

# CAPÍTULO 4

---

## ESTACIÓN TERRENA DE RADIOAFICIONADOS PARA SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA



Las comunicaciones satelitales están formadas por segmentos espaciales y terrestres, donde las estaciones terrenas son los puntos terminales y el satélite es el punto intermedio.

En este capítulo nos enfocaremos a las estaciones terrenas de radioaficionados para satélites de órbita baja, debido a que fue la utilizada para la realización de esta tesis, permitiendo a las personas interesadas conocer cuál es el equipo necesario para instalar y operar una estación terrena en la banda de radioaficionados para operar con satélites de órbita baja.

En sus inicios estas estaciones eran de tamaños muy grandes, pero debido a los grandes avances y desarrollos de la tecnología, han permitido la reducción de su tamaño considerablemente, conservando sus funciones principales. Actualmente, el tamaño de una estación de radioaficionados, así como sus configuraciones y complejidades, dependerá de los requerimientos y aplicaciones requeridas para el servicio en el que se vaya a utilizar.

## 4.1 Características generales

En general, una estación terrena para satélites se utiliza para transmitir y/o recibir información del satélite. La información a transmitir puede ser de diferentes tipos, como Código Morse, voz, imágenes o lenguaje digital de computadora.

Una estación terrena de radioaficionados para satélites es un conjunto de equipos de comunicaciones y de cómputo que pueden ser terrestres (fijos o móviles), marítimos o aeronáuticos, que permiten la interconexión entre usuarios de una red terrestre con satélites, ya sea para comunicaciones con éste o con otra estación terrena.

Las estaciones terrenas están formadas de varios elementos: modulador, demodulador, convertidores de frecuencia ascendente y descendente, osciladores locales, amplificador de potencia, amplificador de bajo ruido, multiplexores, alimentadores, filtros, antenas y diplexores, medidores, cables de conexión, alimentadores, programas de computadoras, entre otros.

Para elegir el equipo a utilizar, primero se debe elegir los satélites con los que se trabajará, con ello se conocerán las bandas de operación y los tipos de modulación que pueden ser utilizados para poder llevar a cabo la comunicación con el satélite. Los tipos de transmisión analógicos más utilizados son FM, SSB y CW, mientras que los tipos digitales son RTTY, radio paquete (AX.25) y SSTV.

No se requiere de equipo sofisticado para trabajar con satélites de radioaficionados, hay varios satélites de órbita baja que pueden ser trabajados con equipos simples.

Las funciones principales de una estación terrena de radioaficionados para satélites son:

- Seguimiento del satélite.
- Conocer el estado de funcionamiento del satélite y de cada una de sus partes.
- Operaciones de telemetría.
- Comando y control del satélite.
- Operación y procesamiento de datos.

La forma general de operación de una estación terrena es:

- En la transmisión: La señal de *Frecuencia Intermedia* (FI) se modula en banda base, se envía a un convertidor ascendente que aumenta la frecuencia de la señal a una de RF, se envía a un HPA (*“High Power Amplifier”*, Amplificador de Alta Potencia) y después se envía hacia el satélite a través de la antena de la estación.
- En la recepción: La señal debe pasar por un LNA (*“Low Noise Amplifier”*, Amplificador de Bajo Ruido) y posteriormente por un filtro para limitar la potencia del LNA, ya que se amplificó la señal en bajo ruido al provenir desde el espacio; la señal de RF se cambia a la FI a través de un convertidor descendente, se demodula y es entregada en banda base al usuario.

Toda estación de radioaficionado debe tener un indicativo de llamada para poder transmitir.

## 4.2 Subsistemas

### 4.2.1 Antenas

En la radioafición se suelen utilizar muchos tipos de antenas, ya que su desempeño depende mucho del lugar en el que se encuentre la estación, así como de las condiciones en que se opere el sistema y de las características deseadas.

Una antena es un conductor, o grupo de ellos, que se encargan de convertir la energía eléctrica que le entrega el transmisor en energía electromagnética para enviar las señales y viceversa, ya que recibe ondas electromagnéticas y las transforma en señales eléctricas que puedan ser procesadas en un receptor.

Todo radioaficionado debería saber que la antena es un elemento muy importante de una estación terrena o radio base, aún más que el transmisor y el receptor, ya que los mejores equipos de sensibilidad y selectividad no servirían de nada si no se dispone de una buena antena que capte las señales débiles y que permita una buena transferencia de la potencia entregada por el transmisor.

Las antenas pueden ser de diversos tipos, todo depende de la frecuencia con la que se desee trabajar, así como de la potencia y ganancia requerida.

## Consideraciones para elegir la antena

Una misma antena instalada en lugares diferentes puede tener diversos resultados. Por ello, para una óptima transmisión y recepción, es necesario considerar ciertos aspectos importantes para la correcta elección de una antena:

- El espacio disponible.
- La altura a la que se debe colocar.
- Condiciones propias del lugar, como la conductividad del suelo.
- Zona sin obstáculos.
- El ambiente atmosférico.
- No colocar la antena en la proximidad de una línea de suministro eléctrico, ya que puede dañar a la antena y al equipo de la estación.
- La aplicación.
- Las bandas de frecuencia en las que se va a operar.

Lo ideal sería disponer de una antena para cada banda, pero debido al espacio disponible y el costo que esto representa, esto no es tan sencillo.

### 4.2.1.1 Características generales de las antenas

#### Polarización de antena

La polarización de una antena es un factor importante para la comunicación con el satélite. Es la dirección que tiene el campo eléctrico de la onda electromagnética radiada y está determinada por la posición del elemento radiador de la antena respecto a la Tierra. Debido a que el campo eléctrico de la onda radiada es paralelo a la dirección de flujo de corriente en los elementos de la antena, la polarización de la onda y la orientación de los elementos de la antena suele ser el mismo. De esta manera, si el campo eléctrico es horizontal, la antena tiene polarización horizontal; si es vertical, tendrá polarización vertical. Si el elemento radiador está inclinado respecto a la Tierra, se tendrán ondas con componentes horizontal y vertical. A este tipo de antenas se les conoce como *antenas polarizadas linealmente*.

El problema de la polarización lineal con los satélites es que la orientación relativa de sus antenas respecto a una estación terrena está cambiando constantemente, presentando desvanecimiento y pérdidas. Para evitar esto, se emplea otro tipo de polarización, la *polarización circular* (“Circular Polarization” CP), en la cual, los frentes de onda parecen rotar conforme pasan por la estación terrena, ya sea en sentido horario (Polarización Circular Derecha, “Right-Hand Circular Polarization” RHCP) o anti-horario (Polarización Circular Izquierda, “Left-Hand Circular Polarization” LHCP). Consecuentemente, con este tipo de polarización se reducen los efectos de desvanecimiento y pérdidas, teniendo como resultado señales consistentes y aceptables.

Para el caso de una estación terrena de radioaficionados para satélites de órbita baja, sus antenas no necesitan ser polarizadas circularmente para ser eficientes. Las antenas polarizadas linealmente son perfectamente funcionales, ya que algunas utilizan elementos inclinados o cruzados para mezclar la polarización vertical y horizontal.

### **Directividad**

La directividad de una antena es aquella propiedad que tienen para radiar más intensamente en algunas direcciones que en otras, con la misma intensidad tanto para transmisión como para recepción. En otras palabras, es la dirección en la que se produce el máximo patrón de radiación de una antena.

El patrón de radiación de una antena a una frecuencia dada, está determinado por el tamaño y la forma de la antena y por su posición y orientación respecto a la superficie de la Tierra.

Cuando la directividad de una antena es mayor en una dirección determinada, mayor es la ganancia de la antena en esa dirección.

### **Ganancia**

La ganancia describe la propiedad de una antena para recibir señales, preferentemente de ciertas direcciones. Algunos autores la definen como la diferencia que existe entre el campo electromagnético producido por una antena en su dirección más favorable respecto al de otra que se toma como patrón de referencia.

Se toma como referencia la antena isotrópica, que es una antena ideal que radia uniformemente en todas las direcciones. En la práctica, la antena que se usa como referencia suele ser el dipolo, la cual tiene una ganancia de 2.1 dB sobre la antena isotrópica. Se hace referencia al dipolo ya que es una antena muy simple y fácil de construir, por lo cual se pueden hacer comparaciones directas entre dos antenas sin tener que recurrir a la antena isotrópica que, técnicamente, no existe.

### **Longitud eléctrica**

La longitud eléctrica de una antena se expresa en longitudes de onda, la cual está relacionada con la frecuencia a la que se trabaja. La longitud física de una antena es su longitud real; se debe partir inicialmente de la longitud eléctrica y de ahí ajustar la longitud de la antena para poder trabajar en la frecuencia deseada y lograr el mayor rendimiento. El símbolo para representar la longitud de onda es  $\lambda$ . La antena de mayor uso es el dipolo de  $\frac{1}{2} \lambda$ .

La longitud de onda se determina de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dónde:

c = Velocidad de la onda electromagnética en el espacio =  $3 \times 10^8$  m/s.

f = Frecuencia de operación en Hz.

Siempre que se define una antena se indica su frecuencia de trabajo o, por lo general, la banda de aficionado para la cual fue diseñada.

Para alterar la frecuencia de resonancia de una antena es preciso variar el valor de su capacitancia o de su inductancia, y para lograr eso simplemente se altera su longitud.

### **Ángulo de radiación**

Se llama *ángulo de radiación* al ángulo en el plano vertical en el que una antena emite o recibe la máxima intensidad de campo.

Por el hecho de que las antenas se encuentran encima del suelo se produce una interacción entre el campo electromagnético que sale de la antena y la parte de éste que rebota en el suelo. La combinación de los dos hace que la energía se cancele para ciertos ángulos y que se refuerce para otros.

El ángulo para el que el refuerzo es máximo se llama *ángulo máximo de radiación* de una antena. Ninguna antena real situada sobre el suelo tiene su ángulo máximo de radiación en dirección horizontal, la máxima radiación siempre ocurre con un cierto ángulo de inclinación.

#### **4.2.1.2 Tipos de antenas**

En la radioafición existen múltiples aplicaciones, las cuales determinaran el tipo de antena que se empleara en la estación. Por ejemplo, para aquellos que solo tienen la función de escuchar, basta un hilo largo instalado y sin obstáculos que impida la recepción de las ondas; los que trabajen en una sola banda, por ejemplo fonía, lo mejor es una antena dipolo cortada para la banda en cuestión, o bien si se desea trabajar en varias bandas o a larga distancia, los dipolos verticales multibanda son suficientes.

Existen muchas configuraciones de antenas empleadas de acuerdo a su aplicación, todas ellas se clasifican de acuerdo a su cobertura en omnidireccionales y direccionales. En esta tesis únicamente profundizaremos en el sistema de antenas empleado en nuestra estación terrena. Para conocer más a detalle características específicas de las múltiples estructuras de antenas empleadas por radioaficionados para comunicaciones con satélites consultar el "The ARRL Handbook 2011".

## Antenas Omnidireccionales

Una antena omnidireccional es aquella que radia y recibe señales igualmente en todas las direcciones. En la práctica, la mayoría de este tipo de antenas tiene cierta directividad haciendo que las señales se desvanezcan cuando los satélites pasan por la zona de menor directividad.

A pesar de su baja ganancia, este tipo de antenas son atractivas debido a que no necesitan ser apuntadas hacia el objetivo, lo cual implica no requerir de rotores, haciendo menos compleja y costosa la estación. Otra ventaja importante es que las antenas omnidireccionales son más pequeñas que las direccionales para las mismas frecuencias.

La desventaja es que su baja ganancia las hace útiles solo para satélites LEO, los cuales tienen receptores sensibles y relativamente fuertes señales transmitidas.

Algunas antenas omnidireccionales empleadas por radioaficionados son:

- Antena batidor de huevos “eggbeater”
- Antena torniquete
- Antena “lindenblad”
- Antena cuadrifilar

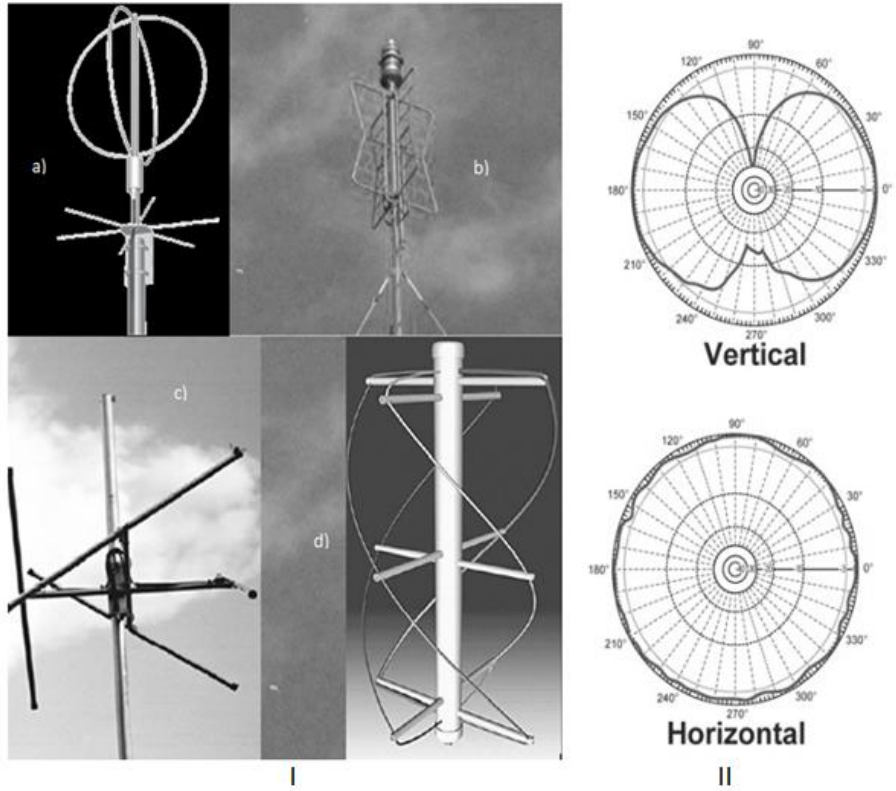
## Antenas Direccionales

Una antena direccional es aquella que radia y recibe señales en una dirección en específico. La gran ventaja de este tipo de antenas es su considerable directividad y ganancia, ya que cuando se trabaja con señales débiles provenientes de los satélites se necesita la mayor ganancia posible. Por ello las antenas direccionales son excelentes para los satélites LEO, proporcionando fuertes y consistentes señales, que raramente se pueden obtener con antenas omnidireccionales.

Irónicamente, la mayor desventaja es también su directividad, ya que para tener los mejores resultados se debe apuntar la antena hacia el satélite con el que se va a trabajar y realizar su seguimiento, lo que lleva a la necesidad de emplear rotores, agregándole un mayor costo y complejidad a la estación terrena.

Entre las antenas direccionales más utilizadas por radioaficionados están:

- Antenas Yagi
- Antenas helicoidales
- Platos parabólicos



omnidireccionales: a) Antena batidor de huevos, b) Antena torniquete, c) Antena lindenblad, d) Antena cuadrifilar. II. Diagrama de radiación de una antena omnidireccional en el plano vertical y horizontal.

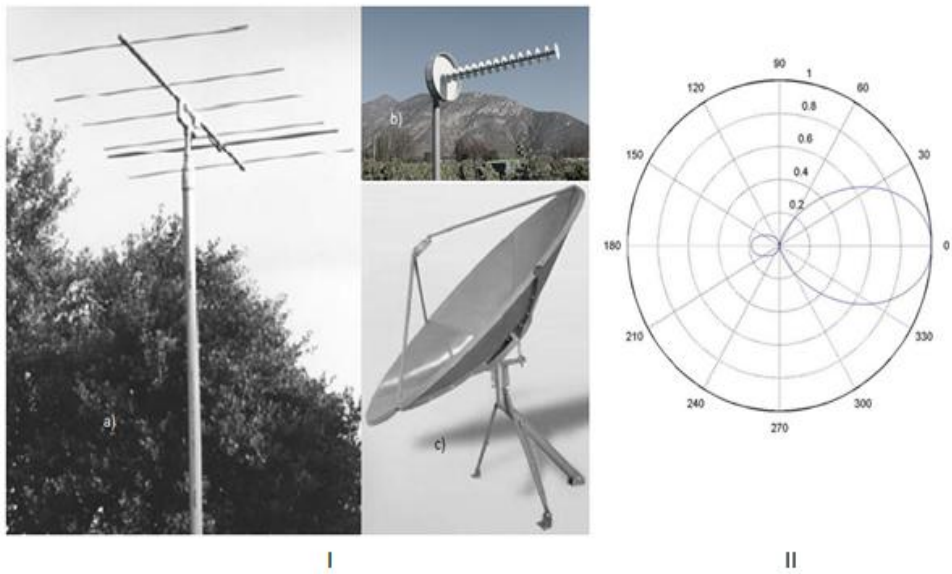


Figura 4.1 I. Antenas direccionales: a) antena Yagi, b) antena helicoidal, c) plato parabólico. II. Diagrama de radiación de una antena Yagi de 5 elementos.



## 4.2.2 Líneas de transmisión

La línea de transmisión es el medio utilizado para conducir la energía de radiofrecuencia entre el transmisor o receptor y la antena. La distancia entre estos dos puntos terminales de la línea determinará su longitud. Mientras menor sea esa distancia las pérdidas serán menores.

El tipo más común utilizado por los radioaficionados es la línea coaxial, mejor conocida como cable coaxial.

El cable coaxial está formado por un conductor central, el cual puede ser hilo o alambre sólido, rodeado por un conductor externo concéntrico con un aislante dieléctrico entre los conductores. El conductor exterior puede ser de revestimiento de alambre trenzado o funda metálica.

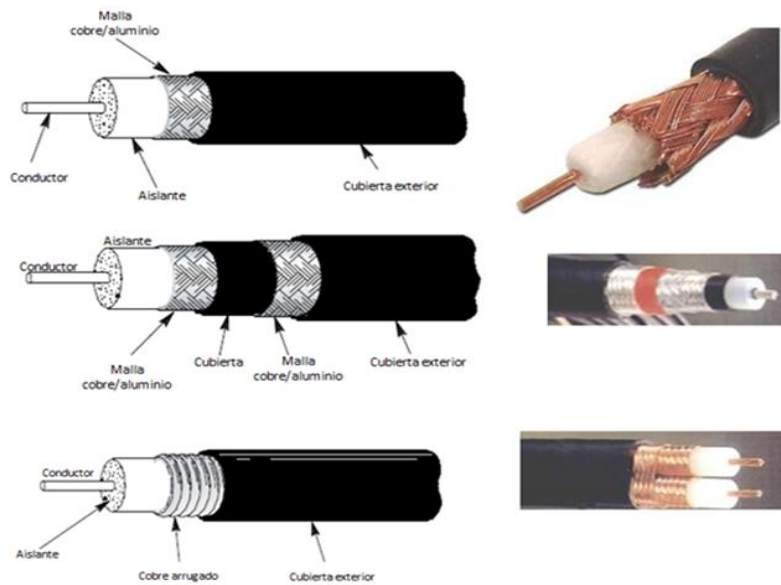


Figura 4.2 Tipos de cables coaxiales.

### 4.2.2.1 Relación de Ondas Estacionarias (ROE)

En muy pocos casos la impedancia de la antena es el valor exacto necesitado para la conexión con una línea de transmisión. Por lo regular, siempre existe un desacoplo entre la línea y la antena, ya que la impedancia de la antena no tiene el mismo valor que la de impedancia característica de la línea de transmisión. Cuando eso sucede, una parte de la energía que llega a la antena se ve reflejada y regresa hacia el transmisor. Esta energía reflejada provoca la presencia de las ondas estacionarias a lo largo de la línea al ocasionar la interferencia entre la señal transmitida y la reflejada debido al desacoplo, pudiendo dañar el equipo. Por ello, es necesario el acoplamiento antes de operar el sistema. A la relación entre las corrientes o tensiones de RF máxima y mínima que ocurren a lo largo de una línea de transmisión se le conoce como *Relación de Ondas Estacionarias* (ROE).

Para la transmisión, la antena es la carga de la línea, mientras que en la recepción, la carga es el circuito receptor. Cualquiera que sea el caso, las condiciones existentes en la carga, y solo en la carga, determinan el coeficiente de reflexión, y por lo tanto, la ROE de la línea. Si la carga es puramente resistiva e igual a la impedancia característica de la línea, no habrá presencia de ondas estacionarias.

### Medidor de ROE y acoplador de impedancias

El medidor de ROE es un dispositivo que indica el valor de la relación de ondas estacionarias. Cuanto más pequeño es el valor de ROE, mejor es el acoplamiento del sistema de antenas.

Existen varias formas de obtener la ROE.

Una de ellas es por medio de la relación de las impedancias desiguales que intervienen en el sistema:

$$ROE = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{Z_0}{Z_L}$$

Dónde:

ROE = Relación de Ondas Estacionarias, adimensional.

$Z_L$  = impedancia de la carga (antena o acoplador), en  $\Omega$ .

$Z_0$  = impedancia característica de la línea de transmisión, en  $\Omega$ .

Otra forma de obtener la ROE es por medio de la relación de voltajes:

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i}$$

$$\rho = |\Gamma|$$

$$V_{max} = V_i + V_r = V_i + \rho V_i = V_i(1 + \rho)$$

$$V_{min} = V_i - V_r = V_i - \rho V_i = V_i(1 - \rho)$$

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r}$$

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

Dónde:

ROE = Relación de Ondas Estacionarias, adimensional.

$\Gamma$  = coeficiente de reflexión, adimensional.

$V_r$  = Voltaje reflejado, en V.

$V_i$  = Voltaje incidente, en V.

$\rho$  = modulo del coeficiente de reflexión, adimensional.

$V_{max}$  = Voltaje máximo, en V.

$V_{min}$  = Voltaje mínimo, en V.

Una tercera forma de obtener la ROE es por medio de la relación de potencias:

Como:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad y \quad \Gamma = \frac{V_r}{V_i}$$

Entonces:

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad ; \quad \rho = \frac{\sqrt{P_r}}{\sqrt{P_i}}$$

Dónde:

ROE = Relación de Ondas Estacionarias, adimensional.

$P_r$  = Potencia reflejada, en W.

$P_i$  = Potencia incidente, en W.

Con un acoplador en el sistema, el medidor de ROE tiene la función de indicar la relación de ondas estacionarias en el tramo de línea entre el transmisor y el acoplador. Una relación 1:1 indica que el transmisor está entregando toda su potencia útil a la línea. El transmisor no trabajaría bien si se conecta su salida a una línea de transmisión desacoplada.

El acoplador tiene la función de corregir las desigualdades de impedancias que existan entre los elementos de la parte de transmisión o recepción, como la antena, la línea de transmisión y el propio transmisor o receptor. Se debe sintonizar el acoplador para lograr la lectura mínima de ROE, no importando que no se logre la relación óptima de 1:1. Cualquier relación que no sea mayor a 1.5:1 se considera como un acoplamiento aceptable.

Los acopladores se forman generalmente de componentes de capacitancia e inductancia variables, diseñados para convertir valores de impedancias y poder utilizar una misma antena en varias o en todas las bandas de radioaficionados. A cada banda le corresponderá un ajuste distinto del acoplador de acuerdo a una combinación de sus mandos.

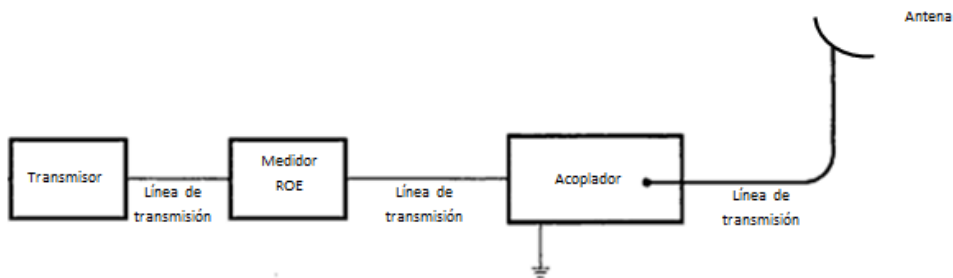


Figura 4.3 Medidor de ROE y acoplador de impedancias en una estación terrena.

## Balun

La simetría de una antena o la alimentación simétrica, se refiere a aquella alimentación que no tiene ninguno de sus conductores conectados a tierra. Por otro lado cuando uno de los conductores está conectado a tierra y el otro tiene variaciones de tensión, se tiene una alimentación asimétrica.

La ventaja de la alimentación simétrica es que las pérdidas de energía en la línea de transmisión son menores que en la alimentación asimétrica por cable coaxial.

Debido a que los radioaficionados utilizan antenas (carga balanceada) con líneas coaxiales (carga desbalanceada), la simetría de la propia antena resulta afectada. Para solucionar este problema de alimentación, se requiere un dispositivo que aisle la antena de la línea sin dejar de proporcionar transferencia de energía eficiente. Este dispositivo es el llamado *balun*.

Balun se deriva de las palabras "*BAL*anced-*UN*balanced" (balanceado-desbalanceado) y tiene la función de conservar la simetría de la antena, además de poder transformar valores de impedancia para el acoplamiento.

Casi todos los transmisores actuales tienen conectores coaxiales de salida para la antena, por lo que será necesario equilibrar el sistema mediante la instalación de un balun justo al inicio de la línea de transmisión y a la salida del transmisor. Cualquiera que sea el tipo de línea a utilizar, siempre será necesaria la presencia de un balun al inicio de la línea. Algunos acopladores ya traen integrado en su interior dicho dispositivo.



Figura 4.4 Balun.

### 4.2.3 Sistema de seguimiento

Un sistema de seguimiento satelital es aquel que tiene la función de determinar la posición de un satélite en órbita.

Los sistemas de seguimiento de una estación terrena para satélites de radioaficionados constan básicamente de las antenas y rotores. El sistema de seguimiento basa su funcionamiento en 2 parámetros principales: el ángulo de azimut, en el plano horizontal, y el ángulo de elevación, en el plano vertical.

Evidentemente estos sistemas son empleados por antenas que lo necesitan, es decir, antenas direccionales, con el fin de poder apuntarlas y mantenerlas en posición hacia el satélite con el cual se quiere establecer la comunicación, aunque exista movimiento entre el satélite y la estación terrena.

El seguimiento del satélite se puede realizar de forma manual o automática. De forma manual no se requiere de equipo sofisticado, aunque el seguimiento es complicado ya que se deben realizar muchas acciones simultáneamente, por ejemplo, dado que el satélite pasa solo durante pocos minutos sobre una parte de la superficie de la Tierra, se debe de obtener la información que envía para no perderla y al mismo tiempo, debido al efecto Doppler se tienen que variar constantemente las frecuencias de transmisión y recepción según sea el caso, para no perder la comunicación.

Dicha dificultad se puede facilitar con la automatización del seguimiento del satélite. Lo complicado de hacerlo en esta forma es contar con el equipo necesario y adecuado, además de la necesidad de software para poder controlar los rotores de forma remota. Si el sistema es automático, el equipo debe ser capaz de enviar las órdenes a los rotores para que se muevan de manera correcta en todo momento y apunten hacia el satélite, y al transceptor para que esté en la frecuencia correcta.

El sistema de seguimiento no podría llevarse a cabo si no existieran 2 partes fundamentales: el montaje y la orientación y apuntamiento.

## **Montaje**

El sistema de montaje de la antena debe permitir el ajuste para la orientación y apuntamiento hacia el satélite, tanto para el proceso de recepción como de transmisión. Existen 2 tipos de montaje para los sistemas de seguimiento de estaciones terrenas de radioaficionados.

*Montaje de Azimut/Elevación.* Este tipo de montaje es conocido también como “az/el” y es muy flexible para las antenas con movimiento casi hacia cualquier dirección. Girando sobre el eje horizontal se orienta el azimut deseado, y sobre el eje vertical la elevación. La mayoría de las antenas que requieren gran precisión o libertad de movimiento, utilizan este montaje.

*Montaje X-Y.* El sistema de montaje de ejes X-Y, ambos en planos horizontales pero perpendiculares entre sí, puede usarse también para apuntar en casi todas las direcciones. Para una máxima orientación, los ejes deben quedar situados a mayor altura sobre el suelo que en el montaje anterior, ya que en caso contrario se limita su movimiento cerca del horizonte.

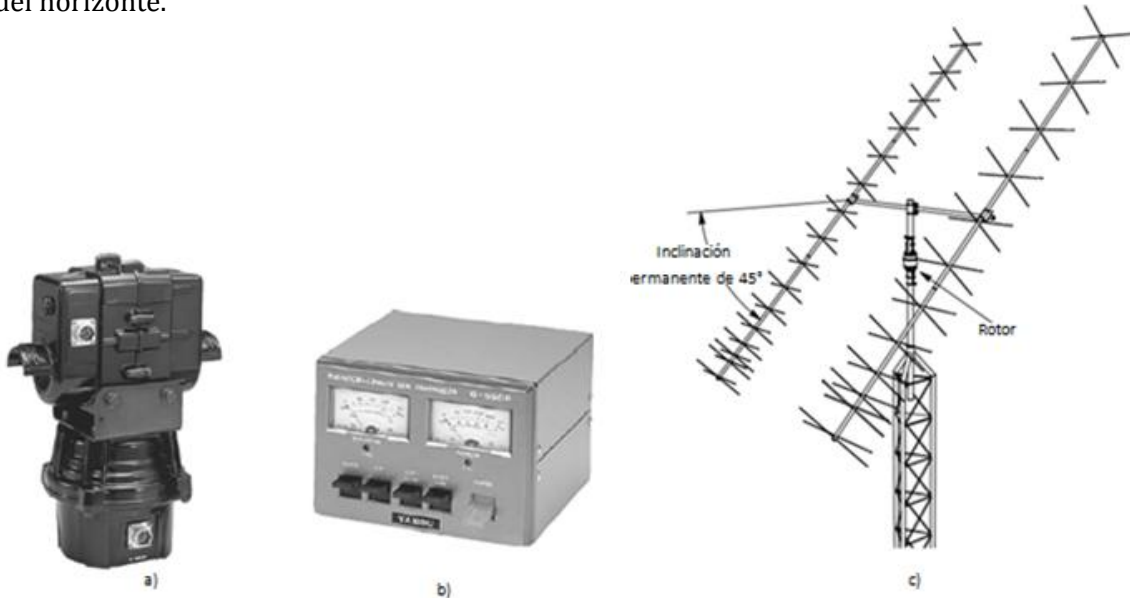
## **Orientación y Apuntamiento**

Las antenas que necesitan apuntarse frecuentemente requieren de mecanismos que permitan realizar movimientos con facilidad, ya sea manual o automáticamente.

La parte de orientación y apuntamiento es llevada a cabo por los rotores. Un rotor es un dispositivo que permite girar un objeto, en nuestro caso un sistema de antenas, pudiendo ser en el plano horizontal o vertical.

*Rotor de montaje azimut/elevación.* Para el montaje az/el se puede emplear un solo rotor que tenga la movilidad en ambos parámetros, es decir, un rotor con capacidad de movilidad en azimut y elevación simultáneamente, o 2 rotores por separado, uno para azimut y el otro para elevación.

*Rotor de montaje X-Y.* Para el montaje X-Y, se emplea un solo rotor que se mueve únicamente en dirección del azimut, dejando el arreglo de antenas en un ángulo de elevación fijo, generalmente inclinadas a  $45^\circ$ . Esta configuración permite trabajar la mayoría de los satélites de radioaficionados con éxito, aunque no se podrá seguir el satélite cuando esta sobre o cerca del horizonte.



**Figura 4.5 a) Rotor Yaesu G5500 de az/el, b) Unidad de control para rotor az/el, c) Antena con inclinación fija de  $45^\circ$  y un rotor que solo permite movimientos en el plano horizontal. [The ARRL Handbook, 2011].**

El área máxima de la antena está relacionada con la capacidad de torsión del rotor. Algunos fabricantes de rotores proveen información para ayudar a seleccionar el tamaño adecuado del rotor para las antenas que se vayan a utilizar.

Una mala instalación del sistema de seguimiento puede causar problemas como el quemado del motor, deslizamiento, ataduras y roturas del mecanismo interno del rotor o de la cubierta externa.

### 4.2.3.1 Estructuras para colocar el sistema de seguimiento

Para la operación del sistema de seguimiento de la estación terrena, es necesario emplear una estructura que lo soporte y permita su correcto funcionamiento.

Existen diferentes tipos de estructuras capaces de soportar los arreglos de antenas utilizados para comunicaciones. Estas estructuras son las llamadas torres y mástiles. A menudo el término torre y mástil suele usarse como sinónimo, sin embargo, una torre es una estructura autosoportada, mientras que un mástil es una estructura soportada por tirantes o vientos conocida como torre venteada.

Para la correcta instalación es necesario realizar varias consideraciones:

- Velocidad máxima del viento.
- Peso y forma del arreglo de antenas.
- Huella de la torre, es decir la cantidad de espacio sobre la tierra que es requerido para la instalación.
- Altura de la torre.
- Presupuesto con el que se cuenta para la instalación. Mientras más pequeña sea la base de la torre el costo es mayor.
- El sitio de instalación debe estar libre de obstrucciones como son los árboles y edificios.

#### *Torres autosoportadas*

Son estructuras que se utilizan como soporte del arreglo de antenas y rotores, son de costo elevado y empleadas generalmente para gran altura. Existen en forma de monopolo y en forma piramidal de sección triangular y cuadrada. Las de tipo piramidal ocupan más espacio que las monopolo.

Las torres monopolo son postes afilados de acero galvanizado y huecos, generalmente utilizadas en espacios limitados. Por otro lado, las torres piramidales están formadas de secciones con perfiles angulares de acero galvanizado apiladas unas sobre otras, diseñadas para cargas pesadas.



**Figura 4.6 a) Torre autosoportada de sección cuadrada; b) Torre autosoportada en forma de monopolo; c) Torre autosoportada de sección triangular.**

### *Torres venteadas*

Las torres venteadas consisten de varios tramos idénticos, generalmente de sección triangular, que se apilan uno sobre otro con la necesidad de tirantes o vientos que le den estabilidad y resistencia al viento.

Las torres venteadas son mucho más económicas que las autosoportadas, pero requieren de un área bastante grande para su instalación, ya que los tirantes o vientos que las sostienen deben ser anclados a tierra a una distancia de la base de la torre de por lo menos un tercio de su altura. Los tirantes se deben elegir de acuerdo a la altura de la torre y a la velocidad esperada del viento en la zona.



**Figura 4.7 Torre venteada, Isla Santa Cruz, Ecuador.**

Existen 2 formas de montar una torre, los *montajes no penetrables* y los *montajes penetrables*.

### *Montajes no penetrables*

Como su nombre lo indica, son montajes que no penetran el área en la que se coloca, utilizados regularmente en azoteas. Algunas veces suele asegurarse la base con algún tipo de ladrillos o cemento con el fin de asegurar su estabilidad en vientos. En otras ocasiones, se colocan bases de goma por debajo de la instalación para proporcionar protección a la azotea.





Figura 4.8 Montajes no penetrables.

#### *Montajes penetrables*

Por lo regular este tipo de montajes es utilizado cuando la azotea no es capaz de soportar peso o no es completamente plana. Con este tipo de montaje si es necesario perforar la estructura. El montaje penetrable, generalmente, es colocado en una pared o costado de algún edificio y debe tener la capacidad de soportar las antenas, el viento y el peso del mismo montaje.



Figura 4.9 Montaje penetrable.

### 4.2.4 Transmisor y Receptor

El equipo de radio utilizado en las estaciones de radioaficionados para transmitir y recibir señales, suele ser un único dispositivo que cumple ambas acciones, llamado *transceptor*, el cual, en un solo módulo contiene el transmisor y el receptor de radio y permite la recepción y la transmisión de manera simultánea, comunicación *“full-duplex”*. En otros casos, las estaciones de radioaficionados tienen por separado el equipo transmisor al del receptor.

Entre las ventajas de utilizar el transceptor es que ocupa menos lugar por ser más compacto y es más fácil de usar en servicio móvil e incluso para sintonizar una estación. Sin embargo el transmisor y receptor por separado, permiten realizar ajustes más exactos y, por lo tanto, aumentar la sensibilidad en la recepción.

El transceptor es un equipo que puede ser sencillo o complejo, monobanda o multibanda y puede estar preparado para trabajar varios sistemas de modulación como CW, AM, FM, etc., el cual define la frecuencia utilizada tanto para la transmisión como para la recepción.

Para trabajar con satélites se requiere un transceptor que permita trabajar en “*split*”, es decir, transmitir y recibir en frecuencias diferentes, debido a la diferencia de frecuencias para los enlaces de subida y de bajada y a las variaciones de frecuencia ocasionadas por el efecto Doppler.

La mayoría de los equipos actuales de doble banda ofrecen alta potencia de salida, alrededor de 50 W, valor que es suficiente para hacer llegar la señal transmitida al satélite a través de una antena direccional u omnidireccional. La potencia del transceptor, no solo se determinará por la antena utilizada, sino también por la distancia que hay entre la superficie terrestre y el satélite y de su posición respecto a la Tierra.

Los satélites no requieren de grandes potencias, valores de 100 W está en el límite máximo de lo común, pero con 25 W es suficiente para tener un buen enlace de transmisión; en la recepción, tampoco se requiere de grandes especificaciones, aunque el sistema de recepción mejora notablemente si se utiliza un preamplificador.

A continuación se explicará brevemente las características generales que deben tener estos equipos, ya sean en un solo equipo (transceptor) o equipos separados. Si se desea conocer más a fondo las características y diseños de sus componentes consultar el “The ARRL Handbook 2011”.

#### 4.2.4.1 Transmisor

El transmisor se encarga de adecuar la señal original para enviar las señales en forma de ondas electromagnéticas a través de una antena. La sección de transmisión está formada por convertidores elevadores, amplificadores de potencia y el modulador.

*Convertidores elevadores (C/E):* Se encargan de trasladar la frecuencia intermedia a la necesaria de RF para el enlace de subida. El convertidor elevador obtiene este traslado de frecuencia al mezclar la frecuencia intermedia con la originada en un oscilador local.

*Amplificadores de potencia, HPA (“High-Power Amplifier”):* Son dispositivos que se encargan de aumentar la potencia de una señal. La mayoría de los HPA están conformados por dos etapas de amplificación; la primera de ellas es la pre-amplificación y la segunda es una etapa final de amplificación.

*Modulador:* Se encarga de modular la señal a transmitir para poder ser enviada hacia el satélite.

Una consideración importante que se debe realizar al momento de elegir el equipo de transmisión es la potencia PIRE necesaria.

#### 4.2.4.2 Receptor

El receptor se encarga de convertir la señal recibida del satélite a una forma utilizable.

En todas las frecuencias de radio, el ruido llega a través de la antena y limita la capacidad de recibir señales débiles. En las frecuencias de VHF, UHF y microondas, la principal fuente de ruido es de origen cósmico, por ello el diseño de la parte de recepción de las estaciones de radioaficionados debe tener como finalidad reducir el ruido interno generando un nivel por debajo del ocasionado por el ruido cósmico. Mientras menor sea el ruido, mejor será el desempeño en la recepción.

El receptor:

- Debe tener la mejor sensibilidad posible, lo que indica que es capaz de recibir señales débiles y amplificarlas.
- Debe ser selectivo, lo que permite rechazar señales no deseadas (fantasmas o espurias) y captar señales deseadas. Esto se logra a través del empleo de filtros.
- Debe ser estable, lo cual indica la fidelidad con que el oscilador del receptor mantiene la frecuencia sintonizada.
- Debe presentar un nivel bajo de ruido.

La sección de recepción está formada por el demodulador y un convertidor reductor.

*Demodulador:* Se encarga de demodular la señal con el fin de recuperar la información recibida en la antena.

*Convertidor reductor (C/R):* Se encarga de trasladar la frecuencia de RF recibida a la frecuencia intermedia, a través de la mezcla de la frecuencia de RF con la originada en el oscilador local.



Figura 4.10 Imágenes de equipos transceptores: a) Kenwood TS-2000, b) Kenwood TM-D710, c) Yaesu FT-290R, d) ICOM IC-2820.

## 4.2.5 MODEM

La parte del modem en una estación terrena de radioaficionados está formada por un dispositivo llamado TNC (*Terminal Node Controller*), el cual es considerado como el modem de la estación. El TNC es utilizado para trabajar con modos digitales; es la interfaz entre la computadora y el transceptor de radio, es decir, entre lo digital y lo analógico. El TNC es muy utilizado por los radioaficionados para el empleo de radiopaquetes.

### *Funcionamiento del TNC*

- Para la transmisión, el TNC agrupa los bits recibidos por la computadora en paquetes, les añade redundancia y los modula en banda base, lo cual implica pasar de banda base a frecuencia intermedia.
- Para la recepción, el TNC demodula la señal recibida, lo que implica pasar de frecuencia intermedia a banda base, posteriormente envía los datos a la computadora para poder trabajar con ellos.

Existen distintos tipos de TNC, algunos de ellos son reprogramables para utilizar diferentes protocolos y modulaciones digitales.

Los TNC actuales utilizan primordialmente el modo KISS<sup>30</sup> y son controlados por un programa de computadora.

El empleo del TNC ofrece al radioaficionado un sistema de comunicación más confiable y libre de errores, debido a que la transferencia de información se realiza entre computadoras y el ruido y variaciones en la señal afectan menos a los modos digitales que a los analógicos.

## 4.2.6 Computadora

La parte fundamental para la comunicación de una estación de radioaficionados con un satélite, es poder seguir sus movimientos y poder predecir el momento en que pasará por encima de su horizonte. Actualmente se cuenta con sofisticado software que permite realizar esa predicción; para ello, se requiere el empleo de una computadora, lo cual la hace de gran importancia. Además, permite enviar instrucciones para girar el rotor de la antena con el fin de que el satélite sea seguido de manera automática, realizar el cálculo del efecto Doppler y de parámetros de las antenas, hacer representaciones gráficas, analizar la información recibida, entre otras.

En general, en caso de que los sistemas de la estación terrena sean automáticos, la computadora es quien controla el funcionamiento de toda la estación, por ejemplo, cuando la computadora va a iniciar el envío de señales hacia el satélite, pone en funcionamiento el

---

<sup>30</sup> El modo KISS permite al TNC operar como un modem y como ensamblador/desensamblador de paquetes (PAD). Se implementa a través del uso de protocolos de alto nivel para poder disponer de los recursos de la computadora en forma de red.

transceptor de radio e informa las frecuencias de subida y de bajada con la corrección del efecto Doppler hecha.

La mayoría de las conexiones entre las computadoras y los demás equipos son algún tipo de cable multi-conductor. Los conectores más utilizados son RS-232 (DB9 y DB25, tienen 9 y 25 pines respectivamente), USB tipo A, USB tipo B, mini-USB, DIN, DIN miniatura, 36 pines, entre otros.

El software utilizado por la computadora puede ser compatible con los sistemas operativos Windows, Linux y Mac.

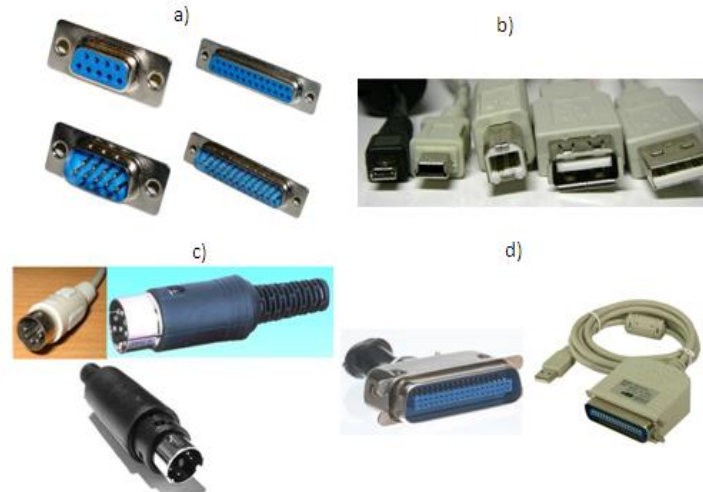


Figura 4.11 Tipos de conectores: a) DB9 macho (izquierda), DB25 (derecha); b) USB, de izquierda a derecha micro USB macho, mini USB, tipo B macho, tipo A hembra, tipo A macho; c) DIN; d) Conector de 36 pines hembra (izquierda), macho (derecha).

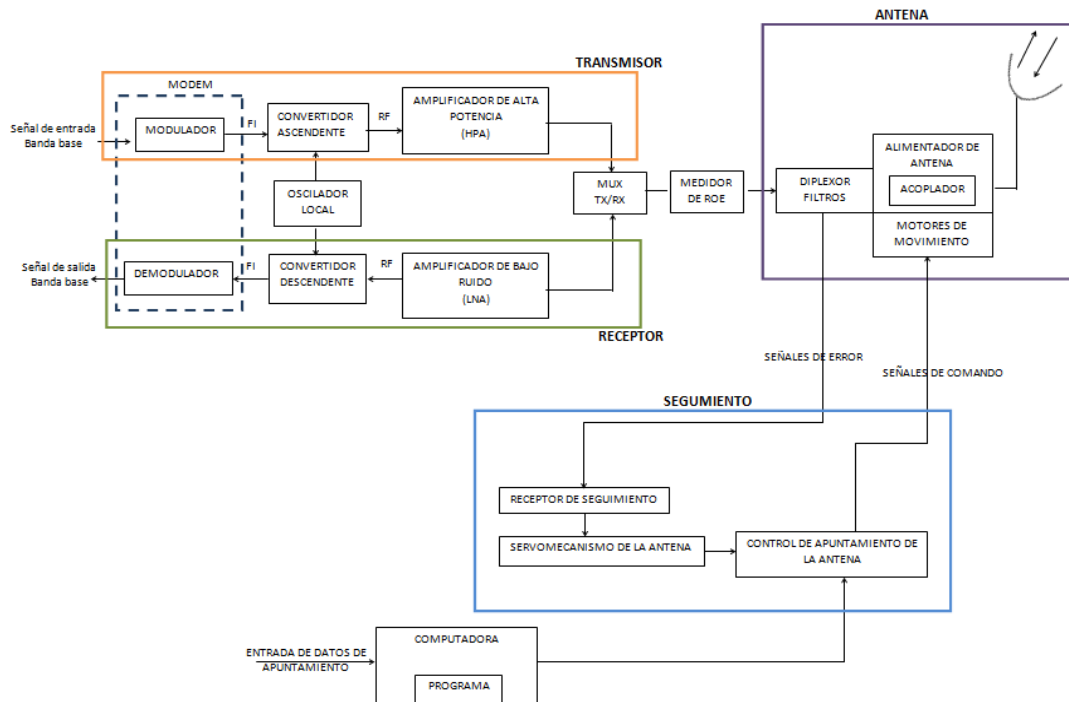


Figura 4.13 Diagrama a bloques de una estación terrena.

## 4.3 Tipos de Estaciones Terrenas de radioaficionados

En radioafición, una misma estación terrena sirve tanto para la transmisión como para la recepción.

### Estaciones Fijas

Una estación terrena fija es aquella que está ubicada en un punto fijo determinado.

La primera consideración que hay que tener en cuenta para poner una estación terrena de radioaficionados es el lugar. Seleccionar una ubicación adecuada representa un montaje seguro, cómodo y conveniente para la estación. La ubicación exacta dependerá del tipo de lugar que se tenga y cuanto espacio se tendrá disponible. La ubicación debe contar con una buena fuente de alimentación así como tierra adecuada para evitar descargas. Igualmente contar con un camino óptimo para las líneas de transmisión y cables que conectarán a los equipos con las antenas, las cuales se encontrarán en el exterior.

### Estaciones Móviles

Las estaciones móviles son aquellas que son capaces de establecer comunicación con el satélite en un punto fijo o en movimiento. Este tipo de estaciones son montadas en vehículos o cualquier medio de transporte aéreo, marítimo o terrestre, son muy pequeñas y cuentan con equipo básico para establecer la comunicación.

La electrónica de estado sólido y su tamaño han permitido a los operadores móviles equipar sus vehículos con estaciones radio base. Con estaciones de este tipo es posible operar desde la banda de 160 m hasta la de 70 cm con un transceptor compacto.

Para algunas zonas con restricciones de determinados tipos de antenas, operar con estaciones móviles es la mejor solución. Para otros es una alternativa de operación como estación casera.

### Estaciones Portables

Este tipo de estación es relativamente pequeña y tiene la capacidad de ser desmontada para poder ser transportada fácil y prácticamente a cualquier lugar.

Una estación portable requiere organización, planeación y experiencia. El equipo utilizado es lo más compacto y ligero posible. Una buena instalación portable es simple, mientras menos equipo implementado, más rápido será la operación.

Este tipo de estaciones son utilizadas principalmente para casos de emergencia.



Figura 4.14 a) Estación fija, b) Estación móvil, c) Estación portable.