuencia**
8. **Presupuesto de niveles**

2

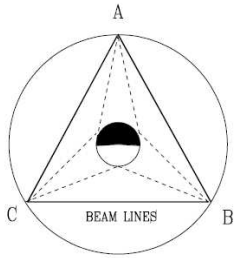
Objetivo de las Comunicaciones Satelitales y sus escenarios de implementación

- Las telecomunicaciones hacen posible ahora que una persona pueda comunicar con otras en cualquier momento y en cualquier lugar. Los satélites artificiales de comunicaciones han sido usados desde hacer mas de 39 años, y se han convertido como parte principal de la infraestructura de comunicaciones a nivel mundial.
- Las comunicaciones satelitales son llevadas a cabo por los satélites de comunicaciones.
- Los satélites son repetidores localizados fuera de la atmósfera terrestre como un medio para las comunicaciones a larga distancia.

3

Tipo de órbitas

Arthur Clark propuso en 1945, que la tierra podría ser cubierta completamente por tres satélites estacionarios.



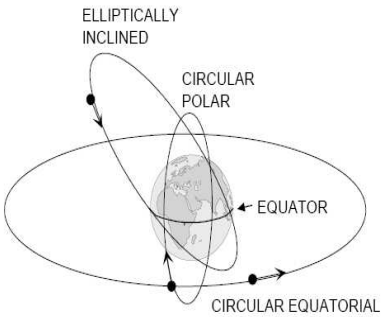
4

Tres órbitas básicas

- Polar
- Inclinada
- Ecuatorial

5

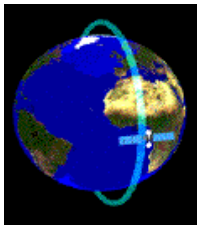
Las tres órbitas básicas

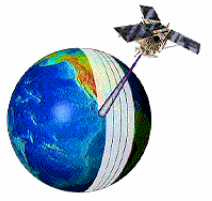


6

Orbita polar

Es un tipo particular de onda baja. Su diferencia es que viaja de norte a sur en vez de este a Oeste.
Son útiles para ver la superficie de la tierra. Conforme el satélite da la vuelta, la tierra va girando, y el satélite puede ir observando toda la tierra (como pelando una naranja).
Su usos es en satélites de sensado remoto y de climatología.

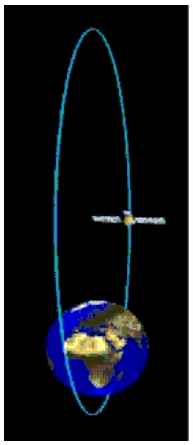




7

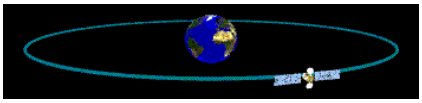
Orbita elíptica inclinada

Un satélite en orbita elíptica sigue una trayectoria oval. Una parte esta mas cercana a la tierra (perigeo) y otra mas lejos (apogeo). Un satélite en esta orbita toma 12 horas en circular al plante. Como la orbitas polares, se mueve de norte a sur.



8

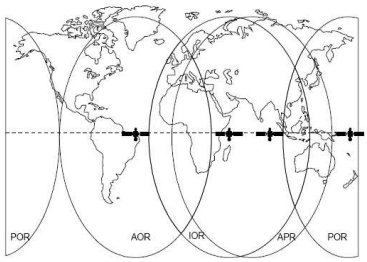
Orbita Circular ecuatorial (geoestacionaria)



Un satélite en orbita geosíncrona ecuatorial, esta localizado directamente sobre el ecuador, a 36,000 kilómetros. A esa distancia le toma 24 horas en circular al planeta. El satélite al girar con la tierra, tiene una apariencia de estacionario, en un punto del espacio.

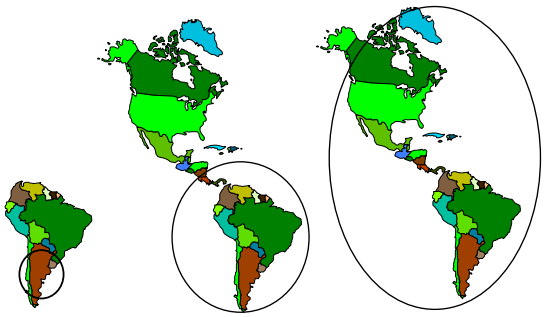
9

Pisada de un satélite (footprint)



10

Tipo de pisadas de un satélite (footprint)



Pincel Zonal Hemisférico

11

Posicionamiento

Un satélite debe mantenerse en posición par el tiempo de vida útil requerido (típicamente 10 a 15 años).
Este posicionamiento es regularmente corregido entre +/- 0.1º Para extender la vida el los satélites, las correcciones debe ser hechas menos frecuentemente.

12

Bandas de frecuencias satelitales

C-band (GHz)
Receive:
- 3.7-4.2 Standard
- 3.4-4.2 Extended
- 4.5-4.8 India

Transmit:
- 5.925-6.425 Standard
- 5.850-6.350 Brazil
- 6.725-7.025 Insat

Ku-band (GHz)
Receive:
- 11.7-12.2 NA
- 12.25-12.75 Aus
- 10.95-11.7 EC
- 12.2 12.7 DBS
- 11.2-11.7 Intelsat

Transmit:
- 14-14.5 Standard
- 13.75-14.5 Extended

Ka/Ka-band (GHz)
Receive:
- 18.2-19.2 A
- 19.2-20.2 B
- 20.2-21.2 C
- 21.2-22.2 D

Transmit:
- 29.5-30.0

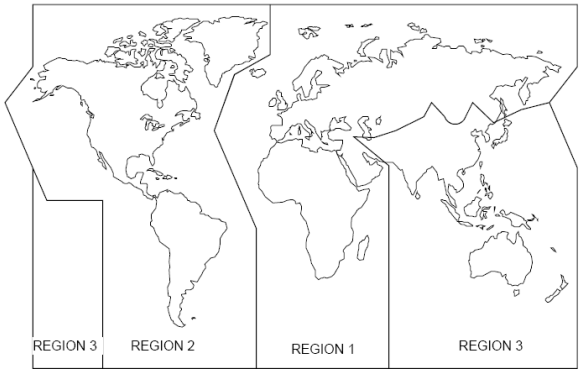
Ku/Ka-band (GHz)
Receive:
- 10.95-12.7

Transmit:
- 29.5-30.0

Other bands
- L-band: 800-1800 MHz
- S-band: 2-3 GHz
- V-band: 30-40 GHz

13

Carta de regiones definida por la ITU-R para bajada de banda Ku



14

Pérdida de trayectoria

La pérdida total de la trayectoria para satélites geoestacionarios depende de la distancia y la frecuencia de operación, pero es del orden de 200 dB en la banda C y de 206 dB en la banda Ku.

15

Arquitectura de un Satelite

16

2.0 Unidades de medida

Decibelios: dBm, dBW, dBr, dBmO, dBmOp, G/T, Eb/No

dB
El decibelio

El decibelio es una subunidad del bel (B) y representa la relación entre dos potencias de tal manera que:

$dB = 10 \text{ Log10} (P_0/P_1)$

donde:

Log10 = logaritmo en base 10

P_0 = Potencia de salida del dispositivo bajo medida (p.e amplifcador)

P_1= Potencia de entrada del dispositivo bajo medida

18

dBm

Esta subunidad, es un dB, en el cual la potencia P_1 se reemplaza por el valor referencial de 1 mW. Entonces tenemos:

$dBm = 10 \, Log_{10} (P_0/1mW)$

dBW

Esta subunidad, es un dB, en el cual la potencia P1 se reemplaza por el valor referencial de 1 W. Entonces tenemos:

$dBW = 10 \, Log10 (P_0/_1W)$

19

dBr

Es la relación de potencia expresada en dB, entre un determinado punto y un punto de referencia. Cualquier potencia en dBr no especifica el nivel de referencia absoluto. Esta es una unidad de medida relativa.

dBm0

Es la potencia en dBm referida al punto de nivel cero de transmisión, también llamado 0 dBr0.

20

Unidades especiales: dBK, dBHz

El concepto del decibelio se extiende para permitir que la relación entre dos cantidades similares pueda ser expresada en esta unidad.

21

dBK

Por ejemplo, la relación de dos temperaturas T_1 y T_2 puede ser expresadas como:

$$dB = 10 \, Log_{10} (T_1/T_2)$$

Si la temperatura es referida a un grado kelvin (1º), la temperatura en Kelvin expresada en decibelios deberá estar dada como dBK.

dBHz

Otra situación que ocurre en la práctica, es el ancho de banda referido a 1 Hz.

22

Relación entre diferentes tipos de razones

Algunas veces se relacionan diferentes tipos de ratios. Un buen ejemplo es la relación G/T, en un sistema de recepción. Expresada en unidades de decibelios, esto es:

$$G/T_{dB/K} = G_{dBi} - T_{dBK}$$

La unidad para el factor G/T, es el dB/ºK que es el decibelio relativo a 1º Kelvin.

23

Relación E_b/N_0

La relación E_b/N_0 llamada relación Energía por bit/densidad de ruido espectral y es expresada en dB. Este término es usada comúnmente para evaluar la performace de los modems digitales

24

Relación Eb/N_0

Esta relación esta definida por:

- $Eb_{dB/Hz}/No_{dB/Hz} = C_{dbW}/ No_{dB-Hz} - 10 \log (Vtx)_{dB-Hz}$
- Donde:
- $Eb_{dB/Hz}/No_{dB/Hz}$ = energía por bit referida a la velocidad de transmisión
- $Eb_{dB/Hz}/No_{dB/Hz}$= densidad espectral de ruido
- C_{dbW} = potencia de portadora

Esta razón relaciona velocidad de transmisión, hertz y vatios y puede ser fácilmente manejada usando decibelios.

25

EIRP (PIRE)

El **EIRP** (**E**ffective **I**sotropically **R**adiated **P**ower) o PIRE es una herramienta usada para describir la performance de un sistema de transmisión de radio.

Cuando se considera la potencia radiada en una dirección particular de una antena, la EIRP es la potencia que seria necesaria alimentar a una antena isotrópica para lograr la misma potencia de señal en dicha dirección.

26

EIRP (PIRE)

Hay tres elementos básicos en un sistema:

- un transmisor con cierta potencia de salida
- una antena con una determinada ganancia
- una línea de transmisión que conecta al transmisor con la antena
- Los conectores también se pueden considerar

27

EIRP (PIRE)

La línea de transmisión tiene pérdida. Es conveniente expresar todos estos valores usando una notación de decibelios. De esta manera.

$$EIRP_{dBW} = P_t + G_{ant} - L_L$$

Donde P_t = Potencia de salida RF del transmisor en dB

G_{ant} = La ganancia de la antena o pérdida (en dB)

L_L = La pérdida de línea de transmisión en dB

28

Densidad de flujo SFD

- La densidad de flujo es la medida de la potencia de una señal en un punto del espacio y se mide en Watts/m2 o dBW/m2
- Usualmente es aplicada a las señales recibidas en el satélite
- Es la densidad de flujo requerida para saturar el Amplificador TWT del transponder
- La densidad de flujo puede también ser usada para calcular la potencia de salida de una estación receptora terrena.

29

Densidad de flujo y PIRE de un satélite

30

3. SATELITE: COMPONENTES DE UN SATELITE

Componentes de un satélite
Partes de un satélite

- El satélite esta compuesto por:
- Una plataforma
- La carga de trabajo (payload)

32

Plataforma Satelital

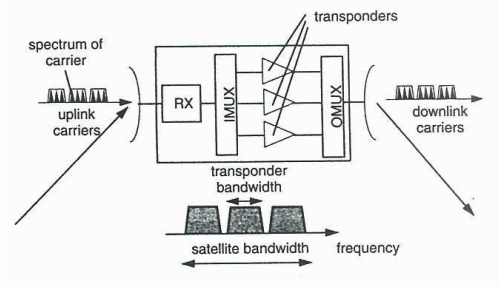
La plataforma consiste en todos los sistemas que permiten a la carga funcionar apropiadamente.

La carga de trabajo (payload)

La carga de trabajo consiste en las antenas del satélite y el equipo electrónico necesario para amplificar las portadoras de subida (uplink). Estas portadoras también son convertidas a la frecuencia de bajada (downlink). La conversión de frecuencia evita la interferencia inaceptable entre las señales de subida y de bajada.

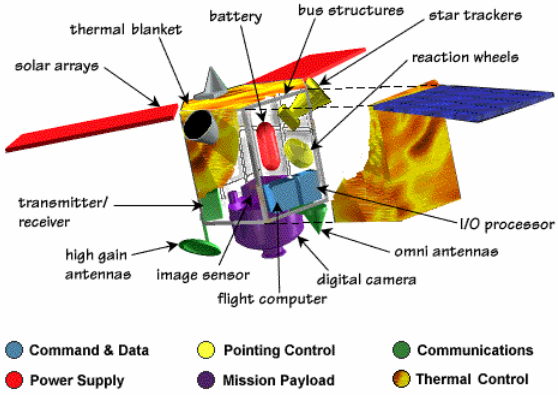
33

Arquitectura de un satélite



34

Anatomía de un satélite



35

4. La estación terrena

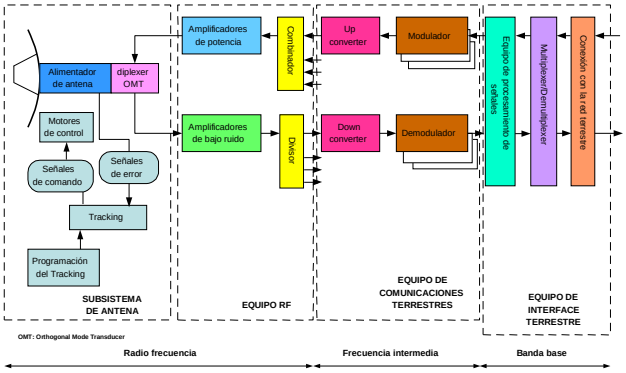
Componentes de una estación terrena

La estación terrena
Componentes de una estación terrena

- Una estación terrena esta compuesta por:
- Sistema de antena
- Sistema de seguimiento de antena
- Amplificadores de potencia
- amplificadores de bajo ruido
- Conversores de frecuencia

37

Organización de una estación terrena - Hub



38

Configuraciones de antenas

El sistema de antena en estaciones remotas pequeñas está compuesto de:
- radiador de antena
- Alimentador (feeder)
- OMT o diplexer y
- LNA ó LNB

- En las estaciones grandes (Hub) se debe incluir el equipamiento de seguimiento (tracking) entre otros.

39

Alimentador de antena (feed) y diplexer/combinador

- El alimentador de antena se adapta al reflector y determina la frecuencia total de operación, el patrón y la performance de una polarización cruzada. El alimentador de trompeta corrugada es el más usado con la geometría del reflector.

40

Alimentador de antena (feed) y diplexer/combinador

41

Ganancia de la antena

- Esta ganancia se expresa en dBi (dB's relativos a la ganancia de una antena isotrópica)
- La figura de ganancia en una antena solo es aplicable a una dirección particular y a una frecuencia.
- **Figuras típicas:**
- Antena 2.4 m. Banda C: Tx Gain: 42 dBi, Rx Gain:38 dBi
- Antena 3.8 m. Banda C: Tx Gain: 46 dBi, Rx Gain:42 dBi

42

Parámetros característicos de las antenas parabólicas

El subsistema de antena debe tener:

1. Alta ganancia
2. Baja temperatura de ruido
3. Buena directividad
4. Buena característica de bandas laterales,
5. Ancho de banda adecuado
6. Excelente funcionamiento de autoseguimiento

43

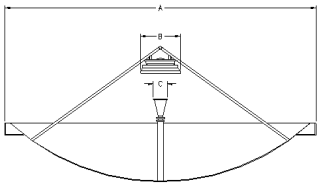
Antenas - Tipos

Las principales geometrías utilizadas son:

- Reflector parabólico con prime focus y alimentador
- Reflector paraboloide de con feed desplazado (offset)
- Reflector paraboloide dual tipo Cassegrain

44

Geometría de Antenas



CASSEGRAIN

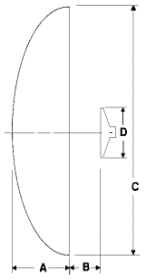
45

Montajes de antenas

- Pedestal o King post-
  - Tipo penetrante
  - Tipo No penetrante
- Trípode (no penetrante)
- De montaje en pared (Wall mount)

46

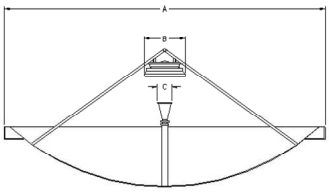
Geometría de Antenas



PRIME FOCUS

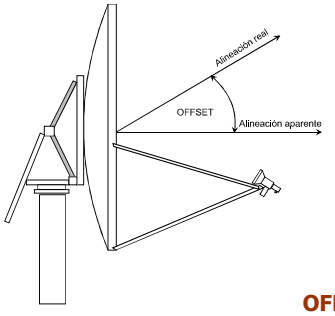
47

Reflector paraboloide dual tipo Cassegrain



48

Geometría de Antenas



OFFSET

49

50

51

4.5-Meter Pedestal Mount

4.5-Meter Tripod Mount

52

53

54

Telepuerto

55

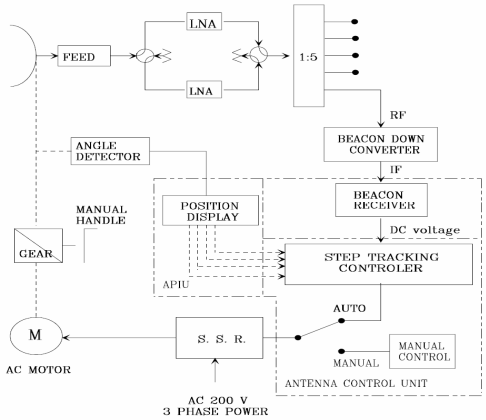
4.5-Meter Pedestal Mount

4.5-Meter Tripod Mount

56

5. SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE UNA ANTENA

Sistema típico de seguimiento (steptrack)



58

6. AMPLIFICADORES DE POTENCIA y AMPLIFICADORES DE BAJO RUIDO

Amplificadores de potencia

La función básica de un amplificador de potencia en una estación terrena es amplificar portadoras de RF de bajo nivel provistas por los modems a un nivel de potencia que asegure que una correcta EIRP por portadora radiada hacia el satélite.

60

Tipos de amplificadores de potencia

Los equipos más comunes de amplificadores de potencia que se usan en las estaciones terrenas son:

- Amplificadores de tubo onda progresiva (TWT)
- Amplificador de estado sólido (SSPA)

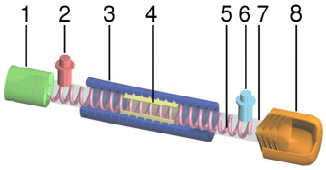
61

Amplificadores de tubo onda progresiva (TWT)

Un TWTA es un amplificador con un gran ancho de banda y con una ganancia de potencia típicamente de 25 a 50 dB. La eficiencia, en general es una función del ancho de banda y esta tiene un rango de 20 % (valor típico) a 40%.

62

Colector



Vista en corte de un TWT. (1) Electron gun; (2) RF input; (3) Magnets; (4) Attenuator; (5) Helix coil; (6) RF output; (7) Vacuum tube; (8) Collector

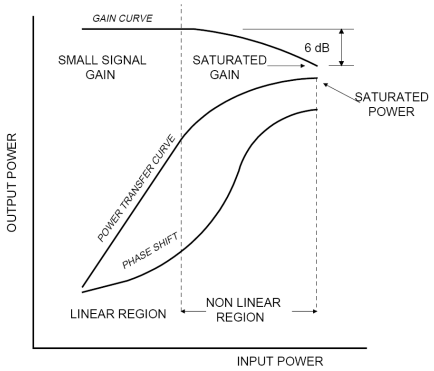
63

Parámetros que afectan a la performance del sistema

Las consideraciones básicas para selección un amplificador de potencia para una aplicación específica. Son: la frecuencia central, el ancho de banda y la potencia de salida y otros parámetros adicionales.

64

Características de un TWT



El umbral de operación útil es determinada por la figura de ruido (Noise figure – NF) del tubo.

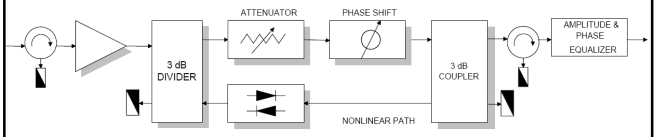
65

Linealizadores

- Cuando se emplean los TWT en sistemas de acceso múltiple por modulación de frecuencia, en una operación multiportadora, esto tiene como resultado productos de ínter modulación de las características de fase y amplitud.
- Al respecto un linealizador puede ser usado para mejora la distorsión de intermodulación y mejorar la potencia de salida. Un ejemplo de red linealizadora se presenta en la figura siguiente:

66

Linealizadores



67

Amplificadores de potencia de estado sólido

Los SSPAs, basado en transistores de efecto de campo, Tipo GaAsFET, tienen estas ventajas sobre los TWTs.

- Superior performance en distorsión de intermodulación
- Alta confiabilidad
- Costos menores de mantenimiento
- Costos menores de repuestos
- Vida operativa mas largaga comparado con los TWTA (un SSPA sobrevive a varios tubos TWT)
- Menor potencia de consumo

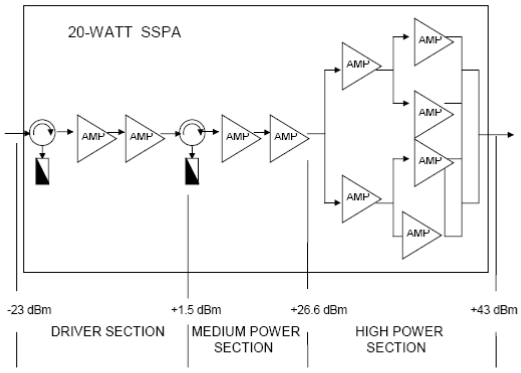
68

Amplificadores de potencia de estado sólido

- Estas características unidad a un adecuado diseño, nos producen amplificadores que tiene alta frecuencia, relativa alta potencia manejada y bajo ruido.
- Los SSPAs pueden operar típicamente 2 a 4 dBs de Backoff bajo operación multiportadora, en lugar de los 7 dB requeridos por los TWTAs.
- Es posible incrementar la capacidad e la potencia de salida poniendo en paralelo varios GaASFET, como se muestra en la figura siguiente, pero siempre se debe tener en cuenta que existen compromisos entre potencia de salida, eficiencia y ganancia.

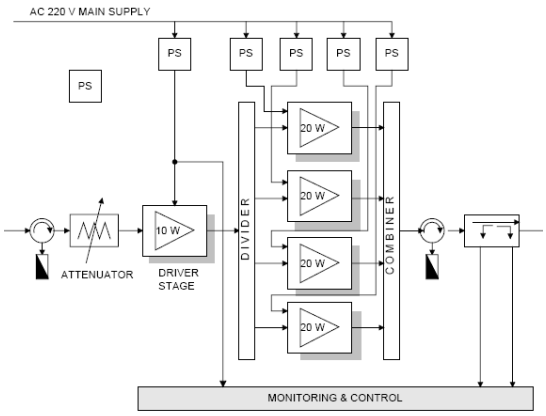
69

Amplificadores de potencia de estado sólido



70

Aplicaciones de gran potencia



71

Mezcla de potencia (Multiplexaje)

- En una estación terrena típica habrá más de un amplificador de potencia conectador a la puerta de alimentación de la antena, que sirve a determinado tipo de polarización. Por lo cual, es necesario combinar las salidas de los amplificadores en una sola señal que ingrese al alimentador de antena. La salida del amplificador es una guía de onda y es conecta vía uno ó más combinadores de RF.
- Un combinador puede ser de uno de tres tipos:
- Hibridos
- Circuladotes
- diplexers.

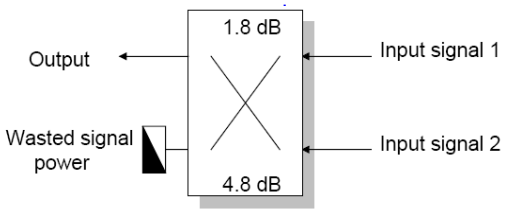
72

Combinador de potencia Hibrido

El combinador de potencia híbrido, es el método más simple y menos costoso para combinar varias señales. Los híbridos usan para este propósito, dispositivos pasivos, y ellos son usados tanto para dividir como para combinar las señales.

73

Combinador de potencia Hibrido

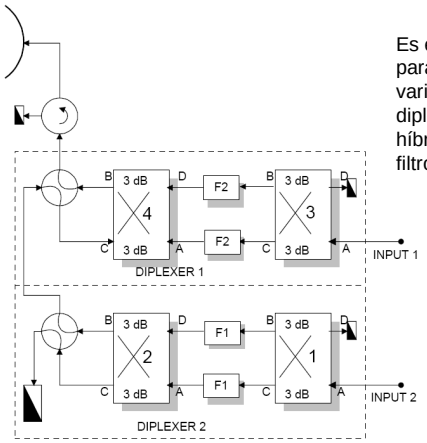


Combinador, parte de cada señal de entrada, el 67% de la potencia de entrada en el brazo de cruce y 33% en el brazo directo.
Introduce una pérdida de 1.8 dB sobre una señal y 4.8 dB sobre la otra señal

74

Diplexer

Es el más eficiente para combinar varias señales. Un diplexer usa dos híbridos y dos filtros pasabanda.



75

6.2 AMPLIFICADORES DE BAJO RUIDO LNA - LNB

Amplificadores de bajo ruido Introducción

- El LNA (Low Noise Amplifier) es un amplificador de bajo ruido, que recibe la señal del alimentador (feeder) y la amplifica. La señal recibida tiene muy bajo nivel, por lo cual este amplificador debe tener un nivel de ruido muy bajo.
- La figura de merito de sistema para una estación terrena esta determinado virtualmente por la figura de ruido (Noise Figure – NF) y la ganancia del LNA, además de la ganancia de la antena.

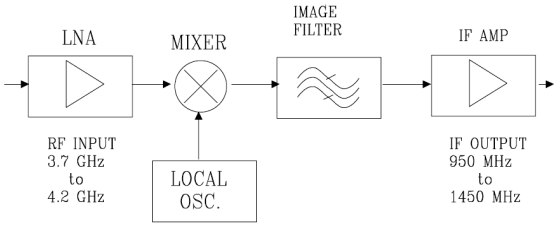
77

Low Noise Block Converter - LNB

- El LNA no cambia la frecuencia de la señal, solo la amplifica. Al tener una señal amplificada pero de muy alta frecuencia es decir de 3.7 a 4.2 GHz para banda C (11.7 a 12.2 GHz para banda Ku) es necesario un cable Heliax de gran grosor, costoso, pesado y dificultoso de instalar. También atenúa la señal. Por esa razón se crea el LNB.
- El LNB (Low noise Block converter) lleva a cabo la amplificación y traslación a una frecuencia intermedia de 950 a 1450 MHz la cual puede ser enviada por un cable RG-6 le cual es económico y fácil de instalar.

78

Low Noise Block Converter - LNB

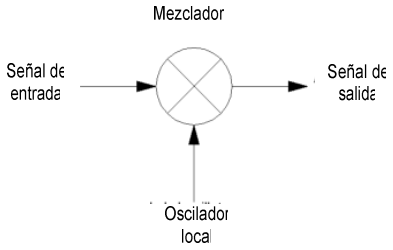


79

7. CONVERSORES DE FRECUENCIA

Principio de conversión de frecuencia

- La clave para la conversión de frecuencias es el mezclador que genera frecuencias que son las sumas o diferencias de dos frecuencias de entrada, Tal como se muestra en la siguiente figura:



81

Mezclador

Un mezclador es un circuito no lineal, que acepta en su entrada dos diferentes frecuencias y presenta un su salida una mezcla de señales, que contiene varias frecuencias tales como:

1. La suma de las frecuencias de la entrada.
2. La diferencia de las frecuencias de la entrada

Se pueden implementar por medio de un dispositivo alineal (un diodo, transistor, etc.)

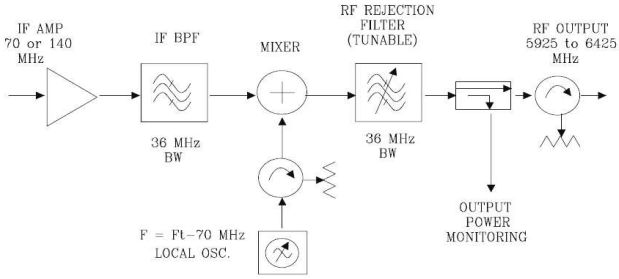
82

Convertidores de frecuencia
Convertidor hacia arriba (Upconverter – U/C)

- Usando los principios descritos, el U/C traslada las señales de frecuencia intermedia (IF) a la región de las señales de RF.(es decir a la banda de 6 o 14 GHz). A la inversa, un convertidor hacia abajo (D/C) traslada las frecuencias de RF en la banda de IF:

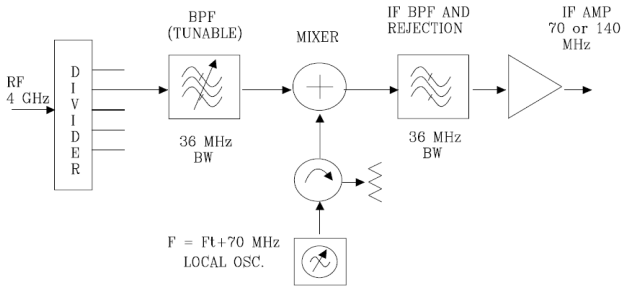
83

Convertidor hacia arriba – U/C



84

Convertidor hacia abajo – D/C



85

8. PRESUPUESTO DE NIVELES

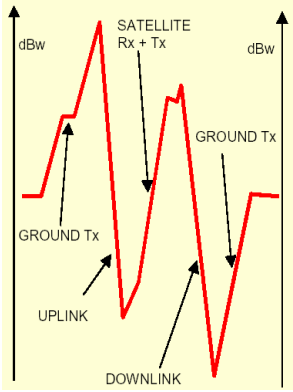
(Link budget)

Presupuesto de niveles

- Potencia transmisora a bordo muy limitada
- Gran distancia: pérdidas elevadas y retardo
- Atenuación atmosférica
- Señal recibida en tierra muy débil. Necesidad de receptores de bajo ruido.
- Enlace descendente crítico: menor frecuencia
- Necesidad de modulación y codificación eficaces
- Necesidad de acceso múltiple
- Estación terrena sencilla para el gran público

87

Presupuesto de niveles



88

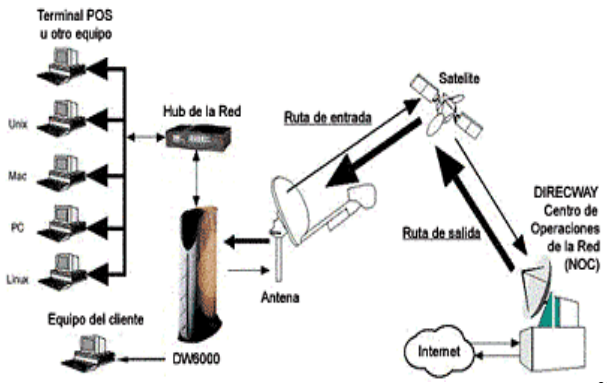
89

Presurizador

System volumes up to 10 ft³ (283 liters)

90

Red Satelital Tipo VSAT



91

Antena VSAT

92

Partes del sistema VSAT
(Exteriores)

LNB: Low Noise Block Downconverter (Amplificador conversor descendente)

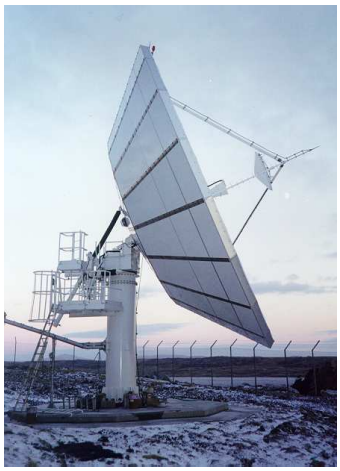
Alimentador: Dispositivo el cual envía / recibe la señal del Plato parabólico.

Antena (Plato) Parabólica: Es donde la señal se concentra hacia el satélite vía el alimentador o viceversa.

Amplificador: Dispositivo a través del cual amplifica la señal únicamente para transmisión.

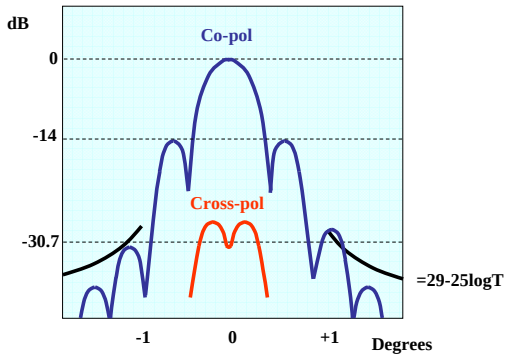
93

Sub-sistema de Antena



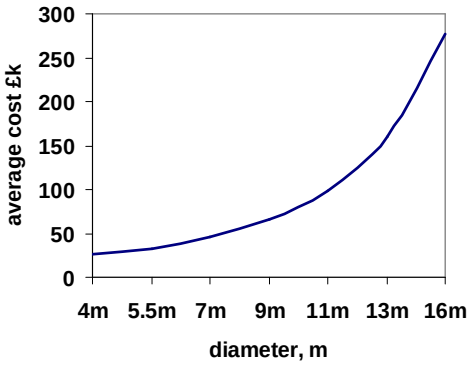
Estación terrena típica

Patrón de radiación típico



96

Costo típico de una antena

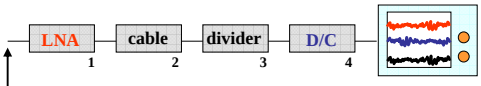


97

Sub-sistema del LNA

(Low Noise Amplifier)

Temperatura de ruido del receptor



$T_{rx} = T_1 + T_2/G_1 + T_3/(G_1G_2) + \ldots..$

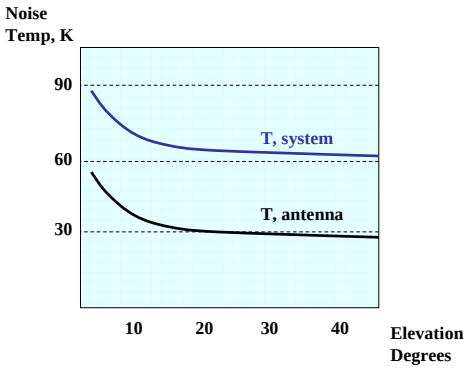
Hence T_1 (or T_{LNA}) must be low, and

G_1 (or G_{LNA}) must be high

to ensure that T_{rx} is low

99

System and Antenna noise



100

Ejemplo de diseño G/T

Earth Station site	A	B
Antenna Diameter	15.5	15.5m
Antenna Rx gain at 4GHz	55.1	55.1dB
Elevation angle	5°	10°
Antenna VSWR	1.20	1.20
Antenna to LNA loss	0.1	0.25dB
LNA input VSWR	1.2	1.5
LNA noise temperature	32	30 °K
Antenna noise	51	41 °K
Antenna to LNA loss	6.94	17.66 °K
LNA VSWR	2.46	11.92 °K
Antenna VSWR	2.46	2.46 °K
Total System noise	94.94	103.11 °K
G/T (>35dB/K)	35.34	34.96 dB/K

101

Sub-sistema del HPA

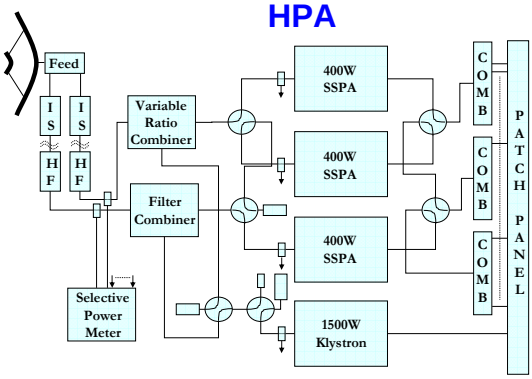
(High Power Amplifier)

Tipos de HPA, banda C

HPA Type	Power	Bandwidth (MHz)
Solid State	5W to 1kW	575 to 800
TWTA	75W to 3kW	575 to 800
Klystron	300W to 3kW	40 or 80

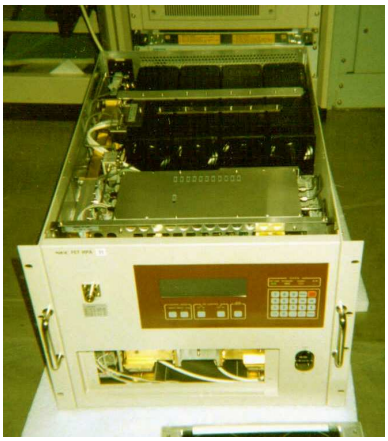
103

Ejemplo de un subsistema HPA



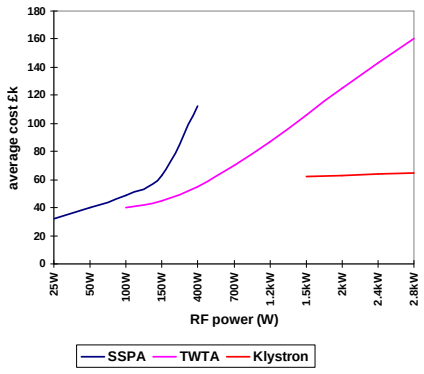
104

sub sistema: TWTA 3kW



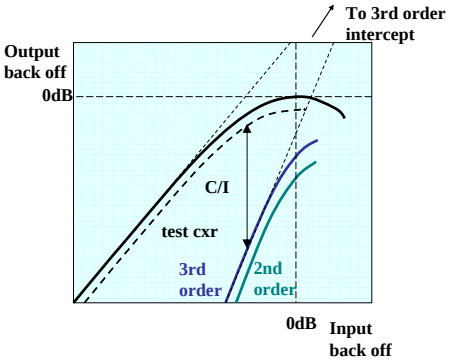
400W SSPA

Costo típico de un sistema HPA 1:1



107

Productos de Intermodulación



108

Productos de Intermodulación

Intermodulación de dos portadoras:

Eim = 2 * E(i) + E(m) - 2 * (Ga - Wl) -20 log (Fadj/Fg) +D - S

Intermodulación de tres portadoras :

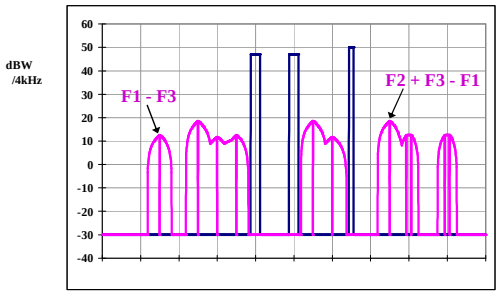
Eimk = E(i) + E(m) + E(k) - 2 * (Ga - Wl) -20 log (Fadj/Fg) +D - S

donde:

E = EIRP de la portadora, dBW
Ga = ganancia de la antena (a la frecuencia Fg), dBi
Wl = pérdidas de la guía de onda, incluida cualquier pérdida de acoplamiento, dB
S = factor de desparrame, debido a la modulación de la portadora, dB
D = Figura de Mérito del amplificador dB/W2
= - 2*Ptest - CI
donde: Ptest = potencia de cada tono de prueba de onda continua (CW test tone), dBW
CI = C/I medido con una prueba de dos tonos, dB
Fadj = ((F(i))2 * F(m)/Fim)/Fg (caso de dos portadoras)
Fadj = (F(i) * F(m) * F(k)/Fim)/Fg (caso de tres portadoras)

109

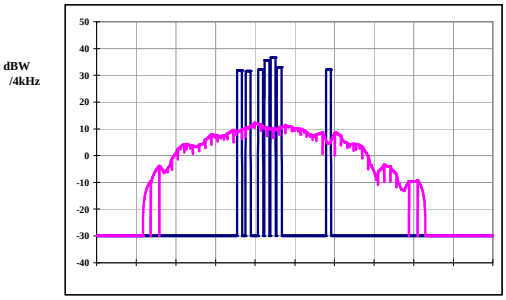
Intermodulación: caso de tres portadoras



Centre=	6010 MHz	Span =	20 MHz
Fstart =	6000 MHz	Fstop=	6020 MHz
Res. bw =	8 kHz	Calc end=	6020 MHz
Max. IMP	18.54 dBw/4kHz at Freq =		6014.991 MHz

110

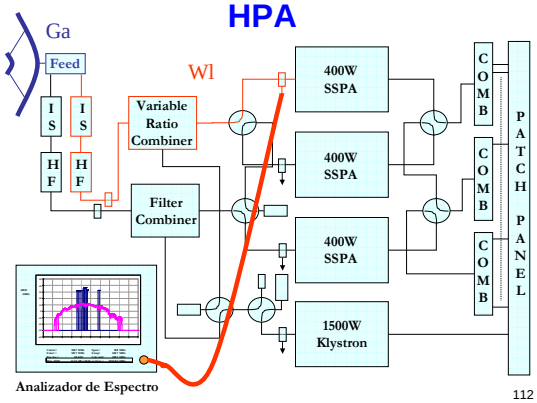
Intermodulación: ejemplo de análisis en el sitio



Centre=	5967 MHz	Span =	100 MHz
Fstart =	5917 MHz	Fstop=	6017 MHz
Res. bw =	40 kHz	Calc end=	6017 MHz
Max. IMP	12.33 dBw/4kHz at Freq =		5956.83 MHz

111

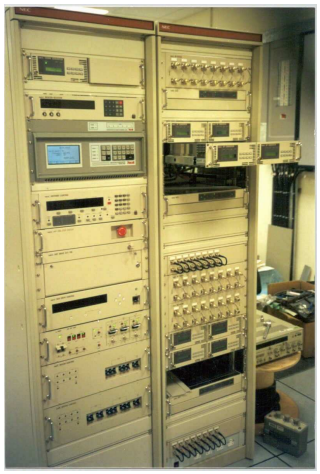
Ejemplo de un subsistema HPA



112

Equipamiento de comunicaciones del segmento de tierra

(Ground Communications Equipment)



sub sistema GCE : conversores de frecuencia, patch - combinadores, sistema de seguimiento (tracking)

Estándar DVB-DSNG

- Mejora del DVB-S para servicio de noticias (satellite news gathering) con calidad de contribución.
- 8PSK/16QAM con códigos convolucionales estándar – eficiencia espectral → 3.2 bits/símbolo.
- Permite platos pequeños para SNG operando con altos C/N's.
- Ahora (2011) emplean DVB-S2 con modulaciones en PSK y APSK con mpeg4 para el caso de video (SD o HD)

115

116

Parámetros Subida

- Frecuencia: 14,353 MHz
- Polarización: Horizontal
- FEC: 2/3
- Symbol Rate ó S/R: 4.44 Msps asociado a un ancho de banda en el satélite de 6 MHz (aproximado – lo calcula el modulador en la mayoría de los casos)
- OJO: **No confundir Bit Rate con BW**

117

Parámetros de Bajada

- Frecuencia: 11,803 MHz
- Polarización: Vertical (Inclinación de 22.6º aproximado para Lima – Varia con la ubicación)
- La frecuencia de bajada se calcula según el satélite: fs – 2,550 = fb (los 2,550 son el oscilador del satélite)

118

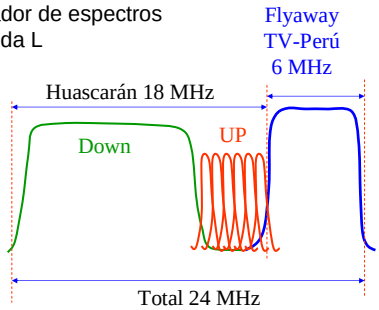
Apuntamiento

- Lo aconsejable es si se conoce el lugar a donde se va a trasmitir, buscar en Internet en base a las coordenadas de dicho sitio los ángulos de Elevación y de Acimut.
- Con el analizador de espectro conectado al LNB empezar colocando los valores de El/Az en la base de la antena y mover los ajustes para optimizar y conseguir el mayor nivel en el analizador de espectros

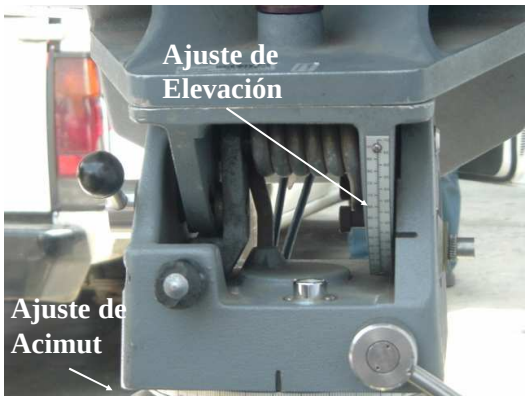
119

Distribución del espectro

Lo que muestra el analizador de espectros en Banda L



120



121

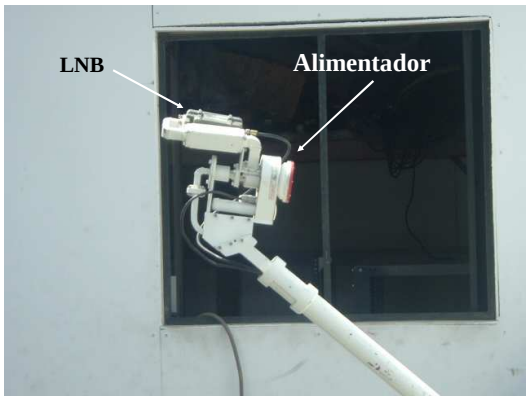
122

123

124

125

126



127

128

129

130

131

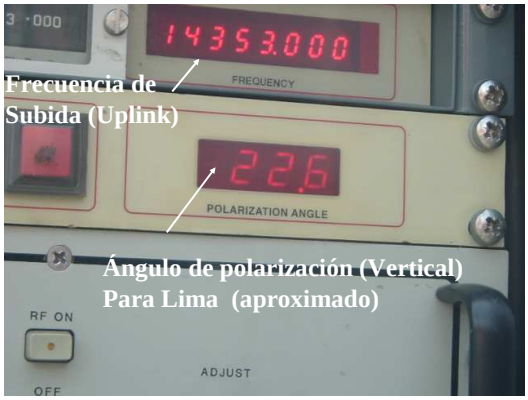
132

133

134

135

136



137

138

139

140

141

142

143

Muchas gracias por su atención

UNI FIEE
Lima Perú

144