



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
CUAUTITLAN

## COMUNICACIONES

“ESTACIONES TERRENAS”

TRABAJO DE SEMINARIO

Que para obtener el título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a

CARLOS RAMIREZ NAJERA

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA

280610

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

## Indice

Introducción	1
Que es una estación terrena	4
1. La Antena	5
1.1 Configuración geométrica y su funcionamiento	5
1.2 Mecanismos de alimentación	7
1.3 Tipos de antenas	14
2. Partes de la antena parabólica	20
2.1 Alimentador	21
2.2 Guía de onda	22
2.3 Amplificador de baja ruido	24
2.4 Convertidor de bajada	25
2.5 Convertidor de bajada en bloque	26
2.6 Convertidor de bajada de baja ruido en bloque	27
2.7 Receptor	29
3. Angulos de elevación y azimut	30
3.1 Orientación en elevación y azimut	30
3.2 La Brújula y el ángulo de azimut	32
3.3 Calculo de los ángulos de elevación y azimut	34
3.4 Contorno de ángulo de orientación	40
3.5 Carta universal de contornos de elevación azimut	45
4. Ganancias y rendimiento de una antena parabólica	47
4.1 Perdidas de espacio libre	47
4.2 Ganancia de la antena parabólica	48
4.3 Potencia radiada isotropica efectiva	50
4.4 Factor de merito	51
4.5 Fuentes de interferencia	51
5. Antenas parabólicas pequeñas o planas	52
6. Tipos de montaje	54
7. Fabricación	57
8. Rastreo del satélite	58
8.1 Telecomando	61
8.2 Telemetría	62
8.3 Seguimiento	64
9. El Transmisor	66
10. El Receptor	71
10.1 El Amplificador de baja ruido	72
10.2 Conversión de frecuencia, demodulación y calidad de recepción	76
11. Alimentación de energía	80
12. Conclusiones	81
13. Glosario	83
14. Bibliografía	85

## **INTRODUCCION**

Una **estación terrena** consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o plato parabólico. El término “estación terrena” se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si está fijo en algún punto, si es una unidad móvil, o si está instalado en un barco, avión, o cualquier otro vehículo.

La principal función de la estación terrena es la adecuación de las señales de TV para su transmisión al satélite, desde donde se realiza la radiodifusión de las mismas. Dependiendo del tipo de estación, ésta se puede encargar de transmitir o recibir información, controlar el estado del satélite y su situación orbital.

Los tipos principales de estaciones terrenas son:

- Pequeñas estaciones receptoras de TV por satélite DBS.
- Estaciones terrenas portátiles (deportes, conferencias).
- Estaciones o terminales VSAT, terminales de abertura muy pequeñas (redes de difusión, transmisión de datos privados, intercambio de datos, etc.)
- Grandes estaciones de comunicaciones internacionales.

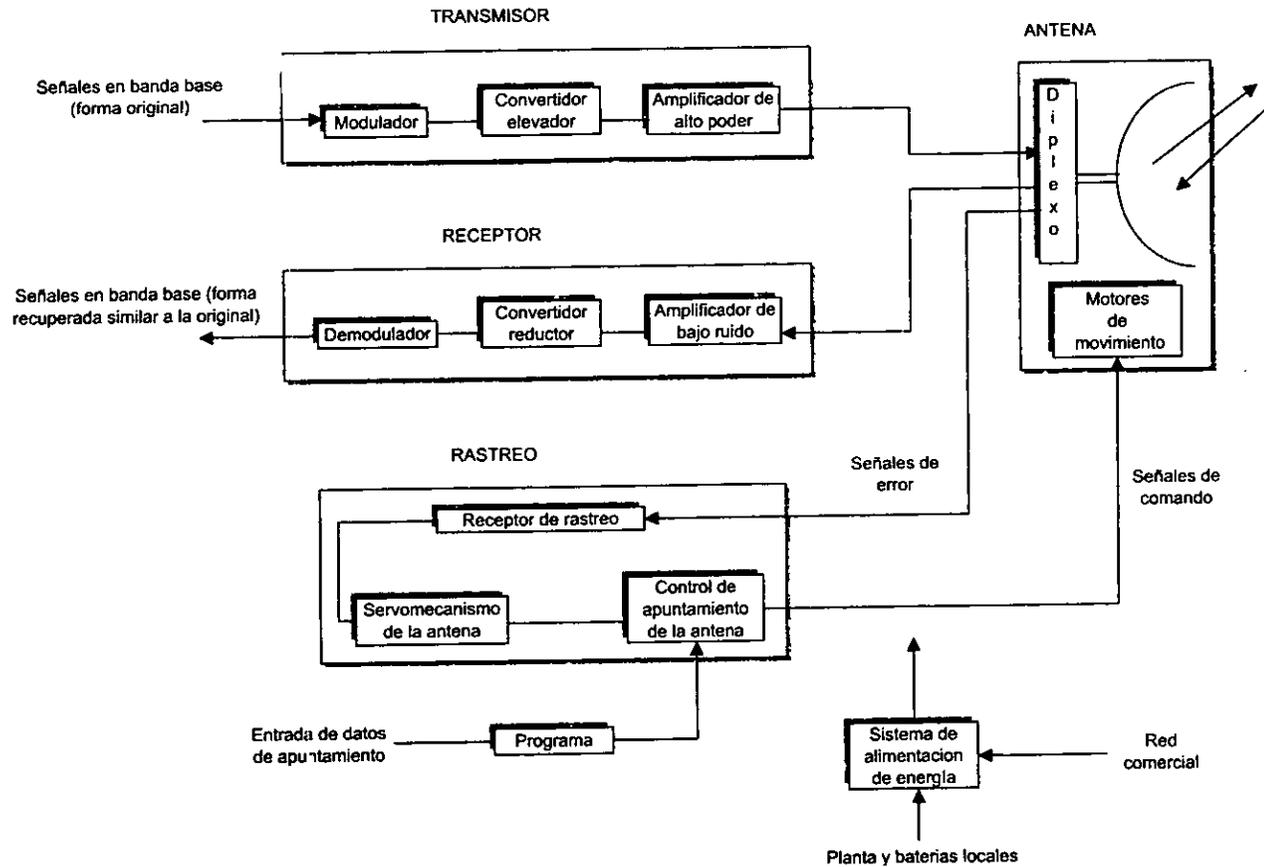
Su diseño es conceptualmente el mismo que una estación convencional de comunicaciones dado que, en principio, el procesamiento de la señal a transmitir es similar en todos los casos. Por consiguiente, la estación estará formada por el subsistema de antena, subsistema de seguimiento, transmisión/recepción en radio frecuencia, etapa de conversión de frecuencia, modulación - demodulación, conexión con el Centro de Programas y suministro de energía eléctrica.

---

Cuando una estación terrena satisface necesidades vitales o prioritarias de comunicación, no se desea que deje de funcionar por posibles y eventuales fallas locales del suministro comercial de energía eléctrica, por lo que debe adaptársele su propia planta de respaldo, denominada comúnmente como **sistema ininterrumpido de energía**.

Por lo general, la misma antena se utiliza para transmitir y recibir, si es que su aplicación así lo requiere; para esto se interconecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado diplexor. La Figura # 1 ilustra un diagrama de bloques generalizado de una estación terrena.

Figura # 1. Diagrama de bloques generalizado de una estación terrena



## ¿QUE ES UNA ESTACION TERRENA?

Para poder comprender mejor que es una estación terrena brevemente se define el servicio fijo por satélite (SFS). El servicio fijo por satélite (SFS) es un servicio de radio comunicación entre puntos fijos determinados en la superficie de la tierra cuando se utilizan uno o más satélites. Estas estaciones situadas en puntos fijos en la superficie de la tierra se denominan estaciones terrenas del servicio fijo por satélite. Las estaciones situadas a bordo de satélites, que consisten principalmente en los transpondedores de satélites y antenas asociadas, se denominan estaciones espaciales del servicio fijo por satélites.

Actualmente, con muy pocas excepciones, todos los enlaces entre una estación terrena transmisora y una estación terrena receptora se efectúan a través de un solo satélite. Estos enlaces comprenden dos partes, un enlace ascendente entre la estación transmisora y el satélite y un enlace descendente entre el satélite y la estación receptora.

Las Principales señales transmitidas por los enlaces del servicio fijo por satélite son: telefonía, telegrafía, transmisión de datos, programas de televisión y radiofónicos. La figura # 2 muestra la comunicación de los satélites con estaciones terrenas.

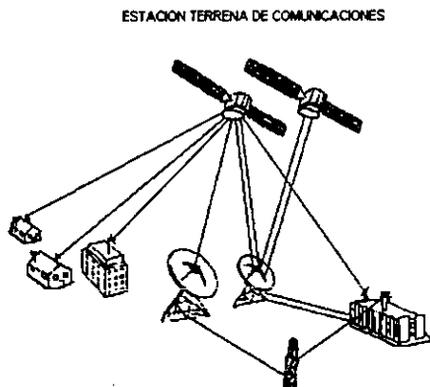


Figura #2

---

## LA ANTENA

### Configuraciones geométricas y su funcionamiento.

La antena es el punto de entrada de la señal en nuestro sistema. Se ha convertido en el símbolo del receptor terreno en un sistema de transmisión de señales vía satélite. Este símbolo es bastante razonable, no sólo porque la antena distingue al equipo físicamente, sino porque sus características son, con diferencia, las más importantes de todas las de los diferentes equipos a la hora de determinar el rendimiento global de la estación de recepción.

La relación portadora/ruido ( $C/N$ ) que se puede conseguir está directamente relacionada con el tamaño de la antena, aunque el precio y el peso de ésta también lo están, factores ambos muy importantes a la hora de diseñar la instalación, por lo que las antenas se eligen con el tamaño mínimo para que la señal recibida llegue a los mínimos requeridos por los siguientes equipos de la instalación.

Las características más importantes de una antena son su **ganancia** y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibelios en relación con la potencia radiada o recibida por una antena isotrópica (dBi). Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas otras direcciones que no sean de interés; de allí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo más pequeños que sea posible, para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmita en direcciones no autorizadas o innecesarias. Estrictamente, la ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación. La figura # 3 muestra el patrón de radiación de una antena parabólica de dos estaciones terrenas, una pequeña y una grande.

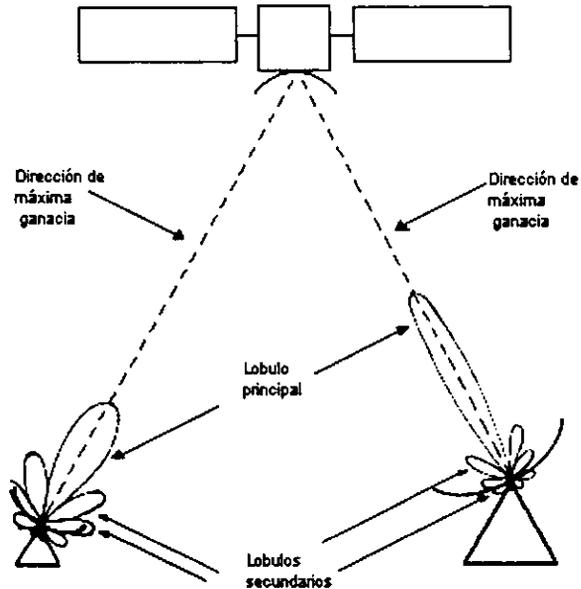


Figura #3

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas -como si fuera una lente- en un punto común llamado **foco** (modo de recepción); asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación (modo de transmisión). Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloides de revolución que representa matemáticamente a la antena y en él se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta -o bocina- el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos.

Una antena parabólica se compone de dos partes principales. Un reflector parabólico y el elemento activo llamado mecanismo de alimentación. El mecanismo de alimentación aloja la antena principal, que irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector.

---

El reflector es un dispositivo pasivo que sólo refleja la energía irradiada por el mecanismo de alimentación en una emisión concentrada altamente direccional donde las ondas individuales están todas en fase entre sí.

### **Mecanismos de alimentación.**

El mecanismo de alimentación de una antena parabólica realmente irradia la energía electromagnética y por tanto se le suele llamar la antena principal. El mecanismo de alimentación es de mayor importancia porque su función es irradiar la energía hacia el reflector. Un mecanismo de alimentación ideal debe dirigir toda la energía hacia el reflector parabólico y no tener efecto de sombra. Si se tiene cuidado de diseñar el mecanismo de alimentación, la mayor parte de la energía se puede radiar en la dirección correcta y se puede minimizar el efecto sombra. Del mismo modo en que la energía sale de la antena parabólica, este mismo mecanismo se presenta para cuando la señal es llegada hacia la antena parabólica para su recepción de la misma. Hay tres tipos principales de mecanismos de alimentación para las antenas parabólicas: alimentación frontal, alimentación descentrada y alimentación Cassegrain.

### **Tipos de alimentación.**

Hay varios tipos de alimentación de una antena parabólica, pero los tres más utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.

En una antena parabólica con **alimentación frontal**, el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que la radia está orientada hacia el suelo; esto último presentan el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. La figura # 4 muestra una antena parabólica con alimentación frontal (modo de transmisión).

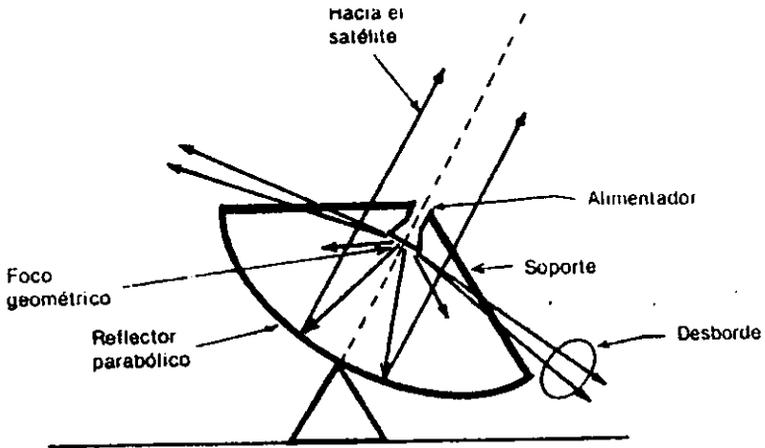


Figura #4

Asimismo, si la antena está recibiendo del satélite, los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador, y pueden causar una degradación en la calidad de la señal recibida al sumarse fuera de fase con los rayos directos que son reflejados por el plato parabólico.

El desborde de la radiación del alimentador se puede reducir si se aumenta el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad -más complicado de fabricar y normalmente de mayores dimensiones-, pero esto puede convertir a la antena en demasiado voluminosa, o bien el alimentador y su estructura de soporte bloquean más el paso libre de las señales con la consecuente degradación de las mismas. La figura # 5 nos muestra una antena parabólica de 1.8 metros de diámetro con alimentación frontal.

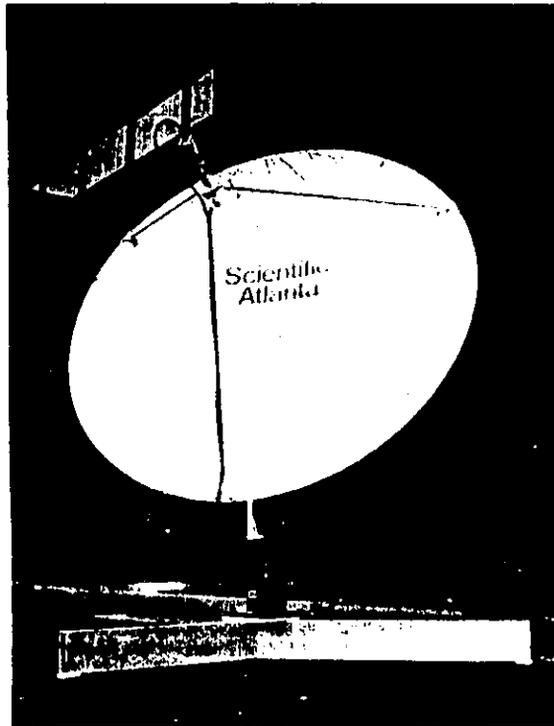


Figura #5

Una antena parabólica con **alimentación descentrada**, sólo se emplea una sección del plato parabólico y la apertura de alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir, los ejes de la corneta (alimentador) y del paraboloide no coinciden, de allí el nombre de alimentación descentrada. La construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es más costosa que la de alimentación frontal, además de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica. La figura # 6 muestran una antena descentrada (modo de transmisión). Con esta configuración se elimina el bloqueo del alimentador, del equipo electrónico y de la estructura de soporte.

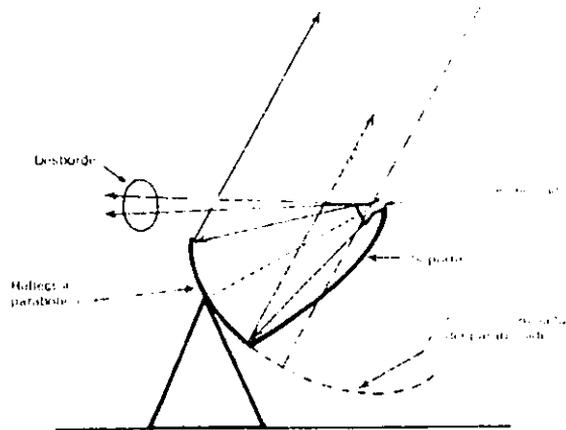


Figura #6

De cualquier forma, este tipo de antena se utiliza en varias estaciones receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos. La figura # 7 muestra una antena parabólica con alimentación descentrada de 5.5 metros de ancho y 2.4 metros de altura, útil para la transmisión y recepción de vídeo y datos.

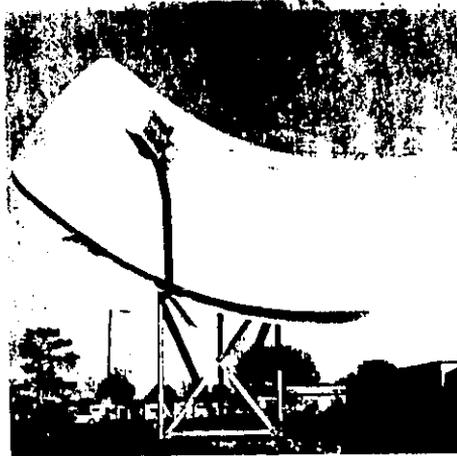


Figura #7

La antena Cassegrain es mucho más eficiente, su ganancia es mayor, pero su precio es más alto. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado "subreflector", y el alimentador corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la Tierra sino principalmente por emisiones de la atmósfera. La figura # 8 muestra una antena Cassegrain es equivalente a una antena parabólica con alimentación frontal (modo de transmisión). Los ejes de la parábola, el alimentador y la hipérbola coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador más alejado de su vértice; de esta forma, la parábola equivalente (o sea, en realidad la Cassegrain) captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde de se reduce significativamente. La figura # 9 muestra una antena Cassegrain con reflector parabólico de 10 metros de diámetro, útil para transmisión y recepción de televisión.

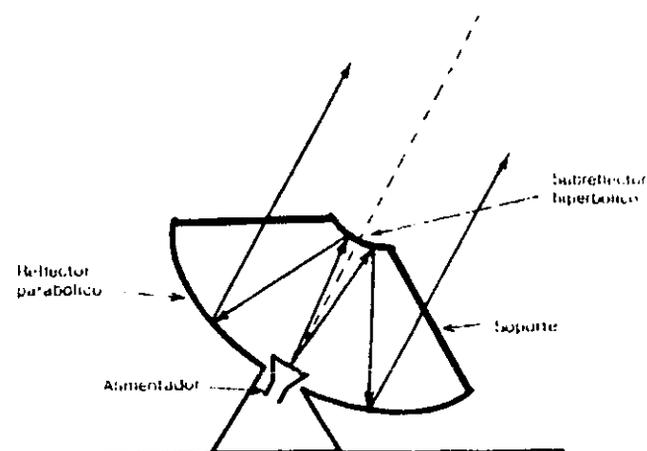


Figura #8



Figura #9

La figura #10 muestra un diagrama que muestra cómo una antena Cassegrain es equivalente a una antena parabólica con alimentación frontal de diferentes concavidad y distancia focal.

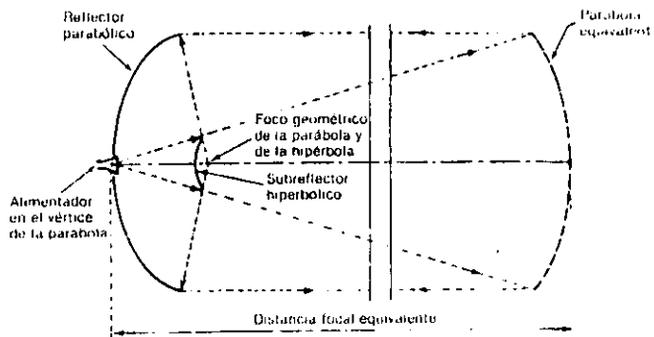


Figura #10

---

En el caso de las estaciones más grandes se tiene la opción de emplear la configuración Cassegrain con alimentador periscópico, que en realidad es una variante del telescopio diseñado por el científico francés N. Cassegrain en 1672. Este tipo de antena tiene un ancho de banda de frecuencia de operación mayor que la Cassegrain simple descrita anteriormente en una construcción que, además de protegerlos de las condiciones ambientales, los pone al alcance del personal de mantenimiento, y adicionalmente el equipo es independiente de cualquier movimiento que la antena haga en elevación o azimut. La conducción de las señales desde el alimentador hasta los reflectores parabólicos e hiperbólicos se realiza por medio de un haz que se refleja en los cuatro reflectores internos del sistema. De estos reflectores, dos son coaxiales con el eje de elevación de la antena (es decir, que sus ejes son paralelos y además se superponen) y los otros dos lo son con el eje de azimut; cada espejo o reflector produce una reflexión de  $90^\circ$  de los rayos de la señal, y normalmente se utilizan dos planos y dos elípticos o parabólicos. El efecto total es como si se el alimentador se alargase hasta el vértice de la parábola, como si fuera un periscopio imaginario.

Además de los tipos de antenas ya mencionados, existen varios otros que también son empleados en ciertas aplicaciones, aunque en realidad son muy pocas. Por ejemplo, la antena toroidal es un reflector que en su plan vertical tiene una curvatura parabólica, mientras que en el plano horizontal la curvatura es circular; presenta la ventaja de que pueda recibir simultáneamente las señales provenientes de varios satélites situados en una sección del arco geostacionario sin necesidad de moverla, y sus dimensiones son relativamente pequeñas del orden de 10 metros de diámetro. Asimismo, se puede utilizar una antena Cassegrain con alimentador descentrado para eliminar el bloqueo del subreflector hiperbólico, o bien las nuevas antenas planas con control de fase que pronto tendrán su aplicación principal en las estaciones de vehículos terrestres. De cualquier forma, las antenas parabólicas de alimentación frontal y Cassegrain son las más aceptadas en la actualidad, tanto en la banda C como la Ku. La figura #11 muestra una Antena Cassegrain con alimentador periscópico.

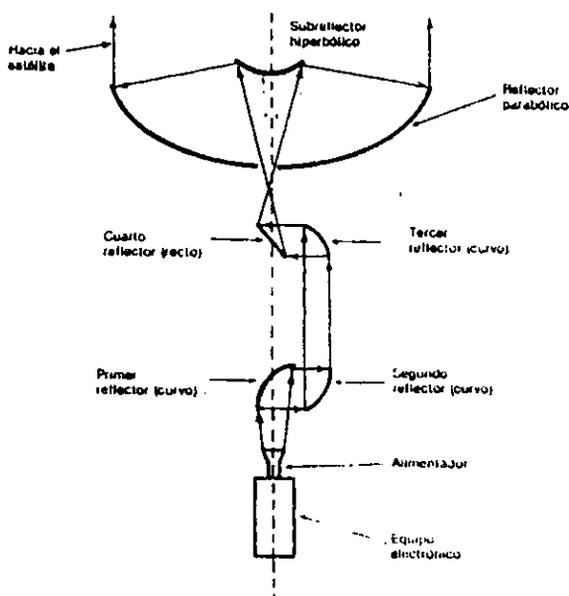


Figura #11

## Tipos de antenas

La antena más extendida para difusión directa por satélite (DBS) es el reflector parabólico, el cual nos permite seleccionar un tamaño mínimo del mismo para la correcta recepción de la señal. El diseño de antenas para aplicaciones de satélite difiere en varios aspectos de otras aplicaciones ya que debe ser diseñada para resistir presiones térmicas y mecánicas.

Los tres tipos de antenas básicos son: Phased Array, Lentes y Reflectores. Una Phased Array requiere de  $N$  redes de alimentación para  $N$  rayos lo que lo hace pesado y complejo. Una lente es más atractiva por su funcionamiento escaneado y porque es más compacta. Sin embargo es también bastante pesada en aplicaciones de baja frecuencia. Un reflector es generalmente usado por su peso ligero y estructura simple. Como elemento de alimentación más usado y que

---

mejor se adapta a los objetivos del diseño tenemos la bocina. En menores ocasiones pero también son utilizados las hélices, guías de ondas encadenadas, pequeños reflectores...

### Phased Array

Consiste básicamente en un grupo de antenas radiando en fase. Bocinas, dipolos, hélices, espirales, parabólicas y muchos otros tipos pueden ser los elementos radiantes. Una Phased Array para aplicaciones de satélite puede utilizarse para:

- Conseguir un haz fijo tanto como múltiple.
- Array de alimentación de lentes o reflectores de sistemas de antena.

Los parámetros de diseño más importantes son:

- Tamaño del array.
- Número de elementos.
- Posición de los elementos.
- Tipos de elementos.
- Errores admisibles de cuantificación en amplitud y fase.

### Lentes

Las lentes se utilizan como antenas colimantes de gran **ganancia**. Una lente no tiene bloqueo por el **alimentador**, aunque es un bloqueo para la alimentación. Las reflexiones de la superficie de la lente causan pérdidas de potencia, errores en la alimentación.

La clave de un buen diseño está en el equilibrio de los siguientes parámetros:

- Tipos de lentes: la mayoría de las lentes usadas para aplicaciones de los satélites son guíaonda, TEM y dieléctricos.

- Dimensiones: viene definida por la relación  $f/D$ , siendo  $f$  la distancia focal y  $D$  el diámetro.
- Formas de superficie de lente: las superficies convencionales son planas, esféricas o praboloides.
- Tolerancias de la superficie: las desviaciones de la superficie de la lente causan pérdidas de ganancia y degradación del patrón.

## Reflectores

El reflector es el candidato más deseable en sistemas de antenas de satélites debido a su ligero pero, su simple estructura y un diseño más consolidado.

- El **alimentador** y el amplificador convertidor situados en el foco ocupan una cierta superficie que intercepta una parte de las ondas que llegan del satélite, disminuyendo así la ganancia de la antena.
- Las ondas difractadas por el borde del reflector y por los lóbulos parásitos aumentan el ruido térmico.

Aún así es el más utilizado porque es el más simple.

**Reflector sin bloqueo:** reflector asimétrico: la antena de foco desplazado (off-set) es una alternativa interesante que se encuentra en fase de rápido desarrollo, sin bien resulta más cara. En ella, el reflector está formado por una parte de la parábola, de manera que el alimentador situado en el foco. Esta disposición elimina el efecto de enmascaramiento o de sombra que el

---

alimentador y su soporte producen sobre las ondas incidentes que llegan del satélite, con lo que se obtiene una mejor eficacia de la antena. La principal desventaja es que se produce un nivel de polarización cruzada superior de alimentación frontal debido a la falta de simetría de la estructura. Un satélite que utiliza este tipo de antenas es el Intelsat VII, el cual posee dos grandes paraboloides en los lados este y oeste alimentados con un array en el foco.

Reflector con bloqueo: antena Cassegrain: este tipo de antenas se utiliza en aplicaciones espaciales donde se requiere gran directividad, una elevada potencia en el transmisor y un receptor debajo ruido. Utilizar una gran antena reflectora implica grandes distancias del receptor al foco y la imposibilidad de colocar equipos en él por lo que una solución es emplear un segundo reflector o subreflector y colocar la alimentación cerca o en el vértice del paraboloide. El foco del subreflector coincide con el del reflector principal. De todas formas el bloqueo no desaparece, el máximo bloque viene determinado por el diámetro del subreflector y por la sombra que proyecta el alimentador desde el foco sobre el paraboloide.

En tercer tipo de antena más extendido no es parabólico, se trata de la antena plana, formada por un cierto número de dipolos cableados de forma que se obtenga un ángulo de apertura del lóbulo principal de magnitud similar a la obtenida con las antenas parabólicas.

### **Sistemas de antenas multihaz**

Una antena multihaz es la que se usa generalmente en los sistemas de antenas de satélite. Consiste en una superficie enfocada iluminada por un array de elementos alimentadores. Cada elemento ilumina a la apertura óptica y genera un haz. El ancho de haz de un rayo va determinado por el tamaño de la apertura óptica y la posición y separación angular de estos rayos está determinada por la separación entre los elementos.

Con esta configuración el satélite puede comunicarse a través de una sola antena con varias **estaciones terrenas** geográficamente dispersas. Además en estas estaciones terrenas se

---

necesitan antenas menores que reducen el costo debido a que tienen la radiación focalizada hacia ellas.

Las antenas multihaz utilizan un reflector que lleva el radiador primario en el foco del mismo. La dirección del haz se puede modificar cambiando la posición de los elementos radiadores alrededor del foco. Hay que tener en cuenta el bloqueo que producen los radiadores dispuestos en torno a éste. Es por ello mucho más útil el empleo de configuraciones offset.

### **Antenas TT&C**

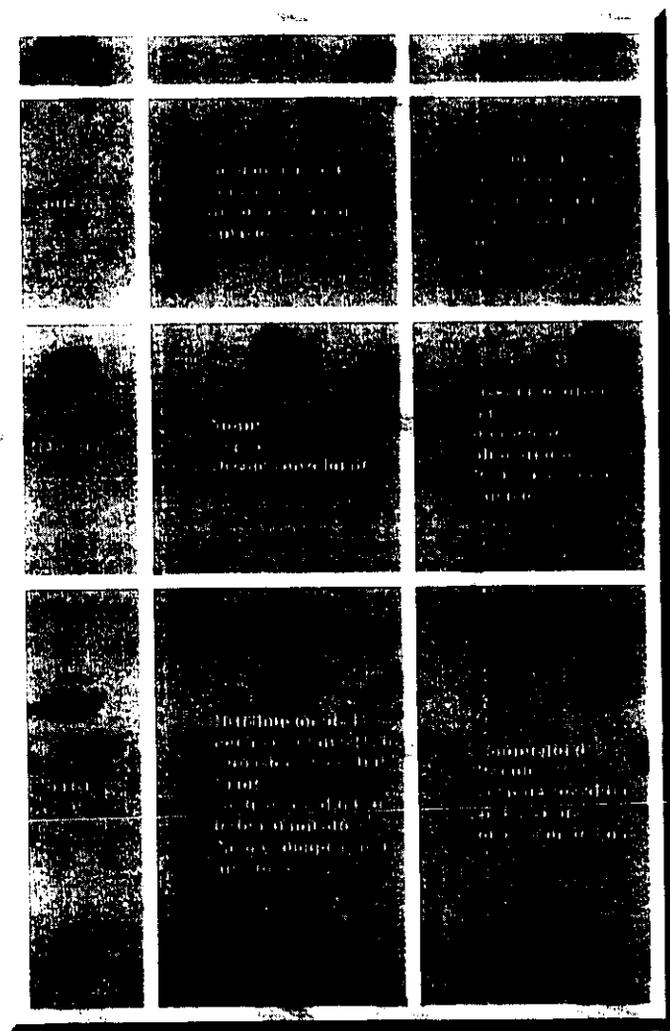
Mientras el satélite geosíncrono está siendo puesto en órbita es necesario mantener una comunicación continua en previsión de posibles desapuntamientos o desplazamientos del mismo. Para esto es necesario que la antena sea omnidireccional y polarizada circularmente. Todos estos servicios de **telemetría, seguimiento y telecomando**, son realizados a través de una misma antena, la cual debe poseer un diagrama de radiación con la máxima zona de cobertura posible, de manera que el servicio no quede interrumpido, independientemente de la posición del satélite o de las condiciones del enlace. La poca directividad de la antena TT&C obliga a que las potencias transmitidas desde la estación terrena, para el servicio de telecomando, y por el satélite, para el de telemetría y seguimiento, tengan que ser relativamente elevadas.

Existen diferentes tipos de antenas TT&C

- **Array circular:** es adecuado para conseguir omnidireccionalidad y restricciones del diseño.
- **Antena bicónica:** suele colocarse en un extremo del eje del satélite, para minimizar el scattering y reducir el bloqueo.

- Reflectores de cilindro ranurado: es difícil conseguir una polarización circular omnidireccional, por tanto se aproxima por un patrón cardiode, conseguido con este tipo de antenas.

#### Características de las tres antenas básicas



### Partes de la antena parabólica.

La parte fundamental de una antena parabólica es el plato, pero también la antena parabólica esta compuesta de varios elementos electrónicos que la forman, para poder así recibir la señal ya sea que provenga del satélite. En su conjunto con la antena parabólica formarían una estación terrena; los elementos que la forman son:

- Alimentador
- Guía de onda
- Amplificador de bajo ruido
- Convertidor de bajada
- Receptor

El alimentador, Amplificador de bajo ruido y el Convertidor de bajada se colocan sobre la misma antena, la figura # 12 muestra como se colocan estos elementos. El receptor en cambio se instala en un lugar cercano al televisor, al gusto del usuario. En algunas instalaciones se acostumbra colocar el convertidor de baja debajo o atrás de la antena y se une con el amplificador de bajo ruido mediante un cable coaxial.

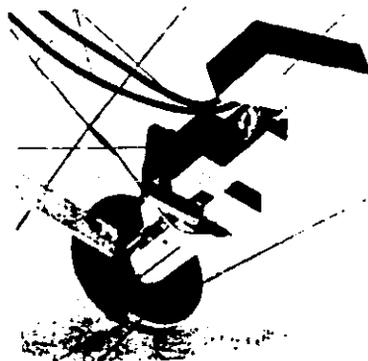


Figura #12

### Alimentador.

Cuando las ondas electromagnéticas provenientes del satélite son reflejadas por el paraboloide, se concentran en el foco geométrico del mismo. Por lo tanto, en ese mismo lugar se coloca el alimentador para que este reciba las ondas concentradas y las guíe hacia el siguiente elemento electrónico (amplificador de bajo ruido).

Un alimentador para sistemas de recepción de TV vía satélite como se muestra en la figura #13 de este tipo popular o casero, tiene en su interior una pequeña antena que se mueve en dos posiciones: vertical y horizontal. Su movimiento se dirige a control desde el receptor, mediante tres cables que están conectados a él. La posición vertical u horizontal determina el canal que se vaya a sintonizar, ya que algunos satélites transmiten canales de polarización vertical, otros en polarización horizontal y otros en ambas simultáneamente; pero sea cual sea el caso, el alimentador solo podrá funcionar a un tiempo determinado en una de las dos posiciones.

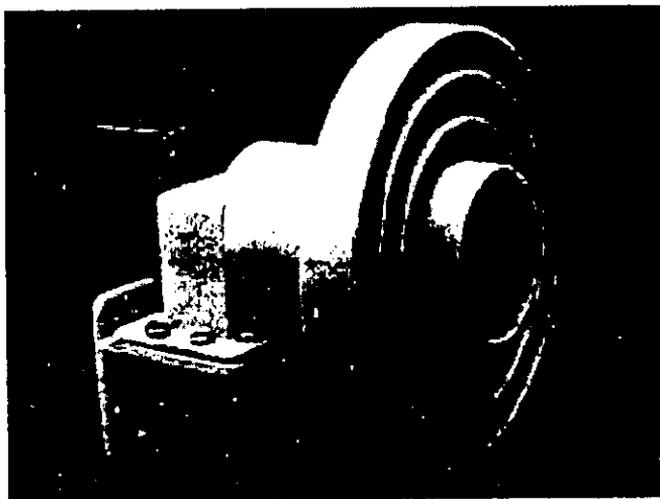


Figura #13

### Guía de Onda.

Las líneas de transmisión de cables paralelos, incluyendo los cables coaxiales, no pueden propagar eficazmente la energía electromagnética arriba de 1 GHz aproximadamente y en frecuencias arriba de 15 GHz aproximadamente, son inservibles para distancias mayores a unas cuantas pulgadas. Esto se debe a la atenuación causada por el factor piel y por las pérdidas de radiación. Además las líneas de transmisión de cables paralelos no se pueden utilizar para propagar señales de alta potencia, por que al alto voltaje asociado con ellas causa que el dieléctrico que separa los dos conductores se rompa. En consecuencia, las líneas de transmisión de cables paralelos son imprácticas para muchas aplicaciones de UHF y de microondas.

En su forma más sencilla una guía de onda es un tubo conductor hueco, por lo general rectangular en sección transversal, como lo muestra la figura # 14 pero a veces circular o elíptico. Las dimensiones de la sección transversal se selecciona de tal forma que las ondas electromagnéticas se propagan dentro del interior de la guía.

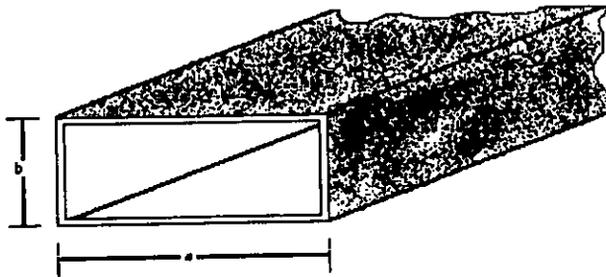


Figura #14

Una guía de onda no conduce corriente en el sentido real, sino que sirve como un límite que confina la energía electromagnética, las paredes de la guía de onda son conductores y por tanto reflejan energía electromagnética de la superficie. Si la pared de la guía de onda es un buen conductor y muy delgado, fluye poca corriente en las paredes interiores y en consecuencia, se disipa muy poca potencia. En una guía de onda, la conducción de energía no ocurre en la paredes de la guía de onda, sino a través del dieléctrico dentro de la guía de onda, que por lo general, es de aire deshidratado o gas inerte. En esencia, una guía de onda es análoga a un conductor de cable metálico con el interior removido. La energía electromagnética se propaga a lo largo de la guía de onda reflejándose hacia un lado y otro en un patrón de zigzag. El área de la sección transversal de una guía de onda tiene que estar en el mismo orden que la longitud de onda de la señal que se está propagando. Por lo tanto, la guía de onda se restringe por lo regular a frecuencias por debajo de 1 GHz.

Rango de Frecuencias Útiles GHz	Dimensiones externas Mm	Atenuación Promedio teórica DB/m	Clasificación de potencia promedio teórico (CW) KW
1.20 - 1.70	169x86.6	0.0052	14,600
1.70 - 2.60	113x58.7	0.0097	6,400
2.60 - 3.95	76.2x38.1	0.019	2,700
3.95 - 5.85	50.8x25.4	0.036	1,700
5.85 - 8.20	38.1x19.1	0.058	635
8.20 - 12.40	25.4x12.7	0.110	245
12.4 - 18.0	17.8x9.9	0.176	140
18.0 - 26.5	12.7x6.4	0.37	51
26.5 - 40.0	9.1x5.6	0.58	27
40.0 - 60.0	6.8x4.4	0.95	13
60.0 - 90.0	5.1x3.6	1.50	5.1
90.0 - 140	∅ 40.0	2.60	2.2
140 - 220	∅ 40.0	5.20	0.9
220 -325	∅ 40.0	8.80	0.4

### **Amplificador de Bajo Ruido.**

Aún cuando la concentración de energía en el foco geométrico de la antena parabólica es grande, en términos de amplificación, la potencia total que llega al alimentador es todavía muy baja, en relación a la que se necesita para poder procesar la señal de televisión; por lo tanto, es preciso añadir una etapa de preamplificación, inmediatamente después de la salida del alimentador, misma que se realiza mediante un amplificador de bajo ruido. Figura #15.

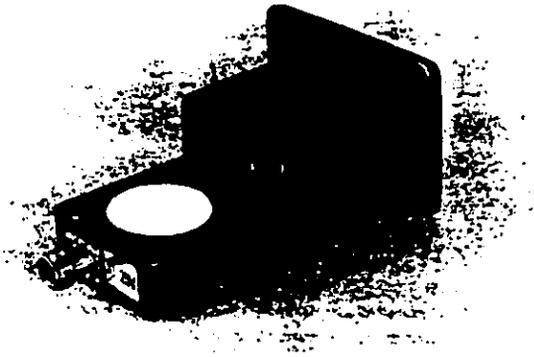


Figura #15

El amplificador de bajo ruido va directamente acoplado al alimentador, tal como se observa en la figura # 16. En las frecuencias en la que opera un amplificador de bajo ruido, el ruido eléctrico interno producido por sus mismos circuitos es muy alto, y puede ser amplificado por el mismo amplificador de bajo ruido ensuciando a la señal de televisión. Para reducir este efecto de su capacidad para eliminar su propio ruido interno, tal capacidad es indicada por un parámetro conocido como temperatura de ruido, mediante en grados Kelvin. Entre menos grados de temperatura de ruido tenga un amplificados de bajo ruido en su frecuencia de operación, mejor será su frecuencia de amplificación.

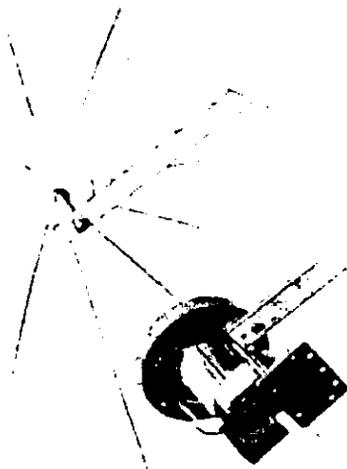


Figura # 16

**Convertidor de bajada.**

La función del convertidor de bajada es la de bajar la frecuencia de la señal a una de 70 MHz, conocida como frecuencia intermedia, además de realizar otra etapa de amplificación.

Figura # 17.

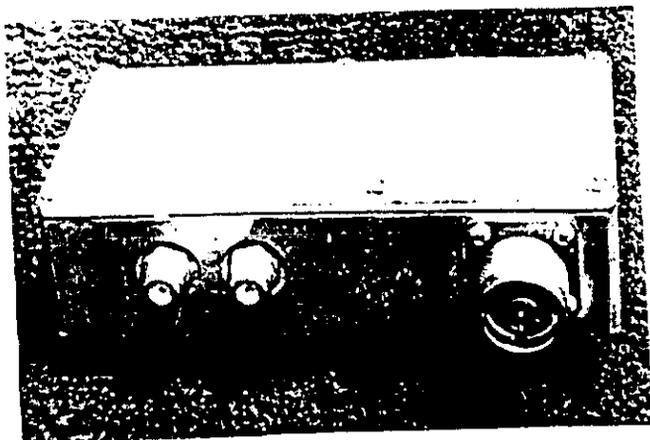


Figura # 17

El convertidor de bajada se conecta a la salida del amplificador de bajo ruido mediante un cable coaxial o un conector N-N. Es preferible usar este conector en lugar de cable coaxial, con el fin de evitar pérdidas de potencia en la señal.

La alimentación de corriente directa que necesita el amplificador de bajo ruido, se le proporciona mediante este mismo conector, a través del conector de bajada figura # 18. El mismo caso se tiene por optar por un cable coaxial. En cuanto al convertidor de bajada, éste obtiene la alimentación de corriente directa mediante dos conectores que van conectados al receptor. La señal sale del convertidor de bajada por un cable coaxial, que posteriormente se conecta al receptor.

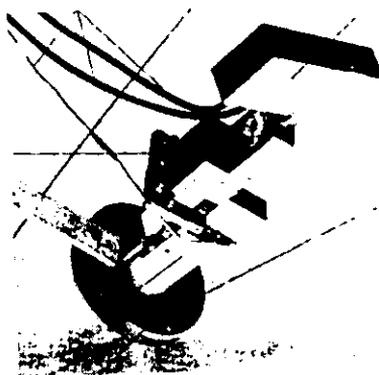


Figura #18

### **Convertidor de Bajada en Bloque.**

Anteriormente se describió el funcionamiento y las conexiones del ABR, el convertidor de bajada y el receptor. En este tipo de arreglo, una vez que el ABR ha llevado a cabo la amplificación de las señales, el convertidor de bajada reduce la frecuencia intermedia (FI). En este caso la reducción de la frecuencia se realiza en un solo paso.

En la actualidad existen fabricantes de equipo para TV que utilizan otro método de conversión de frecuencias, conocido como *conversión de bajada en bloque*. En este caso, el proceso de

reducción se realiza en dos pasos. En el primero paso, la información contenida en el intervalo de frecuencias de las señales que salen del ABR es transferida en su conjunto por un convertidor a otra gama intermedia de frecuencias, que puede ser de 950 a 1450 Mhz o de 440 a 940 MHz. Estas señales pasan por el convertidor al receptor un cable coaxial, y en este último (el receptor) donde se lleva a cabo la segunda conversión del canal seleccionado, transfiriendo la información a una frecuencia intermedia de 70 MHz.

La ventaja que tiene el nuevo tipo de conversión es que el primer paso de reducción es independiente del canal que se seleccione, lo que significa que una sola antena con su ABR y su convertidor de bajada en bloque puede ser conectada a varios receptores, cuyos usuarios pueden seleccionar independientemente el canal que deseen.

### **Convertidor de Bajada de Bajo Ruido en Bloque (LNB)**

*El Convertidor de Bajada de Bajo Ruido en Bloque (Low Noise Block Downconverter) o LNB* combina en una sola unidad el ABR y al convertidor de bajada, y en este caso ya no es necesario el conector N-N. El convertidor también es de dos pasos, como es descrito anteriormente; por lo tanto, el LNB también es apropiado para instalaciones multiusuarios.

Un LNB es más barato que un arreglo ABR – Convertidor de Bajada en Bloque, ya que su proceso de manufactura es más económico, pero en cambio cualquier falla que se presente en el LNB es más difícil de detectar y reparar; por lo tanto, son más costosos los gastos de servicio.

Una ventaja del LNB es que las pérdidas que se producen entre la etapa de amplificación de bajo ruido y la etapa de conversión de bajada son menores, debido a que no existe ningún conector o cable externo intermedio entre las etapas.

En algunas áreas y, principalmente en las grandes ciudades, la interferencia que producen los sistemas de microondas sobre las estaciones terrenas llega a ser tan alta que es necesario

instalar algún filtro entre la etapa de amplificación de bajo ruido y la de conversión de bajada, que reduzca los efectos de esta interferencia sobre la estación terrena; sin embargo los filtros que se utilizan para reducir las interferencias terrestres, por su alto costo, suelen utilizarse únicamente en sistemas multiusuarios grandes o condominios de lujo. Esta es la desventaja de los LNB, ya que en su caso, entre la etapa de amplificación de Bajo ruido y la etapa de conversión, no es posible colocar ningún filtro, y a pesar del blindaje no se elimina la interferencia totalmente, porque el ruido se introduce por la antena junto a la señal deseada. La figura # 19 muestra un diagrama de conexiones del Alimentador, Amplificador de Bajo Ruido y Convertidor de Bajada.

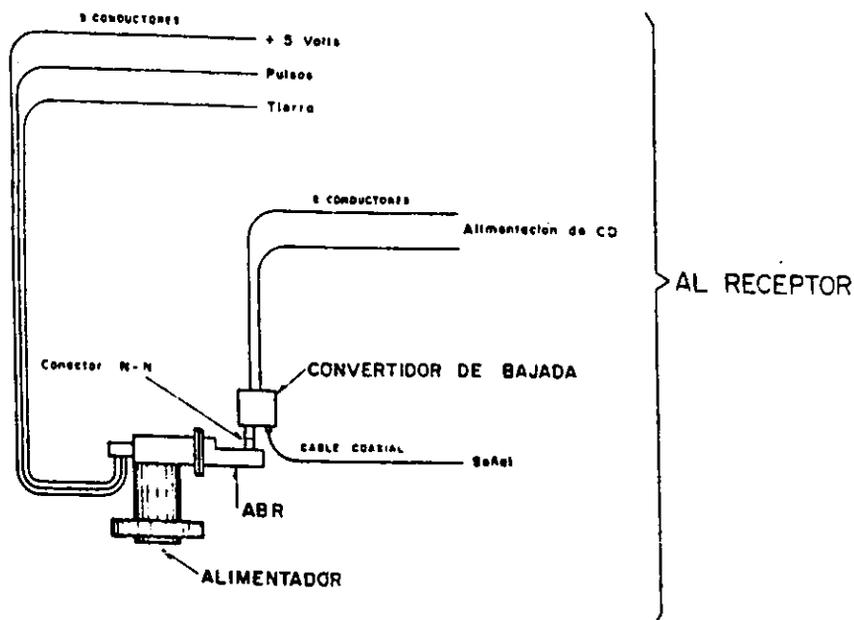


Figura #19

## Receptor.

Las últimas etapas que se necesitan de demodulación, mezclado y amplificado de la señal, se lleva a cabo en el receptor. Por lo general todos los receptores contienen los siguientes controles, entradas, salidas y fuentes de alimentación como se muestra en la figura #20 (a) y 20 (b) respectivamente.

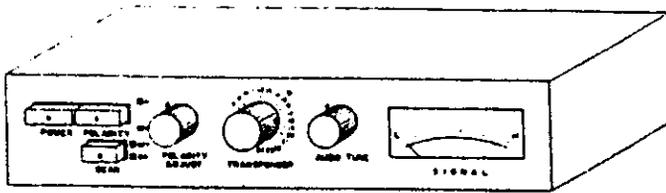


Figura #20a

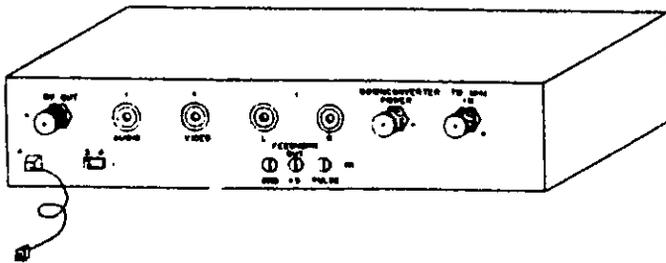


Figura #20b

- a) Encendido y apagado.
- b) Selector de canales.
- c) Selector de polaridad, vertical u horizontal.
- d) Ajuste de polaridad.

- 
- e) Sintonía de audio.
  - f) Galvanómetro indicador de nivel de señal.
  - g) Barrido de canales.
  - h) Salida de señales de TV para el canal 3 o 4.
  - i) Selector de canal 3 o 4.
  - j) Salida de audio.
  - k) Salida de vídeo.
  - l) Salidas izquierda y derecha para sonidos estereofónico.
  - m) Tres conexiones para los cables que van del alimentador (tierra, +5V y pulsos).
  - n) Alimentación de corriente directa para el convertidor de bajada y el amplificador de bajo ruido.
  - o) Alimentación de corriente alterna.
  - p) Entrada para la señal con frecuencia intermedia de 70 MHz, proveniente del convertidor de bajada.

## **ANGULO DE ELEVACION Y AZIMUT**

### **Orientación en elevación y azimut**

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geostacionario se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación en altitud y longitud y de la ubicación en longitud del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquél formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite (la figura # 21 muestra el ángulo de elevación de la antena de una estación terrena), el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena

- 
- e) Sintonía de audio.
  - f) Galvanómetro indicador de nivel de señal.
  - g) Barrido de canales.
  - h) Salida de señales de TV para el canal 3 o 4.
  - i) Selector de canal 3 o 4.
  - j) Salida de audio.
  - k) Salida de vídeo.
  - l) Salidas izquierda y derecha para sonidos estereofónico.
  - m) Tres conexiones para los cables que van del alimentador (tierra, +5V y pulsos).
  - n) Alimentación de corriente directa para el convertidor de bajada y el amplificador de bajo ruido.
  - o) Alimentación de corriente alterna.
  - p) Entrada para la señal con frecuencia intermedia de 70 MHz, proveniente del convertidor de bajada.

## **ANGULO DE ELEVACION Y AZIMUT**

### **Orientación en elevación y azimut**

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geostacionario se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación en altitud y longitud y de la ubicación en longitud del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquél formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite (la figura # 21 muestra el ángulo de elevación de la antena de una estación terrena), el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena

en el sentido de las manecillas del reloj con relación al norte geográfico de la Tierra para que ese mismo eje de simetría prolongado imaginariamente pase por la posición en longitud del satélite (la figura # 22 muestra el ángulo azimut de la antena de una estación terrena, se muestran tres orientaciones distintas del plato parabólico; las flechas indican la dirección de máxima radiación para cada caso).

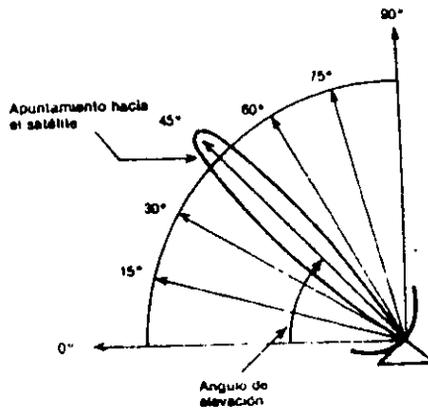


Figura #21

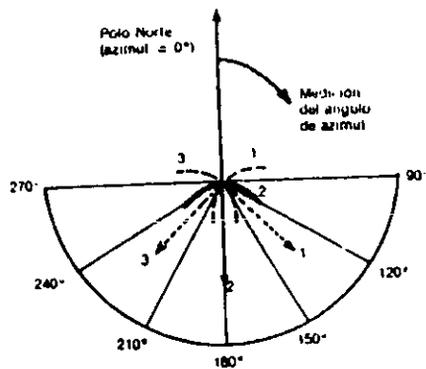


Figura #22

---

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar -mediante algún mecanismo- sus ángulos de elevación y azimut; además, aunque se mantengan siempre en comunicación con el mismo satélite -y dependiendo de la aplicación de la estación terrena-, también es necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos, pues como ya se ha visto anteriormente, ningún satélite geostacionario es realmente fijo, sino que tiende a salirse poco a poco de su posición orbital.

### La Brújula y el Angulo de Azimut

La brújula permite medir el ángulo que hay entre el eje magnético de la Tierra y cualquier línea visual. El eje magnético no tiene la misma dirección que el eje geográfico, siendo la diferencia entre las direcciones de ambos (declinación magnética) función de cada región geográfica específica. Existen ciertos lugares donde la declinación magnética es igual a cero; por ejemplo, en algunas zonas del estado de Florida (Estados Unidos), del Caribe y de América del Sur. En estos lugares, el azimut de una antena parabólica queda perfectamente definido por la orientación de la brújula, sin necesidad de efectuar ningún ajuste. Por otra parte, la declinación magnética puede tomar valores de  $100^\circ$  o más, como ocurre en el archipiélago de Parry, Canadá. En el continente americano, entre las latitudes  $60^\circ\text{S}$  y  $55^\circ\text{N}$ , esta declinación varía entre  $0^\circ$  y  $35^\circ$  E u O, y en el caso particular de la República Mexicana, el intervalo de variación está entre  $5^\circ\text{E}$  y  $4^\circ\text{E}$ . Figura #23.

Para orientar la antena parabólica en azimut es preciso restar o sumar la declinación magnética al valor leído en la brújula, dependiendo de si la declinación es hacia el oeste o el Este, para localizar el verdadero azimut geográfico. Existen datos publicados de la declinación magnética por zonas geográficas en las llamadas *cartas de líneas isogónicas*, y debido a que los polos magnéticos Norte y Sur varían ligeramente de posición con el tiempo, existen organismos nacionales e internacionales que realizan nuevas mediciones cada tres o cinco años, para actualizar dichas cartas. Es importante notar que además de considerar la declinación magnética al orientar una antena con la brújula, es preciso tomar en cuenta la posible

influencia, sobre la aguja del instrumento, que pueden ejercer los equipos eléctricos o las estructuras metálicas cercanas.

Obviamente, con un poco de práctica, la antena puede girarse poco a poco, sin necesidad de depender totalmente de la brújula, hasta que se perciba en la pantalla del televisor la mejor calidad posible de la imagen. Esto puede hacerse mediante el indicador de intensidad de señal del aparato receptor cuyo máximo indica una óptima recepción.

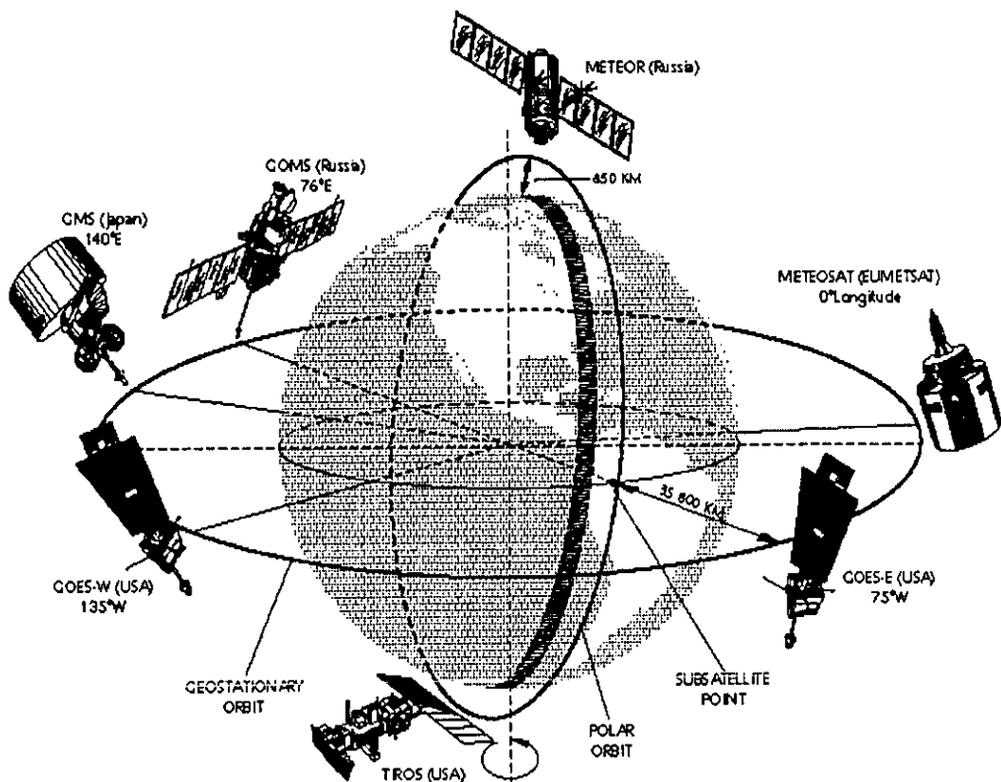


Figura #23

## Cálculos de los Angulos de Elevación y Azimut

La orientación de un plato parabólico queda definida por dos ángulos; el de elevación  $\alpha$  y el de azimut  $\beta$ . Al reorientar la antena de un satélite a otro, ambos ángulos cambian de valor. El nuevo ajuste de los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  pueden hacerse de forma automática o manualmente.

Considérese un sistema de coordenadas esféricas  $\theta; \phi, r$ , cuyo origen coincide en el centro de la tierra. En el punto P se encuentra la estación terrena, y el punto S denota la localización del satélite al quien se desea orientar la antena. La órbita geoestacionaria, también llamada *Cinturón de Clarke*, se halla en el plano ecuatorial a una altura de 35,800 km más el radio terrestre. Conviene introducir un sistema auxiliar de coordenadas  $x', y', z'$ , cuyo origen coincida con el punto P, o sea, con la estación terrena, y cuyos ejes sean paralelos al sistema original. Una variable referida al sistema original, cuyo origen es C, lleva asociado el superíndice C, y una variable referida al sistema auxiliar, con el origen de P, tiene el superíndice P. Con base a lo anterior se deducen las expresiones siguientes:

$$X_S^P = X_S^C - X_P^C \quad (1)$$

$$Y_S^P = Y_S^C - Y_P^C \quad (2)$$

$$Z_S^P = Z_S^C - Z_P^C \quad (3)$$

En donde  $X_S, Y_S, Z_S$  y  $X_P, Y_P, Z_P$  son respectivamente las coordenadas de los puntos S y P con respecto al superíndice en cuestión. En la figura # 24 R es igual al radio terrestre más la altura del nivel del mar del lugar donde está ubicada la estación terrena. Es considerar o no esta altura sobre el nivel del mar arroja resultados muy similares con diferencias de fracciones de minuto angular.

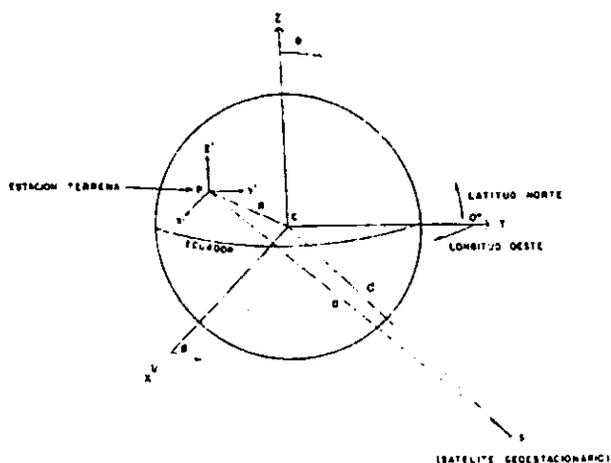


Figura # 24

Si se considera que el meridiano de longitud  $0^\circ$  o de Greenwich coincide con el plano  $yz$ , y si LAT, LONG y POS denotan respectivamente la latitud norte y longitud oeste de la estación terrena y la longitud oeste del satélite, se tiene que:

- (4)  $\theta_P^C = 90^\circ - \text{LAT}$
- (5)  $\phi_P^C = 450^\circ - \text{LONG}$
- (6)  $\theta_S^C = 90^\circ$
- (7)  $\phi_S^C = 450^\circ - \text{POS}$

Sustituyendo las expresiones (4) y (7) en los equivalentes en coordenadas esféricas de las ecuaciones (1) a (3) se obtienen los valores de las coordenadas  $X_S^P$ ,  $Y_S^P$ ,  $Z_S^P$ , con las cuales se puede obtener la distancia  $D$  entre la estación terrena y el satélite:

$$X_S^P = -R \operatorname{sen}(90^\circ - \text{LAT}) \cos(450^\circ - \text{LONG}) + d \cos(450^\circ - \text{POS})$$

$$Y_S^P = -R \operatorname{sen}(90^\circ - \text{LAT}) \operatorname{sen}(450^\circ - \text{LONG}) + d \operatorname{sen}(450^\circ - \text{POS})$$

$$Z_S^P = -R \cos(90^\circ - \text{LAT})$$

$$D = \sqrt{(X_S^P)^2 + (Y_S^P)^2 + (Z_S^P)^2}$$

Finalmente con referencia a la figura # 25 en donde  $\alpha$  es el ángulo formado entre la línea tangente en P y la trayectoria PS, y  $\alpha'$  es un ángulo agudo formado por las rectas CP y PS, y aplicando las leyes de los senos y cosenos se tiene que:

$$\alpha = \text{ángulo de elevación} = 90^\circ - \alpha'$$

$$\alpha' = \text{ángulo. sen} \left[ \frac{1}{2RD} \sqrt{(d+D+R)(d+D-R)(d+R-D)(R+D-d)} \right]$$

$$\tan\left(\frac{\psi + \Omega}{2}\right) = \frac{\left(\cot\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\right)}{\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)}$$

$$\tan\left(\frac{\psi - \Omega}{2}\right) = \frac{\left(\cot\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\right)}{\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)}$$

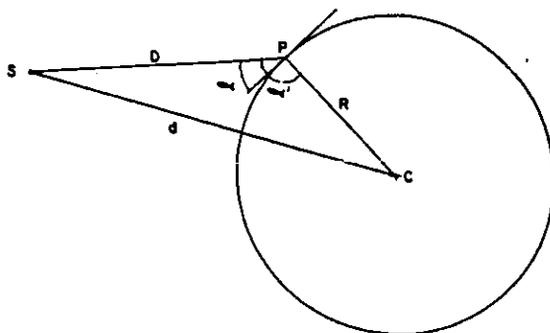


Figura #25

En donde  $a = 90^\circ$ ,  $b = 90^\circ - \text{LAT}$  figura # 26. Al resolver este sistema de ecuaciones, se obtiene el ángulo  $\phi$ , y finalmente el ángulo buscado de azimut beta.

$$\beta = 360^\circ - \psi$$

$$= \tan^{-1} \left( \cot \left( \frac{\gamma}{2} \right) \cot \left( \frac{\text{LAT}}{2} \right) \right) + \tan^{-1} \left( \cot \left( \frac{\gamma}{2} \right) \tan \left( \frac{\text{LAT}}{2} \right) \right)$$

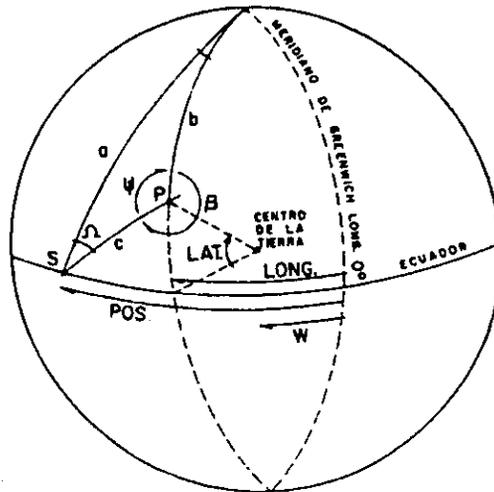


Figura #26

Las ecuaciones permiten calcular los ángulos de orientación  $\alpha$  y  $\beta$  para cualquier pareja arbitraria estacionaria terrena - satélite; es importante hacer notar que mediante otros criterios de análisis, diferente al descrito, también es posible deducir expresiones matemáticas aparentemente distintas, pero que conducen a resultado similares; como se muestra en la figura # 27(a) y 27(b) respectivamente.

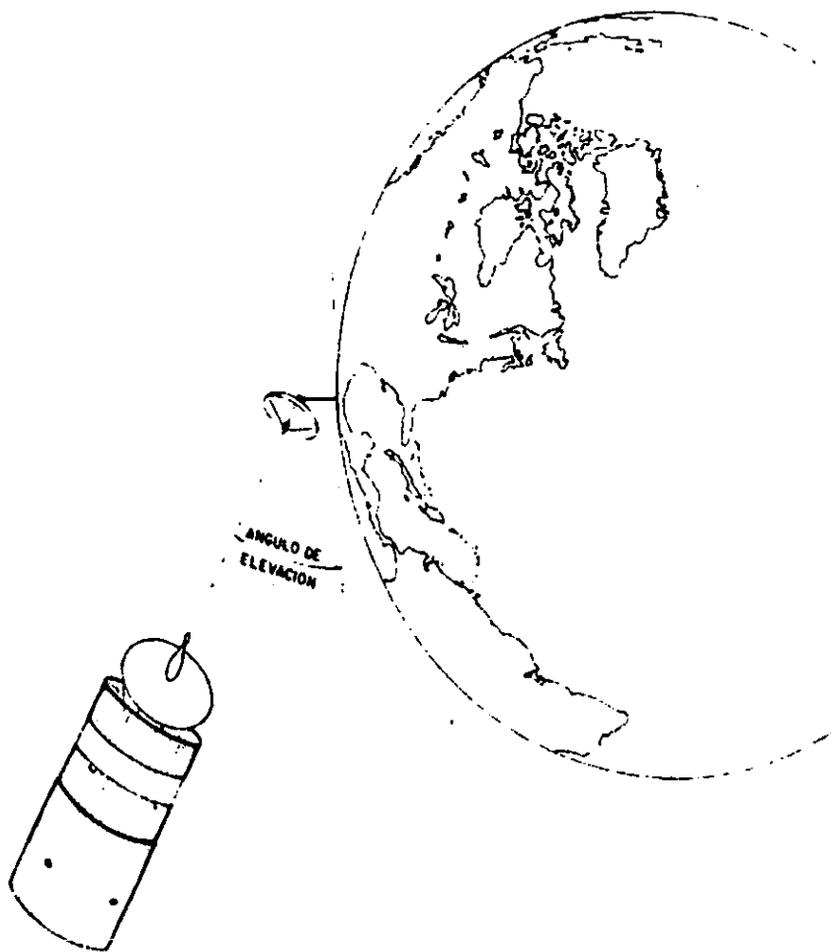


Figura # 27a

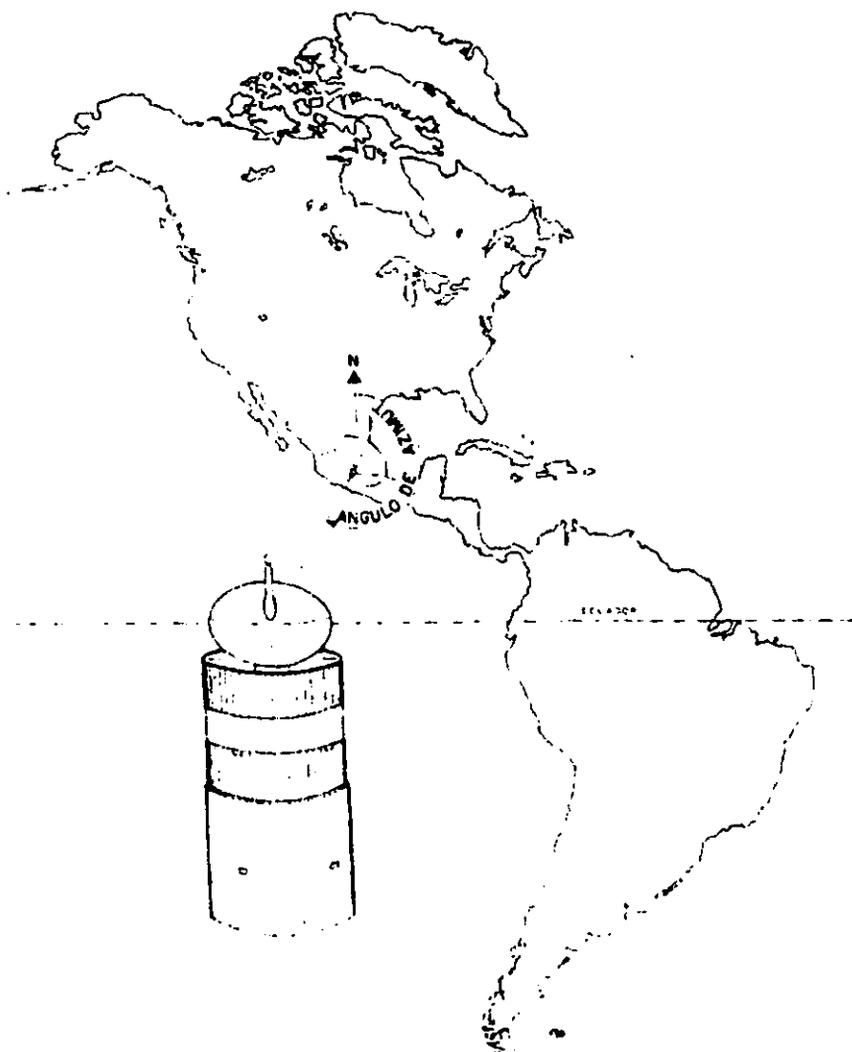


Figura #27b

## Contorno de Angulos de Orientación

Al graficar los resultados de las ecuaciones obtenidas, a través de familias de curvas, en donde puede leerse, por ejemplo, el ángulo de elevación  $\alpha$  para una cierta latitud de la estación terrena y una diferencia de longitud entre ésta y el satélite. La gran ventaja de estas familias de curvas es que son útiles para cualquier satélite, puesto que lo único que importa es la diferencia de longitudes entre la estación terrena y el satélite; pero, en contraparte, resulta muy poco ilustrativa. En cambio, si los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  son mostrados gráficamente sobre una región geográfica determinada, y particularizando a un solo satélite a la vez, se pueden obtener contornos prácticos y muy ilustrativos, como los de la figura # 28. Estos contornos de obtuvieron empleando las ecuaciones 9 y 13 con el satélite geoestacionario *Galaxy 2*, ubicado a  $74^{\circ}\text{O}$ . Como es de esperarse, todo plato parabólico situado en el hemisferio norte y sobre el meridiano  $74^{\circ}\text{O}$  que desee detectar señales del *Galaxy 2*, debe tener un ángulo de azimut  $\beta$  de  $180^{\circ}$ , puesto que la parábola está totalmente de espaldas al Polo Norte y viendo de frente al satélite. Si nos desplazamos hacia la izquierda, a lo largo de una de las curvas de ángulo de elevación constante, por ejemplo  $\alpha = 50^{\circ}$ , es sencillo imaginar cómo debe girar el plato parabólico, tratando de mantener una vista directa hacia el satélite; de esta forma, para una estación situada sobre la línea del ecuador, el ángulo de azimut baja a  $90^{\circ}$ , puesto que su línea visual con el satélite forma una escuadra de  $90^{\circ}$  con respecto a la dirección hacia el polo Norte.

Mientras más cerca esté la estación terrena del satélite, tanto la latitud como la longitud, el ángulo de elevación tenderá hacia  $90^{\circ}$ , tomando este valor cuando el plato parabólico está precisamente sobre el ecuador, viendo al satélite totalmente hacia arriba, a lo largo de una perpendicular a la Tierra en ese punto. Es aquí donde la distancia  $D$  estación terrena-satélite es mínima. Conforme aumenta la distancia entre la estación terrena y el satélite, el ángulo de elevación va decreciendo. De hecho, es fácil visualizar los contornos de ángulo de elevación como proyecciones de círculos concéntricos sobre la superficie terrestre, aún cuando en la figura muestre únicamente una parte de los mismos. La utilidad de estos contornos es obvia,

pudiéndose determinar por interpolación y con bastante aproximación, la pareja de ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  para cualquier estación terrena orientada al satélite.

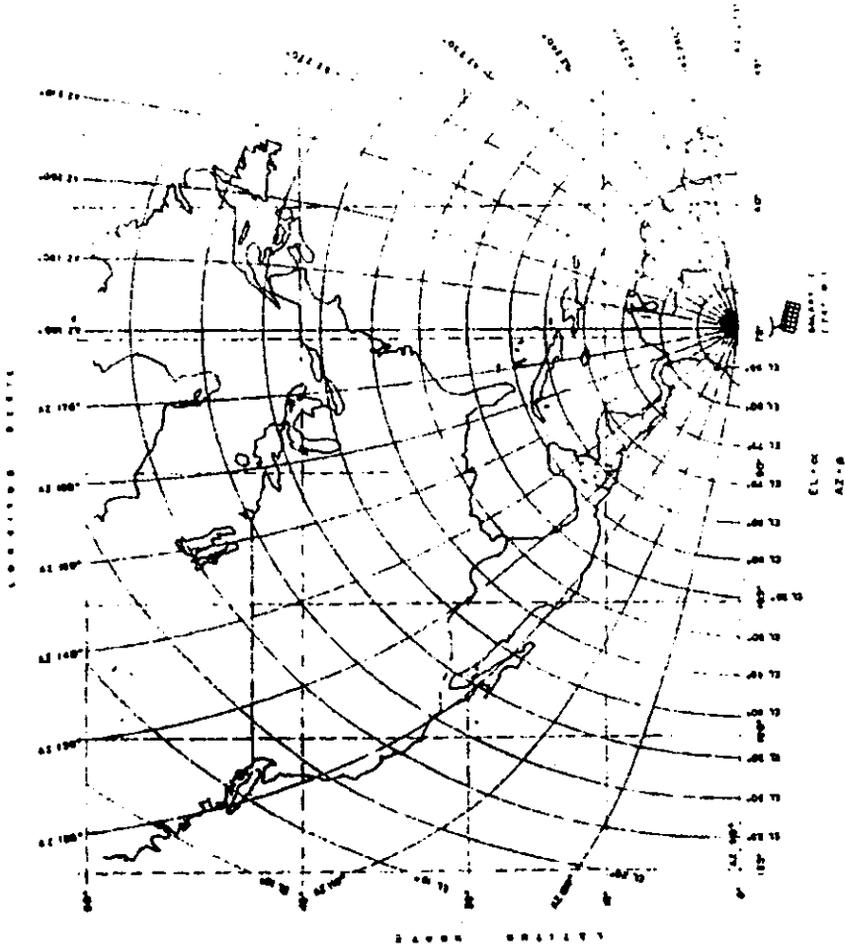


Figura #28

---

Un grupo de contornos similares a los de la figura # 28 puede obtenerse para cada satélite de interés. Los contornos asociados a los satélites mexicanos Morelos 2 y Solidaridad se muestran en las figuras # 29 y 30. A diferencia de la figura # 28, en ambos casos el satélite se encuentra ubicado en el lado extremo occidental del continente americano; por consiguiente, los contornos del ángulo de elevación se ven desplazados hacia el oeste, siendo concéntricos ahora con los satélites Solidaridad. Con referencia a la figura # 29, las estaciones terrenas situadas en la parte central de la península de Baja California tiene un ángulo de azimut de  $180^\circ$ , puesto que sus platos deben de estar de espaldas al Polo Norte, viendo de frente el satélite Morelos 2, ubicado en  $113^\circ\text{O}$ . Si nos desplazamos por ejemplo, en la dirección *Este* a lo largo de la curva de ángulo de elevación constante  $\alpha = 60^\circ$ , observaremos que el plato parabólico debe girar, para seguir viendo de frente al satélite, hasta que en el punto sobre el ecuador  $\beta = 270^\circ$ . Si el desplazamiento se hiciese sobre la misma curva, pero dirección oeste, al llegar a un punto sobre el ecuador, el ángulo de azimut sería igual a  $90^\circ$ .

Una interpretación similar a la anterior se le aplica a los contornos de la figura # 30, correspondientes al satélite mexicano Solidaridad, que opera en  $116.8^\circ\text{O}$ . Es fácil de intuir que la familia de contornos es la misma que el de la figura # 29, sólo que centrada ahora en otro satélite, desplazándolos únicamente sobre el arco ecuatorial, utilizando un par de láminas. Una de ellas transparente y móvil, que contenga los contornos los cuales deben de coincidir con la posición del satélite geoestacionario deseado. En este principio se basa la *Carta Universal de Contornos*.

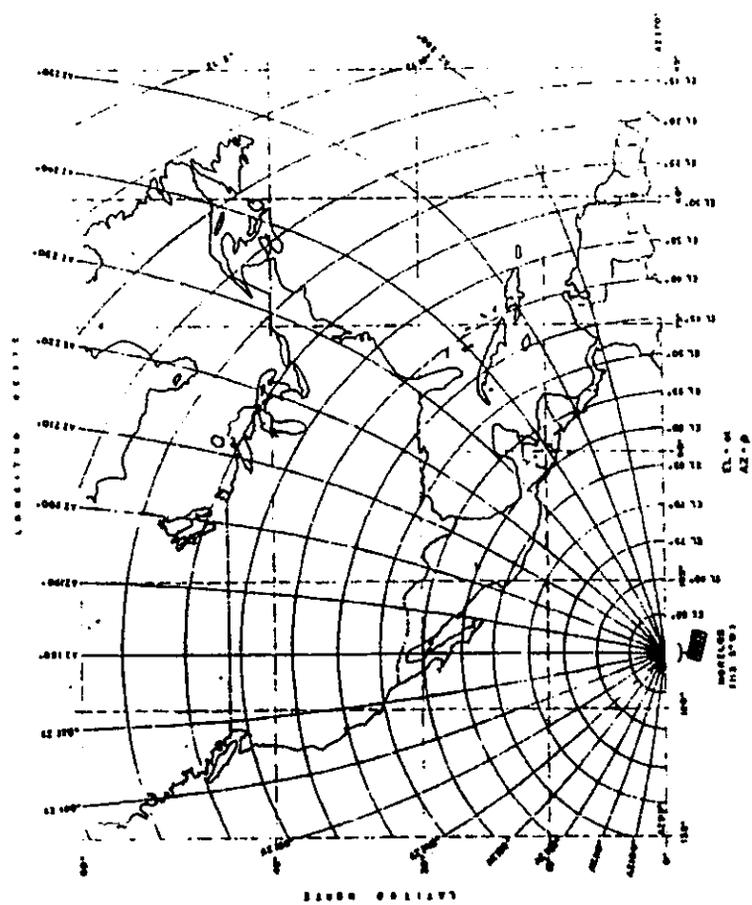


Figura #29

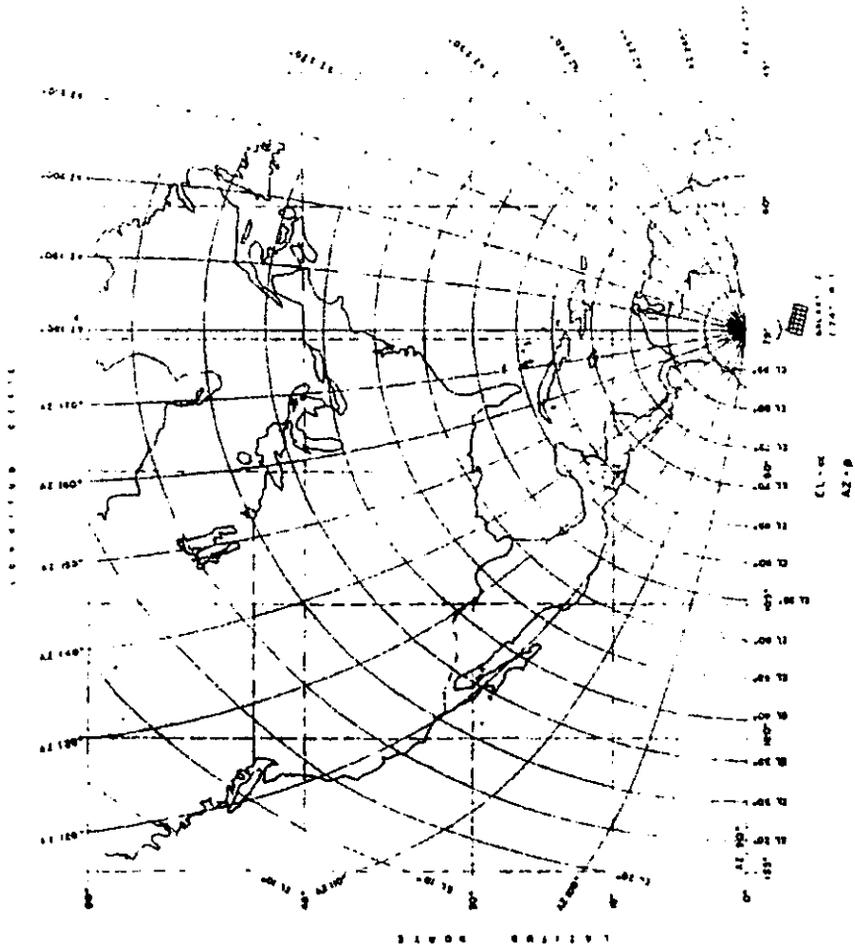


Figura #30

---

## **Carta Universal de Contornos de Elevación Azimut**

Anteriormente se mostraron los contornos de los ángulos de elevación y azimut necesarios para orientar una antena parabólica hacia tres satélites específicos. Muchos contornos similares, para otros satélites, son publicados periódicamente en revistas especializadas; la gran desventaja de esta forma de representar los ángulos de orientación es que siempre hay que dibujar los contornos para un satélite muy particular y una zona geográfica específica, y cada vez que se cambie de satélite o zona geográfica, hay que realizar un dibujo diferente.

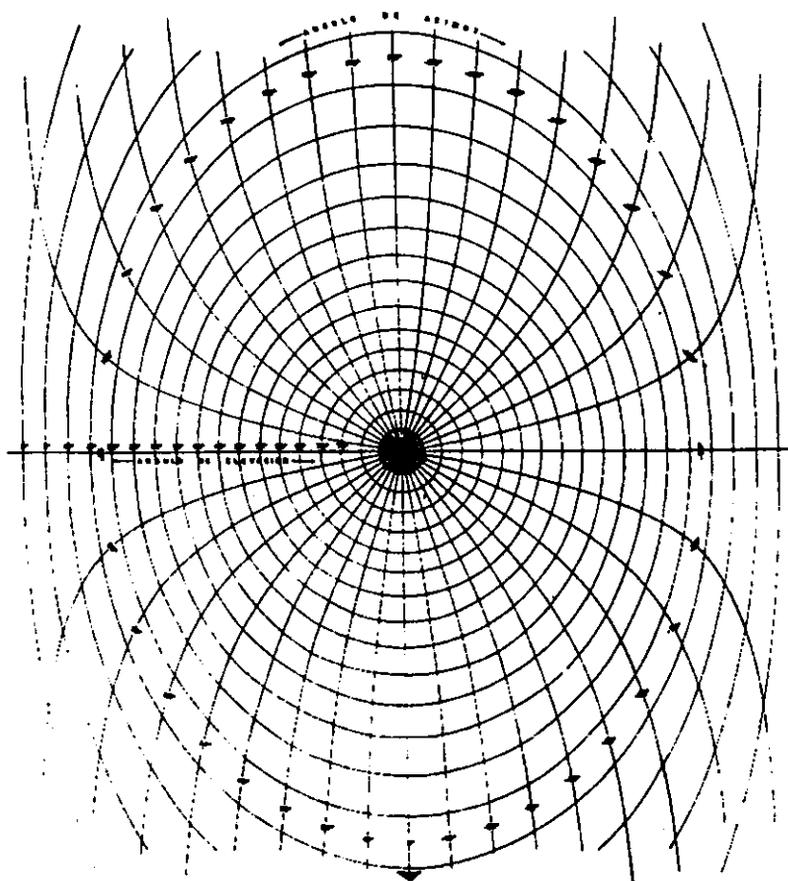
Sin embargo, si se usa la *Carta Universal de Contornos de Angulos de Elevación y Azimut* para orientar antenas parabólicas hacia cualquier satélite Geoestacionario se evita la molestia de redibujar los contornos cada vez que se quiera cambiar de satélite. Este sistema geográfico es concedido al Dr. Rodolfo Neri Vela y al Dr. Bernardo Martínez Avalos por los Estados Unidos americanos con número de patente 4,725,236, en febrero de 1988.

El proceso para utilizar la Carta Universal es muy sencillo:

1. Coloque la mica sobre el mapa, haciendo coincidir la línea horizontal de la línea ecuatorial del mapa.
2. Deslice la mica sobre el mapa, hasta que la fecha dibujada debajo de la vertical central de la mica coincida con la posición de longitud este u oeste del satélite deseado, misma que se lee directamente sobre la escala horizontal inferior del mapa.
3. Lea directamente sobre los contornos los ángulos de elevación y azimut que deberá tener la antena para la posición geográfica elegida. De ser preciso, recurra a interpolación para leer los resultados con mayor precisión.

No olvide que los anteriores son con respecto al norte geográfico de la Tierra; que por cuestiones técnicas, al ángulo de elevación no debe ser menor de los  $10^\circ$ ; y que de consultarse el contorno de radiación de cada satélite en particular (huella de iluminación o *footprint*), para asegurar que la energía radiada llegue con un nivel de potencia aceptable.

### ANGULOS DE ELEVACIÓN Y AZIMUT



## GANANCIAS Y RENDIMIENTO DE UNA ANTENA PARABOLICA

### Pérdidas de espacio libre

La pérdida de espacio libre en las comunicaciones por satélite es una función de la frecuencia en uso y la distancia que tiene que cubrir la señal desde el satélite sobre la Tierra y la distancia en línea recta hasta el punto de recepción. El valor de  $d$ , la distancia, viene determinado por la posición del satélite con respecto al punto receptor. La atenuación atmosférica se debe a la absorción de energía de microondas del oxígeno, el vapor de agua y la lluvia. El efecto de atenuación atmosférica no es tan grave en las frecuencias de banda C y banda Ku.

Frecuencia GHz	D 35,787 fm (cenit)	D 39,000 km (típica)	D 41,679 (horizonte)
6	195.6	196.3	196.9
5	199.0	199.8	201.9
11	204.4	205.1	205.7
12	205.1	205.8	206.4
14	206.5	207.2	207.9

El efecto de rotación de Faraday es un fenómeno que experimenta las señales que han viajado por la ionosfera. Estas señales tienen una interacción mutua con el campo magnético terrestre produciendo un efecto conocido como rotación de Faraday. El efecto es proporcional a la densidad de la capa ionizada y tiene como consecuencia una atenuación de la señal.

Las pérdidas de centello son el resultado del paso de las señales por varias capas ionizadas entre 80 y 450 km sobre la Tierra. El centello hace que las señales se debiliten. Un fenómeno que se critica es el de la pérdida de transmisión debida a un eclipse.

---

Los sistemas de comunicación vía satélite no carecen de dificultades de propagación, pero normalmente son de naturaleza previsible, y en la mayoría de los casos pueden tomarse medidas para garantizar que las estaciones terrenas, allí donde estén, con muy pocas excepciones, puedan recibir la señal emitida por un satélite. Estos son algunos de los factores más importantes a tener en cuenta:

- a) Pérdida de espacio libre.
- b) Atenuación debida a nubes y lluvias.
- c) Atenuación atmosférica.
- d) Efecto de rotación de Faraday.
- e) Pérdidas de señales debido al centello.
- f) Interferencia de canales contiguos.
- g) Interferencia de la transmisión.

### **Ganancia de la antena parabólica**

A una frecuencia dada, la ganancia de una antena parabólica es función de su área efectiva y se puede expresar mediante la fórmula:

$$G = 10 \log_{10} \left[ \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \right]$$

Las antenas parabólicas de que se disponen comercialmente se alimentan de manera convencional, por medio de una antena de cono en su foco y, generalmente, tiene una eficiencia del 55% o más; con tal eficiencia la ganancia (G en dB) es:

$$G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} F + 7.5$$

Donde F es la frecuencia en gigahertz y D es el diámetro de la pérdida en pies.

En unidades métricas se tiene:  $G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} F + 17.8$

Donde D es la distancia en metros y F la frecuencia en gigahertz.

En toda regla hay excepciones. Un método para llevar de RF desde y hacia el punto de radiación es el que se conoce como método de periscopio. En este caso, la antena se monta en el edificio o caseta del equipo de radio y en la torre se instala un reflector plano en el punto de radiación. Si la antena queda directamente debajo del reflector, éste se orienta a 45° para hacer que el haz se emita en línea recta paralela a la Tierra, como se ilustra en la figura # 31. Para efectos de cálculo de trayectoria, puede haber una pérdida o ganancia de varios decibeles en cada extremo cuando se usan técnicas de periscopio. La ganancia o la pérdida dependen de la frecuencia, el tamaño de la antena, el área transversal del reflector y la distancia de la antena al reflector. También se pueden usar otros tipos de antena, tales como la *cornucopia*, cono, espiral, etc. Además del costo y la ganancia, otras características son: la relación frente a la espalda, lóbulos laterales y eficiencia.

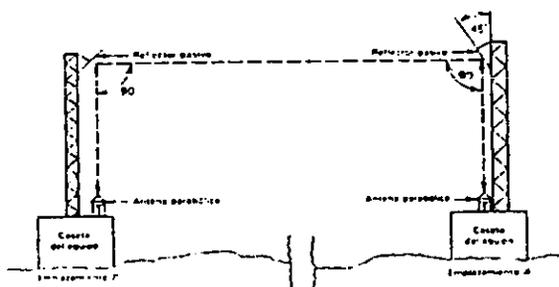


Figura #31

## Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (EIRP)

El ingeniero de radio utiliza el término potencia efectiva radiada isotrópicamente (PERI) para describir la potencia en el haz de radio en relación con la antena isotrópica. Recuérdese que el radiador isotrópico es una antena hipotética que radia o recibe de igual manera en cualquier radiación (definición del IEEE), el diccionario del IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) añade: *no existe físicamente una antena que radie isotrópicamente*, pero es una referencia conveniente para expresar las propiedades direccionales. Esta tiene la ganancia de uno, que se designa como cero decibeles. La potencia radiada isotrópica efectiva se define como una potencia de transmisión equivalente y se expresa matemáticamente como:

$$\text{EIRP} = P_r A_t \text{ (watts)}$$

$P_r$  = potencia total radiada (watts)

$A_t$  = ganancia directiva de la antena transmisora (sin unidades)

$$\text{EIRP (dBm)} = 10 \log (P_r/0.001) + 10 \log A_t$$

EIRP es la potencia equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección seleccionada en un punto determinado, como otra antena. En la figura # 32, se muestra un ejemplo de la potencia radiada isotrópica eléctrica (EIRP).

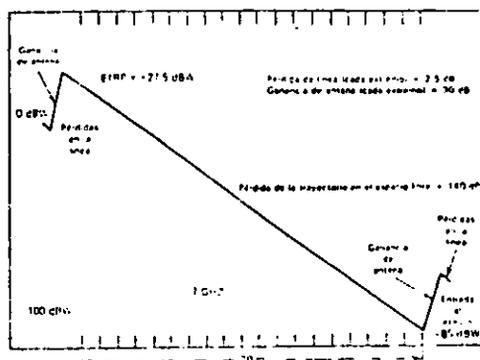


Figura #32

## Factor de Mérito

Se introdujo el factor de mérito,  $G/T$ , de una estación terrena en la tecnología para describir la capacidad de la estación terrena para recibir la señal desde el satélite.

El numerador  $G$  de la expresión es la ganancia de la antena a la frecuencia de recepción. La forma logarítmica de la expresión es:

$$G/T = GdB - \log T_e$$

La temperatura ( $T$ ,  $T_e$ ) de ruido y su relación con la cantidad de ruido (dB) es un dispositivo como se mencionó anteriormente en unidades de  $K^\circ$ .

## Fuentes de interferencia

El ruido eléctrico total, que es la señal indeseable, procede de una serie de distintas fuentes. Estas pueden verse mejor en la figura # 33 de una antena parabólica receptora.

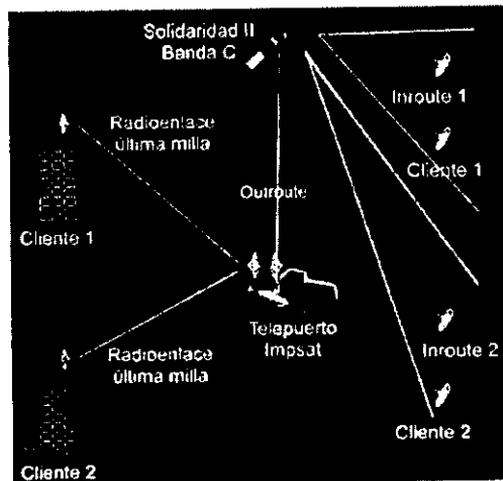


Figura #33

---

El primero de los componentes indeseables es la discriminación de polarización cruzada, la segunda fuente de señales de interferencia indeseable procede de los satélites en órbitas continuas. Las dos fuentes de interferencia restantes son las transmisiones terrestres y el ruido eléctrico que emana de la Tierra.

En una antena parabólica típica de un satélite será evidente que cuanto mayor es el ángulo de elevación, menor es el riesgo de interferencia terrestre. A la inversa, cuando el satélite está próximo al horizonte cuanto menor es el ángulo de elevación, mayor es el riesgo de interferencia de transmisiones terrestres y de ruido que emana de la Tierra.

### **ANTENAS PARABOLICAS PEQUEÑAS O PLANAS**

La antena de placa plana funciona con un principio totalmente diferente a la antena de avance descentrado. En este caso, el foco del reflector parabólico refleja las señales recibidas en la parte superior de un avance primario. Estas señales recogidas por el avance primario se introducen entonces en la unidad exterior. En el caso de la antena de placa plana los principios son muy distintos. La antena de placa plana funciona con un principio totalmente diferente a la antena de avance descentrado. En este caso, el foco del reflector parabólico refleja las señales recibidas en la parte superior de un avance primario. Estas señales recogidas por el avance primario se introducen entonces en la unidad exterior. En el caso de la antena de placa plana los principios son muy distintos.

La antena de placa plana tiene varias ventajas y puede resultar muy popular a largo plazo. Es fácil de montar tiene baja resistencia al viento, no tiene bloqueo de avance y puede hacer frente a todas las polarizaciones. Una placa plana de 350 mm cuadrados da una ganancia de unos 31 dBi, igual que la antena parabólica circular de 400 mm. Debido a las complejidades de fabricación, es probable que la antena de placa plana sea más costosa que la antena parabólica.

Los sistemas de antena colectiva por satélite se utilizan para transmitir programas de televisión vía satélite a muchos televidentes. En la actualidad, los particulares que desean captar canales de TV transmitidos por equipos que pueden incluir ya sea una antena parabólica pequeña o una antena plana; ambas miden aproximadamente unos 50 cm de diámetro y estéticamente son muy atractivas. Antenas parabólicas para TV como se muestran la figura #34.

Una antena parabólica pequeña (banda Ku) funciona teóricamente de la misma manera que un plato de la banda C; sin embargo al operar a frecuencias más altas es obvio que el alimentador y la electrónica asociada varían al igual que el control de calidad en el acabado de la superficie del plato, el montaje, etc. Por su tamaño reducido si se desea todo el equipo incluyendo la antena se puede colocar dentro de una habitación cerca de una ventana siempre y cuando desde esa posición se pueda orientar el plato hacia el satélite objetivo; la otra alternativa según el caso y gusto es instalar el plato en el exterior.

La ganancia y calidad de recepción que se obtiene con las antenas planas ofrecidas en el mercado son similares a las que se logran con antenas parabólicas pequeñas; inclusive, las primeras por su dimensión plana se pueden fabricar fácilmente siempre y cuando las ranuras y los demás elementos están bien diseñados.

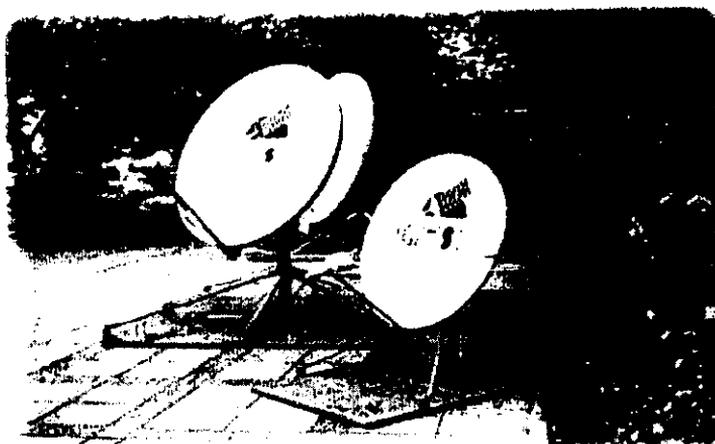


Figura #34

## Tipos de montaje

Los desplazamientos del satélite y el tipo de estación terrena fija o móvil, así como su posición geográfica, sus aplicaciones y las necesidades que se tengan para pruebas y mantenimiento frecuentes, determinan la estructura del montaje que la antena debe tener, ya sea de elevación-azimut, X-Y o ecuatorial; de éstos, el que más se utiliza es el primero, el segundo algunas veces, y el tercero casi nunca.

Todos tienen dos ejes para realizar los movimientos de orientación de la antena; uno es fijo con relación al piso y denomina primario, y el otro (secundario) es móvil con referencia al primer eje.

En el caso del montaje **elevación-azimut (El-Az)**, la antena tiene su eje primario fijo en la dirección vertical, y al girar alrededor de él se efectúan los cambios del ángulo de azimut, su eje secundario es horizontal y con él se orienta la antena en elevación, la figura # 35 muestra el montaje en elevación-azimut. El montaje es sencillo y tiene la ventaja de que sólo el giro en elevación puede producir deformaciones en la geometría de la antena debidas a su peso. Por esta razón lo utiliza la mayor parte de las antenas que deben conservar una buena precisión geométrica en la superficie de su reflector y en el apuntamiento del haz principal de radiación.

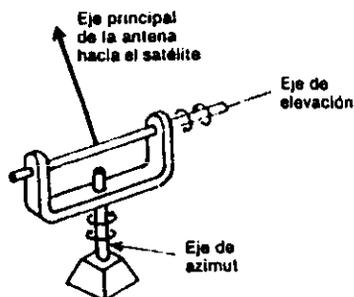


Figura # 35

El montaje X-Y tiene su eje primario colocado horizontalmente, y el eje secundario es perpendicular a él, la figura # 36 nos muestra el montaje X-Y. La configuración es práctica para rastrear con facilidad a un satélite cuando éste pasa por el cenit -o sea, directamente arriba de la estación, en la zona ecuatorial-, el montaje X-Y es más apropiado para las antenas que se comunican con satélites de órbita baja que con satélites geostacionarios.

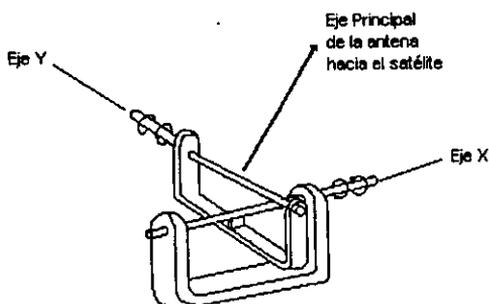


Figura # 36

Por lo que respecta al montaje **ecuatorial**, su eje primario (horario) es paralelo al eje de rotación de la Tierra, y el secundario es un eje perpendicular de declinación, la figura # 37 muestra el montaje polar; como el eje primario es paralelo al eje polar de la Tierra, a este montaje también se le llama **polar**. Normalmente se usa para montar radiotelescopios, pues permite que la antena siga a un objeto celeste con sólo girarla sobre su eje horario, y se utiliza muy poco en estaciones terrenas de comunicaciones.

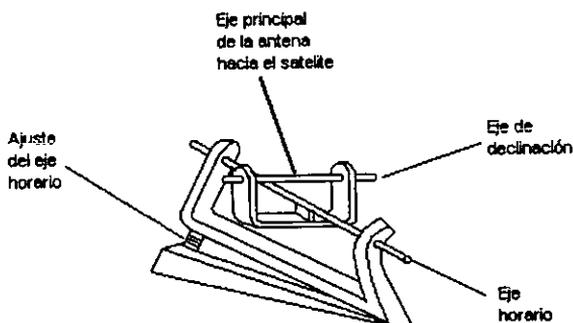


Figura # 37

Para realizar los ajustes de orientación se emplean mecanismos de engranajes y gatos de tornillo, y las fuerzas motrices asociadas se generan por medio de motores. Independientemente del tipo de montaje que se utilice, es preciso indicar que no sólo sirve para conservar la orientación de la antena hacia el satélite, sino que también es la estructura que la soporta. En consecuencia, el montaje debe ser rígido, y con mayor razón a frecuencias altas como la Ku, en donde los haces de radiación de las antenas son más angostos y el apuntamiento correcto se vuelve más importante; aun expuesto a la lluvia o a fuertes vientos, dicho montaje debe ser capaz de soportar a la antena bien orientada hacia el satélite, pues dependiendo de su tamaño- incluso pequeños movimientos de uno o dos centímetros pueden degradar muchos la calidad de la señal. La figura # 38 muestra el tipo de montaje de una antena que permite orientarla hacia el satélite y le brinda el soporte y la rigidez necesaria, como en esta antena utilizada para servicios telefónicos domestico de larga distancia en la banda C.



Figura #38

## Fabricación

Las antenas parabólicas se suelen fabricar de tres formas diferentes como se muestran en la figuras #39a,b,c:

- Con lámina de acero galvanizado de 1mm con terminación en pintura de poliéster tratada al horno.
- Con lámina de aluminio prensado en un molde. Las antenas de grandes dimensiones pueden fabricarse con seis “pétalos” unidos de este material. El aluminio se barniza, como medio de protección ante la oxidación, mientras que los “pétalos” pueden ser de aluminio enrejado y estirado. Armazones de mantenimiento permiten obtener una curva parabólica precisa.
- Por modelo de poliéster reforzado por fibra de vidrio. Después de la formación del molde, se deposita una fina capa de metal en el interior de la parábola. Después, se protege con un barniz. Estas antenas presentan una buena calidad de superficie y son ligeras y resistentes.

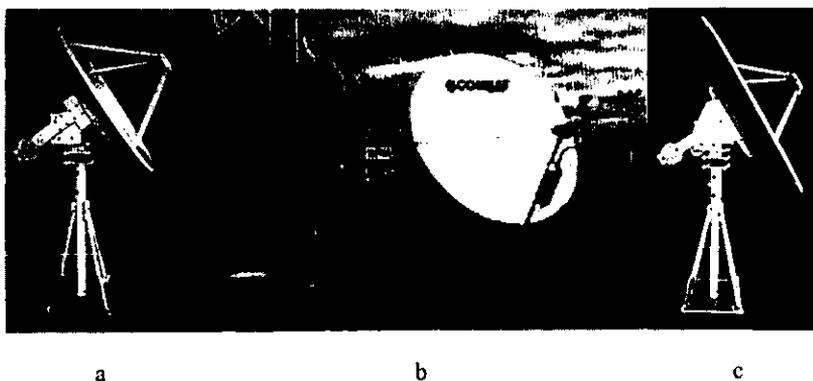


Figura #39

## RASTREO DEL SATELITE

Dependiendo de cuánto se mueva el satélite “geoestacionario” en relación con su posición designada y del ancho del haz de la antena terrestre que desee comunicarse con él, se puede requerir o no un sistema de rastreo. Cuanto más angosta sea el ancho del haz de la antena y esta esté más cerca del ecuador, el apuntamiento se vuelve más importante, especialmente si el satélite está directamente “encima” de la estación. En cambio, si la estación está en una latitud alejada del ecuador, la amplitud de los movimientos del satélite tiene un impacto menor en los ajustes necesarios de la orientación de la antena para rastrearlo. Si el ancho del haz de la antena es mucho más grande que la ventana del satélite, entonces no se necesita un sistema de rastreo, pero la aplicación de la antena es la que dicta finalmente esta necesidad. La figura # 40 muestra cuando el ancho del haz de la antena es más grande que la ventana del satélite no se necesita sistemas de rastreo.

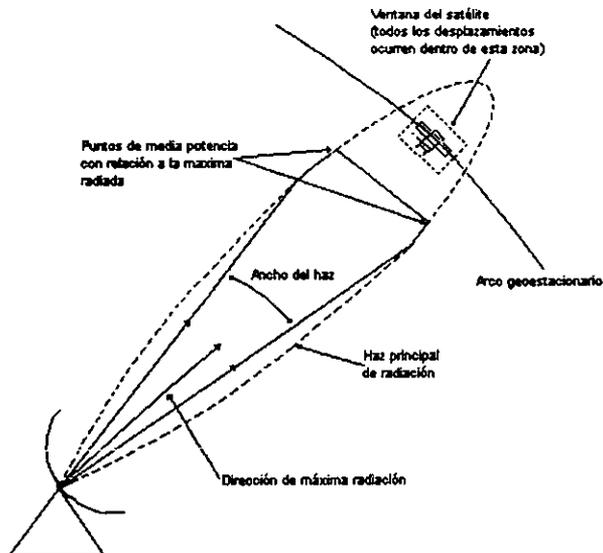


Figura #40

Existen fundamentalmente dos tipos de sistemas de rastreo, el preprogramado y el automático; en el caso del segundo, el seguimiento del satélite se puede hacer por pasos o en forma continua (con monoimpulso).

El rastreo **preprogramado** consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar acordemente el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena para que lo siga. Las instrucciones necesarias se almacenan y se le van proporcionando al mecanismo de seguimiento para que realice los ajustes de orientación, con lo cual se garantiza siempre una buena comunicación.

El método de seguimiento automático de **rastreo por pasos** -también conocido como de "ascenso"- es empleado por todas las estaciones de tamaño medio del estándar B de intelsat y por la mayor parte de las estaciones grandes de estándar A y es más económico que el automático de monoimpulso.

A intervalos regulares, la antena detecta la intensidad de una señal guía (radiobaliza) emitida por el satélite; a continuación gira un poco -es decir, "da un paso"- alrededor de uno de sus ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con la anterior; si el nivel de la señal baja, entonces se mueve ahora en la dirección opuesta, y si aumenta en ese sentido, continúa dando pasos hasta detectar el nivel máximo. Todos estos movimientos por pasos, tanto en elevación como en azimut, son controlados por un procesador, y su precisión de apuntamiento depende del tamaño de los pasos, así como de la estabilidad de la señal guía y de las condiciones de propagación (centelleo atmosférico y absorción por lluvia).

El sistema de **rastreo monoimpulso** es el más preciso y confiable para las antenas grandes, especialmente si funcionan en la banda Ku. Su forma de operación se origina de la tecnología del radar, pues ahora la búsqueda es por un nivel mínimo de recepción de la señal guía, y para esto la antena parabólica necesita un alimentador especial. Los primeros diseños de sistemas monoimpulso utilizan cuatro antenas de corneta colocadas simétricamente alrededor del foco geométrico de la parábola; éstas reciben simultáneamente la señal guía o radiobaliza emitida

por el satélite y las detecciones de las cuatro se comparan para determinar señales de error en el apuntamiento y efectuar las correcciones necesarias. Su inconveniente es que conducen al uso de alimentadores aparatosos y complicados, y ahora los sistemas modernos –llamados de “monoimpulso multimodo”- solamente utilizan un acoplador especial de microondas (acoplador de seguimiento monoimpulso) que va insertado en el mismo alimentador primario de la antena parabólica (es decir, el que emite y recibe las señales de comunicaciones); cuando hay una desviación en la orientación de la antena en relación con la señal guía del satélite, el acoplador extrae del alimentador señales de propagación de modo superior que permiten determinar el error en el apuntamiento y efectuar, en consecuencia, las correcciones que se requieran. Su sensibilidad es mejor que la de los sistemas de monoimpulso descritos en primer término. La figura # 41 muestra el sistema de rastreo monoimpulso multimodo.

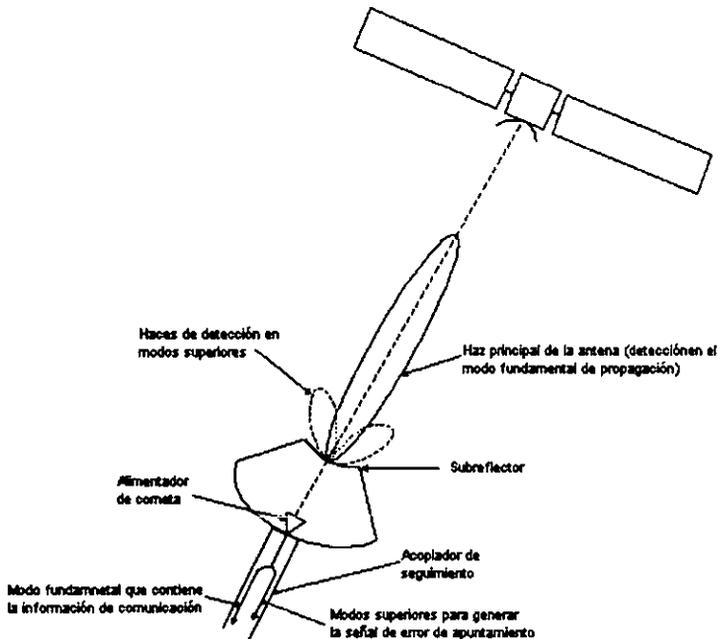


Figura #41

### **Telecomando.**

De las maniobras que tienen lugar durante las fases de lanzamiento y puesto en **órbita** de un satélite, así como durante su vida útil, hay algunas que se realizan automáticamente, siguiendo instrucciones u órdenes previamente almacenadas en la memoria del ordenador de a bordo. Pero la mayor parte son consecuencia de órdenes que se le envían desde Tierra por medio del sistema de telemando.

Las órdenes transmitidas pueden ser muchas y muy diversas. Por ejemplo, pueden servir para modificar la órbita del **satélite**, para corregir perturbaciones en esta órbita, para modificar la orientación del satélite en el espacio, para poner en funcionamiento o para determinados equipos e instrumentos de medida, para iniciar programas de actividades almacenadas en la memoria de a bordo, para recargar la memoria con nuevos programas, etc. En satélites complejos, el número de órdenes distintas que pueden transmitirse asciende fácilmente a varios centenares y el número total de órdenes que recibe un satélite a lo largo de su vida útil se mide a veces en decenas de miles, e incluso en centenas de miles.

Dado que algunas de estas órdenes pueden tener un impacto muy importante en el buen o mal funcionamiento del satélite, pudiendo en casos muy especiales hasta producir su desactivación e incluso su destrucción, es necesario tomar grandes precauciones para asegurar que se transmiten desde Tierra las órdenes correctas, y también que el satélite las recibe correctamente, sin que señales perturbadoras –producidas por causas naturales o intencionadamente provocadas– puedan simular falsas órdenes.

Las órdenes que se transmiten están siempre codificadas y únicamente se aceptan a bordo si el satélite reconoce el código utilizado. Una vez recibidas y aceptadas, su ejecución puede ser en directo o en diferido. Las primeras se refieren generalmente a maniobras no críticas, de forma que un posible error no tiene consecuencias graves. Cuando la orden se considera crítica, es práctica normal que el satélite, antes de su ejecución acuse recibo de la misma,

retransmitiendo a la estación de Tierra la orden recibida, donde pueden comprobar que la orden era correcta y que se había recibido a bordo sin error.

Entre los principales sistemas de telemando usados por la NASA podemos citar:

- Sistema multitono.
- Sistema de tono digital.
- Sistema PCM/FSK
- Sistema PCM/PSK.

Las frecuencias normalmente usadas son VHF (148-159 MHz); banda S (20225-2120 MHz); banda X (u, 1-7, 2 HGz); y a veces banda C (6 GHz) y banda Ku (14 GHz).

### **Telemetría.**

Podemos definir la Telemetría como el medio por el cual las medidas que se llevan a cabo en el satélite o por el satélite, son transmitidas a la **estación terrestre**. El sistema de Telemetría a bordo del satélite obtiene una serie de datos que posteriormente transmite a la estación terrestre, desde donde se analizarán y se tomarán importantes decisiones. El formato empleado para transmitir los datos es digital, principalmente con modulación PSK o FSK. Para poder realizar una transmisión a baja velocidad, se utilizan un número reducido de canales de banda estrecha multiplexados en el tiempo (TDM).

Gracias al sistema de telemetría es posible tener en tierra un conocimiento bastante completo de cuanto ocurre a bordo; del estado de funcionamiento de los distintos equipos y sistemas; de si se ejecutan correctamente o no las órdenes que se envían desde tierra; de recibir los datos

---

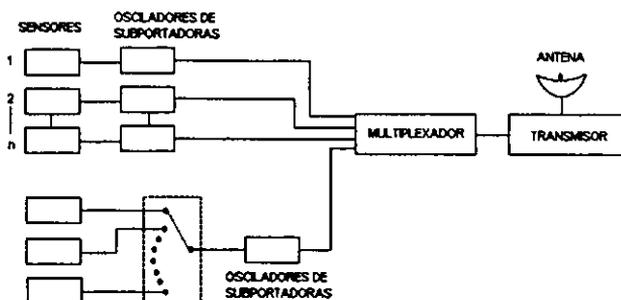
recogidos por los instrumentos científicos que puedan ir instalados a bordo; de recibir las fotografías que vaya obteniendo si ello entre dentro de su misión, etc.

En el sistema de telemetría de un satélite hay cuatro elementos básicos, que son: sensores, acondicionadores de las señales, multiplexador y transmisor:

1. **Sensores:** se utilizan de muy diversos tipos, de acuerdo con aquello que se quiera medir: temperaturas, corrientes, vibraciones, radiación infrarroja, etc.
2. **Acondicionadores de señal:** permiten transformar las salidas de los sensores en señales de formato normalizado. Estos suelen ser:
  - Amplificadores.
  - Conversadores A/D
  - Conmutadores
  - Demultiplicadores de impulso
  - Osciladores de subportadoras.
3. **Multiplexadores:** para transmitir todas las señales a tierra por medio de una sola frecuencia portadora hay que proceder a su multiplexación. Los dos procedimientos básicos son:
  - **Multiplexado por División de frecuencias:** En él, la portadora se modula simultáneamente con varias subportadoras.
  - **Multiplexado por División de tiempo:** tomando muestras sucesivamente de varios sensores. La conmutación puede ser electromecánica o electrónica. Los más utilizados son los sistemas PAM y PCM. Tanto la NASA como la ESA, para asegurar la compatibilidad de los distintos satélites, han preparado normas muy detalladas sobre los posibles sistemas de telemetría.

4. Transmisores: se emplean las siguientes bandas:

- Banda S (2200 – 2300 MHz)
- Banda X (8.4 – 8,5 GHz)
- Bandas C (4 GHz) y Ku (12 GHz) en satélites de comunicaciones.



### Seguimiento.

Con el seguimiento se pretende llegar a conocer la posición y velocidad del **satélite**, poder calcular su trayectoria, predecir posiciones futuras, etc. Esto es posible gracias a la información recogida en las estaciones TTC que realizan medidas de tres tipos:

#### ▣ Medidas de dirección

Indican la dirección del satélite con respecto a la **estación terrestre**. Se suelen utilizar antenas muy directivas, métodos ópticos o también métodos interferométricos. Por ejemplo, con la interferometría de muy larga base (VLBI) se puede conseguir una precisión de 0.001" de arco (equivalente a unos 2 metros de distancias lunares). La precisión de las medidas va a disminuir con la distancia.

---

#### ▣ Medidas de distancia

Indican la distancia existente entre el satélite y la estación de tierra. El sistema más utilizado en los satélites se basa en la transmisión desde la estación terrena de una portadora modulada (modulación multitono, de tono variable, codificación digital, etc.) que es recibida por el satélite, se amplifica, se modifica su frecuencia y se retransmite a tierra donde se mide el tiempo invertido en el trayecto de ida y vuelta. El tono principal determina la precisión del sistema. Los tonos menores sirven para resolver las ambigüedades referentes al número completo de ondas del tono principal.

#### ▣ Medidas de velocidad radial

Indican la componente radial de la velocidad, esto es, la velocidad con la que el satélite se aleja o acerca de la estación terrena. Estas medidas se basan siempre en el efecto Doppler: midiendo la diferencia de frecuencias entre la transmitida por el satélite y la recibida en tierra se obtiene directamente la velocidad.

Sea  $f_0$  la frecuencia transmitida por el satélite,  $f$  la frecuencia recibida en la estación,  $V_r$  la velocidad radial del satélite y  $c$  la velocidad de la luz:

$$F = f_0(1+V_r/c); \quad V_r = (f-f_0) c/f$$

Otro método más utilizado es el “Doppler doble” que es una modificación del anterior. La señal se transmite desde tierra y es retransmitida por el satélite, con lo que la frecuencia sufre un doble efecto debido al camino de ida y vuelta. Figura #42.

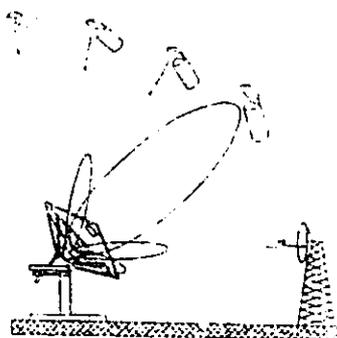


Figura #42

## EL TRANSMISOR

Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un solo bloque de transmisión y las que conducen gran cantidad o diversidad de señales tienen varios bloques en paralelo. El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida ya sea que consista en canales telefónicos, de televisión o de datos y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje en frecuencia o en el tiempo se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire, hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento permite que también se le pueda recuperar fielmente con la mayor aproximación posible en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa con este fin es la modulación de una portadora por la señal y existen varios tipos del mismo los más comunes son el analógico de modulación en frecuencia o FM y el digital de desplazamiento de fase o PSK.

El **modulador** de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas, ver figura # 43 a→b; este paso de la señal modulada a “frecuencia intermedia” es el primero en su ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca a la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor elevador de frecuencia.

El **convertidor elevador** transfiere a la señal de la frecuencia intermedia –que, dependiendo del sistema- puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz, 1 GHz, o más- a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador, ver figura # 43 b→ c. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; para esto se utiliza un **amplificador de alta potencia**; del cual existen fundamentalmente dos tipos: el tubo de ondas progresivas y el klistrón, ver figura # 43 c→d.

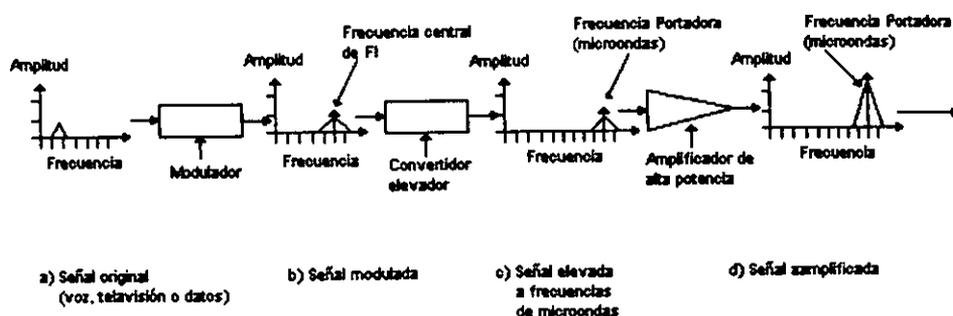


Figura #43

Un tubo de ondas progresivas es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (100 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo. Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes o constantes a cualquier, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas –así estén dirigidas hacia un mismo transpondedor o a transpondedores separados- su potencia de salida no se puede aumentar al máximo; de hacerlo, el ruido de intermodulación sería muy grande. Para reducir el ruido, es necesario operar al amplificador en un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (*back-off*), la figura # 44 muestra el ancho de banda de frecuencias de los amplificadores de alta potencia. Un tubo de ondas progresivas equivale, en frecuencia, a tener doce klistrones sintonizados a diferentes frecuencias centrales (este es un ejemplo usual para transmisión en la banda C). A pesar de este inconveniente el uso de los tubos de ondas progresivas es más común que el de los Klistrones, una de sus ventajas es que se puede efectuar cualquier modificación en la frecuencia central de amplificación, dentro del ancho de banda de operación del satélite (500 MHz o más) sin tener que sintonizarlo como sí es el caso de los klistrones, además de que no hay que emplear un combinador especial de señales a la salida como ocurre en los Klistrones.

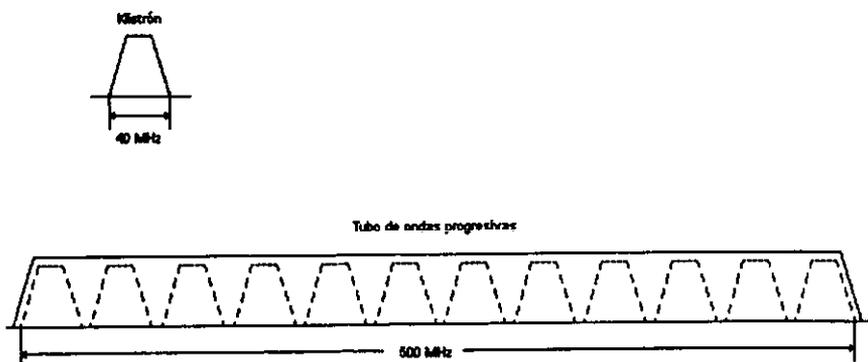


Figura #44

---

Un **Klistrón** es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. Cuando una estación terrena tiene varios klistrones y desea transmitir toda la información procedente de ellos a través de una misma antena, se necesita usar un combinador de señales, que introduce pérdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por back-off en los tubos de ondas progresivas. Además de estas pérdidas, el combinador se convierte en un punto de interacción entre las salidas de los distintos klistrones que puede conducir a interferencias entre ellos; asimismo, cuando se requiere cambiar de transpondedor en el satélite, es preciso volver a sintonizar al klistron correspondiente. De cualquier forma varios usuarios aún eligen Klistrones para sus instalaciones porque su eficiencia (40%) de aprovechamiento de energía eléctrica es mayor que la de los TOP, son muy confiables y robustos duran mucho tiempo en servicio y además son más económicos que un tubo de ondas progresivas. Particularmente son usados para transmitir canales de televisión y en estaciones terrenas de poca potencia que transmiten unos cuantos cientos de canales de telefonía o datos, pero en este último caso la potencia suficiente determina finalmente el tipo de amplificador que se use ya no hay klistrones en el mercado con potencias de menos de unos 400 watts y pueden resultar excesivos para ciertas aplicaciones.

Un canal telefónico consume aproximadamente 1 watt de potencia, mientras uno de televisión emplea 1 kilowatt; por lo tanto las estaciones terrenas pequeñas que solo tienen necesidad de transmitir algunos canales telefónicos a veces nada más uno o de datos de baja velocidad de unos cuantos kilobits por segundo no requieren contar con amplificadores tan potentes como los tubos de ondas progresivas o los klistrones. Gracias a la ganancia de su antena parabólica y debido a que el tráfico que transmiten es bajo y ocupa muy poco ancho de banda, estas estaciones pequeñas que operan en SCPC (canal único de portadora) usan amplificadores de baja potencia o LPA hechos con tecnología de estado sólido. Su potencia de salida es de unos cuantos watts y la mayor parte funciona con transistores de efecto de campo o FET.

Dada la posible pérdida de todo un enlace de comunicaciones si es que el amplificador de potencia falla por norma general es común encontrar sistemas operativos en los que hay amplificadores de redundancia en forma similar a como ocurre en los transpondedores del satélite la estación terrena puede tener una de varias configuraciones posibles de redundancia dos a uno ( es decir que hay dos amplificadores uno operando y el otro de reserva: 1 + 1), tres a dos (hay tres amplificadores dos operando y uno de reserva) en cada caso los amplificadores que operan y el amplificador de reserva se conectan entre la etapa anterior de comunicaciones y la antena con un conmutador de entrada y otro de salida. La figura #45 muestra un diagrama de bloques de una cadena de transmisión con redundancia de 1 + 1 en donde no solo el amplificador de potencia se tiene por duplicado sino también el modulador y el convertidor elevador de frecuencia; el filtro pasa-banda entre ambos permiten limitar el ancho de banda de la señal modulada, eliminando o reduciendo el nivel de los componentes de frecuencia indeseables, para que así el convertidor elevador opere con mayor eficiencia. Generalmente el nivel de potencia a la salida del convertidor elevador es bajo en comparación con el que debe aplicarse a la entrada del amplificador de potencia para que éste funcione adecuadamente por lo general es común añadir un amplificador excitador (driver) entre el convertidor de frecuencia y el amplificador de potencia como una etapa de amplificación a niveles de potencia intermedia este amplificador excitador también recibe el nombre de preamplificador.

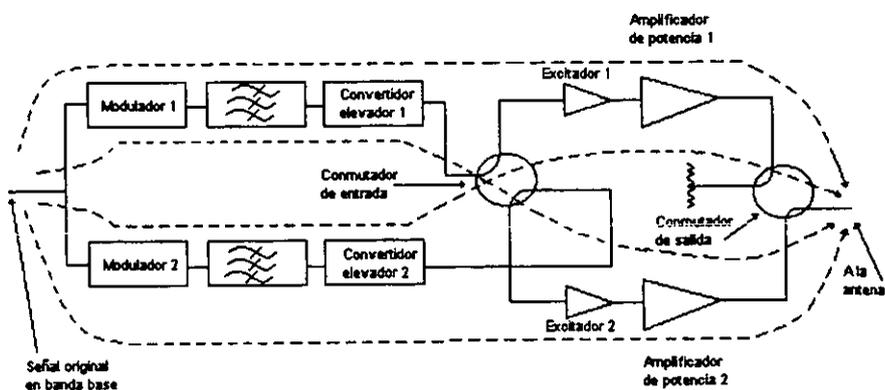


Figura #45

---

## EL RECEPTOR

Un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo directivo en el espacio; la señal retransmitida por él es idéntica ( en realidad no es idéntica sino aproximadamente puesto que en cada etapa del sistema de comunicaciones se van añadiendo señales indeseables (ruido) ya que ni el medio de propagación ni ninguno de los módulos electrónicos es perfecto) a la que recibe desde la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico y, por supuesto, es amplificada.

En su trayectoria de regreso hacia la Tierra, la señal viaja un promedio de 36 000 km y, por lo tanto, su nivel de potencial al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo. La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite en la polarización y banda de frecuencias con las que ella funciona, o sea, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 MHz; sin embargo, lo común es que en cada estación en particular solamente sea de interés recibir una pequeña porción de toda esa información, concentrada quizá en un ancho de banda de tan sólo 5 MHz o aun menos. Es decir, que la estación, después de capturar y amplificar toda esa información, debe separar sólo aquella parte que le corresponda para procesarla. Hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrenas transmisoras que funcionen con transpondedores distintos en el satélite; por lo tanto, esas señales ocupan posiciones diferentes dentro de los 500 MHz del ancho de banda del paquete de información que el satélite retransmite (esta es la forma en que opera la generación actual de satélites "tontos" los satélites "inteligentes" podrán efectuar intercambios entre distintos transpondedores y retransmitir todas las señales con destino hacia una zona geográfica muy específica dentro de un ancho de banda común y con un haz de potencia concentrada hacia esa zona) y, en consecuencia, la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen, y que no necesariamente son adyacentes en frecuencia.

## El amplificador de bajo ruido

La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del diplexor se las entrega a un **amplificador de bajo ruido**; éste funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones de que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y de que es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación. El amplificador de bajo ruido tiene una “temperatura de ruido” como su principal parámetro indicativo, y mientras ésta sea más baja tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta. Sin embargo, no solamente se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido, sino también por la antena, y su magnitud se calcula en función de una “temperatura de ruido de la antena”; la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total  $T$  de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas. Figura # 46 la temperatura total de ruido del sistema de recepción es la suma de las contribuciones de varias fuentes indeseables. En el caso de la antena, la intensidad de las señales indeseables (representadas por medio de una temperatura de ruido equivalente de la antena) depende de la inclinación que tenga el plato parabólico y la frecuencia a la que esté funcionando.

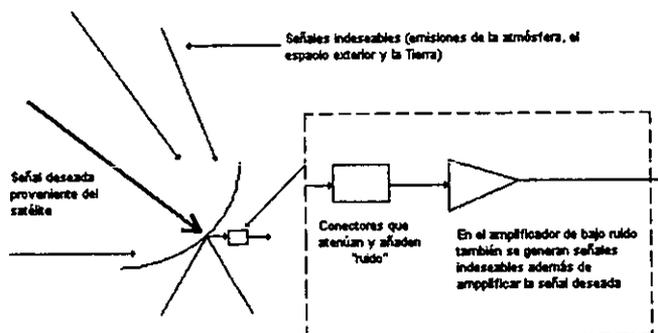


Figura #46

---

El valor del cociente  $G/T$  es una cantidad que se utiliza comúnmente para definir las cualidades de recepción de una estación terrena, y según el satélite con el que se comunique debe tener un valor mínimo para funcionar aceptablemente. Esta relación  $G/T$  se conoce como **factor de calidad** o “cifra de mérito”, y como la ganancia de la antena está dada en decibelios y la temperatura de ruido en grados Kelvin, sus unidades son  $\text{dB}/^\circ\text{K}$ .

No todos los satélites transmiten con la misma potencia; además la estación terrena puede estar situada cerca de los límites de la huella de iluminación y recibir menos densidad de potencia que otra estación ubicada directamente en el centro. Por lo tanto si todas las estaciones desean recibir con la misma calidad su  $G/T$  debe ser mayor o menor según su ubicación geográfica y los parámetros de satélite.

La mayor parte de los amplificadores de bajo ruido son “paramétricos” (su circuito de microondas emplea un diodo varactor) este diodo semiconductor tiene una capacitancia que varía de acuerdo con la diferencia de voltaje que se le aplica y el circuito del amplificador se comporta como una resistencia negativa que amplifica a la señal, pero en los últimos años se ha logrado un progreso importante en la fabricación de amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) de arseniuro de galio (GaAs). Estos últimos son más estables y menos complicados para alimentarlos de energía, aunque su temperatura de ruido es ligeramente mayor que la de los amplificadores paramétricos. Por norma general, las estaciones grandes usan amplificadores paramétricos y las pequeñas amplificadores FET.

La temperatura de ruido usual con la que operan los amplificadores actuales de del orden de unas cuantas decenas de grados Kelvin, o cuando muchos unos  $250^\circ\text{K}$ . La tecnología desarrollada hasta ahora en la banda C (3.7-4.2GHz) ha permitido fabricar fácilmente amplificadores con temperaturas inferiores a los  $100^\circ\text{K}$ , pero en la banda Ku (11.7-12.2GHz) es más común encontrarlos con temperaturas entre los 100 y  $200^\circ\text{K}$ .

---

El gran aumento de la temperatura de ruido de la antena de la banda Ku se debe principalmente al comportamiento de la atmósfera en esas frecuencias y a la atenuación de la señal causada por la lluvia -cuando ésta ocurre-; en cambio, las señales que se propagan en la banda C son atenuadas muy poco por la lluvia y la temperatura efectiva de ruido de la antena es relativamente baja. Debido a lo anterior, cuando un enlace de comunicaciones funciona en la banda Ku, es necesario diseñarlo con un buen margen de operación, para que cuando llueva, la señal no se degrade a niveles de potencia insatisfactorio; a este margen de diseño se le da precisamente el nombre de **margen de lluvia**.

La temperatura física del amplificador se puede controlar por diversos medios: refrigeración criogénica, termoelectrica o por compensación de temperatura. La **refrigeración criogénica** incluye dispositivos con partes móviles y consiste básicamente en un sistema de circulación de helio gaseoso, alcanzándose temperaturas cercanas a los  $-250^{\circ}\text{C}$ . Se utilizaba en casi todas las estaciones internacionales del estándar A de Intelsat hasta principios de los años setenta, pero en las estaciones modernas ya no se emplea, principalmente porque es cara y su mantenimiento es complejo; el avance de la tecnología ha permitido fabricar amplificadores que sin ser refrigeradores criogénicamente tienen temperaturas de ruido bajas.

Con el sistema de **refrigeración termoelectrica** se logra reducir la temperatura de las componentes sensibles del amplificador hasta unos  $-50^{\circ}\text{C}$ ; tiene la ventaja de que no requiere ninguna parte móvil, además de que se instala directamente dentro del dispositivo, en una caja sellada herméticamente, lo cual le da mucha robustez y facilidad de mantenimiento: la refrigeración opera con diodos que aprovechan el efecto Peltier, descubierto por el físico francés del mismo apellido hace más de cien años, y que comenzó a utilizarse en la década de los sesenta para producir comercialmente la refrigeración termoelectrica. Este efecto consiste en que cuando se aplica una corriente eléctrica en un circuito hecho con la unión de dos conductores distintos, uno se calienta y el otro se enfría, y el efecto es mayor cuando los materiales de la unión son semiconductores. Los amplificadores de bajo ruido con este tipo de refrigeración interna pueden funcionar sin ningún problema a la temperatura ambiente. En cuanto a la **refrigeración por compensación de temperatura** se refiere, ésta se utiliza

cuando no es necesario que la temperatura de ruido sea muy baja; emplea sistemas de control más sencillos que los de la refrigeración termoeléctrica, es muy confiable, y también puede usársela a la temperatura ambiente (considerada comercialmente de 0 a 50°C, para incluir una gama amplia de zonas geográficas).

Actualmente, la elección normal para las estaciones grandes o de tamaño medio es la de usar amplificadores paramétricos -o incluso FET- con refrigeración termoeléctrica, mientras que en el caso de las pequeñas es más común el empleo de los FET con refrigeración por compensación de temperatura. En cualquiera de los casos, es posible reducir la temperatura de ruido aún más si se añade al dispositivo un sistema de enfriamiento exterior, es decir, si no está expuesto directamente a la temperatura ambiente. La tabla muestra amplificadores de bajo ruido disponibles.

	<b>Tipo</b>	<b>Forma de refrigeración</b>	<b>Temperatura de ruido típica</b>
Banda C (3.7-4.2 GHz)	Paramétrico	Criogénica	15
	Paramétrico	Termoeléctrica	35-40
	Paramétrico	Compensación de temperatura	50-60
	FET	Termoeléctrica	45-60
	FET	Compensación de temperatura	75
Banda Ku (11.7-12.2 GHz)	Paramétrico	Criogénica	20
	Paramétrico	Termoeléctrica	80-100
	Paramétrico	Compensación de temperatura	100-150
	FET	Termoeléctrica	90-140
	FET	Compensación de temperatura	200-250

## Conversión de frecuencia, demodulación y calidad de recepción

La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación con ancho de 500 MHz, situada aún en la misma región del espectro radioeléctrico; el convertidor reductor tiene como función transferir toda esa información de 500 MHz a una región más baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la estación transmisora.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, bajando de la frecuencia de llegada a la antena -que es la misma frecuencia en la que opera el amplificador de bajo ruido- hasta la frecuencia intermedia F1 ( generalmente la frecuencia intermedia que se emplea es de 70 MHz, pero si las señales que se desean demodular ocupan un ancho de banda muy grande entonces se baja a una frecuencia intermedia de 140 MHz) que se le debe entregar al demodulador. Figura # 47 conversión reductora de frecuencia en un solo paso.

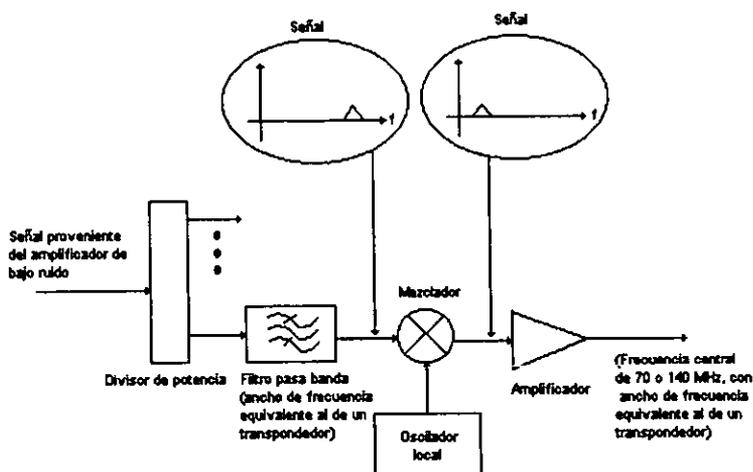


Figura #47

El proceso también se puede realizar en dos pasos y se prefiere así cada vez más en las estaciones terrenas modernas porque es más fácil sintonizar los equipos de recepción en cualquier región del ancho de banda de transmisión del satélite; esto es importante, porque el plan original del uso de las frecuencias de transmisión del satélite puede variar con el tiempo, en uno o en todos sus transpondedores, y la frecuencia de trabajo del convertidor reductor se puede ajustar más fácilmente si se usa doble conversión (en este caso la señal se baja primero a una frecuencia intermedia que suele variar entre 800 MHz y 1.7 GHz y después se vuelve a bajar hasta la segunda frecuencia intermedia que puede ser de 70 a 140 MHz) la figura # 48 muestra una conversión reductora de frecuencia en dos paso.

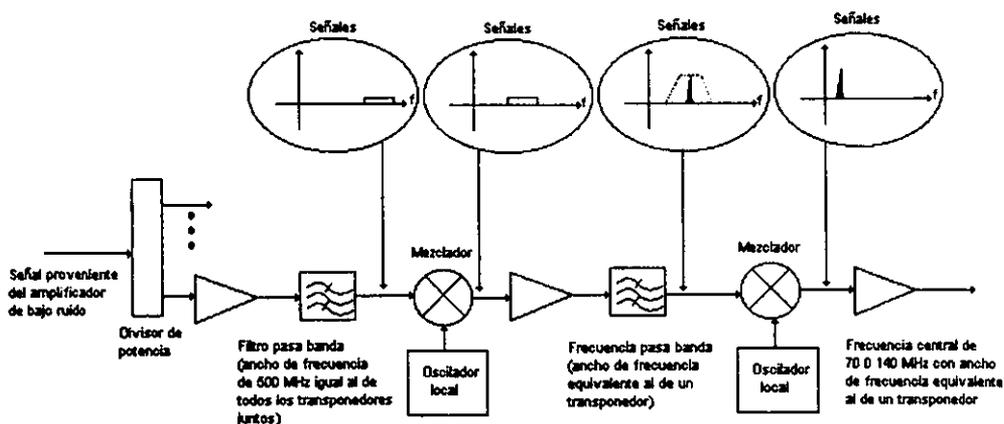


Figura #48

La señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor reductor aún está modulada ya sea en FM, PSK o alguna otra forma de modulación y el paso siguiente para recuperarla en su forma original (banda base) es precisamente demodularla. En realidad la señal nunca se recupera exactamente como era en su forma original ya que diversos factores como el ruido térmico y el de intermodulación, se encargan de distorsionarla.

---

El grado de distorsión que se produce depende del tipo de modulación que se haya elegido, del nivel de la potencia transmitida, de la ganancia de las antenas y de otros parámetros del diseño del enlace. De cualquier manera si el enlace ha sido bien diseñado el oído o el ojo humano no perciben tal distorsión en una señal de audio o de vídeo respectivamente y la toman como aceptable o quizá hasta excelente. Para esto se han establecido normas y recomendaciones internacionales las cuales fueron acordadas después de haber hecho muchas pruebas subjetivas con una gran gama de individuos, a fin de saber cuanto ruido era permisible en presencia de cada tipo de señal sin que resultase incomodo; es decir se comprobó que si el cociente de la potencia de la señal deseada (una imagen de TV, un programa de radio, una voz por teléfono, etc) dividida entre la potencia del ruido presente era mayor de cierto valor o estándar entonces el sistema funcionaba bien. A este cociente se le llama relación señal a ruido y se representa como S/N es la medida de la calidad de la señal recibida y se especifica precisamente a la salida del modulador. Para cada clase de señal hay un estándar S/N distinto.

La relación señal a ruido es la medida de calidad para enlaces analógicos (televisión o telefonía con modulación FM); en una transmisión digital (telefonía digitalizada o datos con modulación PSK) dicha relación no se utiliza, sino que se emplea la polaridad de error. La señal digital así contenga datos, voz o audio y vídeo digitalizados está compuesta por una secuencia de "unos" y "ceros"; el ruido al añadirseles a ellos en diferentes etapas del enlace ocasiona que algunos unos y ceros se interpreten mal en el receptor, es decir, que a veces éste se equivoque e interprete a un uno como si fuera un cero o viceversa. Cuantos más errores cometa el aparato por efecto de la superposición del ruido, más difícil es reconstruir la señal en su forma original y en consecuencia la calidad del servicio se degrada. La proporción de bits (unos o ceros) que sean interpretados erróneamente por el demodulador digital, en relación con la secuencia correcta que tenía la señal original, es la medida de la calidad del enlace y se conoce como probabilidad de error. Si por cada 10 000 bits de información demodulada uno de ellos está mal detectado (que un uno se convirtió en cero en cualquier parte de la secuencia o viceversa) la probabilidad de error  $P_e$  es de 1/10 000, o sea  $10^{-4}$ ; si en cambio se detecta mal 10 bits por cada 10 000 bits de información demodulada entonces  $P_e = 10/10\ 000 = 10^{-3}$ .

Se ve que el demodulador es un bloque muy importante de toda la cadena de recepción, ya que determina la calidad final del enlace, entregando a su salida la señal "original" con cierta relación S/N o una probabilidad de error  $P_e$  según el caso. Obviamente para que el demodulador funcione bien necesita que la señal modulada que entre a él lo haga cuando menos con nivel mínimo de potencia, en relación con el ruido que lleva consigo. Para diferenciar los cocientes de la potencia de la señal entre ruido, tanto a la entrada como a la salida del modulador se utiliza la notación C/N a la entrada y S/N o  $P_e$  a la salida; C es la potencia de la señal todavía en forma modulada y N es la potencia del ruido distribuido en todo el ancho de banda de la señal modulada. El cociente C/N se denomina **relación portadora a ruido**. En la figura #49 se muestra el diagrama de bloques completo de una cadena usual de recepción; conviene utilizar cierto grado de duplicación o redundancia en los equipos para que el enlace (y servicio) no se interrumpa aunque alguno de ellos falle.

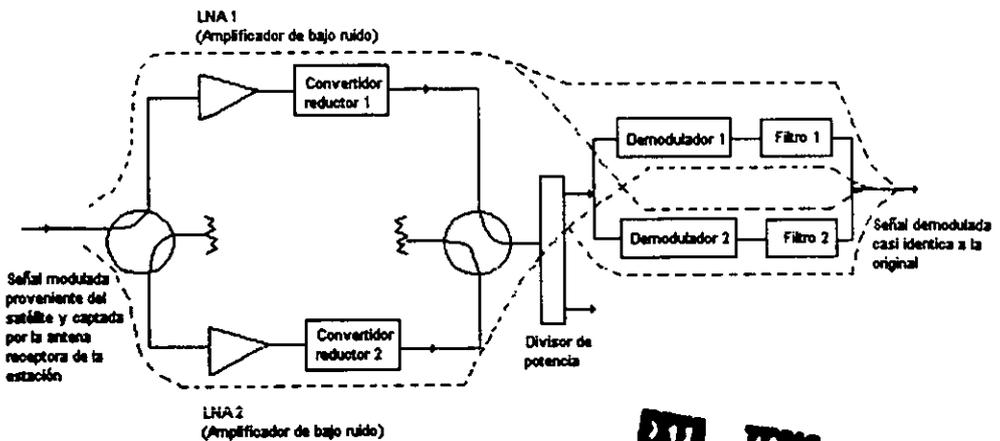


Figura #49

**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## ALIMENTACION DE ENERGIA

El tipo de servicio que una estación terrena presta determina la complejidad y confiabilidad necesarias de su sistema de alimentación de energía, muchas estaciones transmisoras y receptoras necesitan contar en sus propias instalaciones con un sistema de alimentación de **energía ininterrumpida**; es decir, que si la luz comercial o primaria se va, la conmutación o cambio al sistema de energía de respaldo debe ser suave y rápida, sin ninguna interrupción del servicio.

Según lo anterior, las estaciones terrenas más importantes de una red de comunicaciones vía satélite tienen su propia subestación eléctrica. En condiciones normales, las estaciones obtienen la energía directamente del sistema general de distribución comercial, y la subestación regula los niveles de voltaje y corriente -sin que haya grandes variaciones- para alimentar a los equipos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, si la luz se va, la subestación queda también sin energía, y entonces es preciso que algún sistema de respaldo entre en operación inmediatamente; la potencia que este sistema de respaldo debe proporcionar es muy grande, entre 50 y 100 KVA, de la cual aproximadamente un 80% es consumida por los amplificadores de potencia. Los sistemas de respaldo más comunes son inmensos bancos de baterías y motores alternadores con volantes de inercia; es muy importante que estos equipos tengan un mantenimiento adecuado y que las reservas de diesel para los motores estén siempre aseguradas.

## CONCLUSIONES

Se describe de una manera general que es una estación terrena, así como las características y equipos que las componen, se hace mención y se describe el funcionamiento del amplificador de alta potencia que es el equipo que se utiliza para el enlace con el satélite para ello la señal que se quiere se pasa a través de una serie de etapas como son banda base, frecuencia intermedia y posteriormente a altas frecuencias.

La primera etapa que es la banda base esta compuesta por el equipo para conexión con la red terrenal, multiplexores, demultiplexores y equipos para el proceso de la señal; en la segunda etapa o sea la frecuencia intermedia comprende los moduladores, demoduladores, convertidores elevadores y reductores. La última etapa que es la alta frecuencia están considerados los combinadores, divisores, amplificadores de potencia, amplificadores de bajo nivel de ruido diplexores y alimentadores de antena.

Estos equipos son necesarios para establecer enlace entre un sistema de satélite. Una vez establecido el enlace entre un sistema de satélite se monitorea la transmisión y la recepción de la señal, para ello existe una forma de reporte diario de niveles de señales de televisión tanto para transmisión así como para la recepción en la estación terrena en el cual se registra las mediciones que se toman del monitor de forma de onda y se corrigen en caso de que los niveles de vídeo no cumplan con los requisitos establecidos.

La información que es transmitida en un espacio libre, por medio de ondas electromagnéticas es invisible a los ojos; esta señal u ondas electromagnéticas es transmitida en forma vertical u horizontal llamándose a este proceso polarización de la señal (vertical o horizontal).

La antena parabólica es una herramienta fundamental para las comunicaciones vía satélite, gracias a ella es posible el intercambio de información desde una estación terrena a un satélite, estación terrena a estación terrena, satélite a satélite.

No solamente la antena parabólica se utiliza para la recepción de señales para TV, esta como se menciono son herramientas básicas para la transmisión y recepción de información por lo que las antenas parabólicas las podemos encontrar tanto en casa habitación como en observatorios, bancos, estaciones de radio, estaciones televisoras, edificios públicos, empresas privadas y lo más importante en los mismos satélites.

La antena parabólica es una herramienta importante en el área de comunicaciones vía satélite ya que podemos transmitir voz, datos e imágenes a grandes distancias, lugares de difícil acceso o como medio de respaldo en la transmisión de información.

---

## GLOSARIO

**Estación Terrena:** se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si esta fijo en algún punto, si es una unidad móvil, o si esta instalado en un barco, avión, o cualquier otro vehículo.

**Sistema ininterrumpido de energía:** Cuando una estación terrena satisface necesidades vitales o prioritarias de comunicación, no se desea que deje de funcionar por lo que debe adaptársele su propia planta de respaldo.

**Ancho de banda:** Medida de capacidad de transmisión de una línea usualmente expresada en ciclos por segundos o hertz.

**Diplexor:** Dispositivo de microondas, se interconecta simultáneamente con los dispositivos de transmisión y recepción

**SFS:** Servicio fijo por satélite, es un servicio de radio comunicación entre puntos fijos determinados en la superficie de la Tierra cuando se utilizan uno o más satélites.

**Ganancia:** Es la capacidad de la antena para amplificar las señales que se transmite o recibe en cierta dirección y se mide en decibeles (dB) en relación con la potencia radiada o recibida.

**Antena:** Conductor que acepta o emite ondas electromagnéticas

**Ecuador:** Circulo imaginario que pasa por el centro de la Tierra y es equidistante de los polos

**Foco:** Cada uno de los puntos especiales de la elipse, de la hipérbola y de la parábola, modo de recepción.

**Haz:** porción de rayos luminosos

**Hercio (Hertz):** Unidad de frecuencia que significa 1 ciclo por segundo Hz

**Latitud:** Distancia que hay desde un punto de la superficie de la Tierra al Ecuador

**Lóbulo:** Reborde en la figura de onda

**Longitud:** Distancia de un punto de la Tierra al meridiano cero, medida en grados en el Ecuador

**Onda Electromagnética:** Vibración u oscilación eléctrica y magnética que se propaga por el espacio a la velocidad de la luz.

**Parábola:** Curva abierta formada al cortar un cono por un plano paralelo a una generatriz

**Satélite:** Es un dispositivo localizado a varios miles de kilómetros sobre la Tierra, el cual actúa como un espejo en las telecomunicaciones. Muchos de estos satélites están en órbita sincronizadas con la rotación de la Tierra aproximadamente a 35,680 km sobre la línea ecuatorial de tal manera que parece estar en un punto estacionario en el espacio.

**BIBLIOGRAFIA**

**Satélite de comunicaciones**

**Rodolfo Neri Vela**

**Ed. Mc Graw Hill**

**Comunicaciones de redes y procesamientos de datos**

**Gonzalez Sainz Nestor**

**Ed. Mc Graw Hill**

**México 1997**

**Sistema de telecomunicaciones vía satélite**

**James Wood**

**Ed. Paraninfo**

**España 1995**

**Manual sobre telecomunicaciones por satélite**

**Unión internacional de telecomunicaciones**

**Ed. Limusa**

**México 1995**

**Sistemas de comunicaciones en los satélites de TV.**

**<http://www.etsit.upv.es/asig>**

**Estaciones Terrenas**

**[http://www.etsit.upv.es/asig/5%BA/tel\\_espa/pracGrupo14/pagest.htm](http://www.etsit.upv.es/asig/5%BA/tel_espa/pracGrupo14/pagest.htm)**