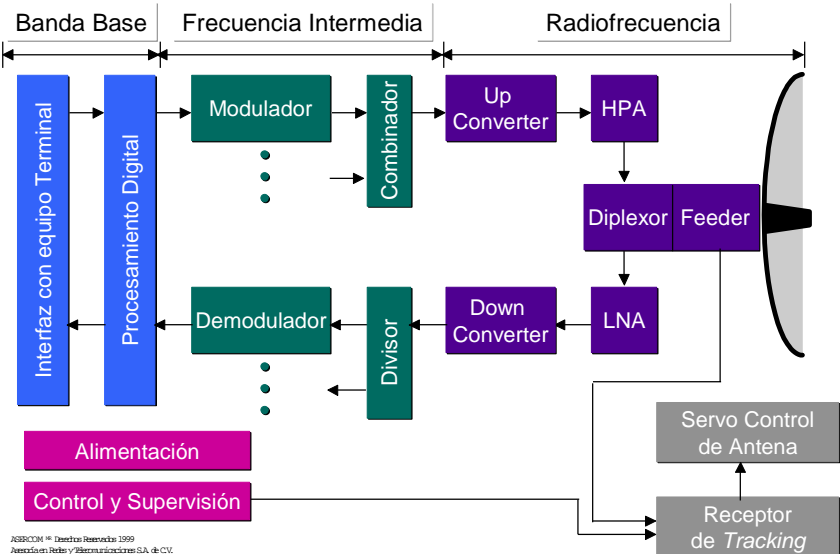


- Propagación de ondas electromagnéticas
- Modulación
- Métodos de corrección de errores
- Aspectos regulatorios en radioenlaces
- Estructura del radio digital
- Diseño de un radioenlace
- Nuevas aplicaciones con radioenlaces
- Funcionamiento y estructura del satélite
- Técnicas de acceso múltiple
-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

- ✓ Esquema del equipo terrestre
- ✓ Procesamiento en banda base
- ✓ Modulación
- ✓ Amplificadores
- ✓ Tipos de antenas y alimentadores

Esquema del equipo terrestre



✓ Formateo del tren de bits

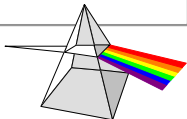
- Se adapta el flujo constante de entrada a las características de la transmisión satelital. Por ejemplo en TDMA se forman las tramas mediante ráfagas de bits.
- Sincronización.
- Se requiere para posicionar y extraer adecuadamente las ráfagas de bits dentro de la trama de TDMA, por ejemplo.

✓ Codificación y decodificación

- La información se codifica mediante códigos convolutivos tales como el FEC para mejorar la BER del enlace y mejorar la tolerancia al ruido.

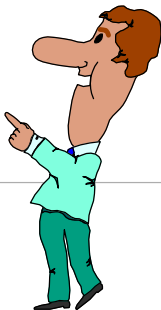


- ✓ Se requiere un modulador y un convertidor de subida para cada portadora
- ✓ La modulación se efectúa sobre una portadora de frecuencia intermedia, normalmente de 35, 70, ó 140 MHz
- ✓ Las modulaciones más comunes son:
 - 2 PSK, conocida como BPSK
 - 4 PSK, conocida como QPSK
 - 8 PSK
 - 16 PSK
- ✓ Las modulaciones más complejas no se emplean debido al bajo nivel de señal que se recibe en los sistemas satelitales



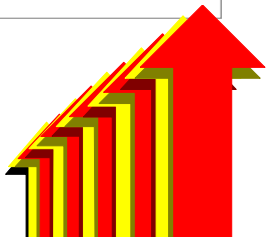
Tipos de amplificadores de potencia

- ✓ Onda Viajera (*TWT, Travelling Wave Tube*)
- ✓ Klystron
- ✓ Estado Sólido (*SSPA, Solid State Power Amplifiers*)
- ✓ Parámetros de desempeño:
 - Ganancia vs frecuencia
 - Intermodulación
 - Distorsión de retardo de grupo
 - Conversión AM/PM
 - Emisiones fuera de banda
 - Señal AM residual

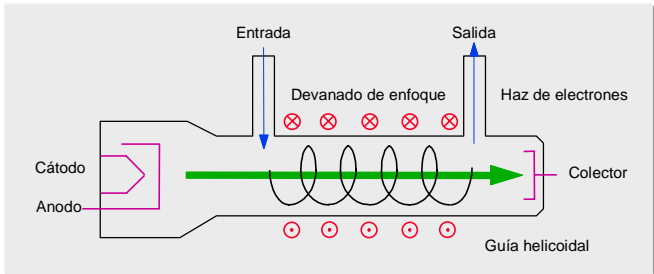


Amplificadores de onda viajera TWT

- ✓ Ancho de banda amplio -de hasta 500 MHz-, por lo que no requiere de sintonización
- ✓ Se pueden emplear para transmitir varias señales simultáneamente, cuidando la intermodulación
- ✓ Algunos emplean una guía de onda helicoidal para amplificar la señal
- ✓ Se utilizan siempre que se requiere flexibilidad en el manejo de las frecuencias



Estructura de un TWT

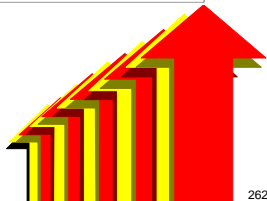


- ✓ Es un dispositivo de vacío no resonante, lo que le permite manejar grandes anchos de banda
- ✓ Emplea una estructura de onda helicoidal. En ella existe una interacción entre la señal de RF y el haz de electrones. Si las condiciones son correctas, se transfiere energía a la señal en la guía helicoidal y la salida es amplificada. Para lograr esto, debe mantenerse entre la señal y el haz de electrones una correcta diferencia en fase y en velocidad
- ✓ La ganancia de estos dispositivos depende de un buen ajuste, dimensiones y longitud eléctrica, voltajes de aceleración, etc

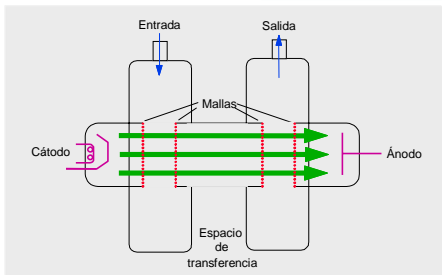
- ✓ Marca NEC
 - ✓ Modelo LD4475A
 - ✓ Rango de operación: 5.85-6.425 GHz
 - ✓ Potencia de salida: 3000 W
 - ✓ Circuito de onda: Tipo helicoidal
-



- ✓ Funcionan mediante una o dos cavidades resonantes que van amplificando consecutivamente a la señal
- ✓ Trabajan en bandas estrechas (40 MHz @ 6 GHz, 80 MHz @ 14 GHz)
- ✓ Requieren de sintonización a la frecuencia central.
- ✓ Más económicos que los TWT
- ✓ Alta eficiencia, del orden del 39%



Estructura de un Klystron



- ✓ Son estructuras resonantes, por lo cual operan en un ancho de banda angosto
- ✓ Electrones que atraviesan la primera malla son acelerados o desacelerados, dependiendo de la polaridad del voltaje de entrada. En ciertos puntos a lo largo del espacio de transferencia se producen concentraciones de electrones, debido a las distintas velocidades con que éstos viajan.
- ✓ Por diseño de estos dispositivos, estas concentraciones ocurrirán en espacio entre las mallas de la cavidad de salida. Estas concentraciones producen altos voltajes en esa cavidad, y una parte de la energía del haz de electrones es transferida a la señal de salida

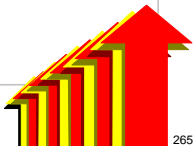
Ejemplo de Klystron

- ✓ Marca NEC
 - ✓ Modelo LD4396J
 - ✓ Rango de operación: 5.85-6.425 GHz
 - ✓ Potencia de salida: 3.4 kW
 - ✓ Ganancia: 40 dB
 - ✓ Ancho de banda: 46 MHz
-



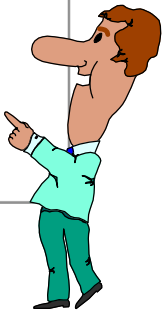
Amplificadores de estado sólido SSPA

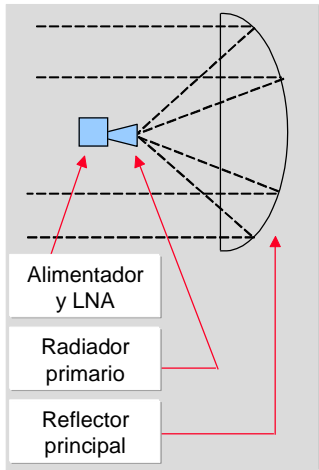
- ✓ Potencias pequeñas
 - 5 W @ 6 GHz
 - 2 W @ 14 GHz
- ✓ Se emplean en estaciones pequeñas y con satélites que cuenten con transpondedores de alta ganancia
- ✓ Se construyen a base de transistores de efecto de campo (*FET*, *field effect transistors*) de GaAs
- ✓ Tienen mejor linealidad que los amplificadores de tubo por lo que se requiere menor back-off en la transmisión de varias portadoras
- ✓ Tienen buena eficiencia, ya que consumen poca energía
- ✓ Buena confiabilidad y bajo costo



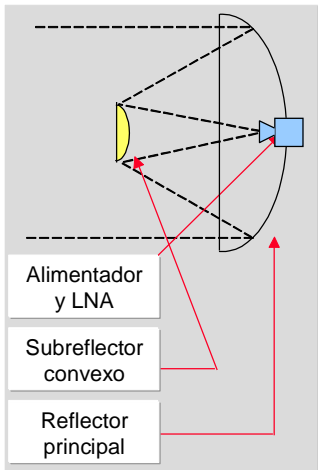
- ✓ Debe conectarse prácticamente en forma directa con el alimentador de recepción de la antena
- ✓ Debe tener un ruido propio muy bajo
- ✓ Existen de dos tipos:
- ✓ Amplificadores Paramétricos
 - Emplean un Varactor que al ser excitado con una frecuencia más alta que la de la señal de entrada, se presenta como una resistencia negativa y amplifica la señal
 - Para mantener la temperatura física del LNA se emplea uno de los siguientes métodos: refrigeración criogénica, enfriamiento termoeléctrico y compensación de temperatura
- ✓ Amplificadores de FET
 - Emplean FETs de GaAs
 - Se alimentan con DC. Son más estables y menos sensibles a los cambios de impedancias
 - Pueden operar en anchos de banda más amplios

- ✓ Antenas tipo foco primario o *axisymmetric*
 - Antena Parabólica
 - Antena Cassegrain
 - Antena Cassegrain alimentada con guía de onda de haz con 4 reflectores
 - Antena Gregoriana
- ✓ Antenas tipo foco desplazado o *offset*
 - Antena Parabólica
 - Antena Cassegrain
 - Antena Gregoriana
 - Antena Torus



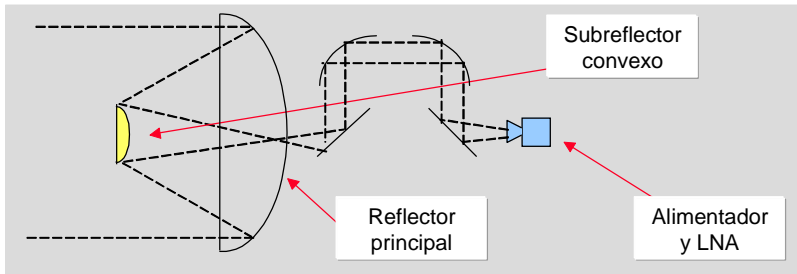


- ✓ Configuración simple
- ✓ Alta temperatura de ruido al “*spill-over*” sobre el reflector
- ✓ Dimensiones de 3 a 30 m
- ✓ Aplicación en estaciones terrenas

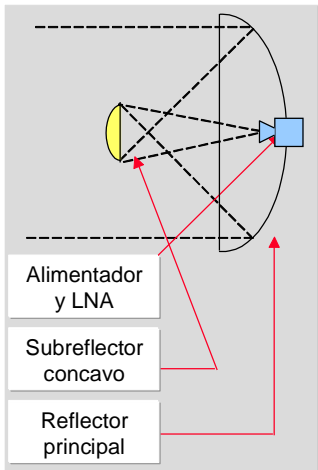


- ✓ Emplea un subreflector convexo (Cassegrain)
- ✓ Alta eficiencia y baja temperatura de ruido
- ✓ El alimentador y el LNA se pueden instalar detrás del plato para facilidad de acceso
- ✓ Aplicación para estaciones terrenas medias

Antena Cassegrain II

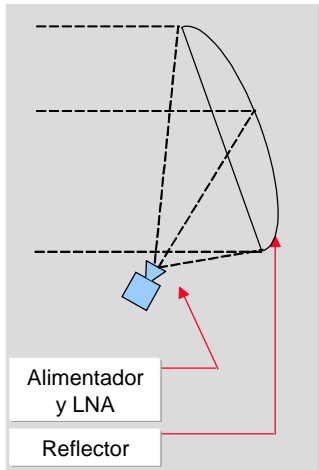


- ✓ Acoplamiento sencillo en los conectores en el que se minimizan atenuaciones
- ✓ Alta eficiencia y baja temperatura de ruido en un ancho de banda grande
- ✓ El alimentador y el LNA se pueden instalar en el interior para protección y facilidad de acceso
- ✓ Aplicación para estaciones terrenas grandes ($D/\lambda = 500$)



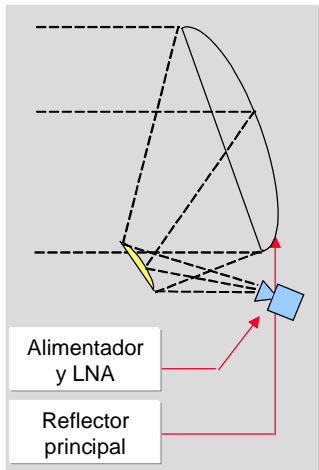
- ✓ Emplea un subreflector cóncavo (Cassegrain)
- ✓ Alta eficiencia y baja temperatura de ruido
- ✓ El alimentador y el LNA se pueden instalar detrás del plato para facilidad de acceso
- ✓ Aplicación para estaciones terrenas medias

Antena Parabólica con offset



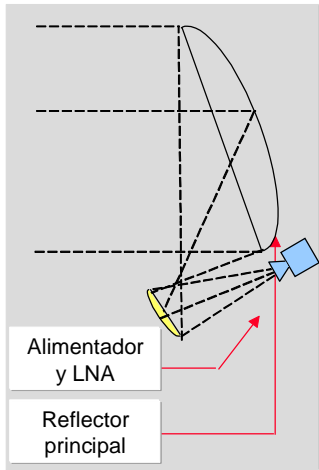
- ✓ Excelente patrón de radiación y bajo ruido debido a que el alimentador ya no bloquea a la señal
- ✓ Excelente ROE (Razón de Onda Estacionaria o VWSR: relación entre las magnitudes de una onda emitida y la reflejada)
- ✓ Aplicación como estación terrena pequeña

Antena Cassegrain con offset

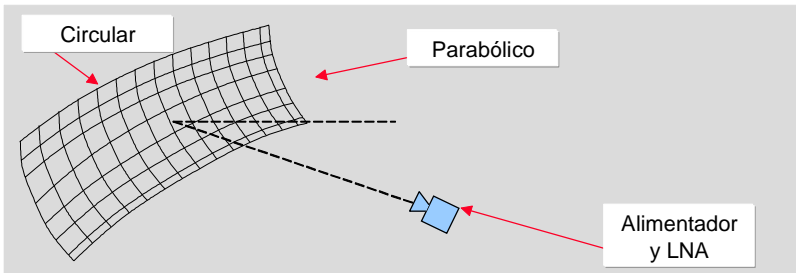


- ✓ Reflector secundario convexo
- ✓ Excelente patrón de radiación y bajo ruido debido a que el alimentador ya no bloquea a la señal
- ✓ Excelente ROE
- ✓ Alta eficiencia y bajo ruido
- ✓ Alimentador y LNA se pueden instalar en el interior
- ✓ Aplicación como estación terrena mediana

Antena Gregoriana con offset



- ✓ Reflector secundario cóncavo
- ✓ Excelente patrón de radiación y bajo ruido debido a que el alimentador ya no bloquea a la señal
- ✓ Excelente ROE
- ✓ Alta eficiencia y bajo ruido
- ✓ Alimentador y LNA se pueden instalar en el interior
- ✓ Aplicación como estación terrena mediana



- ✓ Sigue a un satélite geostacionario sin mover su reflector principal
- ✓ Ajuste del haz moviendo sólo el alimentador
- ✓ Patrón de radiación pobre
- ✓ Posibilidad multihaz con varios alimentadores
- ✓ Aplicación como antena para recibir varios satélites simultáneamente

Ejemplo de Antena para Banda Ku



- ✓ Antena ES37 Marca Andrew^{MR}
- ✓ Cumple con las normas de INTELSAT E1, y F-1
- ✓ Sistema de doble reflector tipo Gregoriana
- ✓ Paneles elaborados con aluminio de precisión y ajustables independientemente
- ✓ Aplicación como estación terrena en banda C/Ku, de propósito general
- ✓ Se le puede añadir motor para funciones de *tracking*

- ✓ Consideraciones costo/desempeño
 - Costo de la Antena. Según la ITU-R, debe ser igual a $a + a \times D^b$, donde a depende del tipo y eficiencia de la antena, D es el diámetro y $b = 2.5$.
 - Costo del LNA. Aumenta rápidamente al desear menor temperatura de ruido.
 - Costo del HPA. Aumenta de acuerdo a la potencia de salida deseada. Para obtener una PIRE requerida se deben combinar los costos del HPA y de la antena.
- ✓ Conservación de la orientación geostacionaria
 - Antena con o sin sistema de rastreo (tracking).
- ✓ Consideraciones mecánicas y ambientales
 - Resistencia al viento en operación y supervivencia.

